

Dankmar Bosse

Ideen zum Gesteinskunde-Unterricht für die 6. und 9. Klasse der Waldorfschule

Inhalt	Seite
1. Der Weg von der Landschaft zum Gestein	2
2. Grundgebirge - Deckgebirge - Lockergebirge	3
3. Der Weg vom Gestein zum Mineral	5
4. Gestaltung der Gesteins- und Mineralsammlungen	7
5. Entstehungsprozesse	8
6. Phänomene zeigen – nicht Modelle vorstellen!	9
7. Pädagogische Konsequenzen abstrakter Modelle	13
Anhang: Gliederung einer Schulsammlung	15

Die Betrachtung der vergangenen Erdgeschichte, gewinnt einen sicheren Boden, wenn sie von **Phänomenen** ausgeht, die heute beobachtet werden können. Diese Methode ist der Aktualismus. Dabei gibt es zwei einander widersprechende Ausgangspunkte. Die Geowissenschaften gehen von der heute erstorbenen Erde aus. Das ist gültig für die Entwicklungen der Erdneuzeit und für die Beschreibungen der Gesteine und Minerale. Für die frühere Erdgeschichte und die Entstehung der Erde und ihrer Gesteine wäre gerade im Sinne der Waldorfpädagogik ein anderer Ausgangspunkt notwendig, der von den heute zu beobachtenden **Lebensprozessen** und vom Menschen ausgeht. Dieser Weg beginnt bei den Phänomenen, wie sie die Geologie beschreibt, und kann im späteren Leben weiter zu den geisteswissenschaftlichen Forschungsergebnissen führen, wie sie von Rudolf Steiner für die gemeinsame Evolution von Erde und Mensch dargestellt werden. Das ermöglicht für den Lehrer ein neues Gesamtbild der Erdgeschichte, aus dem heraus Unterrichtsinhalte möglich werden, mit denen sich der Schüler innerlich verbinden kann. Im Gegensatz dazu würden letztlich die abstrakten Modelle von der Entstehung der Erde und des Lebens nur äußerlich bleiben und zur maximalen, zerstörenden Ausnutzung der Natur erziehen.

Von den Aspekten der Waldorfpädagogik aus sollen im Folgenden einige **methodische** Hinweise für den Geographie-Unterricht in der 6. und 9. Klasse gegeben werden. Dabei spreche ich überwiegend das Niveau der 9. Klasse an. Von dort aus kann der Klassenlehrer die Inhalte entsprechend gestalten, während der Oberstufenlehrer sie erweitern kann, da er gewisse Grundlagen der Geologie als Nebenfach im Studium kennengelernt hat.

Auf die umfangreichen inhaltlichen Grundlagen für den Lehrer kann nur hingewiesen werden. Die erdgeschichtlichen Entwicklungen der Naturreiche und Landschaften, vor allem der Gesteine und der Tierwelt im Verhältnis zum Menschen, habe ich auf den Grundlagen der geologischen und der geisteswissenschaftlichen Forschungen dargestellt in dem Buch *Die gemeinsame Evolution von Erde und Mensch*.¹ Darauf wird im Text jeweils gezielt verwiesen.

¹ D. Bosse: Die gemeinsame Evolution von Erde und Mensch. Entwurf einer Geologie und Paläontologie der lebendigen Erde. Stuttgart 2002.

1. Der Weg von der Landschaft zum Gestein

Rudolf Steiner sieht im **Geographieunterricht** ein *großes Gleis*, «in das alles einmündet, aus dem wiederum manches hervorgeholt wird. Sie haben zum Beispiel in der Geographie dem Kinde gezeigt, wie sich das Kalkgebirge unterscheidet von dem Urgebirge. Sie zeigen dem Kind die Bestandteile des Urgebirges, Granit oder Gneis. Sie machen es darauf aufmerksam, wie da verschiedene Mineralien drin sind, wie das eine herausglitzert als Glitzerndes, dann zeigen Sie ihm den Glimmer daneben und sagen, dass das, was da drin sitzt, Glimmer ist. Und dann zeigen Sie ihm, was noch alles im Granit oder im Gneis drinnen ist. Und dann zeigen Sie ihm Quarz und versuchen, das Mineralische aus dem Gesteinsmäßigen herauszuentwickeln. ... Gerade bei dem Mineralogieunterricht können Sie vom Ganzen ins Einzelne, von der Gebirgsbildung in die Mineralogie hineingehen».²

Rudolf Steiners Rat weist auf einen Gedankengang von der Landschaft zu den Gesteinen und von da weiter zu den Mineralen, als deren höchste Steigerung die Edelsteine erscheinen. Der erste Schritt auf diesem Wege ist die **Erfahrung der Landschaftsräume** (Bosse S. 465-472 und 480-488). Fragen können entstehen, beispielsweise: Wie erleben wir eine Landschaft im Sinne Alexander von Humboldts als den «*Totaleindruck einer Erdgegend*»? In welchen Rhythmen sind ihre Formen, ihre Talterrassen, ihre Bergzüge gegliedert?

Landschaft ist die gestaltete Oberfläche zwischen dem, was von oben durch das Wasser und erdäußere Kräfte herausmodelliert wurde, und der Härte der Gesteine, sowie den gebirgsbildenden Prozessen, die dem von unten entgegenstehen. Da ist nichts zufällig geformt, sondern an jedem Ort ist Landschaft der sensible Ausdruck ihrer Entstehungsprozesse. Die Landschaft führt uns zu den unter ihr verborgenen Gesteinen und den gestaltenden tektonischen Prozessen der Gebirgsbildungen.

Um von diesem Erleben der Ganzheit auszugehen, ist es wichtig, dass eine **Exkursion** in die Umgebung des Schulortes die Geologie- oder Gesteinsepoche einleitet oder begleitet! In der 6. Klasse empfehlen sich Wanderungen um den Schulort, wenn das nicht schon in der Heimatkunde geschehen ist. Es geht um ein bewusstes Erleben der Landschaftsformen, der Himmelsrichtungen, der Pflanzen- und Tierwelt. Von der Landschaft kann der Blick auf die anstehenden **Gesteine** gelenkt werden. Für eine 9. Klasse kann es notwendig werden, einzelne, weiter entfernte Aufschlüsse in der Vorstellung miteinander zu verbinden. Erst dadurch würde der großräumige Gesteinsaufbau verständlich, der zu den Werdeprozessen der ganzen Erde hinführt.

Die Gesteine sollten mit dem Hammer aufgeschlagen werden, den jeder Schüler – mindestens in der 9. Klasse – mitnehmen sollte. Denn meist sehen die verwitterten Oberflächen ganz anders aus, als das frische Gestein. Wichtig sind die Verschiedenheiten in der Härte, im Gewicht oder in den Farben, welche auf verschiedene Minerale hinweisen. Eine Auswahl mit frischen Bruchflächen und ordentlich formatisiert, kann die Schulsammlung bereichern. Jede Schule sollte eine Sammlung der Gesteine aus der Umgebung haben. Eine Klassenfahrt kann in Landschaften mit typischen Gesteinen einführen. Zum Beispiel sind in der Mitte von Deutschland, im mittleren Harz zwischen Thale und Blankenburg, die wichtigsten Gesteinsgruppen (Granit, Schiefer, alte und junge Kalksteine und Sandstein) gut aufgeschlossen und mit sehr interessanten Felsformen so nah beieinander, dass sie von einer der dortigen Jugendherbergen aus erwandert werden können, was schon mancher Klassenlehrer genutzt hat. Mit Exkursionen einer 9. Klasse wäre auch ein Exkursionstagebuch anzuregen. Auch könnten **kartographische Übungen** im Gelände damit verbunden werden. In Klassenraum sollten dazu verschiedene thematische Karten hängen und erläutert werden (zum Beispiel die Geologische Karte Deutschlands). Zur besseren geografischen Kenntnis habe ich in Fach- und Vertretungsstunden jedem Schüler eine A3-Flussnetz Karte Mitteleuropas ausgegeben, in welche die Flüsse beschriftet, die Hauptstädte eingetragen und die großräumigen Landschaften farblich angelegt wurden.

² Steiner, R.: Erziehungskunst. Methodisch-Didaktisches II, GA 294, Vortrag vom 2.9.1919, Dornach.

Die oberflächlich gefundenen Gesteine führen die Gedanken für eine 9. Klasse in die tieferen Schichten der Erdkruste. Da ist die Befahrung von **Schaubergwerken** hilfreich und interessant.³ Im Erzgebirge sind viele Stollen zugänglich und in Freiberg/Sa., sowie Ehrenfriedersdorf, ist sogar eine Schachtbefahrung möglich. Um von den Tiefen eine Vorstellung zu gewinnen, habe ich in der 9. Klasse an der Tafel die Umrisse der Landschaft des Schulortes skizziert, und dann ein dreidimensionales **Blockbild** gezeichnet, in das die Gesteinsschichten eingetragen wurden. Solche Blockbilder üben das räumliche Vorstellen und geologisches Denken. Sie lassen sich vereinfacht für jede Gegend entwerfen, indem man sich zunächst aus einer topografischen Karte 1:25.000 die vier begrenzenden Geländeprofile vereinfacht skizziert, die den Standort der Schule berühren. Dann übernimmt man aus der geologischen Karte, die es für Deutschland von allen Gegenden gibt, die entsprechenden Gesteinsschichten. Auf einer geologischen Karte sind stets auch geologische Schnitte, die zwar meist nicht gerade unter der Schule verlaufen, aber man kann die grobe Anordnung entsprechend übernehmen. Es kommt ja nicht auf Details an! Wichtig ist, dass man nicht (nur) die geologischen Formationen einträgt, wie sie in den Karten meist angegeben werden, sondern vor allem die konkreten Gesteine! Ein solches Blockbild sollte dann vom Lehrer nicht vorab, sondern im Unterricht mit den Schülern entwickelt werden. Charakteristische Blockbilder von den ostdeutschen Ländern zeigen O. Wagenbreth und W. Steiner in vielen anschaulichen Beispielen. Von anderen Gebieten gibt es ähnliche Darstellungen in der lokalen geologischen Literatur⁴ oder in heimatkundlichen Museen.

2. Lockergebirge – Deckgebirge – Grundgebirge

Von der Landschaft führt der Weg einer 6. Klasse zu den **Gesteinen**, von da zu den gesteinsbildenden **Mineralen** und den Erzen bis zu den **Edelsteinen** als höchste Individualisierung der mineralischen Substanz und zu den Formen der Kristalle, was im Folgenden noch beschrieben wird. Für die 9. Klasse könnte von der Landschaft und ihren **Gesteinen** ausgehend, der Aufbau der Erdkruste anschließen, dann ein Abriss der **Erdgeschichte** und zuletzt der **Vulkanismus** und die Erdbeben – jedes der drei Themen vielleicht eine Woche. Es empfiehlt sich, von den konkreten Verhältnissen vor der Schultür auszugehen und dann die Erdgeschichte von heute aus zeitlich rückwärts zu behandeln.

Zur Einführung in den Gesteinsaufbau kann für den Klassenlehrer zum eigenen Verständnis und in der Oberstufe für den Unterricht von den drei großen, sehr unterschiedlichen Gesteinsgruppen ausgegangen werden: das kristalline **Grundgebirge**, das geschichtete **Deckgebirge** und das unverfestigte **Lockergebirge** (Bosse S. 210). Das ist eine Ordnung, die von den Phänomenen ausgeht, auch in der Geologie gebräuchlich ist, und einfach dargestellt werden kann. Dabei bietet sich an, in jeder Gesteinsgruppe methodisch unterschiedlich vorzugehen: Für das Lockergebirge kann an heutige Beobachtungen angeknüpft werden, für das Deckgebirge sind die Rhythmen wichtig und die Gesteine des Grundgebirges lassen sich aus den Mineralübergängen entwickeln. Die jeweilig zugehörigen, nutzbaren Lagerstätten können dabei mitbehandelt werden.

In den meisten Gebieten der Erde fehlen oberflächlich die Ablagerungen von großen Abschnitten der erdgeschichtlichen Formationen, weil sie dort nicht entstanden oder nicht erhalten geblieben sind. Gerade in Deutschland aber, in der Mitte Europas, können wir glücklicherweise alle Gesteine, typisch ausgebildet, vorfinden. Von allen Bundesländern liegen inzwischen gründliche geologische Darstellungen vor; allgemeine populäre Einführungen in die Geologie Deutschlands geben zum Beispiel Henningsen oder Rothe.⁵

³ www.schauhoehlen.de – Dort findet sich ein Verzeichnis aller Schaubergwerken, nach Bundesländern sortiert. vgl. H.W. Wild: Führer durch die Besucherbergwerke in Deutschland, Österreich und Schweiz. Haltern ²1998.

⁴ O. Wagenbreth, W. Steiner: Geologische Streifzüge, Leipzig ⁴1990.
J. Eberle u.a.: Deutschlands Süden – vom Erdmittelalter zur Gegenwart. Heidelberg 2010.

⁵ D. Henningsen / G. Katzung: Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland, Heidelberg 2006.
P. Rothe u.a.: Die Geologie Deutschlands. 48 Landschaften im Portrait. 2009.

Das **Lockergebirge** umfasst die unverfestigten Sande, Mergel und Tone, die oberflächlich aus der Verwitterung, Abtragung und Bodenbildung entstanden sind (Bosse S. 260, 282, 470). Daran lässt sich anschließen, wie sich die nacheiszeitliche Vegetation entwickelt hat, welche Lagerstätten für Baumaterialien genutzt werden, wie das Grundwasser in der Erde lagert. Mit dem Lockergebirge haben sich die **Landschaften** gebildet. Ihr Hauptmotiv sind hier die wiederholten Rhythmen der eiszeitlichen Gletscher, die in der «glazialen Serie» zusammengefasst sind: Grundmoräne, Endmoräne, Sander und Urstromtal; jeweils mit ihren Einzelformen und der Vegetation. Gleichzeitig sind in den nicht vereisten Gebieten die Täler mit ihren Terrassen entstanden. Unter den Eiszeitablagerungen liegen die Lockersedimente des Tertiär. In sie sind am Nordrand der Mittelgebirge die Braunkohlen eingelagert. Im Tertiär drangen auch **Vulkane** empor – wie zum Beispiel in der Eifel, der Rhön, des Hegau bei Kassel oder am Vogelsberg. Ihre markanten Berge bestehen aus Basalt, welcher wegen seiner dichten Kristallinität zum Grundgebirge gehört, aber in der Epoche des Lockergebirges vulkanisch aufgedrungen ist.

Das **Deckgebirge** besteht aus den Schichtgesteinen mit ihren **Rhythmen** von Tonstein, Sandstein, Konglomerat, Kalkstein, Gipsstein oder Anhydrit, Steinsalz und Kalisalz (Bosse S. 254-260, 283-288, 319). Es liegt in den Schichtstufenlandschaften Mittel- und Süddeutschland an der Oberfläche. Die Salzgesteine wurden im Norddeutschen Becken durch die Last der überlagernden Gesteinsmassen an Verwerfungen zu Salzstöcken aufgedrückt. Damit sind Lagerstätten von Kalisalzen und Erdöl-Erdgas verknüpft, welche sich an abgeschnittenen Speichergesteinen gesammelt haben. Mit den Schichtgesteinen und ihren Fossilien kann auch die Entwicklung der Tier- und Pflanzenwelt und die Steinkohle behandelt werden. In den Steinbrüchen werden Werksteine und Rohstoffe für die Zement- und Gipsproduktion gewonnen. Die unterste Schicht des Deckgebirges bilden die Sandsteine und Konglomerate des Übergangs-Stockwerkes zum Grundgebirge, die aus der Abtragung des variszischen Gebirges stammen.

Das **Grundgebirge** beginnt in den Kontinenten zuunterst mit granitischen Gesteinen, hauptsächlich dem Granodiorit und dem Granit, in denen sich die drei Minerale Glimmer, Feldspat und Quarz gesondert haben. Ihre weitere Differenzierung geht über in die Hauptlinien, welche phänomenologisch mit kontinuierlichen Übergängen in die darüber lagernden Gesteinsbildungen hineinführen (Bosse S. 220-246, 405, 419-431). So kann der Glimmer zunächst quantitativ zunehmen und auch qualitativ die Struktur der Gesteine prägen. Damit gelangen wir zum Gneis, darüber weiter zum Glimmerschiefer, Phyllit und Tonschiefer, die auch als Kristalline Schiefer zusammengefasst werden können. Die Tonschiefer gehen über zum Deckgebirge. In ihnen sind der Kohlenstoff, Steinkohle und schließlich Pflanzenabdrücke enthalten. Parallel zu dieser Entwicklung finden sich in den Kristallinen Schiefeln Linsen von dichten, kristallinen Marmoren eingelagert. Sie gehen nach oben in die Folge der Kalksteine mit tierischen Resten wie Muscheln und Korallen über. Die Entwicklung der Kalksteine endet in Gips- und Salzgesteinen. Wir finden also im Grundgebirge zwei **Entwicklungsreihen**, die mit der Pflanzen- und Tierbildung verbunden sind (Bosse S. 358-387). Es bietet sich an, mit den Schülern die Folgen der wichtigsten Gesteine in ihrer Variationsbreite anzuschauen und zu vergleichen. Vorschläge zum Aufbau von entsprechender Schulsammlungen werden in Abschnitt 8 gegeben. So kann aus dem Charakter und den schwankenden Gehalten der Minerale, besonders von Glimmer, Feldspat und Quarz, der Granit gut in die Kristallinen Schiefer hinüber geführt werden.

Die Gesteine des Grundgebirges lagern in Mitteleuropa unter allen jüngeren Gesteinen. In den Mittelgebirgen sind sie an der Oberfläche **aufgeschlossen**, weil diese Gebirgsschollen während der Alpenfaltung teilweise mehrere tausend Meter heraufgehoben wurden, währenddessen das Deckgebirge abgetragen wurde. So finden sich auch die granitischen Gesteine im Harz, Erzgebirge, Odenwald und Schwarzwald an der Oberfläche. Sie waren im Karbon noch nicht erstarrt und drangen in der variszischen Gebirgsbildung in die Kristallinen Schiefer ein. Während ihrer Erstarrung sonderten sich die Erze ab, deren Lagerstätten und Verarbeitung hier mit behandelt werden können.

Die **basaltischen Gesteine** zeugen von einer ganz anderen Welt, deren Charakter vom Vorkommen und von der Entstehung her polar zum Granitischen ist (Bosse S. 222-225). Der Aufbau der

Erdkruste zeigt, wie sie verborgen unter den Ozeanen und Kontinenten lagern und – mit dem Vulkanismus und Erdbeben verbunden – zerstörend und unberechenbar an die Erdoberfläche kommen. Solche Phänomene lassen sich in einer 9. Klasse spannend erzählen (Bosse S. 409-414). Das ist zwar altersgemäß sehr wichtig und für den Lehrer leichter zugänglich. Allerdings besteht die Gefahr, dass nur dieses Thema behandelt wird und dann für die Gesteine, die Minerale und die Erdgeschichte keine Zeit bleibt, und damit in der Schule überhaupt nicht behandelt wird, so dass ein ganzes Naturreich unter den Tisch fällt! Immer wieder begegne ich in Seminaren jungen Leuten, die noch nie Gesteine und Minerale vergleichend betrachtet haben, oder einen nur groben qualitativen Eindruck der Erdgeschichte erhielten.

Das Basaltische lenkt den Blick weiter auf das **Innere der Erde** (Bosse S. 402, 414-418). Die Basaltschicht der kontinentalen Erdkruste ist vermutlich heute weitgehend fest und kristallisiert – außer an den Stellen mit tätigem Vulkanismus. Sie reicht bis zu einer Grenzfläche, die unter den Kontinenten in etwa 30 Kilometer Tiefe liegt und unter den Ozeanen in etwa 10 km Tiefe. Darunter befindet sich noch die Peridotit-Schicht. Sie besteht hauptsächlich aus Olivin. Dieser kommt in den Vulkanen mit dem Basalt nach oben. Es ist das tiefste Material, welches wir aus dem Inneren der Erde kennen und in die Hand nehmen können! Jede Schulsammlung sollte davon etwas haben. Von dem, was darunter folgt, kennen wir nur das, was Erdbebenwellen erzählen können – also die rein physikalischen Eigenschaften. Aus Laborvergleichen werden die Modelle über die Substanzen und ihre Zustände gebildet, in die auch noch verschiedene Voraussetzungen eingehen, die jedoch nicht genannt werden. Für den Unterricht sind diese Modelle deshalb ungeeignet. Eher lässt sich etwas zur Entstehung von Erdbeben darstellen. Allerdings gehören die Themen Plattentektonik und Gebirgsbildung, die ja an Vulkanismus und Erdbeben leicht angeschlossen werden könnten, wegen ihrer Abstraktheit nicht in die 9. Klasse, sondern in die 10. Eher wäre etwas zur Mondgeologie zu sagen. Denn alle uns bekannten Planeten, Meteoriten etc., gehen in ihrer Entwicklung bis zum Basaltischen im weiteren Sinne. Einmalig im Kosmos ging die Evolution nur auf der Erde darüber hinaus: beginnend mit der Granitschicht der Kontinente und den darüber folgenden Gesteinen bis zur Wasser- und Lufthülle mit den lebendigen Naturreichen.

3. Der Weg vom Gestein zum Mineral

Vom Gesamteindruck und der Ordnung der Gesteine führt für beide Klassenstufen modifiziert ein zweiter Schritt zur genaueren Beobachtung der Einzelheiten der verschiedenen **Minerale**, welche in einem Stein zu entdecken sind: zu ihren Farben und Formen, ihrer Härte, Spaltbarkeit, Durchsichtigkeit oder Reflexion. In einem dritten Schritt wird wichtig, die äußeren Eigenschaften miteinander zu vergleichen. Das führt zu der grundlegenden Polarität zwischen den **gesteinsbildenden Mineralen** und den **Erzen** (Bosse S. 322). Die ersteren, wie zum Beispiel Glimmer, Feldspat und Quarz, Kalkspat oder Gips, sind meist weiß oder grau, während die Erze die Träger der mineralischen Farbigkeit sind, welche vielfach bis zum Schwarz hin verdichtet ist. Aus den Erzen können die Metalle gewonnen werden, die viel schwerer sind, sich schmelzen oder schmieden lassen usw. (Bosse S. 324-331). Unter ihnen sind die Eisenminerale am häufigsten. Ihre erdgeschichtliche Entwicklung verläuft in der oxidischen Form vom Schwarz-, zum Rot-, zum Braun-Eisenerz, und in der sulfidischen vom instabilen, kugelig-kolloidalen Markasit zum polyedrisch-kristallinen Pyrit.

Der genaue Vergleich der Eigenschaften führt in einem vierten Schritt vom Nebeneinander der Minerale zum Nacheinander ihrer **Entstehung**. Betrachten wir, wie die Minerale aneinander grenzen oder ineinander übergehen, so können wir aus der Beobachtung lernen, uns vorzustellen, wie sich aus einem ursprünglich Einheitlichen die Substanzen im flüssigen Zustand sonderten und zuletzt kristallisierten (Beispiele in Bosse S. 198, 316-320, 333-340). Zu solchen Sonderungen gehört auch, dass die ursprünglich gebildeten **primären** Minerale unter den heutigen Bedingungen mehr oder weniger instabil sind und sich zu den **sekundären** umbilden – sie verwittern. Deshalb ist das wichtigste Werk-

zeug des Geologen der Hammer, mit dem er das ursprüngliche Bild freilegt. Zu den sekundären gesteinsbildenden Mineralen gehören die Verkieselungen oder die Tonminerale, welche den mineralischen Teil des Erdbodens bilden; zu den sekundären Erzen beispielsweise die oberflächlichen Eisenkrusten oder die Erze der Oxidations- und Reduktionszonen der Erzgänge, wie gediegen Gold, Silber oder Kupfer.

Das **Sondern** ist ein wichtiger Grundprozess, der für sehr viele Minerale zutrifft. Man kann das Werden eines Minerals eigentlich nur als eine substanzielle Individualisierung aus dem Gestein verstehen. Deshalb wäre es für eine Mineraliensammlung in der Schule sehr wichtig, dass jeweils das umgebende Gestein noch mit dabei ist! So können wir auch bei einem Gewordenen sein Werden verstehen lernen und brauchen bei den Mineralen nicht nur bei den äußerlichen und chemischen Eigenschaften stehenzubleiben. Erst die Biografie einer Substanz führt zu ihrem Wesen, wie die Biografie eines Menschen sein Ich charakterisiert. Wenn der Sonderungsprozess erkannt worden ist, kann man nicht sagen, die kristallinen Gesteine wären aus den verschiedenen Mineralen *«zusammengesetzt»*! Das würde zum Beispiel für Sandsteine zutreffen, nicht aber für den Granit! Diese Ausdrucksweise entstammt dem technischen Umgang des Menschen mit den Mineralen. Er hat den Weg der Sonderung fortgesetzt, indem er die Minerale analytisch zerlegt, wobei ihre Ganzheit verschwindet und die chemischen Elemente erscheinen (Bosse S. 246-250). Sie sind reine Kunstprodukte (abgesehen von seltenen sekundären Mineralen, wo ein natürlicher chemischer Prozess stattgefunden hat). Die Elemente werden dann so miteinander verbunden, dass neue Produkte mit ganz bestimmten Eigenschaften entstehen, wie sie für die optimale Nutzung erforderlich sind. So sind die Minerale keine *«Verbindungen»* von chemischen Elementen wie die Kunstprodukte, sondern Ganzheiten mit anderen Eigenschaften, die als Sonderungen aus den Gesteinen entstanden sind!

Durch die grundlegende Tendenz der Minerale, sich zu sondern, werden die Substanzen in seltenen Sonderfällen immer reiner und individueller. Das führt bei den Gesteinsbildenden zur **Klarheit**, bei den Erzen zur **Gediegenheit**. Wenn sich dabei aus dem Flüssigen verhärtend die Unterschiede ins Feste und Gasförmige ebenfalls trennen, das heißt, wenn ein Freiraum zur Kristallisation entsteht, dann erscheint bei beiden Mineralgruppen auch die individuelle Kristallform der jeweiligen Substanz. So bildete sich zum Beispiel in der Druse aus dem trüben Quarz der klare Bergkristall, oder ebenso die Spate wie der Feldspat, Kalkspat, Gipsspat oder Flußspat. Kommt dann noch durch das Licht oder durch Erzspuren eine zarte Farbigkeit, sowie zusätzlich eine besondere Härte hinzu, gelangen wir zu den **Edelsteinen**. So kann sich die Feldspatsubstanz steigern zum Granat, Topas, Beryll oder Korund. Die Glimmerreihe führt im Edelsteinprozess über den schwarzen Schörl zum farbigen Turmalin. Quarz, Chalcedon und Opal steigern sich lediglich in der Farbe, nicht in der Härte. Deshalb werden sie als Schmucksteine bezeichnet. Damit meine ich keine geochemische Umbildung eines Minerals, sondern substanzielle Entwicklungswege, die sich aus der Folge von zusammenhängenden Stufen ablesen lassen. Dieses Endergebnis mineralischer Bildungen aus dem Dunkel der Erdentiefen erleben wir als *«schön»*, weil es uns im Äußeren ein inneres Entwicklungsziel des Menschen zeigt. Bis zu dieser Stufe erscheint mir eine Gesteinskunde für die 6. Klasse sinnvoll: Der Weg von der Landschaft zum Gestein, zum Mineral, zum Edelstein; also den Entwicklungsgesetzen folgend immer von der Ganzheit zum Einzelnen; vom Gemeinsamen zum Individuellen. Für eine 9. Klasse würde der Weg weiterführen zur Entstehung der Gesteine und der Erde. Eine wichtige Grundlage für einen phänomenologischen Unterricht bis hierher ist die Gesteins- und Mineralsammlung. Tabellarische Nachschlagewerke für Gesteine und Minerale bieten zum Beispiel Bruggisch oder Hochleitner.⁶

⁶ W. Bruggisch: Mineralien und Gesteine. Was ist was? Bd. 45, 2010.
R. Hochleitner: Der neue Kosmos Mineralienführer. 2009.

4. Gestaltung der Gesteins- und Mineralsammlungen

Die **Gesteinssammlung** sollte praktikabel sein für den Klassenlehrer, für die Gesteinskunde der Oberstufe, für den Chemie-, Technik- und Paläontologie-Unterricht. Die Übersicht im Anhang zeigt zusammenfassend, was eine Schulsammlung im Idealfall enthalten sollte. Es werden meist Reihen oder Polaritäten angegeben. Manche Namen sind unter verschiedenen Gesichtspunkten mehrfach genannt, um zu zeigen, wie aus dem gleichen Sammlungsmaterial entsprechende Reihen für die Demonstrationen in verschiedenen Fächern zusammengestellt werden können.

Die Sammlung sollte nur das enthalten, was die Lehrer selbst kennen von ihnen benutzt werden kann. Die Besonderheiten, die mitunter aus Erbschaften oder Klassenfahrten ankommen, sollten unter diesem Aspekt durchsortiert, vielleicht extra ausgestellt oder ausgesondert werden. Die Namen sollten an den Gesteinen nicht angebracht sein, damit die Schüler nicht von der Beobachtung abgelenkt werden. Für Gesteine bietet sich die oben dargestellte Ordnung an, die der Folge in der Erdkruste entspricht: also in Grund-, Deck- und Lockergebirge zu gliedern und nicht in Sedimente, Metamorphe und Magmatite, was noch genauer begründet wird. Das erste aber wären Stücke aus der Umgebung des Schulortes und solche, die in der Gegend abgebaut oder genutzt werden. Die Sammlung soll ermöglichen, aus den Varianten einer Gesteinsgruppe Reihen zu bilden, um aus der natürlichen Folge den Werdeprozess zu veranschaulichen. Günstig ist, wenn diese Übergänge in einem kleinen Gebiet oder einem Steinbruch gesammelt werden könnten; eine Aufgabe für Klassenausflüge! Solche **Klassensätze** sollten von den wichtigsten Gesteinen vorhanden sein, auch wenn sie in der Umgebung nicht anstehen. Dazu wären etwa 10 - 15 Stück nötig, also für jeweils zwei Schüler eines, mit möglichst vielen Varietäten einer Gesteinsgruppe, die dann herumgegeben werden können. Dabei können die Übergänge deutlich werden – also vom Granit zum Gneis und zum Schiefer durch die Zunahme des Glimmers und die Abnahme des Feldspates. Oder die Folge vom Tonschiefer über die Grauwacke zum Sandstein und Tonstein würde den Übergang der primären in die sekundären Gesteine belegen. Oder die Sonderung der Minerale aus dem Gestein kann am Feldspat oder Quarz gezeigt werden. So kann ein lebendiger Begriff einer Gesteinsart entstehen und zu den Werdeprozessen überleiten. Auch Polaritäten sollten durch die Übergänge und Durchdringungen verbunden werden können, wie sie zum Beispiel zwischen Granit und Basalt oder zwischen den Kalk- und Schiefergesteinen bestehen.

Die **Mineralsammlung** sollte möglichst in jedem Stück den Zusammenhang mit dem umgebenden Gestein zeigen, damit der Werdeprozess veranschaulicht werden kann! Daraus ergibt sich eine Gliederung in die gesteinsbildenden und die erzbildenden Minerale und nicht nach einer chemischen Ordnung! Geht man von den **Granitmineralen** aus, so sonderten sich in einer ersten Gruppe die dunklen, **glimmerartigen** Minerale, der Biotit und die Amphibole, sowie die vorher gebildeten Minerale der basaltischen Gesteine: Olivin und Pyroxene. Zu den weiteren Verwandten zählen die Turmaline, die Serpentin-Mineralen und die Hellglimmer wie der Muskovit. Die zweite Gruppe bilden die **Feldspäte** mit allen ihren Verwandten und Ableitungen. Ihre Hauptvertreter sind die Plagioklase und Orthoklase; dann die Granatminerale und die Feldspatvertreter. Als weitere Entwicklungsstufen gehören die Minerale dazu, welche aus dem Feldspat- (Tier-) Prozess hervorgegangen sind, wie die Kalk- und Salzreihe, sowie die sekundären Tonminerale. Als drittes Mineral sonderte sich aus dem Granit der **Quarz**, zu dem die Chalcedone und der Opal gehören. Die primären **Erzminerale** wären so anzuordnen, wie sie in den Erzgängen miteinander auftreten (Bosse S. 326). Die sekundären Verwitterungsminerale werden zu ihren jeweiligen primären Mineralen gestellt. Hinzu kämen Übergänge zwischen den gesteinsbildenden Mineralen und den Erzen. Einige mineralische Sonderfälle sind mit den **Lebensprozessen** verbunden: So hängen der Schwefel oder der Phosphatit mehr mit dem Kalkigen und dem Tierwesen zusammen; der Kohlenstoff, Graphit und Bernstein mit dem Pflanzlichen.

5. Entstehungsprozesse

Wie bereits dargestellt, führt der genaue Vergleich der Mineraleigenschaften für eine 9. Klasse in einem weiteren Schritt zu der Frage wie die Gesteine entstanden sind und damit die ganze Erde. Wir werden also dazu geführt, in einem Gewordenen den Werdeprozess zu lesen. Im Mineralischen begegnen wir unbewusst dem Tod. Auch deshalb liegt es uns ferner, als Pflanze und Tier. Überall können wir sehen, wie Lebendiges zum Tode führt; nirgends aber gibt es einen Hinweis, dass Lebendiges aus Totem entsteht, wie es das wissenschaftliche Weltbild vorstellt. Deshalb ist es sachgemäßer, von der Beobachtung heutiger Lebensprozesse auszugehen und zu vergleichen, wie von den Bakterien, Pflanzen, Tieren und Menschen Substanzen aus dem Wässrigen oder Luftigen aufgenommen und als festes mineralisches Gerüst ausgeschieden werden. Ein gutes Beispiel ist die Bildung der Kalksteine aus Lebensprozessen (Bosse S. 261-269, 377-378). Daraus könnten die entsprechenden Vorstellungen gebildet werden, wie die Gesteine aus den vergangenen Entwicklungsprozessen einer luftig-wässrigen Lebenssphäre des Erdorganismus gebildet wurden. Sie wäre in einem kolloidalen, milchartigen Zustand vorzustellen. Alle Flüssigkeiten im Lebendigen sind in einem solchen Zustand, in den die Lebensprozesse gestaltend eingreifen können und den chemischen Zerfall verhindern.

Den Hintergrund für die Entwicklung der Erde aus dem Lebendigen sollte für den Waldorflehrer das bilden, was Rudolf Steiner in seiner *Geheimwissenschaft im Umriss*⁷ über «*Die Weltentwicklung und der Mensch*» beschreibt. Das kann nicht Lehrinhalt im Unterricht sein, sondern Grundlage zu einem umfassenden Verständnis der Erdgeschichte. Ihr «*kosmischer*» Teil verläuft – geologisch gesehen – bis zum Basaltischen unter den Kontinenten und Ozeanen und auch bei den Planeten, Meteoriten, Kometen sowie im Mond. Die Erdenentwicklung im eigentlichen Sinne, wie sie einmalig im ganzen Kosmos verlief, beginnt mit dem Granitischen. Die darüber folgenden Gesteinsbildungen spiegeln die Prozesse in der Lebenssphäre, aus deren Absonderungen die gesamte weitere Entwicklung der Gesteins-, Wasser- und Luftsphäre der Erde bis hin zur Lebenswelt verständlich wird (Bosse: Lebenssphäre: S. 342-349, Sonderung der Naturreiche: S. 64-68 und 152-164, Zusammenfassung der Gesteinsentwicklungen: S. 354-383).

Diese Gesteinsentwicklungen sollen in einem äußerst knapp gefassten Überblick jetzt auch inhaltlich einmal angedeutet werden. Sie können aus der Folge der sichtbaren Phänomene abgelesen werden, die aber nicht im Sinne von Modellen geochemischer Umbildungen gemeint sind! Auch muss dabei bedacht werden, dass diese Prozesse weder gleichzeitig, noch überall auf der Erde stattfanden!

Der Kiesel bildet die Grundsubstanz der Minerale der Peridotit- und Basaltschicht – es sind alles Silikate. Der erste Schritt darüber hinaus ist in den **Granitoiden** hauptsächlich charakterisiert durch den Überschuss an Quarz (über 50 %) und einen im Weiteren zunehmenden Kristallwassergehalt. Statt des Pyroxen im Basalt erscheinen im Granit der Amphibol und der schwarze Glimmer Biotit. Bei den Feldspäten überwiegt weiter unten der Plagioklas, weiter oben der Orthoklas. Die weitere Entwicklung geht über in die **Kristallinen Schiefer**. Im Gneis überwiegt der Glimmer; zunächst der schwarze Biotit, der zunehmend in den hellen Muskovit übergeht. Er strukturiert das Gestein lagig in Quarz-Feldspat- und Quarz-Glimmer-reiche Zonen. Die tieferen Gneise sind überwiegend feinlagig, kleinkörnig, granulitisch-leptitisch; die höheren mehr körnig mit linsenförmig gesammeltem Feldspat; unten mehr als Plagioklas im Graugneis; weiter oben auch als Orthoklas im Rotgneis. Über den Gneisen folgen die Glimmerschiefer, hauptsächlich mit dem hellen Glimmer Muskovit und Quarz; der Feldspat nimmt ab und stattdessen erscheint der Granat. Im Glimmerschiefer erscheint zum ersten Mal der **Kalkstein** als feinkristalliner Marmor. Dann nimmt der Glimmer immer mehr zu, wird zum feinkörnigen, hellen Serizit; der grünliche Chlorit kommt hinzu und der Glimmerschiefer wird so zum feinkörnigen Phyllit. Im folgenden **Tonschiefer** ist noch Serizit und Chlorit enthalten, Quarz ist feinkörnig dicht im Kieselschiefer oder zunehmend als sekundär hineingemischter Anteil von Quarzsand enthalten. Als neue Komponente treten Kohleteilchen auf, die den Tonschiefer dunkel färben, im

⁷ R. Steiner: Die Geheimwissenschaft im Umriss. GA 13, Dornach.

Alaunschiefer zunehmen und in der Steinkohle massig gesteinsbildend angereichert sind. Im Grundgebirge haben sich somit hauptsächlich zwei wesentliche Gesteinsfolgen herausgebildet: Die Glimmer-Ton-Quarz-Reihe und die Feldspat-Marmor-Kalkstein-Salzgesteins-Reihe. Sie sind Ausdruck der sich herausgestaltenden Pflanzen- und Tierwelt, hinter der die Evolution des Menschen stand.

Polar zum Grundgebirge zeigt sich das **Lockergebirge**. Es entstand in jüngster Zeit dadurch, dass sich zuletzt aus der Lebenssphäre auch noch das Wasser niederschlug und die Luft zurückblieb. Da sind die Gesteine, Sande, Tone ungeordnet zusammengespült worden. Hier haben die Prozesse gewirkt, wie sie heute beobachtet werden können. In den eiszeitlich entstandenen Landschaften sind die Formen sehr jung gebildet, die skandinavischen Gesteine aber sind substantiell sehr alt. Im **Deckgebirge** durchdringen sich beide Prozesse, die primär und die sekundär entstandenen Gesteine: Der Sandstein ist aus Sand zusammengesetzt und durch Kalk, Kiesel oder Ton neu verbunden worden. Der Tonstein stammt ebenfalls aus der Verwitterung und Abtragung früherer Gesteine. Der Kalkstein ist aus den Stoffwechselprozessen der niederen Tiere abgesondert, umgebildet und neu kristallisiert. In ihm kann sich der Kieselanteil zum Feuerstein sondern. Der Gipsstein und die Salzgesteine haben sich noch primär aus dem Wasser abgesondert. Wenn so die Gesteine betrachtet werden in der Folge, wie sie weltweit übereinander lagern und also nacheinander entstanden sind, kann auf der Grundlage konkreter Phänomene ein lebendiges Bild der irdischen Gesteinswelt entstehen, welches den Blick öffnet für das Werden der Naturreiche und des Menschen.

6. Phänomene zeigen – nicht Modelle vorstellen!

Die Fragen an die Geowissenschaften nach der Entstehung der Erde und ihrer Gesteine führen schnell von den beobachtbaren Phänomenen in das unsichere Feld der **Modelle und Hypothesen**. Das liegt daran, dass nach dem Aktualitätsprinzip selbstverständlich vorausgesetzt wird, dass nur physikalisch-chemische Vorgänge, wie sie heute auf einem abgestorbenen Erdplaneten beobachtet werden können, die hauptsächlich wirksamen Faktoren der Gesteinsbildung in allen früheren Zeiten der Erdgeschichte waren. So wird behauptet, dass das Leben zufällig hinzugekommen sei und sich auch der Mensch durch Zufallsereignisse entwickelt hätte. Aufgrund solcher Voraussetzungen werden die Gesteine nur durch physikalisch-chemische Prozesse gebildet angesehen und entsprechend gegliedert in sedimentäre, metamorphe und magmatische Gesteine. Die Sedimente und magmatischen Gesteine gelangen durch Faltung von Gesteinsdecken bei der Gebirgsbildung und durch Unterschiebung von Ozeanbodenplatten in größere Tiefen des Erdmantels, werden dort durch Druck und Hitze geochemisch umgewandelt zu metamorphen Gesteinen oder zu «Magma» aufgeschmolzen, das nach oben intrudiert, wo die Gesteine wieder verwittern und abgetragen werden und so insgesamt einen «*Kreislauf der Gesteine*» bilden würden. Diese hier sehr kurz zusammengezogenen Vorstellungen ergeben ein einfaches plausibles Bild, welches jedoch mit großen Unsicherheiten und Problemen behaftet ist, wenn man in die Fachwissenschaft hineingeht. Das muss kurz begründet werden, denn in der Populärwissenschaft, die dem Lehrer zunächst begegnet, werden die Modelle als Fakten dargestellt (ausführlich in Bosse S. 291-307).

Aus den heutigen Beobachtungen lässt sich selbst schon die Entstehung vieler **Sedimentgesteine** schwer erklären. So können beispielsweise bei Kalksteinen, Steinkohlen, Salzgesteinen oder Rotsandsteinen keine vergleichbar großen Ablagerungsräume oder Klimaverhältnisse beobachtet werden, in welchen heute ähnlich mächtige Schichten entstehen, wie in den erdgeschichtlichen Epochen (Bosse S. 260). Auch der Begriff der **magmatischen Gesteine** ist problematisch. Er wurde an den Vulkanen gewonnen, aus denen ein basaltisches «Magma» in flüssiger Form aufdringt. Der Granit gilt ebenfalls als ein «*magmatisches*» Gestein, da er auch aufgedrungen ist, jedoch in größerer Tiefe kristallisierte. Nur wenn man diesen letzten Moment der physikalischen Seite der Gesteinsbildung als Entstehung versteht, sind beide «magmatisch». Sieht man jedoch auf den Werdeprozess der Gesteinssubstanzen, so sind Granit und Basalt – sowohl in der Erdentwicklung, als auch mineralisch – eine

grundsätzliche Polarität, welche durch den unscharfen Magmabegriff völlig verdeckt wird (Bosse S. 306). Die Entwicklung blieb in den kosmischen Körpern bei dem Basaltischen stehen; die granitische Masse mit ihrem Quarzgehalt kommt nur auf dem Erdenplaneten vor. Ihre Herkunft bleibt ungelöst – sie müßte sich ja aus dem Basaltischen gesondert haben, was aber weder auf der Erde, noch im Kosmos beobachtet werden kann. Ebenso ist die Herkunft der anderen Gesteinssubstanzen, des Ozeanwassers, der Luft und des Lebens unbekannt. Zahlreiche Detailprobleme kämen noch hinzu, wie Druck, Temperatur, Aggregatzustand u.a. Sie können nur aus Laborvergleichen erschlossen werden, wobei vorausgesetzt wird, dass die Naturprozesse so wie im Labor verlaufen wären.

Die Polarität der Granit- und Basaltschicht wird auch durch eine Gliederung in Tiefengesteine (oder Plutonite) und Oberflächengesteine (oder Vulkanite) völlig verdeckt, weil damit als Entstehung ebenfalls nicht der Substanzprozess verstanden wird, sondern nur der Ort und die Formation der letzten Kristallisation. Dadurch entsteht zusätzlich das verwirrende Problem des **relativen Alter** eines magmatischen Gesteins, das schon Goethe beschäftigt hat. Die basaltische Masse als tiefste wäre eigentlich das Älteste, kristallisierte aber zum Beispiel in der Erdneuzeit und wird daher mit seinem radiometrischen Alter als junges Gestein beschrieben. Die granitische Masse als ältester Sockel der Kontinente, die im Karbon oder im Tertiär aufgedrungen ist, wird entsprechend diesem Alter zugeordnet und auf den geologischen Karten so angegeben. Es wird damit jedoch ein Verständnis der wirklichen Erdentwicklung zumindest erschwert. Für das heutige geologische Denken ist es an sich konsequent, weil ein Gestein erst von seinem festen Zustand an erforschbar wird. Es ist die Grenze zwischen Phänomen und Modell.

Eine weitere Abstraktion wird für den Laien zum Problem, wenn auf den meisten **geologischen Karten** nur die Formationen angegeben werden und nicht die konkreten Gesteine, welche an diesem Ort zu finden sind. Da ist zum Beispiel für eine Stelle Ordovizium eingetragen, man findet aber Phyllit, oder es steht Trias und man findet Kalkstein oder Sandstein.

Auf ein weiteres Problem wurde bereits hingewiesen: Die Gesteine sind nicht aus den Mineralen «**zusammengesetzt**»! Das wird überall so gesagt, obwohl man das Gegenteil schon an jedem Granit sofort sehen kann: die Minerale der kristallinen Gesteine haben sich aus einem ursprünglich einheitlichen Ganzen voneinander gesondert. Der Mensch ist auch nicht aus Zellen zusammengesetzt! Damit wird schon vom Wortgebrauch her verhindert, das Sondern als einen sehr wichtigen Grundprozess der Evolution kennen zu lernen, der zur Individualisierung hinführt – auch im menschenkundlichen Sinne. Ebenso sind auch die Minerale nicht aus chemischen Elementen «**zusammengesetzt**», wie die chemische Formel anzeigt. Bei der chemischen Analyse setzt der Mensch den Sonderungsprozess der Natur fort, indem dabei die Ganzheit des Minerals verschwindet und die chemischen Elemente erscheinen. Die meisten davon sind in diesem Sinne Kunstprodukte, von denen der Mensch dann ausgeht und sie zu neuen Produkten mit ganz bestimmten Eigenschaften zusammensetzt. Von daher stammt diese Denk- und Ausdrucksweise, die auf das natürliche Mineral im Sinne des Materialismus und der Atomtheorie angewandt wird. Es ist der Weg der nutzenorientierten Naturwissenschaft, der für den Chemieunterricht und das Hochschulstudium richtig ist. Wenn aber dem Schüler beigebracht wird, dass die Welt aus toten Teilen oder abstrakten Atomen zusammengesetzt sei, wird er dazu erzogen, dass die Welt erst erkannt werden kann, wenn sie wieder in ihre Teile zerlegt, also zerstört wird. In der Schule sollten wir umgekehrt vorgehen: Eine Landschaft wird durch die Gesteine charakterisiert, ein Gestein durch seine Minerale und diese mitunter durch die chemischen Elemente. Im Labor entstehen Salze aus Säuren und Basen; aber man vergisst dabei leicht, dass diese vorher erst aus den natürlichen Salzen gewonnen worden sind.

Die Denkweise des analysierenden Chemikers finden wir auch in den allermeisten Mineralbüchern und -museen. Dort werden die Minerale nach den chemischen Elementen geordnet, weil sie als deren «**Verbindungen**» angesehen werden. Wenn wir die Eigenschaften des undurchsichtigen, metallisch glänzenden Siliziums und die des Sauerstoffgases kennen, könnten wir uns daraus niemals diejenigen des Bergkristalls vorstellen. Oder ein Fremdes wird durch noch Fremderes «**erklärt**», wenn es zum Beispiel heißt: «*Plagioklas ist ein Calcium-Natrium-Aluminium-Silikat*». Ein weiteres Hindernis

in den Mineralmuseen ist, dass sich zunehmend die international üblichen lateinischen Namen durchsetzen. Bleiglanz oder Kupferkies konnte man noch verstehen; heißt es Galenit und Chalkopyrit, wird es schwierig.

Auch der allgemein übliche Sprachgebrauch, dass **Kristalle** «*wachsen*» würden, ist falsch. Sie werden größer, indem sich ihre Substanz von außen anlagert. Das Wort ist aus der Lebenswelt übertragen, die aber durch innere Prozesse größer wird – oder anders gesagt: der Ätherleib gestaltet den Kristall von außen, das Lebendige von innen. Wenn man beide Prozesse als «*wachsen*» bezeichnet, wird dieser Unterschied ausgelöscht. Dabei wird unterbewusst vorausgesetzt, dass die Kristalle von innen durch Addition von Atomen und Molekülen gestaltet würden, bzw. die lebenden Organismen durch die «Informationen» der Gene. Den Naturwissenschaften ist der Unterschied beider Prozesse deshalb nicht möglich, da der Materialismus keinen Begriff vom Ätherleib hat.

Noch abstrakter als bei den Sedimenten und «*magmatischen*» Gesteinen wird es, wenn man sich die Entstehungsprozesse der Kristallinen Schiefer, also der «*metamorphen Gesteine*» auf physikalisch-chemischem Wege vorstellt, da es hier erst recht keine beobachtbaren Phänomene gibt. Man ist auf Modelle angewiesen, die wiederum ganz von ihren Voraussetzungen abhängen. Man stellt sich den oben angedeuteten «*Kreislauf der Gesteine*» vor. Die eine Hälfte davon – von der Verwitterung bis zum Sediment – ist beobachtbar; die andere Hälfte – vom Sediment zum Granit oder Gneis – ist nur in komplizierten Modellen von Stoffaustauschprozessen vorstellbar, die hauptsächlich aus Berechnungen komplexer chemischer Gleichgewichte bestehen, wobei der gegenseitige Einfluss von etwa zehn Elementen sowieso nicht mehr darstellbar ist. Da die Ergebnisse vielfach mit den Beobachtungen an den Gesteinen verschiedener Orte und den Druck-Temperatur-Experimenten nicht übereinstimmen, müssen immer kompliziertere Zusatzmodelle konstruiert werden. Aus tonigen Sandsteinen kann im Labor auch bei gleichem Chemismus kein Granit oder Gneis hergestellt werden.

Wie ein «*Kreislauf der Gesteine*» einmal begonnen haben könnte, wird durch einen weiteren Kreislauf vorgestellt: den **plattentektonischen Zyklus**, oder «*Wilsonzyklus*», durch den die Sedimente in die Tiefe transportiert werden. Von ihm wird angenommen, dass er in der Erdurzeit mit den ersten Verhärtungen der Erdkruste irgendwie begonnen hätte. Das plattentektonische Modell hat sich für die Kontinentaldrift vom Erdmittelalter an geologisch verifiziert; für Zyklen in früheren Zeiten gibt es aber keinerlei Belege. Auf anderen Planeten findet er überhaupt nicht statt. Nicht geologische Beobachtungen, sondern das Problem, irgendwie die Herkunft der granitischen Substanz mit ihrem ganz anderen Charakter aus der basaltischen erklären zu müssen, führte zu diesem Modell. Aber an den mittelozeanischen Rücken, wo die Massen wieder aufsteigen, wird kein Granit aus dem Basaltischen entmischt. Zwar werden diese beiden Kreisläufe heute nicht mehr nur physikalisch-chemisch gedacht, sondern auch gewisse nicht umkehrbare Vorgänge hinzugedacht, wie die Entwicklungen der frühen Erdatmosphäre, oder Einflüsse aus der Tier- und Pflanzenevolution, was aber auch nur Modellcharakter bleibt.

Diese beiden Kreisläufe – der Gesteine und der Erdkrustenplatten – sind Glieder eines dritten, noch umfassenderen kosmischen Kreislaufes, bei dem die Sterne und Planeten entstehen und vergehen. Das **Kant-Laplacesche System** liegt immer noch auch den heutigen, differenzierteren Modellen zugrunde. Unser Sonnensystem sei danach vor 4,6 Milliarden Jahren durch die Kontraktion einer interstellaren Staub- und Gaswolke entstanden, die zu rotieren begann, sich abflachte, dichter wurde, wobei Druck und Temperatur zunahm. Alles Lebendige hat sich durch Zufälle aus dem Unorganischen gebildet. Und am Ende aller Entwicklungen würden die Erde und die Sterne wieder zerstrahlen und lieferten damit die Staub- und Gaswolken für den nächsten Kreislauf.

Dabei erscheint eine weitere Abstraktion, die sich auf die **Zeitverhältnisse** bezieht. Ein relativer Zeitablauf ergibt sich zum Beispiel aus dem räumlichen Nebeneinander der Minerale im Gestein, aus der Lagerung der Schichten oder aus der Folge der Fossilien. Auch die Angaben von Millionen Jahren sind kein absolutes Zeitmaß, sondern bleiben eine Abstraktion, die nur als relative Zeitangaben verwendet werden können. Ganz in diesem Sinne beschrieb **Rudolf Steiner** bereits 21-jährig im Jahr 1882, dass Zeit nicht im Sinne Newtons ein «*Gefäß*» sei, in dem sich die Ereignisse abspielen, sondern

dass Zeit ein Ausdruck dafür ist, dass Ereignisse ihrem Inhalte nach in einer Folge voneinander abhängig sind.⁸

Daraus ergeben sich für die Erdgeschichte mehrere zeitliche **Ereignisfolgen**, die sich überlap-
pen: 1. Das Jahr bezüglich der geschichtlichen Entwicklung; 2. das platonische Weltenjahr bezüglich
der atlantischen Epoche, bzw. der Eiszeitepoche; 3. die Entwicklung der Tierwelt bezüglich der Ge-
steinsbildungen zwischen dem Tertiär und dem Kambrium und 4. die radiometrische Datierung bezüg-
lich der kristallinen Gesteine, vor allem der des Präkambriums (Bosse S. 34 - 46).

Bei der Extrapolation der radiometrisch gemessenen Zerfallszeiten wird vorausgesetzt, dass
die physikalischen Gesetze während der ganzen Erdgeschichte konstant geblieben seien, und dass die
Erde immer ein toter Körper war. Geht man von der Erde als Lebewesen aus, so würden Lebensgeset-
ze und verschiedene Zeitqualitäten gelten. Rudolf Steiner schildert da den Vergleich mit dem Herzen,
dessen Größe man nicht über hundert Jahre nach vorwärts oder rückwärts **extrapolieren** kann. Die
Rechnung stimmt, aber sie ist nicht wahr. Ich habe in der 9. Klasse das Beispiel gebracht: *«Rechnet
mal mit: Sven ist 15 Jahre alt und in diesem Jahr ein Zentimeter gewachsen. Damit ist er jetzt ein Me-
ter fünfzig groß. Wie groß war er, als er mit drei Jahren in den Kindergarten kam und wie groß wird er
sein, wenn er dreißig Jahre alt ist?»* Auch für Sven würde sich ein reales Zeitmaß ergeben aus den
inhaltlich voneinander abhängigen Folgen der Ereignissen des Lebens, bezüglich der kosmischen
Rhythmen des Tages oder Jahres.

Abstrakte **Modelle** können zum Beispiel bei der Lagerstätten erkundung nützlich sein und ge-
hören in die Hochschulausbildung. Sie werden auf Grundlage bestimmter Phänomene an einem be-
stimmten Ort gebildet. Der *«Fortschritt der Wissenschaft»* besteht dann häufig darin, dass andere Phä-
nomene an einem anderen Ort hinzukommen, die nicht passen und ein neues Modell erfordern. Die
Fachwissenschaften können mit dieser Methode umgehen und den Evidenzgehalt der Darstellungen
beurteilen. In der Populärwissenschaft werden solche Modelle dann als Tatsachen dargestellt, weil sie
logisch erscheinen und die Voraussetzungen, auf denen sie beruhen, nicht genannt zu werden brau-
chen, da sie als selbstverständlich und *«wissenschaftlich gesichert»* angesehen werden. Deshalb soll-
ten wir im Schulunterricht die erwähnten abstrakten Begriffe und **Modelle vermeiden**: die Extrapola-
tion des rein physikalisch-chemisch gedachten Aktualismus in die Erdvergangenheit; die *«metamor-
phen und magmatischen Gesteine»* – überhaupt *«Magma»*; *«Tiefen- und Oberflächengesteine»*, also
«Plutonite» und *«Vulkanite»*; der *«Kreislauf der Gesteine»*; die Plattentektonik vor dem Erdmittelalter;
das derzeitige Kant-Laplacesche System der Weltentstehung; das *«Wachsen»* der Kristalle; das *«Zu-
sammengesetztsein»* bzw. die *«Verbindungen»* der Minerale aus chemischen Elementen, bzw. der Ge-
steine aus Mineralen; sowie die Altersangaben in *«Millionen von Jahren»*.

Einerseits stellen sich solche Modelle durch ihre Abstraktheit und eine gewisse Beliebigkeit
zwischen den Menschen und die Natur und trennen ihn dadurch von den Phänomenen. Sie gehören
deshalb nicht in die Schule, wo es um eine innere Verbindung zur Welt geht. Andererseits sind diese
Begriffe der Populärwissenschaft einfach zu fassen und durch Fernsehen und Internet überall präsent.
Dadurch sind sie den Schülern teilweise bekannt, so dass es natürlich für den Lehrer schwer ist, sie
umzuwandeln oder zu überwinden. Ich bin deshalb in der 9. Klasse so vorgegangen, dass ich Fragen
nach diesen Modellen der Entstehungsprozesse auf eine Zusammenfassung am letzten Tag der Epoche
hinausgeschoben habe. Dann habe ich mehrere **Denkmöglichkeiten** dargestellt, was diesem Alter
doch zuzumuten ist: Den *«Kreislauf der Gesteine»*; eine Lebenssphäre der Erde, wie sie aus heutigen
Beobachtungen extrapoliert werden kann und aus der sich alle Naturreiche entwickelt haben; oder eine
göttliche Schöpfung bis hin zu Gedanken vom Primat des Lebens oder des Todes. Und ich habe dazu
gesagt: Das alles zu erwägen wäre Aufgabe eines ganzen Lebens! In der Schule jedoch sollte meines
Erachtens keine dieser Vorstellungen weiter erörtert werden, schon gar nicht in der 6. Klasse. Es kann
auch keine Einführung in die Anthroposophie gegeben werden, weil sie einen Erkenntnisweg voraus-
setzt, der sich an das voll entwickelte Ich des Erwachsenen wendet. Aber es sollten ebenso auch nicht

⁸ In: Beiträge zur Rudolf Steiner Gesamtausgabe, Nr. 49/50 und 63, Dornach 1975 und 1978.

die wissenschaftlich unsicheren und mit materialistischen Voraussetzungen angefüllten Genesemodelle vorgetragen werden! Waldorfschulen sollten sich jeder Ideologie, auch der materialistischen, enthalten!

7. Pädagogische Konsequenzen abstrakter Modelle

Auf die Konsequenzen macht **Rudolf Steiner** mehrfach aufmerksam, indem er darstellt, wohin es führt, wenn die Weltentwicklung nur nach physikalisch-chemischen Begriffen gedacht wird. Er verweist dabei in einem Vortrag⁹ auf das Kant-Laplacesche System als eines mechanischen Kreislaufs. Die beiden anderen – der Kreislauf der Gesteine und der Plattentektonik – werden nicht erwähnt; sie wären aber genau passende Glieder darin, die auf der gleichen Grundlage gedacht werden. In einem solchen Weltbild habe die ganze **Moralität** keinen Platz. Der Mensch brauche sie dann nur zum Zusammenleben; sie sei aber eigentlich eine Illusion. Aus Bequemlichkeit halte der Mensch daran fest und lasse neben diesem Wissen noch einen Glauben gelten, der aber mit der Weltentwicklung nichts zu tun habe.

Anders ist es, so Rudolf Steiner, wenn die Erde als ein lebendiger Organismus erlebt werden könne. Eine solche Erkenntnis wirke bis in die Moralität des Menschen: Aus dem **Naturerkennen** gewinnen wir einen Zusammenhang mit unserer Umgebung. Das verwebt sich mit unseren moralischen Idealen. Würde eine solche Anschauung *«aufgenommen in unsere Kindererziehung, so würden Menschen heranwachsen, die nicht auf der einen Seite im Sinne der Kant-Laplaceschen Theorie eine Welt haben, welche aus Nebelzuständen heraus sich gebildet hat, [...] aus denen dann durch Zusammenschweißen von moralisch wesenlosen Materien die Menschen sich gebildet haben, [...] sondern das, was in uns aufschießt als moralisches Ideal, würde eins sein mit dem, was am Ausgangspunkt unserer Weltentwicklung gestanden hat im rein natürlichen Dasein. Und wir Menschen würden uns erkennen als berufen, einzupflanzen dem natürlichen Dasein das, was wir als moralisches Ideal erleben. Würden die Kinder unter dem Einfluss einer solchen Anschauung aufwachsen, dann würden sie sich so in die Welt hineinstellen, dass sie sich als ein Glied des Kosmos empfinden und dadurch Lebensgefühle haben würden aus jenen Kräften, die sie mit dem Erkennen des Kosmos in sich einsaugen. [...] Anthroposophie will eine geisterfüllte Naturwissenschaft geben, eine den Menschen belebende Naturwissenschaft, und das, was da hereinträufelt als Erkenntnis des Geistes in der Natur, verwandelt sich im Menschen [...] in soziale Kraft. [...] Wir werden auf keine andere Weise soziale Impulse gewinnen als dadurch, dass wir geistige Erkenntnisse aus der uns umgebenden Natur aufnehmen.»*¹⁰ – *«Wenn man noch so viel Moral predigt, das wird den Menschen nichts helfen»*, heißt es in einem anderen Vortrag. Aber solche Erkenntnisse, dass unsere Erde ein Organismus ist, ein Lebewesen, zu dem der Mensch dazugehört, *«würden, wenn sie sich der Kulturentwicklung einprägen, wenn sie schon in das kindliche Gemüt gegossen würden, einen ungeheuren **sittlichen Impuls** geben.»*¹¹

In einem öffentlichen Vortrag begründet Rudolf Steiner, wie der Mensch nach der naturwissenschaftlichen Denkweise sich in die Naturnotwendigkeiten eingliedert findet, und sich aber auf der anderen Seite sagen kann: *«Ich bin wahrhaft nur Mensch, wenn ich in mir die moralisch-religiösen Impulse fühle. Aber wenn man ehrlich sich auf naturwissenschaftlichen Boden stellt, dann bleiben einem für Erdenanfang und Erdenende lediglich Hypothesen, die uns am Anfang sprechen von dem*

⁹ Steiner, R.: Bausteine zu einer Erkenntnis des Mysteriums von Golgatha, GA 175. Vortrag vom 27. 2. 1917, Dornach.

¹⁰ Steiner, R.: Die Verantwortung des Menschen für die Weltentwicklung, GA 203. Vortrag vom 21. 1. 1921, Dornach.

¹¹ Steiner, R.: Die Mission der neuen Geistesoffenbarung. GA 127. Vortrag vom 6.3.1911, Dornach.

Kant-Laplaceschen Weltennebel, am Ende vom Wärmetod.»¹² Weiter sagt Rudolf Steiner, dass an der Grenze naturwissenschaftlicher Erkenntnis die Anthroposophie fortsetzt, indem sie das Geistig-Seelische des Menschen als Realität nimmt und aus seiner Entwicklung diejenige der Erde abliest. «Durch wird Anthroposophie moralisch-religiöse Erkenntnis. Wir blicken nun nicht bloß mehr hin auf den Kant-Laplaceschen Urnebel, wir blicken zugleich hin auf ein ursprünglich Geistiges aus dem heraus dasjenige, was geistig-seelisch in der Anthroposophie aufgezeigt wird, ebenso sich entwickelt hat, wie sich das Physische aus eben dem physischen Erdenursprung entwickelt hat.»¹³

Was ist also die **pädagogische Konsequenz**, wenn unverbindliche Modelle gelehrt werden, wie die Erde aus toten Kreisläufen hervorging, der Mensch aus der zufälligen Synthese von Eiweißmolekülen hinzugekommen sei, sich aus den Tieren entwickelt habe, genetisch durch die Vererbung definiert und von der Umwelt bestimmt sei? Letztlich würde das eine Erziehung zum Egoismus fördern, wobei die Stimmung entsteht: *«Was soll ich in einer solchen Welt noch tun? Da könnt ihr viel soziales Verhalten oder Moral predigen; ich habe mich nur selbst zu verwirklichen, alles andere ist egal.»* Statt moralischer Erziehung wird unbewusst der Zerstörungstrieb angeregt. Was soll man mit einer toten Erde sonst anfangen, die sowieso nur aus aufgeschmolzenem Staub zusammengebacken wurde? Das materialistische Weltbild schließt eine geistige und moralische Weltordnung aus, weil sie den Menschen ausschließt.¹⁴

Selbstverständlich verdanken wir dieser Art der modernen Naturforschung sehr viel: die Beschreibung unendlich vieler Phänomene, die ganze Welt der Technik, die das Leben bequem macht etc. Aber das sind andere Fragen. Hier geht es darum, für die 6. Klasse den Unterricht zu führen vom Erleben der Landschaft zu den Gesteinen und den Mineralen bis zu den Edelsteinen und für die 9. Klasse, darauf aufbauend, weiter zu gehen zur Geschichte der Erde und ihrer Gesteinskruste bis hin zum Vulkanismus. Die Beschränkung auf die Phänomene ohne materialistische Modelle ermöglicht es dem Lehrer, den geistigen Raum seiner Schüler offen zu halten für weitere Stufen auf dem Weg der Erkenntnis einer gemeinsamen Evolution des Menschen und der Erde. Diese Welt bleibt auf den Menschen bezogen. So kann eine Beziehung zur Gesteinswelt entstehen. Das Kind kann sich auf der Erde beheimaten, weil inneres Erleben bestätigt, was die wachsende Erkenntnis beschreibt.

¹² Steiner, R.: Die Wirklichkeit der höheren Welten, GA 79. Vortrag vom 1.12.1921, Dornach.

¹³ ebd.

¹⁴ Konsequenz in die Zukunft schauend heißt es dazu bei Rudolf Steiner: «Aller Unterricht, alle Pädagogik, alle menschliche Unterweisung, aber auch alles äußere menschliche Leben, muss im Laufe des fünften nachatlantischen Zeitraumes von diesen Erkenntnissen durchdrungen werden, und es muss erkannt werden, dass dasjenige, was heute in materialistischen Kreisen als Wissenschaft angesehen wird, nach und nach auch mit seinen Lebenskonsequenzen zu verschwinden hat aus dem Leben der Erde». GA 175, 27.2.1917; vgl. Anm. 9.

Anhang: Gliederung einer Schulsammlung

Kosmische Polarität:

Gesteinsbildende Minerale ↔ Erze: Stein - Metall (Erde - Planeten)

Erze im Gestein; Gangstücke

Gangarten: Quarz - Schwerspat - Flußspat - Kalkspat

Eisenerze: Magnetit - Hämatit - Limonit - Pyrit

Verschiedene Erze der Metalle: Eisen - Kupfer; Blei - Zink - Zinn

Sekundäre Gangerze und sedimentär gebildete Erze

Irdische Polarität: Granite ↔ Basalte

Peridotit (Olivin) - Diabas - Melaphyr - Basalt - Lava

Vulkanische Auswürfe - Lapilli - Asche - Bimsstein

Varietäten vom Granit: grob-, feinkörnig; Variationen der Minerale

Diorit, Granodiorit, Quarzporphyr

Mischungen mit Basaltischem: Phonolith, Trachyt, Syenit

Klassensätze (etwa für jeweils zwei Schüler ein Stück):

Granit - Granodiorit - Quarzporphyr - Phonolith oder Trachyt

Basalt mit Olivin - Diabas - Lava - Bimsstein

Gneis - Glimmerschiefer - Pyllit - Alaunschiefer

Tonschiefer mit Pflanzenresten/Steinkohle - Braunkohle - Torf

Marmor - Korallenkalk - Muschelkalk - Kreidekalk - Travertin

Sandstein - Konglomerat - Grauwacke - Quarzit

Werdeprozess der Erde: Reihen zur Erdgeschichte

Granit - Gneis - Glimmerschiefer - Phyllit - Alaunschiefer

Pflanzliches: Torf - Braunkohle - Steinkohle - Anthrazit

Tierisches: Marmor - Korallenkalk - Muschelkalk - Jura-/Kreidekalk

Fossilien und Gesteine zur Erdgeschichte:

Paläozoikum - Mesozoikum - Känozoikum

Mineralprozess als Individualisierung:

Granit-/Basaltreihe: Olivin → Pyroxen

Amphibol → Biotit → Muskovit; Schörl → Turmalin

Feldspat → Topas; Granat → Edelsteine

Quarz → Opal → Achat → Bergkristall → Amethyst u.a.

Kalkreihe: Kalkstein → Kalkspat → Doppelspat

Gipsstein → Marienglas; Schwefel; Steinsalz → Kalisalz

Entwerde-Prozesse, Verwitterung:

Erböden - Ton - Kaolin

Eisen- und Kalkkrusten; sekundäre Gangerze

Kalklösungsformen, Tropfsteine, Sinter

Sand - Gerölle - Brekzie - Konglomerat

Sandstein - Quarzit - Grauwacke

Kluftformen, Spaltkörper, Geröllformen

Sondersammlungen:

Regionale Vorkommen; Gesteinsfolgen aus der Umgebung

Kristallformen: Kubisch - Hexagonal; Tracht - Habitus

Beispiele dazu: Kalkspat - Flußspat - Pyrit - Bergkristall

Farben: Flußspat; Kupfer - Eisen; Edelsteine

Ausgangsstoffe der Chemie: Salze, Gipsstein, Kalkstein, Schwefel u.a.

Künstliches, Schmelzflüsse, Schlacken, Keramik, Beton