

# scriptum

# GEOLOGIE MACHT SCHULE

# 14



Alle Rechte vorbehalten

© 2007

Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –  
De-Greiff-Str. 195, 47803 Krefeld,  
Postfach 10 07 63, 47707 Krefeld,  
Fon 02151 897-0, Fax 02151 897-505  
E-Mail poststelle@gd.nrw.de

#### Redaktion/Lektorat

Dipl.-Geol. Dr. RÜDIGER STRITZKE, GABRIELE KAMP

#### Gestaltung

URSULA AMEND

#### Bildbearbeitung

PETRA HAHN, DANIELA HELD, MAREEN KOPPLIN, ULRIKE LUX, SEBASTIAN  
MELLEN, ULRIKE MITTLER, JANINE RICHERT, JÖRG SCHARDINEL, MITHAT SERBEST

#### Druck

Obermann GmbH Co KG · Krefeld

ISSN 1430-5267

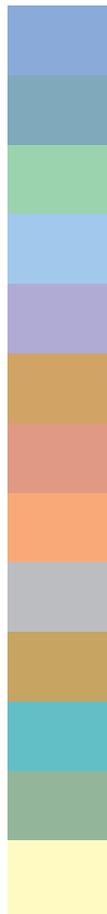
Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich.

#### scriptum

Arbeitsergebnisse aus dem Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen  
erscheint in unregelmäßigen Abständen. Bezug über den Buch-  
handel oder über den Geoshop des Geologischen Dienstes NRW  
(Fon 02151 897-210 / -212 · Fax 02151 897-428) Best.-Nr. 8015

# scriptum

# GEOLOGIE MACHT SCHULE 14



## Vorwort der Schulministerin

„Aktuelle geografisch und geowissenschaftlich relevante Phänomene und Prozesse, wie zum Beispiel Globalisierung, Klimawandel, Erdbeben, Hochwasser und Stürme, aber auch Bevölkerungsentwicklung, Migration, Disparitäten und Ressourcenkonflikte, prägen unsere Gesellschaft auf dem Planeten Erde in vielen Bereichen.“ So beginnt eine Darstellung eines Entwurfes für Bildungsstandards im Fach Geografie für den Mittleren Schulabschluss, der im März 2006 von der Deutschen Gesellschaft für Geographie vorgelegt worden ist. Diese Formulierung macht die Relevanz geowissenschaftlicher Themen nicht nur für Schule und Unterricht, sondern auch für die Gesellschaft und gezieltes gesellschaftliches und politisches Handeln deutlich. Dabei entwickeln Schule und Unterricht natürlich eine relevante Grundlage für die Entwicklung von Wissen und Verständnis von geowissenschaftlichen Problembereichen. Vor diesem Hintergrund ist die Berücksichtigung von geowissenschaftlichen Themen, insbesondere im Geografieunterricht, aber auch in anderen Fächern wie den naturwissenschaftlichen Fächern, konstitutiv. Die Sonderveröffentlichung des Geologischen Dienstes NRW zum Thema „Geologie macht Schule“ hilft dabei, Unterricht in einer Vielzahl von geowissenschaftlichen Themen interessanter und

fundierter zu gestalten. Die Themen reichen von dem Wissen, das die Schülerinnen und Schüler über die Geowissenschaften haben, die Bedeutung der Naturwissenschaften in diesem Zusammenhang bis hin zu einer Fülle von geowissenschaftlichen Themen wie Erdgeschichte, Erdbeben, Mineralien und Gesteinen, Steinkohle, Bodenentstehung, Fossilien und Wasser im Untergrund.

Ich bin sicher, dass die Sonderveröffentlichung viele interessierte Leserinnen und Leser finden und auf diese Weise zunächst die Kenntnisse und Kompetenzen bei den entsprechenden Lehrkräften und in der Folge bei den Schülerinnen und Schülern verbessern wird. Ich wünsche ihr eine große Verbreitung und eine intensive Auseinandersetzung bei allen Leserinnen und Lesern.



Barbara Sommer

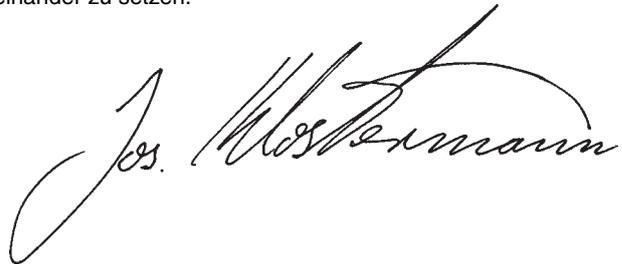


## Vorwort des Direktors

In einer gemeinsamen Diskussionsveranstaltung mit Lehrern und Geowissenschaftlern im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen entstand die Idee zu der vorliegenden Themensammlung. In kurzen, prägnanten Aufsätzen behandeln Geowissenschaftler Themen zu Mineralien, Gesteinen und Fossilien, Boden, Erdbeben und Riffen bis hin zu Rohstoffen und Grundwasser. Als Mitautoren haben darüber hinaus Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter namhafter Pädagogik-Institutionen und praxiserfahrene Lehrerinnen und Lehrer dafür gesorgt, dass die Themenauswahl pädagogisch ausgewogen und zielgerichtet ist.

Die Veröffentlichung richtet sich in erster Linie an Lehrerinnen und Lehrer, die hier Anregungen und Materialien für ihren Unterricht erhalten. Themenbezogene Literaturlisten sowie Hinweise auf weiterführende Informationen im Internet ergänzen die Beiträge, die überwiegend auch Arbeitsbögen für Schülerinnen und Schüler enthalten, die sofort im Unterricht eingesetzt werden können.

Die Kenntnis unserer Erde, ihrer Gestalt und ihrer Entstehung ist Voraussetzung für einen zukunftsorientierten Umgang mit unseren natürlichen Ressourcen. Diese Themensammlung soll Lehrer und Schüler ermuntern, sich mit den faszinierenden und hochaktuellen geologischen Themen im Unterricht auseinander zu setzen.



Prof. Dr. Josef Klostermann





## Inhaltsverzeichnis

### Was wissen unsere Schüler über Geowissenschaften?

#### Ergebnisse einer Schülerbefragung und Schlussfolgerungen

FRIEDRICH HÄFNER ..... 6

### Geowissenschaftlicher Unterricht in der Schule

SYLKE HLAWATSCH, KLAUS-HENNING HANSEN, MARKUS LÜCKEN, HORST BAYRHUBER ..... 12

### Marketing bei der Umsetzung geowissenschaftlicher Themen im Unterricht

STEFAN LEONARDS ..... 20

### Wo Erdgeschichte begreifbar wird

KLAUS STEUERWALD ..... 24

### Landschaftsentwicklung, Rohstoffentstehung und ihre Nutzung am Beispiel Raum Weilburg

PETER KÖNIGSHOF, WOLFGANG MÜNZINGER, DIETER NESBOR, KARL-JOSEF SABEL, PETER SLABY ..... 28

### Das Thema „Riffe“ im Schulunterricht

REINHOLD R. LEINFELDER, CHRISTA MAASSEN (†), HARTWIG PÜSCHEL ..... 32

### Erdbeben

BARBARA GROSS-DOHME, ROBERT STÜRTZ ..... 52

### Vom Rohstoff zum Produkt

PAUL U. GALBAS, GEORG MALLITZ, INGO SCHÄFER ..... 68

### Die Steinkohle – Sonnenenergie und Bodenschatz aus dem Erdaltertum

DIERK JUCH, PAUL U. GALBAS ..... 80

### Bodenkunde

GABRIELE LECHTENBÖHMER, VOLKER LEIST, GERHARD MILBERT, HERBERT RAHN ..... 94

### Grundwasser

MANFRED CAPLAN, BERNHARD MEYER ..... 110

### Paläontologie

MARTIN HISS, RÜDIGER STRITZKE, REINHILD VOLMERIG ..... 130

### Intelligent Design und Kreationismus

THOMAS VAN DEN BERG, MARTIN NEUKAMM, JÖRG SOPCZAK, RÜDIGER STRITZKE ..... 140



# Was wissen unsere Schüler über Geowissenschaften? Ergebnisse einer Schülerbefragung und Schlussfolgerungen

VON FRIEDRICH HÄFNER

## Kurzfassung:

Das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz hat in den letzten Jahren seine Aktivitäten auf dem Sektor Öffentlichkeitsarbeit erheblich verstärkt. Um entsprechende Vorhaben zielgruppengerecht planen zu können, wurde im Jahr 2002 eine Umfrage unter Schülerinnen und Schülern verschiedener Altersgruppen und Schularten durchgeführt. Ziel war es, herauszufinden, welche Lernvoraussetzungen beziehungsweise Vorkenntnisse bei den Schülern und einer Vergleichsgruppe junger Erwachsener im Fachbereich Geowissenschaften vorhanden sind. Die nicht überraschenden Ergebnisse belegen, dass die Kenntnisse über Gesteine, deren Entstehung, Beschaffenheit und Verwendung sowie über erdgeschichtliche Vorgänge und Epochen im Allgemeinen sehr gering sind. Etwas günstiger sieht die Situation in Wissensbereichen wie Vulkanismus, Erdbeben und Plattentektonik aus, die im Lehrplan der allgemeinbildenden Schulen verankert sind.

Es ist deshalb notwendig, die Aktivitäten auf verschiedenen Handlungsfeldern in Richtung Schule zu verstärken, wobei die Weiterbildung von Lehrkräften in Geowissenschaften in Verbindung mit der Bereitstellung qualifizierter Unterrichtsmaterialien als Hauptziel angesehen wird.

## 1 Einleitung

Geowissenschaftliche Problemstellungen spielen in zahlreichen aktuellen gesellschaftlichen Fragen, die auch in der Politik und den Medien diskutiert werden, eine wichtige, allerdings in der Öffentlichkeit kaum oder gar nicht wahrgenommene Rolle. Das ist umso bedauerlicher, als der „mündige Bürger“ wenigstens eine ungefähre Vorstellung von den Themen und Sachzusammenhängen haben sollte, zu denen er sich eine Meinung bildet.

Die Geowissenschaftler in Universitäten, staatlichen geologischen Diensten und anderen Einrichtungen entdecken zunehmend, dass sich hinsichtlich der Konfrontation einer breiten Öffentlichkeit mit geowissenschaftlichen Themen in den letzten Jahrzehnten ein erheblicher Nachholbedarf aufgestaut hat, den es spät, hoffentlich nicht zu spät, aufzulösen gilt. Langsam erkennt die vereinte Branche, dass von einer öffentlichen Wahrnehmung geowissenschaftlicher Themen nicht zuletzt auch die Existenz geowissenschaftlicher Einrichtungen bis hin zu Behörden und Universitätsinstituten abhängt.

Das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz hat deshalb seine Öffentlichkeitsarbeit in den letzten Jahren auf verschiedenen Ebenen erheblich verstärkt. Um sie zielgruppengerecht durchführen zu können, ist es notwendig, herauszufinden, ob man bei dem anzusprechenden Personenkreis bestimmte Kenntnisse voraussetzen kann oder nicht.

## Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Zur Konzeption des Fragebogens und der Befragung
- 3 Inhalt des Fragebogens
  - 3.1 Allgemeine Fragen
  - 3.2 Fachliche Fragen
- 4 Auswertung der Umfrage
- 5 Geowissenschaften in der Schule und in der Gesellschaft
- 6 Literatur

## Anschrift des Autors:

Dr. FRIEDRICH HÄFNER  
Landesamt für Geologie und Bergbau  
Rheinland-Pfalz  
Postfach 100255, 55133 Mainz

Eine interessante Zielgruppe bilden junge Menschen, die sich noch in der Schulausbildung befinden, und dies aus mehreren Gründen:

Junge Menschen

- sind aufgeschlossener für Neues als ältere Menschen
- werden die Zukunft unserer Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten entscheidend mitgestalten
- sind im Unterricht leichter erreichbar als in ihrer Freizeit, wo sich jede Informationsvermittlung im Wettbewerb mit kommerziellen Angeboten unter oft ungleichen Voraussetzungen behaupten muss

Deshalb wurde im Rahmen des Jahres der Geowissenschaften 2002 in Zusammenarbeit mit mehreren allgemeinbildenden Schulen eine Schülerbefragung durchgeführt, um herauszufinden, welche Voraussetzungen eine Informationsvermittlung berücksichtigen muss, die sich an junge Menschen richtet.

## 2 Zur Konzeption des Fragebogens und der Befragung

Bei der Konzeption des Fragebogens wurde die Absicht verfolgt, nach Möglichkeit verschiedene Teilgebiete der Geowissenschaften anzusprechen wie zum Beispiel allgemeine Kenntnisse über Gesteine, Minerale, Fossilien, Kenntnisse der regionalen geologischen Situation in Rheinland-Pfalz, Vorstellungen über geologische Epochen, Wissen über Zusammenhänge zwischen mineralischen Rohstoffen und Alltagsprodukten und über die Gewinnung von Rohstoffen im Umfeld des Schul- beziehungsweise Wohnortes der Befragten.

Der Fragebogen wurde in Kenntnis der einschlägigen Lehrpläne für die allgemeinbildenden Schulen des Landes Rheinland-Pfalz entwickelt. Mit der Auswahl der Fragen wurde jedoch keineswegs eine am Schulstoff orientierte Lernzielkontrolle intendiert. Vielmehr wurden Fakten ausgewählt, von denen nach zahlreichen Abstimmungen mit Fachkollegen und Lehrern angenommen wurde, dass sie zumindest als wünschenswerter Bestandteil eines Allgemeinwissens von der Entstehung und dem Aufbau der Erde sowie wichtigen geowissenschaftlichen Prozessen aufgefasst werden können. Der Umfang des Fragebogens wurde so angelegt, dass er in einer Unterrichtsstunde abgearbeitet werden konnte.

Als Jahrgangsstufen für die Befragung wurden die Klassen 7 (13 – 15 Jahre) und 11 (16 – 19 Jahre) gewählt. Eine Vergleichsgruppe junger Erwachsener umfasste Personen zwischen 20 und 30 Jahren, die mindestens über einen Realschulabschluss (10. Schuljahr) verfügen.

Die Befragung erhebt nicht den Anspruch, für die Gruppe der Befragten im wissenschaftlichen Sinn repräsentativ und erschöpfend zu sein. Sie sollte lediglich erkennen lassen, auf welchem voraussichtlichen Kenntnisstand bei der Konzeption von Unterrichtsmaterialien aufzubauen ist.

## 3 Inhalt des Fragebogens

### 3.1 Allgemeine Fragen

Zunächst wurden Fragen nach Alter und Geschlecht der Befragten sowie nach der Schulart gestellt, um die anonym ausgefüllten Fragebogen bestimmten Personengruppen zuordnen zu können.

Um die generelle Interessenlage der Befragten einschätzen zu können, schloss sich die Frage an:

**„Bist Du grundsätzlich an Geografie und anderen naturkundlichen Fächern stark interessiert / interessiert / weniger interessiert?“**

### 3.2 Fachliche Fragen

#### 1. Gib in Stichworten an, welche Begriffe Dir zur Entstehung und Verwendung folgender Gesteine einfallen und beschreibe diese in Stichworten.

Gesteine: Granit, Marmor, Gneis, Basalt, Schiefer, Bims.

*Es wurden Gesteine ausgewählt, deren Bezeichnung als im allgemeinen Sprachgebrauch weitgehend bekannt vorausgesetzt werden kann; die Gesteine Schiefer, Basalt und Bims werden bereits als „Hinweise zum Unterricht“ im Lehrplan der Grundschule von Rheinland-Pfalz genannt. Die Gesteine repräsentieren alle wichtigen genetischen Gruppen. Fast alle Gesteine kommen in Rheinland-Pfalz tatsächlich vor (Ausnahme Marmor).*

#### 2. Bei welchen beiden der nachstehenden 6 Begriffe handelt es sich um natürliche Gesteine?

Feuerstein, Steinzeug, Ziegelstein, Diamant, Nierenstein, Tonstein

#### 3. Produkte des täglichen Lebens enthalten bestimmte Minerale. Ordne je einem Mineral ein Produkt zu:

Minerale: Grafit, Quarz, Kupfer, Quecksilber, Rubin, Kaolin, Gips  
Produkte: Porzellan, Elektrokabel, Bleistifte, Glas, Thermometer, Schmuck, Mörtel

*Es wurden Minerale beziehungsweise Produkte benannt, die im allgemeinen Sprachgebrauch beziehungsweise im Alltag vorkommen.*

#### 4. Gibt es in Rheinland-Pfalz erloschene Vulkane?

*Sofern die Frage mit „ja“ beantwortet wurde, sollte ein Orts- oder Landschaftsname angegeben werden.*

**5. Wird in Rheinland-Pfalz Erdöl gefördert?**

Sofern die Frage mit „ja“ beantwortet wurde, sollte ein Orts- oder Landschaftsname angegeben werden.

**6. Gib an, wie viele Jahre vor unserer Zeitrechnung folgende Ereignisse stattfanden:**

- Beginn der Faltung des Rheinischen Schiefergebirges:
- Beginn der Absenkung des Oberrheingrabens:
- Ende der letzten Eiszeit:

Du brauchst nur die nachstehenden Zahlen richtig zuzuordnen: 350 Mio. Jahre – 12 000 Jahre – 50 Mio. Jahre.

**7. Was versteht man unter Plattentektonik (Kontinentaldrift)?**

Antwort als freier Text

**8. Nenne drei Länder, in denen häufiger Erdbeben vorkommen.**

Antwort als freier Text

**9. Wie heißt die geologische Epoche, an deren Ende die Dinosaurier ausgestorben sind?**

Wähle den richtigen Begriff aus: Muschelkalk / Kreide / Jura

**10. Ist Dir ein Steinbruch oder eine Grube in der Nähe (Umkreis 50 km) Deines Schulortes oder Wohnortes bekannt, in dem zurzeit Abbau stattfindet?**

- nein
- ja, nämlich .....
- Welches Gestein wird dort gewonnen?.....

**11. Bist Du selbst jemals in einem Steinbruch, einer Grube oder einem Bergwerk (auch Besucherbergwerk) gewesen?**

- nein
- ja, in.....
- dort wurde dieses Gestein/Erz/Mineral gewonnen:.....

**12. Zum Schluss etwas zum Raten:**

In Deutschland werden jedes Jahr große Mengen von Sand, Kies, Natursteinen, Kalk, Gips, Ton und anderes für Straßen- und Häuserbau sowie die Herstellung von Baustoffen aller Art benötigt.

Wenn man die benötigte Menge gleichmäßig auf alle Einwohner von Deutschland verteilen würde, wie viele Tonnen würde dann wohl jeder pro Jahr verbrauchen?

Gib hier Deine Schätzung an:.....Tonnen  
(Auswahl: 0,1 t; 2,0 t; 10,0 t; 20,0 t)

**4 Auswertung der Umfrage**

An der Umfrage beteiligten sich eine Integrierte Gesamtschule, vier Gymnasien, eine Realschule und zwei Hauptschulen mit insgesamt 15 Klassen beziehungsweise Kursen und 310 Schülern (Abb. 1). Im Vergleich mit der schulartspezifischen Verteilung der Schüler in Rheinland-Pfalz nach Angaben des Statistischen Landesamtes waren bei der Umfrage die Schüler von Hauptschulen (einschl. Regionalschulen) und Realschulen leicht bis mittelstark unterrepräsentiert, die Schüler von Gymnasien und Integrierten Gesamtschulen dementsprechend überrepräsentiert. Die Vergleichsgruppe junger Erwachsener umfasste 31 Personen. Von den abgegebenen 341 Fragebögen waren 310 verwertbar.

An der Umfrage beteiligten sich 50,9 % Personen männlichen und 49,1 % weiblichen Geschlechts. Die Altersstruktur verteilte sich wie folgt: 13 – 15 Jahre: 58 %, 16 – 19 Jahre: 32 % und 20 – 30 Jahre: 10 %.

Ca. 10 % der Befragten bekundeten vorab ein starkes, 60 % ein mittleres und 30 % ein geringes Interesse an naturkundlichen Fächern.

Die gesamte im Fragebogen erreichbare Punktzahl betrug 44. Die Auswertung der Umfrage zeigte insgesamt keine überraschenden Auffälligkeiten. Die Ergebnisse im Einzelnen im Überblick:

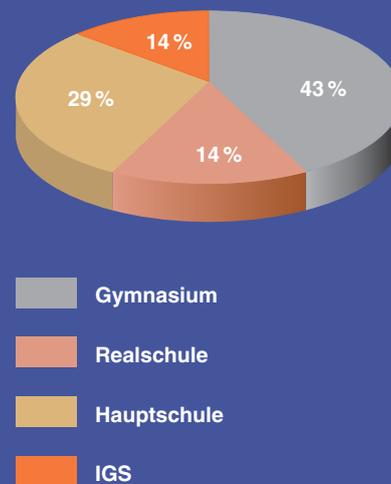


Abb. 1: Teilnehmer nach Schularten: Die Abbildung zeigt die prozentuale Verteilung der Schüler auf die teilnehmenden Schularten.

Die durchschnittlich erreichte Punktzahl lag bei 18 (40,9 %). Die von weiblichen und männlichen Teilnehmern erreichten durchschnittlichen Punktzahlen unterschieden sich nicht signifikant.

Ältere Teilnehmer erzielten im Durchschnitt bessere Ergebnisse als jüngere; die Gruppe junger Erwachsener übertraf jedoch nicht die Schüler.

Teilnehmer, die vorab ein „starkes Interesse an naturkundlichen Fächern“ bekundet hatten, erzielten im Durchschnitt keine besseren Ergebnisse als weniger interessierte.

Fragen, die mit dem Schulstoff direkt in Verbindung standen (Vulkanismus, Plattentektonik, Erdbeben), wurden besser beantwortet als andere.

Fragen mit vorgegebenen Antworten wurden besser beantwortet als solche, die als freier Text zu formulieren waren.

Am düftigsten waren die Antworten zur Frage 1 (Gesteine); mit Abstand folgten die Fragen 7 und 10 sowie 11 und 12 (regionales Umfeld).

Offenkundig sind bei den Befragten nur äußerst geringe Kenntnisse über die Entstehung, Beschaffenheit und Verwendung von Gesteinen vorhanden. Selbst über Gesteinsarten, die im allgemeinen Sprachgebrauch gängig sind (Granit, Schiefer, Marmor) bestehen, wenn überhaupt, nur nebulöse Vorstellungen.

gen. Noch am ehesten wurden Gesteinsnamen mit bestimmten Verwendungen in Beziehung gebracht (Marmor im Bad, Schiefer auf dem Dach). Aussehen und Eigenschaften der Gesteine sind ebenso weitgehend unbekannt (typische Aussage: Marmor ist teuer) wie deren Entstehung (Ausnahme: Basalt ist vulkanisches Gestein). Diese Ergebnisse decken sich mit einer Untersuchung von Schülerinteressen am „System Erde“, die von BAYRHUBER et al. (2002) durchgeführt wurde. Danach wecken Gesteine und Mineralien das geringste Interesse, Erdbeben ein relativ hohes. Ein von den gleichen Autoren durchgeführter Assoziationstest mit Schülern der Jahrgangsstufe 11 bis 13 zeigte, dass detaillierte Kenntnisse über Struktur und Dynamik der Erde sowie eine Vorstellung über geologische Zeitdimensionen nicht vorhanden sind.

Deutlich mehr als die Hälfte aller Befragten wusste keinen Steinbruch oder Grube in der Umgebung ihres Wohnortes zu nennen (Abb. 2). Von der übrigen Gruppe konnte nur eine Minderheit angeben, welches Gestein oder Mineral in einem nahe gelegenen Steinbruch abgebaut wird.

Etwas mehr als die Hälfte der Befragten hat überhaupt niemals einen Steinbruch oder eine Grube besucht (Abb. 3). Aus den Antworten geht hervor, dass diese Besuche überwiegend im Rahmen von Schulausflügen in heimischen und bei Urlaubsfahrten in anderen deutschen und ausländischen Schaubergwerken stattfanden.

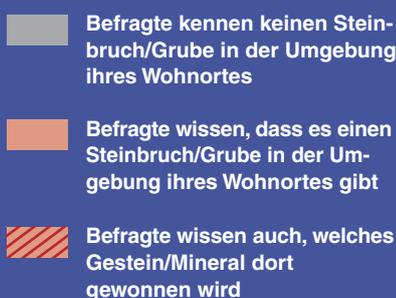
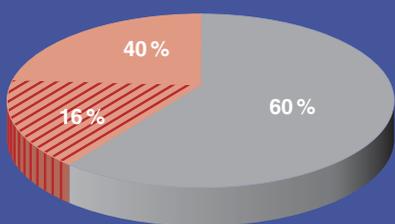


Abb. 2: Umfrageergebnis zur Kenntnis der Schüler über einen Steinbruch oder eine Grube in der Umgebung ihres Wohnortes

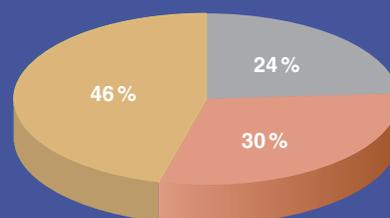


Abb. 3: Umfrageergebnis zum Besuch eines Steinbruchs oder einer Besuchergrube durch Schüler

## 5 Geowissenschaften in der Schule und in der Gesellschaft

Der Versuch, geowissenschaftliche Themen in die Schule zu bringen, ist nicht neu, wie BÄHR & WENZEL (2002) in einem Essay ausführen. Sie verweisen darauf, dass unter anderen JAKOBSHAGEN (1971), FÜCHTBAUER (1976) und GERSEMANN (1998) sich bereits mit der Thematik auseinandergesetzt haben. In den sechziger und siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts richteten sich die Bemühungen auf eine Einführung der Geologie als eigenständiges, verpflichtendes Schulfach oder Wahlfach mindestens im Rahmen der gymnasialen Ausbildung. Bereits damals waren diese Überlegungen übrigens mit dem Wunsch gekoppelt, beschäftigungswirksame Effekte für Geowissenschaftler als Seiteneinsteiger im Lehrberuf auszulösen.

Die gegenwärtigen Hoffnungen sind aber eher auf eine Stärkung geowissenschaftlicher Themen innerhalb des Geografieunterrichts gerichtet (BÄHR & WENZEL 2002). Die damit verfolgte Linie scheint wesentlich eher realisierbar zu sein als die frühere.

Geradezu euphorisch schwärmen BÄHR & WENZEL davon, dass sich für alle Altersstufen interessante, lohnende Themen finden und in kompetent angeleiteter Arbeit in Kursen, Projekten und auf Tagesexkursionen eine Fülle wissenschaftlicher Prinzipien, Methoden und Arbeitsweisen studieren ließen. Richtig ist, dass das Verständnis geologischer Prozesse Kenntnisse in mehreren naturwissenschaftlichen Disziplinen erfordert und die Geowissenschaften sich deshalb besonders eignen, um komplexe Vorgänge fächerübergreifend zu behandeln. BÄHR & WENZEL kritisieren, dass die Ansprüche geowissenschaftlicher Fachvertreter außerhalb der Schule zu sehr von fachsystematischen und faktenzentrierten Perspektiven und Wünschen bestimmt seien und stellen den allgemeinbildenden und wissenschaftspropädeutischen Auftrag der Schule in den Vordergrund. Im Alltag unserer Schulen spielt diese Diskussion, das muss man nüchtern feststellen, im Allgemeinen keine entscheidende Rolle. Durch die überwiegend gesellschaftswissenschaftliche Ausbildung der Geografielehrer und Orientierung der Schulbücher sowie die relativ begrenzten Themen mit geowissenschaftlicher Ausrichtung in den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schulen sind geowissenschaftliche Themen unterrepräsentiert. Der große Wurf ist daher eher ein Fern- als ein Nahziel.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Rohstoffe des Bund-Länder-Ausschusses Bodenforschung hatte 2003 im Rahmen eines „Maßnahmenkataloges Rohstoffsicherung“ unter anderem vorgeschlagen, verstärkt geowissenschaftliche und rohstoffwirtschaftliche Sachverhalte in die Lehrangebote allgemeinbildender Schulen aufzunehmen. WELLMER & KOSINOWSKI (2004) haben angekündigt, dass die Geounion/Alfred-Wegener-Stiftung die Vorschläge aufgreifen und sich in Kürze mit einem Aufruf an die Landesregierungen wenden wird, um dies zu erreichen.

Doch reicht diese Anregung aus? Neben der Veränderung bestehender Lehrpläne allgemeinbildender Schularten kommen als Handlungsfelder die Überarbeitung vorhandener oder Herausgabe neuer Schulbücher und anderer Unterrichtsmaterialien, die Weiterbildung beziehungsweise Motivation von Lehrkräften sowie die Förderung außerschulischer Bildungs- und Informationseinrichtungen in Betracht.

Beispielhaft wird nachstehend kurz auf die Lehrplansituation in Rheinland-Pfalz eingegangen. Der Lehrplan Sachunterricht in der Grundschule enthält verbindliche „Ziele“ und unverbindliche, orientierende „Hinweise“ zu deren Konkretisierung. Die Stichworte „Böden und Gesteine“, „Gewässerformen“ haben im Ziel „Landschaftsbausteine des Heimatraumes“ in der 3. Jahrgangsstufe nur hinweisenden Charakter. In der 4. Jahrgangsstufe werden die „wirkenden Kräfte in der Naturlandschaft“, wie zum Beispiel Erosion, Verwitterung, Vulkanismus und Gesteinsbildung, sowie „Landschaftsbausteine als Unterrichtsziele“ definiert und unter anderem die Bims- und Keramikindustrie, die Behandlung von Gesteins- und Bodenarten als Themen mit Geobezug als Hinweise genannt.

Die Lehrpläne für das Fach Erdkunde in den Jahrgangsstufen 5 und 6 sind in Rheinland-Pfalz für alle allgemeinbildenden Schularten identisch. Mit einem Zeitrichtwert von immerhin 20 Stunden soll unter dem Leitthema „Rohstoffe und Energiequellen in Europa“ ein Überblick über die Gewinnung und Nutzung von Rohstoffen und Energiequellen sowie die Versorgung mit Rohstoffen und Energie an einem Industriestandort gegeben werden. Als mögliches Raumbeispiel wird „Bims in der Eifel“ genannt. Der Lehrplan für die Jahrgangsstufe 8 in Gymnasien nennt die Veränderung von Räumen durch die Gewinnung von Bodenschätzen oder durch Industrieansiedlung sowie die Auswirkungen von Eingriffen in den Naturhaushalt (u. a. die Rohstoffversorgung) als Themen.

Im Leistungsfach Erdkunde in Jahrgangsstufe 11 der Gymnasien spielen im Rahmen des Teilthemas „Die Naturlandschaft als Geofaktorensystem“ die Behandlung morphogenetischer Prozesse am Beispiel des Schiefergebirges oder der Vulkangebiete sowie der Wasserhaushalt und die Böden eine Rolle.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die georelevanten Themen auf die Jahrgangsstufen (3), 4, 6, 8 und 11 beziehen. Ob dieses Lehrplanangebot formal ausreichend ist, kann derzeit nicht abschließend beurteilt werden, da die geobezogenen Themen der Lehrpläne im Rahmen der gestalterischen Freiheit der Lehrkräfte bisher bei weitem nicht ausgeschöpft werden.

Die Verbesserung von Schulbüchern und Unterrichtsmaterialien ist sicher notwendig und anzustreben. Hierbei wird ein besonderer Bedarf in der Entwicklung von abgeschlossenen Un-

terrichtseinheiten mit regionalem Bezug gesehen. Dadurch wird es möglich, Sachverhalte im Lebensumfeld der Schüler nachzuvollziehen und zu überprüfen (Stichwort: außerschulischer Lernort). Mit der Entwicklung von Unterrichtseinheiten befasste sich auch das Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften in Kiel (IPN) in einem Projekt „Forschungsdialog: System Erde“. Die Herausgabe einer CD mit Unterrichtsbeispielen und Lehrerinformationen erfolgte 2005.

Bei der Entwicklung von Unterrichtseinheiten ist auch zu beachten, dass Geowissenschaftler/-innen in ihrer erdrückenden Mehrheit nicht mit didaktischen und methodischen Fragen des Unterrichts vertraut sind. Sie brauchen sich, wie GERSEMANN (1998) ausführt, „nicht einzubilden, die Planung einer Unterrichtseinheit sei ein Kinderspiel“. Es ist deshalb notwendig, dass Geowissenschaftler/-innen zusammen mit erfahrenen Lehrkräften Konzepte entwickeln.

Die Weiterbildung und die Sensibilisierung von Lehrkräften für Geothemen ist derzeit vielleicht der wichtigste Schritt. Nur wenn es gelingt, Lehrkräfte davon zu überzeugen, dass Geothemen wichtige Themen sind und ihnen kostengünstige (oder besser: kostenlose) Fortbildungsmöglichkeiten eröffnet werden, kann im Verbund mit qualitativ hochwertigen Unterrichtshilfen eine Stärkung des geowissenschaftlichen Lernangebots erwartet werden. Es wird deshalb notwendig sein, dass sich auch Unternehmen aus dem Umfeld der Geowissenschaften stärker als bisher ideell und finanziell engagieren, um im Verbund mit schulischen Einrichtungen entsprechende Projekte zu fördern.

Die Einrichtung und Förderung außerschulischer Bildungs- und Informationseinrichtungen ist ein weiteres Handlungsfeld, das geeignet ist, nicht nur Schüler, sondern auch Erwachsene anzusprechen. Solche Einrichtungen können Naturlehrpfade oder Museen mit Geobezug sein, aber auch Schaubergwerke oder erlebnishaft gestaltete Freizeiteinrichtungen mit nicht ausschließlich naturkundlicher Ausrichtung. Es ist wichtig, dass nicht nur die Teile der Bevölkerung angesprochen werden, die bereits eine Begeisterung für die Natur mitbringen, sondern auch Menschen, deren Interessenlage eher anderweitig ausgerichtet ist. Deshalb können Geothemen sinnvoll mit den Bereichen Geschichte, speziell auch Industriegeschichte, Kunst, Archäologie, Biologie und anderen kombiniert werden. Die in den letzten Jahren an Dynamik gewinnende Entwicklung des Geotourismus mit seinen vielfältigen Produkten liefert hierzu einen idealen Ansatz.

## 6 Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Rohstoffe des Bund-Länder-Ausschusses Bodenforschung (2003): Maßnahmenkatalog Rohstoffsicherung. – Mainz. – [unveröffentlicht]
- BÄHR; WENZEL (2002): Geologie in der Schule – Aufgaben und Chancen. – In: Tagungsband Sediment 2002, Frankfurt am Main – Darmstadt, 29.5. – 31.5.2002, Frankfurt/Main.
- BAYRHUBER, H.; BÜNDER, W.; EULER, M.; HASSENPFUG, W.; HILDEBRANDT, K.; HLAWATSCH, S.; LUCIUS, E. R.; RAFFELSIEFER, M.; SIEMER, F. (2002): Didaktik Analysis for the System Earth Project. The analytical foundation of the System Earth Project. In IOSTE, 10th Symposium Proceedings, Vol. 1, (pp. 301 – 310). Sao Paulo: IOSTE. – (Deutsch im Internet: [www.systemerde.ipn.uni-kiel.de](http://www.systemerde.ipn.uni-kiel.de))
- GERSEMANN, J. (1998): Was Hänschen nicht lernt ... Überlegungen zum Stellenwert der Geologie im öffentlichen Bewußtsein. – *Nachr. dt. geol. Ges.*, **64**: 30 – 32; Hannover.
- FÜCHTBAUER, H. (1976): Geologie und Mineralogie in der Schule. – *Nachr. dt. geol. Ges.*, **15**: 55 – 56; Hannover.
- JACOBSHAGEN, V. (1971): Geologie im Schul-Unterricht. – *Nachr. dt. geol. Ges.*, **3**: 45 – 46; Hannover.
- Kultusministerium Rheinland-Pfalz (o. J.): Lehrplan Sachunterricht Grundschule. – Mainz.
- WELLMER, F. W.; KOSINOWSKI, M. (2004): Das geht uns alle an! – Rohstoffgewinnung und Nachhaltigkeit für Generationen. – In: *Kies + Sand – Gesteinsperspektiven*, **2/2004**: 54 – 56, Iffezheim.

## Internet

- [www.erdkunde.bildung-rp.de](http://www.erdkunde.bildung-rp.de): Lehrpläne für Hauptschule, Realschule, Gymnasium im Fach Erdkunde in Rheinland-Pfalz.
- [www.systemerde.ipn.uni-kiel.de](http://www.systemerde.ipn.uni-kiel.de): Projekt System Erde. Ein Projekt des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel.

## Geowissenschaftlicher Unterricht in der Schule

### Exemplarisch erläutert anhand der Materialien des Projektes „Forschungsdialog: System Erde“ für die Sekundarstufe II

VON SYLKE HLAWATSCH, KLAUS-HENNING HANSEN, MARKUS LÜCKEN, HORST BAYRHUBER

#### Zusammenfassung:

Um geowissenschaftliche Inhalte besser im deutschen Schulunterricht zu verankern, wurde am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel das BMBF-Projekt „Forschungsdialog: System Erde“ durchgeführt. Fachdidaktiker/-innen, Geowissenschaftler/-innen und Lehrkräfte der Naturwissenschaften und der Geografie erarbeiteten gemeinsam ein Konzept für einen fachübergreifenden beziehungsweise Fächer verbindenden geowissenschaftlichen Schulunterricht und entsprechende Materialien. Für die Sekundarstufe II wurden elf Module mit Sachinformationen, didaktischen Informationen und Unterrichtsmaterialien entwickelt und auf der CD-ROM „System Erde: Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II“ zusammengestellt. In diesem Beitrag werden die Einsatzmöglichkeiten der Materialien für einzelne Unterrichtsstunden zu geowissenschaftlichen Themen, für längere Unterrichtseinheiten oder für Projekt-, Seminar- und andere Spezialkurse erläutert.

#### 1 Einleitung

Geowissenschaftliche Themen bieten vielfältige Bezüge zum naturwissenschaftlichen und geografischen Unterricht und zeichnen sich durch eine hohe gesellschaftliche Relevanz aus. Deshalb sind sie für den Schulunterricht bedeutsam.

#### Geowissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen bieten Chancen für Schulunterricht

Geowissenschaftler/-innen erforschen den Planeten Erde. Dabei befassen sie sich mit gesellschaftsrelevanten Aspekten wie der Erschließung von Energie- und Rohstoffressourcen oder der Entwicklung von Vorhersagemöglichkeiten für Erdbeben, Tsunamis, Vulkanausbrüche und den Klimawandel. Hierfür betrachten sie den Planeten Erde als dynamisches System (Abb. 1), das sich durch das Zusammenwirken der übergeordneten Teilsysteme Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre und Biosphäre entwickelt. Die Atmosphäre ist die Gashölle, von der die Erde nahezu von Anfang an umgeben war. Der Begriff Hydrosphäre beschreibt die Wasserhölle der Erde, die aus allem vorhandenen Wasser besteht, das in offenen Gewässern, im Grundwasser, im Eis gebunden und in der Atmosphäre vorkommt. Als Lithosphäre bezeichnen wir die Erdkruste und einen Teil des oberen Erdmantels. Beide bestehen aus Gesteinen und bilden eine feste Einheit. Die Biosphäre entwickelte sich aus dem Zusammenspiel der Atmosphäre, der Hydro-

#### Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Das Projekt  
„Forschungsdialog: System Erde“
- 3 Ausblick
- 4 Literatur

#### Anschriften der Autoren:

Dr. SYLKE HLAWATSCH,  
Dr. KLAUS-HENNING HANSEN,  
Dr. MARKUS LÜCKEN,  
Prof. Dr. HORST BAYRHUBER  
Leibniz-Institut für die Pädagogik der  
Naturwissenschaften, an der  
Christian-Albrechts-Universität  
Olshausenstr. 62, 24098 Kiel  
E-Mail: hlawatsch@ipn.uni-kiel.de

sphäre und der Lithosphäre. Sie besteht aus den bakterienartigen Archaea, Bakterien, Einzellern, Pilzen, Pflanzen und Tieren. Angetrieben wird das System Erde durch die Sonnenenergie und durch die Wärme im Erdinneren.

Die Geowissenschaften unterscheiden sich von anderen Bezugsdisziplinen für Unterricht in der Schule, wie zum Beispiel der Biologie, der Chemie oder der Physik, weil sie prinzipiell interdisziplinär arbeiten. So umfassen sie über 15 Teildisziplinen (u. a. Geophysik, Geochemie, Meteorologie, Geologie, Geografie, Paläontologie, Mineralogie, Bodenkunde, Hydrogeologie, Meereskunde), in denen der Planet Erde unter Verwendung naturwissenschaftlicher Methoden erforscht wird. Außerdem werden spezielle Aspekte auch von Biologen/-innen, Chemikern/-innen, Physikern/-innen oder Informatikern/-innen untersucht.

Um die Auswirkungen gesellschafts- oder umweltpolitischer beziehungsweise ökonomischer Maßnahmen einschätzen zu können, führen Geowissenschaftler/-innen Arbeitsergebnisse der Subdisziplinen in computergestützten Modellen zusammen. So hat der Klimabeirat der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) die Forschungsergebnisse von mehr als 1000 Klimaexperten/-innen zusammengetragen. Darunter sind Messwerte zum Anstieg der globalen Kohlenstoffdioxidkonzentration und der mittleren Tem-

peratur der Erde oder zu den Veränderungen der Niederschläge und dem Gletscherschwund. Mit diesen Daten wurde ermittelt, wie sich eine eher nach ökonomischen Kriterien gesteuerte Entwicklung im Vergleich zu einer eher umweltorientierten Entwicklung des Planeten Erde auf zukünftige Temperaturen in der Atmosphäre auswirken könnte (Abb. 2).

Mit solchen Arbeiten liefern die Geowissenschaften wichtige Erkenntnisse für eine Erarbeitung von Strategien für eine nachhaltige Entwicklung des Planeten Erde im Sinne der Agenda 21<sup>1</sup>. Dies ist ein Beispiel dafür, wie Geowissenschaftler/-innen Forschungsergebnisse der zahlreichen geowissenschaftlichen Subdisziplinen für ein umfassendes Verständnis von Phänomenen des Planeten Erde zusammenführen. Diese Denk- und Arbeitsweisen bieten einzigartige Möglichkeiten für den fachübergreifenden beziehungsweise Fächer verbindenden Unterricht, der in vielen deutschen Lehrplänen gefordert wird. Sie sind ein Vorbild dafür, wie auch im Schulunterricht disziplinär erworbenes Fachwissen vernetzt und so erweitert werden kann, dass Schüler/-innen aktuelle – in den Medien beschriebene – Probleme des Planeten Erde naturwissenschaftlich fundiert nachvollziehen und einen rationalen Diskurs darüber führen können.

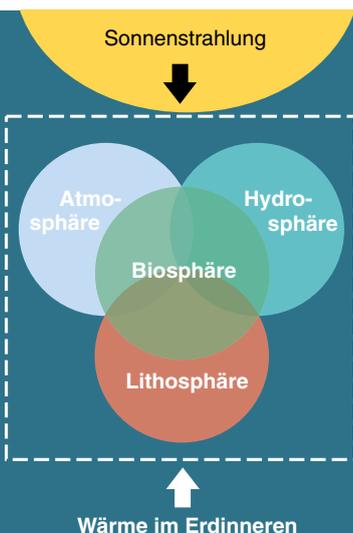


Abb. 1: Das System Erde besteht aus den übergeordneten Teilsystemen Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre. Angetrieben wird es durch die Sonnenenergie und durch die Wärmeenergie im Innern der Erde.

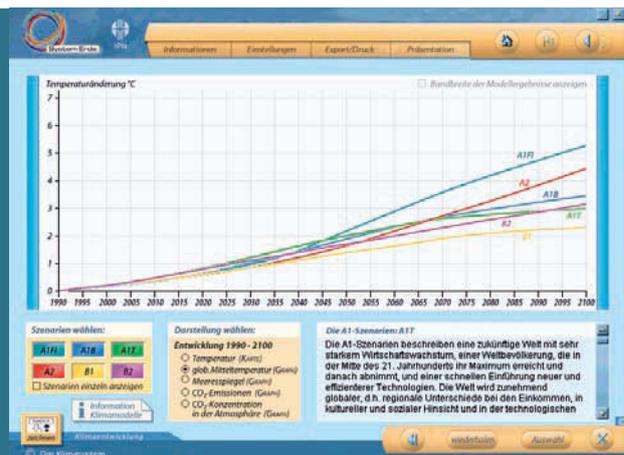


Abb. 2: Das interaktive, computergestützte Material „Klimasystem“ der CD-ROM „System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II“ (BAYRHUBER & HLAWATSCH 2005) enthält Ergebnisse von Modellberechnungen, die für das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) durchgeführt und vom Deutschen Klimarechenzentrum zur Verfügung gestellt wurden. Dargestellt ist die Temperaturentwicklung bis zum Jahre 2100 anhand von sechs verschiedenen Szenarien, die eine eher ökonomisch orientierte (A-Szenarien) beziehungsweise eine eher umweltorientierte (B-Szenarien) Entwicklung beschreiben.

### Geowissenschaftliche Inhalte sind selten Gegenstand deutschen Schulunterrichts

In Deutschland waren geowissenschaftliche Themen bisher selten Gegenstand des Schulunterrichts (BAYRHUBER et al. 2002 a). Naturwissenschaftlich ausgerichtete geowissenschaftliche Themen sind kein Inhalt für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften und auch das Geografielehramtsstudium bietet nur in den wenigen Veranstaltungen für physische Geografie Raum für diese Themen. Oftmals gibt es außerdem schulorganisatorische Probleme bei der Einbeziehung interdisziplinärer geowissenschaftlicher Inhalte in den Unterricht (HANSEN & HLAWATSCH 2005), unter anderem da der Unterricht in der Sekundarstufe II fachgebunden und in der Regel in 45 Minuteneinheiten stattfindet. So verwundert es nicht, wenn empirische Studien auf grundsätzliche Verständnislücken von Schülern/-innen in diesem Bereich hinweisen. HANSEN & HLAWATSCH (2003) zeigten zum Beispiel, dass Schüler/-innen auf die Frage „Was stellen Sie sich unter dem System Erde vor?“ zwar Begriffe aus einzelnen Fachdisziplinen nennen, vor allem aus der Biologie, nicht aber aus allen übergeordneten Teilsystemen des Systems Erde (Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre). Alle vier Sphären tragen aber gleichermaßen zur Entwicklung des Planeten Erde bei. HILDEBRANDT & BAYRHUBER (2002) sowie BAYRHUBER et al. (2002 b) untersuchten exemplarisch die Schülervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf. Sie zeigten, dass die Schüler/-innen nicht in der Lage sind, die relevanten Elemente des Kohlenstoffkreislaufs zu identifizieren oder die globale mengenmäßige Verteilung in den verschiedenen Reservoirs einzuschätzen. Der Transport von Kohlenstoff durch die Sphären wird nicht als Kreisprozess, sondern linear beschrieben. Die Bedeutung der Lithosphäre als größter Kohlenstoffspeicher wird nicht erkannt. Ein grundlegendes Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs ist aber notwendig, um den Klimawandel zu beurteilen. Auch HÄFNER (S. 6 – 11 in diesem Heft) verweist auf einen geringen Kenntnisstand bezüglich der Lithosphäre. Er argumentiert, dass „offenkundig bei den Befragten nur äußerst geringe Kenntnisse über die Entstehung, Beschaffung und Verwendung von Gesteinen vorhanden sind“. Nun sind Gesteine aber die Rohstoffe für die vielfältigen Produkte, die wir tagtäglich verwenden. Diese ausgewählten Beispiele zeigen, dass der derzeitige Schulunterricht der großen und weiterhin wachsenden Bedeutung der Geowissenschaften für die Gesellschaft nicht gerecht wird. Dies wiegt besonders schwer, da die Vereinten Nationen für die Jahre 2005 bis 2014 die Weltdekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgerufen haben.

Um geowissenschaftliche Inhalte besser im Schulunterricht zu verankern, wurde im Jahr 2000 das Projekt „Forschungsdialog: System Erde“<sup>2</sup> an der Schnittstelle zwischen geowissenschaftlicher Forschung und der Vermittlung der Ergebnisse in Schule und Öffentlichkeit angesiedelt.

### 2 Das Projekt „Forschungsdialog: System Erde“

Ziel des Projektes war es, Schülern/-innen unter Einbeziehung aktueller Forschungsergebnisse ein umfassendes naturwissenschaftliches Basiswissen und ein Grundverständnis des komplexen Systems Erde zu vermitteln sowie ihnen einen rationalen Diskurs über aktuelle geowissenschaftliche Probleme zu ermöglichen. Im Mittelpunkt des über fünf Jahre hin angelegten Projektes stand die Entwicklung und Erprobung von Unterrichtskonzepten und -materialien für einen systematischen, fachübergreifenden beziehungsweise Fächer verbindenden Unterricht in der gymnasialen Oberstufe sowie für den Sachunterricht in der Grundschule. Die Arbeit erfolgte in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe aus Geowissenschaftlern/-innen, Fachdidaktikern/-innen und Lehrkräften der Naturwissenschaften und der Geografie.

Die im Projekt entstandenen Unterrichtsmaterialien greifen reale Probleme auf und fördern dadurch das Interesse an den Naturwissenschaften. Sie unterstützen handlungsorientiertes, selbst organisiertes und computergestütztes Lernen. Gleichzeitig wird eine Ausgangsbasis für ein lebenslanges Lernen geschaffen. Bedeutsam sind sie auch im Hinblick auf die Standards für den mittleren Bildungsabschluss in den Fächern Biologie, Chemie, Geografie und Physik (Sekundarstufe I) (KLIEME, E. 2003, Kultusministerkonferenz 2004, Deutsche Gesellschaft für Geographie 2006). Dort wird der Systembegriff als Basiskonzept zur Strukturierung des Kompetenzbereichs Fachwissen genannt. Das Konzept „Forschungsdialog: System Erde“ berücksichtigt diese Basiskonzepte und fördert darüber hinaus Systemkompetenz. Diese Kompetenz ermöglicht die Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige Entwicklung des Systems Erde im Sinne der Agenda 21. Dies gilt besonders dann, wenn sie in einem interdisziplinären geowissenschaftlichen Kontext entwickelt wurde.

### Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II

Die Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II sind modular aufgebaut und können flexibel eingesetzt werden. Sie eignen sich auch für Fächer verbindenden Unterricht und interdisziplinär ausgerichtete Lernveranstaltungen wie zum Beispiel Projekt-, Seminar- oder Methodenkurse. Diese sind in den meisten bundesdeutschen Lehrplänen verankert. Das Konzept „Forschungsdialog: System Erde“ berücksichtigt die bestehenden Strukturen. So lassen sich damit einzelne Stunden oder auch mehrstündige Unterrichtsphasen gestalten.

Elf Module zu geowissenschaftlichen Themen wurden für die Sekundarstufe II entwickelt (vgl. Abb. 3 und 4). Jedes Modul besteht aus Sachinformationen, didaktischen Informationen und Unterrichtsmaterialien, die für den Unterricht in den Fächern Biologie, Chemie, Geografie und Physik geeignet sind. Als Papierversion umfassen diese Module etwa 1200 Seiten. Für die bundesweite Verteilung wurden sie auf der CD-ROM „System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II“ (BAYRHUBER & HLAWATSCH 2005) zusammengestellt. Eine Suchfunktion erlaubt eine gezielte Suche nach Materialien zu speziellen geowissenschaftlichen Themen. Ein Teil kann als Papierversion ausgedruckt und für den Einsatz im Klassenraum vervielfältigt werden, während ein anderer für computergestützten Unterricht geeignet ist.

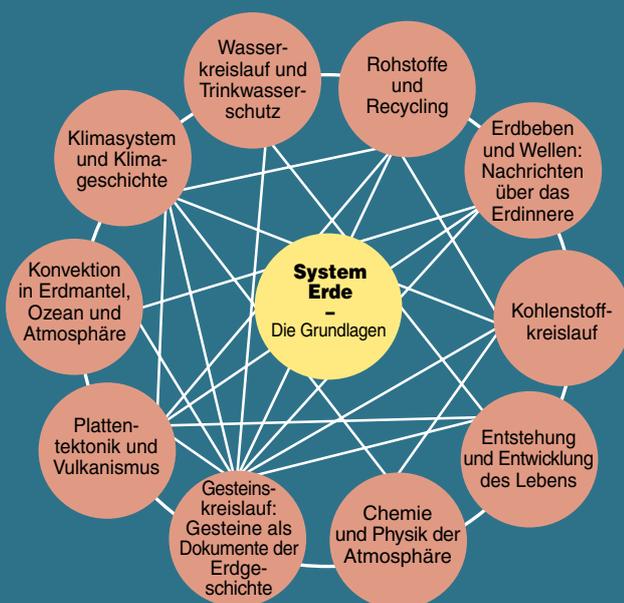


Abb. 3: Die CD-ROM „System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II“ bietet elf Module mit Sachinformationen, didaktischen Informationen und Unterrichtsmaterialien.

### Computergestützter Unterricht:

Für den computergestützten Unterricht wird eine Schülerversion (ohne didaktische Informationen und Lösungsbögen) auf den Schulrechnern gespeichert. Zur Verfügung stehen dann Sachinformationen im Hypertextformat sowie Fotos, Grafiken, Animationen, Simulationen und andere Medien. Hierzu gehören auch Simulationen von geowissenschaftlichen Experimenten (Plattentektonik) und Modellen (u. a. Klimawandel, Konvektion im Erdmantel), die auf der Basis von Forschungsergebnissen entwickelt wurden und von den Schülern/-innen interaktiv bedient werden können. Speziell an den Geografieunterricht richtet sich ein simuliertes Geografisches Informationssystem (GIS), das ohne spezielle GIS-Kenntnisse interaktiv bedient werden kann. Es wurde aus einem Satz Daten von Vulkanausbrüchen und Erdbeben erstellt, der auf der CD-ROM vorhanden ist und zur weiteren Bearbeitung in einem GIS verwendet werden kann. Ein weiteres computergestütztes interaktives Material steht für die aktive Vernetzung des Erlernten zur Verfügung. Dieses „Zeichentool“ ermöglicht die interaktive Entwicklung von Stofffluss- und Wirkungsdiagrammen. Die Arbeitsergebnisse können gespeichert und ständig überarbeitet und ergänzt werden.



Abb. 4: Auswahlscreen der CD-ROM „System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II“. Die Texte aller elf Module können über das Inhaltsfenster (oben links) angesteuert werden. Im Bereich „Sachinformation“ werden zusätzlich zum Text weitere Medien (Fotos, Interaktionen, Animationen usw.) angeboten. In der oberen Menüleiste bieten die Pull-down-Menüs „Informationen“, „Einstellungen“, „Export/Druck“ und „Präsentation“ weitere Funktionen wie eine Such-, eine Lesezeichen- und die Präsentationsfunktion. Alle kursiven Begriffe werden im interaktiven Glossar erklärt, alle unterstrichenen Begriffe sind mit weiterführenden Texten verlinkt.



Schritt 3: Das computergestützte Quiz „Sphärenralley“ zeigt den Schüler/-innen – durch Fragen geleitet – die Entwicklung der Erde vom Urknall bis heute. Vorwissen zum System Erde und den Sphären wird gefestigt und vertieft.

Schritt 4: Die Schüler/-innen erhalten die Gelegenheit, ihre im 1. Schritt entwickelten Concept Maps zu ergänzen.

Schritt 5: Auf Basis der eigenen Concept Map nehmen sie eine Systemanalyse vor, indem sie die verwendeten Begriffe den Teilsystemen Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre zuordnen (vgl. Abb. 5). Außerdem wird die Grenze des Systems Erde eingetragen. Mit der Sonnenenergie und der Wärme im Erdinneren werden zwei Antriebsquellen für das System Erde identifiziert.

Schritt 6: Schließlich wählen die Schüler/-innen je ein Beispiel für einen Stofffluss und für eine Wirkungsbeziehung aus der Concept Map aus und markieren diese zum Beispiel farbig. Die Concept Map dient dem nachfolgenden Unterricht als inhaltliches Organisationsschema. Die Schüler/-innen erhalten anschließend Gelegenheit, in Einzelarbeit ihr eigenes Systemmodell zu erstellen, das sie selbstständig und regelmäßig mit Erkenntnissen aus dem folgenden Unterricht anreichern. Hierfür wird ein „System Erde“-Ordner angelegt. Da von dieser Aufgabe sowohl der Geografie-, Biologie-, Chemie- und Physikunterricht als auch Fächer wie Wirtschaft oder Politik profitieren, empfiehlt es sich, diese Fächer zusammenzulegen oder eine Projektwoche zu nutzen.

Die *Unterrichtsphase 2* dient dem Schließen von in Unterrichtsphase 1 aufgedeckten Wissens- und Verständnislücken. Sie erarbeiten Kenntnisse zum Beispiel zum Aufbau des Erdinneren oder der Erdatmosphäre, Prozesse des Material- und Energietransportes, von der Plattentektonik oder der Entstehung und Entwicklung des Lebens. Spezielle Materialien unterstützen die Vertiefung der in der Einführungsphase erworbenen Fähigkeit Stofffluss- und Wirkungsdiagramme zu entwickeln (vgl. Abb. 6 und 7). Als Einstieg eignen sich für Stoffflussdiagramme insbesondere die Themen „Wasserkreislauf“ und „Gesteinskreislauf“. Vertieft werden können die Kenntnisse am Beispiel des Themas „Kohlenstoffkreislauf“. Auch hierzu sollte zunächst ein Stoffflussdiagramm und anschließend ein Wirkungsdiagramm erstellt werden. So festigen die Schüler/-innen ihre Kenntnisse über die Systemanalyse an zunehmend komplexer werdenden Wissensdomänen.

Um die Selbsttätigkeit der Schüler/-innen anzuregen, stehen für diese Phase Materialien für eine arbeitsteilige Gruppenarbeit (Gruppenpuzzlemethode) zur Verfügung. Sie bereiten auf das selbst organisierte Lernen vor und erleichtern dadurch die Arbeit nach der Projektmethode, die in der dritten Phase erfolgt.

Zur Integration des neu erlernten Wissens sollen die Schüler/-innen regelmäßig die Gelegenheit bekommen, sich zu vergewissern, welche Bedeutung die erarbeiteten Themen für die Funktionsweise des Systems Erde haben. Sie ergänzen die gewonnenen Erkenntnisse in ihrem in Phase 1 angelegten „System Erde“-Ordner. Die Schüler/-innen lernen dadurch systematisch, aktiv und selbstständig, im Fachunterricht erworbenes Wissen in ihre eigenen Vorstellungen vom System Erde zu integrieren und dadurch für eine tiefer gehende Erkenntnisgewinnung nutzbar zu machen.

Im Rahmen eines Projektes erarbeiten die Schüler/-innen schließlich ein gemeinsames Modell vom Klimasystem (*Unterrichtsphase 3*). Hierfür sammeln sie zunächst in Einzelarbeit (Literaturrecherche, Experteninterviews und andere Methoden der Informationsbeschaffung) Fakten zu einem Element des Klimasystems (u. a. Ozeane, Wasserstoffautos, regenerative Energien, Ökosteuer). Dabei berücksichtigen sie gemäß dem Konzept einer Bildung für nachhaltige Entwick-

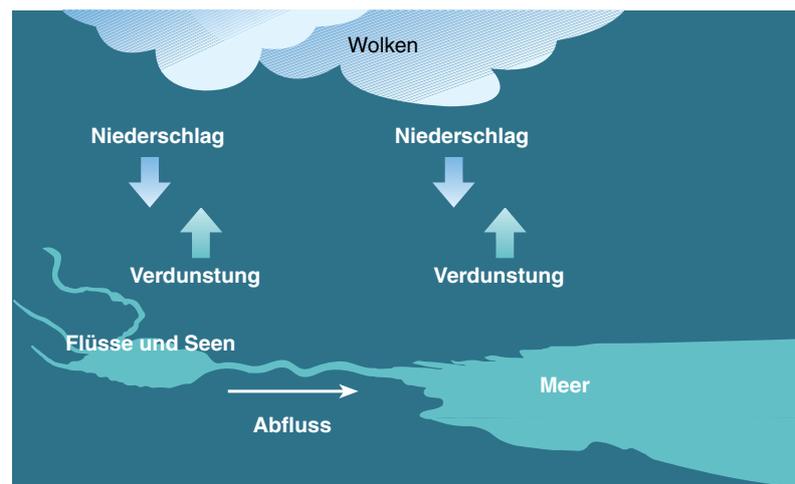


Abb. 6: Qualitatives Stoffflussdiagramm

lung ökologische, ökonomische und soziale Aspekte. Die Ergebnisse werden in einem etwa dreiseitigen Text zusammengetragen. Jeder Text als Teil der Schlussfolgerung soll eine Bewertung im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung enthalten. Auf der Basis dieser Texte erstellt die Klasse in Gruppenarbeit ein Wirkungsdiagramm. Dieses wird schließlich genutzt, um mehr oder weniger wirkungsvolle Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung im Sinne der Agenda 21 zu identifizieren. Da solche Wirkungsdiagramme die Basis für computergestützte Klimasystemmodelle sind, mit denen Wissenschaftler/-innen Prognosen zum Beispiel für die Temperatur in der Erdatmosphäre berechnen, entwickeln die Schüler/-innen eine Vorstellung davon wie Modellberechnungen zur zukünftigen Entwicklung des Planeten Erde entstanden sind. Sie können also Daten, zum Beispiel zu zukünftigen Temperaturen in der Atmosphäre, bewerten.

### 3 Ausblick

Im Projekt „Forschungsdialog: System Erde“ wurden Unterrichtsmaterialien für einen geowissenschaftlichen Unterricht entwickelt, erprobt und evaluiert.

Dieser Beitrag zeigte, wie eine geowissenschaftliche Betrachtungsweise des Planeten Erde für einen fachübergreifenden beziehungsweise Fächer verbindenden Unterricht in den Naturwissenschaften und in der Geografie in der Sekundarstufe II genutzt werden kann. Materialien hierfür befinden sich auf der CD-ROM „System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II“ (BAYRHUBER & HLAWATSCH 2005), die bundesweit an alle Oberstufen versandt wurde. Mit dem beschriebenen Ansatz können auch Unterrichtsvorschläge der nachfolgenden Kapitel dieses Heftes systematisch vernetzt werden.

Darüber hinaus ist für die Primarstufe das Sachbuch „Unsere Erde – für Kinder, die die Welt verstehen wollen“ (BAYRHUBER 2006) erschienen. Anhand dieses Buches kann bereits in der Grundschule in die Betrachtung der Erde als System eingeführt werden.

Alle Materialien stehen nun für den Einsatz im gesamten Bundesgebiet zur Verfügung und bieten auch Anknüpfungspunkte für den Unterricht in der Sekundarstufe I.

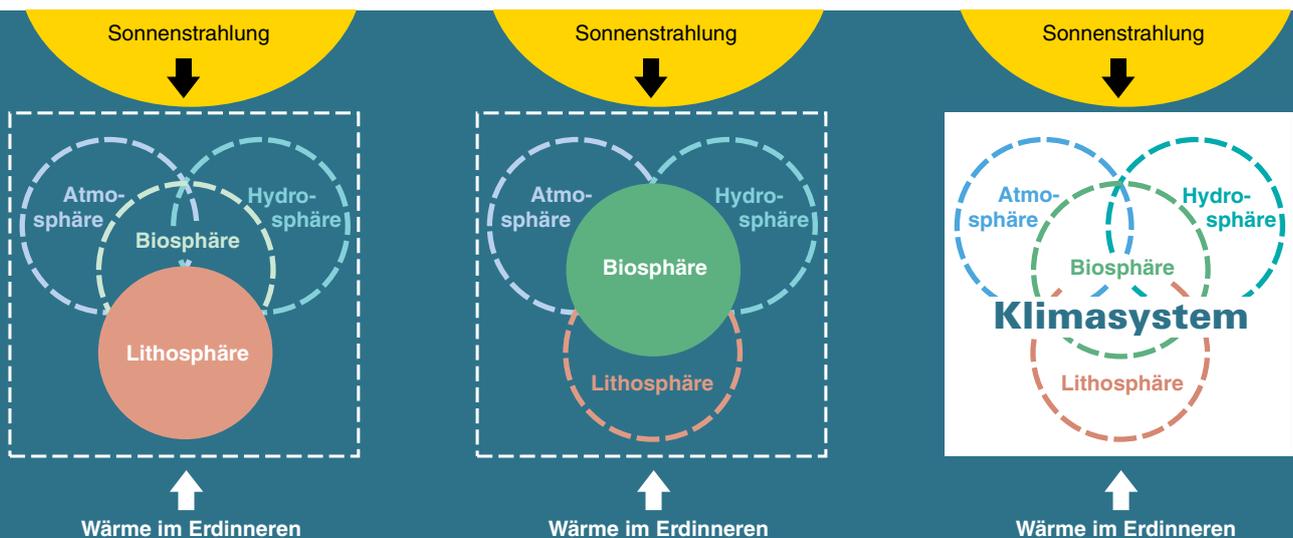


Abb. 7: Nacheinander erarbeiten die Schüler/-innen zunehmend komplexe Themenbereiche

### Weitere Informationen

Aktuelle Informationen zum „Forschungsdialog: System Erde“ finden Sie im Internet unter <http://systemerde.ipn.uni-kiel.de>.

## 4 Literatur

- BAYRHUBER, H. [Hrsg.] (2006): Unsere Erde für Kinder, die die Welt verstehen wollen. – Inkl. CD-ROM-Beilage mit Lernspielen. – 88 S., 216 Abb.; Seelze-Velber (Kallmeyer'sche Verl.-Buchhlg).
- BAYRHUBER, H.; BÜNDER, W.; EULER, M.; HASSENPLUG, W.; HILDEBRANDT, K.; HLAWATSCH, S.; LUCIUS, E., RAFFELSIEFER, M.; SIEMER, F. (2002): The analytical foundation of the System Earth project. – In: BIZZO, N.; KAWASAKI, C. S.; FERRACIOLI, L.; ROSA, V. L. [Hrsg.]: Rethinking Science and Technology Education to Meet the Demands of Future Generations in a Changing World. – Proc. 10th Symp. Internat. Organ. Sci. Techn. Educ. – [Symp. Internat. Organ. Sci. Techn. Educ., <10., 28.7. – 2.8.2002, Foz do Iguaca, Paraná, Brazil>].
- BAYRHUBER, H., HÄUSSLER, P., HEMMER, I., HLAWATSCH, S., HOFFMANN, L.; RAFFELSIEFER, M. (2002). Interesse an geowissenschaftlichen Themen. Ergebnisse einer Interessensstudie im Rahmen des Projekts „Forschungsdialog: System Erde“. – *geographie heute*, **23** (202): 22 – 23.
- BAYRHUBER, H., HLAWATSCH, S. [Hrsg.] (2005): System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II (CD-ROM). – Kiel (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN)).
- Deutsche Gesellschaft für Geographie [Hrsg.] (2006): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss. – 30 S.; Berlin.
- HÄFNER, F. (2007): Was wissen unsere Schüler über Geowissenschaften? – Ergebnisse einer Schülerbefragung und Schlussfolgerungen. – *scriptum*, **14**: 6 – 11, 3 Abb.; Krefeld.
- HANSEN, K. H.; HLAWATSCH, S. (2003): Students Conceptions of System Earth: The Development and Application of a Word Association Test. – In: Proc. NARST conf., Philadelphia. – CD-ROM [NARST conf., <22.3. – 26.3.2003, Philadelphia>].
- HANSEN, K.-H.; HLAWATSCH, S. (2005): Implementation of Earth System Education Through Curriculum Material and In-Service. – In: Paper AERA Conf., Montreal/Canada. – [AERA Conf. <2005, Montreal/Canada >].
- HILDEBRANDT, K.; BAYRHUBER, H. (2002): Students' conceptions about System Earth – system thinking in the carbon cycle context. – In: Paper NARST Conf., 2001.
- KLIEME, E. (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Eine Expertise. – Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung, Frankfurt.
- Kultusministerkonferenz (2004): Vereinbarung über Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) für die Fächer Biologie, Chemie, Physik (<http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/bildungsstandards.htm>).
- ROST, J. (2004): Kompetenzen und Bildungsstandards der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Die Zukunft gestalten lernen. – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung, IQSH/IPN: 7 – 13; Kiel.
- 1 Agenda 21: Die Dokumente der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro können kostenlos beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit, 11055 Berlin ([www.bmu.de](http://www.bmu.de)) beziehungsweise unter der Webadresse <http://www.agrar.de/agenda/agd21k00.htm> bezogen werden.
  - 2 Informationen zum Projekt „Forschungsdialog: System Erde“ finden Sie unter: <http://www.systemerde.ipn.uni-kiel.de>
  - 3 Eine Concept Map (Begriffslandkarte) bildet Wissen durch Begriffe und Beziehungen ab. Um sie zu erstellen, werden zunächst Begriffe zu einem Gebiet gesammelt und danach miteinander verbunden. Diese Verbindungen repräsentieren die Beziehungen zwischen den Begriffen (s. Abb. 5).

# Marketing bei der Umsetzung geowissenschaftlicher Themen im Unterricht

VON STEFAN LEONARDS

## Zusammenfassung:

Der Beitrag zeigt auf, wie geowissenschaftliche Inhalte mithilfe moderner Marketing-Methoden einem breiten Publikum, insbesondere Schülern/-innen, näher gebracht werden können.

## 1 Einleitung

Lehrer/-innen und Schüler/-innen unterscheiden sich in einem Punkt nicht voneinander: Sie möchten bedient werden. Service, Vertrauen, Authentizität, Erlebnis oder Emotionalisierung und Durchschaubarkeit des Angebots sind Grundbegriffe des Marketings. Im folgenden Artikel möchte ich diese Begriffe auf geowissenschaftliche Themen anwenden – und auf den Erfahrungen des „Jahres der Geowissenschaften“ aufbauen, welches die Agentur iserundschmidt 2002 für das Bundesministerium für Bildung und Forschung durchgeführt hat.

## 2 Das Problem

Geowissenschaften beschäftigen sich mit der Erde. Dies erscheint auf den ersten Blick ganz klar und einfach. Aber wer hat schon eine genauere Vorstellung davon, wie unser Planet aufgebaut ist, woraus er besteht und wie das System Erde funktioniert? Der Blick auf den Globus zeigt Kontinente und Ozeane; Vulkane bieten einen Einblick ins Erdinnere und natürlich liefern das Wetter und die Atmosphäre tägliche Gesprächsthemen. So weit, so klar! Der Treibhauseffekt und El Niño, das Abschmelzen der Polarkappen, die Verteilung von Isotopen in der Atmo-

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Das Problem
- 3 Lösungsansätze
- 4 Die Kunst des Marketings:  
Verpackung und Organisation
  - 4.1 Neugierig machen durch radikale Vereinfachungen: das Thema als Label
  - 4.2. Service oder:  
Angebote machen, Nachfrage schaffen
  - 4.3 Der Wissenschaftler als Vertrauensperson:  
Authentizität durch Engagement
  - 4.4 Steine klopfen und schmutzig werden:  
Erlebnis oder Emotionalisierung
- 5 Geowissenschaften:  
Erde direkt, Wissenschaft direkt

## Anschrift des Autors:

STEFAN LEONARDS  
iserundschmidt  
Kreativagentur für PublicRelations GmbH  
Reinhardtstr. 15 – 17, 10117 Berlin

sphäre sowie die geothermische Energienutzung sind bereits weitaus kompliziertere Themen. Und diskutiert man die Ursachen der globalen Erwärmung – ob anthropogen oder natürlich verursacht – begegnet man wissenschaftlichen Spezialdisziplinen mit zum Teil exakt konträren Expertisen und auf jeden Fall komplexen Rechenmodellen auf breitester Datenbasis. Faszinierende Themen, aber nur schwer zu vermitteln, sei es der allgemeinen Öffentlichkeit, Schülern oder Lehrern. Genau dies war aber die Aufgabe des Jahres der Geowissenschaften 2002, das insgesamt beinahe 700 000 Besucher angezogen hat – aber wie?

### 3 Lösungsansätze

Die Antwort ist elementar einfach: Die klassischen Elemente Feuer, Wasser, Erde, Luft bildeten das Bühnenbild für das Jahr. Jedes Element repräsentierte eine Sphäre des Planeten – Bio-, Geo-, Atmo- und Hydrosphäre – und gab den Titel für eine der vier überregionalen Veranstaltungen vor, auf denen verschiedene Forschungsrichtungen dem Publikum ihre Arbeit vorstellten. Die Grundidee war, ein komplexes wissenschaftliches Nominierungs-, Klassifizierungs- und Karrieresystem (immer wichtig für die Schülerfrage „Was soll ich studieren?“) radikal zu vereinfachen, ohne die wissenschaftlichen Inhalte zu verdrängen, sondern ihnen in der Reduzierung Räume für die Präsentation zu öffnen. Das Konzept erlaubte eine populärwissenschaftliche Herangehensweise und erzeugte wegen seiner journalistischen Griffigkeit großes Medieninteresse, erlaubte aber auch die Vermittlung tief gehender wissenschaftlicher Methoden und Erkenntnisse.

Die Rolle der Wissenschaftler in diesem Konzept kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Deshalb war eines der ersten Ziele der Kampagne, sie in direkten Kontakt mit Schülern und dem allgemeinen Publikum zu bringen. Die Grundidee war es, Wissenschaften nicht an Universitäten oder Forschungseinrichtungen, sondern in nicht wissenschaftlicher Umgebung zu präsentieren, die Zufallsbesucher mit Wissenschaft zu überraschen und ganz allgemein den „Elfenbeinturm“ zu verlassen. Die Veranstaltungen fanden daher in öffentlichen Räumen statt – Bahn-

höfen, Einkaufszentren oder auf Stadtplätzen. Kern der Veranstaltungen war eine Ausstellung, eine sogenannte Wissenschaftsstraße, die von Wissenschaftlern für das allgemeine Publikum erstellt worden war. Ein Rahmenprogramm aus Vorträgen für Schüler, Workshops, Filmvorführungen mit wissenschaftlichen Kommentaren etc. begleitete die Ausstellung. „Feuer, Wasser, Erde, Luft“ bestimmten das Bühnenbild; die Agentur Iserundschmidt kümmerte sich um Ablauf und Besucher, aber für das Publikum war der Kontakt mit den Wissenschaftlern – den eigentlichen Stars der Veranstaltungen – am wichtigsten.

Der direkte Kontakt zu ihnen war enorm wichtig. Das Publikum fühlte sich sowohl etwas eingeschüchtert als auch geehrt, mit echten Universitätsprofessoren und Wissenschaftlern sprechen zu können. Die Schüler nahmen den geführten Besuch der Wissenschaftsstraße als praktischen Einblick in die universitäre und wissenschaftliche Welt wahr. Dass Wissenschaft Spaß machen kann, dass man sich dafür begeistern kann, dass man die Inhalte auch verstehen kann, waren die Grundeindrücke der Besucher. Für die Wissenschaftler selbst trat ein anderer Lerneffekt auf: Fragen, an die sie nie gedacht hatten, wurden ihnen gestellt; die Notwendigkeit, Dinge einfach – ohne Fachchinesisch – zu erklären, wurde klar, und dass es Spaß macht, seine Inhalte verständlich zu vermitteln. Um eine Bilanz zu ziehen – Besucher und Wissenschaftler teilten gemeinsam die Freude am Erklären und Begreifen.

Die Medien schlossen sich dieser Freude an. Für jede überregionale Veranstaltung konnten Medienpartnerschaften mit Presse, Radio und Fernsehen geschlossen werden, die die Veranstaltungen aktiv mitgestalteten. Auch hier waren der direkte Kontakt zu Themen, Wissenschaftlern und Publikum sowie der regionale Hintergrund der Veranstaltungen für die Medien entscheidend.

Ein Beispiel war die Veranstaltung „Feuer“ in Köln, bei der der WDR sich stark engagierte. Das Thema der Veranstaltung war die Geosphäre mit Inhalten wie Vulkanismus, dem heißen Kern der Erde, Erdbeben und der Kontinentaldrift, geothermische Energie und den konventionellen Energiequellen wie Kohle

oder Erdöl. Kurz: „Feuer“ hatte die Energie in der Erde, ihre Auswirkungen und ihre Nutzung zum Inhalt. Beispiele für alle diese Themen konnten in der Region Köln gefunden werden – von der paläontologischen Feuerökologie im Geologischen Dienst NRW, Krefeld, der Erdbebenstation der Universität zu Köln in Bensberg zur Geothermieforschung an der RWTH Aachen, dem Vulkanpark Eifel oder der Verwendung von Basalt vulkanischen Ursprungs als Baumaterial am Kölner Dom. So mit einer Vielzahl regionaler Themen versorgt, sendete der WDR live von der Veranstaltung, produzierte Serien und eine Themenwoche zum Thema „Feuer“ aus historischer, kultureller und geowissenschaftlicher Perspektive. Insgesamt 25 Sendungen nahmen die Veranstaltung zum Ausgangspunkt.

Wie zuvor erwähnt, waren die Wissenschaftler die eigentlichen Stars einer jeden Veranstaltung. Und sie mussten von diesem Konzept erst überzeugt werden. Stören die Show-Elemente nicht bei der Vermittlung von wissenschaftlichen Inhalten, lenken sie nicht von den Geowissenschaften ab, schließlich wollen wir doch vor allem neue Studenten gewinnen und nicht das Laufpublikum ansprechen? Mit solchen Bedenken wurden die Organisatoren bei allen Veranstaltungen konfrontiert und meist überzeugte erst der Erfolg der Veranstaltung, dass die Verpackung wichtig ist, aber nicht zu Lasten der Inhalte gehen muss.

## 4 Die Kunst des Marketings: Verpackung und Organisation

### 4.1 Neugierig machen durch radikale Vereinfachungen: das Thema als Label

Jede Veranstaltung – sei es ein Vortrag, eine Exkursion, ein „Tag der offenen Tür“ – braucht einen klaren Titel, der neugierig macht. Hier liegt die Kunst in der gezielten Vereinfachung, die Raum lässt für die Fantasie von Publikum, Medien und – natürlich – für die eigentlichen Inhalte. „Feuer“ funktionierte in dieser Hinsicht, ein sachlich korrekterer Titel wie „Das Innere der Erde als Motor der Erdprozesse“ sicherlich nicht. Im wissenschaftlichen Fachjargon formulierte Titel transportieren zwei Konnotationen: „Versteh ich nicht“ und „ist bestimmt langweilig“.

### 4.2 Service oder: Angebote machen, Nachfrage schaffen

Jedes Angebot an Schulen muss in verschiedener Hinsicht aus der schulischen Perspektive klar durchdacht werden. Kommt die Einladung rechtzeitig, um im Kollegium abgestimmt werden zu können? Stimmt der Termin, passt die Uhrzeit in den Tagesablauf einer Schule, kann eine fachliche Empfehlung durch die Bezirksregierung erreicht werden? Welche Schularten, Kurse, Stufen, aus welchem geografischen Bereich sollen eingeladen werden? Das Angebot muss klar und einfach sein: Ein Vortrag, eine Exkursion, der Besuch eines Experten in der Schule, der Besuch einer Ausstellung mit Führung, festgelegten Zeiten (Beginn und Ende) und mit der Angabe, für welche Jahrgangsstufe und Schulart die Angebote gedacht sind. Das Angebot muss für Lehrer wie Veranstalter verbindliche Anmeldungen mit all den Paraphernalia, die eine klare Organisation auszeichnen, enthalten: Termin, Ansprechpartner, Treffpunkte, Möglichkeiten der Anreise mit ÖPNV und Inhalte. Die Inhalte kommen bewusst an letzter Stelle in dieser Aufzählung: Macht eine wissenschaftliche Organisation ein Angebot an eine Schule, wird die fachliche Richtigkeit für gegeben genommen werden, die Bedeutung organisatorischer Details ist für den Entschluss zur Teilnahme nicht zu unterschätzen.

### 4.3 Der Wissenschaftler als Vertrauensperson: Authentizität durch Engagement

Wie bereits gesagt: Die direkte Begegnung von Wissenschaftlern und Forschern mit dem Publikum ist durch nichts zu ersetzen. Viele Faktoren vermengen sich hier. Nehmen Universitäten/Institute eine Veranstaltung so ernst, dass sie Personal abstellen, wächst deren Glaubwürdigkeit auch für das Publikum. Nehmen sich Wissenschaftler Zeit, einem Laien oder einem Schüler ihre Forschungsarbeit zu erklären, wächst das Interesse des Publikums. Werden Inhalte im direkten Dialog vermittelt, treffen sich Wissenschaftler und Publikum auf gleicher Augenhöhe. Vor allem die Wissenschaftler müssen sich für diese direkte Vermittlung vorbereiten: den Fachdiskurs gezielt vergessen, einfache Vergleiche und Vereinfachung finden, das Wesentliche an der eigenen Arbeit für die Veranstaltung, Ausstellung, den Vortrag etc. herausarbeiten. Auch hier hilft der Mut zur Vereinfachung.

#### 4.4 Steineklopfen und schmutzig werden: Erlebnis oder Emotionalisierung

Der direkte Dialog kann durch direkte Erlebnisse unterstützt werden, sei es im Gelände auf einer Exkursion, durch Vor-Ort-Versuche oder geologische Mitbringsel. Einer der spannendsten Programmpunkte von „Feuer“ war das vom Geologischen Institut der Universität zu Köln organisierte Suchen von Fossilien in einer LKW-Ladung Schiefergestein. In einem umzäunten abgekippten Haufen Schiefer klopfen Kinder bis 9 Jahre unter Anweisung von Studenten um die Wette auf der Suche nach Fossilien. Emotionaler können Interesse und wissenschaftliche Neugier kaum geweckt werden. Der Aufwand muss nicht immer so groß sein, aber vor allem für jüngere Jahrgangsstufen ist der direkte Kontakt mit dem Objekt der Neugier – Erde in Form von Sand, Stein, Fossilien etc. – äußerst ratsam.

#### 5 Geowissenschaften: Erde direkt, Wissenschaft direkt

Der bereits zuvor gefallene Begriff „Authentizität“ kumuliert hier in der Unmittelbarkeit der Vermittlung hinsichtlich Thema und Kommunikationsform: Stellen Wissenschaftler ihre Themen direkt vor, ist eine authentischere – und damit glaubwürdigere und interessantere – Vermittlungsform kaum denkbar. Eine der Stärken der Geowissenschaften in der Vermittlung ist die unmittelbare Faszination ihres Inhalts – der Erde – in Bild, Ton und Material. Geowissenschaftler sind gut beraten, sich auf die Faszination ihres Studienobjektes zu besinnen und den Mut zu finden, diese direkt ihrem Publikum vermitteln zu wollen. Die gegenseitige Freude am Erklären und Begreifen wird sie belohnen.

## Wo Erdgeschichte begreifbar wird

### Geotope – Geowissen zum Anfassen

von KLAUS STEUERWALD

#### Zusammenfassung:

Geologie ist überall. Böden und Gesteine unter unseren Füßen, in unseren direkten Lebensbereichen liefern begreifbares Geowissen und führen Schüler/-innen und Lehrer/-innen in neue Erlebniswelten. Geotope sind die Stellen, an denen die Geowissenschaften erfassbar werden. In NRW sind ca. 4000 Aufschlüsse, Landschaftsformen und Naturschöpfungen wie zum Beispiel Quellen oder Klippen als schutzwürdige Geotope registriert; elf davon zählen zu den bedeutendsten der Bundesrepublik Deutschland. Hier finden Schüler/-innen und Lehrer/-innen Gelegenheit, fächerübergreifendes Geowissen zu erarbeiten und zu erleben.

#### 1 Einleitung

Nehmen wir uns die Zeit, einmal darüber nachzudenken, was sich unter unseren Füßen befindet. Wir stehen auf Boden oder Gestein mit einer möglicherweise interessanten Entstehungsgeschichte oder einem Alter von mehreren Millionen Jahren. Auf dem Schulweg, bei einem Klassenausflug oder im Rahmen eines Unterrichts außerhalb der Klassenräume sind die Gelegenheiten sich mit den Geowissenschaften, der Erdgeschichte und ihren Begleitdisziplinen, auseinander zu setzen.

Es sind nicht nur die augenfälligen Begebenheiten, wie Baugruben, Straßenanschnitte, Bohrungen oder Bergwerke, die uns Informationen über den Untergrund geben. Für den Geowissenschaftler sind es gerade die Bereiche, die oft fälschlicherweise als Wunden in der Natur bezeichnet werden, und zwar Bereiche ohne Bewuchs und Bebauung, Abbrüche und Steilkanten, Kiesgruben und Steinbrüche, aber auch ungewöhnliche Landschaftsformen, wie Terrassenkanten, Trockentäler, Vulkanberge und Höhlen. Sie sind für die Bewertung und geowissenschaftliche Beurteilung von unschätzbarem Wert. Die Aufschlüsse ohne Bewuchs gewähren hervorragende Einblicke in den geometrischen Aufbau der Erdschichten, geben Auskunft über das Material und über die Art seiner Entstehung. Leider haben diese Lokalitäten nur selten dauerhaften Bestand

#### Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Geotop – schon einmal gehört?
- 3 Wo befinden sich die „Bedeutendsten Geotope in Deutschland“?
- 4 Geotope – Klassenzimmer unter freiem Himmel
- 5 Literatur

#### Anschrift des Autors:

Dipl.-Geol. KLAUS STEUERWALD  
 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
 – Landesbetrieb –  
 De-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld

oder werden in kurzer Zeit überwachsen. Anders verhält es sich bei den Geotopen, die unter einer Patenschaft oder unter Aufsicht einer Gemeinde oder eines Eigentümers stehen. An diesen Stätten können sich nicht nur Geowissenschaftler fachübergreifend austauschen, hier können auch vielseitig Interessierte Einblicke in die geologische Wissenschaft erhalten.

## 2 Geotop – schon einmal gehört?

Geotope sind natürliche oder künstliche Gesteinsaufschlüsse, Landschaftsformen und Naturschöpfungen von besonderer Seltenheit und/oder Schönheit. Sie geben Einblicke in die Entwicklungsgeschichte unseres Planeten und sind Archive der Erdgeschichte.

Ein Geotop kann eine beliebige Dimension besitzen. Kleine, räumlich begrenzte Felswände, Klippen oder Steinbrüche, aber auch größere Gebiete und Landschaftsteile wie der Weserdurchbruch bei Minden oder das Siebengebirge gehören dazu. Sie lassen beispielhaft geowissenschaftliche Vorgänge erkennen oder verdeutlichen die erdgeschichtliche Entwicklung.

Schutzwürdig sind die Geotope, die sich durch ihre besondere erdgeschichtliche Bedeutung, Seltenheit, Eigenart oder Schönheit auszeichnen. Sie können, insbesondere wenn sie gefährdet sind und vergleichbare Geotope zum Ausgleich nicht zur Verfügung stehen, eines rechtlichen Schutzes bedürfen. Für Wissenschaft, Forschung und Lehre sowie für die Natur- und Heimatkunde sind sie Dokumente von besonderem Wert. Hier können Lehrer/-innen und Schüler/-innen aktiv werden.

Besuchen Sie einen bestehenden Geotop und gewinnen Sie mit den Schülern/-innen neue Einblicke in die Erdgeschichte (Abb. 1). Geotope müssen erst einmal erkannt, kartiert, kartografiert, gezeichnet und fotografiert werden. Dann wird der Geotop erdgeschichtlich bewertet und seine Entstehung erarbeitet. Schließlich kann der Gemeinde der langfristige Zugang vorgeschlagen werden und die Schule kann sich bereit erklären eine Patenschaft zu übernehmen.

Geotope können in NRW nach den Vorschriften des Landschaftsgesetzes besonders geschützt werden. In besonderen Fällen, nämlich dann, wenn es sich um Fundstellen von Fossilien handelt, können sie auch nach den Vorschriften des Denkmalschutzgesetzes rechtlichen Schutz erlangen.



Abb. 1: Im Geologischen Garten Bochum

### 3 Wo befinden sich die „Bedeutendsten Geotope in Deutschland“?

Die Akademie der Geowissenschaften zu Hannover e.V. hatte die Öffentlichkeit und die Fachwelt zu einem Wettbewerb aufgerufen, bedeutende Geotope aus der Bundesrepublik zu benennen. Aus allen Bundesländern gingen Vorschläge für die Nominierung ein.

Nach eingehenden Beratungen über die Bedeutung der Meldungen schlug eine Jury aus Geowissenschaftlern der staatlichen geologischen Dienste, der Universitäts- und Forschungsinstitute sowie aus der Industrie 77 Geotope für eine Prämierung vor. Unter Beteiligung der UNESCO und der Bundesregierung wurde den ausgewählten Geotopen das Prädikat „Bedeutender Geotop in Deutschland“ verliehen. Im Begleitbuch zum Wettbewerb „Faszination Geologie – die bedeutendsten Geotope Deutschlands“ werden alle ausgezeichneten Geotope in Wort und Bild beschrieben.

Bei den bedeutendsten Geotopen handelt es sich um herausragende geowissenschaftliche Objekte in ganz Deutschland. Sie wurden ausgewählt, weil sie erdgeschichtliche Vorgänge, die Entwicklung des Lebens, geologische Prozesse, geomorphologische Eigenheiten oder geologische Sehenswürdigkeiten

von außergewöhnlicher Ausprägung repräsentieren. Sie sind langfristig zugänglich und vielfach öffentlichen Einrichtungen wie Museen oder Lehrpfaden angegliedert oder als Besichtigungsobjekte ausgewiesen. In Nordrhein-Westfalen wurden folgende Geotope prämiert:

- das Felsenmeer bei Hemer im Sauerland
- das Muttental bei Witten
- das Siebengebirge bei Bonn
- das Tal der Schlade im Bergischen Land
- der Braunkohlentagebau Hambach westlich von Köln
- der Korallenoolith des Wesergebirges
- der Ziegeleisteinbruch Hagen-Vorhalle im Sauerland
- die Bruchhauser Steine bei Olsberg-Bruchhausen im Sauerland
- die Externsteine im Teutoburger Wald bei Horn-Bad Meinberg
- die Kiesel-schiefer im Wittgensteiner Land
- die Porta Westfalica bei Minden



Abb. 2: Die Geotope in NRW

Neben den prämierten Geotopen gibt es in Nordrhein-Westfalen unter der Erdoberfläche mehr als tausend bekannte Höhlen. Sie haben die Menschen schon immer fasziniert. In der Vorzeit gewährten sie Schutz und Unterschlupf. Heutzutage bewundern Menschen Höhlen als Geotope, beeindruckt sowohl von der Schönheit der Felsformationen und der Tropfsteingebilde als auch von den verschiedenen Entstehungsmöglichkeiten.

#### 4 Geotope – Klassenzimmer unter freiem Himmel

An dieser Stelle möchte ich den Vorschlag unterbreiten, den nächsten Klassenausflug, eine Lehrerwanderung oder Studienfahrt zu einem prämierten Nationalen Geotop zu unternehmen. Einen Tag in der freien Natur zu verbringen, sich in der Gruppe auszutauschen und sportlich zu bewegen, weckt den Drang etwas zu erfahren und zu erlernen. Der Geotop ist ein Klassenzimmer unter freiem Himmel, geeignet vielfältige Facetten der schulischen Fächer aufzurufen und den Schülern/-innen integrierte Wissensvermittlung näher zu bringen.

Das Unterrichtsthema Geotop kann bereits in der Grundschule beginnen. Hier kann die Basis für naturwissenschaftliches Verständnis geschaffen werden. Was sehe ich, was kann ich malen und zeichnen, was kann der Lehrer mir erläutern?

Im Bereich der Sekundarstufen I und II können Forscherdrang und das Erkunden des Geotops zum Gesamtverständnis beitragen. Interessant und für ältere Schüler/-innen geeignet sind disziplinübergreifende Studien, Referate und eigene „Forschungsergebnisse“ mit Recherchen nach Literatur oder Fachbeiträgen.

Viele Geotope weisen eine Vielzahl von interdisziplinären Zusammenhängen auf. Je nach Geotop können unterschiedliche Sachgebiete bei der Beschreibung, Erklärung und Deutung herangezogen werden. Wie vielfältig die Fachgebiete sein können, zeigt die Aufzählung. Nicht selten sind mit einem Geotop folgende Sachgebiete und Schulfächer zu verknüpfen: Archäologie, Biologie, Botanik, Erdgeschichte, Geochemie, Geografie, Geologie, Geophysik, Geschichte, Kartografie, Kunst, Mineralogie, Paläontologie, Physik, Seismologie, Sozialwissenschaften, Stratigrafie, Vulkanologie, um nur eine Auswahl in alphabetischer Reihenfolge zu nennen.

Für Lehrer und Schüler gibt es ferner jährlich im September den Tag des Geotops, an dem eine Vielzahl von ausgewählten Geotopen in NRW für jedermann im Rahmen einer Tages- oder Halbtagesexkursion von ausgewähltem Fachpersonal oder Wissenschaftlern vorgestellt wird. Der jeweilige Termin und die besuchten Geotope werden in der Tagespresse und im Internet veröffentlicht.

Hilfestellung bieten in vielen Fällen Fachbeiträge im Internet, einschlägige Literatur und Kartenwerke sowie die staatlichen geologischen Dienste der jeweiligen Bundesländer.

#### 5 Literatur

- Ad-hoc-AG Geotopschutz (1996): Arbeitsanleitung Geotopschutz in Deutschland. – 105 S.; Bonn-Bad Godesberg (B.-Amt Naturschutz).
- BAUMGARTEN, H. (2006): Geologie erleben : Museen, Schauhöhlen, Besucherbergwerke, Lehr- und Wanderpfade in NRW und Umgebung, 2. Aufl.: 127 S., Krefeld (Geol. Dienst NRW). – [1. Aufl. DASSEL, W. (1998)]
- Geologischer Dienst NRW (2001): Geotope in Nordrhein-Westfalen – Zeugnisse der Erdgeschichte. – 44 S.; Krefeld.
- Geologischer Dienst NRW (2002): Geotopschutz im Ballungsgebiet: 5. Internationale Tagung der Fachsektion Geotopschutz der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 16. bis 19. Mai 2001 in Krefeld, Tagungsband – scriptum, **9**: 166 S.; Krefeld.
- Geologischer Dienst NRW (2004): Zeitreise durch den Untergrund von Nordrhein-Westfalen – Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 500 000, (Faltblatt); Krefeld.
- LOOK, E.-R.; FELDMANN, L. (2006): Faszination Geologie – die bedeutendsten Geotope in Deutschland. – 179 S.; Stuttgart (Nägele u. Obermiller). – [1. Aufl. vergriffen – 2. Aufl. 2007]

## Landschaftsentwicklung, Rohstoffentstehung und ihre Nutzung am Beispiel Raum Weilburg

### Eine geologische Fortbildungsveranstaltung

VON PETER KÖNIGSHOF, WOLFGANG MÜNZINGER, DIETER NESBOR, KARL-JOSEF SABEL, PETER SLABY

#### Kurzfassung:

Im Rahmen einer einwöchigen Fortbildungsveranstaltung für Schüler, Studenten und Lehrer wurden die Entstehung einer Landschaft im erdgeschichtlichen Wandel, die daraus resultierenden Landschaftsformen und Bodenschätze sowie die kulturhistorische Entwicklung exemplarisch am Beispiel der Region Weilburg an der Lahn erörtert. Dabei waren Feld- und Laborversuche durchzuführen, die durch Exkursionen abgerundet wurden. Es wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie die geologische Entwicklungsgeschichte einer Region fach- und institutsübergreifend für den Schulunterricht erarbeitet und präsentiert werden kann.

Lag Weilburg einstmals südlich des Äquators? Unter dieser Fragestellung fand zum Thema „Regionalgeologie im Weilburger Raum“ vom 22.8. – 26.8.2005 in der Technikerschule in Weilburg eine Fortbildungsveranstaltung statt, die sich an Lehrkräfte mit naturwissenschaftlicher Fachausrichtung wandte. Einbezogen waren Schüler/-innen mit besonderen Begabungen im naturwissenschaftlichen Bereich sowie Studenten/-innen der Pädagogik. Initiiert wurde diese fach- und institutsübergreifende Zusammenarbeit durch das Institut für Pädagogik der Sekundarstufe an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt in Zusammenarbeit mit dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, und dem Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt am Main. PETER SLABY, Lehrer an der Gesamtschule Spangenberg und Lehrplanverfasser Chemie Hessen, übernahm die Einführung der Schüler in das Thema Gesteine sowie die Durchführung von Versuchen zur Rohstoffgewinnung. Die teilnehmenden Schüler/-innen wurden vom Verein für Hochbegabtenförderung in Dreieich für die Veranstaltung ausgewählt.

Die zentrale Aufgabenstellung dieser Veranstaltung war es, Lehrkräfte mit der Arbeitsweise von Geologen und Bodenkundlern vertraut zu machen sowie geologische und bodenkundliche Inhalte zu vermitteln (Abb. 1). Die Entstehung einer Landschaft im erdgeschichtlichen Wandel, die daraus resultierenden heutigen Landschaftsformen dieser Region, die durch die erdgeschichtliche Entwicklung entstandenen Bodenschätze und Landnutzungspotenziale sowie die kulturhistorische Entwicklung standen dabei im Vordergrund. Die wissenschaftlichen Fachkenntnisse der beteiligten Referenten aus den unterschiedlichen Gebieten der Bodenkunde, Vulkanologie, Petrografie, Sedimentologie und Paläontologie ermöglichten es den Teilnehmern sich intensiv mit Details zur Regionalgeologie auseinanderzusetzen. Ziel der Veranstaltung war es, folgende Kompetenzen zu erlangen:

- bewusste Wahrnehmung der Oberflächenformen der Landschaft unter fachkundiger Anleitung
- zeichnerische Umsetzung der betrachteten Landschaft und Bezeichnung der Strukturmerkmale
- Erkennen verwendeter regionaler Gesteine (z. B. Metabasalt, Schalstein, Plattenkalkstein, Riffkalkstein) an Bauwerken der Stadt Weilburg
- aktualistischer Vergleich der Gesteine im Raum Weilburg mit denen aus heutigen Vulkangebieten und tropischen Riffkomplexen
- geowissenschaftliche Aspekte der Landschaftsentwicklung und -geschichte verstehen

#### Anschriften der Autoren:

Dr. PETER KÖNIGSHOF  
Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg  
Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt/Main

WOLFGANG MÜNZINGER  
Institut für Pädagogik der Sekundarstufe an der  
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt  
Senckenberganlage 15, 60054 Frankfurt/Main

Prof. Dr. KARL-JOSEF SABEL, Dr. DIETER NESBOR  
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Rheingaustr. 186, 65203 Wiesbaden

PETER SLABY  
Gesamtschule Spangenberg  
Unterhain 1, 34286 Spangenberg

Dazu wurden unter anderem folgende Arbeitsmethoden angewandt:

- makroskopische Bestimmung und Einordnung von Böden und Gesteinen
- Simulationsversuche im Labor zur Entstehung von Lagerstätten im regionalen Raum an ausgewählten Gesteinen
- Anfertigung von Gesteinsdünnschliffen zur mikroskopischen Untersuchung
- Methoden zur Bestimmung von Bodenarten und -eigenschaften
- experimentelle Verfahren zur Gewinnung von Werkstoffen wie Kalk und Eisen aus regionalen Rohstoffen (Kalkstein und Eisenerz)
- Umgang mit gewonnenen Werkstoffen (Kalk, Zement) und deren Nutzung

Unter fachkundiger Anleitung wurden die Teilnehmer gruppenweise mit den theoretischen Grundlagen und den geowissenschaftlichen Arbeitsmethoden sowohl im Labor als auch im Gelände vertraut gemacht. Eine allgemeine Einführung in die Geologie, Mineralogie und Bodenkunde sowie in die Systematik der Gesteine und Böden lieferte das nötige Handwerkszeug für das weitere Vorgehen (Abb. 2). Mit diesem Grundwissen ausgerüstet, begab man sich auf Spurensuche in die geologische Vergangenheit der Region. Das praktische und theoretische Kursprogramm wurde durch Besuche des Bergbaumuseums in Weilburg und des Kalkstein verarbeitenden Betriebes Schaefer Kalk KG in Steeden abgerundet. Den thematischen Schwerpunkt bildeten die geologischen und bodenkundlichen Exkursionen in die Steinbrüche Philippstein, Steeden, Villmar und zum Aussichtspunkt Kanapee in Weilburg.

In der unmittelbaren Umgebung der Stadt Weilburg ist eine Vielzahl unterschiedlicher Gesteine aufgeschlossen, wobei die verschiedenen magmatischen Gesteine von vulkanischer Tätigkeit zeugen (Abb. 3). Roteisenstein, der in dieser Region über Jahrhunderte für die Eisengewinnung abgebaut wurde (Abb. 4), und Kalkstein, der auch heute noch wirtschaftlich bedeutsam ist, sind hier charakteristisch. Doch wie kam es zur Ausbildung dieser verschiedenen Gesteine und warum stehen diese offensichtlich in unmittelbarem Zusammenhang? Wie alt sind sie und wie sind sie entstanden? Während der Exkursionen konnten unterschiedliche Boden- und Gesteinsproben gesammelt werden, die dann später im Labor näher beschrieben und bestimmt werden sollten. Hierzu wurden Dünnschliffe von Gesteinen angefertigt.

Anhand des Mineralbestandes und der Ausbildung charakterisierten die Teilnehmer die unterschiedlichen vulkanischen und metamorphen Gesteine (Umwandlungsgesteine) mithilfe der Dünnschliffmikroskopie und entschlüsselten ihre Entstehungsgeschichte. Ebenso wurden die verschiedenen Sedimentgesteine, insbesondere die Riffkalksteine, untersucht und die darin enthaltenen Fossilien bestimmt. Unter Berücksichtigung der erdgeschichtlich jüngsten Entwicklung dieses Raumes wurden Bodenproben untersucht und klassifiziert. Ergänzt wurde dies durch bodenphysikalische und bodenchemische Übungen. Zu den Höhepunkten zählten die Laborversuche zur Eisengewinnung im Sauerstoffstrom aus dem vorliegenden Roteisenstein sowie das Kalkbrennen auf dem Schulhof. Schließlich erfolgte eine zusammenfassende Betrachtung unter Einbeziehung der gewonnenen Daten – beispielsweise aus den Ergebnissen der Analyse von Gesteins- und Bodenproben, der Laboruntersuchungen sowie ausgewählter Literaturdaten – mit dem Ziel einer Rekonstruktion des Lebensraumes von vor rund 390 Millionen Jahren bis zur Gegenwart.



Abb. 1: Bodenproben wurden nach der Entnahme mit dem Bohrstock untersucht.



Abb. 2: Anhand von Sammlungsmaterial (Gesteinshandstücken) wurde eine Einführung in die verschiedensten Gesteine und deren Entstehungsgeschichte gegeben.

Der Besuch einiger ausgewählter Aufschlüsse, die für die geologische Entwicklungsgeschichte dieser Region charakteristisch sind, verdeutlichte den Zusammenhang zwischen Vulkanismus und der Entstehung von Riffen (Abb. 5, 6). In Weilburg am Kanapee zum Beispiel sahen sich die Teilnehmer die gut aufgeschlossene Kissenlava (Abb. 3) sowie das Profil im Steinbruch Philippstein an, wo ebenfalls vulkanische Gesteine und Roteisenstein aufgeschlossen sind. Weitere Ziele waren der Aufschluss in Villmar mit dem Korallen-/Stromatoporenriff und die Kubacher Kristallhöhle im Riffkalkstein.

Auf der Grundlage der eigenen Beobachtungen, durchgeführter Untersuchungen sowie der umfangreichen Lernmaterialien (Gesteinslexikon, Versuchsanleitungen, Gesteinsheft, Gesteinshandstücke, Bildmaterial) konnte die Rekonstruktion dieses Lebensraumes im Wesentlichen durch die Kursteilnehmer erarbeitet werden. Die Lehrkräfte leiteten die Schüler zu einer ideenreichen Präsentation der Ergebnisse mit einer szenischen Darstellung und einer Darlegung in Form von Schautafeln an.

Aus all den Einzelbefunden ergab sich, dass der Raum Weilburg in der Devon-Zeit (Zeitabschnitt im Erdmittelalter, ca. 390 Mio. Jahre vor heute) südlich des Äquators (ungefähr 20 – 25° südlicher Breite) lag und durch plattentektonische und gebirgsbildende Prozesse in seine heutige Position gebracht wurde. Die Untersuchung der Böden zeigte, dass sich vor den uns vertrauten braunen Böden, die heute repräsentativ sind, tropische, tiefrot gefärbte Böden entwickeln konnten.

Seitens der Schüler/-innen wurde die grundsätzliche Frage gestellt, wie sicher das Wissen ist, das hier dargestellt wird. Diese Einladung zur vertieften Beweisführung beantworteten die Fachleute mit der Aussage, dass es sich im POPPER'schen Sinne um „Vermutungswissen“ handelt, also um Theorien, die ihre Gültigkeit behalten, solange keine erklärungs mächtigeren Theorien entwickelt werden. Dieser Exkurs zum Wissen und Nicht-Wissen führte zur gesteigerten Aufmerksamkeit, wodurch das langsame Zusammenfügen einzelner Puzzleteile zu einem kompletten Bild der komplexen Entstehungsgeschichte dieser Region um Weilburg verfolgt wurde. Nach dieser Auseinandersetzung konnten die Teilnehmer selbst die Frage nach der ehemaligen Lage der Region fundiert beantworten.

Die Veranstaltungsteilnehmer stellten anlässlich eines Empfanges durch den Weilburger Bürgermeister HANS-PETER SCHICK den Eltern der Schüler/-innen ihre Ergebnisse vor, die sie später auch auf Postern präsentierten. Dadurch waren die Lehrkräfte, aber auch die Schüler/-innen veranlasst, über das Gelernte zu reflektieren und Defizite im abschließenden Gespräch mit den Experten auszugleichen. Von dieser Veranstaltung wird auch die Stadt Weilburg profitieren, da die Kursteilnehmer mit ihren Ergebnissen einen grundlegenden Beitrag zu dem in Vorbereitung befindlichen geologischen Lehrpfad bereitgestellt haben.

Die Veranstaltung hat gezeigt, dass der Bedarf an geologisch ausgerichteten Themen groß ist. Die Teilnehmer waren alle sehr interessiert und engagiert und haben somit wesentlich



Abb. 3: Pillowbasalte im Aufschluss am Kanapee in Weilburg: Zeugen submariner vulkanischer Aktivität



Abb. 4: Eines der wenigen noch zugänglichen Vorkommen von Roteisenstein (hier das sogenannte Lager Frankfurt) im Grenzbereich Mitteldevon/Oberdevon, südlich von Weilburg.

zum Gelingen dieser Fortbildung beigetragen, die engagierten Lehrkräften, besonders aber auch begabten und interessierten Jugendlichen einen Einblick in Teilbereiche der Forschungsarbeit der Geowissenschaftler gegeben hatten. Dabei wurden Wege aufgezeigt, wie auf der Grundlage einer fach- und institutsübergreifenden Konzeption die geologische Entwicklungsgeschichte einer Region für den Schulunterricht erarbeitet und zusammenfassend präsentiert werden kann. Die Veranstaltung wurde vom Hessischen Kultusministerium, dem Amt für Lehrerbildung (AfL), dem Lehrerfortbildungszentrum des Instituts für Didaktik der Chemie (Lfbz), der Universität Frankfurt und der Stadt Weilburg unterstützt. Das Hessi-

sche Landesamt für Umwelt und Geologie und das Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg leisteten ihren Beitrag im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit. Auch das Schulamt in Weilburg förderte diese Weiterbildung. Für zukünftige Projekte wäre an diese Kooperation anzuknüpfen.

Diese Fortbildungsveranstaltung folgt in idealer Weise dem durch die Vereinten Nationen (United Nations, UN) ausgerufenen „Decade of Education for Sustainable Development“ (2005 bis 2014) und versteht sich ebenso als Beitrag zur Fort- und Ausbildung im Rahmen des Internationalen Geowissenschaftlichen Programms (IGCP) der UNESCO, des Projektes Nummer 499 mit dem Titel „Devonian land-sea interaction: evolution of ecosystems and climate“ (Land-Meer-Wechselwirkungen im Devon: Entwicklung von Ökosystemen und Klima), welches federführend von Wissenschaftlern des Forschungsinstitutes und Naturmuseum Senckenberg geleitet wird.

Das Interesse von allen Seiten – der Jugendlichen, der Lehrkräfte sowie das der geowissenschaftlichen Institutionen – an der Fortsetzung solcher Fortbildungsveranstaltungen ist vorhanden. Es bleibt zu wünschen, dass die Bildungspolitik den um geowissenschaftliches Wissen erweiterten Begriff „science“ der PISA-Studie tatkräftig unterstützt. Der Erfolg zeigt, dass der vielzitierte Wissenschaftstransfer und die Nachwuchsförderung unter bestimmten Voraussetzungen gelingen kann.

Interessierte, die über diese Fortbildungsveranstaltung Unterlagen benötigen, können sich an die Autoren dieses Beitrages wenden.



*Abb. 5: Das Profil am Gänsberg südlich von Weilburg zeigt eine Abfolge von alkalibasaltischen Lapillituffen: Zeugen eines explosiven Vulkanausbruches, der in unmittelbarer Umgebung auf einer Vulkaninsel oder unter geringer Wasserbedeckung stattgefunden hat.*



*Abb. 6: Kleiner Aufschluss südlich von Füfurfurt: Entstehung erster Riffkalke über vulkanischen Ablagerungen.*

## Das Thema „Riffe“ im Schulunterricht

### Informationen, Anregungen, Erfahrungen

VON REINHOLD R. LEINFELDER, CHRISTA MAASSEN (†), HARTWIG PÜSCHEL

#### Zusammenfassung:

Moderner, fächerübergreifender Unterricht benötigt geeignete Themen. Das Thema „Riffe“ eignet sich ausgezeichnet dazu. Es verbindet Aktualität, Ästhetik und Komplexität mit Geschichte und Naturwissenschaften, insbesondere Geografie, Geologie, Paläontologie und Biologie. Der Artikel gibt eine Einführung in Ökosystem, Evolution, Bedeutung und Gefährdung der Riffe, beinhaltet eine kleine, weiterführende Ressourcenliste und berichtet über Erfahrungen mit dem Thema Korallenriffe im Schulunterricht. Eine erfolgreiche „ganzheitliche“ Schulkonferenz an einer bayerischen Schule präsentiert das erste Beispiel, bei dem die verschiedensten Disziplinen (Biologie, Chemie, Geografie, Kunst, Wirtschaftswissenschaften, Englisch und Deutsch) gemeinsam sowie mit Unterstützung einer staatlichen Forschungssammlung das Projekt gestalten. Das zweite Beispiel zeigt anhand des Lehrplans von Nordrhein-Westfalen auf, wie das Thema Riffe auch erfolgreich und ohne großen Aufwand in ein einziges Schulfach (hier Geografie) integriert werden kann. Beiden Beispielen sind Arbeitsblätter beigelegt, die direkt beziehungsweise in adaptierter Form verwendet werden können.

#### 1 Vorwort

Liebe Lehrerinnen und Lehrer, fragen Sie doch mal Ihre Schüler, was ihnen zum Thema Korallenriffe spontan einfällt? Kinoheld Nemo? Gefährliche Haie? Tauchabenteuer? Tropenurlaub? Bestimmt hören Sie Derartiges. Aber wie werden die Reaktionen sein, wenn Sie erzählen, dass Riffe auch mit Klima, Welternährung, Pharmazie, Weltwirtschaft, Erdöl, Überschwemmungen, Tsunamis, aber auch der Eifel, den Alpen zu tun haben und die höchste Vielfalt an Meerestieren beherbergen, die wir überhaupt kennen. Oder dass wir indirekt unsere Existenz überhaupt den allerersten Riffen vor 3 bis 1 Milliarden Jahren zu verdanken haben, weil diese – aufgebaut von Urmikroben – die Weltmeere entgiftet und die Sauerstoffatmosphäre aufgebaut haben. Wir könnten uns vorstellen, dass manche Augen groß werden und einige sagen, gibt's doch gar nicht, dazu wollen wir mehr wissen. Wir würden uns freuen, wenn es so wäre und wenn Sie das Thema aufgreifen würden.

Aber ist das Thema „Riffe“ für den Schulunterricht nicht viel zu komplex? Schließlich stellt es das komplexeste marine Ökosystem dar und wird durch eine Fülle physikochemischer, geolo-

#### Inhaltsverzeichnis:

- 1 Vorwort
- 2 Das Ökosystem Riff.  
Aufbau, Bedeutung und Gefährdung –  
eine kurze Einführung
- 3 Ressourcen
- 4. Erfahrungsberichte und Anregungen
  - 4.1 Die Schulausstellung: Riffe –  
Oasen der Weltmeere seit 3 Milliarden Jahren.
  - 4.2 Naturgeografische Themen im Gymnasium NRW
- Arbeitsblatt Tuvalu-Information, mit Internet-Links
- Diverse Kurzinformationen und Arbeitsblätter für den Unterricht zum Rahmenthema Tuvalu

#### Anschriften der Autoren:

PROF. DR. REINHOLD R. LEINFELDER  
Museum für Naturkunde der  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Invalidenstr. 43, 10115 Berlin  
E-Mail: [leinfelder@museum.hu-berlin.de](mailto:leinfelder@museum.hu-berlin.de)

HARTWIG PÜSCHEL  
Willibald-Gluck-Gymnasium  
Dr.-Grundler-Str. 7, 92318 Neumarkt i. d. Opf.

gischer, geografischer und biologischer Prozesse gesteuert. Außerdem: Wie soll man das Thema visualisieren, gibt es doch in Deutschlands Meeren keine Riffe? Aber es ist gerade diese Komplexität, die in Riffen derart faszinierend ist, die sich eben auch ausgezeichnet über Analogien wie „Oasen in den Meeressümpfen“ oder „Städte unter Wasser“ veranschaulichen und erklären lässt. So kann das Thema eben auch besonders gut von verschiedenen Seiten (Erdkunde, Biologie, aber auch geisteswissenschaftliche Fächer) sowie fächerübergreifend aufgegriffen werden und zeigt sehr viele – wegen des schlechten Zustands heutiger Riffe leider fast zu viele – aktuelle, angewandte Bezüge.

Wir wollen Ihnen dazu im Nachfolgenden einige Anregungen und Hilfestellungen geben. Unsere einführende Übersicht zum Ökosystem Riff, zum gesellschaftlichen Nutzen, aber auch zu den Gefährdungen der Riffe halten wir sehr kurz, da viele von den Autoren und anderen erstellte Ressourcen hierzu auch im Internet verfügbar sind, auf die wir Sie im entsprechenden Abschnitt aufmerksam machen. In diesem Beitrag möchten wir Ihnen insbesondere anhand mehrerer Beispiele Anregungen geben, wie Sie das Thema im Erdkundeunterricht, im Biologieunterricht, aber gerade auch als fächerübergreifenden Projektunterricht einbauen könnten. Wir berichten von den Erfahrungen mit einer in Kooperation mit Universität und Museum erstellten und in den Unterricht eingebauten Riffausstellung an bayerischen Schulen sowie von Schulprojekten aus Nordrhein-Westfalen. Zu allem werden Ihnen auch Arbeitsblätter zur Verfügung gestellt, die Sie bei Interesse gerne direkt verwenden können.

## 2 Das Ökosystem Riff. Aufbau, Bedeutung und Gefährdung – eine kurze Einführung

(VON R. LEINFELDER)

### Vorkommen heutiger Riffe

Heutige Riffe finden sich in Form von Korallenriffen in etwa zwischen den Rossbreiten, jedoch nur dort, wo das Wasser warm genug, flach genug sowie sauber und nährstoffarm ist. Korallenriffe kommen damit in tropischen und subtropischen Regionen vor, aber nur auf submarinen Erhebungen oder entlang von Festlands- und Inselküsten, eben im Flachwasser (Abb. 1). Vor großen, viel Sediment liefernden Flussmündungen sowie in den nährstoffreichen Auftriebsgebieten vor den Westküsten der Kontinente fehlen sie.

### Riffkorallen als lichtabhängige „Blumentiere“

Grund für diese eindeutige Verteilung der Riffe ist insbesondere die Symbiosebeziehung zwischen den zu den Hohltieren gehörenden riffbildenden Steinkorallen (Abb. 2) und einzelligen Algen aus der Gruppe der Dinoflagellaten, den sogenannten Zooxanthellen. Diese synthetisieren aus Kohlendioxid und Wasser mithilfe von Sonnenlicht Fotosynthese-Produkte, von denen sie weit über 60 %, manchmal bis zu 90 % an die Koralle abgeben, wovon sich die Koralle hervorragend ernähren kann. Nur Stickstoff- und Phosphorverbindungen müssen von der Koralle durch Fangen von Zooplankton hinzugeführt werden. Weitere Vorteile für die Koralle sind die Verwendung von ausgeatmetem Kohlendioxid sowie Abfallstoffe wie Orthophosphate durch die Zooxanthellen.

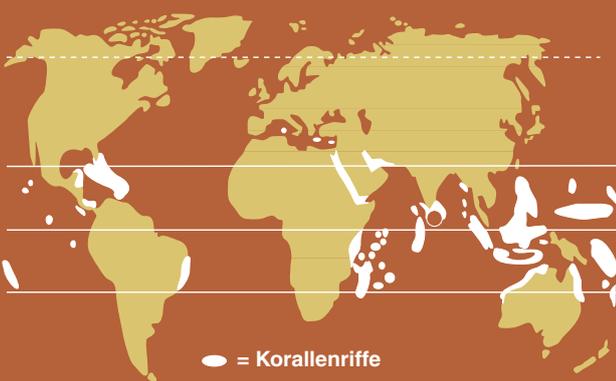


Abb. 1: Vorkommen heutiger Warmwasser-Korallenriffe



Abb. 2: Schematisierter Aufbau einer Steinkoralle (solitäre Form). Steinkorallen haben ein durch Septen differenziertes Außenskelett aus Kalk. Die Zooxanthellen sitzen im Gewebe der Tentakeln und der Oralscheibe.

Beide Stoffe behindern die Ausscheidung des Kalkskeletts durch die Korallen und sind Stoffe, die die endosymbiontischen, das heißt, die im Gewebe der Korallen lebenden Algen für ihren Stoffwechsel benötigen. Außerdem müssen die Dinoflagellaten im Unterschied zu im freien Meer lebenden Formen keine Zellulosepanzer als Schutzmechanismus entwickeln und können ihre Reproduktionsrate reduzieren. Die Endosymbiosebeziehung lässt sich sehr gut als Vermieter/Untermieterverhältnis veranschaulichen. Die Koralle als Vermieter stellt Schutz und Grundressourcen zur Verfügung, die Mieter müssen Mietzins in Form von Fotosynthaten zahlen. Werden die Mieter aufdringlich, etwa durch zu starke Vermehrung während Temperaturspitzen, werden sie vom Vermieter aus der Wohnung geworfen – mit dem Effekt des Korallenbleichens, wobei der Vermieter allerdings auf die lebensnotwendigen Einnahmen verzichtet, was er nur kurz durchhalten kann. Das Korallentier kann übrigens für den Unterricht gut mit aus einem Heuaufguss gewonnenen Süßwasserpolyphen Hydra veranschaulicht werden, auch wenn dieser streng genommen nicht zu den Anthozoa, also den Blumentieren, sondern den Hydrozoa gehört und keine Fotosymbionten beinhaltet.

### Städte unter Wasser – Das Riffökosystem

Auch sehr viele andere Aspekte der Korallenriffökologie können mit dem Bild der „Städte unter Wasser“ veranschaulicht werden (LEINFELDER & GINSBURG 1998). Die Riffkorallen sind die Hauptbaumeister und bilden Unterwasserstädte aus Stein. Da die Platzverfügbarkeit eingeschränkt ist, wird vor allem in die Höhe gebaut. Marktplätze mit „Frischgemüse“ in Form von Makroalgenüberwuchs sind zahlreich vorhanden und ziehen Pflanzenfressende Fische aus Lagune und Hochsee an, die wiederum räuberische Tiere anziehen, sodass das Nahrungsnetz immer komplexer wird. Makro- und Blaualgen wachsen aber gerne wie Unkraut, auch über die Korallen. Ein Gartenbauamt in Form von besonders effizienten „Rasenmäherbrigaden“ wie Papageifischen und Diademseeigeln muss immer wieder freie Flächen schaffen, auf denen auch wieder neu gebaut werden kann, auf dem sich also Korallenlarven ansiedeln können. Die Energieversorgung der Stadt ist hochmodern, da dezentral durch Milliarden kleiner Solarzellen, eben den Fotosymbionten im Gewebe der Steinkorallen. Es gibt Filter- und Kläranlagen im Riff, die das Wasser sauber und damit lichtdurchlässig halten, indem feinste organische Bestandteile bis hinunter zu Bakteriengröße herausgefiltert und gefressen werden. Alle filtrierenden Muscheln, Moostierchen und viele andere Organismengruppen gehören dazu; die besten Filterer sind jedoch die Schwämme, die imposante Filterleistungen haben können. Ein handtellergroßer Schwamm kann je nach Gruppe eine ganze Badewannenfüllung in wenigen Stunden aktiv durch sich hindurchpumpen und

dabei das Wasser effizient säubern. Am Boden angekommene tote organische Materie, wie etwa Fischschuppen, Leichen von Tieren werden durch die Müllabfuhr recycelt, zu der die meisten Krebstiere, darunter auch die Einsiedlerkrebse gehören. Das Kalkskelett kranker und toter Steinkorallen wird durch eine Brigade von bohrenden Organismen zu Sand und Geröll zerlegt. Zu diesen „Abbruchunternehmen“ gehören Bohrmuscheln, viele bohrende Würmer, Bohralgen, manche Seeigel und wieder einmal Schwämme, nämlich die Bohrschwämme, die sich zum Schutz in die Kalkskelette bohren. Der durch Bohrorganismen und Stürme gebildete Sand wird teilweise aus dem Riff herausgewaschen, verfüllt die Lagunen und bildet wunderschöne weiße Sandstrände, zum Teil wird er aber auch durch „Mörtelmeister“ im Riff fixiert und so wieder zu guten Baugründen für neue Korallengebäude umgewandelt. Besonders wichtige Mörtelmeister sind inkrustierende Kalkrotalgen, die auch im stark wellenbewegten Wasser über Lockermaterial wachsen können und dieses durch Ausscheidung eines Kalkskeletts festzementieren können. Viele weitere Dienstleister finden sich im Riff, wie zum Beispiel Putzerfische und Putzergarnelen, die richtige Putzstationen unterhalten, was übrigens im Erfolgstrickfilm „Große Haie, kleine Fische“ entsprechend thematisiert wurde. Erwähnt sei, dass neben den tropisch-subtropischen Korallenriffen auch sogenannte Kaltwasserriffe existieren. Hier wachsen Korallen ohne Fotosymbionten in nährstoffreichen Wässern, die oft viele hunderte von Metern tief sind. Wir haben es hier mit einem völlig anderen Ökosystem zu tun, welches sich, da von anderen Korallen dominiert, bevorzugt an besonders nährstoffreichen Stellen ansiedelt, was also ganz im Gegensatz zu den tropischen Riffen steht (FREIWALD 2002 a, 2002 b). Die Ernährung dieser auf recht wenige Arten beschränkten Tiefwasserkorallen erfolgt ausschließlich über das Einfangen von Plankton. Derartige Ökosysteme, die man vielleicht eher als Korallenrasen bezeichnen könnte, wachsen zum Beispiel auf dem tiefen Schelf vor Norwegen, vor Portugal und an vielen anderen Stellen im Atlantik und Pazifik. Vergleichbar mit tropischen Korallenriffen ist aber die enorme Bedeutung dieser Ökosysteme als Kinderstube und Ernährungspool für Fische und damit auch für den globalen Fischfang. Leider stellt in beiden Systemen der Fischfang (Schleppnetzfisherei bei Tiefwasserriffen, generelle Überfischung, Dynamit- und Zyankalifischerei in tropischen Flachwasserriffen) auch eine starke Bedrohung dar.

### Riffe als Gesteinsproduzenten

Das Kalkproduktionspotenzial der tropischen Flachwasserriffe ist faszinierend. Korallenriffe sind nur mit etwa 2 % Fläche in den tropischen Meeren vertreten, ihre Kalkproduktivität ist jedoch so gigantisch, dass sie – sofern gesund – mit jedem Meeresspiegelanstieg mithalten können und damit einen hervorragenden natürlichen Küstenschutz für die häufig in Hurrikangebieten lie-

genden Festlands- und Inselküsten darstellen. Ohne sie wären Sturmschäden viel gravierender, selbst die schrecklichen Auswirkungen des Tsunamis vom Dezember 2004 waren dort deutlich geringer, wo noch annähernd intakte Korallenriffe vorhanden waren, wie zum Beispiel auf den Malediven (RADEMACHER 2005: 83, VINCE 2005, REUTERS 2005, TÖPFER & UNEP 2005). Vor Sri Lanka wurden bis in die Achtzigerjahre des vorigen Jahrhunderts moderne Riffe für die Zementindustrie abgebaut, sodass die entsprechenden Küstenabschnitte völlig ungeschützt waren. Die Regierung der Malediven hat erfreulicherweise inzwischen längst erkannt, dass die Riffe nicht nur die Touristen anlocken, sondern bei generell steigendem Meeresspiegel mitwachsende Schutzwälle darstellen. Nicht nur die Korallen produzieren Kalk, sondern auch viele Kalkalgen, einzellige Kammerlinge und sonstige riffbewohnende Organismen. Korallenriffe schaffen auch neue Lebensräume. Hinter bis zum Meeresspiegel hochgewachsenen Korallenriffen bilden sich Lagunen, in denen vor allem durch die dort weitverbreiteten Kalkalgen die Kalziumkarbonat-Produktivität wiederum sehr hoch ist. Dieses System optimiert sich selbst, da an den nunmehr niederenergetischen Festlandsküsten Mangrovesümpfe entstehen können, die Sedimentfracht und Nährstoffe, die von Hinterlandsflüssen in die Meere gelangen, abfangen und damit das Kalkproduktionssystem Korallenriff-Lagune weiter stabilisieren. Schon DARWIN wusste, dass die Absenkung ozeanischer Vulkane vom Riff- und Lagunenwachstum kompensiert werden kann – die Absenkung hat mit der Abkühlung der ozeanischen Lithosphärenplatten bei zunehmender Entfernung von den mittelozeanischen Rücken



**Abb. 3:** Blick auf das Schlernplateau (links) und die Seiseralm (rechts), Dolomiten, Italien. Der Schlern stellt ein mitteltriasisches Riffsystem dar. Das Riff lag an der Kante, die Lagune links, den Hang zur Seiseralm repräsentieren Riffschuttsedimente des Vorriffs. Die Hauptrifforganismen waren damals jedoch keine Korallen, sondern Kalkschwämme. Die Rifforganismen bauten viele hunderte Meter von Kalkstein auf, der später überwiegend zu Dolomit umgewandelt wurde.

zu tun. Durch die hohe Karbonatproduktivität können bei tektonischer Absenkung Kalkablagerungen gebildet werden, die viele hunderte, ja tausende von Metern dick werden können. So entstanden zum Beispiel die Kalkabfolgen aus der Trias-Zeit in den Dolomiten (Abb. 3) oder Nördlichen Kalkalpen, aus dem Oberjura in der Schwäbischen und Fränkischen Alb oder aus dem Mitteldevon im Rheinischen Schiefergebirge und im Harz. Die Gesteine wurden später angehoben und bilden heute beliebte Ausflugsgebiete. Damit ist Deutschland eben doch ein Riffland, nur stammen die Riffe eben aus 370 Millionen (Mitteldevon), 230 Millionen (Trias) oder 150 Millionen (Oberjura) Jahre zurückliegenden Zeiten. Selbst der höchste Berg Deutschlands repräsentiert mit dem mitteltriassischen Wettersteinkalk Relikte eines Riffgebietes aus längst vergangener Zeit.

### Die Evolution der Riffe

Riffe gibt es bereits seit den Frühzeiten der Erde. Sie stellen jedoch kein archaisches System dar, sondern haben sich ständig weiterentwickelt und dabei auch die Erde laufend verändert. Am augenfälligsten gilt dies für die Riffe aus der frühen Erdgeschichte. Definieren wir Riffe als Ökosysteme, die durch die Lebensaktivität von am Boden festgewachsenen Organismen geschaffen wurden und dabei überlieferungsfähige mineralisierte, meist aus Kalk bestehende Strukturen bedingen, gehören die bereits seit drei Milliarden Jahren existierenden Stromatolithen zu den Riffen. Solche Riffe bestehen vor allem aus verkalkten mikrobiellen Schleimen, wobei aufwachsende Kalklaminae entstehen, die mehrere Meter hohe Strukturen bilden können. Die beteiligten Mikroben waren ursprünglich anaerob, bald kamen jedoch Zyanobakterien dazu, die bereits das Fotosynthesystem entwickelt hatten und dafür verantwortlich waren, dass die Urozeane oxisch wurden und sich die Sauerstoffatmosphäre entwickelte. Durch die damit verbundene enorme Kalkfällung wurde Überschusskalzium aus den Ozeanen entfernt. Damit wurden die Voraussetzungen für höheres Leben weiter verbessert. Zu hohe Kalziumkonzentrationen sind ein Zellgift – die Bildung von Kalkschalen, aber auch von Knochen kann in gewisser Weise auch als kontrollierte enzymatische Entgiftung des Körpers vor Überschusskalzium gesehen werden. Die Entwicklung dieses Entgiftungssystems und der damit verbundenen adaptiven Möglichkeiten als Schutz- beziehungsweise Stützskelett war jedoch erst möglich, als die Konzentration von Kalzium durch die frühen Riffe auf „verträgliche“ Werte reduziert wurden. Ganz nebenbei fällten vor etwa 2,5 Milliarden Jahren spezielle Eisenbakterien, die sich als Anpassung an das zunehmend auftretende Oxidationsgift Sauerstoff entwickelten, massenhaft das in den Urmeeren gelöste Eisen aus und bildeten vorübergehend Eisenstromatolithen, die sogenannten Gebänderten Eisenerze (auch als Itabirite bekannt). Dieser spezielle Riffotyp stellt die wichtigsten Eisenerzvorkommen

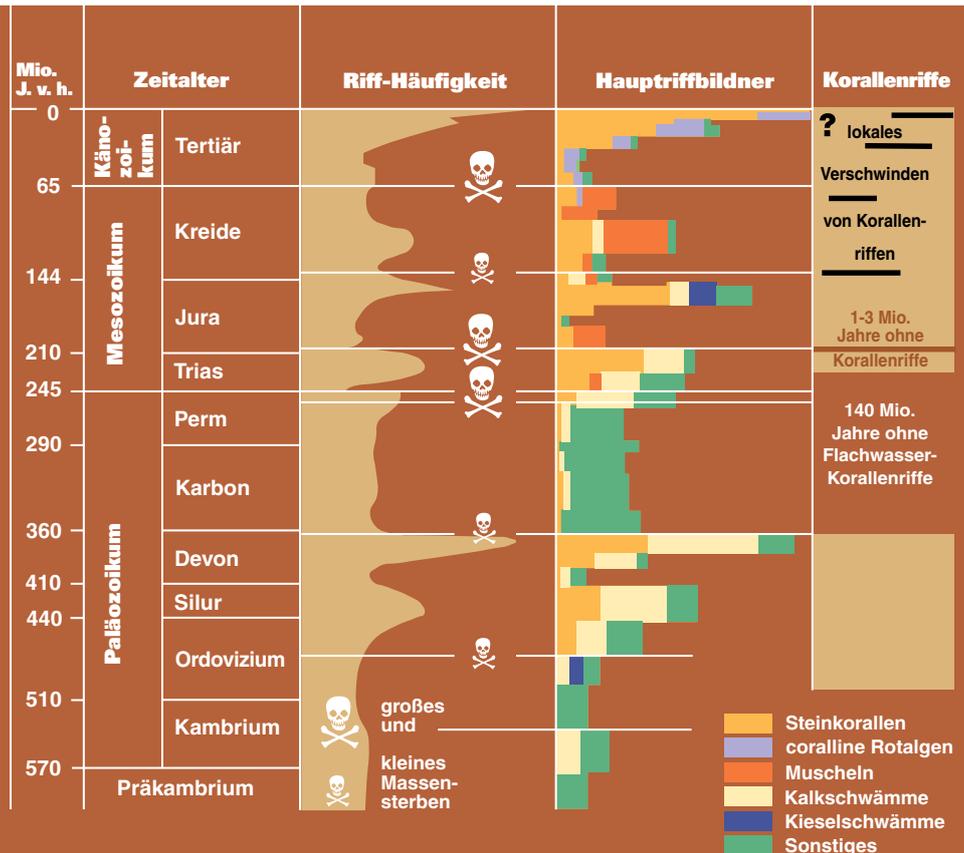
unserer Erde dar. Seit dem Kambrium entwickelten sich eine Fülle unterschiedlicher Riffotypen, wie zum Beispiel Schwammriffe, Algenriffe, Moostierchenriffe und, seit etwa 500 Millionen Jahren, auch Korallenriffe. Allerdings haben sich auch die Korallenriffe seit dieser Zeit evolutiv stark verändert und insbesondere zunehmend spezialisiert. Vor vielleicht 150 Millionen Jahren erfolgte die Aufspaltung der Korallenriffe in tropische, an extrem nährstoffarme Milieus angepasste Hochsee-Riffe und Korallenriffe, die weiterhin stark vom Vorhandensein von Plankton abhängig waren und bis heute zunehmend in das Tiefwasser der Ozeane abwandern. Weitere allgemeinverständliche Details zur Entwicklung der Riffe siehe FLÜGEL (1998) und LEINFELDER (2003). Die in Süddeutschland weit verbreiteten Jura-Riffe werden in LEINFELDER (1998) sowie im „Jurassic Reef Park“ ([www.palaeo.de/edu/jrp](http://www.palaeo.de/edu/jrp)) behandelt. (Abb. 4)

**Gesellschaftlicher Nutzen und Gefährdung der Riffe**

Besonders stark ändern sich die Korallenriffe allerdings heute. Während Kolumbus wohl noch sehr natürliche Riffe und Lagunen antraf und beim Landen in Mittelamerika noch über die Panzer lebender Meeresschildkröten in der Lagune an Land gehen konnte (JACKSON 1997), wurden die Riffe seitdem zunehmend durch den Menschen genutzt, was in den letzten Jahrzehnten dramatisch angestiegen ist und die Riffe extrem geschädigt hat. Mindestens 70 % aller Korallenriffe sind wohl ernsthaft bedroht. Listen wir Einiges der gesellschaftlichen Relevanz heutiger tropischer Korallenriffe auf, wobei Nutzen und damit verursachte Übernutzung meist sehr eng zusammenliegen.

- Korallenriffe sind für die lokale, regionale und globale Ernährung wesentlich, wie bereits geschildert wurde. Auch die Gefährdung durch Überfischung, Schleppnetzfischerei, Dynamit- und Zyankalifischerei wurde bereits erwähnt.
- Organismen aus Korallenriffen und Lagunen stellen eine wesentliche pharmazeutische Ressource dar. Hochwirksame Schmerzmittel aus den Giften von Konusschnecken, Prostaglandinengewinnung gegen Herz-Kreislauf-Erkrankung aus Hornkorallen, ARA-C-Produktion aus Schwämmen und Korallen im Kampf gegen Aids, neue antibakterielle Wirkstoffe, Korallenskelettmehl als Grundstoff zur Modellierung abwehrreaktionsarmer zertrümmerter Kieferknochen, ja sogar „Glasaugen“ aus Korallensubstanz – die Liste ist schier unendlich. Auch hierbei wird jedoch mancherorts bereits Raubbau betrieben – der Autor REINHOLD LEINFELDER musste bereits beobachten, wie entsprechend interessierende Seesterne quantitativ in einem geschützten Gebiet mit hochtechnischen Methoden abgesammelt wurden. Neben einer nachhaltigen Nutzung lassen Erfolge in der Zucht sowie auch im gentechnischen Nachbau natürlicher Riffsubstanzen hoffen.
- Auf die Bedeutung von Riffen als natürlichen Küstenschutz gegen Stürme, Hochwässer, steigenden Meeresspiegel und Tsunami-Auswirkungen haben wir bereits hingewiesen, genauso wie auf den Abbau von Korallenriffen für die Zementindustrie, der an manchen Stellen der Welt leider immer noch stattfindet. Viele Regionen, wie etwa die Malediven, haben

Abb. 4: Riffrevolution und Riffsterben während der Erdgeschichte. Häufigkeit und Zusammensetzung der Riffbildner ändern sich laufend. Unter Sonstiges sind v. a. mikrobielle Krusten, verschiedene ausgestorbene Kalkalgengruppen und Moostierchen zusammengefasst. Globale Aussterbeereignisse sind durch Totenköpfe gekennzeichnet. Das Präkambrium begann vor 4,6 Milliarden, das Mikrobienriffwachstum vor etwa 3 Milliarden Jahren. Nach dem katastrophalen Aussterben der meisten paläozoischen Korallen im höheren Devon dauerte es etwa 140 Millionen Jahre, bis wieder subtropische Korallenriffe des Flachwassers auftraten. Nach FLÜGEL (1997) verändert und ergänzt



aus der entsprechenden Übernutzung gelernt und unterlassen inzwischen den Abbau. Aber auch die allgemeine Wasserverschmutzung durch Überdüngung aus Landwirtschaft und Abwässern sowie Schwebstoffeintrag aufgrund küstennaher Bautätigkeit, Mangrove- und Regenwaldabholzung schädigen die Riffe und beeinträchtigt auch die Funktion als natürlicher Küstenschutz. Ein erschreckendes Beispiel des Abbaus der Schutzfunktion durch Umweltschädigungen ist derzeit auf dem Inselarchipel von Tuvalu zu beobachten. Wir haben dies für Sie bereits direkt für den Unterricht aufgearbeitet (s. Kap 4. 2).

- Riffe sind ein touristischer Wirtschaftsfaktor. Dies bezieht sich nicht nur auf die Millionen von Schnorchlern und Tauchern in heutigen Riffen, sondern auf noch weitaus mehr Touristen, die vor allem an weißen Sandstränden und tropischen Lagunen interessiert sind. Ohne die Riffe und die damit zusammenhängenden Lagunensysteme wären die Sandstrände gar nicht erst generiert oder gleich wieder durch hohe Wellenenergie abgespült worden. Damit hängt die Wirtschaft ganzer Regionen wie etwa der Karibik, Ägyptens, der Malediven oder von Thailand komplett oder zu einem großen Teil direkt und indirekt von den Riffen ab. Aber auch zu Hause wird durch Reiseveranstalter, Fluggesellschaften oder Sportartikelhersteller kräftig am Rifftourismus verdient. Der Massentourismus ist aber auch eine immense Bedrohung der heutigen Riffe. Trampeln ungeübter Schnorchler auf Riffdächern, schädliches Berühren von Korallen, Ankerwerfen in Riffen sowie insbesondere der Abbau ganzer Riffe für Souvenirartikel sind wesentliche Bedrohungen.
- Aufgrund der chemischen Pufferkapazität des karbonatischen Systems sowie der dauerhaften Abfuhr von Kohlendioxid als Kalziumkarbonat aus der mit der Atmosphäre gekoppelten Hydrosphäre in die Lithosphäre stabilisieren Korallenriffe langfristig auch unser Klima. Umgekehrt stellen El-Niño-Temperaturschwankungen in Verbindung mit dem anthropogenen Anteil der Klimaerwärmung ein besonders hohes Gefährdungspotenzial für unsere heutigen Korallenriffe dar. Bei erhöhten Temperaturen geraten die Korallen unter Temperaturstress und stoßen ihre Symbionten ab – das gefürchtete Korallenbleichen setzt ein. Es führt zum Absterben ganzer Korallenriffe, sofern die Temperaturspitzen zu lange oder zu häufig auftreten. Das seit Menschengedenken größte Bleichen fand 1998 statt, Wassertemperaturen bis zu 40 °C etwa auf den Malediven führten teilweise zu Mortalitätsraten von über 90 %. Auch wenn die Riffe teilweise wieder bunt aussehen, bleibt abzuwarten, ob sich nur die nicht Karbonat produzierenden, bunten Weichschwämme, Hornkorallen und Algen regenerieren, oder ob auch die Karbonatproduktion wieder die ursprünglichen

Werte erreicht und damit die Riffe auch weiterhin mit Wellenabration und Bohrorganismen im Gleichgewicht stehen. Aussterbeereignisse von Riffen sind aus der Erdgeschichte vielfältig bekannt. Immer wieder erholten sich die Riffe, jedoch lagen die Regenerationszeiträume in Größenordnungen von mehreren 100 000 bis vielen Millionen Jahren. Sollten Riffe heute aussterben, wären sie für die menschliche Gesellschaft verloren.

- Erwähnt werden soll auch die gesellschaftlich-ökonomische Bedeutung fossiler Riffe. Neben der Bedeutung bei der Bildung faszinierender Landschaften sind Riff- und Lagunenkalke wertvolle Ressourcen für die pharmazeutische und chemische Industrie sowie für die Baustoff- und Bausteinindustrie. Darüber hinaus sind fossile Riffe und Lagunensande wegen ihrer Porosität ausgezeichnete Erdöl- und Erdgasspeichergesteine. Die weltgrößten Kohlenwasserstofflagerstätten befinden sich in paläozoischen, jurassischen und kretazischen Riff- und Lagunengesteinen.

Weitere Hintergrund-Informationsquellen zur Bedeutung und Gefährdung von Riffen sowie generell zum Thema Riffe finden Sie zum Beispiel bei LEINFELDER & BRÜMMER (1998), HODGSON & LIEBELER (2002) sowie im nachfolgenden Kapitel.

#### Direkt im Text zitierte Angaben

- FLÜGEL, E. (1997): Riffe heute und früher. Die Entwicklung eines Ökosystems in der geologischen Zeit. – In: STEININGER, F.; MARONDE, D. [Hrsg.]: Städte unter Wasser – 2 Milliarden Jahre. (Begleitheft zur gleichnamigen Riff-Ausstellung im Naturmuseum Senckenberg anlässlich IYOR). – Kleine Senckenberg-Reihe Nr. **24**; Frankfurt/M. (W. Kramer).
- FREIWALD, A. (2002 a): Reef-forming cold water corals. – In: WEFER, G.; BILLET, D.; HEBBELN, D.; JORGENSEN, B. B.; SCHLÜTER, M.; WEERING, T. VAN [Hrsg.]: Ocean Margin Systems: 365 – 385; Berlin Heidelberg (Springer).
- FREIWALD, A. (2002 b): Paläontologie im 5. Rahmenprogramm der Europäischen Union: Das ACES Projekt (Atlantic Coral Ecosystem Study): <http://www.palaeontologische-gesellschaft.de/palges/forschung/forschung.html?forschung/freiwald/index.html>
- HODGSON, G.; LIEBELER, J. (2002): The Global Coral Reef Crisis: Trends and Solutions, 1997 – 2001. – [http://www.reefcheck.org/news/news\\_detail.php?id=25](http://www.reefcheck.org/news/news_detail.php?id=25)
- JACKSON, J. (1997): Reefs since Columbus. – *Coral Reefs*, **16** (5): 23 – 32.
- LEINFELDER, R. (1996): Jurassic Reef Park – Eine populärwissenschaftliche online-Führung zu den Jura-Riffen. – <http://www.palaeo.de/edu/JRP>

- LEINFELDER, R. R. (1998): Riffe aus alten Zeiten: das Beispiel der Jurariffe. – In: LEINFELDER, R.; KULL, U.; BRÜMMER, F. [Hrsg.]: Riffe – ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht. – Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie, Profil, **13**: 37 – 48.
- LEINFELDER, R. (2003) Korallenriffe – Zentren der Artenvielfalt und Evolution. – In: HANSCH, W. [Hrsg.]: Katastrophen in der Erdgeschichte. Wendezeiten des Lebens. – Museo, **19**: 180 – 199, Heilbronn. – [Auch kpl. als pdf-Datei verfügbar unter [http://www.palaeo.de/edu/ind\\_riffe.html#museo](http://www.palaeo.de/edu/ind_riffe.html#museo)]
- LEINFELDER, R. R.; BRÜMMER, F. (1998): Der Mensch und die Riffe: Bedeutung, Gefährdung, Schutzmaßnahmen. – In: LEINFELDER, R.; KULL, U.; BRÜMMER, F. [Hrsg.]: Riffe – ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht. – Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie, Profil, **13**: 21 – 36.
- LEINFELDER, R. R.; GINSBURG, R. (1998): „Städte unter Wasser – Gibt es so etwas?“ – In: LEINFELDER, R.; KULL, U.; BRÜMMER, F. [Hrsg.]: Riffe – ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht. – Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie, Profil, **13**: 105 – 114. – [s. auch <http://www.riffe.de/riffstadi>]
- RADEMACHER, C. (2005): Der Weg der Welle. – GeoEpoche, **16**: 46 – 87; Hamburg (Grüner & Jahr).
- REUTERS (2005): Coastal 'Green Belts' Seen as Tsunami Life Savers. <http://www.climateark.org/articles/reader.asp?linkid=37895>
- TÖPFER, K.; UNEP (2005): After The Tsunami. Rapid Environmental Assessment. – United Nations Environment Programme, <http://mirror.unep.org/tsunami/reports/TsunamiReportComplete.pdf>
- VINCE, G. (2005): Natural barriers reduced tsunami devastation (UNEP). <http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn7053>

### 3 Ressourcen

(zusammengestellt von R. LEINFELDER)

**Eine Auswahl allgemeinverständlicher Übersichtsartikel zum Ökosystem Korallenriffe (und weitere Riffe) (s. auch Literaturverzeichnis von Kap. 2):**

- BRÜMMER, F.; LEINFELDER, R.; REINIKE, G. (1997): Die Korallenriffe unserer Meere. Faszinierende Lebensvielfalt und imposante Steingebäude. – In: STEININGER, F.; MARONDE, D. [Hrsg.]: Städte unter Wasser – 2 Milliarden Jahre. (Begleitheft zur gleichnamigen Riff-Ausstellung im Naturmuseum Senckenberg anlässlich IYOR). – Kleine Senckenberg-Reihe Nr. **24**: 131 – 143; Frankfurt/M. (W. KRAMER).
- LEINFELDER, R. (2003) Korallenriffe – Zentren der Artenvielfalt und Evolution. – In: HANSCH, W. [Hrsg.]: Katastrophen in der Erdgeschichte. Wendezeiten des Lebens. – Museo, **19**: 180 bis 199, Heilbronn. – [Auch kpl. als pdf-Datei verfügbar unter [http://www.palaeo.de/leinfelder/freepdfs/Leinfelder\\_in\\_Hansch\\_h03.pdf](http://www.palaeo.de/leinfelder/freepdfs/Leinfelder_in_Hansch_h03.pdf)]
- LEINFELDER, R.; KULL, U.; BRÜMMER, F. [Hrsg.] (2002): Riffe – ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht. – Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie; 2., überarb. Aufl. – [kostenlose online pdf-Version. 150 S., <http://www.riffe.de/schulbuch>]

**Online verfügbare Versionen allgemeinverständlicher Vorträge:**  
<http://www.palaeo.tv/talks/reeftalks.html>

- Vortragsfolien zu „Riffe unter Stress“ (R. LEINFELDER)
- Edutainment zum Tuvalu-Thema: „Was hat www.erotik.tv mit Riffen und Klima zu tun?“ (R. LEINFELDER)
- Ausgearbeitetes und bebildertes pdf-Manuskript zum Vortrag „Die Evolution der Biodiversität – Das Beispiel der Riffe“ (R. LEINFELDER)

**Online verfügbare Filmclips und komplette Filme zum Thema Riffe:**

- <http://www.palaeo.tv/modern>
- <http://www.palaeo.tv/ancient>

**Beispiele zu Riffaquarien in Deutschland:**

- Lebendes Korallenriff in Deutschland? Na klar, und zwar wunderschön im Löbbecke-Museum von Düsseldorf: Als Vorbereitung vor dem Besuch erstmal ins Web? <http://www.aquaristik.de/world/loeb1.htm>
- Riffaquarien im Jura-Museum, Eichstätt: <http://www.altmuehlnet.de/~an01118/Seite4.html>

**Weitere Online-Ressourcen:**

- LEINFELDER, R. (1996 ff.): Jurassic Reef Park – Eine populärwissenschaftliche online-Führung zu den Jura-Riffen. – <http://www.palaeo.de/edu/JRP>
- LEINFELDER, R. (1997 ff.): Die Internet-Seiten zum Jahr des Rifffes (IYOR 1997), ab 1998 weitergeführt als „Der Deutsche Rifffressourcen-Server“; zusammen mit weiteren Riffangeboten und online-Artikeln zu erreichen unter <http://www.riffe.de>

- LEINFELDER, R.; BRÜMMER, F. (1997): Die Riffe und der Mensch: ein Dilemma. – [www.riffe.de/dilemma](http://www.riffe.de/dilemma)
- LEINFELDER, R.; GINSBURG, R. (1997): Städte unter Wasser. – [www.riffe.de/riffstadt](http://www.riffe.de/riffstadt)
- MAASSEN, C.; LEINFELDER, R. [coord.] (2000): Online-Schulprojekt Riffe. – <http://uni-schule.san-ev.de> (2. Preis der Ausschreibung schule@uni)
- NOSE, M.; WERNER, W.; SCHWEIGERT, G.: Besuchenswerte fossile Riffe. – [http://www.riffe.de/infos/Foss\\_Riff.html](http://www.riffe.de/infos/Foss_Riff.html)
- REICHHOLF, J. (2004): Bedrohte Schönheit aus dem Riff. – [http://www.riffe.de/schutz/reichholf\\_artenschutz\\_ns\\_lr.pdf](http://www.riffe.de/schutz/reichholf_artenschutz_ns_lr.pdf)  
Schulriffausstellung: <http://www.palaeontologische-gesellschaft.de/palges/schule/ausstellung/riffausstellung.html>
- SCHWEIGERT, G.: Exkursionsführer zu den Jurariffen der Schwäbischen Alb. – <http://www.palaeo.de/edu/albriffe>
- Virtuelle Geouniversität – Teilbereich Riffe: [http://www.palaeo.de/edu/ind\\_riffe.html](http://www.palaeo.de/edu/ind_riffe.html) – Weltnaturerbe Korallenriff: eine Hörfunk-Diskussionssendung des SWR mit Riffexperten (45 Min.): <http://www.palaeo.de/tv/modern/coralextra/swr2.htm>

#### Wissenschaftliche Arbeitsgruppen (Auswahl):

- Riffgruppe München: <http://www.geobio-center.lmn.de/reefgroup>
- Institut für Meereswissenschaften Geomar: <http://www.ifm-geomar.de/>
- Zentrum für Marine Tropenökologie: <http://www.zmt-bremen.de>

#### Weitere Infos (Bücher, Filme, etc.):

- [http://www.riffe.de/IYOR\\_mehr.html](http://www.riffe.de/IYOR_mehr.html)
- Internationales Jahr des Riffes 2008: <http://www.iyor2008.de>

#### Einige internationale Internet-Links:

- Australian Institute of Marine Sciences. – Project Net for Schools (Arbeitsblätter, bebilderte Kurzinfos etc.): <http://www.aims.gov.au/pages/research/project-net/apnet.html>
- Coral Reef Alliance: <http://www.coralreefalliance.org/>
- Cyanide and Dynamite Fishing – Who's really responsible? By Michael AW, Carlingford, Australia. <http://www.riffe.de/infos/cyanide.html>
- HODGSON, G. (1999): A global assessment of human effects on coral reefs. – Marine Pollution Bulletin, **38**: 345 – 355. – [Online unter <http://www.reefcheck.org/infocenter/publications/mpb.pdf>]
- HOEGH-GULDBERG, O. (1999): Climate Change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. – <http://www.reef.edu.au/OHG/res-pic/HG%20papers/Hoegh-Guldberg%201999.pdf>
- National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) Coral Reef Conservation Program. – <http://www.coralreef.noaa.gov/>
- Ocean N Environment: <http://www.oceannenvironment.org>
- Reef Base: <http://www.reefbase.org/>
- Reefcheck: <http://www.reefcheck.org/infocenter/publications.asp>
- UNEP World Conservation Monitoring Centre: <http://www.unep-wcmc.org/>

WWF – Global Marine Programme: [http://www.panda.org/about\\_wwf/what\\_we\\_do/marine/index.cfm](http://www.panda.org/about_wwf/what_we_do/marine/index.cfm)

International Year of the Reef 2008: <http://www.iyor.org>

#### Letzte Neuigkeiten zu Riffen:

Reefs: Google-News englisch: <http://news.google.com/news?hl=en&q=reefs>

Reefs: Google-News Deutschland: <http://news.google.com/news?hl=de&q=Riffe>

## 4 Erfahrungsberichte und Anregungen

### 4.1 Die Schulausstellung: Riffe – Oasen der Weltmeere seit 3 Milliarden Jahren.

Ein Bericht über eine erfolgreiche Kooperation zwischen Wissenschaftlern und Pädagogen, mit Beispielen und Arbeitsblättern (von H. PÜSCHEL)

#### Vorbemerkung (R. LEINFELDER)

Die Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, München, erstellte in Kooperation mit dem GeoBio-Center an der Ludwig-Maximilians-Universität, München, eine Ausstellung mit dem Thema „Riffe – Oasen der Weltmeere seit 3 Milliarden Jahren“. Diese Sonderschau konnte von Schulen über mehrere Jahre ausgeliehen werden, sofern das Thema „Riffe“ in geeigneter Weise in den Schulunterricht eingebaut wurde. Auch wenn diese Ausstellung aus Kosten- und Aufwandsgründen vor allem innerhalb Bayerns auf Wanderschaft ging und gegebenenfalls noch weiter geht, empfehlen wir das Beispiel sehr zur Nachahmung. Universitäten oder andere Einrichtungen, die das Thema Riffe behandeln, gibt es auch in Nordrhein-Westfalen (Universitäten, Aquazoo Düsseldorf, Museum Koenig usw.) und andernorts. Sie können vielleicht zur Kooperation gewonnen werden. Oder sammeln Sie auf Schulexkursionen Ihre eigenen Riff-Fossilien in der Eifel und ergänzen diese vielleicht durch Ausleihe beim Zoll mit modernen Rifforganismen (die Sie aber bitte nicht käuflich erwerben sollten). Aber das Konzept funktioniert auch, wenn Sie keine Riff-Objekte zur Verfügung haben. Mit Fotos von einem Aquariumsbesuch, Internet-Ressourcen und eigenen Zeichnungen ist eine abbildungsbasierte Riffausstellung auf Postern ebenfalls machbar! Lesen Sie den nachfolgenden Bericht, bei dem sich 12 Lehrkräfte aus den verschiedensten Fächern am Projekt beteiligten. Sie finden im Bericht auch nachahmenswerte Beispiele sowie direkt verwendbare Arbeitsblätter.

### Bericht zum Schulprojekt

(von H. PÜSCHEL)

Die „Riffausstellung“ selbst informiert den interessierten Betrachter über den Aufbau, verschiedene Formen und die einzigartigen Lebensgemeinschaften in Korallenriffen und zieht Vergleiche zu fossilen Riffen aus verschiedenen Erdzeitaltern. Das Besondere, vielleicht sogar das bisher Einmalige an dieser Sonderschau ist jedoch, dass Wissenschaftler und Pädagogen gemeinsam diese Ausstellung konzipierten, die in der Schule nicht nur einfach betrachtet werden sollte, sondern von Lehrkräften mit den unterschiedlichsten Materialien und Anregungen angereichert wurde und damit hervorragend im Unterricht einsetzbar ist: Geologie macht Schule.

Damit wurde ein neuer Weg beschritten: Museale Schätze werden direkt am Lernort – in der Schule – präsentiert und wissenschaftliche Erkenntnisse werden vor Ort verankert. So hat die Zusammenarbeit zwischen den Museumspädagogen aus München und den Lehrkräften für beide Seiten ganz neue Chancen eröffnet.

Im Folgenden geben die beteiligten Lehrkräfte einen Überblick über ihre Intentionen und Tätigkeiten. Das vorliegende Thema eignet(e) sich in besonderem Maße für die Behandlung im Unterricht, weil es eine breite Palette von Fächern anspricht. Schnell erkannten insgesamt 12 Lehrkräfte zweier benach-

barter Gymnasien, dass das Thema neben den sich förmlich aufdrängenden Disziplinen Biologie, Chemie und Geografie inklusive Geologie auch Bereiche wie Kunsterziehung, Wirtschaftswissenschaften, aber auch die Fremdsprachen und Deutsch anzusprechen vermag.

Die Lehrkräfte bildeten zwei Teams, die es sich zur Aufgabe machten, Arbeitsmaterialien für die genannten Fächer zu erstellen. Weiterhin sollte gewährleistet sein, dass dabei unterschiedliche Schwierigkeitsgrade realisiert werden, sodass jede Jahrgangsstufe am Gymnasium mit einem adäquaten Anforderungsprofil konfrontiert werden konnte. Und als weitere Besonderheit sollte sichergestellt werden, dass die Schüler die Ausstellung und ihre Inhalte unter fächerübergreifendem Blickwinkel erleben und der dazugehörige Unterricht methodische Vielfalt garantiert. Zur Verwirklichung dieser Zielsetzungen erstellten die beteiligten Lehrkräfte eine Fülle von Materialien. Die meisten sind unter der Internetadresse [www.wgg-neumarkt.de](http://www.wgg-neumarkt.de) zugänglich.

### Hier ein paar Beispiele aus der Vielzahl der Aktivitäten und Ergebnisse:

Durch einen Malwettbewerb, initiiert in einer 6. Jahrgangsstufe, wurde eine passende Vorlage für ein Plakat gefunden. Schüler einer 10. Klasse scanneten die Vorlage ein und zauberten mithilfe eines Bildbearbeitungsprogramms ein Werbeplakat für die Sonderschau (Abb. 5).

Das sogenannte „Riff-Diplom“ – siehe Anhang – war in der Unterstufe die beliebteste Einführung in die Ausstellung. Nur wer bestimmte Plakate der Sonderschau aufmerksam durchlas, konnte mehr oder minder knifflige Aufgaben beantworten und so ein Lösungswort ermitteln.

Weitere Arbeitsblätter in den Fächern Biologie und Erdkunde – einzelne Kostproben siehe Anhang – konnten beim Rundgang durch die Sonderschau bearbeitet werden. Alle sind unter der zuvor angegebenen Internetadresse zu finden und können im Unterricht direkt eingesetzt werden, zum Teil auch ohne Ausstellung im Hintergrund.

Starke Impulse gab die Ausstellung auch für das Fach Deutsch, was die nachfolgenden Beispiele belegen mögen. So wurden Interviews durchgeführt, Berichte, Phantasieerzählungen oder wunderschöne Gedichte geschrieben, sogar eine Schulaufgabe bediente sich des Themas. Dreh- und Angelpunkt war jedes Mal die Ausstellung.

Abb. 5: Schülerplakat zur Riffausstellung



**Interview**

Riffreporter: Wer ist auf die Idee gekommen, die Riffeausstellung an das Willibald-Gluck-Gymnasium zu holen?

HARTWIG PÜSCHEL: Nun, das war meine Idee. Dir ist bekannt, dass Jugendliche oft nicht so gerne ins Museum gehen. Deshalb wollte ich eine Ausstellung eines Museums in die Schule holen.

R: Was sind Riffe eigentlich?

H. P.: Riffe sind Erhebungen in flacherem Meerwasser. Sie finden sich vor allem in warmen Gewässern, wo die Steinkorallen mithilfe von Algen riesige „Kalkgebäude“ errichten.

R: Wo gibt es die meisten und schönsten Riffe?

H. P.: Im Roten Meer und im Pazifik.

R: Wie groß ist das größte zusammenhängende Riff?

H. P.: Das Barriere-Riff nordöstlich von Australien ist etwa 2000 km lang.

R: Warum interessieren Sie sich so für Riffe?

H. P.: Ich sammle die versteinerten Überreste der Riffe, z. B. fossile Korallen.

**Bericht**

Ab dem 11.4.2002 war das WGG die erste Station einer Wanderausstellung über Korallen.

Die Ausstellung, die vom 11.4.2002 bis zum 17.5.2002 das WGG besuchte, zeigte Korallen und ähnliche Meeresbewohner wie Seesterne und Muscheln. Das größte Ausstellungsstück war die tellerförmige Steinkoralle Acropora. Die wohl interessantesten Stücke waren der Seestern *Oreaster reticulatus* aus dem Karibischen Meer und die Tritonshorn-Schnecke *Charonia tritonis*.

Einige Klassen arbeiteten sogar im Unterricht mit der Ausstellung. Man konnte dabei einiges über Riffbildner erfahren. Wer hätte z. B. gedacht, dass es Riffe schon seit 3 Milliarden Jahren gibt? Alles in allem eine sehr gelungene Ausstellung!

Aber auch andere Projekte rund um die Sonderschau weckten bei Schülern wie Lehrern Ideen, die vorher niemand so erwarten konnte.

**Ein paar Gedichte gefällig?****Haikus**

Blau  
ein  
Fischschwarm  
sie schützen sich  
sie fliehen vor mir  
verwirrend

Feuerrot,  
wie Lava  
am Meeresboden, überwiegt  
Ich sehe nur rot  
Wunderschön

**Das Meer (Geheimes Gedicht)**

VON ANDREAS MÜLLER, Klasse 6 a

Die Sonne spiegelt sich im Meer,  
bricht das Licht, fährt hin und her.

Schwimmt wie ein Boot auf den Wellen,  
und man hört die Seehunde aus der Ferne bellen.

Tief im Wasser erblickt man Korallen,  
die auch mir sehr gut gefallen.

In der Ferne sieht man Wale schwimmen,  
und im Hintergrund die Sonne schimmern.

Und sieht man die Sterne am Firmament,  
hat die Nacht ein  
Happy End.

**Elfchen**

Im tiefblauen Meer  
Ein Hai, sehr hungrig ist er  
Sucht seine Beute

Tief im Atlantik  
Da ein Schwarm blauer Fische  
Sie schwimmen davon

Eine 11. Jahrgangsstufe gestaltete ihren Studientag rund um das Thema „Riffe“: Klimaänderung, Tourismus, Ökologie der Riffe, aber auch ein Tauchlehrgang am Nachmittag bereicherte diesen Tag.

Und eine weitere 11. Klasse startete mit großem Erfolg ein Englisch-Projekt. Innerhalb der Englischstunden von drei Schulwochen erschlossen sich diese Schüler das Spezialvokabular zur Riffthematik, suchten sich selbst die verschiedensten Themen über die Malediven und recherchierten diese anschließend im Internet, um ihren jeweiligen Bereich bis hin zur Präsentation als PowerPoint-Datei, als Referat oder als Schaubild abzudecken, selbstverständlich alles in Englisch.

### Phantasieerzählung (Ausschnitt)

#### Ein Schwarm Flugfische

... Auf ihrem Weg zum Meeresvater schwammen sie elegant wie Delfine in die unheimliche, dunkle Tiefe. Sie hörten die Wellen über sich hinwegrauschen und spürten einen unangenehmen salzigen Geschmack im Mund. Der Mond erhellte das Meer nur noch gering. Obwohl sie sich auf einem gefährlichen Auftrag befanden, der tausend Gefahren barg, fühlten sich die Geschwister sicher und geborgen. Auf einmal fingen die Gewänder der Geschwister stark zu leuchten an. Plötzlich bemerkten sie, dass es hell wie am Tage wurde. Unter ihnen lag ein riesiges Riff mit vielen Korallen, die in allen Farben schillerten. Sie entdeckten verschiedenfarbige Fische, die prachtvoll durch das Riff schwammen. In der Ferne entdeckten sie einen faszinierenden Schwarm Flugfische. Sie schwammen auf den Schwarm zu. Plötzlich hörten sie viele Stimmen. „Was sind das für Wesen?“ Das Mädchen fragte: „Können wir euren Anführer sprechen?“ Der Schwarm teilte sich in zwei Hälften und in der Mitte schwamm ein großer und Furcht einflößender Flugfisch auf sie zu. Mit ernster, tief klingender Stimme fragte er: „Was wollt ihr von mir? Und warum wollt ihr mich sprechen?“ Der Knabe antwortete: „Wir suchen den Meeresvater und wollten Dich fragen, ob Du weißt, wo er wohnt?“ „Ich weiß, wo er wohnt, aber ihr werdet alleine nie dorthin kommen, denn ...“

### Hier ein fertiges „Produkt“ dieses Projektunterrichts:

Wie die Beispiele zeigen, gaben die Schüler ihr Bestes. Zugegeben, dazu bedurfte es, insbesondere bei den Lehrkräften, vieler Arbeitsstunden neben dem sogenannten Tagesgeschäft, aber dabei wurden die Teams beider Schulen zusammengeschweißt, Freundschaften entstanden, neue Wege und Blickwinkel wurden wahrgenommen und erweiterten gegenseitig die Perspektiven. Die Fülle der Ideen verblüffte jeden Teilnehmer.

Je ein Kollege jedes Gymnasiums übernahm die Koordination an der eigenen Schule sowie zwischen den beiden Teams. Dadurch wurde eine ständige Kommunikation erreicht, die eine Optimierung des entstandenen Unterrichtsangebots unter dem gegebenen zeitlichen Rahmen ermöglichte. Filme und Videosequenzen lockerten die zahlreichen Projektstage und Unterrichtsstunden auf.

Und heute noch, nach dem Ende der Ausstellung, kooperieren die beiden Kollegien der beteiligten Schulen, diesmal im Rahmen der Veranstaltungen zur schulinternen Fortbildung, indem Themen und Referenten dazu „ausgetauscht“ werden.

Auch die Schüler standen mehrheitlich auf der Gewinnerseite. Die Zusammenarbeit zwischen den Museumspädagogen und ihren Lehrkräften führte für sie zu einem sehr abwechslungsreichen Unterrichtsangebot und zu einem Mehr an neueren Unterrichtsformen, festigte ihre Arbeitstechniken und erhöhte vor allem die Handlungskompetenz vieler beteiligter Schüler.

So hat eine Ausstellung, die primär geologisch-paläontologische Inhalte zur Schau stellt(e), Impulse geschaffen, die weit über das eigentliche Fach(wissen) ausstrahlt(e), indem sie nicht nur eine große Bandbreite an Unterrichtsfächern mit ihren jeweiligen Fachkollegen animierte mitzumachen, sondern darüber hinaus an den Schulen Zeichen für mehr Teamarbeit – bei Schülern wie bei den Lehrkräften – und neuere Methoden und Formen für den Unterricht setzte: Geologie macht Schule – eine tolle Sache!

### Riff-Diplom

#### Aufgabe:

Unternimm einen Rundgang durch die Ausstellung und lies aufmerksam die Texte der Plakate 1 bis 5. In den folgenden 12 Aussagen sind 3 falsche versteckt. Kreuze in der Tabelle rechts (so wie bei der Aussage 12) die zutreffenden Aussagen an und schreibe rechts daneben die Nummer des Plakats, in dem du den Text gefunden hast.

Die Anfangsbuchstaben der zutreffenden Aussagen ergeben – bei richtiger Reihenfolge – das Lösungswort, nämlich den Namen einer Inselgruppe mit weltbekannten Tauchparadiesen.

Anmerkung:

Die Aussagen unten sind nicht immer wortwörtlich aus den Plakattexten übernommen!

Lösung			
M			
Aussage	zutreffend	Plakat Nummer	
1 <b>E</b> s gibt Riffe seit etwa 3 Milliarden Jahren.			
2 <b>L</b> änger als 2 000 km ist das große Barriere-Riff von Australien.			
3 <b>V</b> ier verschiedene Riffotypen unterscheidet man in den Tropen: Saumriff, Barriere-Riff, Plattformriff und Atoll.			
4 <b>A</b> ls Regenwälder der Meere werden Korallenriffe wegen ihrer riesigen Lebensvielfalt bezeichnet.			
5 <b>R</b> iffe sind typisch für die Tiefsee.			
6 <b>D</b> ie größten Riffgürtel sind vom Weltraum aus zu sehen.			
7 <b>A</b> uch in der Arktis und Antarktis gibt es noch wachsende Riffe.			
8 <b>I</b> n den Korallenpolypen leben mikroskopisch kleine Algen.			
9 <b>E</b> ine Hirnkoralle hat eine typische kugelige Form.			
10 <b>R</b> iffe bilden sich immer nur im Süßwasser.			
11 <b>N</b> eben verzweigten Korallenkolonien gibt es auch massive, krustige oder plattig-tellerförmige Formen.			
12 <b>M</b> enschen schädigen das Riffwachstum, wenn beim Tauchen die empfindlichen Riffkorallen unnötig berührt werden.	X	12	

## Steinkorallen als Riffbauer

Hannes Schreiner sitzt in einem Airbus 320 der Australian Airlines und schaut auf die Uhr.

In 20 Minuten wird er in Townsville landen und bald mit einer kleinen Gruppe anderer Austauschschüler zum lang ersehnten Tauchkurs aufbrechen. Beim Landeanflug erkennt er unten schneeweiße Inseln im türkisgrünen Ozean und erinnert sich an die Worte seines Vaters:

„Du wirst beeindruckt sein, von dem was du siehst und erlebst. Das über 2000 km lange Barriere-Riff vor der Nordostküste Australiens ist das größte von Lebewesen errichtete Bauwerk der Erde. Man kann es sogar aus dem Weltraum erkennen. Dabei werden die mächtigen, der ständigen Brandung trotzen Riffe von Abertausenden winziger „Schleimklümpchen“ aufgebaut und erhalten. Bald wirst du selbst die merkwürdigen Riffbildner – die Korallenpolypen – und mit ihnen die gesamte Wunderwelt des Riffs erleben. An und in einer Korallenbank gibt es mehr irdisches Leben, mehr urtümliche Arten unterschiedlicher Ordnungen als auf einem ganzen Kontinent.“

## Aufgaben:

Im dunklen Textfeld wird der Bau der Steinkorallen beschrieben.

Sammele drei Argumente, weshalb ein Korallenpolyp trotz des „blumenartigen“ Aussehens und der festsitzenden Lebensweise zu den tierischen Organismen und nicht zu den Pflanzen gehört!

Abb. 6: Korallenpolypen



Steinkorallen sind einfach aufgebaute Vielzeller. Sie gehören wie der einheimische Süßwasserpolyp oder wie Quallen in die Gruppe der Hohltiere.

Der schlauchförmige Körper eines Korallenpolypen hat nur eine einzige Körperöffnung, die gleichzeitig als Mund und After dient. Diese Mundöffnung am oberen Ende wird von Fangarmen eingerahmt, mit denen der Polyp Nahrung (Kleinstlebewesen) in den Magenraum befördert. Dort findet die Verdauung statt.

An den Seiten und unten am Fuß sondert der Steinkorallenpolyp ein Kalkskelett ab, mit dem er Schicht für Schicht nach oben wachsen kann. Die Riffbildner erzeugen Tierkolonien aus Tausenden von Tieren – sogenannte Korallenstöcke –, wobei die Einzelpolypen miteinander über das Kalkskelett verbunden sind. Ihr hartes Gerüst aus Kalk bleibt auch dann erhalten, wenn die Polypen absterben. Es bildet die Grundlage der heutigen Riffe.

Die Kalkkelche der Korallenpolypen stellen ein Außenskelett dar. Sie bestehen aus einer Fußscheibe und einer Außenwand. Von außen in die Kelchmitte ziehen meist 6 oder 12 Kalktrenn-

wände. Durch fortlaufende Kalkablagerung wird der Kelch tiefer, wobei immer wieder eingezogene Querböden die Stabilität sichern. Auf diese Weise wächst der Kalksockel unter dem Polypen immer weiter in die Höhe.

Der Weichkörper ist aus zwei Zellschichten aufgebaut, die durch eine Stützlamelle getrennt sind. Außen liegt das Ektoderm, innen das Entoderm. Wegen der im Ektoderm befindlichen Nesselzellen, die dem Beutefang und der Verteidigung dienen, zählt man die Korallenpolypen zum Stamm der Nesseltiere. Ihre auffällige Färbung verdanken die Korallen häufig ihren „Untermietern“. Es handelt sich um gelbgrüne Einzeller, sogenannte Zooxanthellen (griech. xanthos = gelb), die als Endosymbionten in Entodermzellen sitzen.

Text verändert nach: BRÜMMER, F., LEINFELDER, R., GÖTZ, R.: Die Korallenriffe unserer Meere. – In: Städte unter Wasser. – Kleine Senkenberg-Reihe Nr. 24: S.132 ff.

## Weltweite Verbreitung der Korallenriffe

(Abb. 7)

Bearbeite folgende Aufgaben und nimm den Diercke Atlas (S. 143, 216, 217, 220, 221) zur Hilfe:

1. Die heute vorhandenen Korallenriffe der Erde lassen sich in drei Areale gliedern: den Indopazifik, der sich von der Ostküste Afrikas über Südostasien und Australien bis an die Westküste Amerikas erstreckt; das Rote Meer mit dem Arabischen Golf und die Riffregion des tropischen Westatlantik, die von Florida über die Westindischen Inseln bis nach Brasilien reicht.

Kennzeichne in der Karte unten die drei großen Riffregionen, indem Du sie verschieden farbig ausmalst!

1	Sri Lanka/Ceylon
2	Malediven
3	Maskarenen
4	Karolinen
5	Großes Barriere-Riff
6	Salomonen

- Links unten findest du die Namen berühmter Inselgruppen, die von Korallenriffen gesäumt werden. Ordne die Nummer aus der Tabelle in der Weltkarte den Kreisen richtig zu! Nimm das Register im Atlas zu Hilfe!
- Beschreibe nun mithilfe von Beziehungen (Meer, benachbarte Kontinente, Gradnetz, Himmelsrichtungen) die geografische Lage des Taucherparadieses der Malediven!
- Berechne anschließend die Entfernung (Luftlinie) zwischen Berlin und den Malediven (Mitte), Diercke S. 143!
- Ermittle die Flugzeit (aufrunden), wenn der Jet im Durchschnitt 850 km/h schnell ist.
- Woran könnte es liegen, dass die meisten Riffe zwischen den Wendekreisen vorkommen? Warum fehlen an den Westseiten von Afrika und Südamerika Korallenriffe? Der Atlas hilft Dir bei Deinen Überlegungen.

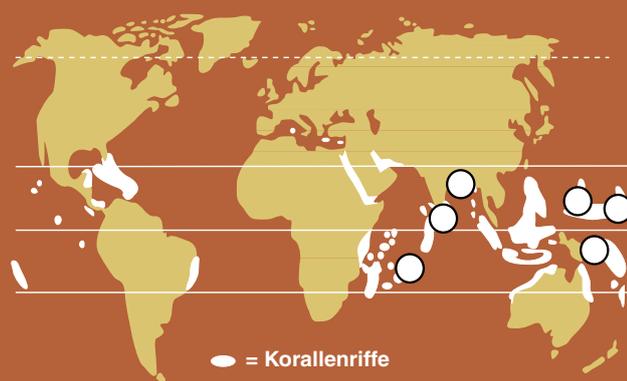


Abb. 7: Vorkommen heutiger Warmwasser-Korallenriffe

## 4.2 Naturgeografische Themen im Gymnasium NRW

Ein kurzer Erfahrungsbericht, mit Arbeitsblättern und Beispielprojekten (von C. MAASSEN)

### Warum physische Geografie im Unterricht?

Erfahrungsgemäß haben Schülerinnen und Schüler gleich welcher Jahrgangsstufe großes Interesse an physisch-geografischen Sachverhalten, die eher mit „Erdkunde“ identifiziert werden als anthropogeografische Fragestellungen. Erkennbar wird dieses Interesse anhand von aktuellen Ereignissen; Berichte über Erdbeben, Vulkanausbrüche und Wirbelstürme lösen oft Fragen nach den Ursachen aus. Vermutlich muss auch jeder Erdkundelehrer und jede Erdkundelehrerin mindestens einmal im Schuljahr Fragen beantworten wie: „Steigt der Meeresspiegel wirklich an?“ „Wird das Klima wirklich wärmer?“ „Was sind überhaupt Treibhausgase und warum erwärmen sie die Erde?“ Solche Fragen zeigen, dass physisch-geografische Themen nicht nur fachrelevant sind, sondern in hohem Maße auch schülerrelevant und (nicht nur) wegen der oft katastrophalen Folgen auch gesellschaftsrelevant. Deshalb ist es bedauerlich, dass im Rahmen der gegebenen Erdkundercurricula für beide Sekundarstufen nur wenig Raum für die vertiefte Behandlung solcher Fragen zur Verfügung steht.

### Erfahrungen mit computerisierten Unterrichtseinheiten

Dieses Interesse an physisch-geografischen Sachverhalten wurde mit mehreren Unterrichtsreihen aufgefangen:

#### Ökologie der Korallenriffe

(HTML; Kurs „Ökologie“ der Sek. II; Biologie; <http://www.riffe.de/oekokurs>)

Hier handelt es sich um eine selbstlehrende Unterrichtseinheit, die die Schüler/-innen weitgehend selbstständig bearbeiten. Für Lehrer/-innen sind die Stundenentwürfe vorhanden.

Die Unterrichtseinheit gewann den 2. Preis beim Wettbewerb „Uni und Schule“ und wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. R. LEINFELDER (damals LMU München) erstellt.

#### Tuvalu – good bye?

(PowerPoint-Präsentation; Erdkunde, Sek. I; <http://www.riffe.de/tuvalu>)

Diese Unterrichtsreihe ist ursprünglich eine „selbstlehrende“ PowerPoint-Präsentation, die hier in Auszügen als Word-Dokument dargestellt ist.

Die Reihe entstand aufgrund einer Zeitungsmeldung, nach der die Regierung von Tuvalu befürchten muss, ihr Staat versinke wegen des ansteigenden Meeresspiegels in absehbarer Zeit im Ozean.

### Kontinentaldrift

(PowerPoint-Präsentation; Erdkunde, Sek. I)

Diese Unterrichtsstunde beantwortet die Frage, warum es Erdbeben gibt.

Es empfiehlt sich, diese Präsentation in zwei Teile zu gliedern: zuerst den allgemeinen Teil (bis einschl. Folie 10), dann den Teil, der hauptsächlich für die westliche Kölner Bucht relevant ist.

Diese Präsentation bedarf der Kommentierung durch den Lehrer. Es empfiehlt sich, die erreichten Lernziele schriftlich zu sichern.

Alle Unterrichtsreihen wurden erfolgreich im Unterricht eingesetzt. Die Schüler/-innen arbeiten gern selbstständig, die Darbietung des Lernstoffs durch ein neues Medium sichert zurzeit noch einen hohen Motivationsgrad. Der Lehrer/die Lehrerin wird entlastet, weil er/sie nur noch technische Hilfe am Computer leisten muss.

Bei Präsentationen, die durch den Lehrer/die Lehrerin vorgeführt werden, hat es sich als aufmerksamkeitssteigernd erwiesen, wenn die Präsentation mit Musik/Ton unterlegt ist. Es ist ebenfalls festzustellen, dass schwierige Lerninhalte besser zu vermitteln sind, wenn dazu PowerPoint eingesetzt wird. Ich führe dies auf drei Ursachen zurück:

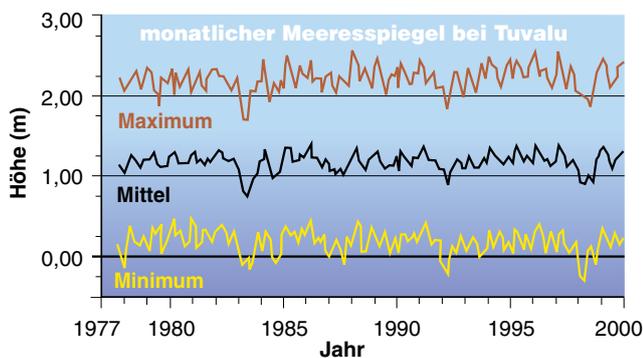
- Das Programm „lebt“ von Bildern. Das bedeutet, Texte sollten knapp sein und trotzdem das Wesentliche erfassen.
- Dies, zusammen mit den Bildern, führt zu einer Komprimierung der Information, die für die Schüler/-innen gut zu verarbeiten ist, vor allem, wenn die Lehrkraft das Geschehen auf der Projektionswand kurz kommentiert.
- Die Kombination von Ton und animiertem Bild führt zu einer emotional positiven Besetzung des Lernstoffs, die den Lernerfolg steigert.

Weil es aber keine Rose ohne Dornen gibt: Es kann, je nach Konfiguration des Computers, Schwierigkeiten mit der Darstellung von Animationen und Videos geben. Dann sollte man die entsprechende Datei vom Speicherort aus öffnen.

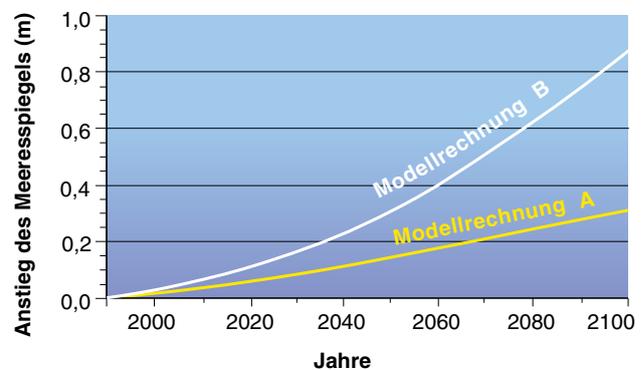
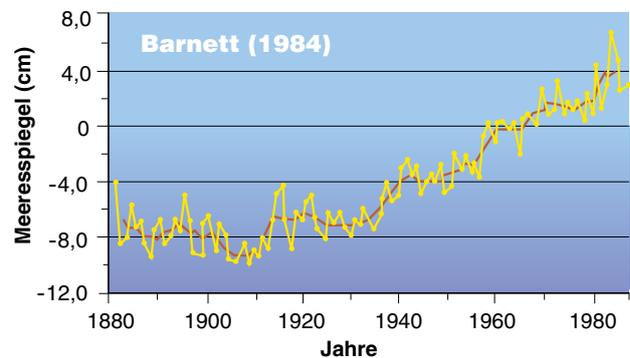
Nachfolgend finden Sie einige Arbeitsblätter zum Thema „Abhängigkeit der Insel Tuvalu von Riffen“ zu Ihrer Verwendung.

## Abhängigkeit der Insel Tuvalu von Riffen

1. Stelle mithilfe des Atlas fest, wo Tuvalu liegt!
  2. Welche Nachbarstaaten hat es?
  3. Wie groß ist seine Entfernung zu Australien?
  4. Wenn möglich, informiere Dich bei <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/tv.html>
  5. Überlege: Welche Probleme werden zu lösen sein, wenn ein ganzes Volk von 11 000 Menschen tatsächlich evakuiert werden muss?
- 6.1 Fasse die Aussagen der drei Kurven in eigene Worte!
  - 6.2 Zu welcher Ansicht kommst Du bezüglich des Fallens oder Steigens des Meeresspiegels auf Tuvalu? Wenn Du Dich nicht entscheiden kannst, berichte über den Grund dafür!



7. Stelle mithilfe des Atlas fest, welche Länder besonders von einem Meeresspiegelanstieg betroffen wären!



### Kurzinformation

Vom Untergang bedrohter Inselstaat Tuvalu beklagt:

**„Niemand hört uns zu“**

Johannesburg – Der wegen des steigenden Meeresspiegels vom Untergang bedrohte Inselstaat Tuvalu hat dem Weltgipfel in Johannesburg vorgeworfen, seine Hilferufe zu ignorieren. „Niemand hört uns zu“, beklagte der Delegationssprecher und Vizeumweltminister der Pazifikinsel, Paani Laupepa.

„Das macht uns wütend und hilflos.“ Für die Bewohner Tuvalus sei der Klimawandel schon jetzt deutlich spürbar. Der höchste Punkt der Insel liege nur noch zwischen 4 und 5 m über dem Meeresspiegel.

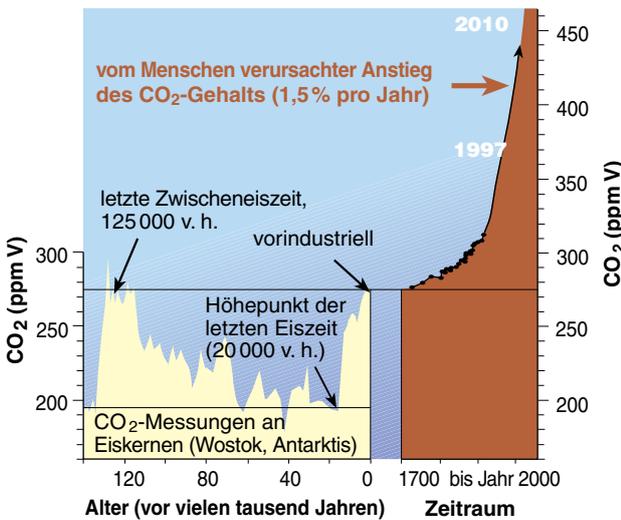
### Umsiedeln

Im schlimmsten Falle müssten alle 11 000 Bewohner Tuvalus umgesiedelt werden, sagte Laupepa. „Allerdings ist die große Frage, wohin wir dann gehen sollen.“ Neben dem steigenden Meeresspiegel würden zunehmende Wetterextreme wie Stürme immer mehr zur Bedrohung. Schon jetzt werde Ackerland überflutet und die Ernte vom Salzwasser zerstört. „Deshalb wollten wir hier vor der Welt darüber sprechen.“

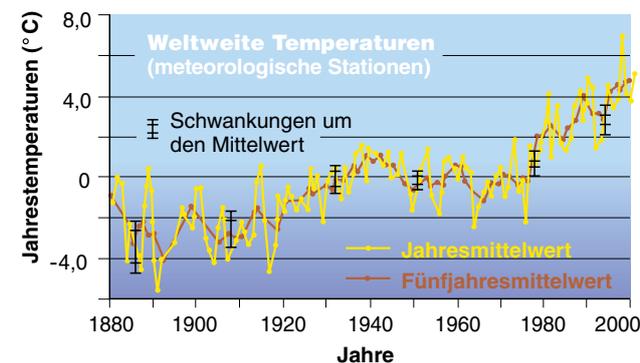
<http://rhein-zeitung.de/on/02/09/01/topnews/tuvalu.html?markup=Tuvalu>  
(1. September 2002 19:43)

**Die Treibhausgase**

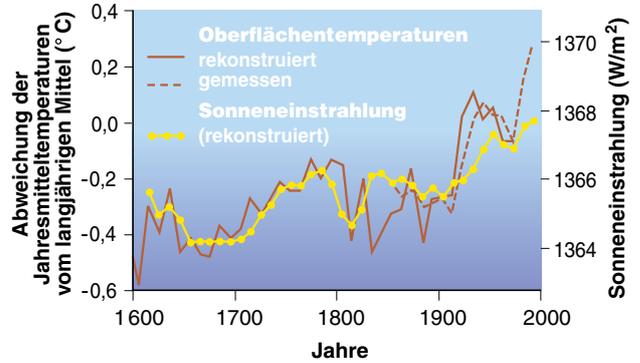
1. Stelle eine Rangliste der genannten Treibhausgase auf! Welches ist das wirksamste Treibhausgas und was ist in Anbetracht dieser Fakten zu mit Wasserstoff betriebenen Autos zu sagen?
2. Welche Treibhausgase geraten im Wesentlichen durch die wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen in die Atmosphäre?
3. Könnte der Mensch den Prozess der globalen Erwärmung aufhalten? S. hierzu auch <http://hbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimawandel/methan/konzentration.html>
- 4.1 Was kann man bezüglich des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre für die Eiszeit und für die Warmzeiten feststellen?
- 4.2 Wie kann es zu der Aussage kommen, dass der rot gezeichnete Teil der CO<sub>2</sub>-Kurve auf dem Wirken des Menschen beruht?
- 4.3 Wodurch beeinflusst der Mensch den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre?
- 4.4 Was könnte jeder von uns tun, um den Ausstoß von CO<sub>2</sub> zu vermindern?



- 5.1 Gib die Aussage der gelben Kurve in eigenen Worten wieder! Welche Tendenz stellst Du fest?
- 5.2 Warum ist die Kurve der Fünfjahresmittelwerte aussagekräftiger als die einzelnen Jahresmitteltemperaturen?



- 6.1 Vergleiche die Kurven der Abweichung der Jahresmitteltemperaturen (rekonstruiert und gemessen) mit der Kurve der Sonneneinstrahlung. Was stellst Du fest?
- 6.2. Vergleiche die rekonstruierte Abweichung der Jahresmitteltemperatur mit der tatsächlich gemessenen. Wie zuverlässig ist die Rekonstruktion?



**Kurzinformation**

**Die Treibhausgase**

Das wirksamste Treibhausgas (1000-mal effektiver als CO<sub>2</sub>, auch, weil es einen höheren Mengenanteil in der Atmosphäre hat) ist der **Wasserdampf**. Der allergrößte Teil des Wasserdampfes in der Atmosphäre entsteht durch Verdunstung aus den Ozeanen (~ 70 % der Erdoberfläche).

**CO<sub>2</sub>** absorbiert wie Wasserdampf die Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche ausgeht. Es entsteht durch Verbrennung fossiler Brennstoffe, bei der Zersetzung organischer Substanz (Atmung, Verwesung, Mineralisierung) und gelangt auch durch Vulkanausbrüche in die Atmosphäre. CO<sub>2</sub> ist zu Wasser und zu Lande der Mangelfaktor bei der Photosynthese.

**Methan** in der Atmosphäre stammt aus Mooren und Reisfeldern, Kohlenruben, natürlichen Gasfreisetzungen und Waldbränden in den Tropen. Es wird auch bei Verdauungsvorgängen (Viehzucht!) freigesetzt. Es ist als Treibhausgas 60-mal effektiver als CO<sub>2</sub>.

**Stickoxide (NO<sub>x</sub>)** entstehen bei der Düngemittelherstellung und anderen industriellen Prozessen. Sie werden auch aus Böden freigesetzt. Stickoxide sind in Bezug auf den Treibhauseffekt 270-mal wirksamer als CO<sub>2</sub>.

**Fluorierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe („FCKW“)**. Das sind Verbindungen wie Methan und seine „chemischen Verwandten“, bei denen ein oder mehrere Wasserstoffatome durch Chlor oder Fluor ersetzt sind; sie entstammen ausschließlich industrieller Produktion. Sie werden zum Beispiel bei der Plastikherstellung benötigt. Einige dieser FCKWs sind hinsichtlich der Aufheizung der Atmosphäre noch wirksamer als Wasserdampf.

### Antworten zu Sonneneinstrahlung, CO<sub>2</sub> usw.

#### Sonneneinstrahlung

Zu 6.1: In groben Zügen folgt die Abweichung der Jahresmitteltemperatur den Schwankungen der Kurve der Sonneneinstrahlung. Wesentliche Abweichungen bestehen zwischen den Jahren 1800 und 1920 (siehe hierzu auch <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimawandel/klimageschichte/geschichte2.html>). Seit 1970 steigt die Jahrestemperatur im Vergleich zur Sonneneinstrahlung überproportional an.

Zu 6.2: Die Kurven weichen zum Teil beträchtlich voneinander ab (1850 – 1920), zeigen aber die gleiche Tendenz. Betrachtet man die Tendenzen und nicht absolute Werte, kann man die Rekonstruktion als zuverlässig betrachten.

#### Jahresmitteltemperatur

Zu 5.1: Die Kurve der Fünfjahresmittel schwankt zwar beträchtlich, in der Tendenz steigt sie aber an.

Zu 5.2: Die einzelnen Jahresmitteltemperaturen schwanken noch stärker; eine eventuelle Tendenz lässt sich daher schlechter feststellen.

#### CO<sub>2</sub>

Zu 4.1: Man kann sehen, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre in den Warmzeiten höher lag als in den Eiszeiten. Auch die CO<sub>2</sub>-Kurve verläuft nicht kontinuierlich, es gibt Sprünge im Kurvenverlauf.

Zu 4.2: Zeichnet man eine Gerade durch die Messpunkte zwischen 1850 und 1950 (in dieser Zeit war die Industrialisierung noch nicht so stark wie in den folgenden Jahrzehnten), zeigt sie eine deutlich geringere Steigung.

Zu 4.3: Der Mensch verbrennt für verschiedene Zwecke (Energiegewinnung, Mobilität, Hausheizungen) fossile Brennstoffe (Erdöl, Kohle) und setzt dadurch das Kohlenstoffdioxid frei, welches seit Jahrtausenden aus der Atmosphäre verschwunden war.

Zu 4.4: Wir könnten weniger elektrischen Strom und Heizenergie verbrauchen, wir könnten mehr zu Fuß gehen oder mehr Fahrrad fahren, Einkaufstaschen statt Plastiktüten (Herstellung verbraucht Energie) benutzen.

**Treibhausgase**

Zu 1: Manche FCKWs, Wasserdampf, Stickoxide, Methan, CO<sub>2</sub>, andere FCKWs. CO<sub>2</sub> liegt also ziemlich weit „hinten“ was seine Bedeutung als Treibhausgas betrifft! Wasserdampf ist das zweitwirksamste Treibhausgas; mit Wasserstoff betriebene Kraftfahrzeuge würden das Problem noch verstärken.

Zu 2: FCKWs, Stickoxide, CO<sub>2</sub>

Zu 3: Wenn Wasserdampf bei der Erderwärmung eine so wesentliche Rolle spielt, kann der Mensch durch Einsparen von CO<sub>2</sub> und anderen vom ihm freigesetzten Treibhausgasen den Vorgang nur verlangsamen, aber nicht stoppen. Der Treibhauseffekt beruht dann nämlich auf erhöhter Sonneneinstrahlung, die Wasser aus den Meeren verdunsten lässt.

**Anstieg des Meeresspiegels**

Es sind die Niederlande, Norddeutschland, Westbelgien, Bangla Desh, große Teile der pazifischen Inseln (Tuvalu, Malediven)

**Schwankungen des Meeresspiegels auf Tuvalu**

Zu 6.1: Für Spring- und Sturmfluten (Maximum; rote Kurve) gilt, dass sie in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts im statistischen Mittel über dem Mittelwert von 2,25 m gelegen haben. (Zwischen 1998 und 2000 lagen die Werte unter dem Mittelwert. Es ist nicht zu erkennen, wie sich die Situation nach dem Jahr 2000 weiter entwickeln wird.

Ähnliches gilt für das normale Tidenhochwasser; es stieg in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts leicht an, für das Jahr 2000 lassen sich keine sichtbaren Abweichungen feststellen. Interessant ist auch das Absinken der monatlichen Flutstände zwischen 1980 und 1990.

Die Nippflut zeigt im vergangen Jahrzehnt weniger „Extremstände“ als in den Jahren davor, wenn man einen Mittelwert von 0,25 m ü. NN annimmt. Im Mittel scheint es keine Veränderung bei den Nippflutständen zu geben.

Anmerkung: Die tiefen Minima aller drei Kurven sind auf El-Niño-Ereignisse in den entsprechenden Jahren zurück zu führen. In El Niño-Jahren sinkt der Meeresspiegel auf Tuvalu.

Zu 6.2: Es ist tatsächlich schwer zu entscheiden, da man nicht weiß, wie sich die Kurven der Spring- und Sturmfluten sowie des mittleren Hochwassers in Zukunft entwickeln werden. Zurzeit (August 2002) sinkt der Meeresspiegel auf Tuvalu leicht ab.

**Quellen zu den Arbeitsblättern „Tuvalu“:**

[http://www.coral.noaa.gov/reef\\_maps/reef\\_maps\\_vol3.shtml](http://www.coral.noaa.gov/reef_maps/reef_maps_vol3.shtml)

[http://www.ucsusa.org/global\\_environment/global\\_warming/page.cfm?pageID=967](http://www.ucsusa.org/global_environment/global_warming/page.cfm?pageID=967)

<http://www.pacificislands.cc/pm122001/pmdefault.php?urlarticleid=0009>

<http://www.mpimet.mpg.de/ausbildung/faqs.html>

<http://www.pha.jhu.edu/~camercha/climate/trust.html>

**Weitere Internet-Links zum Thema:**

<http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/17/0,1872,2097489,00>

<http://www.3sat.de/nano/news/25992/>

<http://www.earth-policy.org/Updates/Update2.htm> (engl.)

<http://rhein-zeitung.de/on/02/09/01/topnews/tuvalu.html?markup=Tuvalu>

<http://www.janeresture.com/tuvalu/tuvalu.html> (engl.)

<http://oikos.com/news/1998/9812.html> (engl.)

<http://www.pha.jhu.edu/~camercha/climate/trust.html> (engl.)

[http://www.mssl.ucl.ac.uk/www\\_solar/climate/MSSL\\_Climate.htm](http://www.mssl.ucl.ac.uk/www_solar/climate/MSSL_Climate.htm) (engl.)

[http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,1185,0/D63222,18\\_TYP6\\_THE\\_NAV\\_REF1\\_BAB,00.html](http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,1185,0/D63222,18_TYP6_THE_NAV_REF1_BAB,00.html)

(für die Konstanz und Inhalt der Links in diesem Artikel kann keine Gewähr übernommen werden)

## Erdbeben

VON BARBARA GROSS-DOHME, ROBERT STÜRTZ

### Zusammenfassung:

Erdbeben sind Erschütterungen der Erdkruste. Ihre Verteilung über die Erde, ihre Entstehung und Wirkungsweise werden erläutert, wobei den Erdbeben in Nordrhein-Westfalen besondere Beachtung geschenkt wird. Der Schwerpunkt des Artikels liegt auf der Darstellung der geophysikalischen Prozesse, deren Verständnis Arbeitsblätter vertiefen.

### 1 Einleitung

#### Das Erdbeben von Roermond

Am frühen Morgen des 13. April 1992 lagen im Rheinland die meisten Menschen in ihren Betten und schliefen friedlich. Doch um 3:20 Uhr war es mit der Ruhe vorbei. Erschütterungen von in diesem Raum nicht bekannter Stärke weckten die meisten Schlafenden auf. Zuerst hörte man nur ein dumpfes Grollen, dann setzten Erdbewegungen ein, die etwa 15 Sekunden anhielten. Geschirr und Gläser klinkten in den Schränken oder gingen gar zu Bruch, Bilder fielen von den Wänden. Unzählige Menschen liefen angsterfüllt ins Freie. Viele Bürger dachten an eine Explosion oder an einen Flugzeugabsturz. Die Telefone bei Polizei und Feuerwehr liefen von den Anrufen besorgter Bürger heiß, die die Ursache der Erschütterung erfahren wollten. Bis ca. 6:00 Uhr dauerten spürbare Erdbewegungen an, die die Angst vor weiteren starken Ereignissen aufrecht hielten.

Was war geschehen? Die Menschen im Rheinland hatten das stärkste Erdbeben in Mitteleuropa seit 1756 erlebt. Es hatte die Magnitude 5,9 auf der nach oben offenen Richter-Skala und wurde noch in Berlin, München und London gespürt. Sein Epizentrum lag 4 km südwestlich vom niederländischen Roermond. Die Bilanz des Bebens: In Nordrhein-Westfalen wurden mehr als 30 Personen verletzt, sechs davon schwer. Viele wurden von herabfallenden Kamin- und Dachziegeln getroffen. Mehrere Menschen wurden mit Herzinfarkt, Kreislaufversagen oder Nerven-

### Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Entstehung von Erdbeben
- 3 Messung von Erdbeben
- 4 Vorhersagemöglichkeiten von Erdbeben
- 5 Schutz vor Erdbeben
- 6 Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht
- 7 Paläoseismologie
- 8 Aufgaben zum Text
- 9 Kommentierte Links zum Thema „Erdbeben“

### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geol'in BARBARA GROSS-DOHME  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –  
De-Greiff-Str. 195, 47803 Krefeld

ROBERT STÜRTZ  
Gymnasium Horkesgath  
Horkesgath 33, 47803 Krefeld

zusammenbruch ins Krankenhaus gebracht. Eine Frau starb vor Aufregung an Herzversagen. Der Sachschaden betrug auf deutscher Seite rund 75 Mio. Euro. Allein in Heinsberg, dem Schadenzentrum, wurden mehr als 150 Häuser beschädigt.

An diesem 13. April rückte eine Naturgewalt, die wir sonst nur aus Presse, Funk und Fernsehen kennen, in das unmittelbare Bewusstsein vieler Bürger. Erdbeben waren auf einmal nicht mehr nur schreckliche Bilder aus weit entfernten Ländern, sie wurden schlagartig als reelle Gefahr für die eigene Sicherheit wahrgenommen. Viele fragten sich nun: Was sind Erdbeben, warum bebt die Erde, wann und wo muss man mit Erdbeben rechnen, sind sie vorhersehbar oder wie kann man sich zumindest bestmöglich schützen?

### Was sind Erdbeben?

Erdbeben gehören zu den Naturereignissen, die immer wieder große Schäden verursachen und zahlreiche Tote und Verletzte fordern.

Unter einem Erdbeben versteht man natürliche Erschütterungen der Erdoberfläche, die einen tief liegenden Ausgangspunkt haben. Sie können verschiedene Ursachen haben, zum Beispiel den Einsturz unterirdischer Hohlräume (Einsturzbeben), Vulkanismus (Ausbruchsbeben), vor allem aber tektonische Vorgänge in der Erdkruste (Dislokationsbeben).

Die durch Erdbeben ausgelösten Bewegungen der Erdoberfläche verursachen Spaltenbildungen, Gas-, Wasser- und Schlammausbrüche, Bergstürze und Flutwellen, sogenannte Tsunamis (s. auch rechts).

Jährlich werden weltweit mehrere hunderttausend Erdbeben registriert (die verschiedenen Quellenangaben schwanken gewaltig zwischen 150 000 und über 800 000). Die meisten Beben sind allerdings so schwach, dass sie von Menschen kaum oder gar nicht gespürt werden. Etwa 19 Ereignisse sind als Großbeben (Magnituden  $M_s \geq 7,0$ ) zu bezeichnen (Tab. 1).

Die aktivste Erdbebenzone umgibt den pazifischen Ozean wie ein Gürtel. Hier haben 80 % aller Erdbeben ihren Ursprung. Eine zweite Zone mit ca. 15 % aller Erdbeben erstreckt sich quer durch Asien und das Mittelmeergebiet. In diesen beiden Zonen kommen Erdbeben bis zu einer Tiefe von 700 km vor. Die restlichen 5 % der Erdbeben ereignen sich entlang der mitelozeanischen Rücken sowie in den übrigen, als erdbebenarm zu bezeichnenden Gebieten der Erde, zu denen auch Deutschland mit Nordrhein-Westfalen gehört. Hier finden ausschließlich flache Beben mit Herdtiefen bis zu 60 km statt (Abb. 1).

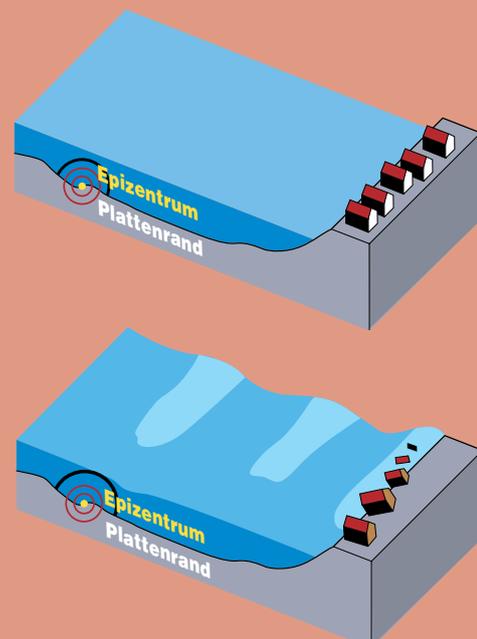
### Tsunamis

Wenn das Wellental eines Tsunami die Küste erreicht, ist der Rückzug des Meeres vom Ufer das erste Anzeichen der kommenden Riesenwelle. Experten glauben deshalb auch, dass der erste vom Menschen beschriebene Tsunami in der Bibel verzeichnet ist. Auf diese Weise hätte Moses trockenen Fußes durch das Rote Meer schreiten können. Inzwischen raten Experten eindringlich, sich bei einem solchen Meeresrückzug nicht lange zu wundern, sondern so schnell wie möglich höher gelegenes Gelände aufzusuchen.

Die Auslöser vieler Tsunamis sind Erdbeben, welche unter dem Meeresspiegel (Seebeben) stattfinden.

Eine zerstörerische Kraft in Verbindung mit Erdbeben sind die seismischen Meereswogen, die sogenannten Tsunamis. Tsunamis können an den Küsten zu haushohen Wellen auflaufen und über Küstengebiete hereinbrechen.

Die Hypozentren solcher Beben liegen vielfach an den Rändern von Kontinentalplatten. Besonders häufig treten sie an den Plattenrändern der zirkumpazifischen Zone auf. Japan wird jährlich mindestens einmal von einem größeren Tsunami heimgesucht. Ein Tsunami kann den Pazifik in wenigen Stunden überqueren. Sobald die Welle den Küstenbereich erreicht, macht sie das, was alle Wellen tun: Die Wellenlänge nimmt ab und die Wellenhöhe nimmt zu. Tsunamis können in Ausnahmefällen bis gegen 30 m hoch werden. Die Zerstörungskraft dieser Wellen ist gewaltig. In der Regel machen sich Tsunamis durch aufeinander folgende, rasch ansteigende und ebenso schnell wieder fallende Flutwellen bemerkbar. Ein Tsunami besteht also in sich aus vielen Wellenhügeln mit Wellenhöhen bis gegen 2 m.





## 2 Entstehung von Erdbeben

Für die immer wieder auftretenden Erdbeben mit ihren teilweise katastrophalen Folgen suchten die Menschen von jeher eine für sie schlüssige Erklärung. Als Strafe von Gottheiten wurden sie mit der jeweiligen Religion in Einklang gebracht oder aber in das jeweils herrschende Weltbild eingefügt. So wurden sie beispielsweise, als das Phänomen der Elektrizität erkannt war, als gewitterähnliche Entladungen in tief liegenden, unterirdischen Hohlräumen gedeutet.

Heute scheint die Entstehung von Erdbeben entschlüsselt. So lassen sich Erdbeben und ihre räumliche Verteilung gut mit der aktuellen Theorie über die Dynamik der Erdkruste, der Plattentektonik, in Einklang bringen.

Die Erde besteht aus mehreren Schichten, die sich um den ca. 5 500 °C heißen, festen Inneren Kern lagern. Den umgibt der ca. 2 200 km dicke, flüssige Äußere Kern. Die nächste Schicht ist der etwa 2 900 km dicke Erdmantel, der überwiegend aus festem Gestein besteht. Auf ihm liegt die äußerste und gleichzeitig dünnste Schicht, die Kruste. Diese erreicht unter Ozeanen oft nur eine Mächtigkeit von 5 km, unter den Landflächen maximal ca. 100 km (Abb. 2).

Die Erdkruste besteht aus einem Mosaik von 14 großen und zahlreichen kleineren Gesteinsplatten. Diese bewegen sich relativ zueinander auf dem plastisch-zähen Untergrund und die auf ihnen liegenden Kontinente bewegen sich entsprechend mit. Diese sogenannte Kontinentaldrift wird von Materialströmungen, den sogenannten Konvektionsströmen, im teils flüssigen, teils festen Erdmantel verursacht.

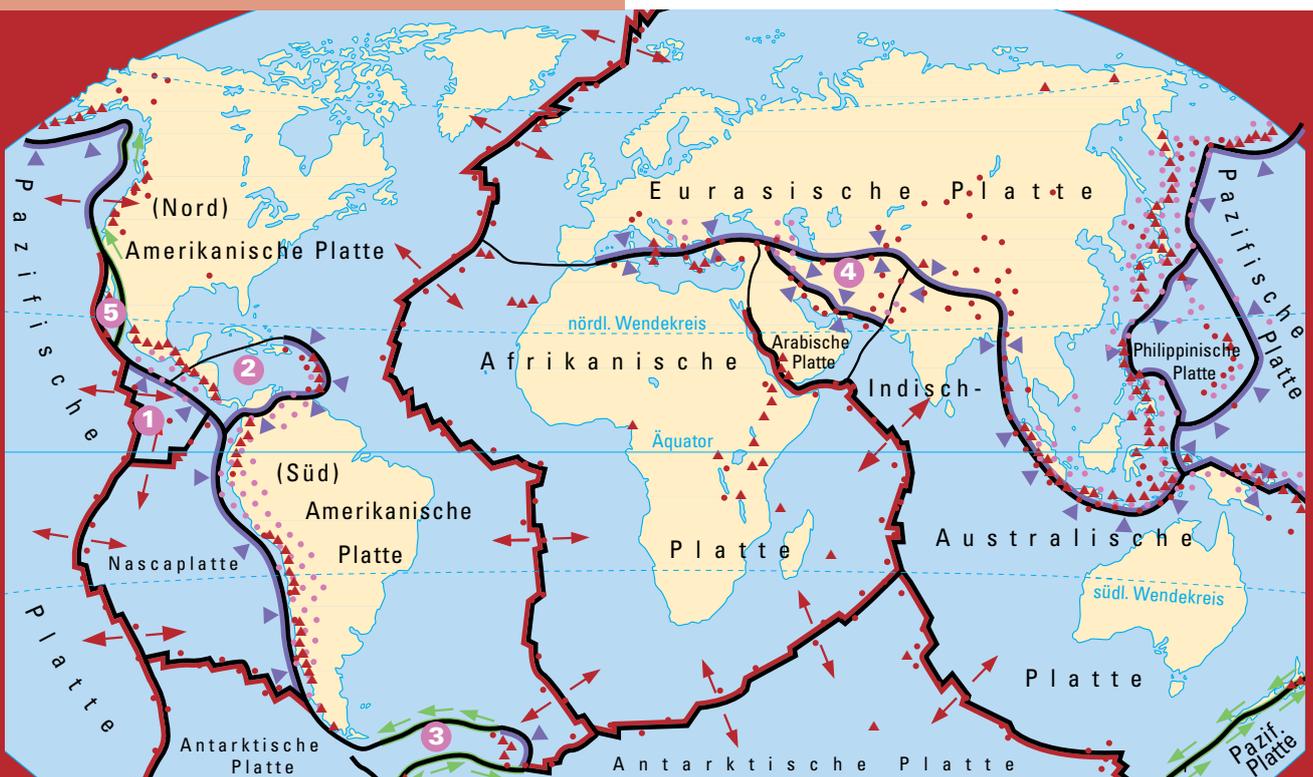


Abb. 1: Plattenaufbau der Erde

Konvektionsbewegungen treten in fließfähigem Material, also in Flüssigkeiten oder verformbaren Festkörpern auf, die an der Unterseite (vom heißen Erdkern) erhitzt und an der Oberseite (von der Atmosphäre) abgekühlt werden. Dann steigt heißes, weniger dichtes und somit leichteres Material nach oben, kühleres, dichteres und somit schwereres Material sinkt von der Oberfläche nach unten. Die Konvektionsbewegungen des Erdmantels sind langsam, was dementsprechend auch für die Bewegungen der davon angetriebenen Platten gilt: Sie legen nur wenige Zentimeter pro Jahr zurück.

Man unterscheidet Plattengrenzen, an denen sich die Platten voneinander weg bewegen, sogenannte divergierende Plattengrenzen; solche, an denen sich die Platten aufeinander zu bewegen, sogenannte konvergierende Plattengrenzen; und die, an denen sich die Platten entlang sogenannter Transformstörungen aneinander vorbei bewegen (Abb. 3, 4).

Divergierende Plattengrenzen sind durch eine zentrale Grabenstruktur gekennzeichnet. Dies ist eine Bruchlinie, die auf dem Kamm einer untermeerischen Gebirgskette – dem Mittelozeanischen Rücken – verläuft. Die Rücken sind in nahezu allen Weltmeeren vorhanden (Abb. 1). An einigen Stellen durchbricht dieses Gebirge auch die Wasseroberfläche – so der Mittelatlantische Rücken im Bereich von Island. Divergierende Plattengrenzen sind durch Erdbeben und Vulkanismus gekennzeichnet. Der Raum, der zwischen den auseinanderdriftenden Platten entsteht, wird stetig mit frisch aufsteigendem Magma aufgefüllt, das erstarrt, an die auseinanderdriftenden Lithosphärenplatten anwächst und diese vergrößert. Mit ihnen wächst der Ozeanboden.

Wenn sich Platten innerhalb des Plattenmosaiks voneinander weg bewegen, so müssen sich an anderen Stellen auch Platten aufeinander zu bewegen. Das sind die konvergierenden Plattenränder. An diesen Plattengrenzen trifft schwere ozeanische Kruste auf vergleichsweise leichte kontinentale Kruste. Die ozeanische taucht unter der kontinentalen in den Erdmantel hinab und schmilzt teilweise wieder auf. Bei diesem Vorgang entstehen die sogenannten Tiefseeegräben, die mit bis zu 1000 km Länge, bis zu 100 km Breite und mit bis zu 10 km Tiefe die tiefsten Stellen der Weltmeere bilden.

Die unterfahrene kontinentale Kruste wird bei diesem Vorgang gestaucht, faltet sich auf und hebt sich empor. So entstehen die etwa parallel zu den Tiefseeegräben verlaufenden, küstenparallelen Gebirgsketten wie die Anden in Südamerika oder die Küstenkordilleren in Nordamerika. Konvergierende Plattengrenzen sind durch Vulkanausbrüche und heftige Erdbeben gekennzeichnet.

**Tabelle 1**

**Statistische Häufigkeit von Erdbeben pro Jahr:**

Magnitude	Anzahl
2,5	ca. 17 000
3	ca. 60 000
4	ca. 7 500
5	950
6	120
7	18
8	1

Quelle: BGR 2004

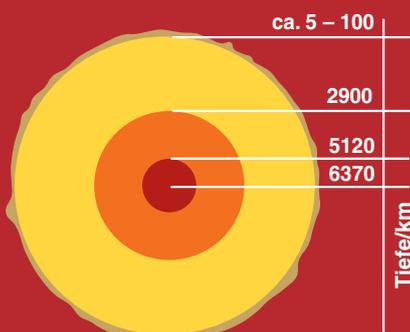
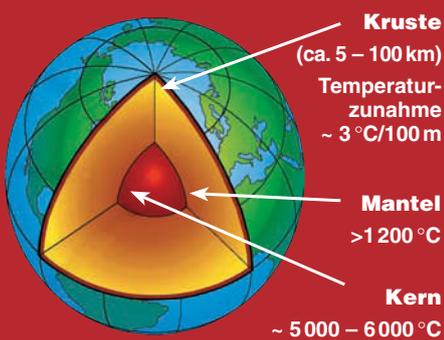


Abb. 2: Schalenbau der Erde (Quelle: nach GFL-Potsdam)



Abb. 3: Prinzip der Plattentektonik

Treffen zwei relativ leichte kontinentale Platten aufeinander, so kommt es zur Kollision. Keine Platte kann sich unter die andere schieben. Die Kollision führt zu einer Stauchung der Platten. So sind die Hochgebirge dieser Erde, zum Beispiel der Himalaya oder die Alpen, entstanden.

Einige Platten kollidieren nicht miteinander, sondern gleiten entlang sogenannter Transformstörungen oder Horizontalverschiebungen aneinander vorbei. Die berühmte San-Andreas-Verwerfung in Kalifornien ist eine solche Plattengrenze. Bei ihren Bewegungen gleiten die Gesteinsplatten in der Regel langsam aneinander vorbei. An manchen Stellen „verhaken“ sich allerdings die Gesteine aufgrund der wirksamen Reibungswiderstände ineinander. Da die Bewegung der Gesteinsplatten als Ganzes weitergeht, werden die Plattenränder an den betreffenden Stellen verformt. Wenn der Reibungswiderstand der Gesteine der aneinander grenzenden Platten überschritten wird, kommt es zum Bruch, der sich dann über die blockierte Fläche ausbreitet. Die Gesteinspakete auf beiden Seiten des Bruches verschieben sich ruckartig gegeneinander. Der Bruch breitet sich vom sogenannten Hypozentrum mit einer Geschwindigkeit von 1 – 3 km/s aus und endet erst dort, wo die Scherspannungen die Scherfestigkeiten des Gesteins wieder unterschreiten.

Je nach den geologischen Verhältnissen ist die räumliche Lage der Bruchflächen verschieden. Erdbeben können sowohl von horizontalen als auch von vertikalen Bewegungen ausgelöst werden. Die Stärke eines Erdbebens hängt vor allem von der Größe der Bruchfläche und vom Betrag der Verschiebung, der

sogenannten Dislokation, ab. Bei den stärksten auf der Erde beobachteten Erdbeben kann die Länge der Bruchfläche ca. 1 000 km, die Tiefenerstreckung ca. 200 km und die Dislokation ca. 10 m betragen. Der Punkt, an dem die Bruchbewegung beginnt, wird Hypozentrum, der senkrecht darüber an der Erdoberfläche liegende Punkt Epizentrum und die gesamte Bruchfläche Erdbebenherd genannt. Die Schwere eines Erdbebens hängt auch von der Art des Gesteinsuntergrundes ab. Während feste Gesteine das Erdbeben dämpfen, wird es bei lockerem Untergrund durch dessen Eigenbewegung verstärkt.

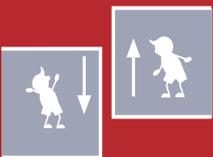
Die vor einem Erdbeben bis zum Bruch der Gesteine aufgestaute Energie wird zum Teil in seismische Wellen umgewandelt, die sich vom Hypozentrum aus nach allen Seiten ausbreiten. Im Epizentrum treten die Erdbebenwellen zuerst und mit der maximalen Energie an die Erdoberfläche. Hier ist mit den größten Schäden zu rechnen. Der Anteil der in Wellenform abgestrahlten seismischen Energie an der gesamten bei einem Erdbeben frei werdenden Energie beträgt wahrscheinlich nur 10 – 30 %. Der Rest wird für Reibungswärme, petrologische Veränderungen in der Bruchzone und Nachbeben aufgebraucht. Mit zunehmender Entfernung vom Hypozentrum werden die Wellen immer schwächer, sodass meist nur in Nähe des Bebenherdes Schäden auftreten.

#### Abschiebungen



sind Verwerfungen, bei denen ein Gesteinsblock absinkt und sich von dem anderen wegbewegt. Abschiebungen kommen meist in Gegenden vor, in denen eine Platte langsam zerrissen wird oder wo zwei Platten auseinanderdriften.

#### Horizontalverschiebungen



sind Verwerfungen, bei denen zwei Gesteinsblöcke horizontal aneinander vorbeigleiten. Bekannte Beispiele sind die San-Andreas-Verwerfungen in Kalifornien und die Nord-Anatolische Verwerfung in der Türkei.

#### Überschiebungen



sind Verwerfungen, bei denen ein Block auf einen anderen aufgleitet. Sie kommen meist in Gegenden vor, wo zwei Platten gegeneinander geschoben werden.

Abb. 4: Verwerfungsarten

Tabelle 2

#### Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Erdbebenwellen ist material- und dichteabhängig:

	P-Wellen- geschwin- digkeit in km/s	Dichte in g/cm <sup>3</sup>
Erdkruste	≤ 6,7	2,7 – 3,0
Erdmantel	8,0 – 13,6	3,3 – 5,7
Äußerer Kern	8,0 – 11,0	9,4 – 11,5
Innerer Kern	11,5	11,5 – 15,0

## Ein wenig Wellenlehre

Seismische Wellen sind Wellen von Energie, die durch einen plötzlichen Bruch von Gesteinen in der Erde oder durch Explosionen freigesetzt werden und sich dann in der Erde ausbreiten. Die durch sie hervorgerufenen Bodenbewegungen können mit Seismometern gemessen werden.

Es gibt bei jedem Erdbeben mehrere Arten seismischer Wellen, die sich durch ihre Ausbreitungseigenschaften unterscheiden. Die beiden Haupttypen sind Raumwellen und Oberflächenwellen. Raumwellen können durch das Innere der Erde laufen, Oberflächenwellen sind an die Erdoberfläche gebunden und breiten sich ähnlich wie Wellen auf einem Teich aus, in den man einen Stein wirft. Erdbeben erzeugen sowohl Raum- als auch Oberflächenwellen.

Die erste Sorte von Raumwellen sind die P-Wellen oder Primärwellen. Sie sind die schnellsten seismischen Wellen. Wie Schallwellen sind es Kompressionswellen: Die Teilchen schwingen in Richtung der Ausbreitungsrichtung der Welle. P-Wellen bewegen sich durch das Erdinnere. Sie können sich wie Schallwellen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien ausbreiten. Sie treten sogar in die Luft über: Geräuschercheinungen, die von Erdbeben berichtet werden, gehen auf die P-Wellen zurück (Abb. 5a).

S-Wellen oder Sekundärwellen sind nur rund halb so schnell wie P-Wellen. Es sind Scherwellen wie die an einem Seil oder einer Geigensaite. Die Partikel schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle. Die S-Wellen bewegen sich ebenfalls durch das Erdinnere, können sich jedoch – wie alle Scher-

wellen – nur in festen Medien ausbreiten, nicht dagegen in Luft oder Wasser (oder dem flüssigen Äußeren Erdkern), da diese Medien keinen Scherwiderstand haben (Abb. 5b).

Neben den P- und S-Wellen gibt es noch die sogenannten Oberflächenwellen. Sie ähneln den Wellen auf der Oberfläche eines Gewässers und sind die langsamsten Erdbebenwellen. Sie breiten sich nur an der Erdoberfläche aus, ihre Amplitude – die Stärke mit der die einzelnen Teilchen schwingen – nimmt zur Tiefe hin rasch ab. Oberflächenwellen entstehen dadurch, dass P- und S-Wellen in die Erdoberfläche hinein gebrochen werden. Ähnlich den P- und S-Wellen können auch sie längs oder quer zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Jedoch zeichnen sie sich dadurch aus, dass die Schwingungsrichtung immer parallel zur Oberfläche verläuft.

Die schnellsten Oberflächenwellen sind die Love-Wellen, sie breiten sich aber langsamer als S-Wellen aus. Die Bodenbewegung erfolgt in horizontaler Richtung hin und her (Abb. 5c).

Die zweite wichtige Art von Oberflächenwellen sind die Rayleigh-Wellen. Bei ihnen rollt der Boden in einer elliptischen Bewegung, ähnlich wie Meereswellen. Dieses Rollen bewegt den Boden sowohl auf und ab als auch hin und her in Ausbreitungsrichtung der Welle. Die meisten Erschütterungen, die bei einem Erdbeben gespürt werden, sind Rayleigh-Wellen, deren Amplituden viel größer als die der übrigen Wellenarten werden können (Abb. 5d).

Die Geschwindigkeit aller Wellentypen hängt maßgeblich von der Dichte des Mediums ab, in dem die Wellen verlaufen (Tab. 2).

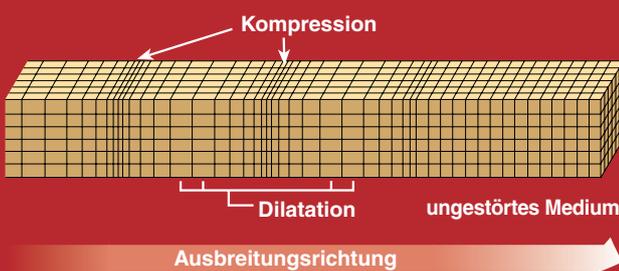


Abb. 5a: P-Welle



Abb. 5b: S-Welle



Abb. 5c: Love-Welle



Abb. 5d: Rayleigh-Welle

### 3 Messung von Erdbeben

Ein Seismometer ist ein Gerät, das Bodenerschütterungen anzeigt, die von seismischen Wellen verursacht werden. Man kann damit Erdbeben erkennen und lokalisieren. Ein Seismograf beinhaltet zusätzlich einen Aufzeichnungsmechanismus. Bei einer Erschütterung zeichnet der Seismograf die seismischen Wellen als eine Art Sinuswelle auf. Seit Jahrhunderten gibt es bereits Geräte, die Erdbeben auch in großen Entfernungen erfassen und sogar die Richtung des Erdbebenherdes erkennen lassen.

Das älteste Seismometer der Welt stammt aller Wahrscheinlichkeit nach aus China. Es wurde um das Jahr 132 n. Chr. von ZHANG HENG erfunden – ungefähr 1 600 Jahre bevor die ersten Seismometer in der westlichen Welt entwickelt wurden. Es handelte sich bei der Vorrichtung um eine bewegungsempfindliche Urne oder Vase mit acht nach außen gerichteten Drachenköpfen. Sie waren auf einer Höhe in gleichmäßigen Abständen um das Gefäß herum angeordnet. Jeder der Drachen hielt eine Kugel im Maul. Um die Basis der Urne herum, unter jedem Drachen, hockte ein Porzellanfrosch mit weit aufgerissenem Maul (Abb. 6). Schon durch leichteste seismische Erschütterungen wurde ein in der Urne verborgenes Pendel in Schwingung versetzt. Die Bewegung des Pendels wiederum setzte einen Mechanismus in Gang, welcher die Kugel aus ihrer Halterung in dem Drachen-

maul löste, das in Richtung des Bebens wies. Sie fiel mit einem lauten Geräusch in das Maul des Frosches darunter. Auf diese Weise konnten auch noch Erdbeben nachgewiesen werden, deren Epizentrum sich an weit entfernten Orten des riesigen Reichs befand – lange bevor die ersten Kundschafter mit den entsprechenden Nachrichten eintrafen.

Mithilfe dieses Gerätes konnte allerdings noch keine Aussage über die Stärke eines Bebens gemacht werden.

Zur Beschreibung der Stärke von Erdbeben wurden viele Skalen entwickelt. Grundsätzlich unterscheiden muss man zwischen Skalen der Intensität und der Magnitude. Während die Intensität die örtliche Schadenswirkung beziehungsweise die Wahrnehmung durch den Menschen beschreibt, ist die Magnitude ein Maß für die bei einem Erdbeben freigesetzte Energie. Ein Erdbeben hat nur eine Magnitude, als Maß der seismischen Energie, aber von Ort zu Ort unterschiedliche Intensitäten, die in der Regel mit zunehmender Entfernung vom Erdbebenherd abnehmen.

Zur Bestimmung der Intensität braucht man keine Messgeräte. In Europa wird dazu die zwölfstufige EMS-98 (European Macroseismik Scale) herangezogen (Tab. 3).



Abb. 6: Chinesische Erdbebenvase

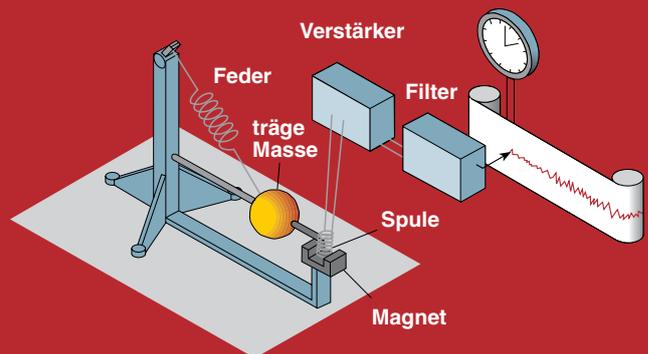


Abb. 7: Erdbebenregistrierung mit einem Vertikalseismografen

Die makroseismische Intensitätsskala hat zum Beispiel den Vorteil, dass mit ihrer Hilfe auch historische Beben auf der Basis von Zeitzeugenberichten oder anderen historischen Quellen bewertet werden können. Nachteile dieser Methode sind die subjektive Bewertung der Bebenstärke und, dass kaum Aussagen in wenig besiedelten Gebieten oder bei untermeerischen Beben möglich sind.

Eine wesentlich exaktere Bewertung eines Erdbebens ist mit der instrumentellen, quantitativen Erfassung der mikroseismischen Beben-Magnitude möglich. Zu deren Erfassung sind moderne Seismometer beziehungsweise Seismografen notwendig, wie sie im ausgehenden 19. Jahrhundert entwickelt wurden.

Der moderne Seismograf ist ein Instrument, mit dem Erdbebenwellen festgestellt, gemessen und auch aufgezeichnet werden. Er beruht meist auf dem Trägheitsprinzip und dem Prinzip der Pendelbewegung. Die einfachsten Seismografen registrieren nur horizontale Wellen. Sie bestehen aus einem fest mit der Erde verbundenen Rahmen, an dem eine möglichst schwere Masse hängt, die sich aufgrund ihrer Trägheit möglichst ruhig verhält. An der Masse ist ein Stift befestigt, der einen ständigen Kontakt mit einem am Rahmen befestigten Papierstreifen hat. Bei einer ankommenden horizontalen seismischen Welle schwingt der an die Erdoberfläche gekoppelte

Rahmen, die schwere Masse mit dem Stift schwingt jedoch wegen ihrer Trägheit nicht und deshalb hinterlässt der Stift eine Wellenlinie auf dem Papier (Abb. 7). Das ist dann das sogenannte Seismogramm, die grafische Aufzeichnung eines Erdbebens. Die Bodenbewegungen kann man aus dem Seismogramm berechnen. Die Magnitude eines Bebens ist – vereinfacht – der Ausschlag auf dem Seismogramm, aus dem die Amplitude der bei einem Beben ausgestrahlten seismischen Wellen abgelesen wird. Da die Amplitude mit zunehmender Entfernung vom Hypozentrum abnimmt, wird sie auf eine Herdentfernung von 100 km umgerechnet.

Aufgezeichnet werden können:

- die Beschleunigung der Bodenteilchen
- die Geschwindigkeit
- die Auslenkung der Erdbebenwellen

Aus den Aufzeichnungen lassen sich ableiten:

- die Magnitude des Erdbebens
- der Ort der Entstehung (Epizentrum und Hypozentrum)
- das Frequenzspektrum
- die zeitliche, räumliche und energetische Verteilung

1935 entwickelte der amerikanische Seismologe CHARLES FRANCIS RICHTER die nach ihm benannte Richter-Skala, in der die Magnitude ein Maß für die am Epizentrum freigesetzte Schwingungsenergie ist. Zur Bestimmung der Magnitude müssen die Bodenbewegungen eines Erdbebens mit einem Seismografen als Seismogramm aufgezeichnet werden, und die Entfernung zwischen der Messstation und dem Erdbebenherd muss bekannt sein. Aus den Seismogrammen wird die größte Bodenbewegung abgelesen. Zusammen mit der Entfernung bestimmt dieser Wert die Magnitude, die ein logarithmisches Stärkemaß ist. Das heißt, der Zuwachs um eine Magnitudeneinheit (z. B. von 5 auf 6) bedeutet 10-fach größere Bodenbewegungen und eine Steigerung der Bebenenergie um etwa das 30-fache. Beben mit der Magnitude 2 – 3 sind gerade noch spürbar, das stärkste auf der Erde gemessene Beben hatte eine Magnitude von 9,5 (Chile 1960). Die Richter-Skala ist weder nach oben noch nach unten begrenzt. Da sich aber in der Erdkruste wegen ihrer endlichen Dicke nur endlich starke Spannungen ansammeln können, sind Beben mit Magnituden über 10 kaum möglich.

**Tabelle 3**

<b>INTENSITÄT</b>	I	nur von Erdbebeninstrumenten zu registrieren
	II	nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen
	III	nur von wenigen Personen wahrgenommen
	IV	von vielen Personen wahrgenommen, Geschirr und Fenster klirren
	V	hängende Gegenstände pendeln, viele Schlafende erwachen
	VI	leichte Schäden an Gebäuden, leichte Risse im Putz
	VII	Risse im Putz, Spalten in Wänden und Schornsteinen
	VIII	große Spalten im Mauerwerk, Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein
	IX	an einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein, Erdrutsche
	X	viele Bauten stürzen ein, bis 1 m breite Spalten im Boden
	XI	viele Spalten im Boden, Erdrutsche in den Bergen
	XII	starke Veränderungen der Erdoberfläche

Obleich die Richter-Skala in der Öffentlichkeit und den Medien immer noch die populärste ist, wird sie in der seismologischen Forschung kaum noch verwendet. Diese verwendet die Momentmagnitude, die aus dem sogenannten seismischen Moment abgeleitet wird und Eigenschaften des Bebenherdes und die Herdverschiebung berücksichtigt.

Durch die Auswertung der Information in den Seismogrammen kann der Seismologe feststellen, wie weit das Zentrum des Bebens entfernt war und wie stark das Beben war. Der genaue Ort des Zentrums kann aus einem Seismogramm nicht abgeleitet werden, dazu sind Informationen von wenigstens zwei weiteren Seismometerstationen erforderlich.

Die Lage eines Erdbebenherdes wird durch die geografischen Koordinaten (Längen- und Breitengrad) und die Herdtiefe (in Kilometern) angegeben. Der Punkt im Erdinneren, an dem der Bruch der Gesteine beginnt, ist das Hypozentrum, der Punkt genau darüber an der Erdoberfläche ist das Epizentrum. Um das Epizentrum zu bestimmen, braucht man die Seismogramme von wenigstens drei Stationen. Für die Ortung des Erdbebenherdes, des Hypozentrums, sind mindestens vier im Hinblick auf den Herd günstig gelegene seismische Stationen erforderlich. Von möglichst vielen Erdbebenwarten registrierte Zeitverläufe eines Erdbebens ermöglichen unter anderem nicht nur eine genaue Ortung des Bebenherdes, sondern auch die Bestimmung der Lage und Ausdehnung der aktiven Bruchfläche sowie der Größe und Richtung der an ihr erfolgten Verschiebung. Die wichtigsten Wellen für die Lokalisierung sind die P- und S-Wellen. Bei Entfernungen bis zu einigen hundert Kilometern breiten sich die P-Wellen mit Geschwindigkeiten zwischen 4 und 7 km/s aus und die S-Wellen mit 2 – 4,5 km/s. Wegen dieses Unterschiedes in der Ausbreitungsgeschwindigkeit wächst daher der Zeitunterschied zwischen dem Eintreffen der P-Welle und der S-Welle mit zunehmendem Abstand zwischen Erdbebenherd und Messstation. Aus dem Zeitunterschied können die Seismologen die Entfernung bestimmen (Abb. 9).

#### 4 Vorhersagemöglichkeiten von Erdbeben

Es ist ja schön und gut und auch nützlich, wenn man ein Erdbeben, sobald es stattgefunden hat, beschreiben und klassifizieren kann. Die alle Betroffenen interessierende Frage ist aber die: Kann man das nächste Beben mit einiger Sicherheit vorhersagen?

Flache Erdbeben treten seltener auch im Innern von Lithosphärenplatten auf. Diese Intraplattenbeben haben oft Wiederholungsperioden von bis zu mehreren tausend Jahren, so dass hier die Menschen, die bisher glaubten in einer erdbebenfreien Zone zu leben, auf diese Naturgewalt nicht vorbereitet sind und deshalb besonders hart getroffen werden. Ein dramatisches Beispiel ist das Killari-Beben in einer bis dahin als aseismisch geltenden Region in Zentralindien (29.9.1993), das viele Menschenleben forderte.

Man unterscheidet langfristige (viele Jahre im Voraus), mittelfristige (Wochen bis Monate im Voraus) und kurzfristige (Stunden bis Tage im Voraus) Erdbebenvorhersagen.

Langfristige Vorhersagen beruhen auf der langjährigen Beobachtung von Erdbebenereignissen. Diese Vorhersagen sind zumeist statistischer Natur.

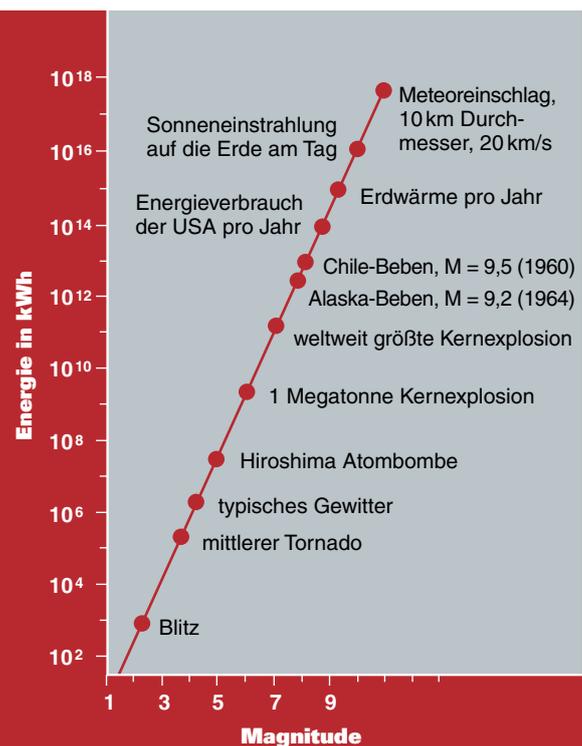


Abb. 8: Beziehung zwischen Magnitude und Energie in kWh

Erdbebenvorläufer wie die oft, aber nicht immer beobachteten Vorbeben sind die Grundlage der mittel- bis kurzfristigen Vorhersagen. Allerdings ist zumeist nicht zu entscheiden, ob es sich um ein Vorbeben oder das Hauptereignis handelt.

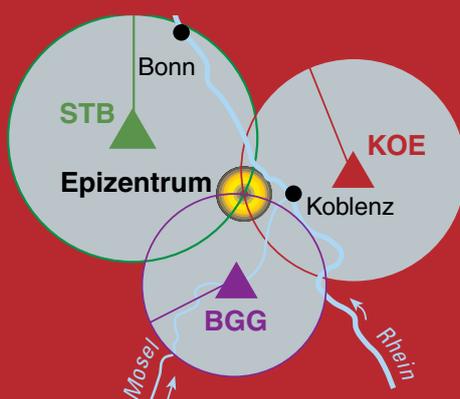
Der im Herdbereich mechanisch zunehmend stark beanspruchte Fels erfährt nicht nur Deformationen, sondern es treten auch Mikrorisse sowie Veränderungen der magnetischen, elektrischen, thermischen und sonstigen physikalischen Materialeigenschaften auf. An der Erdoberfläche, besonders im künftigen Epizentralbereich, können Deformationen und Neigungsänderungen auftreten, die auch den Wasserstand in Brunnen merklich beeinflussen oder Schüttungsänderungen bei Quellen verursachen können. Der Austritt von Bodengasen (Erdgas, Radon etc.) beziehungsweise deren Konzentration in Tiefenwässern kann vor Starkbeben ebenfalls unübersehbar ansteigen. Nicht zuletzt sind auch an Zahl und Stärke zunehmende Vorbeben denkbar, vergleichbar mit dem Knistern im Gebälk eines Hauses, bevor es einstürzt.

Zumindest auf einige der genannten Erdbebenvorläufer können empfindsame Tiere schon geraume Zeit vor einem großen Bebenereignis atypisch reagieren. Doch darf nicht jede atypische Reaktion einzelner Tiere als Hinweis auf ein bevorste-

hendes Beben gedeutet werden. Für eine Erdbebenvorhersage, die Angaben über Zeit, Ort, Stärke und Eintrittswahrscheinlichkeit enthalten muss, können im Prinzip alle denkbaren Erdbebenvorläufer herangezogen werden. Sie müssen nur nachweisbar sein und man muss sie auch richtig deuten können. Zu Letzterem braucht man aber genügend Erfahrung aufgrund von sehr umfangreichem Beobachtungsmaterial.

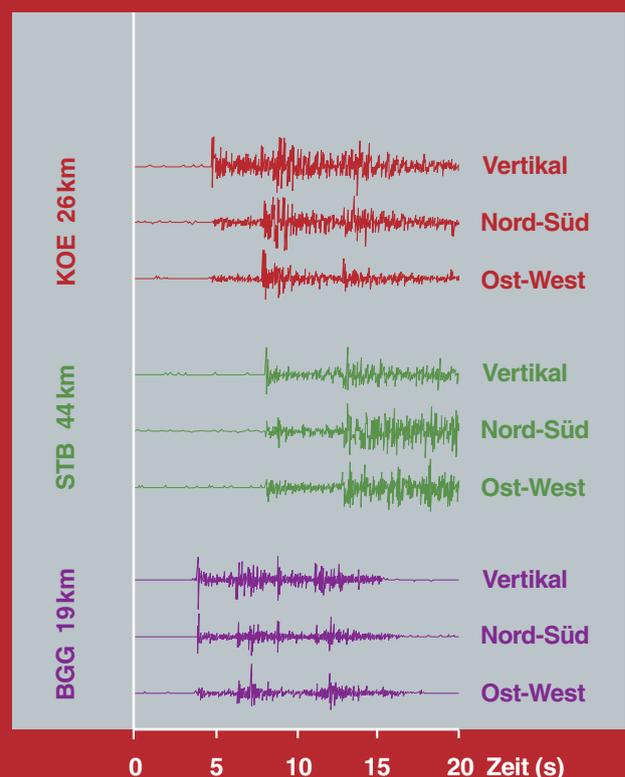
Bisher sind allerdings meist nur grobe Vorhersagen möglich, doch mit den Fortschritten in der Seismologie und Analyse der Plattentektonik wird sich hoffentlich auch die Präzision der Vorausbestimmung von Erdbeben erhöhen. Warnungen könnten dann früher ausgesprochen und viele Menschenleben gerettet werden.

So sind derzeit Erdbeben mittel- und kurzfristig zumeist nicht vorhersagbar, obwohl gerade in den erdbebengefährdeten Industrienationen USA und Japan erhebliche Forschungen zu diesem Zweck betrieben werden.



**Abb. 9:** Zeichnet man auf einer Karte um drei Stationen je einen Kreis mit der berechneten Entfernung als Radius, dann schneiden sich die drei Kreise (mit etwas Glück) genau im Zentrum des Erdbebenherdes.

Mit entsprechenden Rechenprogrammen können heute aus den Daten vieler Stationen in Sekundenschnelle die Lage des Erdbebens und die genaue Herzzeit berechnet werden.



## 5 Schutz vor Erdbeben

Solange nicht zuverlässige kurz- bis mittelfristige Erdbebenvorhersagen möglich sind, muss man in einem Gebiet mit einer statistisch festgestellten seismischen Gefährdung auf eine ausreichend erdbebensichere Bauweise, besonders der sicherheitsrelevanten Bauwerke, achten.

Länder in erdbebengefährdeten Gebieten wie Japan legen großen Wert auf die Entwicklung und den Bau modernster, erdbebensicherer Häuser. In den Städten wie zum Beispiel Tokio werden detaillierte Maßnahmen und Verhaltensweisen für den Notfall erarbeitet und geübt. Doch trotz aller Vorbereitungen ist der Mensch gegen diese enormen Naturgewalten weitgehend machtlos.

## 6 Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht

In Mitteleuropa gibt es keine Grenzen zwischen Lithosphärenplatten wie zum Beispiel in den Erdbebengebieten Kaliforniens oder Japans. Warum also bebt hier trotzdem die Erde?

Die Niederrheinische Bucht ist eines der aktivsten Erdbebengebiete Mitteleuropas. In historischer Zeit ist es hier immer wieder zu Schaden verursachenden Beben gekommen, die jedoch die Stärke 6 auf der Richter-Skala nicht oder nur unwesentlich überschritten haben. Die Ursache der Beben ist in langfristigen und großräumigen tektonischen Vorgängen zu suchen.

Die Afrikanische Platte bewegt sich nach Norden und drückt dabei Italien gegen die Europäische Platte. Hierdurch entstanden die Alpen und es ergeben sich in Mitteleuropa Druck- und Zugspannungen in der Erdkruste. Übersteigen diese Spannungen die Festigkeit der Gesteine im Untergrund, kommt es zum Bruch der Gesteine und somit zu Erdbeben. Angetrieben durch diese Spannungen senkt sich die Niederrheinische Bucht seit dem Tertiär (ca. 30 Mio. Jahre) ab. Die festen devonischen Gesteine, die im Rheinischen Schiefergebirge zutage treten, liegen im Mittelteil der Niederrheinischen Bucht in etwa 1 000 m Tiefe. Über ihnen haben sich in Jahrmillionen Sedimente ab-



Abb. 10: Seismogramm des Roermond-Bebens

Abb. 11: Erdbebenstationen des GD NRW

gelagert. Diese sind durchzogen von tektonischen Störungen, an denen bis zum heutigen Tage langsame Verschiebungen, aber immer wieder auch Erdbeben stattfinden (Abb. 12). Durch die Bewegungen im Untergrund entstand in der Niederrheinischen Bucht ein Mosaik von nach Nordosten gekippten Schollen, die von tief reichenden Brüchen begrenzt sind. Die bedeutendsten Bruchsysteme sind von Nordost nach Südwest der Viersener Sprung, der Erft-Sprung, der Rurrand-/Peelrand-Sprung und die Feldbiss-Verwerfung. Erdbeben sind ruckartige Bewegungen an diesen Bruchzonen. Das Beben von Roermond im Jahr 1992 war eine plötzliche Verschiebung des Peelrand-Sprungs um etwa 50 cm in ca. 18 km Tiefe.

Ein Beben der Stärke des Roermond-Bebens tritt im langfristigen Mittel etwa alle 150 Jahre auf. Dies ist allerdings eine statistische Betrachtung, sodass nicht ausgeschlossen ist, dass jederzeit ein ähnlich starkes Beben in der Niederrheinischen Bucht stattfinden kann.

### Erdbebenüberwachung und Erdbebenschutz in NRW

Der Geologische Dienst NRW betreibt in der Niederrheinischen Bucht und den angrenzenden Gebieten des Rheinischen Schiefergebirges ein Erdbebenbeobachtungsnetz von derzeit 13 Stationen (Abb. 11). Sie sind sehr empfindlich und registrieren noch Erdbewegungen weit unterhalb der Fühlbarkeitsschwelle des Menschen. Aus den Aufzeichnungen der Stationen können die Hypozentren und die Stärken von Erdbeben genau berechnet werden. Seit 1980 sind im Bereich des Stationsnetzes mehr als 800 Erdbeben aufgetreten. Die meisten davon waren sehr schwach und wurden von der Bevölkerung nicht wahrgenommen. In einigen Fällen wurden die Erschütterungen jedoch deutlich gespürt und es kam auch vereinzelt zu leichten Gebäudeschäden. Auch das zuvor schon angesprochene Erdbeben von Roermond, das mit der Stärke 5,9 das stärkste Beben in Mitteleuropa seit mehr als 250 Jahren war, wurde von den Stationen registriert (Abb. 10).

Aus den Registrierungen des Erdbebenstationsnetzes des GD NRW wird die Gefährdung verschiedener Bereiche der Niederrheinischen Bucht ermittelt, denn stärkere Beben sind in der Regel dort zu erwarten, wo auch schwache Beben auftreten. Nun kommen schwache Beben sehr viel häufiger vor als starke und lassen schon nach wenigen Jahren der Beobachtung Häufigkeitsschwerpunkte erkennen. In diesen Bereichen muss auch mit dem Auftreten schwererer Beben gerechnet werden. Mittels statistischer Verfahren kann für jeden beliebigen Ort be-

rechnet werden, welche Erdbebenstärken in einem bestimmten Zeitraum – häufig 500 oder 2 500 Jahre – statistisch zu erwarten sind. Außerdem werden die seismischen Aufzeichnungen bei Computersimulationen zum baulichen Erdbebenschutz von Gebäuden und Anlagen verwendet. Wohngebäude sind dann so zu errichten, dass Personen bei einem Erdbeben nicht zu Schaden kommen. Dabei ist auch der Aufbau des unmittelbaren Untergrundes zu berücksichtigen, der verstärkend oder abschwächend wirken kann. Für sicherheitsrelevante Anlagen wie z. B. Talsperren oder chemische Betriebe, von denen bei einer Schädigung durch Erdbeben eine erhebliche Gefährdung für die Bevölkerung ausgehen kann, wird ein höheres Sicherheitsniveau verlangt als für Wohngebäude. Die bei solchen Gefährdungsanalysen von Seismologen ermittelten Parameter sind in erster Linie die horizontalen Beschleunigungen in Abhängigkeit von der Schwingungsfrequenz und die Dauer der Einwirkung der Schwingungen. Mit diesen Angaben können dann Ingenieure Gebäude und Anlagen den Anforderungen entsprechend erdbebensicher konstruieren

In Deutschland kommt die DIN 4149 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten“ zum Einsatz. In ihr ist festgelegt, wie Gebäude entsprechend der Erdbebengefährdung eines Gebietes konstruktiv auszustatten sind, um den Schaden im Falle eines Erdbebens möglichst gering zu halten. Sie gilt jedoch nur für übliche Hochbauten und zielt in erster Linie auf den Personenschutz. Für die Auslegung von Talsperren gilt die DIN 19700 – Stauanlagen.

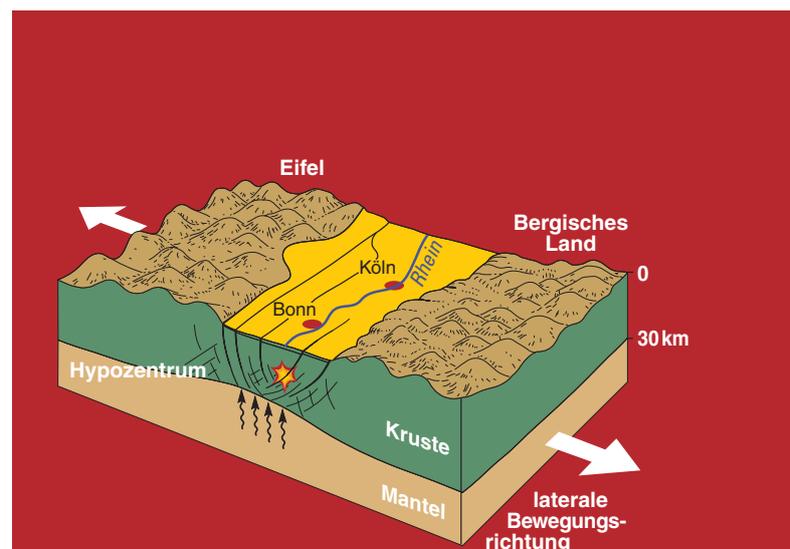


Abb. 12: Geologische Ursachen der Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht

## 7 Paläoseismologie

Für eine Bewertung der seismischen Gefährdung in einem Erdbebengebiet ist eine Abschätzung der dort maximal möglichen Bebenstärke erforderlich. Der Erdbebenkatalog für die Niederrheinische Bucht, bestehend aus instrumentellen Registrierungen in der Niederrheinischen Bucht seit 1980 und historischen Aufzeichnungen, reicht bis in das Jahr 800 n. Chr. zurück. In diesem Zeitraum wurde die Magnitude 6 nicht oder nur unwesentlich überschritten.

Nun ist es wie zuvor beschrieben so, dass Erdbeben größerer Stärke in längeren Abständen stattfinden als Beben geringerer Magnituden. Es ist daher denkbar, dass in dem vom Erdbebenkatalog abgedeckten Zeitraum ein Beben der maximalen Stärke nicht erfasst wurde. Um auch Beben in vorhistorischer Zeit zu berücksichtigen, werden weltweit in zunehmendem Maße Studien zur Paläoseismologie (paläo = alt; Seismologie = Erdbebenkunde) vorgenommen. Dabei wird nach Spuren vergangener Starkbeben gesucht, die sich entlang von Verwerfungsflächen bis an die Erdoberfläche durchgepaust haben und in der geologischen Struktur konserviert sind. Mit dieser Methodik konnten Wissenschaftler Anhaltspunkte für mehrere Starkbeben an der Feldbiss-Verwerfung in Belgien ableiten. Das letzte große Beben wurde dabei mit einer Magnitude von 6,3 für den Zeitraum 610 – 890 n. Chr. bestimmt. Wissenschaftler versuchen derzeit zu klären, ob in der Niederrheinischen Bucht noch stärkere Beben aufgetreten sind.

Für den Schutz der Bevölkerung und die erdbebensichere Auslegung von industriellen Großanlagen müssen die maximal zu erwartende Stärke eines Erdbebens und seine statistische Wiederkehrzeit berücksichtigt werden. Entdecken die Geologen eindeutige Spuren starker Schadensbeben, müssen die bisher bestehenden Regeln für erdbebensicheres Bauen überprüft und gegebenenfalls ergänzt werden.

Nachdem man im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens „PALEOSIS“ von 1998 bis 2000 erste paläoseismologische Untersuchungen durchführte, wurden die hierbei gewonnenen Erkenntnisse im Jahr 2001 und noch einmal im Jahr 2004 durch weitere Untersuchungen an jeweils 2 Schürfen verdichtet. Der GD NRW sucht an den Grenzen sich heute noch bewegender Erdschollen nach Spuren früherer Erdbeben (Abb. 13).

Dazu wurde im Mai 2004 in Merzenich, unweit von Düren, ein überdimensionaler Schurf von 60 m Länge und 5 m Tiefe angelegt. Im September 2004 folgte ein weiterer, nicht ganz so großer Schurf in Metternich bei Weilerswist. In den freiliegenden Lockergesteinen der Schurfwände lassen sich erdbebenbedingte Verwerfungen junger Erdschichten erkennen. Ausmaß und Alter solcher Verwerfungen werden bestimmt; daraus ergeben sich Hinweise auf statistische Wiederkehrzeiten bestimmter Bebenstärken.

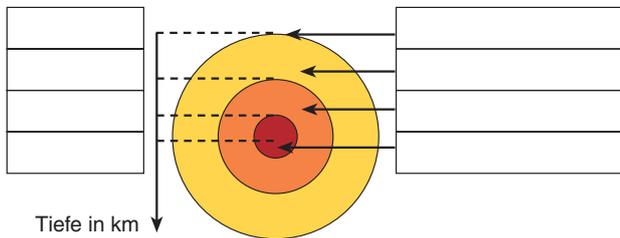


Abb. 13: Schurf am Viersener Sprung

### 8 Aufgaben zum Text:

#### a) Aufbau der Erde

Das Modell des Erdinneren begründet sich aus Untersuchungen seismischer Wellen. Beschrifte das Modell anhand des Textes.

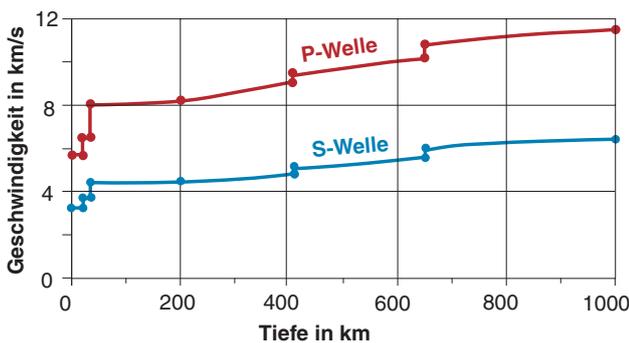


#### b) Ausbreitungsgeschwindigkeit

Ca. 2,5 Minuten nach dem Erdbeben von Roermond begannen in einer 900 km entfernten Erdbebenstation die Seismografen auszuschlagen. Welche Ausbreitungsgeschwindigkeit ergibt sich daraus ungefähr für die P-Welle?

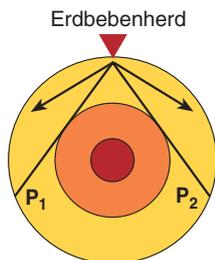
#### c) Ausbreitungsgeschwindigkeit

Werte das Diagramm umfassend aus. Nimm dabei auch Bezug auf das Modell des Erdinneren.



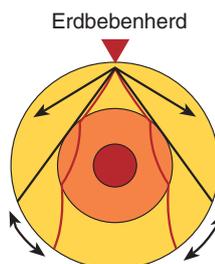
#### d) Schattenzone für S-Wellen

Die von einem Erdbebenherd ausgehenden S-Wellen werden nicht überall auf der Erdoberfläche registriert. Es gibt eine Schattenzone in Form eines Kugelabschnitts (zwischen  $P_1$  und  $P_2$  in der Abb.). Erkläre dies.



#### e) Schattenzone für P-Wellen

Erkläre mithilfe der Abbildung, warum es für die von einem Erdbebenherd ausgehenden P-Wellen auf der gegenüber liegenden Erdseite eine Schattenzone in Form eines breiten, ringförmigen Gürtels gibt.

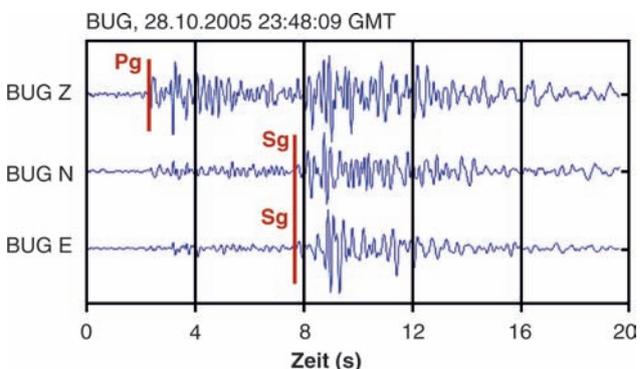
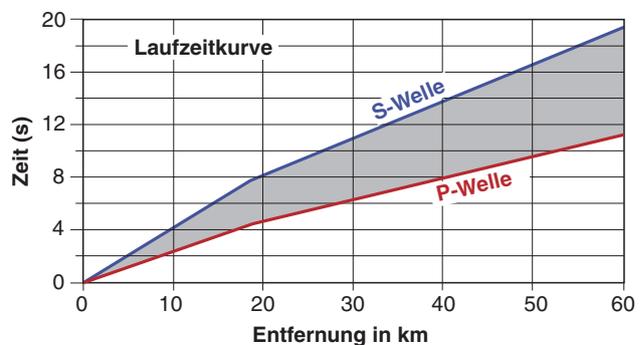


#### f) Ausbreitungsgeschwindigkeit

Der Erdmantel ist „optisch dünner“ als der Kern. Deshalb können die Wellen den Kern nur wieder verlassen, wenn sie steiler als mit  $\alpha \approx 40^\circ$  auf die Grenze treffen. Erkläre dies und berechne, um wie viel Prozent sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Mantel von der im Kern unterscheidet.

#### g) Entfernungsbestimmung

Aus den unterschiedlichen Zeiten, zu denen P- und S-Wellen in den seismografischen Stationen eintreffen, kann die Entfernung zum Epizentrum ermittelt werden. Bestimme diese Entfernung mithilfe der beiden Abbildungen. Im Seismogramm unten ist eine lokale bergbauinduziertes Ereignis in Hamm/Westfalen registriert (an der Station BUG der Ruhr-Uni-Bochum). Die Einsätze von P- und S-Welle sind markiert. Die obere Abbildung zeigt die zugehörigen Laufzeitkurven.



h) In einem Artikel zum Bau einer Erdbebenstation für die Schule liest man: „Wegen des inhomogenen Aufbaus der Erde breiten sich die Erdbebenwellen auf gekrümmten Bahnen aus. Es gibt deshalb keinen linearen Zusammenhang zwischen Entfernung und Laufzeit des Bebensignals.“<sup>1</sup> Erkläre dies.

#### i) Domquake-Projekt

Schreibe nach einer Internet-Recherche einen zusammenfassenden Text zum „Domquake-Projekt“ mit den Schwerpunkten Eigenfrequenz und Resonanz.

<sup>1</sup> W. SAHM: Eine Erdbebenstation für die Schule. – In: Praxis der Naturwissenschaften (Physik), 6/49: 20 – 24 (Aulis Verl. Deubner & Co. KG)

## 9 Kommentierte Links zum Thema „Erdbeben“

Stand: Mai 2007

### Interaktive Programme, Simulationen und Videos zum Thema „Erdbeben“:

[http://www.geoscience-online.de/index.php?cmd=redaktion/lernwelten/lw\\_downloads.htm&header=lw](http://www.geoscience-online.de/index.php?cmd=redaktion/lernwelten/lw_downloads.htm&header=lw)

geoscience online hat hier viele Simulationen zum Download eingestellt.

<http://www.sciencecourseware.com/VirtualEarthquake/VQuakeExecute.html>

Das interaktive Programm läuft auf einem Server der California State University of Los Angeles. Es ermöglicht die Arbeit mit Seismogrammen und Laufzeitdiagrammen zur Bestimmung des Epizentrums (Triangulation) und der Stärke des Bebens (Richter-Skala). Die Schüler können ein Zertifikat als virtueller Seismologe erwerben.

<http://www.sciencecourseware.com/eec/Earthquake/>

Die verbesserte Version des oben genannten Lehrgangs befindet sich noch im Aufbau. Es sind bereits sehr schöne animierte Kursabschnitte aufrufbar.

<http://www.seismo.ethz.ch/info/edu/homepage.html>

Hier findet man ein Kinder-Quiz vom Schweizerischen Erdbebedienst (SED) zum Thema Erdbeben.

<http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/17/0,1872,2008529,00.html>

ZDF.de bietet eine Grafik-Animation zur Entstehung von Erdbeben, ein Video zur Entstehung von Erdbeben und Informationen zum Thema Erdbeben und Plattentektonik.

<http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/index.html>

Ausführliche Informationen, Karten und Animationen zu Tsunamis und Erdbeben

## Unterrichtshilfen:

<http://www.geoscience-online.de/index.php?cmd=lernwelten>

geoscience online ist ein populärwissenschaftliches Magazin mit vielfältigen Themen rund um den Planeten Erde. geoscience online ist ein gemeinsames Projekt des Springer Verlags und der MMCD GmbH – interactive in science und wird von führenden Forschungsinstituten und wissenschaftlichen Gesellschaften unterstützt.

Auf der Seite „Lernwelten“ werden Unterrichtsentwürfe, Simulationen, Arbeitsblätter und Lernzielkontrollen angeboten.

<http://www.gfz-potsdam.de/news/Schulen/fohlen.html>

Diese Seite des GFZ (GeoForschungsZentrum Potsdam) offeriert einige Folien.

<http://www.educeth.ch/geographie/gruppen/erdbeben/>

Ein Team der ETH Zürich stellt ein Unterrichtskonzept (Gruppenarbeit) vor, ergänzt durch Arbeitsblätter und Folien.

[http://www.klett-verlag.de/klett-perthes/sixcms/detail.php?template\\_id=556&query\\_id=0](http://www.klett-verlag.de/klett-perthes/sixcms/detail.php?template_id=556&query_id=0)

Vom Klett-Verlag werden hier Materialien (Texte, Grafiken und Tabellen) zur Verfügung gestellt.

<http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~sschneid/Schulprojekt/>

SIMON SCHNEIDER (Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main) stellt im Rahmen eines Schulprojekts „Geophysik“ auf der zum Download bestimmten pdf-Datei ein Unterrichtsdrehbuch „Seismologie“ für die Sekundarstufe I vor:

[http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~sschneid/Schulprojekt/Workshop\\_Seismologie.pdf](http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~sschneid/Schulprojekt/Workshop_Seismologie.pdf)

<http://www.gfz-potsdam.de/news/Schulen/texte.html>

Diese Seite des GFZ (GeoForschungsZentrum Potsdam) bietet einige Texte für die Schule an.

<http://www.noezsv.at/wastun/erdbeben/fachwoerter.htm>

Virtuelle Sachunterrichts-Lernwerkstatt (Uni Oldenburg)

**Fachbegriffe:**

[http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web\\_ph11/umwelttechnik/11\\_erdbeben/index.htm](http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web_ph11/umwelttechnik/11_erdbeben/index.htm)

Fachbegriffe zum Thema Erdbeben werden auf dem Niveau der Jahrgangsstufe 11 erläutert.

[http://141.84.51.10/palaeo\\_de/sammlung\\_geologie/seiten/museum/geoforum/erdbeben/Bebenallg.html#Wellen](http://141.84.51.10/palaeo_de/sammlung_geologie/seiten/museum/geoforum/erdbeben/Bebenallg.html#Wellen)

Wesentliche Fragen zum Thema Erdbeben (z. B. Wellentypen, Ausbreitungsgeschwindigkeiten, Richter-Skala ...) werden im Stil eines Lexikons beantwortet.

<http://www.seismo.uni-koeln.de/edu/index.htm>

Kleine Erdbebenkunde der Station Bensberg mit lexikalisch geordneten Fachbegriffen

<http://www.noezsv.at/wastun/erdbeben/fachwoerter.htm>

Fachwörterverzeichnis des NÖZSV

<http://www.quarks.de/wellen/index.htm#NO-108>

Informationen zu Riesenwellen

**Spezielle Beben, Erdbebendaten:**

<http://www.gfz-potsdam.de/news/recent/archive/20041226/-Downloads/index.html>

Sumatra-Beben vom 26.12.2004

<http://www.gfz-potsdam.de/news/recent/index.html>

aktuelle Erdbeben weltweit

[http://www.gd.nrw.de//a\\_beben.htm](http://www.gd.nrw.de//a_beben.htm)

Erdbeben in NRW

<http://www.geophysik.ruhr-uni-bochum.de/index.php?id=6&sid=2>

Seismische Ereignisse im Ruhrgebiet

[http://141.84.51.10/palaeo\\_de/sammlung\\_geologie/struktur/frame\\_museum.html](http://141.84.51.10/palaeo_de/sammlung_geologie/struktur/frame_museum.html)

Unter GeoForum finden Sie auf der Seite der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Geologie interessante Daten.

<http://www.quarks.de/dom/08.htm>

Der WDR (Quarks & Co) präsentiert das Domquake-Projekt.

[http://www.bgr.bund.de/cIn\\_029/nn\\_454952/DE/Themen/Seismologie/Erdbeben/erdbeben\\_\\_node.html\\_\\_nnn=true](http://www.bgr.bund.de/cIn_029/nn_454952/DE/Themen/Seismologie/Erdbeben/erdbeben__node.html__nnn=true)

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bietet als zentrale Sammelstelle und Datenarchiv der von den verschiedensten seismologischen Einrichtungen in Deutschland übermittelten Erdbebendaten einen Überblick über die Erdbebenaktivität in Deutschland und auf der gesamten Erde (in der Vergangenheit sowie in der Gegenwart).

**Seismografen:**

[http://www.geophys.uni-stuttgart.de/seismometry/seismo\\_htm/seismographen.htm](http://www.geophys.uni-stuttgart.de/seismometry/seismo_htm/seismographen.htm)

Prof. ERHARD WIELANDT von der Universität Stuttgart beschreibt in einem ausführlichen Artikel, der auch als Word-Dokument zur Verfügung steht, Aufbau und Wirkungsweise von Seismografen.

[http://www.mgm.monschau.de/seismic/main\\_de.html](http://www.mgm.monschau.de/seismic/main_de.html)

Auf dieser Seite wird der Bau einer Schulseismografen-Station am St.-Michael-Gymnasium Monschau (Jugend forscht) beschrieben.

**Besichtigungen:**

- Besichtigung der Erdbebenstation Bensberg (Universität Köln): Erdbebenstation Bensberg, Vinzenz-Pallotti-Str. 26, D-51429 Bergisch Gladbach, Telefon: 02204 98 52-0  
Telefax: 02204 98 52-20 [seismo@uni-koeln.de](mailto:seismo@uni-koeln.de)

Eine Besichtigung der Erdbebenstation ist in Gruppen mit maximal 15 Personen möglich (mind. 10 Personen). Eine Terminanfrage sollte spätestens drei Monate vor dem gewünschten Besichtigungstermin beim Leiter der Station in schriftlicher Form erfolgen. Die Gruppenmitglieder sollten ein Mindestalter von 12 Jahren nicht unterschreiten.

- Besichtigung der Erdbebenstation des Geologischen Dienstes NRW:  
De-Greiff-Str. 195, D-47803 Krefeld, Telefon: 02151 897-340,  
Telefax: 02151 897-505, [geophysik@gd.nrw.de](mailto:geophysik@gd.nrw.de)
- Führungen durch die Erdbebenstation des Observatoriums der Geophysikalischen Institute (Hamburg-Harburg) nach Vereinbarung, [gajewski@dkrz.de](mailto:gajewski@dkrz.de)

## Vom Rohstoff zum Produkt

VON PAUL U. GALBAS, GEORG MALLITZ, INGO SCHÄFER

### Zusammenfassung:

Im Kapitel „Vom Rohstoff zum Produkt“ werden die Schüler/-innen ausgehend vom alltäglichen Endprodukt hin zum natürlich vorkommenden Rohstoff geführt. Um den Schülern/-innen ein Grundverständnis für diese Thematik zu geben, werden die Beschaffenheiten, die Entstehung und die Vorkommen von Rohstoffen beleuchtet. Durch die weitergehende Auseinandersetzung mit der Ortsgebundenheit der Rohstoffe, dem Flächenbedarf durch die Gewinnung und mit der wirtschaftlichen Notwendigkeit für die Gemeinschaft werden die Schüler/-innen für den Abwägungsprozess eines gleichermaßen ökologischen wie ökonomischen Umgangs mit heimischen Rohstoffen sensibilisiert. Die drei Kapitel „Gesteine und Rohstoffe in der täglichen Begegnung“ (Beschaffenheit), „Kreislauf der Gesteine“ (Entstehung) und „Vom Rohstoff zur Lagerstätte“ (Vorkommen und Gewinnung) können einzeln behandelt werden und enthalten thematische Anknüpfungspunkte an andere Themenbereiche wie Chemie und Mineralogie, Gesellschaftswissenschaft und Geografie.

### 1 Einleitung

Häuser, Straßen, Glas und Keramik sind ohne die Gewinnung mineralischer Rohstoffe wie Kies und Sand, Ton, Kalk- oder Tonstein undenkbar. Statistisch betrachtet verbraucht jeder Einwohner der Bundesrepublik jährlich ca. 3,6 t Sand und Kies. Nordrhein-Westfalen ist neben Bayern der bedeutendste Produzent mineralischer Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Aufgrund seiner geologischen Struktur verfügt NRW über eine wertvolle Vielfalt sowohl an Lockergesteins- als auch Festgesteinsrohstoffen.

Der Abbau und die Weiterverarbeitung dieser Rohstoffe sind für eine gesicherte Versorgung notwendig und unverzichtbar. Jedoch steht die Gewinnung oberflächennaher Rohstoffe nicht selten im Brennpunkt öffentlicher Diskussionen. Dies liegt unter anderem am Flächenbedarf, der durch die Gewinnung – in meist ländlichen Räumen – notwendig ist. Neben den Schutzinteressen der Natur und Landschaft ist dem Schutz des Grund- und Trinkwassers ein weiteres Augenmerk zu schenken.

### Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Gesteine und Rohstoffe in der täglichen Begegnung
- 3 Kreislauf der Gesteine (oder: Woher kommen die Steine?)
- 4 Vom Rohstoff zur Lagerstätte
- 4.1. Die Rohstoffkarte
- 4.2. Welche Lockergesteine sind wo in NRW zu finden?
- 4.2.1 Kiese und Sande
- 4.2.2 Ton und Schluff
- 4.3 Rohstoff und Naturschutz

### Anschrift der Autoren:

Paul U. GALBAS  
Max-Planck-Gymnasium Gelsenkirchen  
Goldbergstr. 91, 45894 Gelsenkirchen

Dipl.-Geol. GEORG MALLITZ  
Büro für Wissenschafts- & Museumskommunikation  
Dorstener Str. 10, 44787 Bochum

Dipl.-Geol. INGO SCHÄFER  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –  
De-Greiff-Str. 195, 47803 Krefeld

## 2 Gesteine und Rohstoffe in der täglichen Begegnung

(GEORG MALLITZ)

Gesteine sind langsame, komplexe und ambivalente Medien mit einer Vielzahl konkret stofflicher und abstrakt prozessualer Informationen, die sich den urbanen Wahrnehmungs- und Freizeitgewohnheiten vieler Jugendlicher offenbar entziehen. In schnelllebigen, urbanen Lebensräumen und zunehmend virtuellen Lebenswelten sind Medien, die ein hohes Maß an aktiver Aufmerksamkeit sowie räumliches und zeitliches Vorstellungsvermögen erfordern, mutmaßlich chancenlos. Gleichzeitig üben die geheimnisvoll scheinenden stofflichen Eigenschaften von Gesteinen und ihre oft eigenwilligen Formen aber seit Kindertagen eine nachhaltige Faszination auf den Menschen aus.

Das Interesse an Gesteinen ist unter Jugendlichen nach einer Studie des Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften in Kiel (BAYERHUBER et al. 2001) dementsprechend ambivalent: Gesteine rangieren genau zwischen Themen von hohem Interesse und eher weniger interessanten Themen. Sie sind also potenziell interessant für Jugendliche!

Zur Entfaltung dieses Potenzials wird anstelle einer klassischen Geländeexkursion von Aufschluss zu Aufschluss mit Aufsammlung von Probenmaterial eine urbane Geoexkursion in eine Baustoffhandlung vorgeschlagen.

Der Lebenswelt der Jugendlichen ist das warenförmig dekontextualisierte Gestein als produzierter Rohstoff im Baustoffhandel (Abb. 1) mutmaßlich näher als eine Gesteinsprobe aus einem Aufschluss. Der selbstverständliche Umgang mit Fragmenten, die ihrem Naturzusammenhang entrissen sind, erscheint geradezu kennzeichnend für die postmoderne Urbanität der Jugendlichen.

Dekontextualisierung und Warenförmigkeit des Gesteins in einer Baustoffhandlung bieten verschiedene didaktische Handlungsmöglichkeiten. Die Fähigkeit wissenschaftlich zu arbeiten, erscheint als Rekontextualisierungskompetenz.

### Mögliche Arbeitsaufträge:

#### ■ Sammeln

Organisieren Sie eine Exkursion in die nächstgelegene Baustoffhandlung (nicht Baumarkt!). Vereinbaren Sie am besten ein kurzes persönliches Gespräch mit dem Leiter der Baustoffhandlung und nutzen Sie den Ortstermin zur Vorexkursion. Dokumentieren Sie Ihre Vorexkursion fotografisch zur Vorbereitung Ihrer Schüler auf die Exkursion. Denken Sie daran, aus didaktischen Gründen auch wenig aussagekräftige Fotos zu machen, zur Erläuterung dessen, was eine Fotodokumentation leisten soll. Didaktische Hauptmotive der Exkursion sind 1. die Konstruktion des Nutzungszusammenhangs (Arbeitsgruppe 1), das heißt Sammeln von Informationen zu den Materialeigenschaften verschiedener Gesteine, sowie 2. die Rekonstruktion ihres Entstehungszusammenhangs (Arbeitsgruppe 2), das heißt Sammeln von Informationen zu ihrer Herkunft und Entstehung.



Abb. 1: Gestein als Rohstoff im Baustoffhandel



### Konstruktion des Nutzungszusammenhangs

- a) Befragung von Kunden
- b) Sammeln von Warenproben und Beratungsgespräch mit Mitarbeitern der Baustoffhandlung

### Rekonstruktion des Entstehungszusammenhangs

- 1) Mediale Rekontextualisierung
  - a) Fotografische Dekonstruktion des Warenkontextes:  
Die mediale Dekonstruktion von Gesteinen führt notwendigerweise auch zur aktiven Auseinandersetzung mit den Elementarzeichen ihrer systemischen Komplexität als Medien geologischer Prozesse (Abb. 2).
  - b) Fotografische Sicherung von Spuren des Entstehungszusammenhangs
- 2) Experimentelle Rekontextualisierung
  - a) Sammlung von Gesteinsproben: Jeder Schüler der Arbeitsgruppe sollte zur späteren experimentellen Arbeit über ein größeres Handstück verfügen und alle Handstücke zusammen sollten möglichst ein vollständiges Bild ergeben. Lockergesteinsproben (insbesondere Sand) nicht vergessen!

### Ordnen

#### Sichten und Bewerten

Sichten und Bewerten des fotografischen Materials hinsichtlich der Unterscheidung der Begriffe „Entstehungs-“ und „Nutzungszusammenhang“, „Gestein“ und „Rohstoff-Produkt“ sowie Qualitätskriterien für dokumentarisches Fotomaterial.

#### Vergleichen

Vergleichen der Warenproben mit den Gesteinsproben. Im Idealfall verfügen Sie über geschliffene und polierte Warenproben sowie unbearbeitete Gesteinsproben aller drei Gesteinsklassen: Magmatite (z. B. Granit), Sedimentite (z. B. Sandstein) und Metamorphite (z. B. Gneis).

### Klassifizieren

#### Optische Klassifizierung

Entwicklung vorläufiger Ordnungskriterien zur Klassifizierung der Proben entsprechend den Vergleichskriterien und anhand des Fotomaterials. Anschließend werden anhand der Warenproben makroskopische Bestimmungsübungen mit Lupen durchgeführt.

#### Analytische Klassifizierung

Die Gesteinsproben werden in Kooperation mit Lehrkräften aus der Chemie mithilfe eines Bunsenbrenners, einer Feuerzange, einer Schüssel mit Eiswasser, eines Tuchs und eines Hammers in ihre mineralischen Bestandteile zerlegt (mehrfaches Erhitzen und Abkühlen, danach die Probe im Tuch mithilfe des Hammers zerschlagen) und hinsichtlich ihres Mineralbestandes weiter untersucht. Sofern Binokulare vorhanden sind, wird der Mineralbestand zunächst mikroskopiert und dann beschrieben. Anschließend erfolgt eine quantitative Auswertung des Mineralbestandes der verschiedenen Proben bis hin zu ihrer wissenschaftlichen Ansprache über sogenannte Streckeisendiagramme (Abb. 3).

Das dekontextualisierte Gesteinsobjekt als Rohstoffprodukt im Baustoffhandel hat sich über die experimentelle Arbeit in einen Datenpunkt verwandelt, der uns über den Entstehungszusammenhang des Gesteins informiert. Das Ausgangsobjekt ist dabei nicht rekontextualisiert, sondern einfach in einen neuen Kontext überführt worden.

Experimentelles wissenschaftliches Arbeiten bedeutet systematische, mehrfache Neukontextualisierung eines Objektes. Wissenschaftliche Informationen ergeben sich dabei aus dem Kontrastverhalten der Objekte.

Gesteine sind kontrastreiche Medien!



Abb. 2a – c: Spuren des Entstehungszusammenhangs

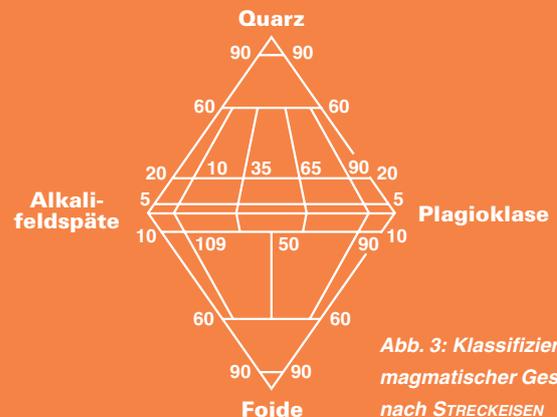


Abb. 3: Klassifizierung magmatischer Gesteine nach STRECKEISEN

### 3 Kreislauf der Gesteine (oder: Woher kommen die Steine?)

(PAUL U. GALBAS)

Millionen Menschen tummeln sich in jedem Jahr an den Sandstränden der Meere, bauen Sandburgen, liegen in den Sanddünen und treten in den Wattboden. Kirchen aus Sandstein ragen himmelwärts empor und Marmorsäulen, Granitfliesen und Schieferplatten sind Gesteinsbegleiter menschlicher Baukunst, aber durchaus auch Ausdruck seines ästhetischen Empfindens in der Gestaltung seiner Umwelt.

Kinder spielen mit „Kieselsteinen“, Heimatvereine führen zu „Großsteingräbern“ im Norddeutschen Tiefland, Kiefern wachsen auf Sandböden und Auenlehme „füllen“ die Täler.

Kristalline und amorphe Gesteine unterschiedlichster Färbung zeigen sich auf der Erdoberfläche, in höheren Lagen der Gebirge liegen Sand- und Tonsteine, erblicken Wanderer Kalksteine mit Fossilien, Granite, Gneise und (Kissen-)Lavabrocken.

- Woher kommen die Steine/Gesteine?
- Welchen Weg nehmen sie?
- Gibt es einen Anfang und ein Ende?
- Was geschieht mit den Materialien unterwegs?

Die Forschungen der letzten Jahrzehnte haben zu einer geowissenschaftlich allgemein akzeptierten Antwort geführt.

Alle Gesteine unterliegen einem globalen Kreislauf, hervorgerufen durch endogene und exogene Prozesse auf der Erde, die die unterschiedlichsten Strukturen in physikalischer, chemischer und auch in biologischer Hinsicht gebildet haben.

Auf der Erde entstehen Großformen, wie die Kontinente, Gebirgszüge, Ozeane, Grabenbrüche, Vulkane und so weiter, durch Bewegungen vor allem im oberen Erdmantel und in der Erdkruste. Die Plattentektonik führt dabei zur Entstehung der verschiedensten Landschaften mit unterschiedlichen Gesteinen. Drei große Gesteinsgruppen prägen die Räume und dokumentieren geologische Prozesse. Magmatite (Erstarrungsgesteine), Sedimentite (Sediment- oder Absatzgesteine) und Metamorphite (Umwandlungsgesteine) sind die Bausteine der Erde und geben uns Kunde von geologischen Prozessen, von ihrer Entstehung und damit über Prozesse, die im Erdinneren und an der Erdoberfläche ablaufen. Zwei Vorgänge wirken also auf der Erde. Im Erdinneren finden wir die endogenen und auf der Erdoberfläche die exogenen Kräfte. Das Wechselspiel von endogener und exogener Dynamik ergibt am Ende das Bild der Erdoberfläche (Geomorphologie).

Am Beginn des Kreislaufs der Gesteine stehen die kontinentalen magmatischen Gesteine, die die Gebirge, Hochflächen, Vulkane und so weiter bilden.

Diese unterliegen den Kräften der (physikalischen, chemischen und biologischen) Verwitterung und der Abtragung (Erosion) durch Wasser, Eis und Wind. Der Transport des abgetragenen Gesteinsmaterials, das zerkleinert oder aufgelöst wird, endet in einer Hohlform (Meer, Tal, See, Hang). Die Gesteinsbruchstücke lagern sich als Gerölle, Kiese, Sande, Schluffe und Tone ab, je nach physikalischen Gegebenheiten des Raumes. Als unverfestigte Lockersedimente werden sie im Laufe der Zeit durch weitere Akkumulation von Gesteinsmaterial diagenetisch verdichtet und somit verfestigt. Sedimentgesteine entstehen (Sedimentite). Gelangen diese in größere Tiefen und werden höheren Temperaturen und Drucken ausgesetzt, kommt es zu einer Gesteinsumwandlung (Metamorphose) und damit zur Bildung der Metamorphite oder Umwandlungsgesteine mit neuem Gesteinsgefüge und neuen Mineralvergesellschaftungen. In noch größeren Tiefen kommt es wiederum zur Aufschmelzung (Anatexis) der Metamorphite. Durch Abkühlung der glutfüssigen Gesteinsschmelzen beim Aufstieg aus dem Erdinneren zur Erdoberfläche entstehen Magmatite. Hierbei ist es möglich, dass diese entweder noch im Inneren der Erde als Plutonite oder Tiefengesteine erstarren (z. B. Granit) oder als Vulkanite (z. B. Basalt) an die Erdoberfläche gelangen. Der in Abb. 4a wiedergegebene Kreislauf der Gesteine schließt mit der Entstehung der kontinentalen magmatischen Gesteine. Darauf folgt ein neuer Gesteinskreislauf mit möglichen Variationen.

Aber nicht nur im Umfeld der kontinentalen, sondern auch in der ozeanischen Lithosphäre spielt sich ein Kreislauf der Gesteine ab. Ozeanbodenausbreitung (sea-floor-spreading) als Aufstiegszone des Magmas und die aktiven Räume der Plattentektonik mit Subduktion und Aufschmelzung kontinentalen und ozeanischen Gesteinsmaterials führen letztlich zu Magmen, die aus der Asthenosphäre wieder aufsteigen und zu ozeanischen oder kontinentalen magmatischen Gesteinen erstarren.

Somit liefert uns der Kreislauf der Gesteine ein anschauliches Informationsbild über die endogene und exogene Geschichte der Erde.

Werden und Vergehen der unterschiedlichsten Landschaften auf der Erde in geologischen Zeiträumen zeugen vom Werden und Vergehen der Gesteine unter geodynamischen Prozessen und exogenen Wirkungen vor allem durch Verwitterung, Abtragung und Transport (Abb. 4b).

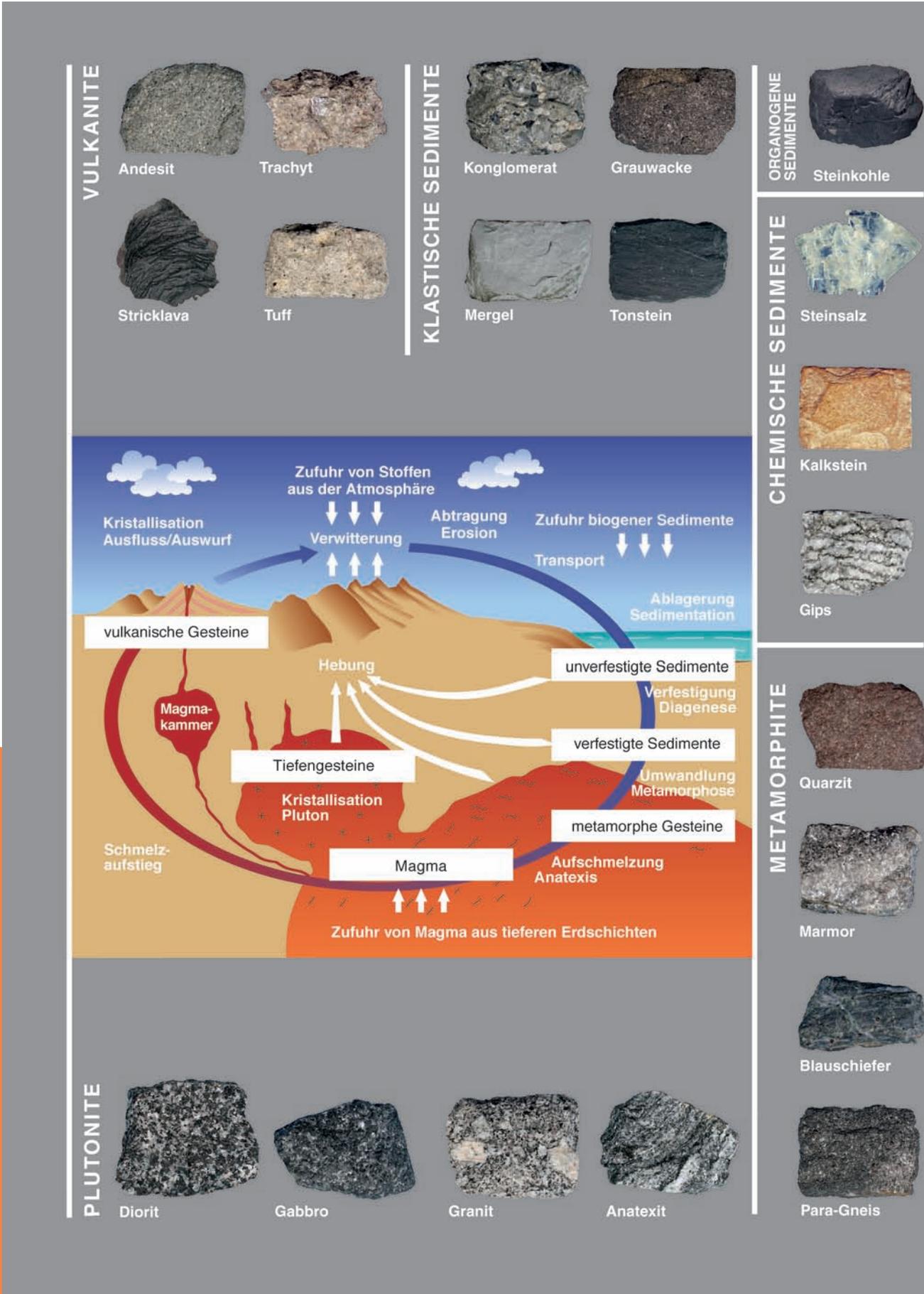


Abb. 4a: Der Gesteinskreislauf  
 (Foto: Dr. SCHERTL, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität Bochum)

## SEDIMENTE

## KLASTISCHE SEDIMENTE



Grauwacke



Arkose



Konglomerat



Sandstein



Mergel

## CHEMISCHE SEDIMENTE



Gips



Anhydrit



Kalkstein



Kalkoolith



Dolomit



Süßwasserkalk



Kieselschiefer



Roteisenerz

## ORGANOGENE SEDIMENTE



Steinkohle

Torf  
Braunkohle  
Erdöl  
Erdgas

## METAMORPHITE

MONOMINERALISCHE  
METAMORPHITE

Marmor



Quarzit

REGIONALMETAMORPHE  
GESTEINE

Tonschiefer



Grünschiefer



Glimmerschiefer



Para-Gneis



Ortho-Gneis



Granulit

HOCHDRUCKMETAMORPHE  
GESTEINE

Blauschiefer



Eklogit

## MAGMATITE

PLUTONISCHE MAGMATITE  
(PLUTONITE)

Anatexit



Granit



Granodiorit



Diorit



Gabbro

VULKANISCHE MAGMATITE  
(VULKANITE)

Rhyolith



Dazit



Trachyt



Andesit



Tuff



Stricklava



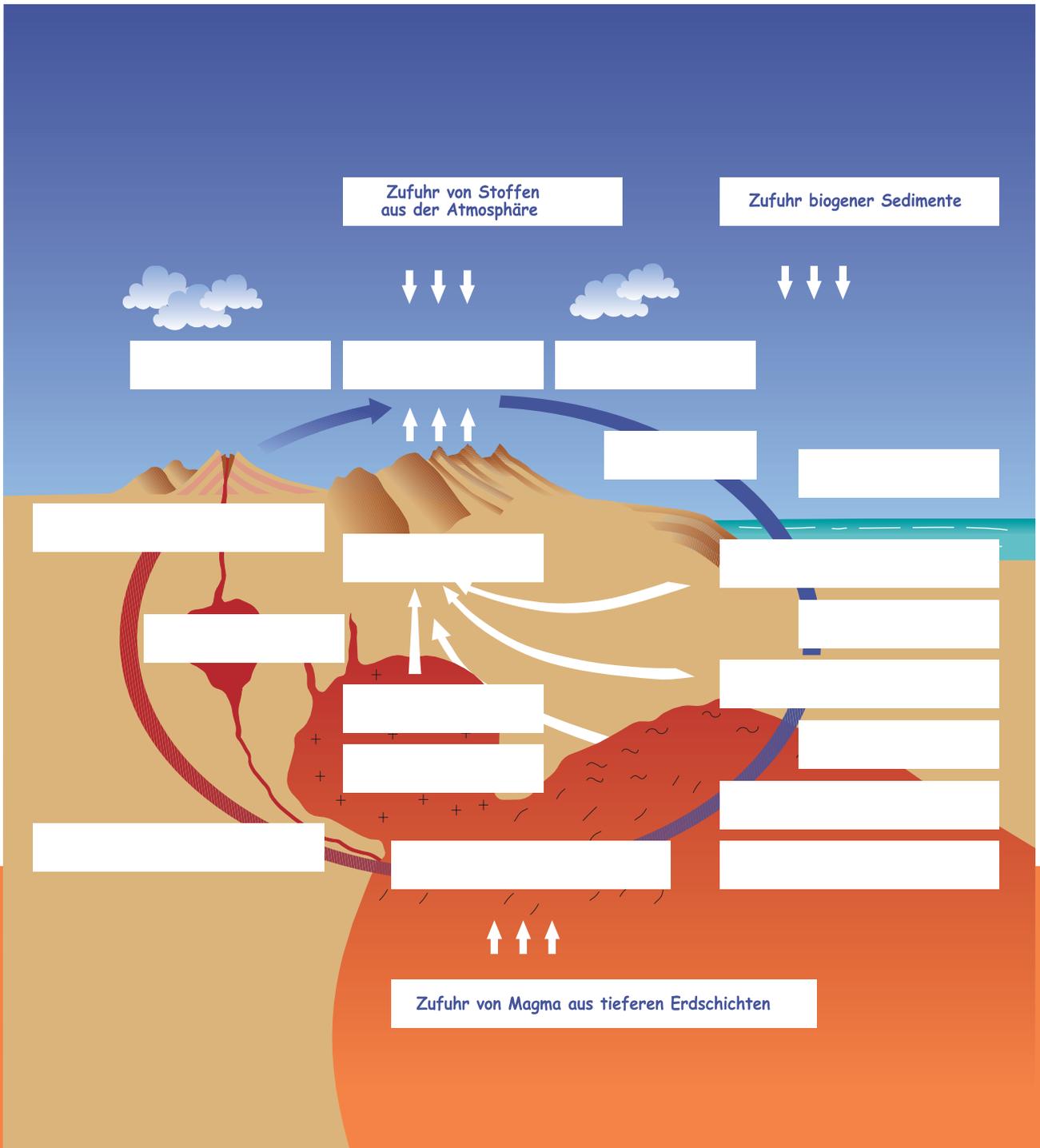
Olivinbasalt



Pillowlava

Abb. 4b: Beispiele der verschiedenen Gesteinsarten

(Foto: Dr. SCHERTL, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität Bochum)



### Mögliche Arbeitsaufträge:

■ **Kreislauf der Gesteine erkennen und vervollständigen**  
Ergänzen der Fachbegriffe zum Kreislauf der Gesteine an einer Skizze ohne Fachbegriffe; Raum-Strukturen (z. B. „Gebirge“) – Prozesse (z. B. „Diagenese“) – Gesteinsnamen (Arbeitsbogen 1)

■ **Schematische Abfolge des Gesteinskreislaufs modellartig skizzieren**

Vollformen (kontinentale magmatische Gesteine, aber auch Metamorphite und Sedimentite (z. B. Sandstein)) – Verwitterung – Abtragung (Erosion) – Transport – Ablagerung (Sedimentation in einer Hohlform, z. B. als Sand) – Diagenese (z. B. zum Sandstein) – Metamorphose (z. B. zum Quarzit) – Anatexis – Aufstieg/Abkühlung: Magmatite – Plutonite (z. B. Granit mit „Quarz, Feldspat, Glimmer“) und Vulkanite als kontinentale Magmatite – Entstehung von Vollformen aus dem Kreislauf der Gesteine – neuer Gesteinskreislauf

■ **Thematische Betrachtung**

Allgemeine/globale Bedeutung des Kreislaufs der Gesteine unter geowissenschaftlichen und humanwissenschaftlichen (Geschichte, Wirtschaft etc.) Aspekten – inklusive Literaturarbeit

■ **Bestimmung ausgewählter Gesteine**

Bestimmung ausgewählter Gesteine des endogenen und exogenen Kreislaufes unter mineralogischen und petrologischen Gesichtspunkten

Folgende Arbeits-/Bestimmungsbücher führen zum Erfolg:  
Als allgemeine fachwissenschaftliche Einführung dient sehr gut: ROTHE, P. (2002): Gesteine. Entstehung – Zerstörung – Umbildung. – 192 S.; Darmstadt (Wissensch. Buchges.).

Als Bestimmungsbücher seien besonders genannt:  
STEINBACHS Naturführer Mineralien und Gesteine.  
MEDENBACH, O.; SUSSIECK-FORNEFELD, C. (1982): Mineralien. – 287 S.; München (Mosaik Verlag).  
MARESCH, W.; MEDENBACH, O.; TROCHIM, H. D. (1987): Gesteine. – 287 S.; München (Mosaik Verlag).

### 4 Vom Rohstoff zur Lagerstätte

(INGO SCHÄFER)

Während der geologische Bau unveränderbar das Rohstoffangebot bestimmt, kommt einer möglichen Wirtschaftlichkeit des Rohstoffes hinsichtlich seiner Verwendung eine weitere wichtige Bedeutung zu. Dies gilt insbesondere im Rahmen einer nachhaltigen Rohstoffsicherung. Für eine Einteilung von Rohstoffen in wirtschaftlich nicht nutzbare und wirtschaftlich nutzbare Vorkommen, das heißt in Lagerstätten, ist es notwendig eine Reihe von Beurteilungsparametern zugrunde zu legen. Entscheidende Parameter sind hierbei die Ausdehnung, der Inhalt und die Qualität eines Rohstoffvorkommens. Des Weiteren bestimmt die infrastrukturelle Lage im Raum, ob ein Rohstoff über einen längeren Zeitraum wirtschaftlich gewonnen werden kann. Letztendlich wird die Bewertung von Lagerstätten auch

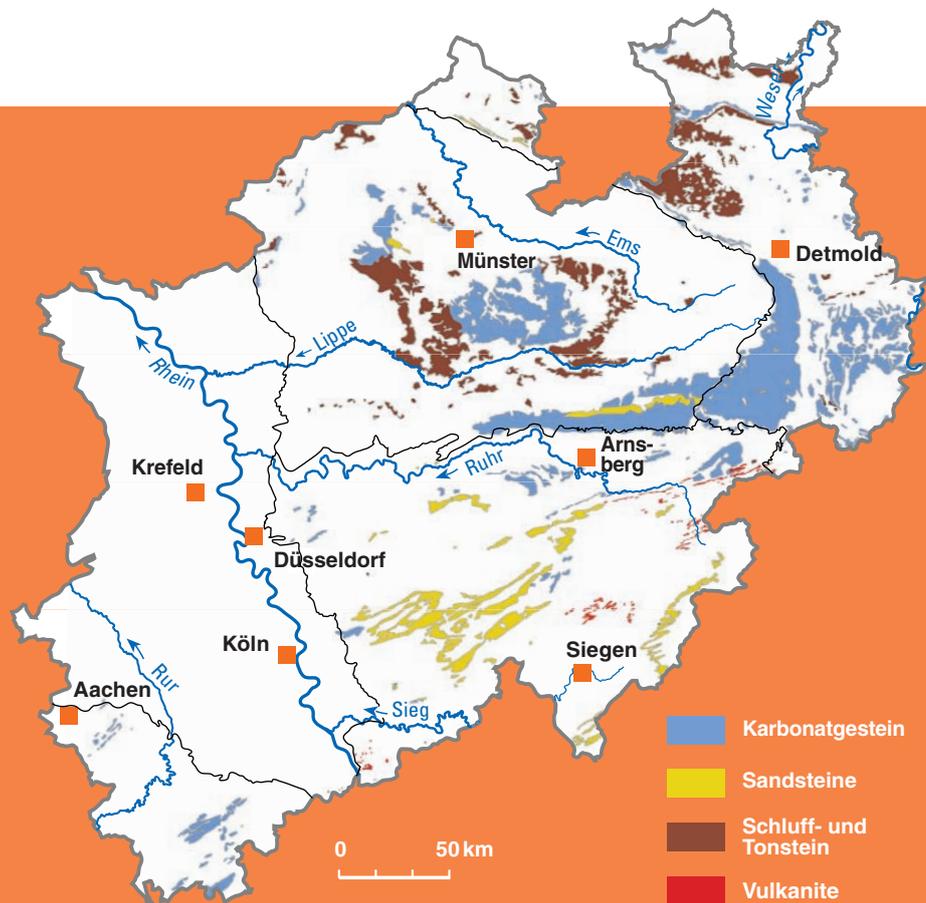


Abb. 5: Festgesteinsrohstoffe in NRW

von dem gegenwärtigen Stand der Technik bestimmt. So können Vorkommen, die heute als unwirtschaftlich gelten, in Zukunft durch technische Entwicklungen sowohl in der Abbau- als auch Aufbereitungstechnik nutzbar gemacht werden. Dies zeigt sich zum Beispiel im Bereich des computergestützten Abbaus. Durch die verbesserte Kenntnis der Lagerstätte und ein Abbaumonitoring kann eine Lagerstätte gründlicher ausgeschöpft werden als beim herkömmlichen Abbau.

Prozesse, die einem stetigen Wandel unterliegen, wie zum Beispiel die mittel- bis langfristige Bedarfs- beziehungsweise Marktentwicklung, wechselhafte Anforderungen in Bezug auf die Gesteinsqualität sowie die künftige Erschöpfung heute in Abbau stehender Vorkommen erschweren langfristige lagerstättenkundliche Prognosen. Um einen realistischen Umgang mit dieser Thematik zu ermöglichen, ist daher eine genaue Kenntnis der Rohstoffpotenziale, zum Beispiel der Nordrhein-Westfalens, unumgänglich.

#### 4.1 Die Rohstoffkarte

Die Gruppe der nicht energetischen oberflächennahen Rohstoffe umfasst Gesteine, deren Eigenschaften eine unmittelbare Verwendung oder Weiterverarbeitung bei einer Gewinnung im Tagebau zulassen. Ausgenommen sind dabei Rohstoffe, die zur Energieerzeugung dienen.

Zur Gruppe der oberflächennahen Lockergesteinsrohstoffe oder der sogenannten Erden-Rohstoffen zählen Kies, Sand, Schluff und Ton. Sie werden im Folgenden als Beispiel besonders betrachtet.

Lockergesteinsrohstoffe werden im Tagebau gewonnen und können in der Regel ohne aufwendige Aufbereitung einer unmittelbaren Verwendung beziehungsweise einer industriellen Weiterverarbeitung zugeführt werden. Die Verbreitung der verschiedenen Rohstoffe ist jedoch regional sehr ungleichmäßig. So birgt das Niederrheingebiet die bedeutendsten Vorräte an Lockergesteinsrohstoffen in Nordrhein-Westfalen (NRW). Des Weiteren sind Lockergesteinsrohstoffe im Münsterland und im Weserbergland großflächig verbreitet. Lediglich das Rheinische Schiefergebirge ist arm an dieser Rohstoffgruppe, hier werden hingegen die größten Mengen an Festgesteinsrohstoffen gewonnen.

Für eine gleichermaßen ökologische wie ökonomische Gewinnung der Rohstoffe ist eine fundierte Kenntnis der wirtschaftlich nutzbaren oberflächennahen Rohstoffvorkommen unentbehrlich. Durch die Interpretation geologischer Basisdaten lassen sich die Bedeutung und Schutzwürdigkeit der Rohstoffe angemessen beurteilen und für eine langfristige und konfliktarme Rohstoffsicherung in die Landesplanung integrieren.

Die Aufgabe des Geologischen Dienstes NRW ist es hierbei, die Vorkommen nicht energetischer oberflächennaher Rohstoffe Nordrhein-Westfalens zu untersuchen. Ziel ist es, die vorhandenen und auf absehbare Zeit wirtschaftlich relevanten Potenziale oberflächennaher Rohstoffe auf der Rohstoffkarte darzustellen. Sie gibt einen Überblick über die Verbreitung und Mächtigkeit sowie über die Qualität der verschiedenen Rohstoffe.

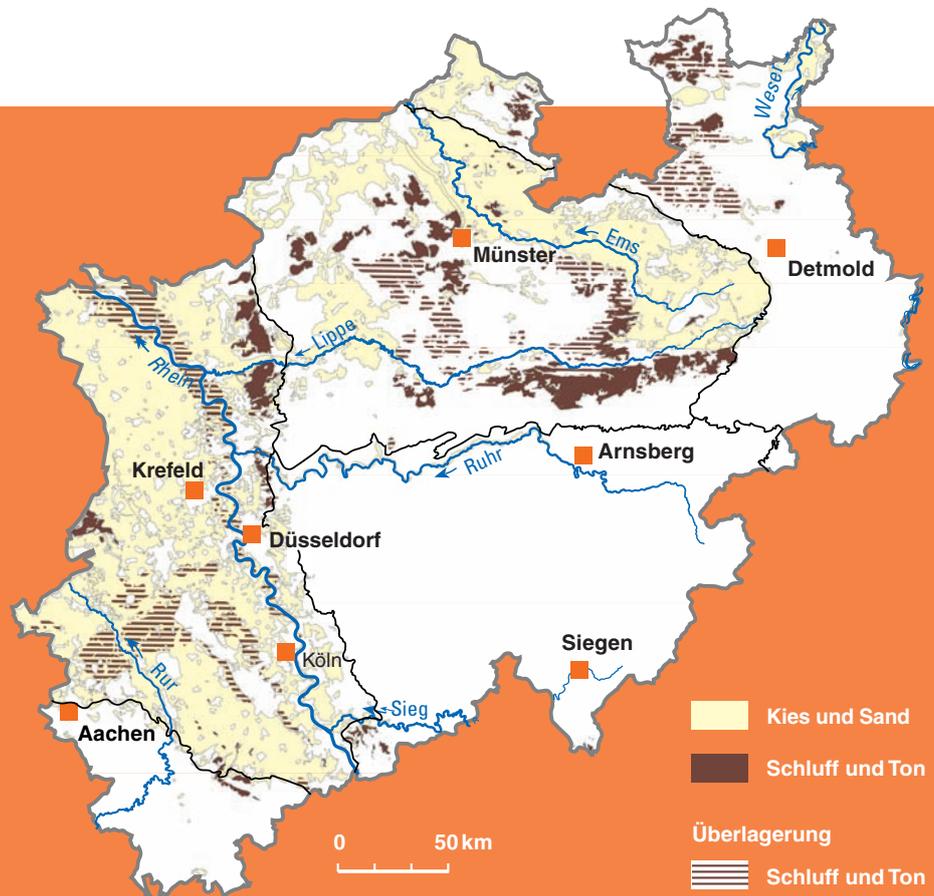


Abb. 6: Lockergesteinsrohstoffe in NRW

## 4.2 Welche Lockergesteine sind wo in NRW zu finden?

### 4.2.1 Kiese und Sande

Von den wirtschaftlich nutzbaren Lockergesteinen steht die Gewinnung von Kiesen und Sanden für Bauzwecke nach Bedarf und Menge deutlich an der Spitze.

Der größte Verbreitungsraum dieser Rohstoffgruppe ist das Niederrheingebiet mit seiner Niederrheinischen Bucht und dem Niederrheinischen Tiefland. Über 70 % der im Land Nordrhein-Westfalen für die Bauindustrie abgebauten Kiese und Sande stammen aus diesem Raum. Im Quartär, dem jüngsten Zeitabschnitt der Erdgeschichte, sind die oft weitflächigen, durch Absenkung der Niederrheinischen Bucht besonders mächtigen Flussablagerungen des Rheins und der Maas aufgeschottert worden.

Abweichend von den weitflächigen Kies- und Sandarealen des Niederrheingebiets sind die Kiessandvorkommen des Weser- und Osnabrücker Berglandes auf die engeren Flussgebiete der Weser und ihrer Nebenflüsse sowie auf kaltzeitliche Schmelzwasserablagerungen beschränkt. Die nur wenigen kleinen bauwürdigen Vorkommen sind trotz ihrer vergleichsweise geringen Mächtigkeit von großer regionalwirtschaftlicher Bedeutung.

Im Münsterland sind die tertiär- und quartärzeitlichen Lockergesteine in vergleichsweise geringer Menge abgelagert worden. Nennenswert ist hier jedoch der etwa 1 km breite und 70 km lange Münsterländer Kiessandzug zwischen Rheine und Münster.

Neben den überwiegend für die Bauindustrie relevanten Kiesen und Sanden der Flussterrassen bedient sich die Glas-, Keramik- und Eisen verarbeitende Industrie einer Reihe tertiärer Spezialsand- und Kiesvorkommen. Zu den Spezialsanden zählen Form-, Kern-, Quarz- und Klebsande, die mit Ausnahme der Sande der „Halterner Sande“ zwischen Coesfeld und Dorsten ausnahmslos im Bereich des Niederrheingebietes verbreitet sind.

### 4.2.2 Ton und Schluff

Im Vergleich zur Kies- und Sandgewinnung nimmt der im Allgemeinen trockenere Abbau von Ton und Schluff bedeutend weniger Fläche in Anspruch. Das relativ geringere Transportvolumen dieser Rohstoffgruppe und ihrer Erzeugnisse erlaubt die wirtschaftliche Gewinnung und Verarbeitung auch in Gebieten, die eine größere Distanz zum Absatzraum aufweisen.

Tone liefern den Rohstoff für grob- und feinkeramische Erzeugnisse, zum Beispiel Steingutwaren, Schamotte, Klinker, Wand- und Bodenfliesen sowie technische Porzellane. Sie werden zudem in großem Umfang zur Herstellung von Ziegelsteinen, Dachpfannen, Gittersteinen, Leichtbausteinen oder Bauteilteilen sowie als Deponieabdichtungen verwendet.

In Nordrhein-Westfalen kommen mesozoische Tone im Norden des Weser- und Osnabrücker Berglandes sowie im Münsterland, tertiär- und altpleistozänzeitliche Tone im Niederrheingebiet, im Rheinischen Schiefergebirge sowie im südlichen Münsterland vor. Einzelne Rohstoffqualitäten, vor allem die der Tone der Unterkreide, haben in der Ziegelindustrie und für die Herstellung baukeramischer Erzeugnisse überregionale, zum Teil internationale Bedeutung.

## 4.3 Rohstoff und Naturschutz

Der Abbau und die Weiterverarbeitung dieser Rohstoffe sind für eine gesicherte Versorgung notwendig und unverzichtbar. Jedoch steht die Gewinnung oberflächennaher Rohstoffe nicht selten im Brennpunkt öffentlicher Diskussionen. Dies liegt unter anderem am Flächenbedarf, der durch die Gewinnung – in meist ländlichen Räumen – notwendig ist. Neben den Schutzinteressen der Natur und Landschaft ist der Schutz des Grund- und Trinkwassers wichtig.

Neben Karten, die Auskunft über die Rohstoffverbreitung geben, werden vom Geologischen Dienst NRW mögliche Konfliktbereiche bezüglich konkurrierender Nutzungen aufgezeigt. Dies ist ein neutraler Grundstein für ein kompetentes und effektives Abgrabungsmonitoring im Interesse von Öffentlichkeit, Politik, Verwaltung und Wirtschaft.

### Mögliche Arbeitsaufträge:

#### ■ Erarbeiten der Bedeutung von Rohstoffen

Die Schüler/-innen tragen für sich oder in Gruppen Produkte des alltäglichen Lebens zusammen, für die Rohstoffe notwendig sind. Was macht ein Rohstoffvorkommen wirtschaftlich interessant?

#### ■ Arbeiten mit einer Rohstoffkarte

Anhand einer topografischen Karte, einer Rohstoffkarte und einer Karte mit Wasserschutzgebieten sollen die Schüler/-innen ihre Fähigkeiten im Umgang mit Kartenwerken verfeinern und das aus ihrer Sicht am besten geeignete Rohstoffvorkommen auswählen und begründen. Hierbei sollten Parameter wie Rohstoffmächtigkeit, Abraummächtigkeit, Naturraum und Nähe zu Siedlungen berücksichtigt werden.

#### ■ Diskussion Rohstoff contra Natur

Die Schüler/-innen sollen Argumente für und gegen eine Sicherung und Gewinnung von Rohstoffen finden und austauschen (z. B. im Rollenspiel). Da es zu keinem eindeutigen Votum kommen wird, sollen die Schüler/-innen einen Kompromiss erarbeiten (kontrollierter Abbau (Monitoring), das heißt Abbau nach Bedarf, Rekultivierung abgebauter Bereiche, nur wirtschaftlich interessante Lagerstätten abbauen, dadurch Flächenminimierung, Naturschutzgebiete begründen und besonders schützen, etc.).

#### ■ Exkursion in einen Tagebau sowie der Besuch einer rekultivierten Fläche

Nähere Informationen hierzu bietet der Geologische Dienst NRW.

Festgestein		System	Zeitalter (Serie)	Alter in Mio. Jahren	Lockergestein		
nutzbarer Rohstoff	Verwendung (Beispiele)				nutzbarer Rohstoff	Verwendung (Beispiele)	
		Quartär	Holozän	2,6	Kies, Sand, Schluff, Lehm	Bausand, Betonzuschlag, Kalksandstein, Ziegel, Grobkeramik	
			Pleistozän		Kies, Sand, Schluff, Lehm, Ton, Mergel	Betonkies, Bausand, Frostschutzmaterial, Füllsand, Kalksandstein, Ziegel, Grobkeramik	
Basalt, Trachyt, Tuff	Glas- und Keramikindustrie-, (Straßen-) Baustoff, Zementindustrie	Tertiär	Pliozän	65	Quarzkies, Quarzsand, Ton	Ziegel, Grobkeramik, Betonzuschlag, Filterkies	
			Miozän		Weißer Quarzkies, Quarzsand(Glassand), Glimmerton	Ziegel, Grobkeramik, Glassand, Keramiksand, Gießereisand	
			Oligozän		Quarzsand (Glassand), Sand (Formsand), Mergelsand, Ton	Bausand, Kalksandstein, Reinigungsmittel, Kunststoff- und Farbenindustrie	
			Eozän und Paleozän		Ton	Ziegelindustrie, Keramik	
Kalkstein, Mergelkalkstein, Kalksandstein, Grünsandstein	Baukalk, Zementherstellung, Werksteine, Baustoffe, Restauration	Kreide	Oberkreide	142	Sand, Quarzsand (Glassand), Mergelsand	Ziegel, Grobkeramik, Glassand, Keramiksand, Gießereisand, Bausand, Kalksandstein, Reinigungsmittel, Kunststoff- und Farbenindustrie	
			Unterkreide		Ton	Ziegelindustrie, Keramik	
Tonmergel, Tonstein	Ziegel (Klinker), Grobkeramik, Wand- und Bodenfliesen, Wasserbausteine	Jura	Malm	200			
Kalksandstein, Tonstein	Straßenbaustoff, Ziegelindustrie		Dogger		Ton	Ziegelindustrie, Keramik	
Tonstein	Ziegelindustrie		Lias		Ton	Ziegelindustrie, Keramik	
Tonstein	Ziegelindustrie	Trias	Keuper	251	Ton	Ziegelindustrie, Keramik	
Kalkstein	Straßenbaustoff		Muschelkalk				
Sandstein	Natursteinindustrie		Buntsandstein				
Kalkstein	Betonzuschlag, Straßenbaustoff, Düngekalk	Perm	Zechstein	296			
			Rotliegend				
Sandstein	Werkstein, Straßenbaustoff, Feuerfestprodukte	Karbon	Oberkarbon	358	Tonstein (entfestigt)	Ziegel (Klinker)	
Kalkstein, Dolomitstein	Straßenbaustoff, Glasrohstoff, Branntkalk		Unterkarbon				
Kalkstein, Sandstein	Straßenbaustoff, Werkstein, Zement-, Stahlindustrie, Feuerfestprodukte, Glas	Devon	Oberdevon	417	Tonstein (entfestigt)	Ziegel (Klinker)	
Kalkstein, Dolomitstein, Tonstein, Tonmergelstein, Grauwacken -Sandstein, Diabas			Mitteldevon		Tonstein (entfestigt)	Ziegel (Klinker), Bodenplatten	
Grauwacken -Sandstein, Quarzkeratorphyr			Unterdevon		Tonstein (entfestigt)		
		Kambrium bis Silur		443			
					495	Tonstein (entfestigt)	Ziegel
						545	

Tab. 1: Alter und Verwendungszweck von Rohstoffen

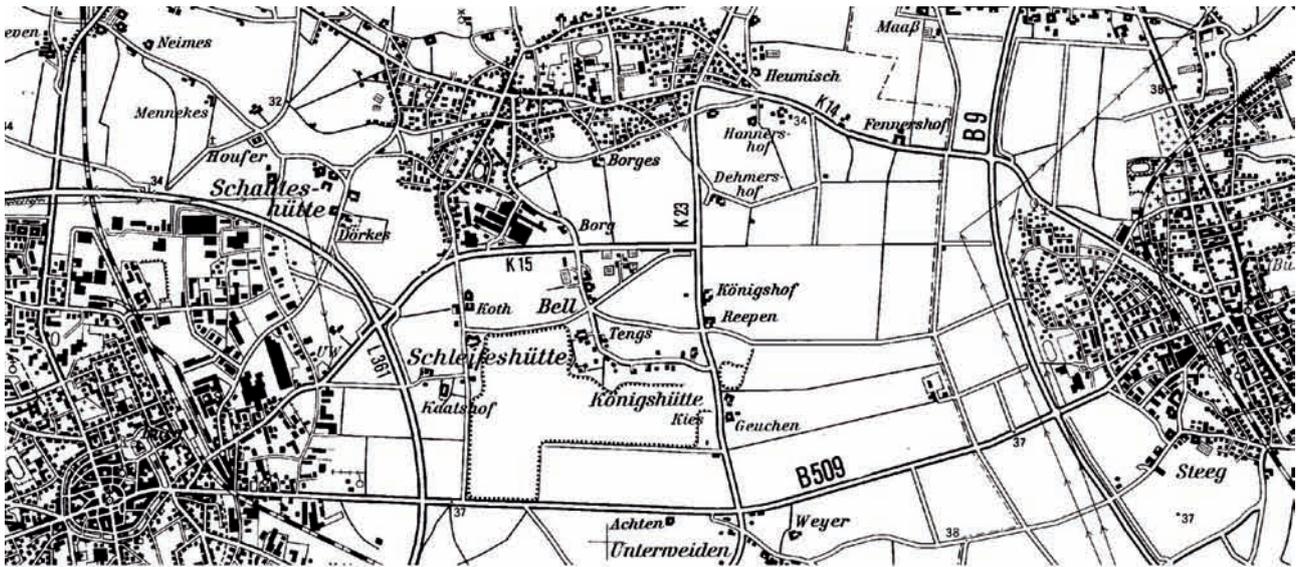


Abb. a: Topografische Karte

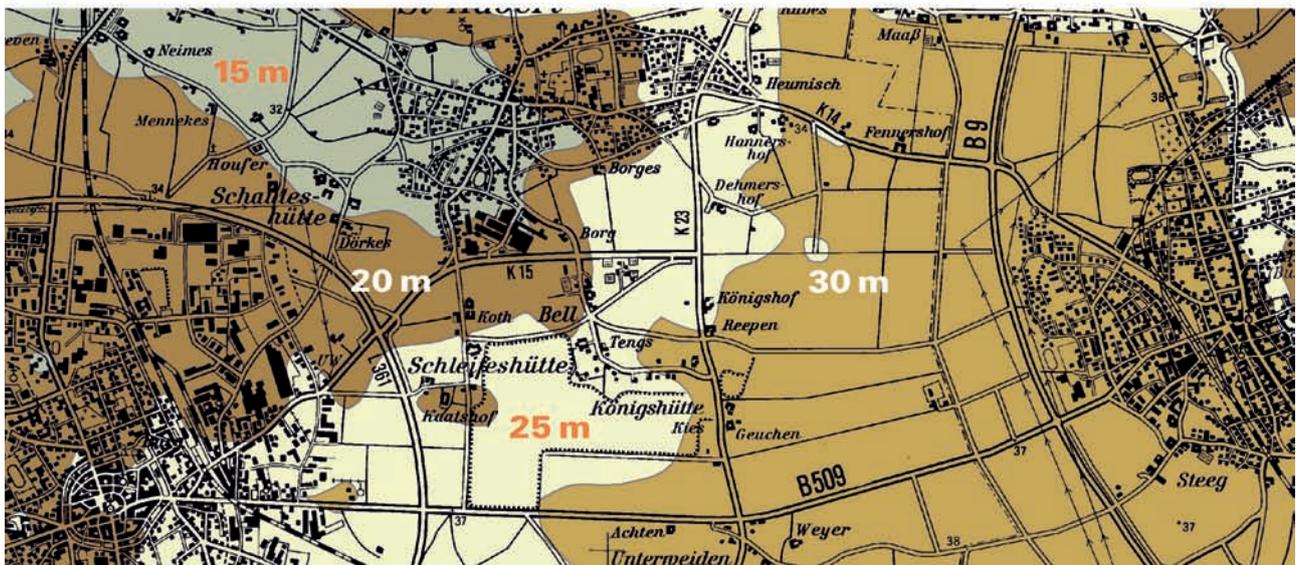


Abb. b: Rohstoffkarte: Mächtigkeit von Kies

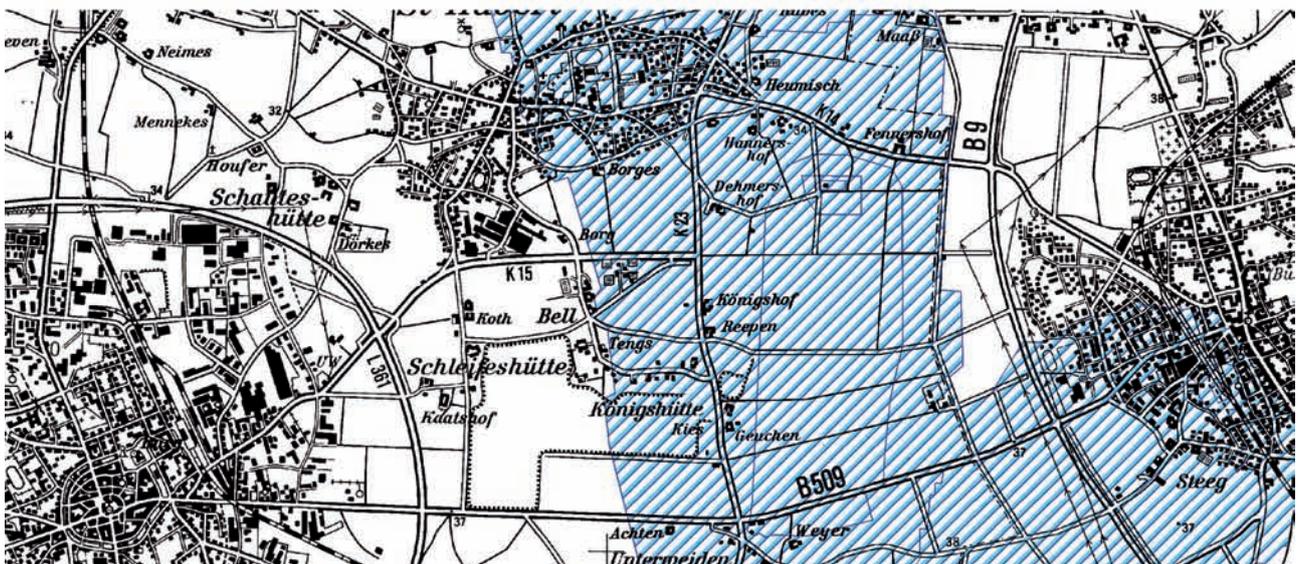


Abb. c: Schutzkarte: Lage von Wasserschutzgebieten

# Die Steinkohle – Sonnenenergie und Bodenschatz aus dem Erdaltertum

## Ihre Nutzung und Bedeutung für das Ruhrgebiet in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

DIERK JUCH, PAUL U. GALBAS

### Zusammenfassung:

Die Entstehung der Kohle im Erdaltertum vor ca. 300 Mio. Jahren und ihre weitere geologische Entwicklung zu den Steinkohlenlagerstätten an der Ruhr werden allgemeinverständlich und in verschiedene Themenfelder aufgliedert beschrieben. Die Gewinnung der Kohle und auch die gesellschaftlichen Konsequenzen des Bergbaus sind kurz dargestellt. Auf diesen Basisinformationen bauen allgemeine ebenso wie spezielle Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts mit diesem Thema auf, bei dem sich exemplarisch die enge Vernetzung gesellschaftlich-ökonomischer Aspekte mit geowissenschaftlich-naturwissenschaftlichem Wissen aufzeigen lässt.

### 1 Einleitung – Steinkohle und Schule

„Warum sich heute noch in der Schule mit Steinkohle beschäftigen, die ohnehin in unserer Region (Ruhrgebiet) stark an Bedeutung verloren hat und bald ganz aus unserem Alltag und Wirtschaftsgeschehen verschwunden sein wird?“

Der folgende Aufsatz will auf diese Frage unterschiedlich antworten. Zum Einen durch eine geowissenschaftliche Darstellung der Steinkohle, besonders für den Erdkundelehrer gedacht, sowie über auszuwählende Themen- und Arbeitsblätter, und zum Anderen über Hinweise zur Gestaltung des geografischen Unterrichts. Didaktisch-methodisch haben dann Lehrerinnen und Lehrer zu entscheiden, um das natur- und kulturgeografisch differenzierte Gesamtthema der Steinkohle angemessen in der Schule unterrichten zu können.

Die Geologie des „Ruhrgebiets“ ist die Basis unserer Existenz im Wirtschaftsraum.

Riesige Kohlevorkommen in großen Teilen des Untergrundes von NRW sind das Ergebnis komplexer geologischer Prozesse. Die Gewinnung von Steinkohle führte vor allem in der Region des Ruhrgebiets zu einem Wirtschaftswachstum, das hier die gesellschaftliche Entwicklung im Verlauf von 200 Jahren in jeglicher Beziehung ganz entscheidend prägte. Die Steinkohlenförderung und damit auch ihr Anteil an regionaler

## Inhalt

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Einleitung – Steinkohle und Schule</li> <li>2 Wie entstand die (Stein-)Kohle?</li> <li>3 Themen- und Arbeitsblätter</li> <li>3.1 Bildung der Steinkohlenmoore (Paläoökologie, Fossilien)</li> <li>3.2 Entstehung von Kohlenflözen (Ablagerungen, Inkohlung)</li> <li>3.3 Änderung der Lagerungsverhältnisse (bewegte Zeiten in NRW: Falten, Störungen)</li> <li>3.4 Abtragung und Überlagerung (Deckgebirge)</li> <li>3.5 Abbau der Kohle (geologische Aspekte des Bergbaus und aktuelle Situation)</li> <li>3.6 Grubengas/Methan (Achtung: gefährliche Gase!)</li> <li>3.7 Entwicklung des Bergbaus (geschichtlicher und kulturgeografischer Überblick)</li> <li>3.8 Nach dem Abbau der Kohle (Bergsenkungen und „Altbergbau“)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>4 Hinweise zur Begründung und Gestaltung des geowissenschaftlich-naturwissenschaftlichen Unterrichts</li> <li>4.1 Exkursionen, Museen etc.</li> <li>4.2 Materialzusammenstellung</li> <li>5 Anhang (zu Kap 3.1 – 3.8)</li> <li>5.1 Zyklizität der flözführenden Ablagerungen</li> <li>5.2 Beschaffenheit der Kohle</li> <li>5.3 Inkohlung</li> <li>5.4 Tektonik</li> <li>5.5 Grubengas/Methan</li> <li>5.6 Weitere Einzelthemen</li> <li>6. Literatur – Quellenverzeichnis</li> <li>6.1 Literatur</li> <li>6.2 Sonstige Quellen</li> </ul> |
|---|---|

Wirtschaftskraft geht seit Jahrzehnten zurück, bedingt durch die zu hohen Kosten infolge schwieriger geologischer Verhältnisse. In der Niederrheinischen Bucht hingegen führten günstige geologische Verhältnisse zu relativ leicht gewinnbaren Braunkohlenlagerstätten mit konstanten Förderraten in den letzten 50 Jahren. Das gilt wahrscheinlich auch für die nächsten Jahrzehnte.

Der Rückgang der Bedeutung der Kohle in Deutschland darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass der weltweite Trend in eine entgegengesetzte Richtung gleichbleibender oder – regional – auch zunehmender Kohleförderung geht (z. B. China). Und es gibt kaum ein Energieszenario, das ein Anhalten dieser Entwicklung für die nächsten 50 – 100 Jahre infrage stellt. Auch nach Ende des Bergbaus werden seine Folgen im Untergrund, an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre (Geoökologie/Landschaftsökologie) noch viele Generationen in unterschiedlicher Weise beschäftigen. Immer wird dabei das Wissen um die Geologie und den geotechnischen Umgang mit ihr eine wichtige Rolle spielen.

Die folgenden Ausführungen behandeln nach einem kurzen Abriss über die Entwicklung der Lagerstätten in mehreren Themen- und Arbeitsblättern die mit der Kohlengeologie verbundenen verschiedenen Themenfelder (gedacht als Basisinformation für die Lehrer/-innen hinsichtlich der Stufen 9/10 sowie

der gymnasialen Oberstufe (SII); Schwerpunkt Steinkohle im Ruhrgebiet in methodisch-inhaltlicher Differenzierung nach Jahrgangsstufe, Lerngruppe und Kursart).

## 2 Wie entstand die (Stein-)Kohle?

Vor vielen Millionen Jahren (306 – 317 Mio. Jahre) war das heutige Ruhrgebiet Teil einer ausgedehnten Waldsumpfmoor- sowie Küstenlandschaft (Abb. 1). Die umgestürzten Bäume und abgestorbenen Sträucher verfaulten oder zersetzten sich nicht, sondern vertorften. Auf diese Weise bildete sich im Laufe von mehreren hundert oder tausenden Jahren ein jeweils oft mehrere Meter mächtiges Torfflöz. Flüsse, Seen und – seltener – das Meer überfluteten die Moore und lagerten darüber bis zu mehrere Zehnermeter mächtige Sand- und Tonschichten ab. Dabei spielten drei übergeordnete Vorgänge eine wichtige Rolle:

1. Das heutige Rheinische Schiefergebirge wurde durch gegenläufige Plattenbewegungen der Erdkruste zusammengepresst (aufgefaltet) und hob sich. Dabei stieg es weit über den Meeresspiegel auf und wurde abgetragen.
2. Die Erdkruste an seinem Nordrand senkte sich langsam ab, wobei die Absenkung durch die Ablagerung des Abtragungsschutts sowie das Moorbauwuchs in einer sehr weitläufigen Küstenregion ausgeglichen wurde.

### Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Dr. DIERK JUCH  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –  
De-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld

PAUL U. GALBAS  
Max-Planck-Gymnasium Gelsenkirchen  
Goldbergstr. 91, 45894 Gelsenkirchen



Abb. 1: Pflanzenwelt eines Steinkohlenwaldes

3. Globale Meeresspiegelschwankungen von mehreren Zehner bis über hundert Metern in zeitlichen Intervallen von ca. 100 000 Jahren führten wiederholt (zyklisch) und großflächig zu relativ einheitlichen Ablagerungs- oder Moorwachstumsbedingungen im gesamten Raum.

Bezogen auf den wichtigsten Zeitabschnitt der Flözbildung lagerte sich auf diese Weise innerhalb von ca. 10 Millionen Jahren eine rund 3000 m mächtige Schichtenfolge ab. Sie enthält ca. 250 Flöze, von denen jedoch nur ca. 100 Mächtigkeiten von mehr als 50 cm erreichen und damit für den Bergbau interessant waren beziehungsweise sind. Bedingt durch die landschaftlichen Unregelmäßigkeiten in der ausgedehnten Waldsumpfmoor- und Küstenlandschaft gibt es Änderungen der Flözmächtigkeiten. Flöze schließen sich zusammen oder spalten sich in einzelne, durch Gestein voneinander getrennte Bänke auf (Abb. 2).

Durch die Überlagerung und die Erwärmung mit zunehmender Tiefe wandelte sich der Torf der Flöze in (Stein-)Kohle um. Der lockere Sand und Ton wurden zu Sandstein und Tonstein. Im Spätstadium dieser Absenkung erreichte die Auffaltung des Rheinischen Schiefergebirges auch das heutige Ruhrgebiet mit seinen damals noch flach liegenden Ablagerungen. Dabei wurden die Schichten in Falten unterschiedlicher Größen schräg und steil gestellt sowie gegeneinander verschoben (Abb. 3).

Gleichzeitig mit der Auffaltung hob sich das neu entstandene „Steinkohlengebirge“ und wurde im Süden stark, im Norden nur in seinen obersten Teilen abgetragen. Durch den langfristigen Abtragungsprozess entstand eine flache Landschaft, die sich im Laufe der nachfolgenden Erdgeschichte vor allem nach

Norden hin auch wieder senkte. Dabei kam es vor allem in der Kreide-Zeit zu einer Meeresüberflutung mit bis zu mehr als 1000 m mächtigen Ablagerungen der Schichten des heutigen „Deckgebirges“. Verbunden mit den Absenkungsbewegungen und darauf folgenden Hebungen entstanden meist quer oder schräg zu den Falten verlaufende Störungen, durch die das Steinkohlengebirge auch in zahlreiche Bruchschollen (Horste und Gräben) gegliedert ist (Abb. 4).

### 3 Themen- und Arbeitsblätter

#### 3.1 Bildung der Steinkohlenmoore (Paläoökologie, Fossilien)

Riesige Moore, Urwälder mit fremdartigen Bäumen ähnlich den heutigen Schachtelhalmen, Farnen oder Bärlappgewächsen, die bei tropischer Hitze, Dauerregen und hoher Luftfeuchtigkeit üppig gediehen: So sah es weltweit an zahlreichen Küsten des Festlandes vor rund 320 – 300 Millionen Jahren aus (Abb. 1). Das war das Erdzeitalter, in dem die Steinkohle entstand – das Karbon (von lateinisch „carbo“ = Kohle). Die damaligen urtümlichen Pflanzen waren hauptsächlich bis zu 30 m hohe baumartige Gefäßsporenpflanzen: Siegel- und Schuppenbäume (*Sigillaria*, *Lepidodendron*) sowie am häufigsten Schachtelhalmgewächse („Kalamiten“). Etwas kleinere Bäume waren die „Kordaiten“, Verwandte des heutigen Ginkgobaumes und als erste Nacktsamer die Vorläufer unserer Nadelbäume. Häufig traten auch große Farne und Farnsamer auf.

Neben den verholzten Teilen (Lignin) und den Zellwänden der Blätter (Zellulose) haben auch die Sporen und Samen einen Anteil an der späteren Kohle, da sie sich nur sehr lang-

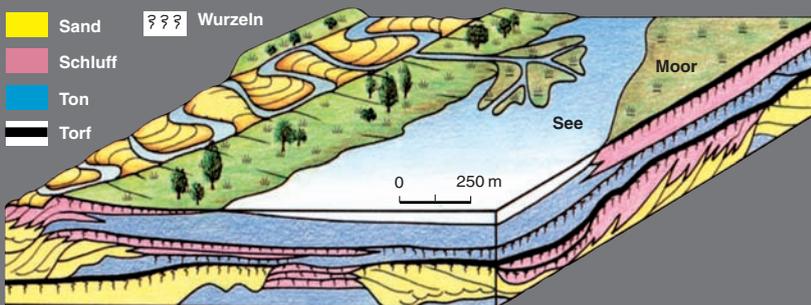


Abb. 2: Modell eines Ablagerungsraumes von Kohlenflözen im Oberkarbon (stark überhöht)

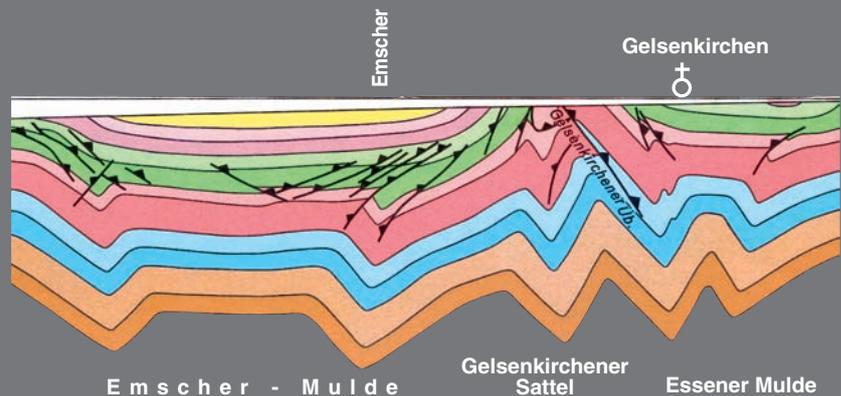


Abb. 3: Geologischer Querschnitt durch das Steinkohlengebirge im zentralen Ruhrgebiet

sam zersetzen. Bei den karbonzeitlichen Mooren des späteren Ruhrgebietes handelte es sich wahrscheinlich hauptsächlich um Niedermoore.

Die ausgedehnten damaligen Waldsumpfmoor- und Küstenlandschaften sind vergleichbar dem heutigen Orinocodelta oder weiten Küstenregionen Südost-Asiens (z. B. auf Sumatra und Borneo). Immer wieder überfluteten Flüsse, Seen und – seltener – das Meer die Moore und lagerten darüber mehrere Zehnermeter mächtige Sand- und Tonschichten ab.

Trotz des insgesamt einheitlichen Grundmusters der Ablagerungen gab es doch viele landschaftlichen Unregelmäßigkeiten (Abb. 2).

Moorflächen gehen in Seen über. Diese werden wiederum von den Uferwällen der Flüsse begrenzt und bei Überschwemmungen mit Sedimenten gefüllt. Für die späteren Flöze bedeutet dies: laterale/seitliche Änderungen der Flözmächtigkeiten. Flöze schließen sich zusammen („scharen“) oder spalten sich in einzelne, durch Gestein voneinander getrennte Bänke auf. Es kommt zu Flözeinlagerungen beziehungsweise „Flözauswaschungen“, die dem modernen vollmechanisierten Bergbau große Probleme machen können.

Diese Landschaft bot natürlich auch einen interessanten Lebensraum für die ersten Landtiere: Amphibien und Insekten. Neben den zahlreichen Pflanzenfossilien hat auch die fossile Wasserfauna im Karbon (Muscheln, Kopffüßer, Fische, Krebse) eine wichtige wissenschaftliche Bedeutung: Sie ermöglicht oft eine Unterscheidung zwischen Land- und Meeresablagerungen (Abb. 5).

### 3.2 Entstehung von Kohlenflözen

#### (Ablagerungen, Inkohlung)

##### *Vertorfen statt verfaulen*

Landpflanzen zersetzen sich nach dem Absterben unter Luft-einfluss. Ihre kohlenstoffreiche „organische Substanz“ verschwindet größtenteils als  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre. Die abgestorbenen Pflanzenreste der Karbon-Zeit hingegen sanken meistens im Sumpf unter die Wasseroberfläche und kamen so unter Luftabschluss. Sie konnten deshalb nicht durch aerobe Bakterien, die Sauerstoff zum Leben brauchen, zersetzt werden, sondern wurden zu Torf. Er ist die erste Stufe im Prozess der sogenannten Inkohlung, der komplexen chemisch-physikalischen Umwandlung von Pflanzen in Kohle. Hierbei reichert sich immer mehr Kohlenstoff (C) in fester Form als „organische Substanz“ an, während das Wasser beziehungsweise Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) in unterschiedlichen gasförmigen Verbindungen frei werden, zum Beispiel als  $\text{CH}_4$  (Methan) oder  $\text{CO}_2$  (Kohlendioxid).

Auf diese Weise bildete sich im Laufe von mehreren hundert oder tausenden von Jahren zunächst ein jeweils oft mehrere Meter mächtiges Torfflöz. In ca. 6000 – 9000 Jahren entstehen ca. 8 m Torf, der sich dann infolge weiterer geologischer Prozesse zu 1 m Steinkohle umwandeln kann. Die häufige Beendigung des Moorwachstums durch eine Überschwemmung und Überlagerung mit Sedimenten aus Ton und Sand verstärkte die dauerhafte Erhaltung der organischen Substanz.

Da sich im Karbon das gesamte Gebiet nördlich des Rheinischen Schiefergebirges über einen größeren Zeitraum kontinuierlich absenkte, wiederholte sich dieser Prozess der Über-



Abb. 4: Raumbild der tektonischen Schollen mit allen Flözen im zentralen Ruhrgebiet

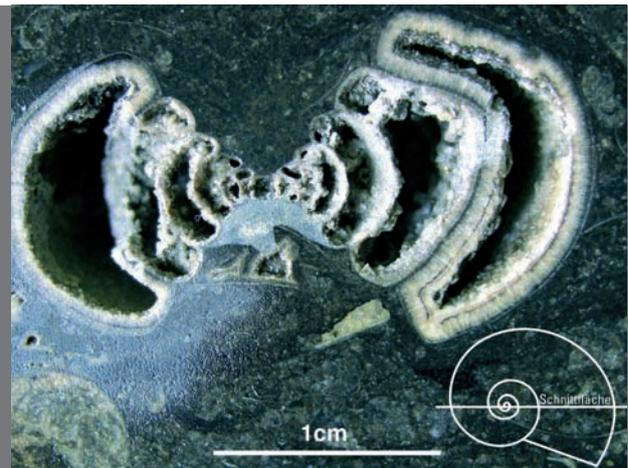


Abb. 5: Polierter Gesteinsanschliff (Querschnitt) eines Meeresfossils (Goniatit) aus einem marinen Horizont an der Basis des flözführenden Oberkarbons bei Velbert

schwemmung, Moorbildung und sedimentären Ablagerung ca. 250 mal. Bezogen auf den wichtigsten Zeitabschnitt der Flöz-bildung lagerte sich auf diese Weise innerhalb von ca. 10 Millionen Jahren eine heute rund 3000 m mächtige Schichtenfolge ab. Dabei war die Mächtigkeit der einzelnen Schichten, insbesondere bei Ton, erheblich größer als heute. Durch Überlagerung mit weiteren Sedimenten und die Entwässerung setzten sich die zunächst sehr volumenreichen Sedimente rasch („kompaktierten“) und erreichten schon nach wenigen hundert Metern Überlagerung ihre endgültige Mächtigkeit. Die Überschwemmungen wurden dabei sowohl durch Meeresspiegelschwankungen als auch durch engräumig wechselnde Ablagerungsgebiete und Flussverlagerungen hervorgerufen.

Durch den Überlagerungsdruck und die Erwärmung bei der Absenkung in größere Tiefen werden der lockere Sand und der Ton zu Sandstein und Tonstein („Schiefer-ton“). Der Torf der Flöze wandelt sich vor allem infolge von Erwärmung in (Stein-)Kohle um. Dieser als Inkohlung bezeichnete physikalisch und chemisch komplexe Prozess der Abgabe von Wasser und der Anreicherung von Kohlenstoff (s. zuvor!) ist von der Höhe der ursprünglich in der Erdkruste herrschenden Temperatur abhängig, die im Allgemeinen mit der Tiefe zunimmt. Auch die Zeitdauer, in der die Kohle einer jeweils bestimmten maximalen Temperatur ausgesetzt war, ist von Bedeutung. Das Ergebnis des gesamten Prozesses der Umwandlung sind die bekannten Kohlengruppen mit unterschiedlicher „Reife“ von der Braunkohle bis zum Anthrazit.

### 3.3 Änderung der Lagerungsverhältnisse (bewegte Zeiten in NRW: Falten, Störungen)

#### Geologisch-tektonischer Rahmen

Während des Devons waren das Ruhrgebiet und der Raum bis zur heutigen Nordsee nördlicher Randbereich eines großen (mehrere 100 km breiten) Meeresbeckens, das vom Harz bis zu den Ardennen und darüber hinaus reichte. In diesem Becken wurden bei reich gegliederten regionalen Unterschieden ca. 5 km mächtige Sedimente abgelagert. Infolge großer Plattenbewegungen in Nord-Richtung wurden diese Ablagerungen vor allem während des Karbons zum Rheinischen Schiefergebirge „aufgefaltet“. Gleichzeitig senkte sich die nördlich anschließende große Krustenscholle recht einheitlich und nahm dabei die flach marinen und küstennahen Ablagerungen einschließlich der späteren Flöze auf.

In einem ca. 50 km breiten Übergangsbereich zwischen dieser Scholle und dem Schiefergebirge bewirkte am Ende des Karbons die einengende kompressive Plattenbewegung auch eine Faltung der flözführenden Schichten. Dabei wurden diese in Form von Falten unterschiedlicher Größen schräg und steil gestellt sowie gegeneinander verschoben.

In geringem Maße mit der Faltung am Ende des Karbons (vor 300 Mio. J.) verbunden, vor allem aber bei Krustenbewegungen in der späteren Erdgeschichte entstanden meist quer oder schräg zu den Falten verlaufende Störungen (Abschiebungen, „Sprünge“). Sie gliedern das Steinkohlengebirge in zahlreiche Bruchschollen (Horste und Gräben).

#### Beschreibung der einzelnen tektonischen Strukturen

Neben der Flözmächtigkeit und Tiefe ist die Tektonik (bruchlose und bruchhafte Deformation der ursprünglich horizontal abgelagerten Schichten) der wichtigste Aspekt für den Bergbau und andere praktische Fragen.

Die Faltung des Ruhrkarbons wird als Biege-Gleitfaltung bezeichnet. Ihre Besonderheiten lassen sich sowohl in kleinen Falten von Metergröße als auch in Strukturen mit bis zu 1 km Amplitude beobachten. Bei Beginn der Faltung lagen die meisten Schichten bereits in mehreren 1000 m Tiefe flach übereinander und waren bereits recht fest. Man kann sie mit einem Stapel Papier oder Pappe vergleichen, der von der Seite zusammengeschoben wird: Die einzelnen Blätter (= Schichten) bleiben in sich erhalten, werden aber parallel gegeneinander verschoben. An bestimmten Stellen wird der ganze Stapel in allen Blättern geknickt (= gefaltet), so auch im Steinkohlengebirge. Bei der Faltung bewegten sich die einzelnen Schichten auf ihren Schichtflächen gegeneinander. Stark verbogen werden sie hauptsächlich im Zentrum der Sättel oder Mulden (Sattel- und Muldenkerne). Daneben herrschen sowohl bei flacher als auch bei steiler Lagerung vor allem ebene oder nur weitspannig leicht gebogene Schichtflächen vor. In Verbindung mit den verschiedenen Falten und den Bewegungen auf den Schichtflächen stehen auch als „Überschiebungen“ ausgebildete Störungen. Sie bewirken meist eine Verdoppelung der Schichten (von oben nach unten gesehen) und bilden einen relativ spitzen Winkel mit dem Schichteinfallen.

Über die einzelnen Falten hinausgehend, gliedert sich das Ruhrkarbon in einzelne Großfaltenstrukturen. Sie haben meist mehrere Kilometer Breite und lassen sich fast alle über das gesamte Ruhrgebiet von Westsüdwest nach Ostnordost verfolgen. Vor allem im Süden finden sich Falten mit oft steiler Lagerung. Nach Norden zunehmend, gibt es jedoch mehr weitspannige, breitere Mulden und schmale Sattelzonen. Zur Tiefe hin verändert sich diese für den Bergbau günstige Gliederung dadurch, dass kleinere Überschiebungen und Falten auftreten. Man spricht hier von einer Stockwerkstektonik. Drei der Hauptsättel sind von großen Überschiebungen mit Schichtverdoppelungen von 500 – 1000 m begleitet (Abb. 3).

Die Falten und Überschiebungen entstanden infolge horizontal wirkender, einengender (plattentektonischer) Bewegung. Die quer zu ihnen verlaufenden „bruchtektonischen“ Abschiebungen („Sprünge“) spiegeln hingegen vertikal gerichtete Bewegungen und horizontale Dehnung wider. Meistens streichen

sie in Nordnordwest-Südsüdost-Richtung (Abb. 4) und haben Einfallswinkel zwischen 50 und 80°. Ihre Verwurfshöhe variiert vom Millimeter bis zu einem Kilometer. Die größeren von ihnen untergliedern das Ruhrkarbon in Ost-West-Richtung in ein System von durchschnittlich 5 km breiten Schollen, wobei sich häufig Gräben und Horste abwechseln.

Daneben gibt es ein regelmäßiges Raster von Ost – West bis Westnordwest – Ostsüdost streichenden Blattverschiebungen mit rechtssinnigen Horizontalverwürfen von bis zu mehreren hundert Metern. Im zentralen Ruhrgebiet sind sie teilweise mit den großen Sprüngen verbunden und hier erreicht der Horizontalverwurf auch 2 km. Solche Verbindungen von Blattverschiebungen und Sprüngen lassen sich vor allem bei den größeren Störungen häufiger feststellen. Dementsprechend können bei beiden Störungsarten oft auch beide Bewegungs-komponenten (horizontal und vertikal) beobachtet werden.

Nach neueren Erkenntnissen sind die meisten bruchtektonischen Störungen nach der Faltung entstanden und wurden teilweise auch zu verschiedenen Zeiten in unterschiedlichem Sinn bewegt. Trotz der örtlich häufigen Vertikalverwürfe hängen sie wahrscheinlich mit größeren horizontalen Scherbewegungen der Plattentektonik im Mesozoikum zusammen, die ihren unmittelbaren Ausdruck in den Ost-West-Blattverschiebungen finden. Darüber hinaus lassen sich mehrere Sprünge im westlichen Ruhrgebiet mit den tektonischen Bewegungen am Ostrand der niederrheinischen Bucht verbinden, die auch im Tertiär und bis ins Quartär aktiv waren.

Im mittleren Ruhrgebiet wurden bei einigen Störungen auch stärkere Blei-Zinkvererzungen festgestellt. Bei den Zechen Auguste Victoria in Marl und Christian Levin in Essen-Dellwig führte dies von 1937 – 1959 auch zu einem Abbau von insgesamt ca. 5 Mio. t dieser Erze.

### 3.4 Abtragung und Überlagerung

#### (Deckgebirge)

Gleichzeitig mit der Auffaltung hob sich das neu entstandene „Steinkohlengebirge“ und wurde im Süden stark, im Norden nur in seinen obersten Teilen abgetragen. Durch den langfristigen Abtragungsprozess entstand eine flache Landschaft, die sich im Laufe der nachfolgenden Erdgeschichte vor allem nach Norden hin auch wieder senkte. Dabei kam es zunächst im Zechstein vor ca. 255 Mio. Jahren zu ersten Meeresüberflutungen, die – wie in vielen anderen Gebieten Deutschlands – auch am Niederrhein den Kupferschiefer und ein bis zu 400 m mächtiges Salzlager über dem Steinkohlengebirge hinterließen. Darüber folgen der im Nordwesten bis über 500 m mächtige Buntsandstein und vereinzelte Reste weiterer mesozoischer Ablagerungen (Muschelkalk, Jura) als Zeugen weiterer Meeresüberflutungen. Aufgrund bruchtektonischer Bewegungen und nachfolgender Erosion ist ihre Verbreitung nur auf das nordwestliche Ruhrgebiet beschränkt und sie finden sich

hier insbesondere in den Grabenstrukturen. Da gleichzeitig jedoch auch die Mächtigkeit dieser Schichten nach Osten abnimmt, ist wahrscheinlich auch ihre ursprüngliche Ablagerung auf das mittlere und westliche Ruhrgebiet beschränkt.

Erst in der oberen Kreide, ab ca. 100 Millionen Jahren vor heute, wurden das gesamte Ruhrgebiet und vor allem das nördlich anschließende Münsterland vom Kreide-Meer eingenommen. Dabei wurden insgesamt bis zu 1000 m mächtige Kalke und Mergel abgelagert. Nach Westen gehen diese Gesteine mehr in Sande über und die Kreide-Ablagerungen hören am Niederrhein auch auf. Stattdessen finden sich hier die tertiären Tone und Sande der nördlichen Niederrheinischen Bucht. Auch nach Süden endet die heutige Verbreitung der Kreide ungefähr im Bereich des Hellwegs, ursprünglich war sie auch weiter südlich abgelagert. Von hier aus sinkt die Erosionsoberfläche des Karbons beziehungsweise die Basis des „Deckgebirges“ relativ gleichmäßig nach Norden ab – innerhalb von 30 km auf –1000 m NN. Dies lässt sich auf eine Hebung des nördlichen Schiefergebirgsrandes in der späten Kreide-Zeit vor ca. 70 Millionen Jahren zurückführen. Dabei wurden die ursprünglich flach und weitgehend horizontal abgelagerten Schichten flach nach Norden gekippt.

Die Hebung hängt mit den großtektonischen Plattenbewegungen zusammen, die unter anderem auch zur tektonischen Ausprägung des Teutoburger Waldes mit der „Ibbenbürener Karbonscholle“ führten. In dieser Zeit kam es in Norddeutschland und auch im Ruhrgebiet vielfach zu einer Umkehr („Inversion“) früherer tektonischer Vertikalbewegungen; Gräben wurden zu Horsten und Horste zu Gräben. Die damit verbundenen Störungen sind im Ruhrgebiet als „Umkehrverwerfer“ im Deckgebirge seit langem bekannt.

Im anschließenden Zeitalter des Tertiärs war die Trennung Europas von Nordamerika in vollem Gange. Der Rheingraben sank ab und verband die Nordsee mit dem Mittelmeer. Kontinentalplatten krachten aufeinander und falteten die Alpen auf. Vulkane spien im Siebengebirge bei Bonn und in der Eifel Feuer – bewegte Zeiten vor allem im westlichen Ruhrgebiet.

Die niederrheinische Meeresbucht trennte das rheinisch-westfälische Schiefergebirge in Bergisches Land und Eifel, und die Steinkohle-Schichten des Karbons wurden an der Ruhr und bei Aachen und Erkelenz emporgehoben. Dort lagen die Steinkohlenflöze nun frei und warteten darauf, entdeckt und abgebaut zu werden. Eine unterirdische Verbindung des Steinkohlengebirges an der Ruhr mit dem von Aachen und Erkelenz gibt es nicht. Die ursprünglich zusammenhängend abgelagerten Steinkohle-Schichten wurden schon bei der Faltung am Ende des Karbons im Raum Krefeld – Viersen stark angehoben und danach vollständig abgetragen.

### 3.5 Abbau der Kohle

#### (geologische Aspekte des Bergbaus und aktuelle Situation)

Auch wenn in Deutschland bereits seit Jahrhunderten Steinkohle gefördert wird (ca. 11 Mrd. t): Es ist noch immer jede Menge vorhanden. Für ganz Deutschland kann man die geologischen Vorkommen an Steinkohle, die in weiterem Zusammenhang mit Bergbaurevieren stehen, auf insgesamt rund 600 Mrd. t schätzen, im engeren Bereich des Ruhrgebietes ca. 150 Mrd. (Abb. 6). Hiervon wären mit den heute üblichen technischen Möglichkeiten nur noch ca. 5 – 10 Mrd. t an Vorräten abbaubar.

Dieser große Unterschied zwischen vorhandener und gewinnbarer Kohlenmenge ergibt sich aus den technischen Bedingungen für einen möglichst preiswerten Abbau, der heutzutage weitgehend automatisch erfolgt: Am günstigsten sind dicke Flöze mit reiner Kohle in geringer Tiefe. Sie sollten möglichst horizontal oder flach geneigt liegen und über ein Gebiet mit einer Erstreckung von mindestens 1 – 2 km keine Unregelmäßigkeiten von größeren Gesteinseinlagerungen oder tektonischen Störungen aufweisen. Bezogen auf die Fördertiefe und bedingt durch früheren Abbau sind diese idealen Bedingungen heutzutage fast nie, bei den anderen Faktoren nur selten erfüllt. Daher ist heimische Steinkohle meistens erheblich teurer als Importkohle etwa aus Polen oder Südafrika. Ihre Förderung in Deutschland wird deshalb vom Staat mit mehreren Milliarden Euro im Jahr unterstützt (Subventionen).

Wegen sehr hoher Nachfrage nach Koks zur Eisenverhüttung in China waren allerdings die Weltmarktpreise für diese Kohle im Jahr 2004 so hoch, dass sich auch der teure Abbau in Deutschland gelohnt hätte. Wegen langfristig laufen-

der Verträge sowie langer Planungs- und technischer Vorbereitungszeiten für eine mögliche neue Förderung wird es selbst bei anhaltender Knappheit auf dem Weltmarkt 5 – 10 Jahre dauern, bis sich der deutsche Bergbau an diese neue Entwicklung anpassen kann. Wahrscheinlicher ist nach den jüngsten politischen Beschlüssen im Frühjahr 2007 ein Ende des Steinkohlenbergbaus bis zum Jahr 2018.

#### Wie war das früher?

Im Süden des Ruhrreviers liegt das Steinkohlengebirge meist unter gering mächtigen (5 – 20 m) quartären Ablagerungen (Lösslehm, Sand oder Kies). In Handarbeit wurden hier zunächst die meist steil gelagerten Flöze bis zu Mächtigkeiten von mitunter weniger als 50 cm abgebaut. Mit zunehmender Tiefe und auch als der Bergbau unter dem Deckgebirge weit nach Norden vorrückte, wurden verschiedene technische Hilfsmittel zum Abbau und Transport der Kohle eingeführt und erhöhten die Förderung erheblich. Entscheidend blieb jedoch die „Handarbeit“ vor Ort, die auch den Abbau unregelmäßig oder steil gelagerter dünner Flöze erlaubte.

Erst vor 50 Jahren, als der Steinkohlenbergbau mit dem Erdöl eine starke Konkurrenz im Brennstoff-Sektor bekam, wurde der herkömmliche Abbau an vielen Stellen mit dünnen und tektonisch unregelmäßig gelagerten oder gestörten Flözen zu teuer. Die darauf folgende stärkere Konzentration auf günstigere Lagerstättenteile ging einher mit der Entwicklung eines zunehmend mechanisierten und später auch automatisierten Abbaus. Sie ist bis heute noch nicht abgeschlossen. Neben einer drastischen Erhöhung der Förderung „pro Mann und Schicht“ wurde hierbei auch die in größerer, zunehmend wärmerer Tiefe schwierige Arbeit vor Ort erleichtert. Eine andere Folge ist allerdings auch die hierdurch erheblich verringerte Ausnutzung der durch den Bergbau erschlossenen Lagerstätte. Es bleiben viel größere Restkohle-Mengen untertage stehen als früher.

Ein anderer Entwicklungsaspekt ergibt sich aus den Eigenschaften der Kohle und ihrer Nutzung. Ungefähr ein Drittel der Steinkohle des Ruhrreviers ist als Fettkohle zur Verkokung geeignet und wurde früher auch so verwandt. Über die Verhüttung von Eisenerz hinaus wurde Koks neben der Ess- und Magerkohle auch als Hausbrand sowie zur Stadtgaserzeugung genutzt. Seit den 1960er-Jahren haben sich diese Verhältnisse stark verschoben: Der Hausbrandsektor ist weitgehend verschwunden und auch für die Verkokung wurde immer weniger Kohle gefördert, da importierte Koks billiger war. Der ganz überwiegende Teil der Steinkohlenförderung geht inzwischen in die Kraftwerke.

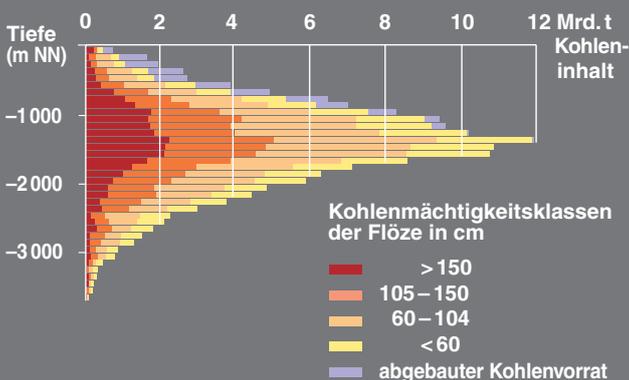


Abb. 6: Kohleninhalt des Ruhrgebiets, differenziert nach Tiefenintervallen und Kohlenmächtigkeiten der einzelnen Flöze

### 3.6 Grubengas/Methan

#### (Achtung: gefährliche Gase!)

Die abgestorbene und versenkte Vegetation der Moore ist luftdicht verschlossen. Bei der Zersetzung dieser Pflanzenreste und der weiteren Entwässerung und Erwärmung des Torfs entwickeln sich Gase. Sie können zunächst nicht in die Atmosphäre entweichen und sammeln sich daher in der Kohle und im umgebenden Gestein: unter anderem Methan, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, einige Stickoxide sowie Wasserstoff. Bei der Entstehung von zum Beispiel 1 t Fettkohle entwickeln sich weit mehr als 100 m<sup>3</sup> Methan. Der größte Teil dieser Gase ist bei der späteren Faltung (Gebirgsbildung) über die dabei entstandenen tektonischen Klüfte und Störungen dann doch in die Atmosphäre ausgetreten. Ein kleiner Teil verblieb jedoch im Steinkohlengebirge. Außer in porösen Sandsteinen oder offenen Klüften sitzt das Gas hier vor allem in der Kohle selber. Aufgrund ihrer besonderen physikalischen Struktur der monomolekularen Lagen und bei entsprechend großem hydrostatischem Druck in 1000 m Tiefe kann 1 t Kohle mehr als 20 m<sup>3</sup> Methan speichern. Im Ruhrrevier sind dies allerdings selten mehr als 10 m<sup>3</sup>/t.

Da die verschiedenen Gase im Gebirge in entsprechenden Konzentrationen für den Menschen gefährlich sind, gibt es von alters her eine „Wetterführung“ beim untertägigen Bergbau. Mit ausreichender Frischluftzufuhr wird dieses „Grubengas“ so verdünnt, dass die Bergleute relativ ungefährdet arbeiten können.

Dennoch können vor allem mit zunehmender Teufe und beim Abbau plötzlich größere Methanmengen frei werden und bei einer Konzentration zwischen 5 und 14 % in der Luft explodieren. Die Bergleute sprechen dann von einem „Schlagwetter“, das sehr gefährlich ist. Deswegen wird heute im Bergbau sorgfältig vorgesorgt. Gasmessgeräte überprüfen ständig die Luftkonzentration. Wenn größere Methanmengen zu erwarten sind, werden sie über Bohrungen abgesaugt, bevor überhaupt die Arbeit in den Kohleflözen beginnt. Angenehmer Nebeneffekt: Das abgesaugte Gas ist ein wertvoller Energieträger und kann in Heizkraftwerken zu Strom und Wärme umgewandelt werden.

### 3.7 Entwicklung des Bergbaus

#### (geschichtlicher und kulturgeografischer Überblick)

Schon im Mittelalter begann der Bergbau im Ruhrrevier. Zutage tretende Steinkohleflöze wurden oft von Bauern oder Handwerkern aus Löchern im Erdboden gewonnen („Pütt“ nach lateinisch „puteus“ = Grube). Daneben gab es auch einige kleine Blei- und Zinkerzgruben bei Essen und Bochum.

Um das Problem des in den Gruben oft bald erreichten Wassers zu lösen, begann man im 16. Jahrhundert mit dem Stollenbergbau. Die Stollen wurden entweder in einem Flöz oder durch das Gestein zu einem oder mehreren Flözen hin vorgerieben. Ausgehend von einem möglichst tiefen Punkt, zum Beispiel dem tief liegenden Flussbett der Ruhr, steigen die Stollen leicht an, damit das angetroffene Wasser abfließen kann. Ergänzend wurden kleine Schächte („Lichtlöcher“) für Frischluft

und die Förderung mit einer Haspel angelegt. Der hohe technische und damit auch finanzielle Aufwand des Stollenbergbaus führte oft zum Zusammenschluss der an der Kohle Interessierten und damit zu den ersten Bergwerksgesellschaften.

Ende des 18. Jahrhunderts begann mit der Erfindung der Dampfmaschine und damit verbundener Pumpen auch die Kohleförderung unterhalb der Stollensohlen. Dies führte zur Entwicklung des Tiefenbergbaus mit Schächten und ausgedehnten Tiefbausohlen, von denen aus man die Flöze erreichen und gewinnen konnte. Gleichzeitig war damit auch ein Bergbau unter dem Deckgebirge nördlich des Ruhrtales und später auch am Niederrhein möglich.

Mitte des 19. Jahrhunderts setzte dann eine besonders stürmische Entwicklung zu einer industriellen Organisation der Kohlenförderung ein. Die Förderung wuchs exponential und entsprechend waren statt unter 100 jetzt über 1000 Arbeiter auf einer Zeche beschäftigt. Technisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich entstand damit das Ruhrrevier als Industrielandschaft, die über 100 Jahre Bestand hatte. Weit über 100 Bergwerke mit einer Jahresförderung von insgesamt oft mehr als 100 Mio. t Kohle prägten sie. Erst mit dem wirtschaftlich bedingten kontinuierlichen Rückgang der Kohlenförderung seit Ende der 1950er-Jahre ist diese Entwicklung nachhaltig rückläufig. Eine ausführlichere Darstellung zur Entwicklung des Bergbaus findet sich im Bergbau-Museum Bochum.

#### Die kulturgeografische Fragestellung

„Warum sich heute noch mit Kohle beschäftigen, die ohnehin stark an Bedeutung verloren hat und bald ganz aus unserem Alltag und Wirtschaftsgeschehen verschwunden sein wird?“ Diese Frage stellt sich also auch als „geschichtliche Frage des Raumes“, in dem die Steinkohle gefunden, gefördert und verarbeitet wurde. Das Ruhrgebiet als Industrie- und Ballungsraum gibt die Antwort.

Die in der Mitte des 19. Jahrhunderts beginnende Industrialisierung führte zu einer vollständigen Veränderung des zu Beginn des 19. Jahrhunderts noch überwiegend landwirtschaftlich geprägten Raumes. Von unter 300 000 Einwohnern stieg die Bevölkerung innerhalb von 150 Jahren auf das fast Zwanzigfache. Die schnelle Entwicklung der Industrie wurde durch die Anwerbung von Arbeitskräften außerhalb des „Kohlenreviers“ ermöglicht, vor allem aus den Ostgebieten Preußens (Ostpreußen, Westpreußen, Posen, Schlesien), aber auch aus anderen Gebieten (Westfalen, Lippe, NW-Deutschland, Rheinland, Hessen, Sachsen, Hannover, Niederlande). Allein wohl über 500 000 „Polen“ (überwiegend preußisch-deutsche Staatsbürger) kamen als Zuwanderer ins Ruhrgebiet, um vornehmlich im Bergbau zu arbeiten. Die Migrationsbewegungen veränderten durch das Einwandern von evangelischen Christen (Ostpreußen) ebenfalls die Sozialstruktur des Raumes. Dies führte zu einer Veränderung der fast rein katholischen Bevölkerung. So kam es im Laufe der Zeit innerhalb der Ruhrge-

bietszonen und damit auch innerhalb der städtischen Agglomerationsräume zu unterschiedlichen Anteilen der Konfessionszugehörigkeit an der jeweiligen Bevölkerung. Tschechen, Slowenen und andere Volksgruppen – vorwiegend aus Osteuropa – verstärkten den slawischen Zuzug, und mit weiteren ethnischen Einwanderungen bis in die Gegenwart bekam das heutige Ruhrgebiet den Charakter des europäischen „Schmelztiegels“. Eine größere Abwanderung der katholischen Polen nach dem 1. Weltkrieg führte nach Nordfrankreich, Südbelgien und besonders in den neuen Staat Polen. Die Bevölkerungsverluste der „Weimarer Zeit“ und des Krieges wurden nach dem 2. Weltkrieg durch vorwiegend evangelische Heimatvertriebene aus dem Osten gemildert beziehungsweise ausgeglichen. In den 1960er- und 1970er-Jahren gab es noch eine Einwanderungswelle aus südeuropäischen Ländern und insbesondere der Türkei.

Die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg war von einem großen Kohlenmangel in Europa geprägt. Im Bezug auf das Ruhrgebiet betrieben daher die Siegermächte einen beschleunigten Wiederaufbau des Ruhrbergbaus und der dazugehörigen Infrastruktur. Die Förderung der Kohle kam recht schnell in Schwung und wurde auch politisch massiv unterstützt. Von nun an war die Produktion der Steinkohle von primärer Bedeutung für Westeuropa. Vorangegangene politische Zielvorstellungen der Kriegszeit und der unmittelbaren Nachkriegszeit verloren an Bedeutung; das geschlagene Deutschland mit seinem Ruhrgebiet erfuhr nunmehr ein anderes positives Schicksal unter der noch vorläufigen Kontrolle der Westalliierten, nämlich eine zügige Integration (im sogenannten „Kalten Krieg“) in das westliche ökonomische und politische System.

Mit dem Wiederaufbau des Ruhrgebietes und dem allgemeinen Energiehunger vollzog sich während der steigenden Produktion der Steinkohle in den 40er- und anfänglichen 50er-Jahren des 20. Jahrhunderts nicht nur eine Neuorientierung der 1949 entstandenen Bundesrepublik Deutschland, sondern auch ein besonderes Wirtschaftswachstum, das legendäre „Wirtschaftswunder“. Der Motor des wirtschaftlichen nationalen und internationalen Erfolges war ohne Zweifel die Steinkohle. In der „Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl“ (Montanunion 1952) haben wir sogar das Fundament der späteren „Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft“ (EWG) zu sehen. Ruhrsteinkohle und Aufstieg der Bundesrepublik Deutschland in das westliche sozioökonomische und politische Wertesystem sind also miteinander aufs engste verbunden.

Bis Ende der 1950er-Jahre war die Steinkohle der wichtigste Energieträger der BRD. Billigere Importkohle, Erdöl und Erdgas sowie die Arbeitslöhne haben die Wettbewerbsfähigkeit der Ruhrkohle stark herabgesetzt. Folge dieser Krisenaspekte ist der auch heute noch stattfindende „Strukturwandel“ im Ruhrgebiet von einem (alten) Schwerindustrieraum zu einem (neuen) modernen Dienstleistungsraum (Tertiärisierung).

### 3.8 Nach dem Abbau der Kohle (Bergsenkung und „Altbergbau“)

Die Folgen des Bergbaus an der Tagesoberfläche waren im Ruhrrevier neben den Halden vor allem die Bergsenkungen, die örtlich bis zu 20 m erreichen konnten. Straßen und Kanäle wurden umgebaut und repariert, Flüsse (Emscher, Lippe, Rhein) wurden eingedeicht, große Gebiete gepoldert. Die Art der Bergsenkungen und der damit verbundenen weiteren Schäden hängt auch von der geologischen Beschaffenheit des Deckgebirges ab: In großen Teilen des Ruhrreviers „federt“ die mächtige Kalk-Mergelschicht der Kreide die Senkungsbewegungen so ab, dass sie an der Tagesoberfläche vielfach nur als flache Verkippungen wirksam werden. An einzelnen tektonischen Störungen im Deckgebirge können sich die Bewegungen hier jedoch auch bruchhaft als Spalten oder Erdstufen auswirken. Anders ist es bei weniger stabilem oder fehlendem Deckgebirge wie im westlichen Ruhrrevier und am Niederrhein sowie – früher – im südlichen Ruhrrevier. Hier treten verschiedenste Formen von sogenannten „Bergschäden“ als Zerrungen, Pressungen, Spalten und Erdstufen auf. Etwa 5 Jahre nach dem Abbau klingen solche Bewegungen an der Tagesoberfläche aber im Allgemeinen erfahrungsgemäß aus. Erst wenn Bergwerke dann stillgelegt und im mittleren und nördlichen Ruhrrevier erst in weiterer Zukunft geflutet werden, treten wiederum leichte Bewegungen, nämlich Hebungen im cm- bis dm-Bereich auf.

Im südlichen Ruhrrevier, wo das Steinkohlengebirge zutage tritt, sind immer wieder Absenkungen oder gar offene Löcher im Erdboden zu beobachten. Auch sie hängen mit dem Bergbau zusammen, der in diesen Fällen allerdings meist Jahrzehnte oder Jahrhunderte zurückliegt. Die Ursache sind Hohlräume in alten nur lose oder gar nicht verfüllten Schächten oder Abbauen in Flözen mit steiler Lagerung. Diese Hohlräume bleiben lange erhalten, brechen aber immer wieder an der Decke ein und wandern so im Laufe vieler Jahre nach oben bis zur Erdoberfläche. Diese „Tagesbrüche“ markieren häufig den Verlauf abgebauter Flöze, zumal auch die einbruchgefährdeten kleinen alten Schächte meistens in unmittelbarer Nähe der früheren Flözabbau angelegt worden waren.

## 4 Hinweise zur Begründung und Gestaltung des geowissenschaftlich-naturwissenschaftlichen Unterrichts

Ist das Thema Steinkohle unter vorwiegend naturwissenschaftlicher Betrachtung auch ein legitimes Thema der Erdkunde in der Sekundarstufe II der Gymnasien und Gesamtschulen nach den Richtlinien und Lehrplänen („RLuLP“) 1999 in Nordrhein-Westfalen? Was geben diese durch das Ministerium für Schule und Weiterbildung herausgegebenen RLuLP (s. im Folgenden!) den Lehrenden in der gymnasialen Oberstufe vor?

„Das Schulfach Erdkunde ist zwar dem gesellschaftswissenschaftlichen Aufgabenfeld zugeordnet, es weist aber auch inhaltliche und methodische Elemente des naturwissenschaftlichen Aufgabenfeldes auf.“ Der Lehrplan Erdkunde sieht in den

Aufgaben und Zielen des Faches (RLuLP: 5 ff.) die Erdkunde also als „Integrationsfach mit gesellschaftlichen, aber auch naturwissenschaftlichen Elementen“. Naturwissenschaftliches und geisteswissenschaftliches Denken und Arbeiten sollen miteinander verbunden werden. In der Zuordnung von Themen und Gegenständen zu den Bereichen des Faches fällt allerdings in § 2.2.1 auf, dass naturwissenschaftliche Aspekte des Faches in den festgelegten obligatorischen und fakultativen Inhaltsfeldern I, II und III praktisch nicht vorkommen. Nur im Inhaltsfeld I („Raumstrukturen und raumwirksame Prozesse in der Wechselwirkung von natürlichen Systemen und Eingriffen des Menschen“) und „aus dem Wissen, dass natürliche Grundlagen nicht vermehrbar und leicht zu gefährden sind“ in der Intention „sich der Zielkonflikte bewusst“ zu werden, „die mit dem Eingriff des Menschen verbunden sein können und daraus die Notwendigkeit für ökologisch verträgliches Handeln ableiten“ – begegnen uns thematische Bausteine aus den Geowissenschaften:

- Ia. Wassernutzung und Landschaftshaushalt in verschiedenen Klimazonen
- Ic. Böden für nachhaltiges Wirtschaften
- Id. Ursachen und Folgen von Eingriffen in geökologische Kreisläufe
- Ii. Veränderung von Lebensräumen durch endogene und exogene Kräfte
- Ij. Klima- und Vegetationszonen in ihrer unterschiedlichen Bedeutung für die Entwicklung von Räumen

In allen thematischen Bausteinen ist der Mensch und nicht die Naturgeografie das Zentrum des geografischen Geschehens (Sozialgeografie, Wirtschaftsgeografie, sonstige humangeografische Richtungen), um das sich die anderen GEO-Aspekte zu drehen haben. Obligatorisch sind die Bausteine Id, e, g, j. Endogene und exogene Kräfte sind nur fakultativ. Geologische (naturwissenschaftliche) Bereiche gehören in der Regel nicht zum Unterricht.

Fachkonferenzen und Fachlehrer/-innen haben allerdings einen gewissen Spielraum – der durchaus auch genutzt wird/werden kann – um vor allem in den nicht abiturprüfungsrelevanten Stufen 11.1. – 11.2 Kurs- und Unterrichtsthemen/-sequenzen entsprechend einzurichten.

Erdkunde in der Schule ist also vornehmlich Anthropogeografie. Es bleibt zu hoffen, dass in Zukunft geowissenschaftliche Fächer/Themen vom Unterricht nicht generell ausgeschlossen bleiben, sondern aus konkreter Relevanz die naturwissenschaftliche Seite der Erdkunde als Kunde von der Erde den ihr gebührenden Platz einnimmt. Am Beispiel der Steinkohle lässt sich die enge Vernetzung der anthropogeografischen und geowissenschaftlichen Aspekte exemplarisch gut offenlegen.

#### 4.1 Exkursionen, Museen etc.

Insbesondere im südlichen Ruhrgebiet (300 km<sup>2</sup>, ohne mächtigeres Deckgebirge) kann die unmittelbare Umgebungsgeologie um Schule und Wohngebiete der Schüler erarbeitet werden. Das vertraute Umfeld wird somit auch auf die Geologie, die Flöze und Sandsteine ausgeweitet. Zu einer ersten Orientierung ist hierfür die amtliche Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000 nützlich, die vor allem den Bereich nördlich der Ruhr abdeckt. Karten in größerem Maßstab stellt gegebenenfalls auch der Geologische Dienst NRW auf Nachfrage zur Verfügung (s. Kap 4.2).

Darüber hinaus sind auch kleinere oder größere Exkursionen zu bekannten geologischen Aufschlüssen zu empfehlen, die recht vollständig in dem jüngst erschienenen Führer des GeoParks Ruhrgebiet anschaulich beschrieben sind (MÜGGE & WREDE & DROZDZEWSKI 2005). Klassische Ziele dieser Art sind der Geologische Garten Bochum, die Zeche Nachtigall und das Mutten-tal südlich von Witten oder die Felsen an der Kampmannsbrücke in Essen. Hier und in zunehmender Zahl auch an anderen Aufschlüssen wird die Geologie auf Tafeln im Gelände erläutert.

Steinkohle geologisch informativ sind auch Besuche des RuhrMuseums in Essen und des Bergbau-Museums in Bochum. In letzterem erfährt man auch alles über den in diesem Text nur gestreiften Bergbau.

#### 4.2 Materialzusammenstellung

##### Zusammenstellen einer „Steinsammlung“

Sofern nicht ohnehin in einem verstaubten Winkel noch eine der früher im Ruhrgebiet häufigen Sammlungen vorhanden ist, findet man typische Gesteine des Steinkohlegebirges auch an zahlreichen Stellen im Ruhrtal:

- verschiedene Sandsteine mit meist gelber bis grauer Färbung. Sie sind entweder massig, grobkörnig bis etwas konglomeratisch, zum Teil mit kohligem Einschlüssen oder plattig und feinkörnig.
- graue Siltsteine
- dunkle Tonsteine
- fein gebänderte Wechsellagerung von dünnen (wenige mm bis cm) Bändern aus dunklem Tonstein und hellerem Siltstein bis Sandstein. Er entspricht dem im Bergbau oft als „Sandschiefer“ bezeichneten Gestein.
- Kohle findet man seltener im Gelände, hier könnte man sich auch an die noch fördernden Zechen wenden.
- Fossilien finden sich vor allem in den feinkörnigen Gesteinen, mitunter aber auch in den Sandsteinen.

Geologische Beschreibungen des Ruhrgebiets sowie geologische Karten in verschiedenen Maßstäben (1 : 100 000, 1 : 25 000 sowie 1 : 10 000) und Vertikal-Schnitte durch das Steinkohlengebirge (s. Abb. 4) erschließt man sich am besten über den Produktkatalog des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen (<http://www.gd.nrw.de>, Geologische Karten und Rohstoffkarten). Weitere Veröffentlichungen sind im Literaturverzeichnis angegeben.

Raumbilder des Steinkohlengebirges in geometrisch etwas generalisierter Form als 3D-Daten aus einem früheren Projekt zur Kohlenvorratsberechnung liegen zusammenhängend für die meisten Lagerstättenteile der bis ca. 1980 aktiven Bergwerke vor (JUCH et al. 1994). Mittels entsprechender Visualisierungsprogramme (z. B. vrl aus dem Internet) können mit diesen Daten auch bewegte (zoomen, drehen) 3D-Bilder des Steinkohlengebirges erzeugt werden (Abb. 6).

## 5. Anhang

### (zu Kap 3.1 – 3.8)

Etlliche der im vorangegangenen Text nur kurz gestreiften Einzelthemen könnte man im Unterricht auch als in sich geschlossene Projekte behandeln. Ihre ausführlichere Darstellung ist in dieser Veröffentlichung – bis auf wenige Ausnahmen – nicht möglich. Um jedoch einen ersten Ansatz für eine möglicherweise im Laufe der Zeit wachsende Materialsammlung zu bieten, werden die nicht ausführlich dargestellten Themen zumindest stichwortartig benannt. Häufig gibt es hierüber auch eine ältere, allgemeinverständliche Literatur.

Darüber hinaus werden in diesem Kapitel Hinweise auf einige neuere Erkenntnisse und Sachverhalte gegeben, die in den allgemein zugänglichen Medien oder in der Literatur nicht so leicht zu beschaffen oder in dem hier gewählten Zusammenhang nicht angemessen dargestellt sind

### 5.1 Zyklizität der flözführenden Ablagerungen

Nach jüngsten Erkenntnissen treten in der gesamten Erdgeschichte global und periodisch eustatische Meeresspiegelschwankungen auf. Sie werden durch klimatisch wirksame orbitale Schwankungen gesteuert (Milankovitch-Theorie). Die Änderungen des Meeresspiegels in Beträgen von mehreren Zehner- bis über hundert Metern und in zeitlichen Intervallen von ca. 100 000 Jahren führten wiederholt und großflächig zu relativ einheitlichen Ablagerungs- oder Moorwachstumsbedingungen im gesamten Raum (Parasequenzen nach der Sequenzstratigrafie). In den dazwischen liegenden Zeiträumen steuerten autozyklische Prozesse Überschwemmung, Moorbildung und sedimentäre Ablagerung. Dabei spielten neben der großräumigen Beckenabsenkung die örtliche Dynamik der Flüsse und ihrer benachbarten Überschwemmungsebenen sowie die damit verbundenen weiteren Landschaftsteile die entscheidende Rolle.

### 5.2 Beschaffenheit der Kohle

Chemisch besteht die Kohle hauptsächlich aus ringförmigen (hexagonalen) Kohlenwasserstoffen (Aromaten), physikalisch (strukturell) aus monomolekularen Lagen. Ihr Aggregatzustand unterscheidet sich daher von dem der meisten anderen festen mineralischen Bestandteilen der Erdkruste, wie zum Beispiel Quarz ( $\text{SiO}_2$ ) in entscheidender Weise: Aus der chemischen Zusammensetzung lässt sich kein eindeutiges physikalisches Verhalten der Kohle ableiten und berechnen, was für ihre praktische technische Nutzung (Verbrennung, Verkokung) von entscheidender Bedeutung war und ist. (Dies hängt mit der klassischen Einteilung der Chemie in einen organischen und einen anorganischen Zweig zusammen.) Die hierdurch bedingten chemisch-physikalisch komplexen Zusammenhänge bei der Kohle wurden mittels umfangreicher technischer Versuche und Analysen untersucht. Die Folge sind eine Reihe verschiedener Merkmale und Klassifikationskriterien, die für die Beurteilung der technischen Nutzung der Kohle unverzichtbar sind. Die einzelnen Kriterien und Merkmale lassen sich abhängig von ihrer geologischen Entstehung in drei Hauptgruppen zusammenfassen:

Kohlen entstehen aus unterschiedlichen pflanzlichen Bestandteilen des Torfs. Man kann oft schon makroskopisch in einem Flöz verschiedene Lagen („Streifen“) von Glanzkohle, Mattkohle und Faserkohle erkennen. Mithilfe mikroskopischer Bildanalysen lassen sich die Kohlenarten noch weiter differenzieren („Mazerale“) und auf Holz, Blattreste und Sporen, Samen oder Pilze zurückführen. Dabei sind jedoch noch nicht alle Ursprünge wissenschaftlich eindeutig geklärt. Auch muss man mit zersetzten Pflanzenmaterialien rechnen, die bei niedrigem Wasserstand oder Bränden im Moor entstanden sind. Neben diesen als Humuskohle zusammengefassten Kohlenarten gibt es – seltener – auch die sogenannte „Kennelkohle“, die ohne Streifen homogen aufgebaut ist und auf Faulschlammablagerungen zurückgeführt wird.

Weitere Bestandteile der Kohle beruhen auf den kohlenstofffreien „mineralischen“ Anteilen der Pflanzen und Fremdeinträgen (Staub, Salzwasser nach Meeresüberflutung) in das Moor. Bei der industriellen Kohlenanalyse werden sie vor allem als „Asche“, Schwefel und Phosphor gemessen, da genaue Kenntnis dieser Parameter für die technische Weiterverarbeitung der Kohle (z. B. Verbrennung) sehr wichtig ist. Dazu kommt der schon makroskopisch erkennbare „Berge“-Anteil eines Flözes, der auf kurzfristige Überflutungen mit Ton- oder Sandablagerungen oder – seltener – vulkanische Aschen zurückzuführen ist.

Die Gliederung in Kohlenarten mit unterschiedlicher „Reife“, bedingt durch den geologischen Prozess der Inkohlung, ist für die Umwandlung der Kohle zu Koks die wichtigste Einteilung der Kohle.

### 5.3 Inkohlung

Sie spiegelt vor allem die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe wider. Nach jüngeren Erkenntnissen herrschten bei der Ablagerung der Steinkohle-Schichten des Ruhrkarbons hier ähnliche Erdtemperaturen wie heute mit einer Zunahme von 3 °C/100 m vor.



Bei diesem physikalisch-chemisch komplexen Prozess der Abgabe von Wasser und Anreicherung von Kohlenstoff entstanden aus dem Torf der früheren Moore die bekannten Kohlengruppen mit unterschiedlicher „Reife“ (von oben nach unten): Die Unterschiede zwischen den einzelnen Kohlenarten sind fließend. Stofflich wichtigste Unterscheidungskriterien sind der Kohlenstoff- und Wasseranteil (Abb. 7). Da ihre genaue Bestimmung mit den früheren Analysemethoden recht aufwendig war, wurde in der Praxis vor allem der Anteil der „Flüchtigen Bestandteile“ bestimmt: Er wird gemessen in % des Gases, das bei der Erhitzung einer Kohlenprobe unter Luftabschluss auf 900 °C frei wird, und bezieht sich auf den wasser- und aschefreien Kohlenanteil. Mit zunehmender Reife der Kohle nimmt der Anteil der flüchtigen Bestandteile ab. Seine

Bestimmung ist – neben einem anderen technischen Kriterium, dem Schmelzverhalten der Kohle – für die Kennzeichnung ihres Verkokungsverhaltens wichtig. Koks wird insbesondere für den Verhüttungsprozess, die Herstellung von Eisen aus Eisenerz, benötigt und vor allem aus Fettkohle erzeugt. Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung des Inkohlungsgrades ist die Messung des Reflexionsvermögens der Kohle von Licht unter dem Mikroskop. Da man mit diesem Verfahren den Inkohlungsgrad auch kleiner Kohlepartikel im Gestein exakt analysieren kann, ergänzt es die übrigen Analyse-möglichkeiten vor allem bei der Erkundung von Kohle- sowie Erdöl- und Erdgaslagerstätten.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Heizwert der Kohle für ihre Verwendung als Brennstoff im Kraftwerk. Er dient zwar weniger zur Bestimmung des Inkohlungsgrades, ist aber generell mit ihm korreliert.

Im Verlauf des chemisch-physikalischen Umwandlungsprozesses während der geologischen Entwicklung beeinflussten sich die genannten Kriterien und Merkmale auch gegenseitig. Solche Abhängigkeiten können auch für die technische Nutzung der Kohle eine wichtige Rolle spielen. So ist zum Beispiel die Kohle eines Flözes unter einem „marinen“ Horizont oft recht schwefelreich und wenig oder nur in Mischung mit schwefelärmer Kohle nutzbar. Mit Schließung der meisten Kokereien im Ruhrgebiet sank auch die große Bedeutung der früher für viele Zechen wirtschaftlich wichtigen Fettkohle erheblich (Tab. 1).

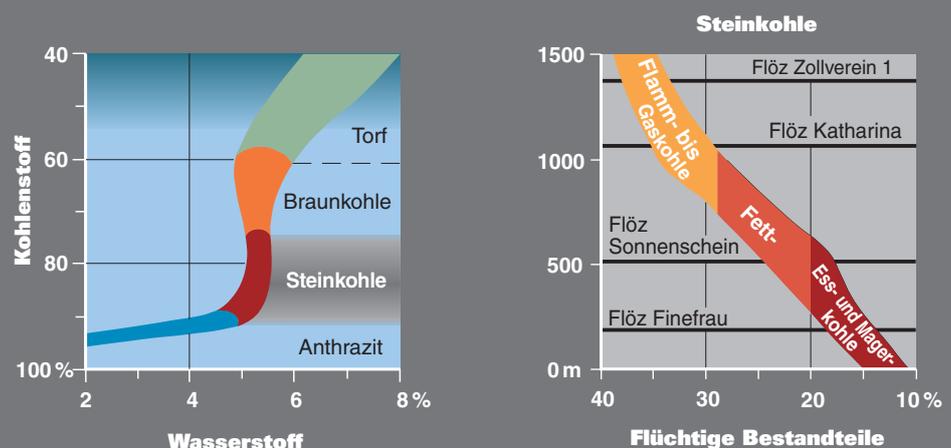


Abb. 7: Diagramme zur Inkohlung

a: Verhältnis zwischen Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) der gesamten „Inkohlungsreihe“ vom Torf zum Anthrazit (Werte aus verschiedenen Quellen)

b: Zunahme der Inkohlung von oben (jüngere Flöze) nach unten (ältere Flöze) in einem größeren Gebiet zwischen Dortmund und Haltern

Eingetragen sind einige wichtige Flöze mit ihren (bankrechten) Abständen [m] voneinander. Die Inkohlung wird in Form der „Flüchtigen Bestandteile“ (% FB) gemessen und weist in den einzelnen Flözen jeweils Schwankungen von 5 % auf, bedingt durch die Lage in unterschiedlichen tektonischen Strukturen (Sätteln und Mulden; vereinfacht nach JUCH 1991)

## 5.4 Tektonik

### (bewegte Zeiten in NRW:

#### Lagerungsverhältnisse, Falten, Störungen)

Die drei verschiedenen Tiefentektonik-Veröffentlichungen des Geologischen Dienstes NRW (DROZDZEWSKI et al. 1980, 1985; KUNZ et al. 1988) enthalten zahlreiche große bunte Tafeln mit anschaulichen Serien von farbigen Vertikalschnitten durch die Falten des Ruhrkarbons und der anderen westdeutschen Steinkohlenreviere. Auch die PC-gestützten 3D-Raumbilder (vgl. Kap 4.2!) können leicht zum besseren Verständnis der tektonischen Verhältnisse beitragen!

## 5.5 Grubengas/Methan

(nach JUCH & BOCK 2005)

### a) Das geologisch vorhandene Gaspotenzial

#### im Steinkohlengebirge

Das im Karbon im Rahmen der Beckenversenkung und des Inkohlungsprozesses entstandene Methan wurde vor allem während der variszischen Auffaltung (vor ca. 300 Mio. Jahren), aber auch bei späteren tektonischen Bewegungen zu ca. 99 % wieder an die Atmosphäre gegeben. Trotzdem sind in den Flözen und im Nebengestein des Ruhrkarbons noch ca. 500 – 1000 km<sup>3</sup> Gas verblieben, von denen erst 100 km<sup>3</sup> durch den Bergbau freigesetzt worden sind. Aus dem Abbau und der modernen Exploration ist im Steinkohlengebirge eine äußerst unregelmäßige natürliche Verteilung der spezifischen Gasinhalte der Kohle bekannt.

### b) Grubengasnutzung aus aktiven und stillgelegten Bergwerken

In den letzten Jahren wurde die hohe Klimaschädlichkeit des Methans (ca. 23 mal so hoch wie CO<sub>2</sub>) erkannt und öffentlich diskutiert. Mit ca. 800 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr verursacht derzeit das Methan aus dem Grubengas ca. 10 % der gesamten CH<sub>4</sub>-Emissionen in Deutschland. Dieser Anteil lässt sich mittels einer höheren Nutzung der abgesaugten Grubengase reduzieren, die ca. 1/3 des gesamten im Grubengas anfallenden CH<sub>4</sub>-Volumens enthalten. Im Saarland und in Ibbenbüren ist dieses Potenzial (ca. 150 bzw. 80 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr) an abgesaugtem Methangas durch eine 90-prozentige Nutzung weitgehend ausgeschöpft.

Im Ruhrrevier hingegen, wo im aktiven Bergbau ca. 100 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr Methan abgesaugt werden, war bis vor wenigen Jahren eine solche Verwertung eher die Ausnahme und lag bei ca. 20 %. Dies hängt mit den anderen Lagerstättenverhältnissen und einer inhomogen gewachsenen industriellen Infrastruktur zusammen, wodurch hier ein höherer und meist unwirtschaftlicher technischer Aufwand zur stärkeren Grubengasnutzung nötig gewesen wäre.

Auch die aus den stillgelegten Bergwerken in die Atmosphäre austretenden Gase mit einem für das Ruhrrevier grob geschätzten Methanvolumen von ca. 200 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr wurden in der Vergangenheit aus wirtschaftlichen Gründen nur sehr selten genutzt.

Die Randbedingungen für die Grubengasnutzung verbesserten sich im Jahr 2000 mit der Aufnahme des Grubengases in das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) erheblich. Die Aufnahme wurde mit dem hohen durch seine energetische Verwertung erreichbaren Klimaschutzeffekt begründet. Seitdem entwickelte sich vor allem im Ruhrrevier ein kleiner neuer Industriezweig. Ausgehend von in der Deponiegastechnik entwickelten Modulen zur Stromerzeugung beziehungsweise kleinen Blockheizkraftwerken (BHKW) hat die CH<sub>4</sub>-Nutzung aus stillgelegten Bergwerken inzwischen (Stand 2005) 170 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr erreicht. Die Grubengasverwertung aus den im Ruhrrevier noch aktiven Bergwerken wurde auf 80 Mio. m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Jahr gesteigert.

Insgesamt erreichen derzeit (2006) im Ruhrrevier an fast 40 verschiedenen Standorten ca. 120 Anlagen/BHKW-Module mit einer installierten Leistung von 160 MW eine Jahresstromproduktion von 880 GWh (880 Mio. kWh). In kleinerem Umfang wird auch die bei der Verstromung anfallende Wärme genutzt, was jedoch nicht durch das EEG unterstützt wird. Neben einigen kleineren Unternehmen, die vor über 5 Jahren mit der Grubengasnutzung aus stillgelegten Bergwerken begonnen hatten, und den Stadtwerken Herne wird die Grubengasgewinnung und -verwertung vor allem von den Unternehmen Minigas und Minegas betrieben, die zur STEAG gehören.

(Weitere aktuelle Informationen finden sich u. a. in der Grubengasbroschüre der Landesinitiative Zukunftsenergien (2003) und in der Zeitschrift „Glückauf“ vom Januar 2006!)

Tabelle 1

	Flüchtige Bestandteile	Heizwert Kj/g	Kohlenstoff %	Wasser %
Braunkohle	60 – 70	7 – 15	60 – 65	30 – 60
Flammkohle	35 – 42	26 – 31	77 – 86	8 – 10
Gaskohle	28 – 35	28 – 32	84 – 89	6 – 8
Fettkohle	20 – 28	29 – 33	87 – 91	4 – 6
Esskohle	14 – 20	29 – 33	89 – 92	2 – 4
Magerkohle	10 – 14	29 – 33	89 – 93	< 2
Anthrazit	< 10	29 – 33	> 90	< 1

## 5.6 Weitere Einzelthemen

### a) Zeugen des Vulkanismus im Karbon

Die Kaolinkohlentonsteine sind meist cm-dünne mineralische Lagen, die sich oft in der Kohle finden und aus vulkanischen Aschen entstanden. Ca. 40 von ihnen wurden im Ruhrkarbon festgestellt. Als mineralogisch und zeitlich eindeutig definierte Objekte sind sie die sichersten, allerdings nur durch Experten erkennbaren Leithorizonte. Aufgrund ihrer besonderen mineralogischen Zusammensetzungen liefern sie mitunter das Material zur Bestimmung des absoluten Alters mithilfe physikalischer Verfahren.

### b) Eisenerz und Kohle

Über 15 Flöze, vor allem in den älteren Schichten im südlichen Ruhrrevier, haben hohe, örtlich stark wechselnde Eisengehalte (bis zu 50 %) und werden als Eisensteinflöze bezeichnet. Früher wurden sie als Eisenerz zur Verhüttung abgebaut (Höchstförderung 1865 mit 365 000 t/Jahr).

## 6 Literatur – Quellenverzeichnis

### 6.1 Literatur

- DEGE, W. (1976): Das Ruhrgebiet. – 167 S., 52 Abb., 22 Tab.; Kiel (Hirt).
- Deutsche Stratigraphische Kommission [Hrsg.] (2006): Stratigraphie von Deutschland, V. – Das Oberkarbon (Pennsylvanium) in Deutschland. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **254**: 477 S., 120 Abb., 18 Tab., 8 Taf.; Frankfurt/Main.
- DROZDZEWSKI, G.; BORNEMANN, O.; KUNZ, E.; WREDE, V. (1980): Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons. – 192 S., 108 Abb., 7 Tab., 31 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- DROZDZEWSKI, G.; ENGEL, H.; WOLF, R.; WREDE, V. (1985): Beiträge zur Tiefentektonik westdeutscher Steinkohlenlagerstätten. – 263 S., 149 Abb., 33 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- DROZDZEWSKI, G.; WREDE, V. (1994): Faltung und Bruchtektonik – Analyse der Tektonik im Subvariscikum. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **38**: 7 – 187, 101 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- GRABERT, H. (1998): Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen. – VII + 351 S., 204 Abb., 11 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- KERSTING, R.; PONTHÖFER, L. (1990): Wirtschaftsraum Ruhrgebiet. – 160 S.; Berlin (Cornelsen & Schroedel).
- KUNZ, E.; WOLF, R.; WREDE, V. (1988): Ergänzende Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons. – 64 S., 22 Abb., 3 Tab., 16 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- HAHNE, C.; SCHMIDT, R. (1982): Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. – 106 S., 88 Abb., 11 Tab., 1 Taf.; Essen (Glückauf).
- HESEMANN, J. (1975): Geologie Nordrhein-Westfalens. – 416 S.,

255 Abb., 122 Tab., 11 Taf.; Paderborn (Schöningh).

- JUCH, D. (1991): Das Inkohlungsbild des Ruhrkarbons – Ergebnisse einer Übersichtsauswertung. – Glückauf-Forsch.-H., **52**: 37 – 47, 9 Abb.; Essen.
- JUCH, D.; ROOS, W.-F.; WOLFF, M. (1994): Kohleninhaltsaufnahme in den westdeutschen Steinkohlenlagerstätten. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **38**: 189 – 307; Krefeld.
- JUCH, D.; BOCK, J. (2005): Zukunftsperspektive Grubengas? Skizze einer überraschenden Entwicklung im Ruhrrevier. – Bergbau, **56**: 16 – 23.
- KUKUK, P. (1938): Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen-Steinkohlengebietes. – 706 S., 743 Abb., 48 Tab., 14 Taf.; Berlin.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (1999): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II – Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Erdkunde. – In: Schr.-R. Schule in NRW, **4715**: 114 S., Düsseldorf.
- MÜGGE, V.; WREDE, V.; DROZDZEWSKI, G. (2005): Von Korallenriffen, Schachtelhalmen und dem Alten Mann. – Geologieführer für das mittlere Ruhrtal. – 160 S.; Essen (Klartext).
- PETRASCHECK, W. E. (1956): Kohle. – 104 S.; Berlin, Göttingen, Heidelberg (Springer).

### 6.2 Sonstige Quellen

<http://www.gd.nrw.de/>

<http://www.rvr-online.de/geopark/rubrikseiten/index.shtml>

[www.steinkohle-portal.de](http://www.steinkohle-portal.de)

<http://www.gvst.de/site/bildungsmedien/bildungsmedien.htmplanetwissen>, Claudia Kracht

FWU – CD-ROM, Erlebnis Erde: Erdgeschichte (66 00140)

**Zusammenfassung:**

Mithilfe einer tabellarischen Übersicht zu den thematischen Schwerpunkten, Arbeitsweisen und Methoden sowie zu Leitmedien und Lehrmaterial wird der Themenbereich Bodenkunde so aufbereitet, dass Lehrende an gymnasialen Oberstufen einen geeigneten Einstieg in dieses komplexe Thema erreichen können (Tab. 1). Zentrales Teilstück dieses Kapitels und des bodenkundlichen Unterrichts ist eine gut vor- und nachzubereitende bodenkundliche Exkursion. An Beispielen wird erläutert, worauf dabei zu achten ist und welche Themenbereiche im Rahmen der Exkursion aufgegriffen werden können. Vordrucke zur Beschreibung von Böden und zur Aufnahme der Vegetation sowie eine Reihe von Tabellen werden als Anlage beigefügt und erleichtern die Arbeit. Eine Auflistung hilfreicher Internetadressen rundet das Thema ab.

**Einleitung**

Die Auseinandersetzung mit dem Themenbereich Bodenkunde in der Sekundarstufe II (gemäß den Richtlinien und Lehrplänen Erdkunde NRW: Inhaltsfelder I c, d, e, „Boden als bedrohtes und im Interesse nachhaltiger Entwicklung schutzwürdiges Gut“) (Tab. 1) ermöglicht einen interdisziplinären Unterricht sowie Interaktionen mit außerschulischen Einrichtungen. Neben dem Unterrichtsfach Erdkunde/Geografie sind die Fächer Chemie, Physik und Biologie angesprochen und können projektorientiert, thematisch und zeitlich abgestimmt an konkreten Aufgabenstellungen gemeinsame Lernziele erreichen. Die im Folgenden beschriebene Unterrichtsreihe wurde und wird in der vorgestellten Form regelmäßig durchgeführt.

**Inhalt:**

- Einleitung
- Einführung in das Thema  
Bodenkunde im Unterricht
- Bodenkundliche Exkursion
- Einleitung
- Regionaler Bezug
- Vorbereitung
- Exkursion
- Exkursionspunkt 1
- Exkursionspunkt 2
- Exkursionspunkt 3
- Abschlussdiskussion im Gelände
- Nachbereitung  
Nachbesprechung der Exkursion und  
Vertiefung des Themas im Unterricht

**Anschrift der Autoren:**

GABRIELE LECHTENBÖHMER,  
VOLKER LEIST,  
HERBERT RAHN  
Gesamtschule Kaiserplatz  
Kaiserplatz 50, 47800 Krefeld

Dipl.-Ing. agr. Dr. GERHARD MILBERT  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –  
De-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld

### Einführung in das Thema Bodenkunde im Unterricht

Zur Einführung in das Thema Bodenkunde bietet sich als thematischer Schwerpunkt die Landschaftsprägung durch Naturfaktoren und Menschen an einem Beispiel aus dem näheren Umkreis der Schule an. Dabei sollten die Schüler/-innen die Auswertung von Schrägluftbildern und aktuellen Karten möglichst aus dem Schulumfeld üben und Vergleiche mit älteren Karten anstellen. Die Zusammenstellung eines Beschreibungsvokabulars ist sinnvoll. Erste Fragestellungen und Hypothesen werden formuliert.

Die Schüler/-innen erkennen Boden als bedrohtes und im Interesse nachhaltiger Entwicklung schutzwürdiges Gut, erkennen die weltweite Bodendegradation und das Ausmaß der weltweiten Zerstörung. Sie vergleichen verschiedene landwirtschaftliche Nutzungssysteme und ihre Gefährdungspotenziale und sie erkennen den Zusammenhang zwischen Landwirtschaft und Grundwasserqualität. Schließlich können Sie an dieser Stelle über den ökologischen Landbau diskutieren oder Regelkreise zum System Boden erstellen.

Um die Schüler/-innen hinreichend auf eine Exkursion vorzubereiten, sollten ihnen die Grundlagen der Bodenbildung bekannt gemacht werden (Abb. 8). Dazu gehören Kenntnisse über die physikalische und chemische Verwitterung, über Tonminerale und über die Humusbildung. Auch erste Informationen über die Bodenarten Sand, Schluff und Ton (Anlage 4, 5, Abb. 9) können in dieser Vorbereitungsphase gegeben werden. Dabei setzen sich die Schüler/-innen eingehend mit Grafiken verschiedenster Arten auseinander (Abb. 8 – 11). Sie können üben, die kausalen und funktionalen Beziehungen zwischen einzelnen Elementen der grafischen Darstellungen (z. B. aus Lehrbüchern oder aus dem Internet) herzustellen.

Je nach Terminierung der Exkursion werden die Themen Porenvolumen (Abb. 10), Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt (Anlage 7), pH-Wert und Nährstoffhaushalt (Anlage 8, 9) vor oder nach der Exkursion – die zentralen Element des bodenkundlichen Unterrichts ist – näher erläutert. Es empfiehlt sich, im Vorfeld Protokollanten für die Exkursion festzulegen, um – neben den individuellen Aufzeichnungen der Schüler/-innen – eine einheitliche Grundlage für die Nachbesprechung zu schaffen.

### Bodenkundliche Exkursion Einleitung

Exkursionen schaffen eine besondere Lernatmosphäre. Eine gute Vor- und Nachbereitung vorausgesetzt, versprechen Exkursionen einen hohen Lernerfolg. Eher theoretisch angeeignetes Wissen kann angewendet und umgesetzt werden, Material aus der Natur kann gesammelt, beschrieben und anschließend in der Schule analysiert und aufbereitet werden. Bei Exkursionen bietet sich leicht die Möglichkeit vom bisher erlebten Unterrichtsgeschehen abzuweichen und die Schüler/-innen in kleinen Arbeitsgruppen oder einzeln zur Lösung von praktischen Aufgaben hinzuführen.

### Regionaler Bezug

Wir empfehlen die Auseinandersetzung mit Böden im näheren Umkreis (20 km Radius) der Schule. Eine schulnahe Exkursion ist einfacher zu organisieren und häufig sind die Exkursionspunkte mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu erreichen. Die Schüler/-innen verfügen bereits über Ortskenntnisse und sind eher motiviert sich mit der Landschaft in der Umgebung ihres Heimatortes auseinanderzusetzen. Allerdings kann eine Exkursion in weiter entfernte Landschaften im Rahmen eines mehrtägigen Projektes ebenfalls sinnvoll sein.

### Vorbereitung

Eine erfolgreiche bodenkundliche Exkursion muss gründlich vorbereitet werden. Dazu gehört eine Einführung in die regionale Gewässerkunde (Oberflächengewässer, Grundwasser), Klima, regionale Geologie und Bodenkunde mithilfe thematischer Karten:

- Einarbeitung in die erforderlichen topografische Karten im Maßstab 1 : 25 000 und 1 : 5 000
- Vergleich mit älteren topografischen Karten des gleichen Gebietes zur Abschätzung von anthropogenen Veränderungen (Uraufnahme, Tranchotkarte)
- Auseinandersetzung mit thematischen Karten zu Klima, Geologie und Boden des Exkursionsraumes sowie mit entsprechenden statistischen Daten zur Bodennutzung, Siedlungsdichte und vielem mehr

Statistische Daten sind heute in digital vorgehaltenen Datenbeständen der Gemeinden und Kreise über Internet erhältlich (digitale statistische Jahrbücher). Auch Kartenwerke können heute in digitaler Form bezogen werden (zuständige Vermessungsämter, Katasterämter). Die Nutzung digitaler Flächendaten (Informationssysteme) führt die Schüler/-innen bereits in dieses immer wichtiger werdende Medium ein. In diesem Fall muss ein Farbdrucker (DIN A3) verfügbar sein, um Kartengrundlagen für die Geländearbeit herzustellen.

Für eine bodenkundliche Exkursion ist die richtige Geländeausstattung (Abb. 1 – 3) wichtig. Hierzu gehört die passende Kleidung wie Wanderschuhe oder kräftige Turnschuhe, Regenzeug, Oberbekleidung mit langen Ärmeln und lange Hosen aus kräftigem Gewebe, um gegen Brennnesseln, Brombeersträucher, Stechmücken, Zecken, für nassen Boden, steile Hänge und andere Gegebenheiten gewappnet zu sein.

Je nach Intensität der Geländearbeit ist die Geräteausstattung (Anlage 1) zu wählen. Die Zusammenarbeit mit geowissenschaftlichen Facheinrichtungen (Geologischer Dienst NRW, Uni-Institute, Planungsbüros) erleichtert die Arbeit und senkt die Kosten.

### Exkursion

Je nach Umfang sind 4 – 6 Stunden zuzüglich Anreise einzuplanen. Mai und Juni sind die günstigsten Exkursionsmonate. Die Vegetation mit ihrer Wechselbeziehung zum Boden kann im Mai und Juni am besten beschrieben werden. Der Boden ist noch ausreichend feucht und die Grundwasserstände sind typisch für die Vegetationsperiode. Bei der Auswahl möglicher Untersuchungsstandorte ist es sinnvoll, 3 – 5 sehr unterschiedliche Böden vorzusehen, die der betreuenden Lehrkraft bereits vorab bekannt sein sollten. Folgende Unterschiede sind wichtig: Bodenarten Lehm, Schluff, Sand und eventuell Ton; nährstoffarme und nährstoffreiche Böden; Böden mit und ohne



Abb. 1: Unentbehrliche Werkzeuge zur Bodenerkundung im Gelände: Schaufel, Spitzhacke und Spaten für Bodenaufgrabungen, Pürckhauer (Bohrstock) mit Ziehhaken und Hammer für Handbohrungen



Abb. 2: Nützliche Werkzeuge zum Arbeiten in der Bodenaufgrabung: Fotomaßstab (Messung der Bodentiefe), 10 %ige Salzsäure zur Feststellung des Kalkgehaltes, Kelle, Messer und Wurzelstecher zur Präparation der Stirnwand

Grundwassereinfluss, Böden mit und ohne Stauwassereinfluss; unterschiedliche Reliefpositionen. Eine Folge sehr ähnlicher Böden ist langweilig und für Lehrzwecke unergiebig. Eine erste Auswahl geeigneter Stellen erfolgt mithilfe von Bodenkarten oder durch Beratung.

In jedem Bundesland stehen Berater für bodenkundliche Fragen in Unterricht und Schule zur Verfügung ([www.uni-trier.de/ak-boden](http://www.uni-trier.de/ak-boden)). Die Nutzung gut dokumentierter und geeigneter Bodenaufgrabungen von Bodenlehrpfaden oder Naturerlebnispfaden vereinfacht die Durchführung einer Exkursion erheblich. Leider stehen bisher nur wenige geeignete Erlebnispfade zur Verfügung.

Im Folgenden sind drei geeignete Böden beispielhaft beschrieben: ein nährstoffarmer Boden aus Flugsand über Grundmoräne mit Sickerwassereigenschaften im oberen Bereich und Stauwassereigenschaften im unteren Bereich (Abb. 4); ein nährstoffarmer Sickerwasserboden aus Schmelzwasser-sand am Hang (Abb. 5); ein nährstoffreicher, kalkhaltiger Grundwasserboden aus Hochflutlehm in Tallage (Abb. 6).

Die ausgewählten Böden decken das Körnungsspektrum vom kiesigen Mittelsand bis zum tonigen Lehm, den Nährstoffhaushalt von nährstoffarm bis nährstoffreich und den Wasser-

haushalt von geringer Wasserspeicherkapazität bis zu zeitweiligem Wasserüberschuss durch Grund- oder Stauwasser ab. Bodenaufgrabungen müssen vor der Exkursion sorgfältig aufgefrischt werden, damit alle wesentlichen Bodenmerkmale bestimmt und beschrieben werden können. Es kann erforderlich sein, Bodenwasser abzuschöpfen oder abzupumpen, um wasserbeeinflusste Horizonte freizulegen.

Mithilfe der Fingerprobe üben Schüler/-innen die Bestimmung der Bodenarten (Anlage 4 u. 5). Zur Beschreibung von Boden und Vegetation verwenden sie die vervielfältigten Vordrucke (Anlage 2 u. 3.). Auch Fotos der Vegetation und der Böden erleichtern die spätere Nachbereitung der Exkursion.



Abb. 3: Utensilien zur Entnahme von Boden- und Wasserproben: Probentüten und Tütenverschlüsse, Flasche für Wasserproben, Permanentstreiber zur Beschriftung der Proben, Rollgläschen für die pH-Wert-Bestimmung, Spritzflasche und Probenbecher

## Exkursionspunkt 1

(Abb.4)

### Lernziele:

- Nutzung von Vordrucken zur Beschreibung von Böden und Vegetation (Anlage 2 u. 3)
- Horizonte an den unterschiedlichen Bodenfarben erkennen, Bodenarten bestimmen
- Einfluss der Bodenart auf den Wasserhaushalt kennen lernen (Wasserspeicherfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit)
- pH-Werte in verschiedenen Horizonten bestimmen
- die Humusaufgabe unter Waldbäumen kennen lernen
- Horizontbezeichnungen kennen lernen
- die Merkmale ‚Bodenart‘, ‚Bodenfarbe‘ und ‚Mächtigkeit der Horizonte‘ des Bodens beschreiben

## Exkursionspunkt 2

(Abb.5)

### Lernziele:

- Wie bei Exkursionspunkt 1 werden einfach bestimmbare Bodenmerkmale beschrieben.
- Unterschiede zu Punkt 1 herausarbeiten (Wasserhaushalt)
- Mithilfe eines 2-mm-Siebes wird der Anteil an Kies erfasst; die Erläuterung der eiszeitlichen Schmelzwasserablagerungen nimmt breiteren Raum ein.
- Vegetation erfassen (Anlage 3)

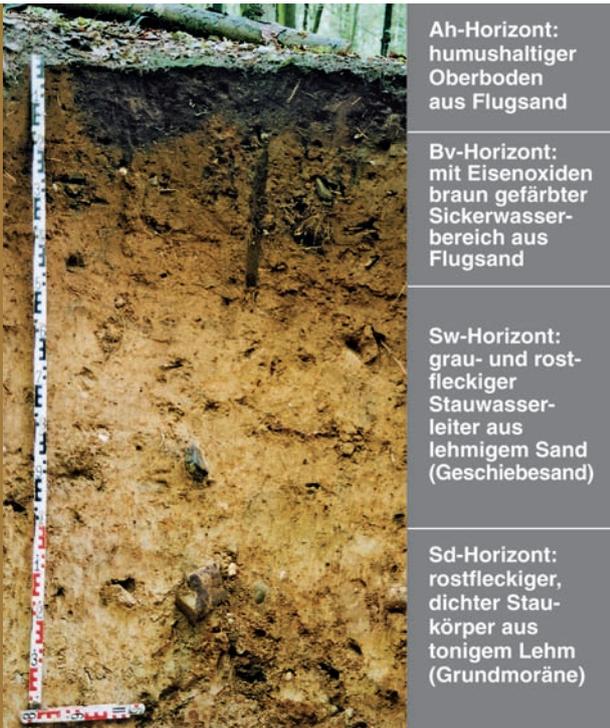


Abb. 4: Basenarme Pseudogley-Braunerde aus Flugsand über Geschiebedecksand und Grundmoräne



Abb. 5: Sehr basenarme Braunerde aus Schmelzwassersand

### Exkursionspunkt 3

(Abb.6)

#### Lernziele:

- Bodenbeschreibung wie Punkte 1 und 2
- Mithilfe von 10 %iger Salzsäure wird untersucht, welche Bodenhorizonte kalkhaltig sind.
- Die Bodenart der verschiedenen Horizonte wird bestimmt und die Unterschiede zu den anderen Bodenaufgrabungen werden diskutiert.
- Der Grundwasserstand wird gemessen.
- Die Vegetation wird aufgenommen. Die Unterschiede in der Vegetation und zwischen den Bodenmerkmalen und dem aktuellen Grundwasserstand sowie die Ursachen für die festgestellte Grundwasserabsenkung werden herausgearbeitet.
- Boden- und Pflanzenproben werden entnommen.

#### Abschlussdiskussion im Gelände

Als Resümee werden die Eigenschaften der drei verschiedenen Böden miteinander verglichen. Welche Bodeneigenschaften hat der Mensch verändert, wie wirken sich diese Veränderungen auf die Natur aus (z. B. auf Pflanzen)?

- kulturhistorische Nutzungsformen wie Heiden
- Grundwasserabsenkung (Entwässerung, Versiegelung, Grundwasserentnahme)
- Bodenverbrauch
- Bodenversauerung

#### Nachbereitung

- Labor: pH-Wert-Bestimmung in Salz- und Wassersuspension sowie Vergleich mit pH-Werten anderer Lösungen (Anlage 9); pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit in Bodenlösungen, im Stauwasser und im Grundwasser messen. Was sagen die Werte über die unterschiedlichen Böden aus?
- Biologie: gemeinsame Pflanzenliste erstellen, Pflanzen für ein Herbarium vorbereiten, Standortansprüche der gesammelten Pflanzen kennen lernen

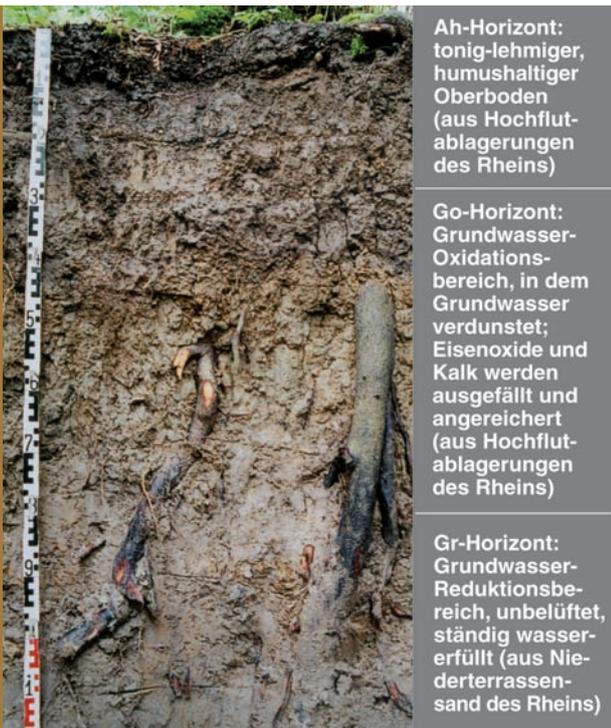
#### Nachbesprechung der Exkursion und Vertiefung des Themas im Unterricht

Anknüpfend an die Abschlussdiskussion im Gelände kann die Nachbereitung der Exkursion im Unterricht in zwei Richtungen erfolgen. Zum einen können mitgenommene Bodenproben näher untersucht werden, eventuell auch interdisziplinär mit den Fächern Chemie, Biologie und/oder Physik. Zum anderen kann man vertiefend auf anthropogene Einflüsse in den Bodenhaushalt eingehen.

Zur Analyse der mitgebrachten Bodenproben findet man auf den Internetseiten [www.hypersoil.uni-muenster.de](http://www.hypersoil.uni-muenster.de) unter dem Stichwort ‚Bodenwerkstatt‘ Versuchsanordnungen. Zur Bestimmung der Bodenbestandteile bietet sich die Schlämprobe an, die dort ausführlich beschrieben wird. Ebenso wird die Messung der Wasserkapazität (Anlage 7) und des Filtervermögens von Böden (Anlage 8) leicht nachvollziehbar erklärt. Die bodenkundlichen Profilbeschreibungen der Bodenaufgrabungen werden noch einmal analysiert, zu denen ergänzend die wichtigsten Böden und ihre Horizontfolgen besprochen werden können.

Zum Thema ‚Anthropogene Einflüsse und Einmischungen in den Bodenhaushalt‘ sind in den geläufigen Erdkundelehrbüchern entsprechende Kapitel vorhanden (z. B.: CORNELSEN 11. Klasse, S. 90 ff.). Als bodenkundliches Grundlagenwerk zur Vorbereitung des Unterrichts empfiehlt sich SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2004.

In Anknüpfung an die Unterrichtsreihe Boden bieten sich Themenkomplexe wie Landwirtschaft, Ernährungspotenzial und Tragfähigkeit im globalen ökonomischen Zusammenhang an.



**Ah-Horizont:**  
tonig-lehmiger,  
humushaltiger  
Oberboden  
(aus Hochflut-  
ablagerungen  
des Rheins)

**Go-Horizont:**  
Grundwasser-  
Oxidations-  
bereich, in dem  
Grundwasser  
verdunstet;  
Eisenoxide und  
Kalk werden  
ausgefällt und  
angereichert  
(aus Hochflut-  
ablagerungen  
des Rheins)

**Gr-Horizont:**  
Grundwasser-  
Reduktionsbe-  
reich, unbelüftet,  
ständig wasser-  
erfüllt (aus Nie-  
derterrassen-  
sand des Rheins)

Abb. 6: Basenreicher Gley mit abgesenktem Grundwasser, entstanden aus kalkhaltigem Hochflutlehm über Sedimenten der Rhein-Niederterrasse

**Tabelle 1: Boden im Erdkundeunterricht Jahrgangsstufe 11****Fachliche Inhalte**

Böden in ihrer elementaren Bedeutung für nachhaltiges Wirtschaften (c); Ursachen und Folgen von Eingriffen in geoökologische Kreisläufe (d). Ökologische Prinzipien und zukunftsfähige Maßnahmen (e); Ästhetische Dimension von Landschaften und deren subjektive Wahrnehmung und Bewertung (k)

**Pädagogische Intentionen**

Aus dem Wissen, dass natürliche Grundlagen nicht vermehrbar und leicht zu gefährden sind, sich der Zielkonflikte bewusst werden, die mit dem Eingriff des Menschen verbunden sein können und daraus die Notwendigkeit für ökologisch verträgliches Handeln ableiten

**Fächerübergreifende Aspekte**

Das Ökosystem Boden (Analyseverfahren der Biologie und Chemie)

THEMATISCHE SCHWERPUNKTE	ARBEITSWEISEN UND METHODEN	LEITMEDIEN, LEHRMATERIAL
<b>1 Einführung in das Thema Boden</b>		
<b>1.1</b> Naturfaktoren und Menschen prägen Landschaften am Beispiel des Münsterlandes und des Niederrheins, Kartenkunde	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Auswertung von Schrägluftbildern und aktuellen Karten des Schulumfeldes, Vergleich mit älteren Karten, Zusammenstellung eines Beschreibungsvokabulars</li> <li>■ Formulieren von Fragestellungen und Hypothesen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mensch und Raum, Bd. 11, S. 8 – 10</li> <li>■ Geologie am Niederrhein, S. 45 u. 46, 49</li> <li>■ Rad- und Wanderkarte Niederrhein, 1 : 50 000</li> <li>■ Diercke Weltatlas, S. 74 u. 75, 48 u. 49 III</li> </ul>
<b>1.2</b> Boden als bedrohtes und im Interesse nachhaltiger Entwicklung schutzwürdiges Gut	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erstellung von Regelkreisen zum System Boden</li> <li>■ Untersuchung von Folgen möglicher Eingriffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="http://www.bodenwelten.de">www.bodenwelten.de</a></li> <li>■ Mensch und Raum, Bd. 11, S. 90 – 99</li> </ul>
<b>1.3</b> Bodenbildung (Abb. 7): <b>1.3.1</b> physikalische und chemische Verwitterung <b>1.3.2</b> Tonminerale <b>1.3.3</b> Humusbildung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erfassen von Thema, Darstellungsart, Faktoren von Grafiken</li> <li>■ Herstellen von kausalen und funktionalen Beziehungen zwischen einzelnen Elementen der grafischen Darstellung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mensch und Raum, Bd. 11, S. 178 u. 179</li> <li>■ <a href="http://www.bodenwelten.de">www.bodenwelten.de</a></li> <li>■ <a href="http://www.hypersoil.uni-muenster.de">www.hypersoil.uni-muenster.de</a></li> <li>■ <a href="http://www.dbges.de">www.dbges.de</a></li> <li>■ <a href="http://www.webgeo.de">www.webgeo.de</a></li> </ul>
<b>1.4</b> Bodenarten (Sand, Schluff, Ton) (Abb. 8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Formulieren der Aussage von Grafiken</li> <li>■ Einordnen in einen größeren Zusammenhang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="http://www.hypersoil.uni-muenster.de">www.hypersoil.uni-muenster.de</a></li> <li>■ <a href="http://www.bodenwelten.de">www.bodenwelten.de</a></li> <li>■ Mensch und Raum, Bd. 11, S. 180 u. 181</li> </ul>
<b>1.5</b> Porenvolumen, Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt, pH-Wert, Nährstoffhaushalt (Abb. 9)	wie zuvor	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mensch und Raum, Bd. 11, S. 180 u. 181</li> </ul>
<b>2 Exkursion</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ regionale Gegebenheiten</li> <li>■ Vorbereitung</li> <li>■ Geländebeschreibung</li> <li>■ Erfassen von Zeigerpflanzen</li> <li>■ Einfluss des Bodenwassers</li> <li>■ Korngrößenverteilung im Boden</li> <li>■ Humus- und Kalkgehalt</li> <li>■ Porengrößenverteilung im Boden</li> <li>■ Bodenhorizonte und Bodentyp</li> <li>■ Bodenproben sammeln</li> <li>■ pH-Wert bestimmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geländegang (z. B. zum Hülser Berg) mit Fachbegleitung (z. B. durch den Geologischen Dienst NRW in Krefeld)</li> <li>■ Bestimmen wichtiger Pflanzen der Kraut-, Strauch- und Baumschicht</li> <li>■ Aufnahme der Bodenverhältnisse im Gelände mithilfe von Bohrungen und Bodenaufgrabungen</li> <li>■ Erkennen und Beschreiben verschiedener bodenkundlicher Kennwerte</li> <li>■ systematisches Sammeln von Proben für weitere Untersuchungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ siehe Tabelle Anlage 1</li> <li>■ geologische und bodenkundliche Karten</li> <li>■ Bohrergerät, Spaten/Schaufel/Hacke</li> <li>■ Übersicht zu wichtigen Böden und ihren Horizontfolgen</li> <li>■ Horizont- und Bodendefinitionen</li> <li>■ Pflanzenbestimmungsbuch</li> <li>■ Vordrucke für Geländeaufnahme</li> </ul>
<b>3 Nachbesprechung Exkursion</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Besprechung der Exkursionsnotizen</li> <li>■ bodenkundliche Profilbeschreibung</li> <li>■ Zusammenstellen von Projekt-/Arbeitsmappen mit Fotos, Probenmaterial, Pflanzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="http://www.hypersoil.uni-muenster.de">www.hypersoil.uni-muenster.de</a> Stichwort Bodenwerkstatt</li> </ul>
<b>4 Vertiefung des Themas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bodeneigenschaften wie Bodenartenbestimmung, Porengrößenverteilung, Luft- und Wasserhaushalt</li> <li>■ Bodenentwicklung</li> <li>■ Verlagerungsvorgänge (Abb. 10)</li> </ul>	<p>Analyse der mitgebrachten Bodenproben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bestimmung der Bodenbestandteile mittels Schlämmprobe</li> <li>■ Tabellenwerte für Luft- und Wasserhaushalt</li> <li>■ Messung von Wasserkapazität und Filtervermögen</li> <li>■ Bestimmung des pH-Wertes</li> <li>■ Messung der Wasserleitfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ bodenkundliche Laboranleitungen</li> <li>■ bodenkundliche Kartieranleitung</li> <li>■ bodenkundliche Lehrbücher oder Geografie-Fachbücher mit bodenkundlichen Inhalten</li> </ul>

Abb. 7: Im Verlauf der Zeit entstehen im Überschneidungsbereich von Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre belebte Böden (Pedosphäre)

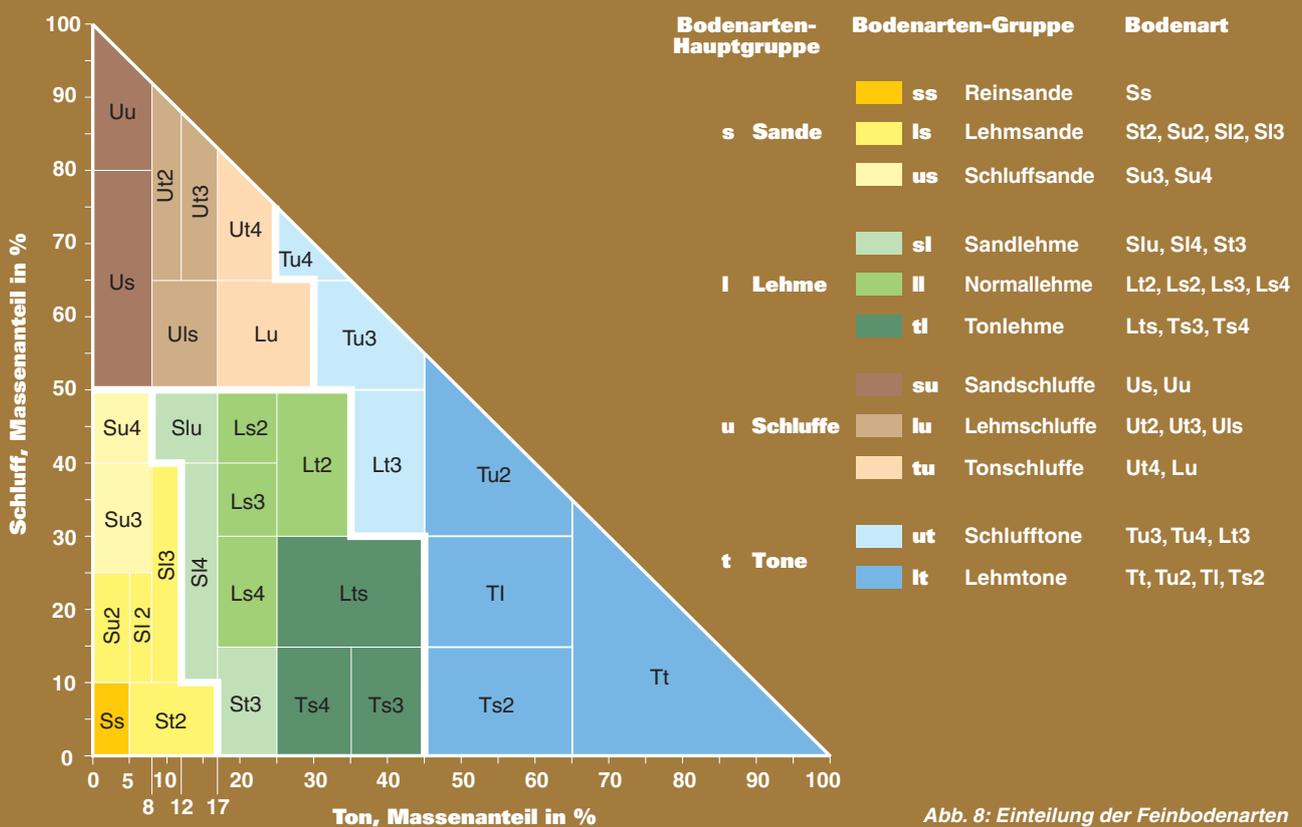
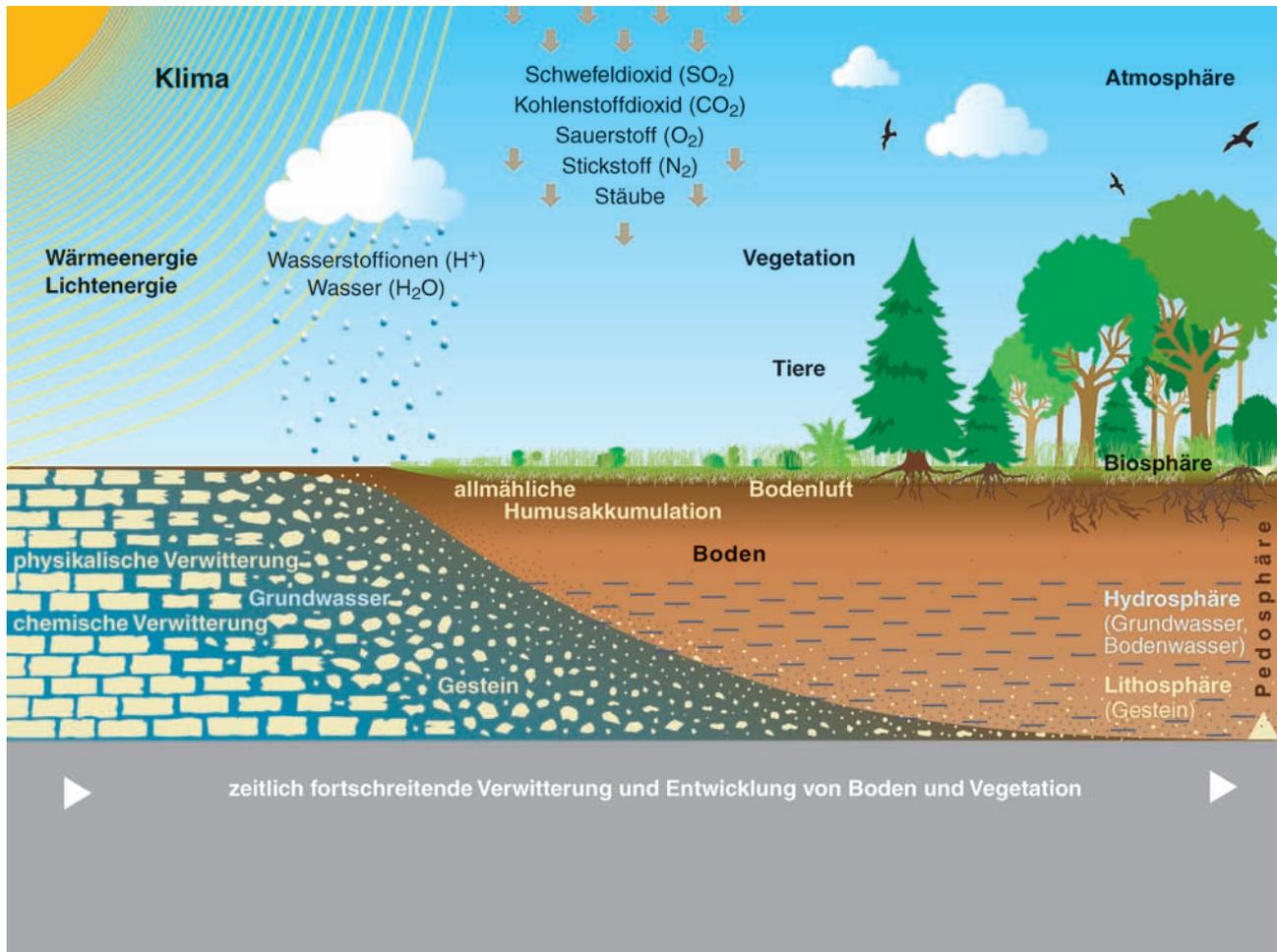


Abb. 8: Einteilung der Feinbodenarten

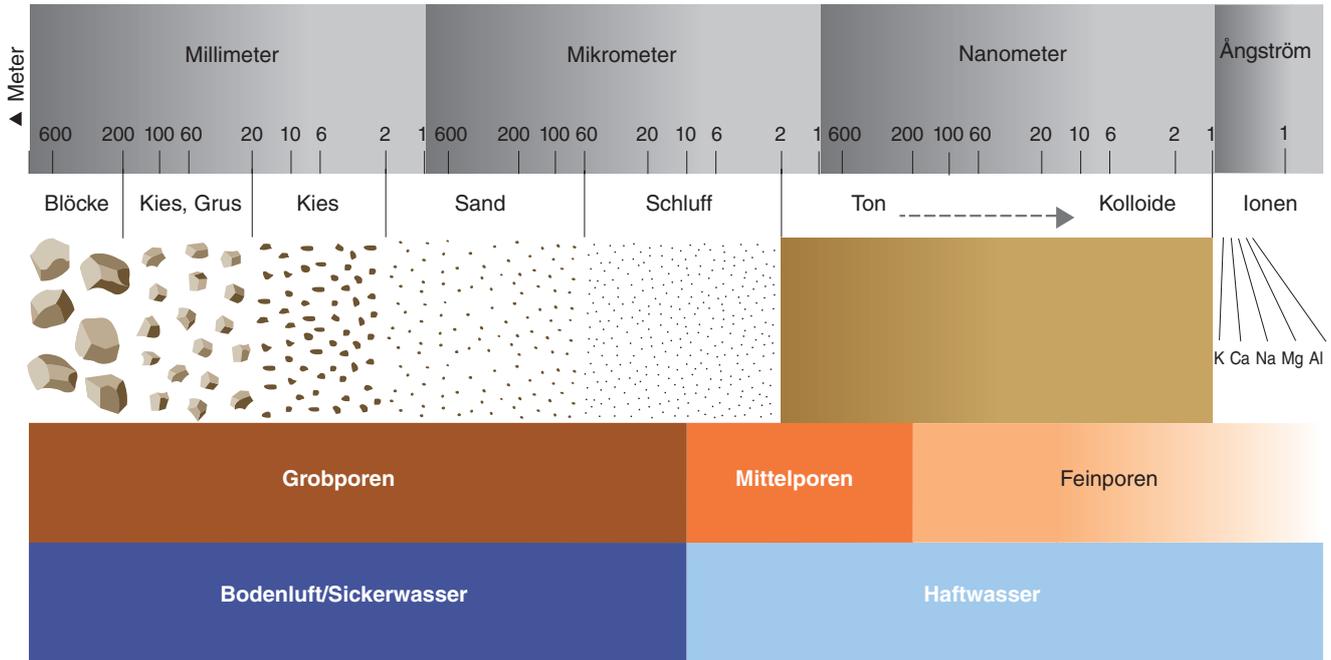


Abb. 9: Korngrößen, Porendurchmesser und Bodenwasser in logarithmischer Darstellung

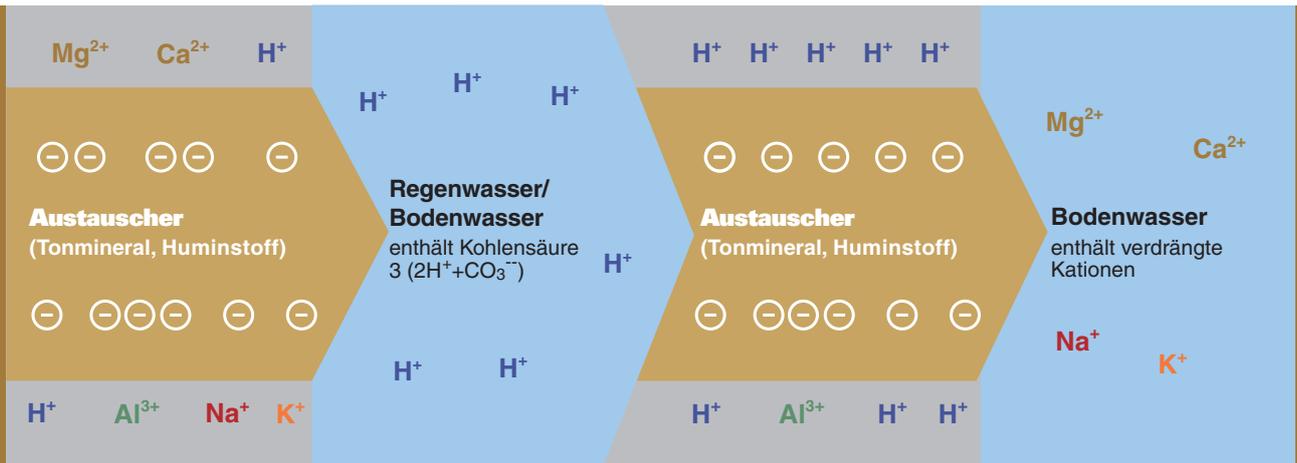


Abb. 10: Kationenaustausch zwischen Bodenteilchen und Bodenwasser

## Geräteausstattung

Gerät	Verwendungszweck	Bemerkungen
Kompass und GPS-Gerät	Orientierung im Gelände	weckt Interesse für Technik, leitet zur systematischen und genauen Arbeit im Gelände
Fotoapparat	Dokumentation der Exkursion	digitale Geräte sind wegen der einfachen Verwendung der Aufnahmen in Dokumentationen vorzuziehen
Lupe	10-fach Lupe	Pflanzenbestimmung, Bodenart
Spaten, Spachtel, Messer	Anlegen oder Auffrischen von Schürfgruben oder kleinen Bodenaufgrabungen, Probennahme, Bodenbeschreibung	für jede bodenkundliche Exkursion Voraussetzung
1-m-Bohrstock, Hammer und Ziehhaken	Entnahme von Bohrproben im Gelände	nur professionelles Gerät verwenden, eine Einführung ist erforderlich
Tropffläschchen mit 10-prozentiger Salzsäure	Nachweis von Kalk im Boden	Sicherheitshinweise beachten, kann in Drogerien und Apotheken bezogen werden
Spritzflasche und Papiertücher	Reinigung von Geräten, pH-Wert-Messung im Gelände	theoretische Einarbeitung erforderlich (Chemie-Unterricht)
pH-Wert-Indikatorpapier oder pH-Wert-Messgerät	pH-Wert-Messung im Gelände zum Vergleich verschiedener Böden	
20-ml-Rollfläschchen mit Schnappdeckel	pH-Wert-Messung	theoretische Einarbeitung erforderlich (Chemie-Unterricht)
Probentüten, Verschlüsse und permanenter Filzstift	Entnahme von Bodenproben	weitere Untersuchungen im Labor, Muster zur Dokumentation
0,5- bis 1-l-Probenflaschen (PE oder Glas)	Entnahme von Wasserproben	Analyse im Labor (Chemie-Unterricht)
Schreibplatte, Klemmhefter	Bodenbeschreibung, Pflanzenliste	zur Dokumentation der Arbeit im Gelände
Pflanzenbestimmungsbuch	Pflanzenliste	zur Dokumentation der Arbeit im Gelände, Interpretation bei der Nachbereitung
Kurzdefinitionen von Bodentyp und Bodenhorizont, Bestimmungsschlüssel, Bodenart	Bodenbeschreibung	zur Dokumentation der Arbeit im Gelände, Interpretation bei der Nachbereitung
Zollstock oder Bandmaß	Bodenbeschreibung	Mächtigkeit der Horizonte, Maßstab für Fotodokumentation
10-l-Eimer	Transport der Proben und Geräte	





### Schätzen der Hauptbodenart mit der Fingerprobe

	Körnigkeit	Bindigkeit	Formbarkeit	Bodenart
<b>Sande</b>	Einzelkörner sicht- und fühlbar, rau, wenig Feinsubstanz	nicht bis maximal schwach bindig, nicht haftend	nicht bis sehr schwach formbar	Sand <b>S</b>
<b>Schluffe</b>	keine sichtbaren Einzelkörner, mehlig	nicht bis schwach bindig, haftet, aber klebt nicht	wenig formbar, bricht	Schluff <b>U</b>
<b>Lehme</b>	wenig Einzelkörner sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	schwach bindig, haftet und klebt	formbar und bleistift dick rollbar, stumpfe Reibfläche	Lehm <b>L</b>
<b>Tone</b>	fast nur Feinsubstanz	stark bindig, haftet und klebt	sehr gut formbar, glänzende Reibfläche	Ton <b>T</b>

### Schätzen der Bodenart mit der Fingerprobe

	Körnigkeit	Bindigkeit	Formbarkeit	Bodenart
<b>Sande</b>	Einzelkörner sicht- und fühlbar, rau	nicht bindig, nicht haftend	nicht formbar	Sand <b>S</b>
	Einzelkörner sicht- und fühlbar, etwas Feinsubstanz	nicht bindig, etwas Feinsubstanz in den Handlinien	nicht formbar	schluffiger Sand <b>Su3</b>
	Einzelkörner sicht- und fühlbar, reichlich Feinsubstanz	etwas bindig, haftet am Finger	kaum formbar, reißt und bricht	lehmgiger Sand <b>Sl3</b>
	Einzelkörner sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	schwach bindig, haftet am Finger	etwas formbar, reißt	toniger Sand <b>St3</b>
<b>Schluffe</b>	keine sichtbaren Einzelkörner, mehlig	nicht bindig, haftet, aber klebt nicht	wenig formbar, bricht	Schluff <b>U</b>
	wenig Einzelkörner sicht- und fühlbar, samtartig	nicht bindig, haftet, aber klebt nicht	wenig formbar, bricht	sandiger Schluff <b>Us</b>
	keine Einzelkörner, mehlig	schwach bindig, haftet und klebt etwas	formbar, reißt und bricht leicht	toniger Schluff <b>Ut3</b>
<b>Lehme</b>	wenig Einzelkörner sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	schwach bindig, haftet und klebt	formbar und bleistift dick rollbar, aber rissig	sandiger Lehm <b>Ls3</b>
	kaum Einzelkörner sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz, etwas mehlig	bindig, haftet und klebt	gut formbar, schwach rissig	schluffiger Lehm <b>Lu</b>
	kaum Einzelkörner sicht- und fühlbar, feinsubstanzreich	bindig, haftet und klebt	gut formbar, kaum rissig, stumpfe Reibfläche	toniger Lehm <b>Lt3</b>
<b>Tone</b>	kaum Einzelkörner sicht- und fühlbar, etwas mehlig, feinsubstanzreich	bindig, haftet und klebt	gut formbar, schwach glänzende Reibfläche	sandiger Ton <b>Ts3</b>
	kaum Einzelkörner sicht- und fühlbar, etwas mehlig, feinsubstanzreich	stark bindig, haftet und klebt	sehr gut formbar, schwach glänzende Reibfläche	lehmgiger Ton <b>Tl</b>
	nur Feinsubstanz	stark bindig, haftet und klebt	sehr gut formbar, schwach glänzende Reibfläche	Ton <b>T</b>

## Link-Sammlung Bodenkunde

Link	geeignet für		Bemerkungen
	Lehrer	Schüler	
<a href="http://www.bodenwelten.de">www.bodenwelten.de</a>	■	■	zahlreiche thematisch gegliederte Links, umfassende Aufbereitung für verschiedene Jahrgangsstufen, Unterrichtsmaterialien
<a href="http://www.learn-line.nrw.de">www.learn-line.nrw.de</a>	■		Suchmaschine, zahlreiche Zitate Bodenkunde
<a href="http://www.bvboden.de">www.bvboden.de</a>	■		Bundesverband Boden, Fachverband der Bodenkundler
<a href="http://www.dbges.de">www.dbges.de</a>	■		Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Wissenschaftliche Gesellschaft der Bodenkunde
<a href="http://www.der-boden-lebt.nrw.de">www.der-boden-lebt.nrw.de</a>	■	■	verständliche Einführung, Natur- und Umweltschutzakademie NRW (NUA)
<a href="http://www.uni-trier.de/ak-boden">www.uni-trier.de/ak-boden</a>	■	■	Seite des AK Schule und Weiterbildung mit zahlreichen Hinweisen, Links und Arbeitsmaterialien
<a href="http://www.hypersoil.uni-muenster.de">www.hypersoil.uni-muenster.de</a>	■	■	Bodenseite des Instituts für Didaktik der Biologie, mit Materialien, Versuchen und vielen Hinweisen zur Praxis
<a href="http://www.humusformen.de">www.humusformen.de</a>	■		Seite des AK-Humusformen der Bodenkundlichen Gesellschaft, zur Vorbereitung und Information geeignet
<a href="http://www.bodensystematik.de">www.bodensystematik.de</a>	■		Seite des AK für Bodensystematik der Bodenkundlichen Gesellschaft, zur Vorbereitung und Information geeignet, Definitionen der Bodentypen, Horizonte usw.
<a href="http://www.webgeo.de/pemo">www.webgeo.de/pemo</a>	■	■	konzipiert für Studiengänge mit Bodenkunde-Vorlesungen, auch geeignet für den Unterricht in der gymnasialen Oberstufe, benutzerfreundlicher Aufbau, vorbildliche Dokumentation der Bezugsquellen
<a href="http://www.nua.nrw.de">www.nua.nrw.de</a>	■	■	Seite der Natur- und Umweltakademie NRW mit zahlreichen Fortbildungsangeboten und Lehrmaterialien zu Naturkunde, Bodenkunde und Umweltschutz
<a href="http://www.lumbricus.nrw.de">www.lumbricus.nrw.de</a>	■	■	Seite der NRW-Lumbricus Busse für die schulische und außerschulische Umweltbildung vor Ort mit qualifizierten Pädagogen
<a href="http://www.forum-bodenschutz.de">www.forum-bodenschutz.de</a>	■	■	Informationen zum Flächenverbrauch, Bodennutzung, Altlasten und vorsorgendem Bodenschutz
<a href="http://www.bodenbündnis.org">www.bodenbündnis.org</a>	■	■	Informative Seite zu deutschen und internationalen Bodenschutzthemen

## Wasserspeicherfähigkeit und Sickerwasserspende des Bodens

Substrat	Bodenart	Wasserspeicherfähigkeit (l/m <sup>3</sup> )	davon für Pflanzen nutzbar (l/m <sup>3</sup> )	Sickerwasserspende (l/m <sup>2</sup> /a)		gesättigte Wasserleitfähigkeit (cm/Tag)
				Wald	Acker	
<b>Terrassensand</b>	Mittelsand, kiesig	120	80	310	380	427
<b>Flugsand</b>	Mittelsand, feinsandig	140	116	210	300	106
<b>Löss</b>	Lehm	355	225	200	250	18
<b>kreidezeitliche Verwitterung</b>	Ton	420	115	100	140	2

Sand- und Lehm- und Tonböden können unterschiedlich viel Wasser gegen die Schwerkraft festhalten und den Pflanzen bei Bedarf zur Verfügung stellen.

1 m<sup>3</sup> Terrassensand vom Hülser Berg (Krefeld) oder aus 1 m Tiefe im Hülser Bruch (Krefeld) kann 120 l Wasser speichern, 80 l davon sind für die Pflanzen verfügbar. Löss, der die Mittelterrasse im Krefelder Raum (westlich der Hülser Straße) bedeckt, kann insgesamt über 350 l Wasser/m<sup>3</sup> speichern, davon sind 225 l für die Pflanzen nutzbar. Ein Tonboden speichert noch mehr Wasser, allerdings hat er einen hohen Anteil sehr feiner Poren (< 0,2 µm Durchmesser), die das Wasser so stark binden, dass die Pflanzenwurzeln es nicht absaugen können. Tonböden stellen den Pflanzen nur halb so viel Wasser zur Verfügung wie Lehm Böden.

Je nach Bodenart, Nutzung und Jahresniederschlag entsteht eine spezifische Sickerwasserspende, die der Grundwasserneubildung zugute kommt (Raum Krefeld mit 750 mm Jahresniederschlag).

Je feiner die Bodenkörnung ist, umso langsamer leiten die Böden das Wasser ab. In einem Sandboden versickert Wasser 200 mal schneller als in einem Tonboden.

## Kationenspeicherfähigkeit des Bodens bis 1 m Tiefe

Substrat	Bodenart	potenzielle Austauschkapazität für Kationen (cmolc/kg)	potenzielle Menge an austauschbarem Ca (mg/kg)	potenziell austauschbare Ca-Menge bis 1 m Tiefe (t/ha)	erforderliche Kalksteinmenge (CaCO <sub>3</sub> ) (t/ha)
<b>Terrassensand</b>	Mittelsand	2	401	6	15
<b>Flugsand</b>	Feinsand	4	802	12	30
<b>Löss</b>	Lehm	15	3 006	45	126
<b>kreidezeitliche Verwitterung</b>	Ton	39	7 816	117	296

Die Anzahl der „Parkplätze“ für Ionen (Pflanzennährstoffe wie Kalzium, Magnesium, Kalium) ist in Böden aus Sand, Ton und Lehm sehr unterschiedlich. Je höher der Tongehalt und je höher der Humusgehalt eines Bodens, umso mehr Ionen kann er austauschbar speichern und den Pflanzen bei Bedarf zur Verfügung stellen. Um alle „Parkplätze“ eines Sandbodens auf einer Fläche von 1 ha bis 1 m Tiefe mit Kalzium zu besetzen, sind 15 bis 30 t Kalkstein – fein gemahlen – erforderlich. Dieser Kalkstein muss sich dann im Boden auflösen. In einem Lehm Boden wären etwa 120 t und in einem Tonboden 300 t Kalkstein notwendig.

**pH-Werte verschiedener Flüssigkeiten**

<b>pH-Wert</b>	<b>Flüssigkeit</b>	<b>Bewertung</b>
14,0	reine Natronlauge	stark alkalisch
12,3	gesättigtes Kalkwasser	
11,8	Ammoniak	
7,0	reines Wasser (kurz)	neutral
6,5	Milch	schwach sauer
5,6	unbelasteter Regen	
4,6	Regen im Schwarzwald 1967	
4,2	Regen im Schwarzwald 1972	sehr stark sauer
4,0	Regen im Schwarzwald 1980	
3,3	sauerster Regen im Bayerischen Wald	äußerst sauer
3,1	Essig	
2,8	Bodenwasser am Stamm einer Buche	
2,8	sauerster Regen im Riesengebirge	
2,4	sauerster Regen in Schottland	
2,3	Saft der Zitrone	
1,9	sauerster Regen in den USA	
1,0	Batteriesäure	
0	reine Salzsäure	

**Zusammenfassung:**

Anhand von zehn Arbeitsblättern wird das Thema „Grundwasser“ zur Bearbeitung im Unterricht vorgestellt. Mit zahlreichen Laborversuchen können vielerlei Aspekte zur Chemie des Grundwassers mit den Schülern/-innen vertieft werden. Es folgen Vorschläge zur Gestaltung einer Projektwoche und zu Exkursionsmöglichkeiten wie der Besuch eines Wasserwerkes. Ergänzende Hinweise zur schnellen Erschließung und Aufbereitung des Themenbereiches für den Unterricht schließen das Kapitel ab.

**1 Einführende Bemerkungen**

Wasser im Untergrund, die Quelle unseres Trinkwassers, als Lebensmittel Nr. 1 ist Thema dieses Beitrages. In zehn verschiedenen Arbeitsblättern werden einzelne Themenfelder zum Grundwasser dargestellt. Nach einführenden Texten zu jedem Kapitel werden Versuche zur Chemie des Wassers, Exkursionsmöglichkeiten und Aufgabenvorschläge genannt. Breiten Raum nehmen Versuche zur Chemie des Wassers ein (Beitrag MANFRED CAPLAN, Kap. 3.1 und Anhang). Es folgen weitere Anregungen zur Gestaltung des Unterrichts, wie Durchführung des Besuches eines Wasserwerkes, sowie ein Vorschlag zu einer Projektwoche „Grundwasser in der Stadt“. In einem abschließenden Abschnitt erfolgen Hinweise zu wichtigen weiteren Quellen für Arbeitsmaterialien.

**Inhalt**

- |              |  |            |   |
|--------------|--|------------|---|
| <b>1</b>     | <b>Einführende Bemerkungen</b>   | <b>3.2</b> | <b>Projektwoche: „Grundwasser in der Stadt“</b>           |
| <b>2</b>     | <b>Arbeitsblätter</b>  | <b>3.3</b> | <b>Besuch im Wasserwerk</b>                               |
| <b>2.1</b>   | <b>Der Kreislauf des Wassers (Arbeitsblatt 1)</b>  | <b>3.4</b> | <b>Erläuterungen zum weiteren Angebot von Materialien</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Bewegung des Wassers im Untergrund (Arbeitsblatt 2)</b>   | <b>4</b>   | <b>Literaturverzeichnis</b>                               |
| <b>2.3</b>   | <b>Inhaltsstoffe des Grundwassers (Arbeitsblatt 3)</b>   | <b>5</b>   | <b>Anhang: Versuchsbeschreibungen</b>                     |
| <b>2.4</b>   | <b>Grundwassergewinnung (Arbeitsblatt 4)</b>   |            |   |
| <b>2.5</b>   | <b>Geschichte der Trinkwassergewinnung (Arbeitsblatt 5)</b>  |            |   |
| <b>2.6</b>   | <b>Mineralwasser, Heilwasser, Sole (Arbeitsblatt 6)</b>  |            |   |
| <b>2.7</b>   | <b>Quellen (Arbeitsblatt 7)</b>  |            |   |
| <b>2.8</b>   | <b>Grundwasser als Rohstoff für die Industrie (Arbeitsblatt 8)</b>   |            |   |
| <b>2.9</b>   | <b>Nutzungskonflikte (Arbeitsblatt 9)</b>  |            |   |
| <b>2.10</b>  | <b>Grundwasserschutz (Arbeitsblatt 10)</b>   |            |   |
| <b>3</b>     | <b>Hinweise zu Gestaltungsmöglichkeiten des Unterrichts</b>  |            |   |
| <b>3.1</b>   | <b>Laborversuche zur Chemie des Wassers</b>  |            |   |
| <b>3.1.1</b> | <b>Überblick zum Thema Wasser in der SI und SII unter Einbeziehung physio-geografischer und geologischer Aspekte</b> |            |   |

Anschrift der Autoren:

MANFRED CAPLAN

Max-Planck-Gymnasium Gelsenkirchen  
Goldbergstr. 91, 45894 Gelsenkirchen

Dipl.-Geol. BERNHARD MEYER

Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –  
De-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld

## 2 Arbeitsblätter

### 2.1 Der Kreislauf des Wassers (Arbeitsblatt 1)

Wasser in seinen verschiedenen Aggregatzuständen Wasser, Wasserdampf und Eis bewegt sich in einem ständigen Kreislauf (s. Abb. 1). Grundwasser als wichtiger Bestandteil dieses Kreislaufs entsteht durch die Versickerung von Niederschlags- oder Oberflächenwasser in den Untergrund. Als geschlossener Wasserkörper füllt es alle Hohlräume aus und unterliegt in seinen Fließbewegungen den physikalischen Gesetzen der Schwerkraft. Die Menge an Wasser, die im Boden versickert (Grundwasserneubildung), hängt von vielen Faktoren wie Relief, Bodenbeschaffenheit und Verdunstung ab. Die Höhe des Grundwasserstandes (Grundwasseroberfläche) ist abhängig von den versickernden Niederschlagsmengen und schwankt im Verlauf des Jahres. Die Grundwasserneubildung vollzieht sich vor allem im hydrologischen Winterhalbjahr (1. November bis 30. April) in Zeiten geringer Verdunstung von der Erdoberfläche. Bei einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von etwa 750 mm/Jahr in weiten Teilen des Niederrheins und des Münsterlandes versickern bei gut durchlässigem Untergrund etwa 1/3, also 250 mm/Jahr, und werden zu Grundwasser.

#### Aufgaben:

1. Erörtern Sie das Thema Wasserkreislauf in seinen Bezügen zu den Teilaspekten Verdunstung des Wassers, Kondensation, Änderung des Aggregatzustandes und der Prozesse im Untergrund.
2. Ordnen Sie dem Schema des Wasserkreislaufs folgende Teilaspekte zu: Bildung von saurem Regen, Aufnahme von Kohlendioxid, Versickerungsprozesse, Lösung von Mineralien, Stofftransport, Lösung von Stoffen (s. auch Arbeitsblätter 2.2 und 2.3).
3. Erarbeiten Sie in Gruppenarbeit ein Poster, in dem alle Aspekte des Wasserkreislaufs verdeutlicht und zusammengefasst werden (Abb. 1).

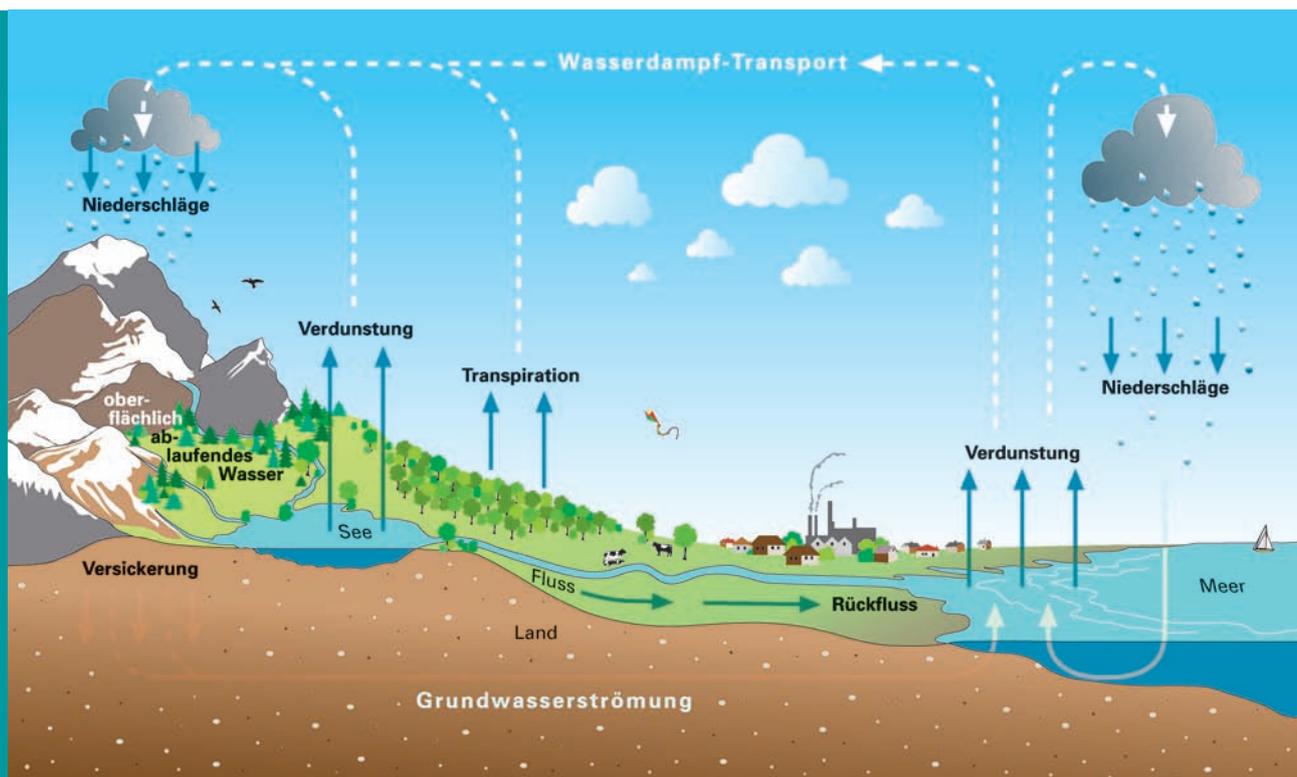


Abb. 1: Kreislauf des Wassers

## 2.2 Bewegung des Wassers im Untergrund (Arbeitsblatt 2)

Die gespeicherte Menge und die Geschwindigkeit der Bewegung des Grundwassers hängen vom Aufbau des Untergrundes ab. In Lockergesteinen (Porengrundwasserleiter) wird das Grundwasser in den Zwischenräumen zwischen den Sand- oder Kieskörnern gespeichert (Abb. 2). Beispiele für wirtschaftlich bedeutende Porengrundwasserleiter in Nordrhein-Westfalen sind die Sande und Kiese des Quartärs und Tertiärs der Niederrheinischen Bucht oder die Haltern-Schichten der Oberkreide im Münsterland (Abb. 5).

In Festgesteinen (Kluftgrundwasserleiter) bewegt sich das Wasser entlang von Schichtfugen, Klüften und Spalten (Abb. 3). Kluftgrundwasserleiter mit großer Verbreitung gibt es in Nordrhein-Westfalen zum Beispiel in den Kalk-, Mergel- und Sandsteinen der Kreide im Münsterland oder der Trias und des Juras in Ostwestfalen (Abb. 5).

In Karstgesteinen sind die Spalten und Klüfte durch Lösungsvorgänge erweitert (Karstgrundwasserleiter). Wegen der großen Hohlräume kann das Grundwasser in diesen Gesteinen besonders schnell fließen (Abb. 4). Karstgebiete finden sich in Nordrhein-Westfalen beispielsweise im Kreide-Gebiet der Paderborner Hochfläche oder im Bereich der devonischen Massenkalk im Rheinischen Schiefergebirge (Abb. 5).

Ist der Untergrund aus wenig wasserdurchlässigen Gesteinen wie Ton oder Schluff zusammengesetzt, sind keine oder nur geringfügige Fließbewegungen des Grundwassers möglich

(Grundwassergeringleiter). Solche wenig grundwasserwegsaamen Gesteinsfolgen finden sich beispielsweise in den tertiären Tonen des Niederrheins oder Tonsteinen des Juras und der Trias in Ostwestfalen (Abb. 5).

### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

Modellexperiment zur Wasserdurchlässigkeit verschiedener Korngrößenverteilungen von Porengrundwasserleitern in einfachen Säulenversuchen.

### Exkursionen:

Besuch typischer Aufschlüsse von Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleitern (Hinweise in Schriften und Karten des Geologischen Dienstes NRW)

### Aufgaben:

1. Formulieren Sie Aussagen zu den Triebkräften und Fließprozessen, die für die Bewegung des Wassers im Untergrund verantwortlich sind.
2. Wovon hängen die Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers im Untergrund ab? Nennen und beschreiben Sie die einzelnen Faktoren und ordnen Sie sie bestimmten Parametern zu: Korngrößenverteilung, Kluftparameter, Temperatur, Druckpotenziale (s. auch Modellexperiment).



Abb. 2: Porengrundwasserleiter

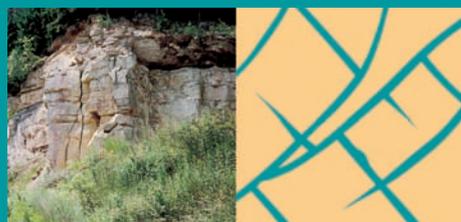


Abb. 3: Kluftgrundwasserleiter



Abb. 4: Karstgrundwasserleiter



Abb. 5: Grundwasserlandschaften in Nordrhein-Westfalen

### 2.3 Inhaltsstoffe des Grundwassers (Arbeitsblatt 3)

Im Untergrund lösen sich in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit, Zeitdauer und den Fließwegen verschiedene Mineralien im Wasser, die seine Zusammensetzung bestimmen (Grundwassertypen). Gering mineralisierte silikatische Grundwässer kommen im Rheinischen Schiefergebirge oder den Haltern-Schichten des Münsterlandes vor, karbonatische Kalzium-Hydrogenkarbonat-Wässer gibt es in den Porengrundwasserleitern des Niederrheins oder den Mergelsteinen der Kreide im Münsterland (Abb. 6).

Mit größerer Tiefe nimmt der Salzgehalt des Grundwassers allmählich zu (Natrium-Chlorid-Wässer). Die Grenze zwischen Süß- und Salzwasser liegt in Nordrhein-Westfalen zwischen wenigen Dekametern im Münsterland und weit über 100 m in mächtigen Porengrundwasserleitern. In manchen münsterländischen Brunnen kommen gelegentlich im Grundwasser natürliche Stoffe wie Fluorid oder Methan vor, von denen Gesundheitsgefahren ausgehen können. Viel häufiger finden sich im oberflächennahen Grundwasser jedoch Schadstoffe, die durch intensive Nutzungen, wie durch Landwirtschaft oder Industriegebiete, in den Untergrund gelangen können. Solche Stoffe wie Pestizide oder Nitrat (Landwirtschaft) oder Chlorkohlenwasserstoffe (Industrie) können nur mit großem Aufwand wieder aus dem Grundwasser entfernt werden.

#### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

- Experiment zur Leitfähigkeit: Messung der Leitfähigkeit verschiedener Wässer (Trinkwasser eines Wasserwerkes, Mineralwasser, Sole)
- Bestimmung der Gesamthärte, Messung von Wässern unterschiedlicher Gesamthärten, Bezüge zur Leitfähigkeit
- Ansetzen einer gesättigten  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -Lösung, Erhitzen einer gesättigten Lösung
- siehe auch Kap. 5.1 im Anhang und Punkt 5.4.2

#### Aufgaben:

1. Ordnen Sie eine Trinkwasseranalyse Ihres Wasserwerkes und eines Mineralwassers einem Grundwassertyp zu, interpretieren Sie die Inhaltsstoffe in Bezug zum Grundwasser und erläutern Sie die ernährungsphysiologische Bedeutung der Inhaltsstoffe.
2. Erläutern Sie das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht des Wassers und die Bezüge zur Entwicklung der Verkarstung in Karbonatgesteinen und der Entstehung von Kalksinter von Quellen sowie Tropfsteinen in Karsthöhlen (s. auch Versuche).
3. Entwickeln Sie anhand der im Unterricht durchgeführten Versuche Vorstellungen, wie Inhaltsstoffe in das Grundwasser gelangen können.



Abb. 6: Geochemische Gesteinstypen in Nordrhein-Westfalen

## 2.4 Grundwassergewinnung (Arbeitsblatt 4)

Die öffentliche Wasserversorgung in Nordrhein-Westfalen stammt zu 41,3 % aus Grundwasser, zu 42,1 % aus Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser und zu 16,1 % aus Oberflächenwasser (Flüsse, Seen, Talsperren).

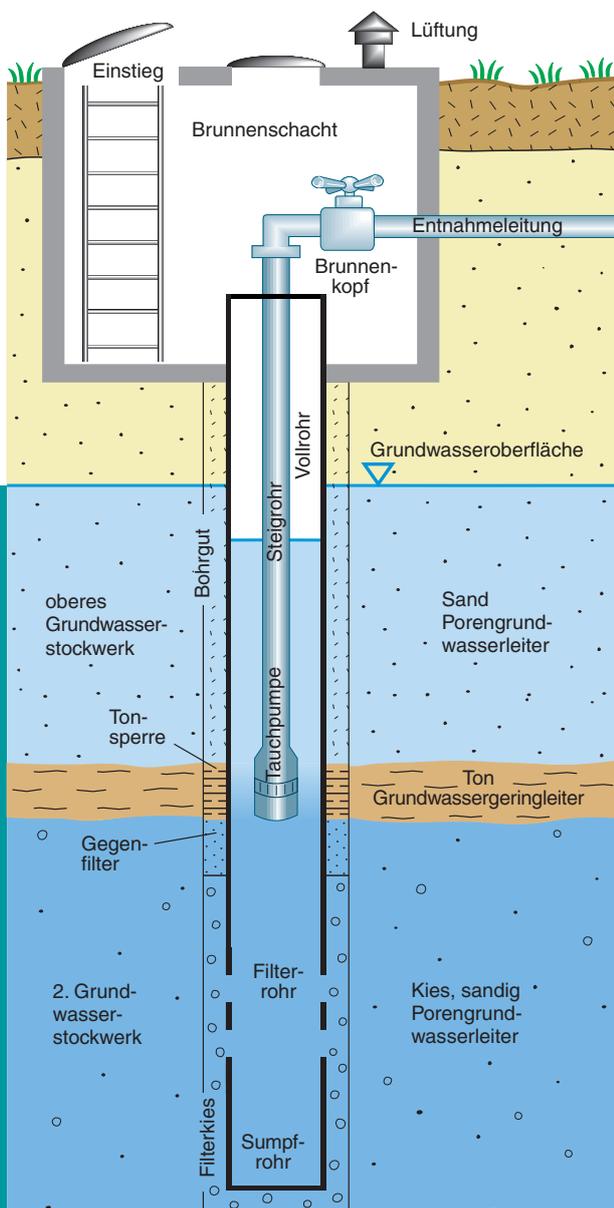


Abb. 7: Schematischer Schnitt durch einen Vertikalfilterbrunnen

Neben der Nutzung von Quellen (s. Kap. 2.7) wird Grundwasser vor allem durch Bohrbrunnen gewonnen. Dem Bau von Brunnen gehen umfangreiche Arbeiten zur Erkundung voraus. Durch Auswertung von geowissenschaftlichen Karten und Probebohrungen werden der Aufbau des Untergrundes, die Ergiebigkeit und die chemische Zusammensetzung der Grundwasservorräte festgestellt. Bei entsprechender Eignung der Grundwasser führenden Schichten werden Vertikalfilterbrunnen mit Tiefen bis mehr als 200 m gebaut. Unterwasserpumpen entziehen über Kiesschüttung und Filterrohr den Grundwasser führenden Gesteinen die benötigten Grundwassermengen (Abb. 7). Die Weiterleitung des Wassers zu den Verbrauchern erfolgt über Rohrleitungen. Durch die Förderung des Grundwassers werden in der Umgebung der Brunnen die oberflächennahen Grundwasserstände abgesenkt. Diese Veränderungen der Grundwasserspiegellagen erfassen Grundwassermessstellen, um festzustellen, ob andere Nutzer des Grundwassers beeinträchtigt werden können. Durch aufwendige behördliche Genehmigungsverfahren und Untersuchungen wird im Einzelnen festgestellt, wie weit die Grundwassergewinnung nachhaltig ohne Überbeanspruchung der Grundwasservorräte und ohne Schäden des Naturhaushaltes vorgenommen werden kann. Vielfach muss das Grundwasser vor seiner Nutzung als Trink- oder Brauchwasser noch aufbereitet werden. So werden zum Beispiel zu hohe Eisen- und Mangangehalte durch Belüftung und Ausflockung in einzelnen Aufbereitungsstufen im Wasserwerk entfernt (s. Kap. 3.3).

### Exkursion:

Besuch eines Wasserwerkes (s. Kap. 3.3)

### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

Experimente zur Aufbereitungstechnik des Wassers: Enthärtung des Wassers, Einsatz von Aktivkohle

### Aufgabe:

1. Entwickeln Sie ein Schema der Wassergewinnung mit allen einzelnen Komponenten entsprechend den Darstellungen beim Wasserwerksbesuch; beschreiben Sie die einzelnen Komponenten und begründen Sie die Notwendigkeit einzelner Aufbereitungsmaßnahmen.

## 2.5 Geschichte der Trinkwassergewinnung (Arbeitsblatt 5)

Der hohe Wert von gut geschütztem Grund- und Quellwasser zur Trinkwasserversorgung der Bevölkerung wurde in vielen Hochkulturen erkannt. Die Nutzung der Quellen der Eifel, die Fernleitungen und die Verteilung des Wassers im römischen Köln vor 2000 Jahren sind Belege für den hohen technischen Stand der Grundwassernutzung im Rheinland (Abb. 8). Noch ältere Zeugnisse der Grundwassergewinnung im Rheinland vor 7000 Jahren über einen Kastenbrunnen aus Holz stammen aus der Jungsteinzeit vom Fundort Kückhoven.

Auch aus dem Mittelalter aus sächsischer Zeit sind Holzbrunnen wie der ausgehöhlte Eichenstamm eines Baumstammbrunnens aus Metelen (Münsterland) aus dem Jahr 879 (Abb. 9) überliefert.

Erhebliche Probleme der Trinkwasserversorgung traten erst mit der Entwicklung der Städte ab dem Mittelalter und der dortigen schnellen Bevölkerungszunahme ab dem 19. Jahrhundert auf. Die schlechten hygienischen Verhältnisse und die Ver-

schmutzungen des Brunnenwassers führten in vielen Städten um 1900 zu Typhus-Epidemien. Erst mit dem systematischen Bau von Trinkwasserbrunnen in der Peripherie der Städte wurde in der Neuzeit eine gesicherte Trinkwasserversorgung (Abb. 7) geschaffen.

### Aufgaben:

1. Stellen Sie Recherchen zur früheren und heutigen Art der Trinkwassergewinnung (Gegenüberstellung) an.
2. Suchen Sie Antriebsgründe für Veränderungen und technische Innovationen in der Trinkwasserversorgung.
3. Wo liegen die Hauptursachen für den hohen Aufwand einer modernen Trinkwassergewinnung?



Abb. 8: Aquädukt von Vussem (Rheinland) der römischen Wasserleitung nach Köln

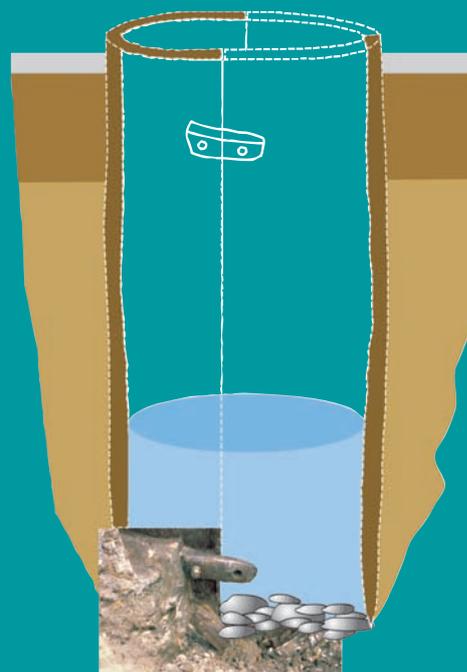


Abb. 9: Schematischer Schnitt durch den mittelalterlichen Baumstammbrunnen von Metelen (Münsterland)

## 2.6 Mineralwasser, Heilwasser, Sole (Arbeitsblatt 6)

An die Qualität von Mineralwasser werden hohe Anforderungen gestellt, die in gesetzlichen Bestimmungen wie der Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser niedergelegt sind.

In Abhängigkeit von den durchflossenen Gesteinsarten des Untergrundes werden unterschiedliche Mineralien im Grundwasser gelöst. Es entstehen verschiedene Mineralwassertypen wie Hydrogenkarbonat-Wasser, Sulfat-Wasser oder Chlorid-Wasser. Nordrhein-Westfalen besitzt ein großes Angebot verschiedener Mineralwassertypen, wie Sulfat-Wasser aus Kluftgrundwasserleitern Ostwestfalens oder Kalzium-Hydrogenkarbonat-Wasser der Porengrundwasserleiter am Niederrhein und im Münsterland (Beispiele in Tab. 1). Für Heilwasser ist nach dem Arzneimittelgesetz eine therapeutische Wirkung von Inhaltsstoffen nachzuweisen. Die größte Vielfalt verschiedener Heilwassertypen findet sich in Ostwestfalen, wo eine intensive Nutzung in Kurbädern wie Bad Oeynhausener oder Bad Salzuflen erfolgt.

Grundwasser mit einer Mindestmenge von 14 g/l Natriumchlorid wird als Sole bezeichnet. Hat diese eine Temperatur von über 20 °C, nennt man sie Thermalsole. Wegen ihrer guten therapeutischen Wirkungen werden Solen in Heilbädern wie Bad Westernkotten und Bad Sassendorf im Münsterland

intensiv genutzt (Tab. 1). Das größte geschlossene Solevorkommen Deutschlands befindet sich im Münsterländer Kreide-Becken. Die Entstehung ist auf einen lang andauernden erdgeschichtlichen Prozess von Lösungs- und Transportvorgängen im Untergrund zurückzuführen.

### Exkursion:

Besuch eines Solebades in Nordrhein-Westfalen, zum Beispiel im Münsterland

### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

- Experiment zum Nachweis von Natrium-Ionen durch Flammenfärbung, Chlorid mit Silber-Ionen bei einer Sole
- Qualitative und quantitative Untersuchungen von Wasser (s. Kap. 5.2 im Anhang)

### Aufgabe:

1. Untersuchen Sie Gemeinsamkeiten von verschiedenen Mineral- und Heilwässern in ihrer Zusammensetzung, ernährungsphysiologischen Bedeutung und therapeutischen Wirkung (Heilwässer). Vergleichen Sie die Analysen mit der Zusammensetzung des Trinkwassers des örtlichen Wasserwerkes.

	Kationen	Anionen	Wirkung/Ernährungsphysiologie
<b>Mineralwasser</b>	Kalzium Magnesium	Hydrogenkarbonat	Kalzium: Knochenaufbau, Zahnbildung Magnesium: Unterstützung der Muskeltätigkeit
<b>Heilwasser</b>	Natrium Kalzium	Chlorid-Sulfat	Trinkkuren
<b>Sole</b>	Natrium	Chlorid	Solebäder-Therapien

Tab. 1: Wichtige Inhaltsstoffe von Mineralwasser, Heilwasser, Sole (Beispiele)

## 2.7 Quellen (Arbeitsblatt 7)

Quellen entstehen an eng begrenzten Stellen, wo Grundwasser an die Erdoberfläche tritt. In Abhängigkeit von Gesteinschichtung, Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes und Lage von Klüften und Spalten weisen Quellen verschiedene Entstehungen und unterschiedliche Abflüsse (Quellschüttung) auf.

Beispiele in Nordrhein-Westfalen für stark schüttende Quellen sind Karstquellen im Münsterland wie die Jordan-Quelle mit einer ausfließenden Wassermenge von maximal  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (Abb. 10).

Derartige Quellen finden sich im Münsterland an einer Linie, an der verkarstete Kalksteine der Kreide gering wasserwegsame Mergelschichten unterlagern (Überlaufquellen). Entsprechend der Zusammensetzung der durchflossenen verkarsteten Kalksteine schütten diese Quellen ein Kalzium-Hydrogenkarbonat-Wasser. Kann Tiefenwasser aus dem Münsterländer Kreide-Becken an diesen Quellen aufsteigen, weist das Quellwasser höhere Salzgehalte auf. Die Quellen in Mythen und Märchen und die Nutzung in Kulten und Riten (Quellheiligtümer der Germanen) weisen auf ihre kulturgeschichtliche Bedeutung hin.

### Exkursion:

- Besuch der Paderborner Quellen, Karstquellen wie Jordan-Quelle, Aufschlüsse in Kalksteinen mit Karsterscheinungen, Karsthöhlen (Hinweise in Schriften und Karten des Geologischen Dienstes NRW)

### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

- Experiment zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht des Wassers

### Aufgabe:

1. Führen Sie eine geologisch-hydrogeologische Analyse einer Quelle durch: Bestimmen Sie das Einzugsgebiet der Quelle, Schüttungsmenge, die Leitfähigkeit und die Gesamthärte des Wassers.



Abb. 10: Jordan-Quelle (Bad Lippspringe, Münsterland)



Abb. 11: Produktionsanlagen der chemischen Industrie

## 2.8 Grundwasser als Rohstoff für die Industrie (Arbeitsblatt 8)

Für viele industrielle und gewerbliche Einsatzzwecke ist Grundwasser ein unverzichtbarer Rohstoff. An benötigte Menge und Qualität werden häufig sehr hohe Anforderungen gestellt. So wird in der chemischen Industrie in großen Mengen hochwertiges, nicht kontaminiertes Grundwasser für die Produktionsprozesse benötigt (Abb. 11). Die Anforderungen der Trinkwasserverordnung müssen in der Lebensmittelindustrie eingehalten werden, zum Beispiel bei Brauereien und Milchverarbeitungsbetrieben. Durch aufwendige Kontrollen der Brunnen der Lebensmittelindustrie und ihres Zustromgebietes muss die Grundwasserqualität überwacht werden. Wasserschutzgebiete wie für die öffentliche Trinkwasserversorgung werden nicht festgelegt.

In manchen Gebieten müssen bereits zur Vermeidung einer Überbeanspruchung der Grundwasservorräte oder wegen Verschlechterungen der Grundwasserqualität Beschränkungen der Grundwasserförderung vorgesehen werden. Intensiv durch die Industrie genutzt werden vor allem die quartären Porengrundwasserleiter in den Städten des Niederrheins oder die kreidezeitlichen Haltern-Schichten des Münsterlandes.

### Aufgabe:

1. Nennen Sie Betriebe, die Grundwasser für die Produktion benötigen, stellen Sie Einsatzzwecke des Wassers zusammen und diskutieren Sie die Anforderungen an Menge und Qualität.



Abb. 12: Grundwassergewinnung im Kalkstein-Abbaubetrieb



Abb. 13: Flächenbefestigungen ohne Versickerungsmöglichkeit des Niederschlags (oben) beziehungsweise mit Versickerungsmöglichkeit (unten)

## 2.9 Nutzungskonflikte (Arbeitsblatt 9)

Die Förderung von Grundwasser zur Trinkwasser- oder Brauchwassernutzung steht häufig in Konflikt mit vielfältigen Nutzungen:

Der Abbau von Rohstoffen der Bauindustrie, wie Kies, Sand oder Kalkstein, erhöht durch die Entfernung grundwasser-schützender Deckschichten die Gefährdung von Grundwasservorkommen (Abb. 12). Durch Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen können in Industriegebieten Verunreinigungen in das Grundwasser gelangen, die eine Trinkwassernutzung erschweren oder sogar verhindern. Das Entfernen dieser Stoffe aus dem Grundwasser (Grundwassersanierung) ist vielfach nur mit erheblichem wirtschaftlichem Aufwand möglich. Die großflächige Versiegelung des Bodens durch Straßen und Siedlungen in Städten (Abb. 13) führt zur Minderung der Menge an versickerndem Grundwasser. Hierdurch werden die nutzbaren Grundwasservorräte geschmälert. Durch intensive Landwirtschaft können bei unsachgemäßem Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln oder Düngemineralien (Abb. 14) Verschmutzungen des Grundwassers eintreten, die die Trinkwassernutzung erschweren. In enger Abstimmung zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft (Kooperationen) wird in Nordrhein-Westfalen versucht, solche Kontaminationen durch Auflagen, Verbote und spezielle Bearbeitungsverfahren zu mindern. Die Absenkung des Grundwasserspiegels durch Brunnen in Gebieten mit hohem Grundwasserstand (Absenkungstrichter) kann Naturschutzgebiete wie Feuchtwiesen ge-

fährden. Durch genaue Festlegung von Grenzwerten für die Grundwasserabsenkung kann ein Trockenlegen von Feuchtgebieten verhindert werden (Abb. 15). Die genannten Beispiele einer konkurrierenden Nutzung treten in hoch industrialisierten, dicht besiedelten Gebieten wie Nordrhein-Westfalen häufig auf. In behördlichen Verfahren werden die verschiedenen Raumansprüche im Zusammenwirken verschiedener Fachbehörden geprüft und es wird ein Interessenausgleich hergestellt.

### Exkursion:

- Besuch der Firma RWE Power AG: Darstellung des Braunkohleabbaus, Regelung der Nutzungskonflikte mit Notwendigkeiten der Grundwasserförderung und Erhalt von Feuchtgebieten

### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

- Wasseranalytik: Nachweis von anthropogenen Verunreinigungen (z. B. Nitrat)
- Absorptions- und Adsorptionsvermögen von Aktivkohle

### Aufgaben:

1. Entwerfen Sie ein Schema mit einer modellhaften Darstellung verschiedener Nutzungskonflikte mit dem Grundwasser (Poster), diskutieren Sie die Konflikte und zeigen Sie Lösungen zum Interessenausgleich auf.
2. Analysieren und beschreiben Sie den Nutzungskonflikt Landwirtschaft/Wasserwirtschaft und zeigen Sie effiziente Lösungsstrategien zur Verbesserung der Grundwasserqualität auf.



Abb. 14: Ausbringung von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Landwirtschaft



Abb. 15: Ausweisung eines Feuchtgebietes als Naturschutzgebiet

## 2.10 Grundwasserschutz (Arbeitsblatt 10)

Zum Schutz der Trink- und Heilwasservorkommen in Nordrhein-Westfalen werden durch behördliche Verordnungen Schutzgebiete festgelegt (Abb. 16). Das unter- und oberirdische Zustromgebiet von Brunnen, Quellen und Talsperren wird in drei verschiedene Schutzzonen eingeteilt:

Zone I umfasst den unmittelbaren Nahbereich einer Wassergewinnungsanlage. Er wird gegen Betreten durch Umzäunung geschützt.

Zone II dient dem Schutz vor Keimbelastungen und umfasst das Gebiet, in dem das Grundwasser 50 Tage Fließzeit bis zur Fassungsanlage benötigt (50-Tage-Linie).

Zone III erstreckt sich auf das Zustromgebiet des Oberflächen- und Grundwassers auf seinem Weg zu den Fassungsanlagen der Brunnen, Quellen oder Talsperren. In diesem Bereich werden der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen stark eingeschränkt oder verboten und Eingriffe in den Untergrund behördlich kontrolliert und überwacht. Die Menge an gefördertem Grundwasser muss durch eine entsprechende Flächengröße für die Grundwasserneubildung in diesem Gebiet gesichert werden (Grundwasserdargebot). Ein dauerhafter Grundwasserschutz gelingt nur, wenn durch Überwachungen der Schutzgebiete die Grundwasserzusammensetzung in Förderbrunnen

und Grundwassermessstellen ständig kontrolliert und Beeinträchtigungen verhindert werden. Wegen vielfältiger Konflikte mit anderen Nutzungen (Kap. 9) ist ein Grundwasserschutz in Nordrhein-Westfalen vielerorts nur eingeschränkt möglich.

Durch Verzicht auf den Gebrauch grundwasserschädlicher Stoffe oder Maßnahmen zur Verbesserung der Niederschlagsversickerung kann jeder Einzelne einen Beitrag zum Schutz des Grundwassers leisten.

### Exkursion:

- Führung durch ein Wasserschutzgebiet: Schutzzonengliederung, Flächennutzungen, Grundwassermessstellennetz und Überwachungsprogramme

### Versuche (s. Kap. 3.1 und Anhang)

- Wasseranalytik: Nachweis von anthropogenen Verunreinigungen (z. B. Nitrat)

### Aufgaben:

1. Welche Notwendigkeiten und Möglichkeiten sind bei der Einrichtung eines Wasserschutzgebietes zu beachten?
2. Werten Sie die Nitratstromkarte (z. B. Diercke-Atlas) aus, finden Sie Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Produktion und Gefährdungen des Grundwassers.



Abb. 16: Hinweisschild für Wasserschutzgebiet

### 3 Hinweise zu Gestaltungsmöglichkeiten des Unterrichts

#### 3.1 Laborversuche zur Chemie des Wassers

(MANFRED CAPLAN)

Das Wassermolekül wird im Verlaufe des Chemieunterrichts in der SI und SII mit adressatengerechten Modellen (den kognitiven Fähigkeiten der Schüler entsprechend) zunehmend komplexer beschrieben. In der Stufe 7 beschreibt man Wasser mit dem Teilchenmodell. Ein Wassermolekül besteht in diesem DALTON-Modell aus einem Sauerstoffatom der Masse 16u und zwei kleineren Wasserstoffatomen mit jeweils 1u. Ein differenziertes Modell wird in der Stufe 9 eingeführt. Ab Stufe 9 betrachten die Schüler das Wassermolekül als Dipolmolekül.

Aus der Dipolstruktur des Wassermoleküls lassen sich wichtige Eigenschaften ableiten:

- die Löslichkeit von Salzen und Gasen (besonders wichtig Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff)
- die Fähigkeit des Wassermoleküls, H-Brückenbindungen zu bilden
- die anomale Temperatur-Dichte-Beziehung
- die hohe Siedetemperatur (im Vergleich mit den Wasserstoffverbindungen der Elemente der 6. Hauptgruppe)
- die Bildung von Clustern beim Gefrieren von Wasser, die damit verbundene Volumenvergrößerung und die Verringerung der Dichte
- die hohe spezifische Wärme
- die hohe Verdampfungswärme
- die Fähigkeit zur Autoprotolyse
- die hohe Oberflächenspannung
- die Viskosität

Diese Eigenschaften werden im Unterricht zum Teil schwerpunktmäßig behandelt (Überblick und experimenteller Anhang).

#### 3.1.1 Überblick zum Thema Wasser in der SI und SII unter Einbeziehung physiogeografischer und geologischer Aspekte

Der Anfängerunterricht Chemie der Jahrgangsstufe 7 geht von Phänomenen aus und nutzt die natürliche Neugier der Kinder. Die Auswahl der vorgestellten Stoffe orientiert sich an der Alltagserfahrung. Zum Thema Wasser haben die Schüler bereits Erfahrungen gemacht. Insbesondere durch projektorientiertes Arbeiten im Zusammenhang mit Stofftrennverfahren als Problem der Wasserverschmutzung, Klassifizierung von Wässern,

werden die Schüler angeregt, eigene Ideen, Erfahrungen, Fähigkeiten einzubringen. Da in der Jahrgangsstufe 7 viele geografische Themen zum Thema Wasser passen, bieten sich vielfältige Möglichkeiten eines fachübergreifenden Unterrichts.

Wasser wird in der Stufe 7 unter Einbeziehung des DALTON-Modells als Lösungsmittel für Salze und Gase (insbesondere Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid) von den Schülern entdeckt.

Dabei unterscheiden und klassifizieren sie Wasser als Reinstoff (aus nur einer Teilchensorte bestehend/destilliertes Wasser, Regenwasser) und als Reinstoffgemisch: Mineralwasser, Trinkwasser, Abwasser.

Dazu werden Leitfähigkeiten und Abdampfrückstände verschiedener Wasserproben bestimmt (experimenteller Anhang).

Im Themenkreis Stofftrennungen wird die Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung behandelt. In der Geografie lassen sich einige fachübergreifende Aspekte einbeziehen, zum Beispiel

- Raubbau am Naturpotenzial gefährdet die Menschen: Versalzung von Böden durch künstliche Bewässerung: Themenkreis Desertifikation
- Bildung von Salzseen/Salzpflanzen/Salzlagerstätten
- Trinkwassergewinnung (und Versorgung mit Trinkwasser) in unterschiedlichen Klimaten
- Wasserkreislauf
- Wasser formt die Erde: Transport und Ablagerung von Sedimenten kinetische Energie bewegten Wassers (Dichte)

In der Stufe 9 wird Wasser als Dipolmolekül erörtert (BOHR'sches Kern-Hülle-Modell). LEWIS-Struktur – GILLESPIE-Struktur.

Aus den Struktur-Eigenschaftsbeziehungen lassen sich wichtige Folgerungen ableiten:

- Wasserstoffbrückenbindungen → Siedetemperatur/Verdampfungswärme, Wasserdampf und Vulkanismus /Geysire
- die Anomalie des Wassers → Dichte von Eis → Struktur von Eis

Im Erdkundeunterricht der Stufe 9 wird Wasser in der Ökologie und als Geofaktor behandelt. Fachübergreifende Themen bieten sich zum Beispiel bei Bodenbildungsprozessen an → Physikalische Verwitterung → Gesteinssprengung.

Arbeitet man mit einem Differenzierungskurs (9/10), kann Wasser in der Schadstoffanalytik tief greifend untersucht werden: Fotometrische Bestimmung von Ammonium, Nitrat, Nitrit und Harnstoff; organische Gesamtbelastung (als Titration mit Dichromat). Man kann mit den Schülern/-innen in kurzen Unterrichtsgängen zum Beispiel Proben von Oberflächenwässern unterschiedlicher Einzugsgebiete gewinnen. Parallel dazu bietet sich im Fach Erdkunde die Geschichte der Emscher an oder das Thema „Wasser für den Ballungsraum Ruhrgebiet“ (als Raumanalyse).

Protolysen in wässrigen Lösungen werden in der Stufe 10 behandelt

Da in dieser Stufe kein Erdkundeunterricht erteilt wird, sollte man die Wirkung exogener und endogener saurer Wässer auf Kalkoberflächen im Chemieunterricht behandeln → Wasser als Lösungsmittel und Transportmittel für Hydrogencarbonat, Formenschatz der Karste.

### Wasser in der SII

In der Stufe SII werden zum Themenkreis „Ablauf und Steuerung chemischer Reaktionen in Natur und Technik“ Protolysegleichgewichte in wässrigen Lösungen behandelt. In Verbindung mit dem Themenfeld Kohlenstoffkreisläufe in Natur und Umwelt wird die Protolyse von Kohlenstoffdioxid in Wasser schwerpunktmäßig erörtert (s. Experiment mit BTB im Kolbenprober).

Es bietet sich an, die Wirkung von CO<sub>2</sub>-haltigem Wasser auf CaCO<sub>3</sub> zu untersuchen oder das druck- und temperaturabhängige Karbonat-Hydrogencarbonat-Gleichgewicht zu erörtern. Wie wirken warmes und kaltes CO<sub>2</sub>-haltiges Wasser auf Kalk (Tropen/Gemäßigte Zone)? Ist die Verkarstung abhängig von der geografischen Breite?

Die Chemie der Karste lässt sich an dieser Stelle vertiefen (Stufe 10).

Weitere übergreifende Themen zur Physiogeografie/Geologie: Wirkung von saurem Regen, Pufferwirkung guter (intakter) Böden, Kalkung saurer Böden, Wassernutzung und Wasserversorgung in ihren Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt in verschiedenen Klimazonen.

Das Thema Wasser kann in 11/I und 11/II im Fach Erdkunde behandelt werden!

In der Stufe 12 wird zum Themenfeld „C“ (Analytische Methoden zur Konzentrationsbestimmung) die NERNST-Gleichung zur Bestimmung von Löslichkeitsprodukten herangezogen. Außerdem lässt sich das Ionenprodukt des Wassers mit einfachen Mitteln von den Schülern bestimmen (s. Temperaturabhängigkeit des Ionenproduktes).

Für das Fach Geologie ergeben sich wichtige Folgerungen: Ausfällung von Salzen in der Natur (Schichtfolge der Salze als Folge unterschiedlicher Löslichkeitsprodukte)  
Vertiefung Salzlagerstätten (Stufe 7)  
Ausfällung von Metallsulfiden (unterseeische Lagerstätten)

Die im Anhang beschriebenen Experimente stellen eine kleine Auswahl der vielfältigen Möglichkeiten zum fachübergreifenden Themenkreis Wasser dar. Einige Versuche können auch von fachfremden Kollegen problemlos durchgeführt werden. Besondere Sicherheitsvorkehrungen sind nicht erforderlich.

### 3.2 Projektwoche: „Grundwasser in der Stadt“

Grundwasser in der Stadt ist ein vielschichtiges Thema, das Schüler/-innen in seinen vielfältigen Aspekten sehr gut ansprechen kann.

Die nähere Beschäftigung mit der Thematik kann bei der Erreichung übergeordneter Lernziele helfen:

- Entwickeln von Fähigkeiten zur eigenen Recherche und Verknüpfung komplexer Zusammenhänge
- Vermitteln moralisch-ethischer Aspekte zur Nachhaltigkeit der Nutzung des Grundwassers
- Förderung interdisziplinären Denkens, da viele naturwissenschaftliche Teilgebiete aus der Physik, Biologie, Geografie oder Chemie angesprochen werden

#### Planung des Projektes

In Kooperation mit geeigneten Einrichtungen wie Geologischer Dienst, Umweltämter der Kommunen, Wasserversorgungsunternehmen, Landwirtschaftsämter und so weiter sollten Möglichkeiten des Zugangs zu Materialien vorab geklärt werden, um das Projekt zeitlich überschaubar zu gestalten. Die

Bereitschaft zur Kooperation und Begleitung eines derartigen Projektes ist erfahrungsgemäß bei den meisten Einrichtungen vorhanden. Notwendiges Kartenmaterial für eigene Geländeerhebungen, zum Beispiel zur Erfassung verschiedener landwirtschaftlicher Nutzungen in einem Teilraum, kann über örtliche Vermessungsämter beschafft werden.

Nachstehend sind einige Vorschläge aufgelistet, die sich für die Bearbeitung im begrenzten zeitlichen Rahmen einer Woche anbieten:

- Grundwasservorkommen und -gewinnung in der Stadt: Industrie, Hausbrunnen, Sanierungsbrunnen, öffentliche Möglichkeiten der Niederschlagsversickerung in Abhängigkeit von den Untergrundverhältnissen: Grundwasserneubildung/Versiegelung
- Erfassung und Sanierung von Grundwasserkontaminationen
- Einflüsse der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Grundwasserqualität
- Messnetze und Kontrollen zum Grundwasser in der Stadt (Grundwasserqualität, Grundwasserstände)

#### Durchführung des Projektes

Nach eigenen Recherchen der Schüler sind Begehungen vor Ort in Begleitung fachkundiger Mitarbeiter von den betroffenen örtlichen Einrichtungen sinnvoll. Es bietet sich an, Kurzberichte zu den Ergebnissen in Referaten vorzustellen und zu diskutieren.

#### Vorschläge zur weiteren Vertiefung der Thematik nach Abschluss der Projektwoche

Eine Projektwoche zum Thema Grundwasser lässt sich zum Beispiel durch einen Besuch des örtlichen Wasserversorgungsunternehmens, eines Wassermuseums (z. B. Aquarius in Mülheim/Ruhr), den Besuch von immer wieder angebotenen Ausstellungen zum Thema Grundwasser (Kap. 3.4) oder Praktika vertiefen.

Auf großes Interesse kann auch der Besuch von geologischen Aufschlüssen stoßen, in denen die Gesteinsfolgen des Untergrundes in ihren Eigenschaften als Grundwasserleiter oder -nichtleiter vorgeführt werden können. Nähere Informationen zu geeigneten Aufschlüssen können aus Schriften und Karten des Geologischen Dienstes NRW bezogen werden.

### 3.3 Besuch im Wasserwerk

Der Besuch eines Wasserwerkes verdeutlicht, dass die Gewinnung und Sicherung des Trinkwassers, unseres wichtigsten Lebensmittels, einen hohen technischen Standard und großen Überwachungsaufwand erfordert. Systemzusammenhänge zwischen Grundwassergewinnung und Nutzung des Gebietes durch Landwirtschaft und Industrie werden erkennbar. Der hohe Stellenwert des Grundwasserschutzes wird sichtbar.

#### Vorbereitungsphase im Unterricht

Detaillierte Materialien der örtlichen Wasserversorgungsunternehmen mit Informationen zum Versorgungsgebiet und -netz, Grundwasserleitern, aus denen gefördert wird, Fördermengen, Lage, Zahl und Tiefe der Brunnen, Wasserschutzgebiet und -gliederung, Chemismus des Roh- und Trinkwassers, Aufbereitungsverfahren sind verfügbar. Die örtliche Lage des Versorgungsnetzes, der Wassergewinnungsanlagen, Brunnen und Wasserschutzgebiete sollte anhand von Karten von den Schülern/-innen festgestellt werden.

#### Besuch im Wasserwerk

Die Informationsvermittlung kann über die Führung durch ein Wasserwerk, Wasserschutzgebiet mit Trinkwasserlehrpfad oder den Besuch des Tages der offenen Tür bei Wasserversorgungsunternehmen erfolgen.

Einblicke in den Gesteinsaufbau der Grundwasserleiter lassen sich durch den Besuch geeigneter Aufschlüsse gewinnen. Nach der ersten Informationsvermittlung kann das Thema im Unterricht weiter ausgebaut werden (Kap. 3.2).

### 3.4 Erläuterungen zum weiteren Angebot von Arbeitsmaterialien

Die Auswahl der nachstehend aufgeführten Materialien wurde unter Gesichtspunkten eines möglichst effizienten und schnellen Einstiegs in die Grundwasserthematik vorgenommen. Neben der mittlerweile gut strukturierten Informationsquelle Internet werden Hinweise zu einführenden Schriften und Karten und zu Organisationen gegeben, die sich mit Grundwasserthemen näher befassen. Zum Schluss werden einige Hinweise zu Exkursionen als wichtige Bestandteile eines Unterrichts aufgeführt.

### Internetseiten/Organisationen (Stand März 2005)

Nachstehend werden stellvertretend einige ausgewählte Links genannt, die umfassendes Material zum Download anbieten beziehungsweise den Bezug von Broschüren/Literatur ermöglichen:

[www.aid.de](http://www.aid.de)

[www.bgw.de](http://www.bgw.de)

[www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)

[www.forum-trinkwasser.de](http://www.forum-trinkwasser.de)

[www.grundwasser.ch](http://www.grundwasser.ch)

[www.grundwasser-online.de](http://www.grundwasser-online.de)

[www.lua.nrw.de](http://www.lua.nrw.de)

[www.mineralwaters.org](http://www.mineralwaters.org)

[www.trinkwasser.de](http://www.trinkwasser.de)

[www.vdg-online.de](http://www.vdg-online.de)

### Schriften und Karten

Regionale hydrogeologische Literatur in Nordrhein-Westfalen ist über den Geologischen Dienst NRW zu beziehen ([www.gd.nrw.de](http://www.gd.nrw.de)). Hier sind auch umfangreiche Bibliografien vorhanden (z. B. scriptum, Heft 1).

### Geländeexkursionen

Für die Planung von Geländebefahrungen mit dem Besuch von Aufschlüssen und Bohrungen empfiehlt sich zur Vorbereitung der Kontakt mit örtlich tätigen Geologen der Kommunen und dem Geologischen Dienst NRW.

### Ausstellungen

Historische Brunnen sind in Museen, wie dem Rheinischen Landesmuseum für Archäologie in Bonn oder im Römermuseum Haltern, zu besichtigen. Zeitlich begrenzte und wechselnde Ausstellungen zum Thema Grundwasser werden vielfach von Wasserversorgungsunternehmen in Nordrhein-Westfalen organisiert oder können im Rahmen der Wanderausstellung „Grundwasser“ der Universität Münster in Nordrhein-Westfalen besucht werden. Eine empfehlenswerte Dauerausstellung existiert bei der Rheinisch-Westfälischen Wasserwerksgesellschaft Mülheim/Ruhr (Wassermuseum Aquarius: [www.aquarius-wassermuseum.de](http://www.aquarius-wassermuseum.de)).

Eine intensive Einführung für Schüler in die Grundwasserthematik erfolgt an der Universität Bochum im Rahmen des Kursangebotes „Alfred-Krupp-Labor“ ([www.aks-rub.de](http://www.aks-rub.de)). Sehr gute, speziell für den Schulunterricht konzipierte Materialien wurden im Rahmen der Schweizer Wanderausstellung „Grundwasser – Ein Schatz auf Reisen“ ([www.grundwasser.ch](http://www.grundwasser.ch)) erstellt.

### Besuch von Wasserversorgungsanlagen

Auf die Möglichkeit von Wasserwerks- und Solebäderbesuchen (s. Kap. 2.6 u. 3.2) wurde bereits hingewiesen. Diese Besuche können sehr gut mit Geländeexkursionen in Wasserschutzgebieten und Befahrungen von Aufschlüssen verbunden werden.

## 4 Literaturverzeichnis

HÖLTING, B.; COLDEWEY, W. G. (2005): Hydrogeologie. – 326 S., 118 Abb.; München (Elsevier).

MICHEL, G.; ADAMS, U.; SCHOLLMAYER, G. (1996): Grundwasser in Nordrhein-Westfalen – Eine Biografie zur regionalen Hydrogeologie. – scriptum, **1**: 3 – 75, 5 Abb.; Krefeld.

MICHEL, G.; ADAMS, U.; SCHOLLMAYER, G. (1998): Mineral- und Heilwasservorkommen in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten. – 80 S., 16 Abb., 11 Tab., 1 Kt.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)

## 5 Anhang: Versuchsbeschreibungen

(MANFRED CAPLAN)

### 5.1 Experimente zum $\text{CO}_2$ - $\text{CaCO}_3$ -Gleichgewicht

**5.1.1 Protolyse von Wasser mit Kohlenstoffdioxid**

**5.1.2 Druckabhängigkeit des  $\text{CO}_2$ -Wasser-Gleichgewichts**

**5.1.3 Löslichkeit und Ausfällung von Kalk**

**5.1.4 Praktikum Karbonathärte**

### 5.2 Qualitative und quantitative Untersuchung von Wasser

**5.2.1 Bestimmung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts in Mineralwässern**

**5.2.2 Nachweis gelöster Gase**

**5.2.3 Nachweis gelöster Ionen (indirekt über die Leitfähigkeit und den Abdampfdruckstand)**

**5.2.4 Zerlegung von Wasser**

**5.2.5 Nachweis von Wasser**

**5.2.6 Bestimmung von Schadstoffen in Wässern (Stufe 9/10 Diff)**

**5.2.7 Bestimmung der organischen Gesamtbelastung**

### 5.3 Wasser als Dipolmolekül

**5.3.1 Experimenteller Nachweis der Bildungswärme von Wasserstoffbrückenbindungen**

**5.3.2 Eissprengung: Modellexperiment zur physikalischen Verwitterung**

**5.3.3 Autoprotolyse von Wasser**

### 5.4 Versalzung von Böden

**5.4.1 Modellexperiment zur Kapillarwirkung**

**5.4.2 Modellexperiment zur Versalzung von Böden**

### 5.5 Wasser im Untergrund

**5.5.1 Modellexperiment zur Wasserdurchlässigkeit**

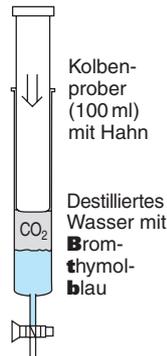
## 5.1 Experimente zum CO<sub>2</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Gleichgewicht

### 5.1.1 Protolyse von Wasser mit Kohlenstoffdioxid

Ein 100-ml-Kolbenprober wird zu 1/3 mit deionisiertem Wasser (VE) gefüllt. Dazu gibt man einige Tropfen Bromthymolblau. Der Stempel des Kolbenprobers wird entfernt. Mittels Druckflasche überschichtet man nun das Wasser-Indikator-Gemisch mit Kohlenstoffdioxid. Nun wird der Stempel eingeführt. Durch Pressen des Stempels erwirkt man einen Farbumschlag des Indikators.

### 5.1.2 Druckabhängigkeit des CO<sub>2</sub>-Wasser-Gleichgewichts

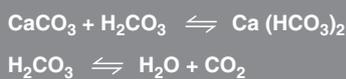
CO<sub>2</sub>-haltiges Mineralwasser wird luftfrei in einem Kolbenprober abgefüllt (ca. 30 ml). Dann zieht man mit großer Kraft an dem Stempel.



### 5.1.3 Löslichkeit und Ausfällung von Kalk

Ansetzen einer gesättigten Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-Lösung

1. Methode: Einleiten von CO<sub>2</sub> in Kalkmilch (einige Tage stehen lassen)
  2. Zugabe von einigen Gramm CaO oder Ca-Hydroxid zu Mineralwasser (einige Tage stehen lassen, abfiltrieren)
- In kohlensäurehaltigem Wasser ist CaCO<sub>3</sub> beträchtlich löslich, da sich dabei das ziemlich leicht lösliche Ca-Hydrogencarbonat bildet (Lösen von Kalk, Transport und Ausfällung in Karstgebieten durch CO<sub>2</sub>-haltiges Wasser).



Beim Erhitzen oder Eindunsten der Lösung verschiebt sich das Gleichgewicht infolge des Entweichens von CO<sub>2</sub> wieder nach links, sodass CaCO<sub>3</sub> ausfallen muss. Hierauf beruhen die Abscheidung von Kesselstein beim Erhitzen von kalkhaltigem Wasser in Wassererhitzern und die Bildung von Tropfsteinen. Durch Reaktion mit Natriumphosphat können die Ca<sup>2+</sup>-Ionen als Ca-Phosphat ausgefällt werden (eine fotometrische Verfolgung dieser Enthärtungsmethode bietet sich an) (Filterfotometer PF-10 und Reagenziensatz auf Ca<sup>2+</sup>)

#### Experiment

Ein sauberes Reagenzglas wird zu 1/3 mit gesättigter Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-Lösung gefüllt. Parallel dazu bestimmt man z. B. mit dem Reagenzglasfotometer die Ca<sup>(2+)</sup>-Konzentration der gesättigten Lösung.

### 5.1.4 Praktikum: Karbonathärte

1. Ein Reagenzglas wird mit ca. 5 ml destilliertem Wasser, ein weiteres Reagenzglas mit dem gleichen Volumen einer gesättigten Lösung von Kalkwasser gefüllt. Beide Stoffe werden bis zur Trockne eingedampft. Notieren Sie die Beobachtungen.
2. Experiment zur Leitfähigkeit  
Messen Sie die Leitfähigkeit von destilliertem Wasser (lassen Sie die Elektrode in dem Becherglas). Geben Sie eine Spatelspitze Kochsalz in das Becherglas. Beobachten Sie die Skala des Leitfähigkeitmessgerätes.
3. Bestimmen Sie die Leitfähigkeit folgender Stoffe:

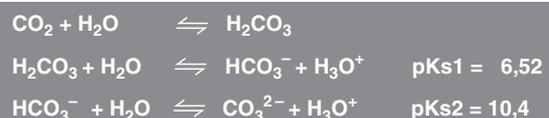
Probe:	Wert	
destilliertes Wasser		DIST WP 3
Leitungswasser		waterproof
Kalkwasser		conductivity Taler

4. Notieren Sie die Gesamthärte folgender Stoffe:

Probe:	Wert
destilliertes Wasser	
Leitungswasser	
Kalkwasser	
Mineralwasser	

#### Durchführung:

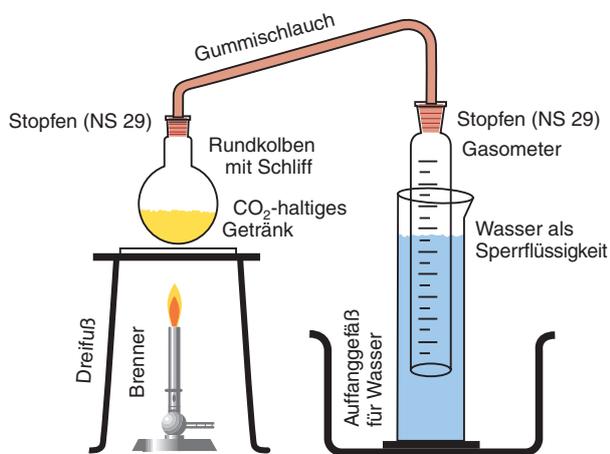
- a. Das Probengefäß mit 5 ml Probe füllen, Kunststoff-spritze verwenden
  - b. 2 Tropfen GH-1 zugeben, durch Umschwenken vermischen. Die Probe färbt sich rot. Bei Grünfärbung sind keine Härtebildner vorhanden.
  - c. Tropfflasche GH-2 genau senkrecht halten und Reagenz tropfenweise zugeben; dabei Probe durch Umschwenken vermischen, bis sie sich grün verfärbt. Tropfen zählen!!! Ein Tropfen entspricht 1° Gesamthärte. (°d) 1°d = 10 mg/l CaO. Erörtern Sie die Zusammenhänge zwischen Experiment 3 und 4!
5. Bestimmen Sie den pH-Wert eines Kohlenstoffdioxid-haltigen Mineralwassers. Verwenden Sie eine geeichte pH-Elektrode. Notieren Sie den Wert. Deuten Sie das Reaktionsschema:



## 5.2 Qualitative und quantitative Untersuchung von Wasser

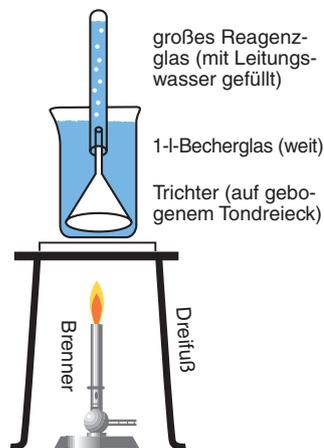
### 5.2.1 Bestimmung des $\text{CO}_2$ -Gehalts in Mineralwässern

Untersucht werden etwa stille Mineralwässer und so weiter. Man setzt ein bestimmtes Volumen ein (Vergleich mit anderen Mineralwässern). Durch Erhitzen der Wasserproben bis zum Siedepunkt wird der  $\text{CO}_2$ -Anteil ausgetrieben und im Gasometer gesammelt.



### 5.2.2 Nachweis gelöster Gase

Untersuchung von Regenwasser und Leitungswasser. Die Apparatur wird aufgebaut (zur Stabilisierung des Analysentrichters benutzt man ein gebogenes Tondreieck). Der Analysentrichter sollte eine möglichst große Öffnung haben. Das vollständig mit Wasser gefüllte Reagenzglas wird mit nassem Filterpapier bedeckt und schnell über das Ablaufrohr des Trichters geschoben. Danach beginnt man mit der Erhitzung des Wassers bis zur Siedetemperatur. Wenn nur noch Wasserdampf im Reagenzglas gesammelt wird (erkennbar an den kleiner werdenden Gasblasen), ist die Gassammlung beendet. Das Echtvolumen des Gases wird sichtbar, wenn man mit der Spritzflasche kaltes Wasser über die Reagenzglaskuppe laufen lässt. Das gesammelte Gasgemisch kann man in der SII gaschromatografisch analysieren beziehungsweise identifizieren.



### 5.2.3 Nachweis gelöster Ionen (indirekt über die Leitfähigkeit und den Abdampfrückstand)

Untersuchung von

- destilliertem Wasser (bzw. Regenwasser)
- Leitungswasser
- verschiedenen Mineralwässern  
(unterschiedliche Anteile gelöster Salze bzw. Mineralien)

Saubere Reagenzgläser werden gekennzeichnet und mit den Wasserproben zu etwa 1/3 gefüllt. Dann wird bis zur Trockne eingedampft. Die Beobachtungen werden notiert. Parallel dazu bestimmt man die Leitfähigkeit der Wasserproben.

### 5.2.4 Zerlegung von Wasser

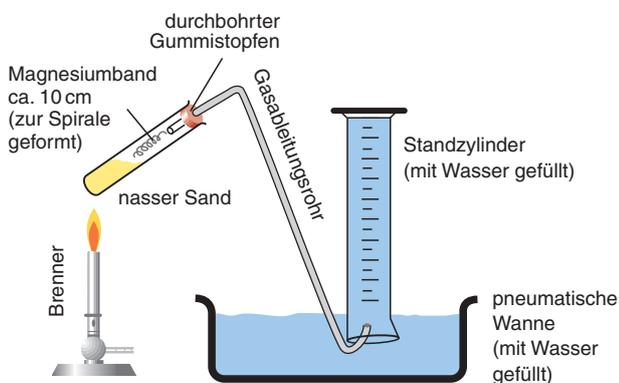
Wasser, Element oder Verbindung? (Anlehnung an das Experiment von LAVOSIER) (Stufe 7)

Die Frage, ob Wasser ein Element oder eine Verbindung ist, versuchte der französische Gelehrte ANTOINE LAURENT LAVOSIER (1734 bis 1794) vor mehr als 200 Jahren experimentell zu lösen. Er leitete zu diesem Zweck Wasserdampf durch einen Flintenlauf, in dem sich glühende Eisennägel befanden. Dieser Flintenlauf lag in einem Becken mit glühender Holzkohle. Wir nehmen in unserem Experiment ein besseres Reduktionsmittel als Eisen.

**Durchführung:**

Ein schwer schmelzendes Reagenzglas wird zu 1/4 mit Seesand gefüllt. Der Sand wird mit einigen Millilitern Wasser angefeuchtet. Darüber platziert man einige Zentimeter frisch geschmirkeltes Magnesiumband (das Band zu einer Spirale formen).

Man baut die (gasdichte) Apparatur zusammen. Nun werden die Edukte mit der rauschenden Brennerflamme zur Reaktion gebracht. Der gesammelte Wasserstoff wird näher untersucht.

**5.2.5 Nachweis von Wasser**

1. Die Schüler/-innen erhitzen in einem Reagenzglas  $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$  (ca. 1 cm hoch). Nach dem Kalzinieren gibt man einen Tropfen Wasser auf das wasserfreie Salz. Der Vorgang ist reversibel.
2. Eine Spatelspitze  $\text{CaO}$  vermischt man mit der gleichen Menge festen Phenolphthaleins. Auf dieses Gemisch gibt man einen Tropfen Wasser.

**5.2.6 Bestimmung von Schadstoffen in Wässern (Stufe 9/10 Diff)**

Fotometrische Bestimmung von Ammonium/Nitrat/Nitrit/Harnstoff (anthropogene Verunreinigungen)

Mit dem preiswerten Filterfotometer PF-10 (MACHERY-NAGEL) haben wir gute Erfahrungen gemacht. Das Gerät kann man im Gelände einsetzen. Die Testsätze von Viskolor und Nanokolor sind ebenfalls gut im Gelände einsetzbar. Normale Reagenzgläser kann man als Küvetten verwenden!

Mit Aktivkohle kann man Schadstoffe entfernen. Dieses Absorptionsvermögen der A-Kohle kann man in zahlreichen quantitativen Problemstellungen untersuchen. Die Bedeutung von A-Kohle in der Trinkwasseraufbereitung wird verdeutlicht.

**5.2.7 Bestimmung der organischen Gesamtbelastung**

(Titration von Abwasser mit einer stark sauren Dichromatlösung)

100 ml Abwasser werden bis zum Sieden erhitzt und mit 20 ml verdünnter Schwefelsäure versetzt. Dann wird mit 0,2 ml molarer Dichromatlösung bis zur bleibenden Färbung titriert (mit  $\text{Ag}^+$  kann man den Endpunkt gut erkennen).

### 5.3 Wasser als Dipolmolekül

#### 5.3.1 Experimenteller Nachweis der Bildungswärme von Wasserstoffbrückenbindungen

Man mischt in einem Becherglas gleiche Volumina reinen Wassers und absoluten Ethanol. Mit einem elektronischen Thermometer bestimmt man die Temperaturänderung. Ergebnis: Man stellt eine positive Wärmetönung fest. Die Dipolmoleküle Wasser und Ethanol reagieren unter Ausbildung von Wasserstoffbrücken.

#### 5.3.2 Eissprengung: Modellexperiment zur physikalischen Verwitterung

Eine kleine Mineralwasserflasche wird vollständig mit Wasser gefüllt und luftfrei verschlossen. Die Flasche wird in einen Gefrierbeutel gepackt und in ein Tiefkühlfach gelegt.

#### 5.3.3 Autoprotolyse von Wasser

In ein Becherglas stellt man einen Leitfähigkeitsprüfer und füllt etwas VE-Wasser ein. Die Elektrode muss vollständig benetzt sein. Steigert man nun die Temperatur des reinen Wassers, so stellt man eine Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit fest. Die höhere Leitfähigkeit lässt auf eine höhere Ionenkonzentration

schließen. Das Protolysegleichgewicht wird durch die Wärmebewegung beeinflusst. Die Anzahl der geeigneten Zusammenstöße nimmt zu. Die Konzentration an  $\text{OH}^-$  und  $\text{H}_3\text{O}^+$  nimmt zu. Nach dem Prinzip von LE CATELIER begünstigen erhöhte Temperaturen endotherme (Wärme verbrauchende) Vorgänge, weil dadurch der Zwang „zugeführte Energie“ vermindert wird. Da sich das Autoprotolysegleichgewicht des Wassers mit steigenden Temperaturen im Sinne einer vermehrten Protolyse verlagert, muss die Protolyse ein endothermer Vorgang sein. Das Ionenprodukt des Wassers ist also von der Temperatur abhängig (Abb. 17).

#### Anregende Fragen für den Unterricht:

Welche pH-Werte liegen bei höheren Temperaturen vor? Wie verhält sich Wasser in tropischen, wie in gemäßigten Breiten? (Karsterscheinungen)

Welche pKw-Werte (pH-Werte) findet man in sehr heißen Wässern (Tiefseeergräben/black smokers)?

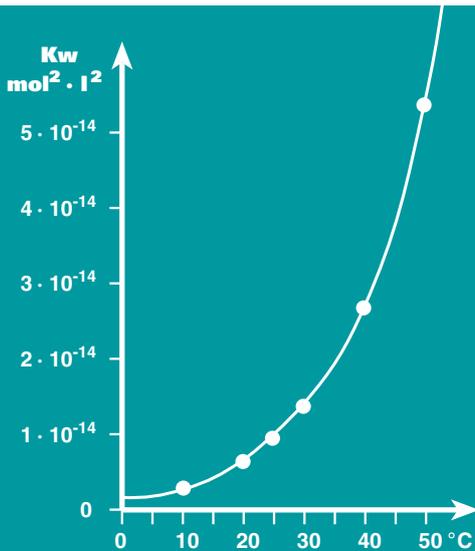


Abb. 17: Temperaturabhängigkeit des Ionenprodukts von Wasser: Bei 100 °C ist  $K_w = 55 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{l}^2$ .

#### Beispiel

pH des Wassers bei 100 °C;  $k_w = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-)$

$$55 \cdot 10^{-14} = x^2$$

$$x = \sqrt{55 \cdot 10^{-14}} = 10^{-6,12} = c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{OH}^-)$$

pH = 6,12

Bei T = 100 °C hat Wasser einen pH-von 6,12

## 5.4 Versalzung von Böden

### 5.4.1 Modellexperiment zur Kapillarwirkung

(Pasteurpipetten eignen sich besonders gut zur Herstellung von Kapillaren)

Eine Pasteurpipette wird in die rauschende Flamme des Brenners gehalten und bis zur Zähflüssigkeit erhitzt. Dann zieht man aus der Schmelze unterschiedlich dicke Kapillaren. Diese Kapillaren stellt man in eine Lösung von Methylenblau in Wasser (auch rote/blau Tinte).

### 5.4.2 Modellexperiment zur Versalzung von Böden

Man setzt eine mäßig konzentrierte Lösung von  $\text{NaHCO}_3$  in destilliertem Wasser an (100-ml-Becherglas). In diese Lösung taucht man (zur Hälfte) ein zusammengerolltes Filterpapier.

## 5.5 Wasser im Untergrund

### 5.5.1 Modellexperiment zur Geschwindigkeit des Grundwassers

Glasrohre (ca. 40 cm lang) mit einem Innendurchmesser von 10 – 15 mm werden am unteren Ende mit Glaswolle verschlossen. Dann füllt man die Rohre ca. 20 cm hoch mit unterschiedlichen Korngrößen (z. B.):

Kies (feinkörnig)	Schluff	Ton/schluffiger Ton
-------------------	---------	---------------------

Die Rohre werden senkrecht in ein Reagenzglasgestell gesetzt und mit Wasser bis zur oberen Marke gefüllt (Skizze). Man bestimmt mittels Stoppuhr die Auslaufzeit des Wasservolumens bis zur zweiten Markierung.

Die Auslaufzeiten werden von den Schülern notiert (Arbeitsblatt Nr. 2, Kap. 2.2).

**Zusammenfassung:**

Die Paläontologie beschäftigt sich mit Fossilien, den überlieferten Resten vorzeitlicher Organismen, Einzeller, Pflanzen oder Tiere. Es sind zumeist mineralisierte Hartteile oder auch Spuren, die die Lebewesen hinterlassen haben. Die Entstehung der Fossilien und ihre praktische Bedeutung in den Geo- und Biowissenschaften wird im ersten Teil der Abhandlung beschrieben. Es folgen zwei Vorschläge für den Biologie- und den Geografieunterricht, die mit den curriculären Vorgaben in der Sekundarstufe I konform gehen: 1. Der Übergang der Wirbeltiere vom Wasser auf Land im Devon, 2. Die Paläontologie der Braunkohlensümpfe im Tertiär der Niederrheinischen Bucht.

**1 Einleitung**

Die Paläontologie ist die Lehre von den Lebewesen der Vorzeit. Sie analysiert und ordnet Fossilien, die im Gestein überlieferten Reste von vorzeitlichen Lebewesen oder auch deren Spuren. Indem sie eine zeitliche Einordnung von Gesteinsschichten durch Fossilien ermöglicht, ist sie für die Geologie wichtig. Ebenso ist sie aber auch für die Biologie von großer Bedeutung, indem sie anhand der Fossilien die Entwicklungsgeschichte des Lebens von seinen ersten Spuren bis zu den heutigen Formen rekonstruiert und es so ermöglicht, die Vorgänge der Evolution sowie das zeitliche und räumliche Auftreten früherer Lebewesen und deren Lebensbedingungen genau zu erfassen.

Themen aus dem Bereich Paläontologie können im Unterricht die Verbindung zwischen verschiedenen Fächern herstellen. Der Aspekt der Evolution wird eher im Biologieunterricht seinen Platz haben, wobei zugleich die praktischen Anwendungen der Kenntnisse aus der Evolutionsgeschichte bei der Altersdatierung von Gesteinen sehr bedeutsam sind und somit einen wichtigen Schlüssel zum Verständnis des Themas Erdgeschichte im Erdkundeunterricht bilden.

**Inhalt:**

- 1 Einleitung
- 2 Ein paar Grundbegriffe der Paläontologie
- 3 Einige Anregungen für den Unterricht
  - 3.1 Die Paläontologie im Einsatz zur geologischen Zeitbestimmung
  - 3.2 Der Übergang vom Wasser aufs Land: Aus Fischen werden Amphibien
  - 3.3 Die Rheinische Braunkohle – eine Lagerstätte aus fossilen Pflanzen
- 4 Unterrichtsmaterialien, Hinweise

**Anschrift der Autoren:**

Dipl.-Geol. Dr. MARTIN HISS, Dipl.-Geol. Dr. RÜDIGER STRITZKE  
 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
 – Landesbetrieb –  
 De-Greiff-Str. 195, 47803 Krefeld

REINHILD VOLMERIG  
 Max-Planck-Gymnasium Gelsenkirchen  
 Goldbergstr. 91, 45894 Gelsenkirchen

Nicht anders ist es bei der Betrachtung der Lebensweise verschiedener Organismen, wo gleichzeitig durch die fossile Erhaltung in einem Gesteinskörper Rückschlüsse auf dessen Entstehung sowie die früheren Umweltbedingungen möglich sind (Paläogeografie, Paläoökologie).

Ein weiterer, für den Erdkundeunterricht wichtiger Aspekt der Paläontologie ist sicher auch die Bedeutung mancher Organismen für die Bildung von Gesteinen und für die Entstehung bedeutender Rohstoffe. So gehen Kohle, Erdöl, viele Eisenerze und Kalksteine direkt oder indirekt auf Organismen zurück. In der Wechselbeziehung zwischen organischer und anorganischer Welt laufen viele physikalisch-chemische Prozesse ab, sodass bei der Betrachtung bestimmter Stoffkreisläufe auch Verknüpfungen zu den Fächern Chemie und Physik gegeben sind.

Aufgrund dieser vielfältigen Querbeziehungen sind paläontologische Themen nicht nur für den Biologie- oder Erdkundeunterricht interessant, sondern eignen sich auch für interdisziplinären, fächerübergreifenden Unterricht, zum Beispiel als Themenschwerpunkt bei Projekttagen.

## 2 Ein paar Grundbegriffe der Paläontologie

Das Untersuchungsobjekt der Paläontologie sind in erster Linie die Fossilien, also überlieferungsfähige Hartteile von Organismen wie zum Beispiel Schalen von Muscheln und Schnecken, aber auch organische Reste wie Pollen und Sporen von Pflanzen. Solche Fossilien können entweder noch aus der ursprünglichen Substanz bestehen, im Verlauf späterer mineralischer Umwandlungen in ihrer Struktur verändert, oder aber auch nur in Form von Abdrücken im Gestein zu erkennen sein (Abb. 1). Neben den Fossilien werden aber auch die Spuren analysiert, die frühere Lebewesen zu ihren Lebzeiten im Gestein hinterlassen haben. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind Saurierfährten.

Fossilien können unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet und analysiert werden. Daraus definieren sich verschiedene Teildisziplinen, die allgemeine, die spezielle und die angewandte Paläontologie:

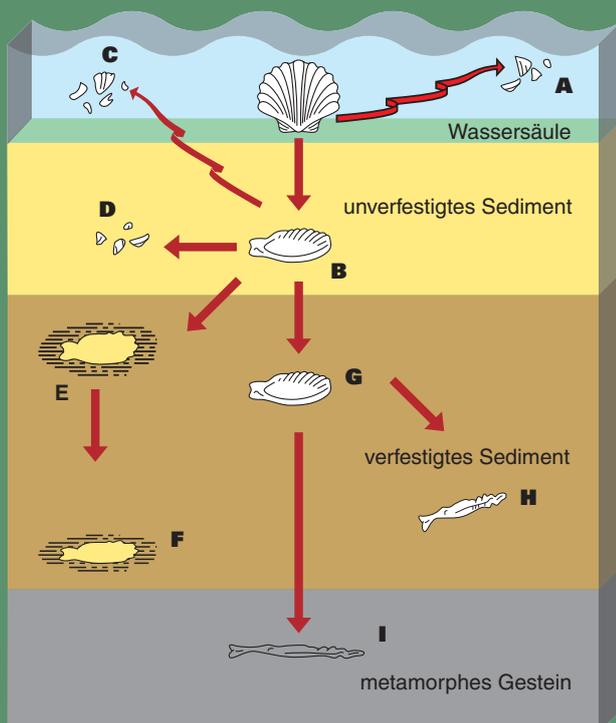
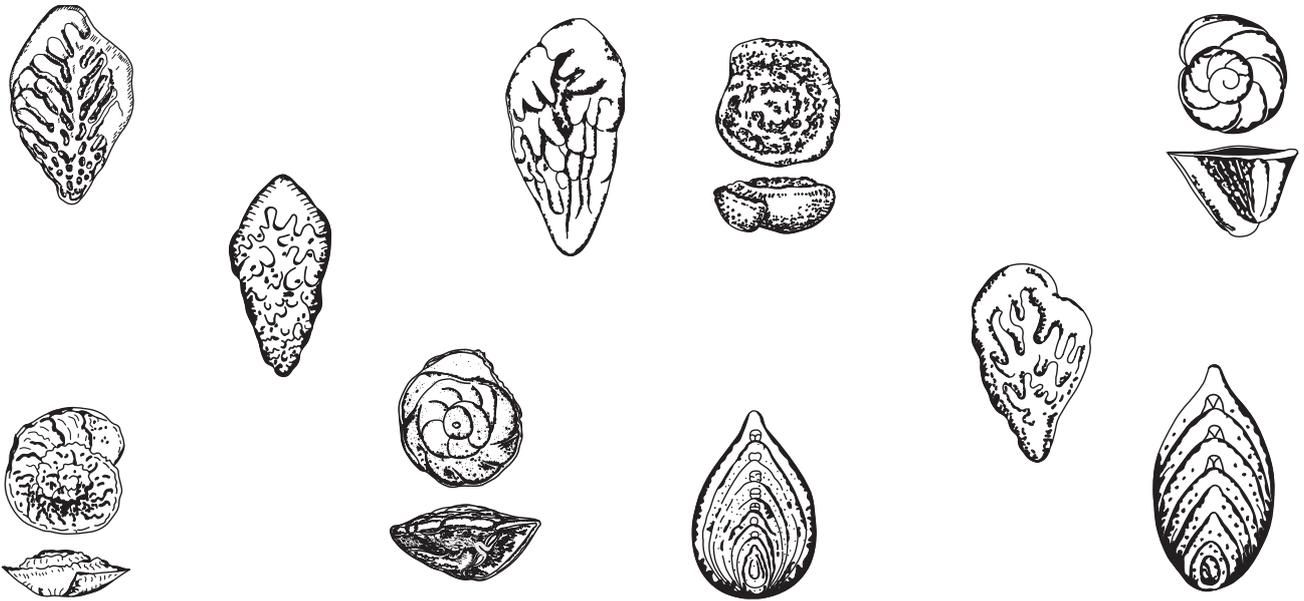


Abb. 1: Vom lebenden Organismus zum Fossil. Ein abgestorbener Organismus (Muschel) befindet sich auf dem Meeresgrund. Die Weichteile werden rasch zersetzt, die harte Schale bleibt übrig. Durch das Wasser oder Organismen werden viele Schalen zerstört, ohne eingebettet zu werden (A). Die Schale wird von Sedimenten überdeckt, die nochmals umgelagert werden können. Dadurch werden bereits eingebettete Schalen zerstört (C, D). Durch weitere Sedimentauflagen oder chemische Veränderungen werden die Sedimente verfestigt. Dabei können Fossilien komplett aufgelöst werden, sodass nur noch deren Abdrücke oder Steinkerne übrig bleiben (E), die bei weiterer Sedimentauflage deformiert werden (F). Intakte Fossilien (G) werden ebenso bei weiterer Sedimentauflage deformiert (H) oder bei beginnender Metamorphose stark verändert und zerstört (I).









<i>Pseudogavelinella clementiana</i>	<i>Stensioelina pommerana</i>	<i>Bolivinooides granulatus</i>	<i>Bolivinooides culverensis</i>	<i>Bolivinooides laevigatus</i>	<i>Gavelinopsis volziana</i>	<i>Bolivinooides decoratus decoratus</i>	<i>Neoflabellina numismalis</i>	<i>Bolivinooides draco miliaris</i>	<i>Globorotalitis hiltermanni</i>	<i>Bolivina incrassata incrassata</i>	<i>Osangularia cordierana navarroana</i>
?					?		?				

meist häufig, z.T. sehr häufig
  selten
  sehr selten
  ? Vorkommen fraglich

Zeitskala für das Campan, den 71,3–83,5 Mio. Jahre alten Zeitabschnitt innerhalb der Kreide-Zeit, wiedergegeben (Abb. 2). Gesteine aus diesem etwa 12,2 Mio. Jahre dauernden Zeitintervall sind in Nordrhein-Westfalen zum Beispiel im zentralen Münsterland weit verbreitet, aber auch darüber hinaus in weiten Teilen Norddeutschlands überliefert. Die Zeitgliederung basiert auf der Untersuchung von Foraminiferen, einzelligen, im Meer lebenden Organismen mit einer festen, mehrkammerigen Schale. Eine Einteilung in acht Zeitzonen ist möglich. Diese wiederum geben wertvolle Hinweise auf die Lagerung und Verbreitung der Schichten und den Verlauf von Verwerfungszonen.

### 3.2 Der Übergang vom Wasser aufs Land: Aus Fischen werden Amphibien

*(Themenbereiche Evolution, Anpassung an veränderte Lebensbedingungen, Funktionsmorphologie)*

Nach den Skorpionen und Insekten gingen im Devon, also vor rund 400 Millionen Jahren, auch die Wirbeltiere an Land. Im Gegensatz zu den Erstgenannten bereitete den in ihrer Masse deutlich schwereren Wirbeltieren die Schwerkraft an Land Probleme. Der Auftrieb des Wassers fehlte nun, sodass die Amphibien neue Wege finden mussten, ihren Körper zu stabilisieren und fortzubewegen. Die Wirbelsäule musste umstrukturiert werden. Bei Fischen ist sie sehr einfach gebaut: alle Wirbel sind im Bereich der Muskelsegmente, der Myomere, angelegt. Diese Konstruktion würde bei einer Fortbewegung auf dem Land dazu führen, dass der Rücken durchsackt. Vielmehr müssen die Wirbel in Bezug auf die Myomere intersegmental,

das heißt zwischen den Muskelsegmenten, liegen. Dazu werden die Wirbelanlagen umgestaltet. Der vordere Teil eines ursprünglichen Wirbels, das Pleurozentrum, verwächst mit dem hinteren Teil des vorangehenden Wirbels, dem Interzentrum, und bildet damit einen neuen Wirbel.

Die Amphibien des Karbons experimentieren mit diesen Wirbelanlagen (Abb. 3). Einige Formen haben Wirbel mit gleich großen Pleuro- und Interzentra, andere vergrößern das Pleurozentrum auf Kosten des Interzentrums und umgekehrt. Diese vielfältige Wirbelgestaltung ist die Grundlage der Systematik der paläozoischen Amphibien. Durchgesetzt hat sich letztlich nur der Wirbel, bei dem das Interzentrum allein den Wirbelkörper ausmacht. Er ist der Wirbeltyp bei allen nachfolgenden Tetrapoden, von den Reptilomorphen bis zu den Säugetieren. Die Verhältnisse bei den heutigen Amphibien sind unklar, da deren Skelett sekundär knorpelig ist.

Die Fortbewegung an Land unterscheidet sich vollkommen von der im Wasser. Der Salamander und die Eidechse schwingen den Körper beim Kriechen in Kurven seitwärts, ein Erbe ihrer schwimmenden Vorfahren. Aber die Hauptantriebskraft kommt aus den hinteren Extremitäten. Ihre Verankerung am Stammskelett muss folglich stabiler sein. Sie erfolgt über das Becken, das teilweise fest mit der Wirbelsäule verschmilzt: es entsteht das Kreuzbein. Dieses wird bei den ersten Amphibien aus nur einem Wirbel gebildet; später kommen weitere hinzu. Arme und Beine eines Vierfüßers entsprechen dem Flossenskelett seines nächsten Fischverwandten, des Quastenflossers (*Osteolepis*); sie sind diesem homolog. Im Brustflossenskelett von *Eusthenopteron* erkennt man den Humerus (Oberarmknochen) sowie Radius und Ulna (Unterarmknochen); die Übereinstimmung bei Hand- und Fingerknochen ist weniger ausgeprägt. Die frühesten Amphibienskelette haben bereits voll entwickelte Schulter-, Ellbogen- und Handgelenke sowie klar ausgeprägte Hände und Finger. Die Glieder sind gestreckt, Ellbogen und Knie zur Seite abgespreizt, Humerus (Oberarmknochen) und Femur (Oberschenkelknochen) liegen beim Kriechen fast waagrecht (Abb. 4).

Der Schultergürtel ist bei Fischen Teil des Hinterschädels. Diese Konstruktion würde bei Vierfüßern bei jedem Schritt einen Schlag gegen den Kopf verursachen und das Gehirn erschüttern. Der Schultergürtel musste sich also vom Schädel trennen und sich mit dem Brustkorb verbinden. Auch der Schädel erfuhr Veränderungen. Um ihn vor Verletzungen bei einem Sturz an Land zu schützen, bildeten sich schwere Schädelknochen („Dachschädel“).

Der bekannteste frühe Vierfüßer ist *Ichthyostega* aus dem grönländischen Oberdevon (Abb. 5). Er war etwa 1 m lang und trug deutliche Fischmerkmale: einen stromlinienförmigen Körper, ei-

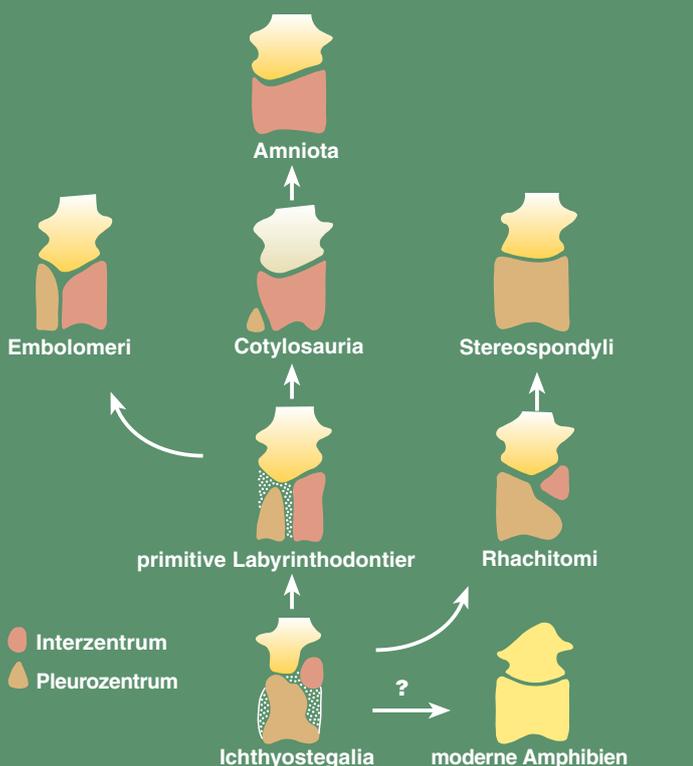


Abb. 3: Die Wirbelentwicklung bei den Uramphibien

nen runden Schädel wie beim Quastenflosser *Osteolepis*, einen Schultergürtel nahe am Hinterkopf, eine große Schwanzflosse und Seitenlinien an den Schädelseiten. Die ungewöhnlich großen Rippen hingen an beiden Seiten des Tieres herab. Dies diente vermutlich dem Halt der inneren Organe. Es hätte die Entwicklung der Wirbeltiere erheblich eingeschränkt, wenn statt des Brustkorbs eine Brustplatte entstanden wäre. Kopf und Glieder sind schwer, was gegen eine schnelle Fortbewegung von *Ichthyostega* an Land spricht. Vielmehr musste das Tier bei seinen Landausflügen wohl von Zeit zu Zeit Kopf und Bauch auf den Boden legen, um auszuruhen. Die langen, scharfen Zähne weisen es als Fleischfresser aus, der vielleicht seine Fischnahrung durch an Land lebende Gliederfüßer und Würmer ergänzte. Jahrzehntlang nahm man an, dass *Ichthyostega* wie alle Vierfüßer fünf Finger und Zehen je Extremität besäße. Dies ist das Fünffinger-Grundmodell (Pentadactylie), auf dem nach der einen Theorie sämtliche Vierfüßer-Extremitäten basieren – Walflosse, Vogelschwinge, Pferdehuf, Menschenhand. Neue Untersuchungen belegen, dass dieses Grundmodell jedoch nicht in jedem Fall stimmt. *Ichthyostega* hat sieben Zehen, *Acanthostega*, ein weiteres ursprüngliches Amphibium, acht. Die „Extrazehen“ sind perfekt geformt und keineswegs außergewöhnlich. Untersuchungen am oberdevonischen Amphib *Tulerpeton*, das ebenfalls mehr als fünf Finger besitzt, bestätigen diese zweite Theorie. Diese Erkenntnisse führten zu einem Umdenken über die Modelle der Evolution der Gliedmaßen. Es stellt sich heraus, dass sämtliche Vierfüßer des Devons mehr als fünf Finger besaßen, bevor sich die Standardzahl fünf oder weniger durchsetzte.

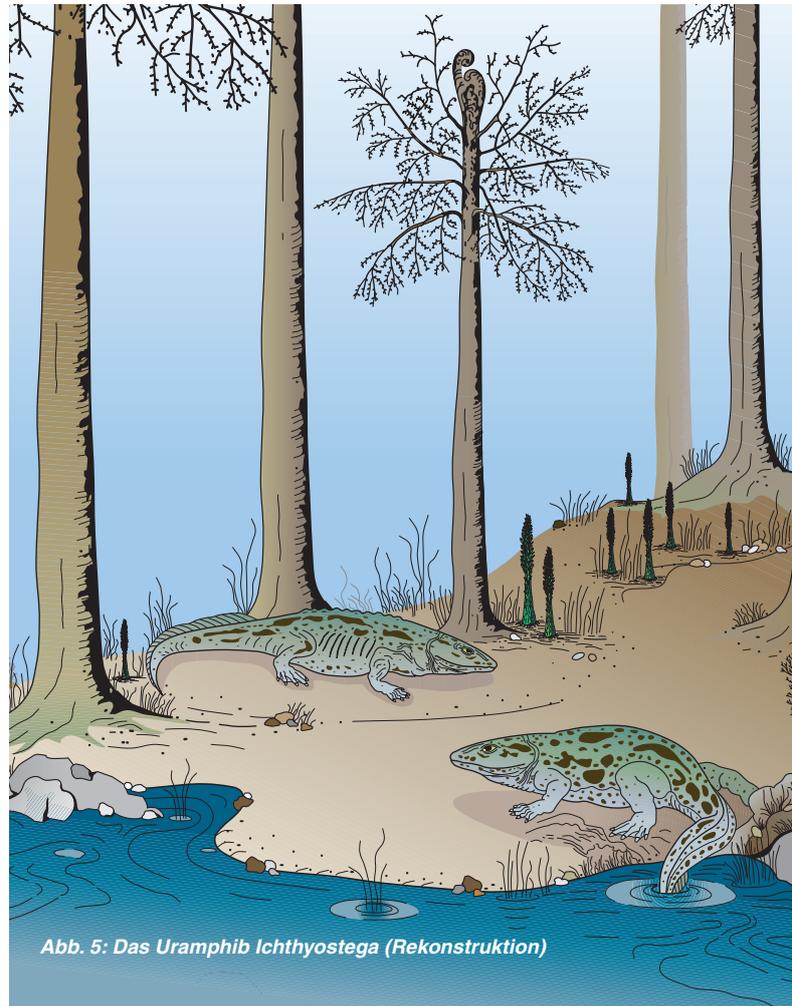
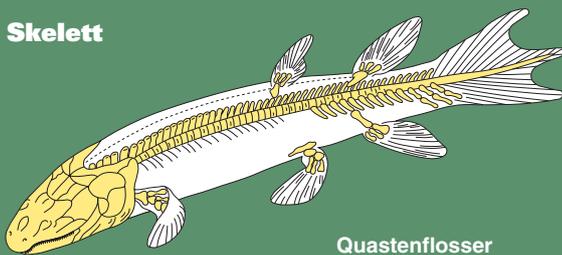


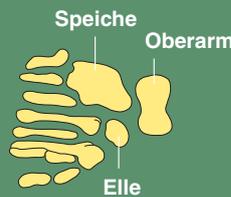
Abb. 5: Das Uramphib *Ichthyostega* (Rekonstruktion)

**Skelett**

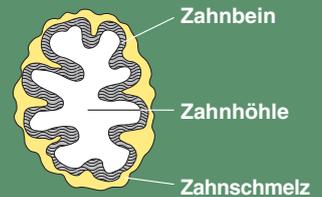


Quastenflosser

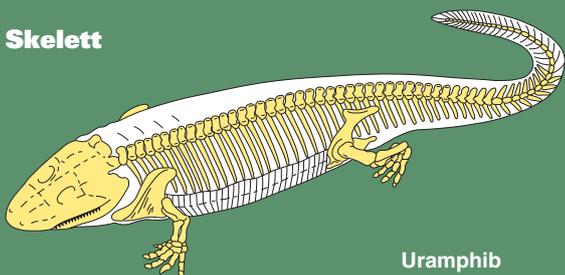
**Hand**



**Zahn**

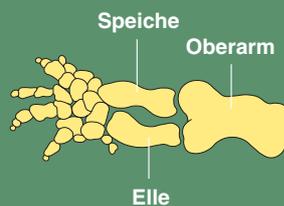


**Skelett**



Uramphib

**Hand**



**Zahn**

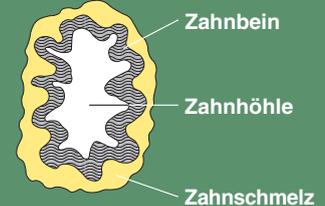


Abb. 4: Vergleich Quastenflosser/Uramphib

### 3.3 Die Rheinische Braunkohle – eine Lagerstätte aus fossilen Pflanzen

*(Themenbereiche Paläoökologie und Paläogeografie im Rheinland, Veränderung, Abbau und Umwandlung von organischem Material, Inkohlungsprozesse)*

Zweimal kam es im bisherigen Verlauf der Erdgeschichte zur Bildung umfangreicher Kohlenlagerstätten: im Karbon und im Tertiär. Die Kohlenlagerstätten des Karbons werden im Beitrag von JUCH & GALBAS (dieses Heft, S. 80 – 93) vorgestellt. Hier ist auch die Entstehung von Kohle erklärt.

Die Braunkohlenlagerstätten der Tertiär-Zeit bildeten sich vor 40 bis 2 Millionen Jahren unter anderem in weiten Teilen Norddeutschlands, zum Beispiel in der Lausitz, im Raum Halle – Leipzig oder in der Niederrheinischen Bucht. Im sogenannten Rheinischen Braunkohlenrevier finden wir eine weit ausgedehnte Braunkohlenlagerstätte mit mächtigen Flözen zwischen Köln, Mönchengladbach und Aachen. Mit einem Gesamtinhalt von etwa 55 Mrd. Tonnen ist dieses Revier das größte zusammenhängende europäische Braunkohlenvorkommen.

Bekanntlich entsteht Kohle aus Kohlenstoff, den grüne Pflanzen während ihres Lebens mithilfe der Fotosynthese gespeichert haben. In der Kohle ist somit letztlich Sonnenenergie gespeichert. Damit aber aus abgestorbener Pflanzensubstanz

Kohle wird, müssen die Pflanzenleichen unter Luftabschluss eingelagert werden. In den Braunkohlenwäldern des Tertiärs geschah dies durch Wasser. Die Niederrheinische Bucht wurde nämlich damals wiederholt entlang kontinuierlich absinkender Grabenbrüche vom Meer überflutet, dessen Sedimente (Tone und feinkörnige Sande) immer wieder von Flusssedimenten (meist Kiese und Sande) überlagert wurden. In diesen Phasen entstand aus der Pflanzensubstanz Torf, der schließlich zu Braunkohlenflözen verdichtet wurde. Die Sedimentabfolge der Braunkohlenzeit ist also durch einen intensiven vertikalen und horizontalen Wechsel dieser Sedimente gekennzeichnet.

Bei der Niederrheinischen Braunkohle unterscheidet man drei Flözgruppen: Zur Unterflözgruppe werden insgesamt fünf dünne Flöze des Oligozäns und des frühen Miozäns gerechnet. Sie finden sich im südlichen Teil der Niederrheinischen Bucht. Die Hauptmasse der Braunkohle bildet die miozäne Hauptflözgruppe, die in großen Tagebauen zwischen Bergheim, Grevenbroich und Düren abgebaut wird. Sie ist bis zu 100 m mächtig. Die Oberflözgruppe ist im Westen und Süden der Niederrheinischen Bucht verbreitet und wird derzeit bei Iden gewonnen.

Die Zusammensetzung der tertiären Braunkohlenwälder lässt sich aus zahlreichen erhaltenen Früchten, Blättern und Pollen der Pflanzen rekonstruieren. Rund 100 verschiedene Pflanzenarten



Abb. 6: Braunkohlenmoor in der Niederrheinischen Bucht (Rekonstruktion)

sind aus jener Zeit nachgewiesen. Es handelt sich bei ihnen um fast 70 Laubbaum- und fünf Nadelholzarten. Weitere 30 Arten stammen von Kräutern, Farnen und Moosen. Viele einheimische Baumgattungen waren damals bereits vertreten: Buchen, Eichen, Birken, Erlen und einige andere bekannte Arten.

Aufgrund der Auswertung dieser Pflanzenreste zeichnet sich ein recht unterschiedliches Landschaftsbild der tertiären Flora im Rheinischen Braunkohlenrevier ab (Abb. 6). Neben Mooreseen gab es vor allem Riedmoore, baumlose Niedermoorsee mit Wasserpflanzen und Riedgrasbewuchs. Das Bruchwaldmoor, ein Nyssa-Taxodium-Sumpfwald (vorwiegend aus Tupelobäumen und Sumpfzypressen bestehend), beherbergte verschiedene Wasserpflanzen, Farne, Lianen und Ananas-Gewächse. Weniger oft überflutet war das Myricaceen-Cyrtaceen-(Gagelstrauch-)Buschmoor. Es hatte den größten Anteil in der Niederrheinischen Bucht und somit die größte Bedeutung bei der Braunkohlenbildung. Schließlich gab es noch das Sequoia-Mischwaldmoor (Sequoia = Urwelt-Mammutbaum; Abb. 7).

Am Ende der allmählich verlandenden tertiären Moorflächen stand der Sequoia-Trockenwald, der die Braunkohlenbildung beendete.

#### 4 Unterrichtsmaterialien, Hinweise

Überregionale und regionale naturkundliche Museen bieten paläontologische Anschauungsobjekte, sie finden sich aber auch vielfach in kleinen örtlichen heimatkundlichen Sammlungen. Hier und dort können Fossilien aber auch direkt vor Ort in Aufschlüssen aufgesammelt werden. Solche Sammelaktionen lassen sich möglicherweise im Rahmen kleiner Exkursionen in den Unterricht oder in Projektstage integrieren.

Die Zahl der Publikationen zum Thema Paläontologie ist unermesslich und reicht von ersten Darstellungen für Kinder im Grundschulalter oder noch früher über anspruchsvollere Bücher für fachlich interessierte Leser bis hin zu Spezialarbeiten, die Fossilsammler oder Wissenschaftler benötigen. Es verbietet sich, an dieser Stelle Empfehlungen auszusprechen. Didaktisch aufbereitetes Material, das sich besonders gut für den Schulunterricht eignet, wird häufig von den größeren naturkundlichen Museen herausgegeben. Dort finden sich auch museumspädagogische Fachkräfte, die zu Fragen der Vermittlung paläontologischer Themen Auskunft geben können.

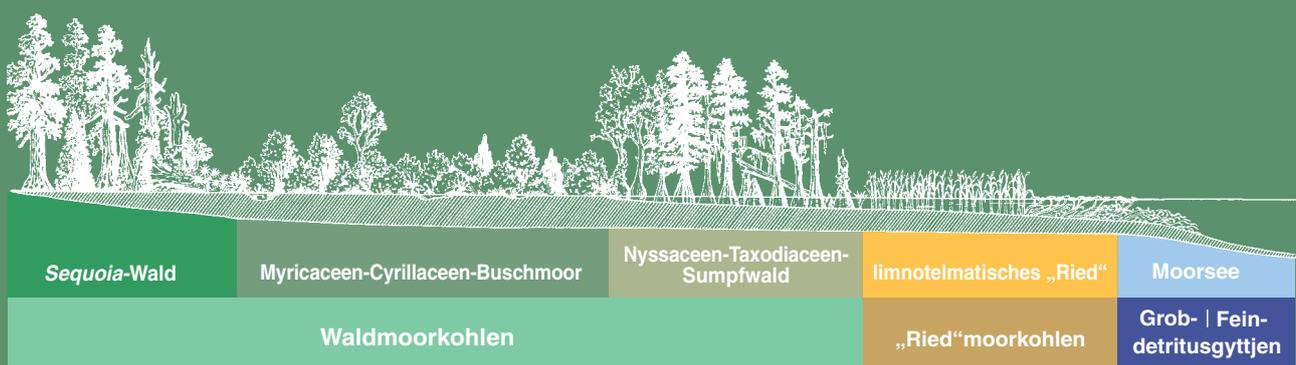


Abb. 7: Die wichtigsten Moortypen des Hauptflözes der niederrheinischen Braunkohle in ihrer vermuteten Aufeinanderfolge

## Intelligent Design und Kreationismus

VON THOMAS VAN DEN BERG, MARTIN NEUKAMM, JÖRG SOPCZAK, RÜDIGER STRITZKE

### Zusammenfassung:

Evolutionen gegner führen den Ursprung der Arten meist auf teleologische Ursachen beziehungsweise auf den Eingriff transzendenter Wesen zurück, lehnen also in religiöser Überzeugung gesamtevolutionäre Erklärungen ab. Diese sogenannte Schöpfungshypothese ist – je nach Glaubensauffassung ihrer Protagonisten – in verschiedene Schöpfungstheorien (wie z. B. in die Intelligent-Design-Theorie oder in das Aussagensystem des Kreationismus) integriert, die meist als wissenschaftliche Alternativen zur Evolutionstheorie beworben werden. Die vorliegende Abhandlung soll dem Lehrer/der Lehrerin Hintergrundwissen liefern und Argumentationshilfen für den Unterricht an die Hand geben. Schüler/-innen sollen begreifen, dass weder das Programm des (klassischen) Kreationismus noch die Intelligent-Design-Theorie einem wissenschaftlichen Anspruch gerecht werden. Fünf Arbeitsblätter dienen der Vertiefung des Themas im Unterricht.

### 1 Einleitung

Dass sich der Mensch aus früheren Lebensformen entwickelt hat, also ein Produkt der Evolution ist, stößt bei vielen auf Skepsis oder Ablehnung. Im August 2006 wurde im Wissenschaftsmagazin „Science“ (Bd. 313: 765 f.) das Ergebnis einer Reihe von Umfragen, die sich mit dieser Thematik beschäftigten, veröffentlicht. Von 1985 bis 2005 wurden alle zwei Jahre etwa 2000 US-amerikanische Bürger befragt, ob die Aussage „Der heutige Mensch hat sich aus früheren Tierarten entwickelt“ richtig oder falsch sei. Ihre Antworten wurden anschließend mit entsprechenden Befragungen in 32 europäischen Ländern und Japan verglichen. Von den US-Amerikanern waren noch nicht einmal die Hälfte (40 %) von der Evolution überzeugt, 39 % verneinten sie und 21 % waren sich nicht sicher. Europäer und Japaner hielten deutlich mehr von der Evolution. 90 % der Isländer und Japaner befürworten die Evolutionstheorie, in Deutschland sind es immerhin 80 %.

Dies dokumentiert, dass besonders in den USA die Idee des Intelligent Design eine hohe gesellschaftspolitische Bedeutung hat. Christlich-fundamentale Kreise, wie zum Beispiel das einflussreiche Discovery-Institute in Seattle, forcieren die „Keil-

### Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Was ist Intelligent Design?
  - 2.1 Geschichtliche Aspekte zu Kreationismus und Intelligent Design
  - 2.2 Intelligent Design an Schulen in Deutschland
- 3 Evolutionstheorie
  - 3.1 Problemstellung: Wie charakterisiert man Wissenschaft?
  - 3.2 Prinzipielle Falsifizierbarkeit
  - 3.3 Erklärungsmacht
- 4 Didaktische Überlegungen zum Gegenstand „Kreationismus-Streit“ im katholischen Religionsunterricht der Oberstufe
- 5 Schülerarbeitsblätter
  - 5.1 Kommentare zu den Schülerarbeitsblättern
  - 5.2 Schülerarbeitsblatt Nr. 1
  - 5.3 Schülerarbeitsblatt Nr. 2
  - 5.4 Schülerarbeitsblatt Nr. 3
  - 5.5 Schülerarbeitsblatt Nr. 4
  - 5.6 Schülerarbeitsblatt Nr. 5
- 6 Schlussbemerkungen
- 7 Literatur

### Anschriften der Autoren:

THOMAS VAN DEN BERG  
Max-Planck-Gymnasium Gelsenkirchen  
Goldbergstr. 91, 45894 Gelsenkirchen

Dipl.-Ing. (FH) MARTIN NEUKAMM  
TU München, Lehrstuhl II für Technische Chemie  
Lichtenbergstr. 4, 85747 Garching

JÖRG SOPCZAK  
Heinrich-von-Kleist-Gymnasium  
Heinrichstr. 2, 44805 Bochum

Dipl.-Geol. Dr. RÜDIGER STRITZKE  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –  
De-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld

Strategie“ (s. The Wedge Strategy <http://www.antievolution.org/features/wedge.htm>). Wie ein Keil soll Intelligent Design in die Gesellschaft getrieben werden. Wissenschaftler, Journalisten und Politiker sollen rekrutiert, die öffentliche Meinung soll mobilisiert werden. Denker wie CHARLES DARWIN, KARL MARX und SIGMUND FREUD stellten Menschen als Tiere oder Maschinen dar, deren Verhalten nur durch Biologie, Chemie und Umwelt diktiert wird.

Hat das Konzept des Intelligent Design Aussichten auch im deutschsprachigen Raum auf größeres Interesse zu stoßen? Insbesondere: Wie begegnet man Intelligent Design in der Schule?

## 2 Was ist Intelligent Design?

(JÖRG SOPCZAK)

Im Gegensatz zu den Kreationisten, die konsequent an einer wörtlichen Auslegung des biblischen Schöpfungstextes festhalten, vermeiden die Anhänger des Intelligent Design jeden Bezug auf biblische Glaubensinhalte und einen supranaturalistischen Schöpfer. Sie behaupten lediglich, Lebewesen seien zu komplex, als dass sie durch „ungelenkte evolutionäre Prozesse“ entstanden sein könnten. Ihre Beschaffenheit lasse vielmehr auf einen intelligenten Zwecksetzer schließen – wer dieser Designer sei, darauf wolle man sich aus Gründen der religiösen Neutralität nicht festlegen. Aber dass dabei nicht an irgendwelche Außerirdischen, sondern an einen überirdischen Schöpfer gedacht wird, ist nicht zu verkennen, obgleich vordergründig bisweilen auch über einen extraterrestrischen Ursprung des Lebens spekuliert wird (MAHNER 2007). ID ist ein Sammelbecken für Religiöse, die eine (gattungsübergreifende) Evolution ablehnen; auch Anhänger des biblischen oder „wissenschaftlichen“ Kreationismus sind dort recht zahlreich vertreten.

### 2.1 Geschichtliche Aspekte zu Kreationismus und Intelligent Design

(JÖRG SOPCZAK)

Die Geburtsstunde des „wissenschaftlichen“ Kreationismus schlug 1961 mit dem Erscheinen des Buches „The Genesis Flood“ von J. C. WHITCOMB und H. M. MORRIS. In diesem Buch aus der Frühzeit des „wissenschaftlichen“ Kreationismus werden dem Leser Hypothesen der allerkühnsten Art präsentiert, so zum Beispiel die Behauptung, dass die in Gesteinsschichten vertikale (stratigrafische) Aufeinanderfolge von Wirbeltier-

fossilien durch deren Laufvermögen bestimmt sei. Amphibien findet man – gefolgt von Reptilien – in den untersten („ältesten“) Schichten der (nach-)sintflutlichen Sandschüttungen. Sie konnten nicht so behände und schnell die Berge erklimmen wie die Reptilien oder gar die Säuger, um sich vor den Fluten zu retten.

Der Beginn des biblischen Kreationismus in Deutschland lässt sich 1979 mit der Gründung der Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V. ansetzen. Wort und Wissen ist der wohl wichtigste Vertreter des biblischen Kreationismus in Deutschland. Vorsitzender war bis 2006 der Mikrobiologe Prof. SIEGFRIED SCHERER. Dr. JOACHIM SCHEVEN ist der Verfasser des 2. Bandes der im Hänssler-Verlag erschienenen Reihe „Wort und Wissen“ mit dem Titel „Daten zur Evolutionslehre im Biologieunterricht“. JOACHIM SCHEVEN vertritt die biblisch fundierte „Junge-Erde-Hypothese“, nach der die Welt nicht älter als 10 000 Jahre sein soll, mit all ihren Implikationen (s. Schülerarbeitsblatt 1). Diese Hypothese liegt auch dem 1988 in zweiter, überarbeiteter Auflage erschienenen Werk von SIEGFRIED SCHERER (Koautor: REINHARD JUNKER) mit dem Titel „Entstehung und Geschichte der Lebewesen“ zugrunde.

An dieser Stelle nochmals ein Blick über den Atlantik. Im Jahre 1987 entschied das US-Verfassungsgericht, den Unterricht in wissenschaftlichem Kreationismus an Schulen zu verbieten. Etwa gleichzeitig entstand die Idee des Intelligent Design. Diese Namensgebung wird dem Juristen PHILLIP JOHNSON zugeschrieben, der damit Anfang der 90er-Jahre des letzten Jahrhunderts zuerst auf wenig Verständnis stieß. Vor etwa neun Jahren aber avancierte das Wort zu einem symbolträchtigen Begriff. Vertreter des Intelligent Design stützen sich nicht explizit auf Aussagen der Bibel, sondern behaupten, es gebe eine zielgerichtete Steuerung der Welt durch ein höheres Wesen, eine höhere Macht, einen Designer. Der Ausdruck „Gott“ wird möglichst vermieden, weil dies den Einzug der Lehre in die Schulen der Vereinigten Staaten verhindern würde. Hauptangriffspunkt des Intelligent Design ist eine mechanistische Erklärung der Entstehung und Entwicklung der Welt und der Lebewesen einschließlich des Menschen. Die Möglichkeit einer derartigen darwinistisch-mechanistischen Betrachtungsweise wird entschieden bestritten. Es werden keine prüfaren Hypothesen, etwa zum Alter des Kosmos oder der Entstehung des Menschen, aufgestellt. Eine Konkretisierung dieser Lehre

erfolgt durch den einzelnen Gläubigen selbst, bis jetzt fast ausschließlich der am religiösen Fundamentalismus orientierte Mensch. Ideengeschichtlich geht diese Lehre in ihrer verfeinerten Form auf den zu Beginn des 19. Jahrhunderts in England wirkenden Pfarrer WILLIAM PALEY zurück. Durch den explizit vorgetragenen Verzicht eines Bibelbezuges (insbesondere der Bedeutung der Genesis) findet Intelligent Design auch außerhalb des Christentums Beachtung.

„SAID NURSI machte schon Anfang des 20. Jahrhunderts mit dem Artikel ‚Abhandlungen über die Natur‘ einen Versuch, die Evolution zu widerlegen und die Schöpfung zu beweisen. Die Hauptvertreter sind zurzeit FETHULLAH GÜLEN und HARUN YAHYA, eigentlich ADNAN OKTAR. Letzterer organisiert mit dem Bilim Arastirma Vakfi (Stiftung für wissenschaftliche Forschung) Konferenzen mit führenden westlichen Kreationisten. Islamische Kreationisten orientieren sich an Intelligent Design, da es im Koran keinen der Genesis vergleichbaren Schöpfungsbericht gibt. Durch das Internet finden ihre Thesen weite Verbreitung, vor allem in Indonesien und Malaysia sowie in der westlichen Diaspora.“ (Wikipedia: Kreationismus).

Die Idee des Intelligent Design wird in Deutschland in erster Linie durch die Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V. verbreitet. Sie vertritt den Junge-Erde-Kreationismus, also die Hypothese, dass der Kosmos nicht älter als 10 000 Jahre ist und die Sintflut – einschließlich der „nach und nach schwächer werdenden Ausklingkatastrophen“ (JUNKER, SCHERER) beziehungsweise „nachsintflutlichen Schüttungen“ (SCHEVEN) lediglich einige hundert Jahre dauerte, in denen sich die Sedimentgesteine mit den Fossilien und Lebensspuren bildeten beziehungsweise ablagerten. Diese Ansicht ist mit den beobachtbaren Tatsachen nicht vereinbar. So hätten zum Beispiel Dinosaurier mitten in hunderten Metern von „nachsintflutlichen Schüttungen“ (der Geologe würde sagen 80 Millionen Jahre alte Kreide-Ablagerungen) in aller Ruhe ihre Eier ausgebrütet (s. Schülerarbeitsblatt Nr. 3).

## 2.2 Intelligent Design an Schulen in Deutschland

(JÖRG SOPCZAK)

Die Schülerarbeitsblätter dieser Abfassung sind für Schüler/-innen der Sekundarstufe II konzipiert. Das Thema kann auch in den Jahrgangsstufen 9 und 10 behandelt werden. Die in diesem Artikel dargelegten Argumente sollten ausreichen, eine Diskussion mit kreationistischen Schülern/-innen offen und mit beiderseitigem Gewinn führen zu können. Schwieriger wird es, wenn im „normalen“ Unterricht die Schüler/-innen kein Interesse am Thema zeigen. Hier kann es hilfreich sein, wenn der Lehrer selbst die Rolle eines Kreationisten übernimmt.

## 3 Evolutionstheorie

Die Evolutionstheorie ist die Basis der modernen Paläontologie und Biologie. Sie beinhaltet die Vorstellung, dass alle Lebewesen miteinander verwandt sind. Sie haben einen gemeinsamen Ursprung und entwickelten sich im Laufe von Jahrmillionen zu den Formen, die heute leben oder die im Verlaufe der vergangenen Jahrmillionen ausgestorben sind. Trotz der intensiven und anhaltenden Diskussion über ihre Mechanismen wird innerhalb der Paläontologie/Biologie die Evolution als Tatsache nicht mehr infrage gestellt. In neuerer Zeit haben die Untersuchungen des Erbgutes heutiger Lebewesen eindrucksvoll die Verwandtschaft allen Lebens unterstrichen. Und auch die Zeitfrage ist durch die Anwendung der radiometrischen Methoden zur Altersdatierung hinreichend gesichert (s. Schülerarbeitsblatt Nr. 5).

Dennoch ist die Evolutionstheorie etwas Besonderes in der Naturwissenschaft. Sie interpretiert einen historischen Prozess, der zwar durch Dokumente und durch Indizien gestützt, aber experimentell nur in Detailfragen zu untermauern, niemals aber wiederholbar ist. Das erklärt, dass selbst heute noch, trotz der überwältigenden Beweislast, außerhalb der biologischen Fachbereiche über die Evolution als Faktum gestritten wird. Inwieweit kann man Schöpfungstheorien, wie ID oder den Kreationismus, gegenüber wissenschaftlichen Theorien abgrenzen?

### 3.1 Problemstellung: Wie charakterisiert man Wissenschaft?

(MARTIN NEUKAMM)

In der wissenschaftsphilosophischen Literatur werden zahlreiche Kriterien zur Abgrenzung von Wissenschaft und Nichtwissenschaft diskutiert (vgl. z. B. RADNER & RADNER 1982; POPPER 1984; VOLLMER 1995, 2003; DUTCH 2000), doch scheint es unmöglich, Wissenschaft anhand einzelner wissenschaftsphilosophischer Prinzipien bereits hinreichend zu charakterisieren. Solche Unschärfen werden, wie KITCHER (1983) zeigt, schnell dazu benützt, um die Grenzen zwischen Glaube und Wissenschaft zugunsten von Schöpfungstheorien zu verschieben (ein aktuelleres Beispiel hierzu ist KÄMPFER 2001). BUNGE hat indes einen umfangreichen Wertekanon zur Charakterisierung von Wissenschaft vorgeschlagen, anhand dessen MAHNER die Unwissenschaftlichkeit des Kreationismus in allen Punkten aufzeigt (BUNGE 1984, MAHNER 1986: 26 – 38). VOLLMER (2003) hat insbesondere sechs notwendige Merkmale erfahrungswissenschaftlicher Hypothesen und Theorien bestimmt, von denen die wichtigsten im Folgenden kurz benannt werden sollen.

Die Minimalforderung ist die sogenannte innere Widerspruchsfreiheit („interne Konsistenz“). Das bedeutet, Theorien dürfen keine widersprüchlichen Aussagen enthalten oder zu logischen Konfusionen führen, wenn man sie weiterverfolgt. Wichtig ist darüber hinaus das Kriterium der Prüfbarkeit. Das bedeutet, wissenschaftliche Aussagen (Hypothesen) und Aussagensysteme (sprich Theorien) müssen anhand empirischer Daten zu belegen oder – eingeschränkter – prinzipiell beziehungsweise logisch widerlegbar („falsifizierbar“) sein (POPPER 1994). Die prinzipielle Falsifizierbarkeit ist eine notwendige Vorbedingung für ein weiteres Charakteristikum wissenschaftlicher Hypothesen und Theorien, nämlich die Erklärungsmacht. Eine Theorie besitzt dann einen hohen Erklärungswert, wenn sie eine Reihe unverstandener und disparat nebeneinander stehender Sachverhalte logisch und kausal zusammenführt, so dass sie im Lichte dieser Theorie „ihren Sinn bekommen“. (Beide Kriterien setzen natürlich voraus, dass die Wissenschaftler nicht dogmatisch an prinzipiell widerlegten Theorien – oder an Theorien, die nichts erklären – festhalten, sondern sie weiterentwickeln oder aufgeben, wenn sie sich jedem Versuch der Problemlösung hartnäckig „verweigern“.) Und schließlich

müssen wissenschaftliche Aussagengebilde auch eine äußere Widerspruchsfreiheit („externe Konsistenz“) aufweisen. Damit ist gemeint, dass sie mit dem Großteil unseres „Hintergrundwissens“ kompatibel sind und die Theorien benachbarter Wissenschaftsbereiche im heuristischen Sinne bereichern.

Im Folgenden werden zunächst die letztgenannten Prinzipien (prinzipielle Falsifizierbarkeit und Erklärungsmacht) diskutiert und es soll erörtert werden, weshalb Schöpfungstheorien – einschließlich Intelligent Design – an diesen methodologischen Prinzipien scheitern und somit dem Anspruch auf Wissenschaftlichkeit nicht gerecht werden. (Für eine umfassende wissenschaftstheoretische Kritik an der Argumentation von Intelligent Design s. WASCHKE 2003, NEUKAMM 2007.)

### 3.2 Prinzipielle Falsifizierbarkeit

Die übliche Strategie, um Schöpfungstheorien einen „wissenschaftlichen Status“ zu verschaffen, besteht darin festzustellen, dass Beobachtungen, die zur Bestätigung der Evolutionstheorie herangezogen werden, wie zum Beispiel die abgestufte Ähnlichkeit der Arten (vgl. NEUKAMM 2002), auch im Lichte der Schöpfungshypothese interpretiert werden können. Damit wird auf die altbekannte Tatsache zurückgegriffen, dass Wissenschaftler immer Hypothesen und Theorien voraussetzen müssen, die nicht im streng logischen Sinne beweisbar sind (so z. B. SCHERER 2003: 36 f.). In diesem Sinne betont auch KUHN: „Ähnlichkeit kann aber auch auf einen Plan zurückgehen, und ... Morphologen wie LOUIS AGASSIZ, einer der größten Morphologen aller Zeiten, haben die Formenähnlichkeit der Organismen auf den Schöpfungsplan, nicht auf Abstammung zurückgeführt.“ (O. KUHN, zit. nach LÖNNIG 1989). Was also spricht gegen die Wissenschaftlichkeit von Schöpfungstheorien? Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir (in Anlehnung an VAN DONGEN & VOSSEN 1984: 41 sowie MAHNER (mdl. Mitt.)) folgendes Szenario erörtern.

Nehmen wir an, wir würden neue Arten entdecken, die bis in den molekularen Bereich hinein keinerlei Ähnlichkeiten mit den uns bekannten Arten zeigten. Nehmen wir weiterhin an, wir würden die Überreste eines Menschen in einer 400 Millionen Jahre alten Sedimentschicht finden, ja schlimmer noch, die fossilen Formen würden nicht systematisch, sondern völlig chaotisch aufeinanderfolgen. Denken wir uns schließlich das

totale Fehlen von Fossilien und Zwischenformen. Jeder einzelne dieser Befunde würde die Evolutionstheorie im Prinzip widerlegen, weil sie den Erwartungen der (in eine mechanistische Evolutionstheorie eingebetteten) Abstammungshypothese DARWINs widersprechen.

Anders ausgedrückt: Wenn die DARWIN'sche Abstammungstheorie mit dem Zusatzwissen über die Mechanismen der Vererbung, Variation, Selektion angereichert wird, dann muss es eine abgestufte Ähnlichkeit zwischen den Arten geben (YUNIS & PRAKASH 1982), der Fossilienbestand muss sich systematisch wandeln (RUSE 1981) etc. Die (hypothetico-deduktive) Methode der Theorienprüfung besteht also darin, dass man aus einer Theorie T einen zu erklärenden Sachverhalt A schlussfolgert. Wird die Folgerung nicht bestätigt, ist die Theorie prinzipiell widerlegt (aus T folgt A; Nicht-A, also Nicht-T) und wird, falls nötig, modifiziert oder ganz aufgegeben. VAN DONGEN & VOSSEN (S. 41) resümieren daher: "So the theory of common descent is an easily-falsifiable & often tested & still not falsified theory."

Auf die Schöpfungshypothese ist dieses methodologische Prinzip jedoch nicht anwendbar. Zwar kann man die Ähnlichkeit zwischen den Arten prinzipiell als ein Resultat des Schöpfungsplans deuten. Da es sich bei dem postulierten Zwecksetzer und seinen Mechanismen jedoch um völlig unbekannte und unerforschliche Faktoren handelt, könnte man problemlos auch behaupten, er könne Arten erschaffen, die einander völlig unähnlich sind (YUNIS & PRAKASH 1982, MAHNER 2002 (pers. Mitt.)). Entsprechend könnten wir auch den systematischen – und gleichzeitig den völlig unsystematischen – Wandel des Fossilienbestands mit Schöpfung vereinbaren: "Without evolution ... a new human-like fossil could well be as old as 400 million years, i. e. older than the oldest fossils of amphibians." (VAN DONGEN & VOSSEN 1984). Selbstverständlich kann man das Fehlen von Fossilien und Zwischenformen in Schöpfungsmodellen ebenso problemlos unterbringen, wie den Nachweis beliebiger Bindeglieder (denn prinzipiell können alle denkbaren Fossilien als diskret erschaffene Arten gedeutet werden). Ferner kann man die sukzessive Artenstehung ebenso gut mit der Schöpfungshypothese vereinbaren, wie die gleichzeitige Entstehung aller Lebensformen und so weiter.

Fazit ist: Die Schöpfungshypothese ist prinzipiell nicht widerlegbar, weil man aus ihr Beliebiges folgern und keinerlei Erwartungen an die empirischen Daten stellen kann. COYNE stellt fest, dass die Idee vom „intelligenten Design“ selbst dann nicht widerlegt wäre, wenn es uns gelingen würde, die Evolution einer komplexen Genwirkkette in allen Details aufzuklären. Da man prinzipiell nie alles wird erklären können, bleiben immer genügend offene Fragen, die als Belege für den zeitweiligen Eingriff eines Schöpfers gedeutet werden können und auch gedeutet werden (COYNE 1996: 228). Ja sogar dann, wenn ein Evolutionsbeweis geführt werden könnte, der die gesamte Entwicklung des Lebens in allen Einzelheiten umspannt, bliebe die Hypothese, wonach ein Schöpfer die Evolution irgendwie „gelenkt“ habe, empirisch unangetastet.

CHALMERS macht deutlich, warum eine Theorie oder Hypothese, die alle möglichen Fälle der Beobachtung (nämlich sowohl einen Fall A als auch den gegenteiligen Fall Nicht-A) problemlos zu schlussfolgern erlaubt, nicht wissenschaftlich sein kann: „... nur durch das Ausscheiden einer Menge logisch möglicher Beobachtungsaussagen ist ein Gesetz oder eine Theorie aussagekräftig. Wenn eine Aussage nicht falsifizierbar ist, dann kann die Wirklichkeit alle möglichen Eigenschaften besitzen und sich wie auch immer verhalten, ohne mit der Aussage im Widerspruch zu stehen ... Gerade weil das Gesetz definitive Aussagen ... macht, besitzt es einen Informationsgehalt und ist falsifizierbar.“ (CHALMERS 2001: 54 f.). Dies ist bei der Schöpfungshypothese eben nicht der Fall. Sie ist eine Spekulation ohne empirischen Gehalt und entwertet daher wissenschaftlich gesehen alle Theorien, die sie enthalten – angefangen vom Kreationismus bis hin zur Intelligent-Design-Theorie.

### 3.3 Erklärungsmacht

Wenn sich, wie eben gezeigt, die Existenz transzendenter beziehungsweise teleologischer Faktoren nicht empirisch kritisieren lässt, warum sollten wir den Designer nicht trotzdem als „erklärendes Agens“ (Explanans) in der Wissenschaft berücksichtigen, wenn wir vor Phänomenen stehen, die sich besonders hartnäckig einer naturalistischen Erklärung zu verweigern scheinen? Warum erlegen wir uns mit anderen Worten ein „Denkverbot“ auf, das – wie LÖNNIG (1993) im Vorwort seines Buches schreibt – wie folgt lauten soll: „Frage auch bei den komplexesten und genialsten Konstruktionen in der Natur niemals nach dem Konstrukteur.“? Abgesehen davon, dass der Satz eine Tautologie enthält, ist die Entscheidung, transzendente Faktoren aus der Wissenschaft herauszuhalten, alles andere als ein Akt der Willkür. Eben weil das Ziel der Wissenschaft darin besteht, für alles Rätselhafte eine Erklärung zu finden, wird die Entscheidung schlicht methodologisch erzwungen!

Der Grund hat mit der Spezifität von Erklärungen zu tun. Das bedeutet, Hypothesen und Theorien besitzen nur dann Erklärungskraft, wenn sie „nicht alles erklären können, sondern nur genau das, was erklärt werden soll“ (MAHNER 2003 b: 138). Wie zuvor erwähnt, hat die Evolutionstheorie zum Beispiel den konkreten Fall der abgestuften Formenähnlichkeit zwischen den Arten zu erklären – sie kann demnach nicht ohne Weiteres auch den gegenteiligen Fall erklären. Ganz anders verhält es sich mit der schöpfungstheoretischen Interpretation, wonach die Arten nach einem göttlichen „Baukastenprinzip“ (vgl. JUNKER 2003) erschaffen worden sein sollen. Eine solche Deutung erklärt nichts, weil man auch den „Verzicht“ auf ein „Baukastenprinzip“ (das heißt auf die Schaffung formenähnlicher Spezies) mit der Phantasie und Allmacht eines Schöpfers erklären kann; es gibt einfach keine irdischen Zwänge, die ein überirdisches und allmächtiges Wesen oder einen unspezifischen Designer instruieren könnten, spezifisch zu handeln. Nichts könnte es davon abhalten, die Naturgesetze nach Belieben zu formen und zum Beispiel Lebewesen zu erschaffen, die im Urknall entstanden sind, ohne Nahrung auskommen, aus reinem Wasserstoff bestehen oder im Innern der Sonne leben können. Wir sehen also, dass Schöpfungstheorien nichts erklären, weil die in ihnen enthaltene Schöpfungshypothese „zu viel“ beziehungsweise überhaupt alles erklären kann (CHAR-

LESWORTH 2002: 129). So könnte man auch die unterschiedlichsten Fragen der Physik, Kosmologie, Chemie und so weiter mit einer einzigen(!) Ursache erschlagen. Aber die eigentlich relevante Frage, warum die Welt so und nicht anders beschaffen ist, wie sie ist, bleibt im Rahmen von Schöpfungstheorien prinzipiell offen (HEMMINGER 1988).

Da der Schöpfer nicht zu entmystifizieren ist, enthalten Schöpfungstheorien auch keine mechanistischen Hypothesen, die prüfbar sind und uns ein tieferes, kausales Begreifen der Welt ermöglichen könnten. So philosophieren zum Beispiel die Vertreter der Intelligent-Design-Theorie wolkig über „Intelligenz“ und „Planung“, doch ihr Ansatz besitzt keinerlei faktischen Gehalt. So wäre es zum Beispiel eine wissenschaftlich relevante Fragestellung, wie viele und welche Schritte der (oder die?) Designer für die Bildung einer bestimmten Spezies zu veranschlagen hatte(n). Wie hat überhaupt „der Wissenstransfer von Gott zur DNA stattgefunden, mit welchen Mitteln, wann, zu welchem Zweck, woher hatte Gott sein Wissen?“ (KOTTHAUS 2003: 59) und so weiter. Nichts dergleichen beantwortet ID.

SHERMER bringt die Situation auf den Punkt, wenn er schreibt: „Alles was zählt, ist, dass Er (oder Sie oder Es) das machte. ID funktioniert auf wundersame Weise.“ Was für eine bemerkenswert unwissenschaftliche Haltung. Was für ein erstaunlicher Mangel an Neugier über die Welt ... Das erinnert mich an den klassischen Cartoon von SIDNEY HARRIS, in dem zwei Wissenschaftler vor einer Tafel stehen, die mit Gleichungen vollgeschrieben ist. Eine Lücke in der Reihe der Berechnungen ist mit der Erklärung ‚Dann geschieht ein Wunder‘ ausgefüllt. Obwohl sie angeblich irgendwelche derartigen ‚Lückenbüßergott-Argumente‘ verabscheuen, ist es genau das, was sie tun. Sie haben einfach den Namen GOTT in ID verändert.“ (ins Deutsche übersetzt von T. WASCHKE).

Wir sehen also, dass Behauptungen, wonach „zahlreiche Phänomene (...) mit der Intelligent-Design-Theorie jetzt erst intellektuell zureichend und sogar völlig befriedigend erklärt“ würden (LÖNNIG 2002), nichts weiter als ein rhetorischer Bluff sind. Das Problem wird gewissermaßen nur auf eine „höhere Ebene“ ausgelagert, aber kein Phänomen erklärt, denn anstelle einer Erklärung wird einfach der unerklärte Wille eines

mysteriösen Zwecksetzers gesetzt, dessen Herkunft und Charakter uns genauso rätselhaft bleiben, wie seine Ratschlüsse, Mechanismen und Zwänge. Nur wenn gezeigt werden könnte, welcher Designer wann, wo und auf welche Weise welche Arten erschaffen hat, wären Schöpfungstheorien beziehungsweise Intelligent Design ernst zu nehmende Konkurrenten zur Evolutionstheorie. Solange aber nur wolkig über Design räsoniert und nicht einmal im Ansatz eine tragfähige Methodik zur Erforschung dieser Fragestellungen vorgestellt werden kann, gleichen die Thesenpapiere des Intelligent Design einem Ozean aus Worthülsen, in dem das intellektuelle Verlangen nach einem kausalen Begreifen der Vorgänge in Natur ertränkt wird. Dem schließen sich GISHLICK & MATZKE & ELSBERRY an, wenn sie schreiben: "ID doesn't stand a scientific chance without some kind of model of what happened, how, and why. Only a reasonably detailed model could provide explanatory hypotheses that can be empirically tested. 'An unknown intelligent designer did something, somewhere, somehow, for no apparent reason' is not a model." (GISHLICK & MATZKE & ELSBERRY 2004)

Nun könnte man einwenden, dass es der Evolutionstheorie hinsichtlich der Kausalerklärung kaum besser ergehe. So kritisiert JUNKER (2003), dass auch die Evolutionslehre keine genauen Erwartungen an die „Merkmalsmuster“ der Arten stellen könne und gegenüber Widerlegungen derart resistent sei, dass man mit ihr ebenfalls Beliebiges erklären könne. Hier wird jedoch übersehen, dass beide Fälle unterschiedlich gelagert sind: Die Evolutionstheorie stellt durchaus spezifische Erwartungen an die Merkmale, wenn man sie mit bestimmten, empirisch wohlbegründeten Zusatzannahmen (wie z. B. mit entwicklungsbiologischem Wissen oder mit dem Wissen über die Mechanismen der Vererbung, Variation, Selektion) anreichert (NEUKAMM 2007). Wenn dies geschieht, ist aus Sicht der Evolutionstheorie zwingend eine abgestufte Formähnlichkeit zwischen den Arten sowie eine interdependente und hierarchische Ordnung in der Kombination ihrer Merkmale zu erwarten. Obschon diese Ordnung oft von unerwarteten Inkongruenzen gestört wird, kennen wir keinen Fall, in dem sie wirklich aufgehoben wurde (RIEDL 1990: 270).

Evolutionstheorien liefern also keine „Allerklärungen“, sondern differenzierte, bruchstückhafte, in Teilen auch widerlegte, dafür jedoch über weite Bereiche mehr oder minder „tiefe“ (wenn auch nie zwingende) Erklärungen. Dies impliziert, dass die Evolutionsbiologie auch mechanistische Erklärungen parat hat – nur sind diese eben unvollständig. Obwohl es stimmt, dass sich allgemeine evolutionstheoretische Erklärungen nicht ohne Weiteres anhand bestimmter Merkmale oder Arten konkretisieren lassen, ist auch dies kein Einwand, der eine Fundamentalkritik rechtfertigt. Denn eine Detailerklärung kann es per definitionem erst dann geben, wenn man nicht nur über den mechanistischen Erklärungsrahmen verfügt, sondern auch die individuellen Randbedingungen kennt, die in der Evolution der betreffenden Art oder Gruppe eine Rolle spielten (VOLLMER 1986: 30 f.). Wenn wir die Randbedingungen (z. B. die "developmental constraints") im Einzelfall kennen würden, wären wir auch besser in der Lage, zu verstehen, warum in der Evolution bestimmte „Merkmalsmuster“ auftreten, andere nicht. Insofern stehen wir vor rein praktischen Problemen, die im Rahmen der Forschung abzuarbeiten sind. Niemand ist allerdings in der Lage, die Prinzipien und Ratschlüsse eines unspezifischen Designers oder gar göttlichen Wesens zu rekonstruieren und im Labor zu ergründen, wie wir dies mit den Mechanismen und Randbedingungen der Evolution tun. Auf das Kriterium der „externen Konsistenz“ kann hier nicht näher eingegangen werden. Siehe hierzu Neukamm 2007: 181 ff.

#### 4 Didaktische Überlegungen zum Gegenstand „Kreationismus-Streit“ im katholischen Religionsunterricht der Oberstufe

(THOMAS VAN DEN BERG)

An dieser Stelle ist keine theologische Abhandlung beabsichtigt, sondern es sind eher Überlegungen einer Lehrkraft bei der Vorbereitung auf den Unterricht in den Stufen 11 und 13. Gewiss könnte man sich auf die Position zurückziehen, dass die wesentlichen Elemente des Unterrichtsstoffs auch ohne Bezug auf den Kreationismus-Streit zu vermitteln sind. Aber die Tatsache eines immer größeren Medienechos und die Äußerungen von Schulpolitikerinnen und katholischen Kirchenvertretern über die Zuordnung von Unterrichtsstoff in den Fächern Biologie und Religionslehre berührt durchaus die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler. Hinzu kommt, dass in dieser Situation durch Bildbände kreationistischer Herkunft<sup>1</sup> die Haltung des Lehrers/der Lehrerin herausgefordert wird einen dem Fach und seinem/ihrem Glauben angemessenen Beitrag unterrichtlicher Art zu leisten. Dies sind, knapp zusammengefasst, Entscheidungen, die vor der eigentlichen Vorbereitung und Durchführung gefallen sind, sie aber stets begleiten werden.

Die curriculare Anbindung besteht in der Stufe 11 durch die thematische Fragestellung, wie Wissen und Glauben, wie Wissenschaft und Religion vom Einzelnen und der Gesellschaft zueinander in eine fruchtbare Beziehung gesetzt werden können. Der Zusammenhang mit der Frage nach Gott und den Bildern von Gott, die Denken und Glauben der Menschen zu jeder Zeit geprägt haben, kann in der Stufe 13 hergestellt werden.

#### Drei Möglichkeiten zum Einstieg in eine Unterrichtsreihe

In beiden Stufen bieten sich diese Möglichkeiten an:

- eine Internetrecherche zum Thema „Kreationismus“ mit anschließender Kartenabfrage, indem die Schülerinnen und Schüler jeweils drei zentrale Begriffe aus ihrem Material auswählen und sich dann so im Plenum einen Überblick über das Thema verschaffen. Mögliche Aspekte wären: Ursprung, Thesen, Bibelverständnis, Gottesbild, Kritik und Gegenkritik. Diese Vorarbeit führt dann zu einer Überprüfung des Bibelverständnisses beziehungsweise des Gottesbildes durch eine exegetische Auswertung der beiden Schöpfungsgeschichten<sup>2</sup> des Ersten Testaments.
- die Auswertung einer Leserbriefseite<sup>3</sup>, die das gesamte Spannungsfeld von kreationistischer Argumentation und Gegenargumentation vorstellt. Auch hier führt die Auswertung hin zur Frage nach dem Schriftverständnis und dem Gottesbild.
- ein Gespräch mit EDWARD O. WILSON zum Verhältnis von Wissenschaft und Religion<sup>4</sup>, aus dem sich drei Leitthemen ergeben: das Spannungsverhältnis von Wirklichkeitserfassung und Wahrheitsanspruch, die Auffassung vom Schöpfergott angesichts der Theodizeefrage, die exegetische Auswertung der beiden Schöpfungsgeschichten.

<sup>1</sup> So erreichte die Fachschaft Religion im Februar 2007 ein aufwendig gestaltetes Buch mit dem Titel: Vor uns die Sintflut, Eine Kritik der aktualistischen Geologie des Verfassers J. SCHEVEN.

<sup>2</sup> Wie so oft liegt der Teufel im Detail. Bereits die Verwendung bestimmter Begriffe legt unterschiedliche Verständnisse von Textarten nahe. Hier zum Beispiel die Bezeichnung Geschichte bzw. Erzählung versus Bericht.

<sup>3</sup> In: Süddeutsche Zeitung, 03.08.07, S. 36

<sup>4</sup> In: Die Welt, 13.06.06

### **Die exegetische Auswertung der beiden Schöpfungsgeschichten des Ersten Testaments**

Verfolgt man die Diskussionslinien im Kreationismus-Streit, so kommt es auch auf die verschiedenen Lesarten biblischer Texte an. In der theologischen Wissenschaft wird die Ebene des vorliegenden Textes vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Übersetzungen (z. B. Zürcher Bibel, Jerusalemer Bibel, Einheitsübersetzung)<sup>5</sup> durchaus gewürdigt. Historisch-kritische Herangehensweisen, die seit der Mitte des 20. Jahrhunderts in der katholischen Kirche anerkannt und durch das II. Vatikanische Konzil definiert worden sind<sup>6</sup>, weisen wichtige Aspekte hermeneutischen Vorgehens aus, die bei der gegenwärtigen Diskussion eher von den Beteiligten ausgeblendet werden.

Geht man von der aktuellen Diskussionslage aus, so erscheint vorrangig die Berücksichtigung der vorliegenden Textgestalt, der Endredaktion R. Diese Lesart ist durchaus statthaft, muss aber durch die historisch-kritische Exegese und deren Erkenntnisse zur Entstehung der beiden Schöpfungsgeschichten ergänzt werden, um so ideologische Verengungen und unwissenschaftliches Vorgehen zu vermeiden.

Vor diesem Hintergrund bietet sich aus der Reihe der Methoden der historisch-kritischen Exegese vor allem die Betrachtung der Komposition in ihrer Makro- und Mikrostruktur an<sup>7</sup>. ZENGER identifiziert die ersten neun Kapitel des Buches Genesis „als spannungsreiche Urgeschichte über ‚den Anfang‘ der Welt und der Menschheit“ (ZENGER 2003a), erst dann setze die eigentliche Geschichte Israels ein. ZENGER identifiziert eine dreigliedrige Komposition in Gestalt einer Rahmung, wobei die Schöpfungsgeschichten mit der Fluterzählung als Zeichen der Bewahrung der Welt und der Menschheit vor der Vernichtung korrespondierten. Dieser Befund kann orientiert am vorliegenden Text oder als Lehrervortrag vorgestellt werden, da er als unabdingbare Voraussetzung das Erfassen der spezifischen literarischen Gestaltung durch die Endredaktion (R) darstellt.

Die Mikrostruktur einer Komposition kann am Beispiel der priesterschriftlichen Schöpfungsgeschichte (Gen 1,1 – 2,4a) verdeutlicht werden. In charakteristischer Weise sind hier die Tage zueinander in Beziehung gesetzt worden. Tag eins: Scheiden von Licht und Finsternis – Tag vier: Setzen der Lichter am Himmelsgewölbe, Tag zwei: Trennung der Wasser und Erschaffen des Gewölbes – Tag fünf: Erschaffen der Seetiere und der Vögel, Tag drei: Erschaffen des Landes und der Pflanzen – Tag sechs: Erschaffen der Landtiere und des Menschen, Tag sieben: Tag der Ruhe. Daraus ergeben sich verschiedenen Folgerungen zur Intention der Priesterschrift (P):

- Hinweis auf die Wirkmächtigkeit Gottes – Erschaffen durch das Wort
- Hinweis auf die Transzendenz Gottes
- Hinweis auf die Fürsorge Gottes: Korrespondenz von Raum zum Leben und den jeweiligen Lebewesen

<sup>5</sup> Vor allem die Einheitsübersetzung ist als Bibelausgabe an den Schulen verbreitet, durchaus aus guten Gründen, wie z. B. die Ökumene. Als Textgrundlage für eine exegetische Auswertung bietet sich allerdings die Zürcher Bibelübersetzung an. Mit ihrer Nähe zum hebräischen Urtext vermeidet sie Glättungen, die Spuren der Textentstehung bleiben bestehen.

<sup>6</sup> Siehe dazu vor allem die Konstitution „Die Verbum“, 12: „Denn die Wahrheit wird je anders dargelegt und ausgedrückt von in Texten von verschiedenem Sinn geschichtlicher, prophetischer oder dichterischer Art, oder in anderen Redegattungen (...) Aufgabe des Exegeten ist es, nach diesen Regeln auf eine tiefere Erfassung und Auslegung des Sinnes der Heiligen Schrift hinzuarbeiten, damit so gleichsam auf Grund wissenschaftlicher Vorarbeit das Urteil der Kirche reift.“ RAHNER & VORGRIMLER (1966): Kleines Konzilskompendium. – 372/373; Freiburg (Herder).

<sup>7</sup> Siehe dazu ZENGER (2003): Jenseits der Geschichte. Anmerkungen zur so genannten Urgeschichte der Genesis – Bibel und Kirche, 1/2003

Gepaart mit Beobachtungen zur sprachlichen Gestaltung wie dem feierlich-rhetorischen Stil, dem Hang zu Wiederholungen und Formeln ergeben sich erste Aussagen zur bewussten Intentionalität des Textes.

Noch plastischer tritt diese literarische Gestaltung hervor, wenn der geschichtliche Hintergrund von P ergänzt wird: die Exilsituation um 520 v. Chr. vermutlich in Babylon. Nach dem Verlust jeglicher Heimat – der Tempel in Jerusalem wurde zerstört – wurde die verschleppte Oberschicht mit einer machtvollen Religion konfrontiert. Daraus ergaben sich Fragen danach, wie der Glaube an Gott gelebt werden konnte. „Wie kann ich selbst einen Sinn haben, wenn dieses Ganze keinen Sinn hat? (...) Und wie soll der Gott, dem ich für mich, hier und jetzt, vertraue, Horizont und Halt meines Lebens sein, (...)?“ (ZENGER 2003b: 2). Diese Erkenntnisse können gut durch Einzel- oder Gruppenarbeit an dem biblischen Text erfolgen.

In einem weiteren Schritt können die Schülerinnen und Schüler durch einen Lehrervortrag auf die Spur einer spezifischen Erzählweise des Ersten Testaments gebracht werden. Gegenwärtige, bedrängende Fragen nach dem Sinn einer Leidenssituation, nach der Bedeutung und Macht Gottes werden durch den Entwurf einer Erzählung des Anfangs beantwortet um so eine Zukunft des Glaubens mit diesem Gott zu entwerfen und zu ermöglichen.

Möglich ist noch ein weiterer Schritt, indem diese eindeutig geschichtliche Auslegung durch die mythische Dimension dieser Schöpfungsgeschichten erweitert wird, die allerdings immer in der geschichtlich aktuellen Entstehungssituation verankert werden müssen um nicht vorschnelle Verengungen zu postulieren.

Die zweite Schöpfungsgeschichte (Gen 2,4b – 25) ist Bestandteil einer weiteren Urgeschichte, die den Sündenfall und die Flutgeschichte umfasst. Die bisherige Zuordnung zur jahwistischen Quellschrift (J) ist mittlerweile wieder unsicher geworden (ZENGER 2003b). In diesem Fall können die Schülerinnen und Schüler in einem kontrastierenden, durch Fragen geleiteten Verfahren die beiden Schöpfungsgeschichten gegenüberstellen. Es ergeben sich Aussagen zur Komposition, zur erzählerischen und sprachlichen Gestaltung, zum Gottesbild, zur Rolle des Menschen und zu seinem Auftrag. All dies allerdings eingebunden in die Makrostruktur des Buches Genesis, die exemplarisch aufzeigt, was alles dazu beitragen kann, dass der Mensch/die Menschheit mit seinem/ ihrem Auftrag fast scheitert.

### Abschluss und Ausblick

Zum Abschluss der Unterrichtssequenz bieten sich wiederum drei Gestaltungsmöglichkeiten an:

- ein kritischer Vergleich der historisch-kritischen Exegese mit dem kreationistischen Bibelverständnis. Dieser kann mithilfe von Auszügen eines kreationistischen Schulbuches vollzogen werden (BÜCHNER 2007: 7).
- eine Einordnung der historisch-kritischen Exegese und des kreationistischen Bibelverständnisses in das methodisch weite Feld anderer Auslegungen biblischer Texte, wie z. B. die tiefenpsychologische Deutung, die biblische Geschichten auf grundlegende seelische Vorgänge und Bilder hin untersucht (DIETRICH 1996: 57)
- eine methodische Vergewisserung zu den Prinzipien und der Funktion der Hermeneutik (DIETRICH 1996: 55), indem die Schülerinnen und Schüler die exemplarisch gewonnenen Erkenntnisse auf das allgemeine Prinzip hermeneutischen Arbeitens beziehen, z. B. durch Kurzvorträge

Sicher erscheint es einfach, kreationistische Argumente zu widerlegen, sodass man sie schnell beiseite schieben könnte. Was aufmerken lässt, ist der enorme Aufwand, mit dem in missionarischer Weise Möglichkeiten der Einflussnahme gesucht werden.

Eine gravierende und ergiebiger Herausforderung an Glaube und Theologie sind die Erkenntnisse der Neurowissenschaften und der Entwicklungspsychologie, die im Sinne einer kybernetisch-konstruktivistischen Auffassung die Fragen nach dem Ich, der Art von Wirklichkeitserfassung, der Gestaltung von Religion und Tradition stellen.

## 5 Schülerarbeitsblätter

(JÖRG SOPCZAK, RÜDIGER STRITZKE)

### 5.1 Kommentare zu den Schülerarbeitsblättern

#### **Der Zeitrahmen im Schöpfungs- und im Evolutionsmodell**

Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts ist wissenschaftlich gekennzeichnet durch den enormen Wissenszuwachs in den Biowissenschaften, der Astronomie und Astrophysik. Während die wissenschaftlichen Entdeckungen der Biologie auf ein breites Interesse stießen – vom DNA-Modell (WATSON & CRICK 1952) zum Kloning Dolly –, haben die großartigen Forschungsergebnisse der Astronomie und Astrophysik ein weit geringeres öffentliches Interesse gefunden. Trotzdem wurden Kreationisten durch neue Erkenntnisse über weit entfernte Galaxien, Quasare, Pulsare und dergleichen aufgeschreckt und an einem ganz wunden Punkt getroffen. Warum, wenn die Welt nicht älter als 10 000 Jahre alt sein soll, können wir dann Objekte sehen, die weiter als 10 000 Lichtjahre entfernt sind? Ein Lichtjahr ist astronomisch definiert als die Entfernung, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Lehrbuchmäßig sollen etwa Quasare teilweise mehrere Milliarden Lichtjahre von uns entfernt sein. Da stimmt irgendetwas nicht. Es geht hier nicht einfach um zwei bis drei Größenordnungen, sondern um ein halbes Dutzend. Die Entfernungsmessungen der Astronomen sind falsch, war eine gängige Behauptung von Kreationisten in den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts. Und JÜRGEN SCHEVEN, ein prominenter Vertreter des Schöpfungsmodells, hält die spezielle Relativitätstheorie ALBERT EINSTEINS für unzulänglich. Der Kreationismus ist nach Abschnitt 3.1 also nicht widerspruchsfrei bezüglich unseres Hintergrundwissens und damit „extern inkonsistent“. Schülerarbeitsblatt Nr. 1 thematisiert dieses Problem. Mit den Vorgaben des Arbeitsblatts und eigenen Recherchen zur Größe des Weltalls (Aufgabe 1) wird es den Schülern/-innen ermöglicht, die grundsätzliche Schwierigkeit des kreationistischen Ansatzes zu erkennen (Aufgabe 2). Bei einem Alter des Weltalls von nicht mehr als 10 000 Jahren können kosmische Objekte nicht weiter entfernt sein als das entsprechende Licht in dieser Zeit zurückgelegt hat, das sind 10 000 Lichtjahre; es sei denn, die Lichtstrahlen sind mit den kosmischen Objekten gleichzeitig geschaffen worden beziehungsweise das Licht hatte vor Jahrtausenden eine ganz erheblich höhere Geschwindigkeit als heute. Eine vertiefende Diskussion sollte erfolgen (Aufgabe 3).

#### **Der Pfeilschwanzkrebs (*Limulus polyphemus*)**

##### **– ein lebendes Fossil**

Mit diesem Beispiel aus der Paläobiologie sollen von Schülern/-innen die Zwischenformen zweier Vertreter einer Tierordnung (Schwertschwänze) gesichtet und in die richtige Reihenfolge gebracht werden. (Aufgabe 1) *Paleomerus* als ältester Vertreter (Kambrium) und der rezente *Limulus* als jüngster Ver-

treter sind als Anfangs- beziehungsweise Endpunkt der Reihe bekannt. Das Ergebnis kann anhand der geologischen Zeitskala überprüft werden (Aufgabe 2). Die abgestuften Ähnlichkeiten lassen sich durch (stammesgeschichtliche) Verwandtschaft erklären (Evolutionsmodell). Die Sortierung und sorgfältige Ablagerung durch eine gigantische Flut (Sintflut) beziehungsweise nachsintflutliche Schüttungen (Schöpfungsmodell) wirkt selbst als „Ad-hoc-Hypothese“ völlig unglaubwürdig. Warum kommen Vertreter der Gattung *Aglaspis* nur im Kambrium und Ordovizium vor und ähneln ausgerechnet den *Paleomerus*-Arten und nicht den *Limulus*-Arten? Lösungen zur *Xiphosura*-Reihe (nach ZIEGLER).

Aufgabe 2/Reihenfolge der Schwertschwänze (*Xiphosura*) in der geologischen Zeitskala:

- 1a *Paleomerus*
- 2e *Aglaspis*
- 2f *Weinbergina*
- 2b *Belinurus*
- 2d *Euproops*
- 2a *Paleolimulus*
- 2c *Psammolimulus*
- 1b *Limulus/Mesolimulus*

#### **Lebensspuren während nachsintflutlicher Schüttungen**

Lebensspuren sind in der modernen Paläobiologie ein wichtiger Faktor bei der Rekonstruktion urzeitlicher Lebensräume. Besonders erstaunlich sind immer wieder Lebensspuren von Landtieren, wie die Dinosauriernester. Diese lassen sich in mindestens drei übereinander liegenden Schichten nachweisen (Flusssedimentation) und zeugen von einem längeren Aufenthalt der Dinosaurier an diesem Ort. Wie können sich derartig subtile Strukturen während einer gigantischen Flut beziehungsweise während nachsintflutlicher Schüttungen erhalten? Wie gestaltete sich die Bebrütung durch Dinosaurier während dieser Schüttungen?

#### **Foraminiferen – Leitfossilien der Unterkreide**

Die Aufgabe ähnelt in der Grundstruktur den Aufgaben des Schülerarbeitsblatts 2. Das methodische Vorgehen kann an dieser Aufgabe nochmals gezeigt werden. Die Alternative 2 ist korrekt und aus Bohrproben in dieser Reihenfolge gewonnen worden. Eine raum-zeitliche Sortierung und Abfolge dieser speziellen Foraminiferenpopulationen lässt sich zwanglos mit dem Evolutionsmodell, jedoch kaum mit dem Schöpfungsmodell und seinen katastrophentypischen Ereignissen vereinbaren. Trinidad lag zur Kreide-Zeit nicht weit von Hannover (Deutschland) entfernt (Kontinentalverschiebung des Evolutionsmodells; Aufgabe 3). Eine Interpretation im Sinne des Schöpfungsmodells ist uns nicht bekannt.

## 5.2 Schülerarbeitsblatt Nr. 1

### **Der Zeitrahmen im Schöpfungs- und im Evolutionsmodell**

Der Erzbischof von Irland, JAMES USSHER, errechnete im Jahre 1650 anhand der in der Bibel verzeichneten Genealogie die Schöpfung unserer Erde auf den Nachmittag des 22. Oktober 4004 v. Chr. Der Theologe JOHN UGHFOOT legte acht Jahre früher ein ähnliches Ergebnis vor. Die Schöpfung des Menschen fällt ihm zufolge auf den 17. September 3928 v. Chr. gegen 9:00 Uhr. Die heutigen Anhänger des biblischen Kreationismus legen sich nicht mehr so genau fest, jedoch besteht Einigkeit darin, dass das Universum nicht älter als 10 000 Jahre ist (z. B. JESSBERGER 1990: 56). Die Annahme eines derart geringen Weltzeitalters ist mit grundlegenden Annahmen der Biowissenschaften, der Geowissenschaften und der Astronomie/Astrophysik nicht vereinbar und legt die Schöpfungstheoretiker auf eines der folgenden drei astronomischen Modelle fest.

1. Das Universum ist nicht größer als 5000 parsec, also erheblich kleiner als unsere eigene Galaxie, die Milchstraße.
2. Gott hat die Sterne des Universums einschließlich ihrer Lichtstrahlen erschaffen.
3. Die spezielle Relativitätstheorie ALBERT EINSTEINS ist falsch, insbesondere die in dieser Theorie enthaltene Annahme, die Lichtgeschwindigkeit sei eine universelle Konstante.

### **Aufgaben:**

1. Machen Sie sich über Größe und Zeitdimension des Universums kundig!
2. Erläutern Sie die Schwierigkeiten der Schöpfungstheoretiker mit den lehrbuchmäßigen Darstellungen zur Größe und Zeitdauer des Universums!
3. Schlüpfen Sie in die Rolle eines Kreationisten (falls Sie Evolutionist sind) beziehungsweise eines Evolutionisten (falls Sie Kreationist sind) und diskutieren Sie mit ihren Mitschülern! Berücksichtigen Sie hierbei die Statements zweier Evolutionstheoretiker (siehe unten):
4. Überlegen Sie, mit welchen wissenschaftlichen Theorien der Kreationismus sonst noch kollidiert.

■ „Um ihre wissenschaftlich absurden Thesen halten zu können, scheuen einige Kreationisten nicht einmal davor zurück, Gott als Täuscher darzustellen. Konfrontiert mit der überwältigenden Evidenz für ein hohes Erdalter, erklären sie, Gott hätte alle physikalischen und chemischen Größen so gestaltet, dass die Erde uns trotz ihres jungen Alters einige Milliarden Jahre alt erscheinen müsse (K. R. MILLER, 1984: 39). An anderer Stelle wird ein Ausweg darin gesucht, Gott hätte die Fossilien als solche erschaffen und fertig in die Erde gelegt um einen falschen Eindruck hervorzurufen, oder Gott hätte die Lichtstrahlen im Universum so platziert, dass sie uns ein hohes Alter des Universums vorgaukelten. Einen solchen Täuschergott akzeptiert man im Allgemeinen nicht. Könnte dann nicht viel mehr in der Bibel Täuschung sein? Die fundamentalistische Position führt letztlich zu einem Verlust an Glaubwürdigkeit der biblischen Aussagen und findet daher keine Zustimmung.“ (JESSBERGER 1990)

■ „Physiker haben das große Glück, dass solche Unheilstifter (gemeint sind Vertreter des Intelligent Design) keine große Motivation verspüren, gegen sie zu Felde zu ziehen. Denn die Wissenschaftler brauchten nicht lange, um auch sie davon zu überzeugen, dass Quantenphysik und Einsteins Relativitätstheorie über jeden Zweifel erhaben sind.“ (D. C. DENNETT 2005).

### 5.3 Schülerarbeitsblatt Nr. 2

#### Der Pfeilschwanzkrebs (*Limulus polyphemus*) – ein lebendes Fossil

An der südlichen Ostküste Floridas (USA) lebt der marine Pfeilschwanzkrebs *Limulus polyphemus*, der im adulten (erwachsenen) Stadium bis zu 50 cm groß werden kann. Er wühlt als Wurm- und Weichtierfresser im Schlamm der flachen Küstengewässer. Mit seinem großen, halbmondförmigen Kopfbrustschild und dem etwas kleineren, sechseckigen, mit starken Randstacheln geschützten Hinterleibsschild wirkt das Tier wie eine überdimensionierte Assel, der man einen spitzen Schwanzstachel angefügt hat.

Die rezenten Pfeilschwanzkrebse – neben *Limulus polyphemus* einige südostasiatische Arten – sind allerdings nicht näher mit den Asseln (Krebstieren) verwandt. Sie gehören zu den Spinnentieren. Diese lassen sich in die vier Klassen der eigentlichen Spinnentiere (Arachnoidea), der Asselspinnen (Pantopoda), der Schwertschwänze (Xiphosura) und der Riesenschaler (Gigantostroma) einteilen. *Limulus polyphemus* und die anderen rezent lebenden Pfeilschwanzkrebse gehören zur Ordnung der Schwertschwänze (Xiphosura). Fossil erhaltene Schwertschwänze sind bereits aus dem Kambrium (*Paleome-*

*rus*) bekannt. Exemplare der fossil erhaltenen Gattung *Mesolimulus* aus der Jura-Zeit ähneln heute lebenden Pfeilschwanzkrebsen. *Limulus polyphemus* ist das klassische Beispiel für ein lebendes Fossil.

Mit diesem und den zwei folgenden Arbeitsblättern sollen Sie anhand eines Beispiels aus der Paläontologie die Gelegenheit bekommen, sich mit dem Thema Kreationismus/Intelligent Design auseinander zu setzen. Grundlage dafür ist die Unterscheidung von R. JUNKER und S. SCHERER (Anhänger des Schöpfungsmodells) zwischen Evolutionsmodell und Schöpfungsmodell. Nach dem Evolutionsmodell sind seit der Zeit des Kambriums ca. 550 Millionen Jahre vergangen, in denen sich Lebewesen weiterentwickelten oder auch in Seitenlinien ausstarben. Vertreter des Schöpfungsmodells verbinden die Zeit seit dem Kambrium mit dem aus der Bibel bekannten Sintflutgeschehen. Die beiden Kreationisten H. M. MORRIS und J. C. WHITCOMB errechneten für die Sintflut eine Zeitdauer von 371 Tagen (JESSBERGER 1990: 71). R. JUNKER und S. SCHERER legen sich nicht so detailliert fest. „Die Strukturen von Sedimentgesteinen liefern zwar deutliche Hinweise auf katastrophische Bildungen, doch ist auf dieser Ebene kein Rückschluss auf die Ursache der Katastrophen möglich. Wenn in

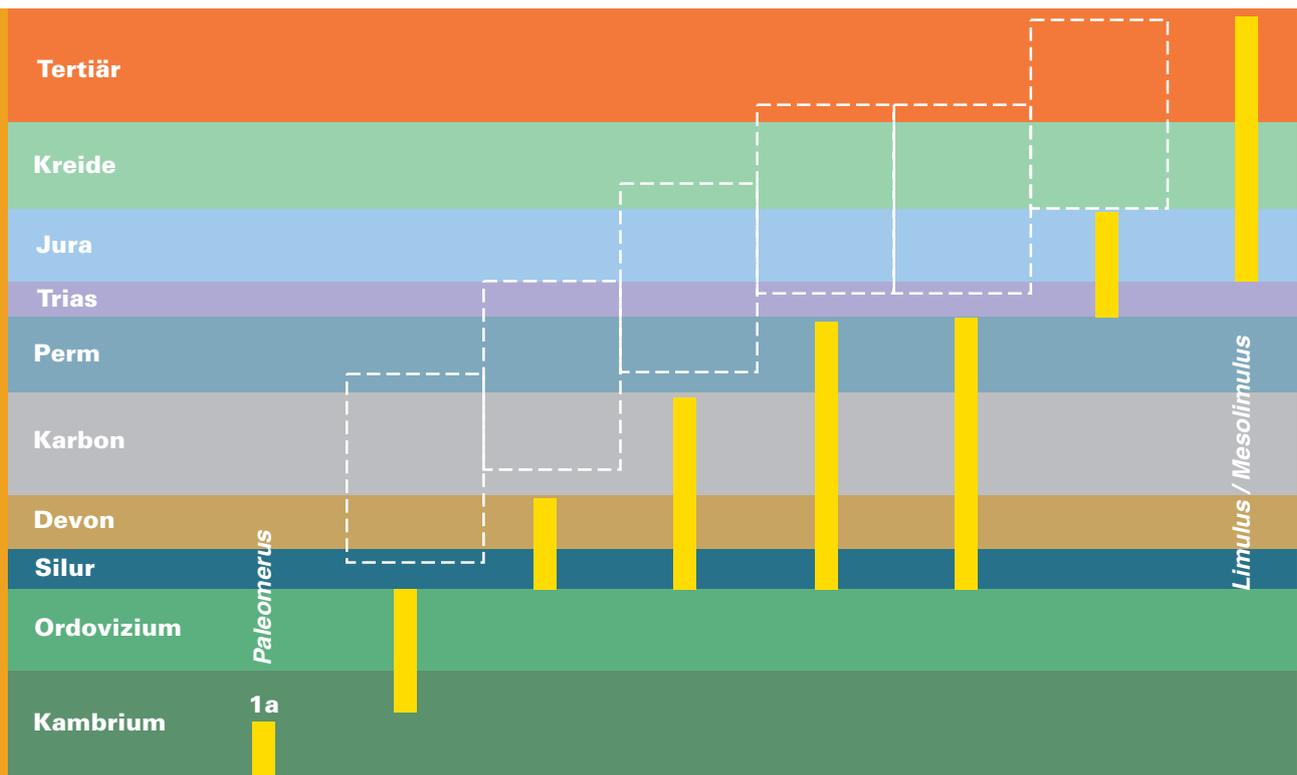


Abb. 1: Geologische Zeitskala

diesem Buch angenommen wird, dass die biblisch bezeugte Sintflut dafür verantwortlich ist, indem sie über einige Jahrhunderte eine Abfolge nach und nach schwächer werdender Ausklingkatastrophen bewirkt hat, begehen die Autoren bewusst eine Grenzüberschreitung. Diese wird in Kauf genommen, um dem Leser ein besseres Verständnis der Argumentationslinie zu ermöglichen.“ (JUNKER & SCHERER 1988: 156)

Diese beiden Autoren trennen somit die eigentliche „biblisch bezeugte Sintflut“ und eine Phase von „Ausklingkatastrophen“. J. SCHEVEN spricht von „nachsintflutlichen Schüttungen“ beziehungsweise „Sandschüttungen“.

#### Aufgaben:

1. In den Abbildungen 2a bis 2f hat Jemand etwas durcheinander gebracht! Schneiden Sie die einzelnen Schemazeichnungen der Abbildungen 1 und 2 aus und schaffen Sie Ordnung! *Paleomerus* (Kambrium) ist der älteste Vertreter der Klasse der Schwertschwänze und bildet somit den Anfang, der rezente *Limulus* ist der Letzte seiner Klasse und steht am Ende.  
Überprüfen Sie Ihr Ergebnis, indem Sie die Aufgabe von einer anderen Person (z. B. kleine Schwester, kleiner Bruder)

lösen lassen. Ordnen Sie 2a bis 2f in die geologische Zeitskala ein und diskutieren Sie mit Ihren Mitschülern!

2. Überprüfen Sie, ob Ihre Einordnung in die geologische Zeitskala korrekt erfolgt ist, indem Sie zusätzliche Recherchen durchführen (Lehrbücher zur Paläontologie, z. B. B. ZIEGLER: Einführung in die Paläobiologie, im Internet surfen) oder Ihren Lehrer fragen. Wie lassen sich die abgestuften Ähnlichkeiten in der geologischen Zeitskala
  - a) nach dem Evolutionsmodell
  - b) nach dem Schöpfungsmodell
 erklären? Konsultieren Sie Biologieschulbücher und so weiter und diskutieren Sie! R. JUNKER und S. SCHERER postulieren ein Mega-Sukzessions-Modell.

In Bezug auf eine vergleichbare wie die hier vorliegende Xiphosura-Reihe schreiben die Autoren (JUNKER & SCHERER 1988: 185 ff.): „Im Rahmen dieses Buches können die Gehäuseabwandlungen sowie die Abfolgen der Ammoniten, auf denen die Jura-Stratigraphie beruht, nicht näher behandelt werden. Es kann jedoch vermutet werden, dass dafür im wesentlichen genetische Plastizität, mikroevolutionäre Prozesse sowie ökologische Faktoren ausreichend waren, die keine langen Zeiten benötigten.“



Abb. 2: Verschiedene Vertreter der Klasse der Xiphosura (fossil): Schemazeichnungen

### 5.4 Schülerarbeitsblatt Nr. 3

Die auf dem Ei-Berg gefundenen Skelettreste stammen von 20 – 25 unterschiedlich alten Dinosauriern. Die Überreste gerade geschlüpfter Jungtiere lagen nicht in den Nestern, sondern dazwischen verstreut. Da zudem die unteren Hälften der Eier in den Nestern unversehrt erhalten sind, ist es höchst unwahrscheinlich, dass die Jungen in den Nestern aufgezogen wurden. Denn dann wären die Eischalen zerbrochen gewesen.

Warum aber gab es Tiere verschiedener Größe am Nistplatz? Wenn die Jungen nach dem Schlüpfen einfach das Gebiet verlassen hätten, könnten zwar zufällig ein paar Tiere schon in der Nähe umgekommen sein. Aber bei 20 – 25 unterschiedlich alten Individuen ist eine sofortige Abwanderung doch unwahrscheinlich. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Jungen im Nistgebiet in Gruppen zusammenblieben, wie man es von einigen bodenbrütenden Vögeln her kennt. Den Ablagerungen nach lag der Nistplatz zur Zeit seiner Benutzung entweder auf einer Halbinsel oder einer Insel in einem Fluss oder See. Vielleicht konnten die jungen Dinosaurier ihre Nahrung leicht aus dem Gewässer gewinnen, sodass sie ihr Weidegebiet gar nicht ausdehnen mussten.

### Aufgaben:

1. Vergleichen Sie diese Brutpflege bei Dinosauriern aus der Kreide-Zeit West-Montanas vor dem Hintergrund des Evolutionsmodells (Alter der Schichten: 80 Millionen Jahre) sowie des Schöpfungsmodells. Nach diesem bezeugen die Sedimentgesteine katastrophale Geschehnisse – die biblische Sintflut.
2. Erörtern Sie Ihre Ergebnisse mit Ihren Mitschülern.
3. Mit welchen Mitteln und Methoden werden fossile Lebensräume rekonstruiert?

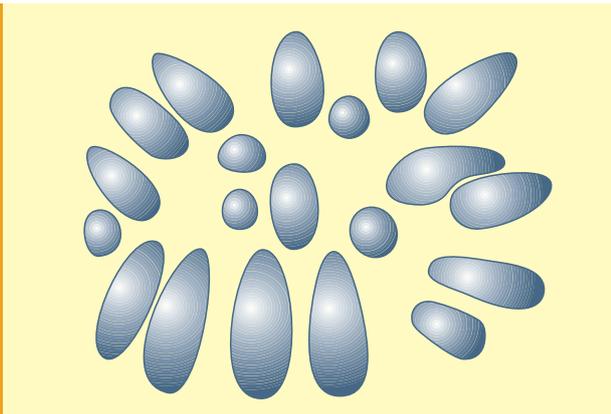


Abb. 1 (oben) und Abb. 2 (unten): Drei Typen von Dinosaurier-Eiern wurden im Fundgebiet entdeckt. Das große, spitz zulaufende Ei links gehörte einem Entenschnabel-Dinosaurier (Hadrosaurier). Es wurde aus Schalenbruchstücken rekonstruiert, die in Nestern mit den Skelettresten jugendlicher Hadrosaurier lagen. Die Schale des etwa 20 cm großen Eies zeigt ausgeprägte Längsrünzeln. Das etwas kleinere, länglichere Ei in der Bildmitte stammt von einem ursprünglichen, zweibeinig laufenden Dinosaurier, der zu den Hysilophodontiern gehört. Seine Schale ist in Längsrichtung fein geriffelt. Das Ei rechts ist unbekannter Herkunft und hat eine gekörnte Schalenoberfläche. Eier dieses Typs liegen gewöhnlich horizontal im Sediment und sind in paarigen, geradlinigen Reihen angeordnet (Abb. 4). Die Eier der beiden anderen Typen sind meist in aufrechter Stellung zu finden und haben ursprünglich nur teilweise im Sediment gesteckt. Das Gelege oben (Abb. 1) wurde unversehrt einem Hysilophodontier-Nest entnommen. Es lag auf einem kleinen, Ei-Berg getauften Hügel (s. auch Abb. 4).

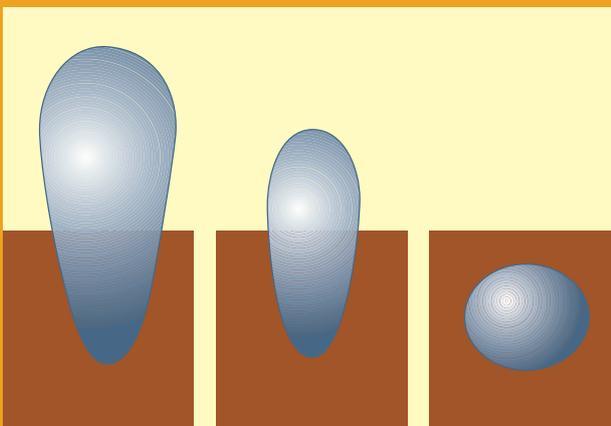


Abb. 3: Die Skelett-Rekonstruktionen eines Entenschnabel-Sauriers (rechts) und eines Hysilophodontiers, beide ausgewachsen, sind hier maßstabsgetreu dargestellt.

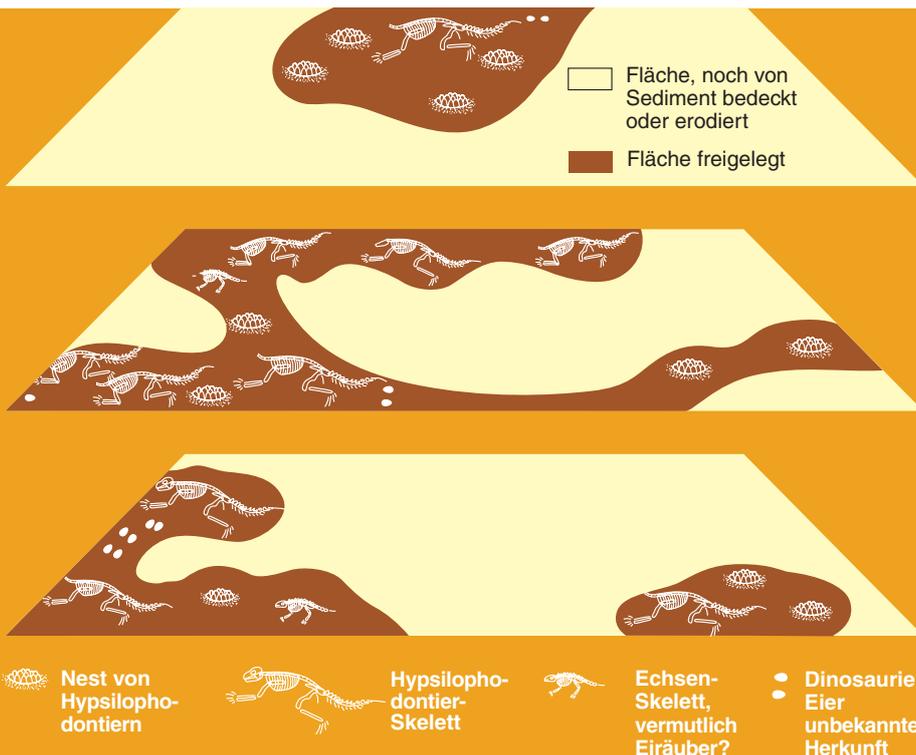
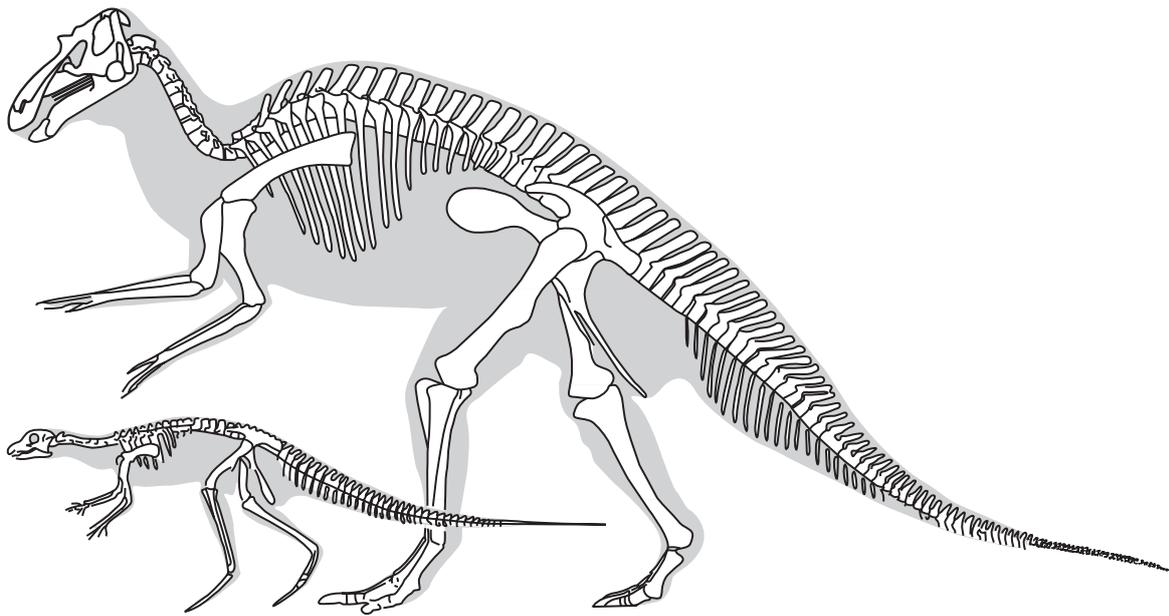


Abb. 4: Das schematische Diagramm des Ei-Berges zeigt drei Ebenen mit Nestern und Skelett-Resten von Dinosauriern. Freigelegte Flächen sind etwas dunkler hervorgehoben. Die anderen sind entweder noch von Sediment bedeckt oder erodiert. Die runden Gelege in den schlüsselförmigen Vertiefungen stammen von Hysilophodontiern, deren Skelette, erkenntlich an den langen Hinterbeinen, dort ebenfalls gefunden wurden. Die kleinen paarweise abgelegten Dinosaurier-Eier sind unbekannter Herkunft. Die anderen Skelette lassen sich Echsens zuordnen, die möglicherweise Eiräuber waren.

5.5 Schülerarbeitsblatt Nr. 4

Foraminiferen – Leitfossilien der Unterkreide

Foraminiferen sind einzellige Meeresorganismen mit einem Gehäusedurchmesser von weniger als einem Millimeter. Fossile Foraminiferen sind in der Geologie ein wichtiges Hilfsmittel zur Zuordnung von Schichten (Biostratigrafie). Das Material eines Bohrkerns kann bis zu einer Million fossiler Foraminiferengehäuse enthalten, die unter dem Mikroskop sortiert und ausgezählt werden können. Jede gut abzugrenzende Teilschicht eines Bohrkerns enthält eine Fossilienansammlung der damaligen Populationen.

Aufgaben:

- Entscheiden Sie sich für eine der Alternativen. Berücksichtigen Sie hierbei die abgestuften Ähnlichkeiten der Gehäuseformen.
- Unterscheiden Sie zwischen Anpassungsähnlichkeit (Analogie) und Ursprungsähnlichkeit (Homologie) von Gefügesystemen! Wie lässt sich der Befund
  - im Evolutionsmodell,
  - im Schöpfungsmodell erklären?
- Welche Erklärung gibt es im Evolutionsmodell für die Übereinstimmung von Bohrkernproben aus Trinidad (Mittelamerika) und Hannover (Mitteleuropa) in Bezug auf die Häufigkeit von Vertretern der Gattung *Conorotalites*, welche im Schöpfungsmodell? (Tipp: ALFRED WEGENER)

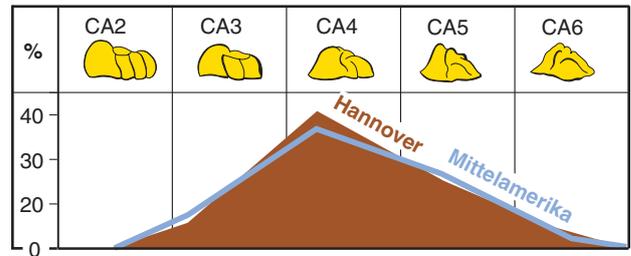
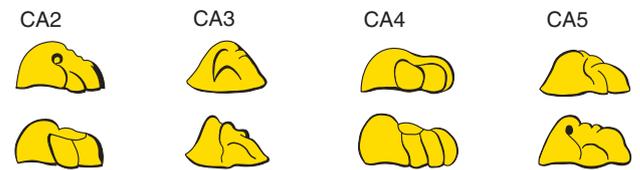


Abb. 1: *Conorotalites*-Varianten



Abb. 2: links: die *Conorotalites*-Art Nr. 1 (CA1). Sie ist im Mittelbarrême mit 15 Gehäuse-Exemplaren (Schicht a: 10; Schicht b: 5) im Bohrkern vertreten; rechts: die *Conorotalites*-Art Nr. 6 (CA6) mit drei Varianten

Alternative 1



Alternative 2

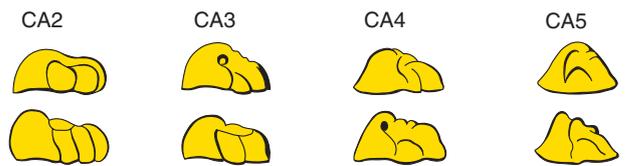


Abb. 3: Zwei Alternativen zur Einordnung in die Schichtenfolge eines Bohrkerns (Abb. 4). Bitte ausschneiden und korrekt in Abb. 4 einfügen

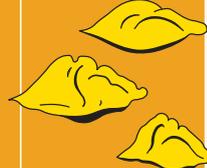
		Conorotalites-Varianten												
		CA1	CA2		CA3		CA4		CA5		CA6			
Zeit													N	
		0,5 mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
o									19	18	87	82	106	
n							9	21	25	58	9	21	43	
m							7	19	16	44	13	38	36	
l					26	13	118	59	48	24	9	4	201	
k							26	22	68	58	24	20	118	
i					4	2	104	48	77	35	32	15	217	
h					5	5	52	51	39	39	5	5	101	
g					11	22	25	50	14	28			50	
f					7	18	19	49	13	38			39	
e					8	15	28	52	17	31	1	2	54	
d			4	6	21	33	26	41	13	20			64	
c			36	34	47	44	23	22					106	
b	5	5	32	31	46	44	21	20					104	
a	10	4	63	28	107	48	44	20					224	
													1463	

Abb. 4: Häufigkeiten von 6 *Conorotalites*-Varianten in den Schichten o bis a

## 5.6 Schülerarbeitsblatt Nr. 5

### Radiometrische Altersbestimmung

Von den 327 natürlich vorkommenden Isotopen sind 55 radioaktiv. Isotope sind Atome eines Elements, die sich in der Atommasse unterscheiden, aber die gleiche Ordnungszahl und daher die gleichen chemischen Eigenschaften haben.

Die Entdeckung der Radioaktivität durch BECQUEREL (1896) eröffnete die Möglichkeit der radiometrischen Altersbestimmung. Grundlage ist dabei die Erkenntnis, dass die Atome radioaktiver Isotope, zum Beispiel Uran und Thorium, gesetzmäßig nach einem Zeitplan (Halbwertszeit) zu nicht radioaktiven Isotopen zerfallen.

Diesen Zerfall begleitet eine Emission von Strahlung oder Teilchen (Alpha-Teilchen, Beta- und Gammastrahlen) aus dem Atomkern. Manche „Mutterisotope“, zum Beispiel Kohlenstoff-14, zerfallen in einem Schritt zu einem stabilen Endprodukt. Andere Isotope zerfallen bis zur Bildung eines stabilen Isotops über mehrere Schritte in mehrere „Tochterisotope“. Mehrstufige radioaktive Zerfallsreihen treten zum Beispiel bei Uran-235, Uran-238 und Thorium-232 auf. In einer bestimmten Zeit zerfällt ein bestimmter Teil des Mutterisotops.

Die Zeit, in der die Hälfte der Ausgangsmenge eines Isotops zerfällt, nennt man Halbwertszeit. Diese kann wenige Mikrosekunden oder aber Milliarden von Jahren betragen. Zehn radioaktive Isotope besitzen Halbwertszeiten im erdgeschichtlichen Rahmen. Sie werden daher für die radiometrische Altersbestimmung von Gesteinen genutzt.

Eine solches Isotop ist das Kohlenstoff-Isotop 14, die Methode nennt sich Radiokarbondatierung, auch C14-Methode genannt. Mit ihrer Hilfe kann man das Alter organischer Stoffe bestimmen. Dabei nutzt man die Tatsache, dass in der Stratosphäre ständig radioaktiver Kohlenstoff-14 unter dem Einfluss kosmischer Strahlung aus Stickstoff-14 entsteht, wobei ein Neutron durch ein Proton ersetzt wird. Mit einer Halbwertszeit von  $5730 \pm 40$  Jahren zerfällt das Kohlenstoff- wieder in das Stickstoff-Isotop. Da die Bildung und der Zerfall im Gleichgewicht stehen, ist der  $^{14}\text{C}$ -Anteil im Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre weitgehend konstant, nämlich etwa 0,000000001 %. Der Hauptanteil ist das nicht-radioaktive  $^{12}\text{C}$ . Das Verhältnis dieser beiden Kohlenstoff-Isotope ist ebenfalls konstant und lässt sich für die Altersbestimmung nutzen. Über die Photosynthese gelangen beide Kohlenstoff-Isotope in die Nahrungskette. Stirbt eine Pflanze oder ein Tier, wird auch kein Kohlenstoff mehr aufgenommen.  $^{14}\text{C}$  zerfällt aber weiterhin, sodass

sich im Laufe der Zeit das Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope zugunsten des stabilen Isotops verändert. So lässt sich im Vergleich zum ursprünglichen Verhältnis das Alter einer Probe ermitteln, wobei das Jahr 1950 als Bezugspunkt gewählt wurde. Die Methode reicht bis zu 50 000 Jahre in die Vergangenheit. Die Zuverlässigkeit der C14-Methode wurde und wird laufend durch völlig andere Verfahren wie der Dendrochronologie bestätigt. Die Dendrochronologie ist ein direktes Verfahren zur Altersbestimmung; hierbei werden die Jahresringe von Bäumen abgezählt.

### Aufgaben:

1. Es lässt sich messen, dass ein Gramm Kohlenstoff in einem jetzt lebenden Organismus (Pflanze, Tier) 15 Zerfälle pro Minute hat. 1 g Kohlenstoff aus einem 2000 Jahre alten Knochen hat eine Zerfallsrate von  $11,777 \cdot \text{g C}^{-1} \text{ min}^{-1}$ . Berechne die Anfangsaktivität A und die Halbwertszeit T aus der Gleichung:

$$y = A \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T}}$$

2. Den Abnahmevorgang beschreibt die Gleichung

$$y = 15 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{5730}}$$

In welcher Zeit beträgt die Zerfallsrate von  $^{14}\text{C}$  die Hälfte (ein Viertel, ein Achtel), seiner Ausgangsrate?

3. Im Jahre 1991 wurde in den Öztaler Alpen die Mumie eines Steinzeitmenschen gefunden. Wie alt ist Ötzi, wenn 8 Zerfälle pro Minute pro Gramm Kohlenstoff gemessen wurden?

## 6 Schlussbemerkungen

Sind öffentliche Debatten zum Thema Kreationismus/Intelligent Design in Deutschland opportun?

ALEXANDER GLASS (Assistent Professor an der Central Washington University/Department of Geological Sciences in Ellensburg) bemerkt kritisch (pers. Mitt.): "I am a little surprised to see however that the Germany scientific community seems to 'reinvent the wheel' when it comes to this discussion and is making the same mistakes the US community first made in the 1970 and 80s. Anyone who has seriously followed the issue in the US (from Scopes to Dover) will tell you that public debates are a poor way to address this issue. Debates are never about content but about style. Creationists are some of the best debaters I have ever seen (and I have seen the best and worst of them). Creationists don't care whether they win or lose these debates on scientific grounds – they are merely out for the public forum, media attention, and the false sense of scientific debate that it creates for the audience. They revel in the fact that they get to be on stage with scientists of real merit ..."

Er kommt zu dem Schluss: "... I hope that the palaeo.de community will take a good look at this issue and learn from the long-term experience and past mistakes of their American colleagues and refrain from supporting such public debates."

## 7 Literatur

- BÜCHNER, F. et al. (2000); S. 7: Perspektiven Religion. Arbeitsbuch für die Sekundarstufe II. 312 S., Göttingen (Vandenhoeck&Ruprecht)
- BUNGE, M. (1984): What is pseudoscience? – The Skeptical Inquirer, **9** (1): 36 – 46.
- CHALMERS, A. F. (2001): Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie. – 238 S.; Berlin (Springer).
- CHARLESWORTH, B. (2002): Evolution by Design? – Nature, **418**: 129.
- COYNE, J. A. (1996): God in the Details. – Nature, **383**: 227 – 228.
- DENNETT, D. C. (2005): Intelligent Design. Wo bleibt die Wissenschaft? – Spektrum der Wissenschaft, **2005**: 110 bis 113, Heidelberg (Spektrum-Verlag).
- DIETRICH, V.-J. (1996): Glaube und Naturwissenschaft, **1485**: 57; Stuttgart (Calwer Verlag)
- DONGEN, P. A. M. VAN; VOSSEN, J. M. H. (1984): Can the theory of evolution be falsified? – Acta Biotheoretica, **33**: 33 – 50.
- DUTCH, S. (2000): What Pseudoscience Tells us About Science. <http://www.uwgb.edu/dutchs/pseudosc/badmodl.htm>
- GISHLICK, A.; MATZKE, N.; ELSEBERRY, R. (2004): Meyer's Hopeless Monster. Review of Meyer, Stephen C. 2004: The origin of biological Information and the higher taxonomic categories. <http://www.pandasthumb.org/pt-archives/000430.html>

- HEMMINGER, H. (1988): Kreationismus zwischen Schöpfungs-glaube und Naturwissenschaft. – 44 S.; Stuttgart (Evangelische Zentralstelle für Weltanschauungsfragen).
- JESSBERGER, R. (1990): Kreationismus. Kritik des modernen Antievolutionismus. – 188 S.; Berlin und Hamburg; (Paul Parey).
- JUNKER, R. (2003): Baum, Baukasten, Netzwerk. Ist die evolutionäre Systematik zirkelschlüssig? – *Studium Integrale Journal*, **10** (1): 3 – 11.
- JUNKER, R. (2004): Harter Kern und Hilfhypothesen von Forschungsprogrammen in der Schöpfungsforschung. – <http://www.wortundwissen.de/fachgruppen/wt/wt006.html>.
- JUNKER, R.; SCHERER, S. (1988): Entstehung und Geschichte der Lebewesen. Daten und Deutungen für den Biologieunterricht. – 275 S.; Gießen (Weyel Lehrmittelverlag).
- JUNKER, R & SCHERER, S. (2006): Evolution. Ein kritisches Lehrbuch. – 336 S.; Gießen (Weyel Lehrmittelverlag)
- KÄMPFER, M. (2001): Wissenschaft – Pseudowissenschaft: Ein einführender Beitrag über die Abgrenzungsschwierigkeiten. 3. Teil: Das Biogenetische Grundgesetz und die Grundtypen-Biologie im Test. – *Studium Integrale Journal*, **8** (1): 16 – 22.
- KITCHER, P. (1983): *Abusing Science: the Case Against Creationism*. – 213 S.; Cambridge MA (MIT Press).
- KOTTHAUS, J. (2003): Propheten des Aberglaubens – Der deutsche Kreationismus zwischen Mystizismus und Pseudowissenschaft. – 156 S.; Münster (Lit-Verlag).
- KUTSCHERA, U. (2004): Streitpunkt Evolution. Darwinismus und Intelligentes Design. – 311 S., Münster (Lit-Verlag).
- LÖNNING, G. (1988): Metakriterien wissenschaftlicher Rationalität. – *Zeitschrift für Wissenschaftsforschung*, **4** (2): 201 – 213.
- LÖNNING, W.-E. (1989): Auge widerlegt Zufallsevolution. – 124 S.; Köln (Naturwissenschaftlicher Verlag).
- LÖNNING, W.-E. (1993): Artbegriff, Evolution und Schöpfung. – 622 S.; Köln (Naturwissenschaftlicher Verlag).
- LÖNNING, G. (1995): Der wissenschaftstheoretische Status der Evolutionstheorie. – In: VOLLMER, G.: *Biophilosophie*: S. 92 – 106; Stuttgart (Reclam).
- MAHNER, M. (1986): Kreationismus – Inhalt und Struktur antievolutionistischer Argumentation. – 100 S.; Berlin (Pädagogisches Zentrum).
- MAHNER, M. (2002): Kreationismus. – In: SAUERMOST, R.; FEUDIG, D. [Hrsg.]: *Lexikon der Biologie*, **8**: 202 – 203; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- MAHNER, M. (2003): Hume, Paley und das Design-Argument. – *Skeptiker*, **16** (4): 131.
- MAHNER, M. (2007): Intelligent Design und der teleologische Gottesbeweis. – In KUTSCHERA, U. (2007): *Kreationismus in Deutschland*. – 340 – 349; Münster (Lit-Verlag).
- MILLER, J. D.; SCOTT, E. C. ; OKAMOTO, S. (2006): Public acceptance of evolution. – *Science*, **313**: 765 – 766, 1 Abb.; London.
- NEUKAMM, M. (2007): Wissenschaft und ontologischer Naturalismus. Eine Kritik antievolutionistischer Argumentation. – In: KUTSCHERA, U. (2007): *Kreationismus in Deutschland*. – 163 – 231; Münster (Lit-Verlag).
- POPPER, K. R. (1984): *Logik der Forschung*. – 477 S.; Tübingen (Mohr).
- RADNER, D.; RADNER, M. (1982): *Science and Unreason*. – 110 S.; Belmont (Wadsworth).
- RIEDL, R. (1990): *Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution*. – 467 S.; Zürich (Piper).
- RUSE, M. (1981): Darwin's theory: An exercise in science. – *New Scientist*, **90**: 828 – 830.
- SCHERER, S. (2003): Sechs Fragen an Siegfried Scherer. – *Factum*, **23** (1): 35 – 37.
- VOLLMER, G. (2003): *Was können wir wissen? Bd. 1: Die Natur der Erkenntnis*. – 337 S.; Stuttgart (Hirzel).
- VOLLMER, G. (2003): *Was können wir wissen? Bd. 2: Die Erkenntnis der Natur*. – 305 S.; Stuttgart (Hirzel).
- WASCHKE, T. (2003): Intelligent Design. Eine Alternative zur naturalistischen Wissenschaft? – *Skeptiker*, **16** (4): 128 – 136.
- WHITCOMB, J. C.; MORIS, H. (1977): *Die Sintflut: Der Bericht der Bibel und seine wissenschaftlichen Folgen*. – 517 S.; Stuttgart (Häussler).
- YUNIS, J. J.; PRAKASCH, O. (1982): The origin of man: Achromosomal pictorial legaci. – *Science*, **215**: 1525-1530.
- ZENGER, E. (2003b): *Jenseits der Geschichte. Anmerkungen zur sogenannten Urgeschichte der Genesis*. – Bibel und Kirche, **57**: 2 – 5; Stuttgart (Katholisches Bibelwerk).
- ZIEGLER, B. (1975): *Einführung in die Paläobiologie. Teil 1: Allgemeine Paläontologie*. – 248 S.; Stuttgart (E. Schweizerbart).

## Geologie erleben

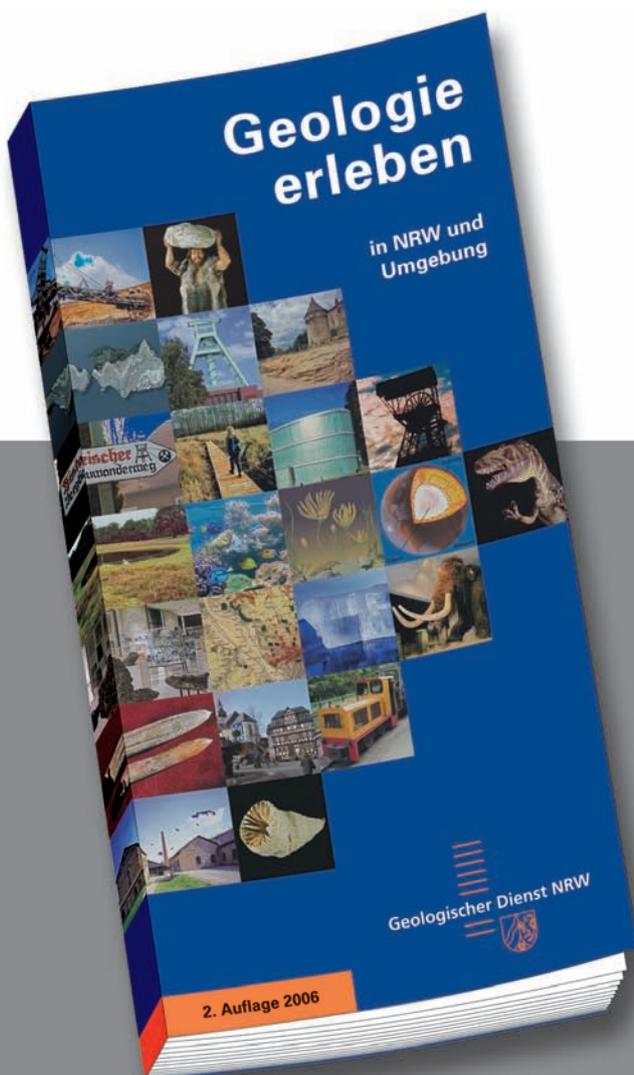
### Museen, Schauhöhlen, Besucherbergwerke, Lehr- und Wanderpfade in NRW und Umgebung

Der Geo-Museumsführer „Geologie erleben“ ist in der 2., völlig überarbeiteten und aktualisierten Auflage erschienen.

Mit einer Fülle an Informationen stellt der bebilderte Museumsführer des Geologischen Dienstes NRW über 300 geowissenschaftlich besonders interessante Museen, Schauhöhlen, Besucherbergwerke sowie geologische und montanhistorische Lehr- und Wanderpfade vor. Da die Geologie nicht an der NRW-Landesgrenze haltmacht, sind zahlreiche Geo-Museen aus der benachbarten Umgebung in Niedersachsen, Hessen, Rheinland-Pfalz, den Niederlanden und Belgien mit aufgenommen.

500 Mio. Jahre Erdgeschichte, 5000 Jahre Bergbau und 200 Jahre Industriekultur verbinden eben die Menschen über Ländergrenzen hinweg.

127 S., zahlr. Abb., 1 Übersichtskarte, 2006  
ISBN 3-86029-970-0 und 978-3-86029-970-8  
Preis € 9,80 (inkl. 7 % MwSt.)



Vertrieb: Geologischer Dienst NRW  
– Landesbetrieb –  
Postfach 10 07 63  
47707 Krefeld  
Fon: 02151 897-210 und 02151 897-212  
Fax: 02151 897-428  
E-Mail: [geoshop@gd.nrw.de](mailto:geoshop@gd.nrw.de)

## scriptum

Arbeitsergebnisse aus dem Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen (ehemals Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen)  
ISSN 1430-5267

In dieser Reihe bisher erschienen:

### Heft 1

75 S., 5 Abb.; Krefeld 1996

GERT MICHEL; ULRICH ADAMS; GEORG SCHOLLMAYER:  
Grundwasser in Nordrhein-Westfalen. Eine Bibliographie zur regionalen Hydrogeologie

Best.-Nr. 8000 € 7,-

Heft 1 ist auch als Datei mit einem dazugehörigen Installationsprogramm auf Diskette erhältlich. Die digitale Fassung ist geeignet für alle PCs, die mit einer MS-Windows-Version ab 3.1 ausgestattet sind.

Heft und Diskette:

Best.-Nr. 8002 € 12,-

### Heft 2

83 S., 34 Abb., 9 Tab., 4 Anl.; Krefeld 1997

Fünf Beiträge zur Geologie und Bodenkunde

Best.-Nr. 8003 € 7,-

### Heft 3

94 S., 23 Abb., 27 Tab., 12 Taf., 10 Anl.; Krefeld 1998

REINHOLD STROTMANN: Hydrologische Auswirkungen der Siedlungsentwicklung auf den Wasserkreislauf der Stadt Krefeld (1800 – 1995)

Best.-Nr. 8004 € 7,-

### Heft 4

85 S., 30 Abb., 2 Tab., 5 Taf.; Krefeld 1999

Vier Beiträge zur Geologie und Bodenkunde

Best.-Nr. 8005 € 7,-

### Heft 5

57 S., 23 Abb., 6 Tab.; Krefeld 1999

Zwei Beiträge zur Hydrogeologie

Best.-Nr. 8006 € 7,-

### Heft 6

53 S., 21 Abb., 5 Tab.; Krefeld 2000

Kies- und Sandgewinnung – Fachbeiträge zur Rohstoffsicherung in Nordrhein-Westfalen

Best.-Nr. 8007 € 7,-

### Heft 7

127 S., 24 Abb., 17 Tab., 6 Kt.; Krefeld 2000

Stoffbestand, Eigenschaften und räumliche Verbreitung urban-industrieller Böden – Ergebnisse aus dem Projekt Stadtbodenkartierung Oberhausen-Brücktorviertel –

Best.-Nr. 8008 € 7,-

### Heft 8

115 S., 54 Abb., 1 Tab.; Krefeld 2001

Geotopschutz im Ballungsgebiet. 5. Internationale Tagung der Fachsektion Geotopschutz der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 16. – 19. Mai 2001 in Krefeld. Vortragskurzfassungen und Exkursionsführer.

Best.-Nr. 8009 € 7,-

### Heft 9

166 S., 127 Abb., 6 Tab., 3 S. Anh.; Krefeld 2002

Geotopschutz im Ballungsgebiet. 5. Internationale Tagung der Fachsektion Geotopschutz der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 16. – 19. Mai 2001 in Krefeld. Tagungsband

Best.-Nr. 8010 € 9,50

### Heft 10

113 S., 10 Abb., 9 Tab., 13 Anl.; Krefeld 2003

Drei Beiträge zur Geologie und Bodenkunde

Best.-Nr. 8011 € 7,-

### Heft 11

131 S., 19 Abb., 2 Tab., 1 Taf., 66 S. Anh.; Krefeld 2004

Geologie und Paläontologie an der TENP2-Erdgastrasse in der Nordeifel (Nordrhein-Westfalen)

Best.-Nr. 8012 € 7,-

### Heft 12

53 S., 25 Abb., 16 Tab.; Krefeld 2004

Drei Beiträge zur Geologie und Bodenkunde Nordrhein-Westfalens

Best.-Nr. 8013 € 7,-

### Heft 13

120 S., 75 Abb., 7 Tab., 2 Taf. in der Anl.; Krefeld 2005

Der tiefere Untergrund der Niederrheinischen Bucht – Ergebnisse eines Tiefbohrprogramms im Rheinischen Braunkohlenrevier –

Best.-Nr. 8014 € 11,50

### Heft 14

ist die Ihnen vorliegende Veröffentlichung

### Heft 15

113 S., 195 Abb., 3 Tab., 1 Taf. in der Anl.; Krefeld 2007

Auf den Spuren des Bergbaus in Dortmund-Syburg. Forschungen und Grabungen am Nordwesthang des Sybergs von 1986 – 2006

Best.-Nr. 8016 € 11,50

Die Hefte sind zu beziehen beim Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –, Postfach 10 07 63, 47707 Krefeld, Fon 02151 897-210 oder -212, Fax 02151 897-428

**Geologischer Dienst  
Nordrhein-Westfalen  
– Landesbetrieb –**

De-Greiff-Str. 195  
47803 Krefeld  
Postfach 10 07 63  
47707 Krefeld  
Fon 02151 897-0  
Fax 02151 897-505  
E-Mail [poststelle@gd.nrw.de](mailto:poststelle@gd.nrw.de)

**ISSN 1430-5267**

