

Eine Karriere in Geologie?

Falls Du diese Broschüre gelesen hast, so hast Du wahrscheinlich Interesse an Naturwissenschaften. Wenn Du zudem voller Energie und kreativ bist, so würde es Dich vielleicht reizen, am Abenteuer Geologie teilzunehmen – es ist faszinierend, die Natur verstehen zu lernen und dieses Verständnis zu nutzen. Es gibt eine Menge interessante Probleme zu lösen und Fragen zu beantworten. Gewiss ist auch ein spannendes Problem für Dich dabei!



Kontakt: info@geo.unibe.ch

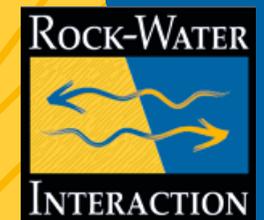
Internet: www.geo.unibe.ch/rwi

u^b

u^b
UNIVERSITÄT
BERN

© L. W. Diamond 2006

Gestein–Wasser–Interaktion (für Anfänger)



Gestein-Wasser-Interaktion (für Anfänger)

von Prof. Larry W. Diamond
Institut für Geologie,
Universität Bern, Schweiz



Unter „Gestein-Wasser-Interaktion“ stellt man sich unterschiedliche Prozesse vor, wie vielleicht das langsame Entstehen von Gesteinsformen in einem Bach oder die Wirkung von Wellen auf eine felsige Küste. In der Geologie hat dieser Begriff aber eine besondere Bedeutung: Er bezeichnet die chemische und thermische Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Gestein unterhalb der Erdoberfläche. Diese Interaktion zwischen Gestein und Wasser ist in obigem Logo unserer Forschungsgruppe an der Universität Bern durch zwei Pfeile symbolisiert.

Edelmetalle *Erdöllagerstätten*
ROHSTOFFE *Radioaktiver Abfall*
Geothermale Energie
Altlasten **UMWELTSCHUTZ**
Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre
Grundwasserverschmutzung

Alle Themen im blauen Kasten zeigen Aspekte der Gestein-Wasser-Interaktion. Möchtest Du mehr wissen? Wir erklären Dir im folgenden genauer, was wir unter Gestein-Wasser-Interaktion verstehen. Wir wollen Dir zeigen, warum uns diese Themen faszinieren. Vielleicht lässt Du Dich anstecken ...

Was ist Gestein-Wasser-Interaktion

Wir beginnen mit einer einfachen Analogie, die auf den ersten Blick wenig mit Geologie zu tun hat. Jeder kennt die chemische Reaktion zwischen Wasser und Metallgegenständen. Sauerstoffreiches Regenwasser reagiert mit Eisen und bildet eine Mischung aus Eisenoxiden und -hydroxiden: ganz gewöhnlichen Rost. Bleibt das Regenwasser über lange Zeit mit dem Eisen in Kontakt, so wird selbst der Rost aufgelöst, das Stück Eisen wird porös und zerfällt – genau wie Du es an alten Autos siehst. Wenn Metall in Regenwasser gelöst wird, so fällt es häufig an anderer Stelle wieder aus und bildet braune Flecken, die den Fließweg des Regenwassers markieren. Die Wechselwirkung zwischen Metall und Wasser verläuft umso schneller, je wärmer oder salzreicher das Wasser ist (Regenwasser in den Tropen bzw. Meerwasser).



Nydeggbücke, Bern (Foto: L. Diamond)

Ein alter Eisenring in einer Mauer zeigt die wesentlichen Merkmale von Gestein-Wasser-Interaktion: (1) den Fließweg des Wassers, (2) das chemische Auflösen eines festen Stoffes (Metall, Mineral), (3) die Ausfällung der gelösten Stoffe entlang des Fließwegs.

Der Zerfall einer Stadt

Man ist sich oft nicht bewusst, dass chemische Reaktionen einsetzen, sobald Gestein mit Wasser in Kontakt kommt - sei es an der Erdoberfläche oder tief in der Erdkruste. Solche Reaktionen laufen allerdings meist langsamer ab als das Rosten des Eisenrings, da die Mineralien, welche ein Gestein aufbauen, in der Regel viel lösungsresistenter sind. Beobachtet man aber ein Gestein nach Jahrhunderten der Korrosion, sieht man diese sehr wohl: Zerfallende oder verwitterte Steinfassaden alter Gebäude in Städten belegen dies deutlich.



Münster Bern (Foto: L. Diamond)

Verwitterter Sandstein einer alten Kathedrale. Regenwasser (1) löst den natürlichen „Zement“, der die Sandkörner zusammenhält (2). Ist der Sandstein Jahrhunderte dem Regenwasser ausgesetzt, so zerfällt er buchstäblich zu Sand (3). Dieser Zerfall kann in wenigen Jahrzehnten erfolgen, wenn das Regenwasser durch Luftverschmutzung saurer wird.

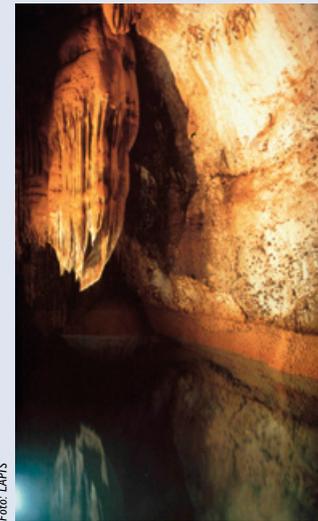


Foto: LAPIS

Grundwasser, das sich entlang von Brüchen und Störungen im Gestein bewegt, löst den Kalkstein und hinterlässt riesige „Poren“ (Höhlen). Bei Kontakt des Grundwassers mit Luft fällt der gelöste Kalk als Mineral Kalzit (= Kalziumkarbonat) wieder aus und bildet Tropfstein.



Foto: LAPIS

Hier sieht man, wie sich neue Kalzitkristalle an der Spitze eines Tropfsteins bilden. So wächst der Tropfstein langsam in die Breite und in die Tiefe.

Zersetzung im Untergrund

Ein noch beeindruckenderes Beispiel für Gestein-Wasser-Interaktion ist die unterirdische Auflösung von Kalkstein und die Entstehung von Höhlen. Diese entsprechen den oben vorgestellten Rostlöchern, wenn auch in einem viel größeren Massstab. Der vom Grundwasser gelöste Kalkstein fällt häufig dort wieder aus, wo das Wasser mit Luft in Berührung kommt. Es bilden sich dann Anreicherungen von Kalkstein, häufig in Form von spektakulären Tropfsteinen oder Travertin-Terrassen. In dieser Analogie entsprechen Tropfsteine den Rostflecken unterhalb des Eisenrings in obiger Abbildung.



L. Diamond

BEWEIS AUS DER FLASCHE

Die genannten Beispiele zeigen die gemächliche, langsam wirkende Kraft des fließenden Wassers: Es kann Gesteine lösen, die gelösten Bestandteile des Gesteins über weite Strecken transportieren und an einem anderen Ort in fester Form wieder ablagern. Das Flaschenetikett von „Mineralwasser“ illustriert die lösende Wirkung von oberflächennahem Grundwasser.



Mineralwasser enthält sowohl gelöste Mineralien (Salze) als auch CO₂-Gas. Beides sind Produkte chemischer Reaktionen zwischen Grundwasser und durchflossenen Gesteinen.

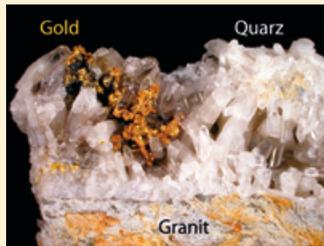
Durstige Tochter, Bern (Foto: L.Diamond)

Tiefsitzende Aggression

Obwohl lauer Regen oder kühle Höhlenwässer über lange Zeit wahre Wunder vollbringen können, ist die chemische Aggressivität dieser Wässer gering im Vergleich zu sehr salzigen, gashaltigen, stark komprimierten und vor allem heißen Wässern, die tief unter der Erdoberfläche zirkulieren. In Erscheinung treten diese tiefen Wässer selten, etwa als siedend heiße Geysire oder übelriechende Dämpfe in vulkanisch aktiven Gebieten.

Trinkwasser, auch Dein bevorzugtes Mineralwasser, stammt aus Oberflächenquellen oder oberflächennahen Bohrungen. Tiefer im Erdinneren nimmt der Gehalt an gelösten Mineralien stark zu, weil deren Löslichkeit mit zunehmendem Druck und steigender Temperatur höher ist. Das zirkulierende „Mineralwasser“ wird deshalb so salz- und metallreich, dass es toxisch wird und darum untrinkbar.

Diese dramatische Anreicherung erhöht überdies die Korrosionsfähigkeit des Wassers. Unter den extremsten Bedingungen in der Erdkruste – in vielleicht 30 km Tiefe, unter gewaltigem Druck (ca. 10'000 atm), bei Temperaturen um 800°C – sind hohe Anteile (bis zu 60% der Gesamtmasse) an Mineralien und Gasen gelöst; hier ist Wasser ein wahrlich fantastisches Lösungsmittel, das sogar Edelmetalle wie Titan, Platin und Gold löst.



Gold-Quarz-Ader, Brusson (Foto: J. Megert)

Die Quarz- und Goldkristalle dieses Gesteins wurden aus wässrige Lösungen abgelagert und haben winzige Tropfen davon eingeschlossen (sog. „Fluideinschlüsse“). Dies zeigt, dass selbst resistente Edelmetalle wie Gold von aggressiven Wässern in der tiefen Erdkruste gelöst und anderswo zur Ausfällung gebracht werden können.

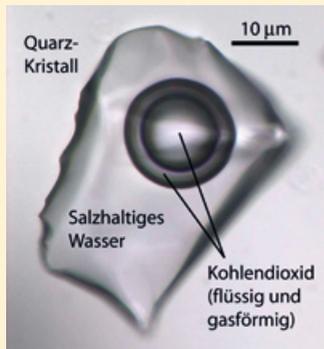
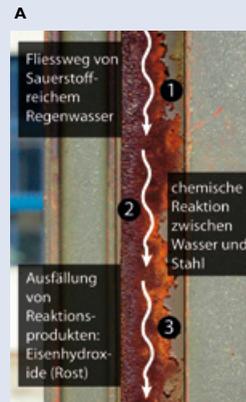


Foto: L.Diamond

Eine „natürliche Flasche mit Mineralwasser“: ein winziger „Fluideinschluss“ in einem Quarzkristall unter dem Mikroskop.



A Eine Stahlwand hat mit Regenwasser reagiert und Eisenhydroxide, also Rost, gebildet.

B–D Ein Gesteinsaufschluss, durchzogen von einer Ader.

B Diese Ader besteht aus weissen und braunen Mineralen; auf beiden Seiten ist das Nebengestein rostig verfärbt.

C Das Bild zeigt die Umriss der Ader. Ursprünglich war dies eine offene Kluft. Die Kluftfüllung und die Verfärbung des Nebengesteins sind das Ergebnis natürlicher chemischer Reaktionen, welche abliefen, als sich das Nebengestein noch in grosser Tiefe unter hohem Druck befand und sehr heiss war.

D Das Bild zeigt die Abfolge der Ereignisse: (1) ein heisses, salziges, CO₂-haltiges Mineralwasser bewegte sich durch die offene Kluft; (2) das aggressive Wasser reagierte mit dem Gestein auf beiden Seiten der Kluft; (3) diese Gestein-Wasser-Reaktion führte zur Ausfällung neuer weisser und brauner Minerale, welche die Kluft allmählich füllten.

GEDANKENEXPERIMENT

Du weisst nun genug von Gestein-Wasser-Interaktion, um ein kleines Gedankenexperiment durchzuspielen: Die Goldreserven der Schweizer Nationalbank werden angeblich in einem sicheren Gewölbe unter dem Bundesplatz der Hauptstadt Bern aufbewahrt. Nach dem erläuterten Prinzip der Gestein-Wasser-Interaktion sollst Du einen Fließweg entwerfen, der aggressives Tiefenwasser so leitet, dass (1) sowohl die Wände des Gewölbes als auch die Goldreserven vollständig aufgelöst werden, (2) das Gold in gelöster Form aus dem Gewölbe gepumpt werden kann und (3) auf der Oberfläche deines Autos zur Wiederausfällung gebracht wird. (Dein Auto wäre so nicht bloss schön goldfarbig, sondern von nun an auch absolut rostfrei.)



Bundesplatz, Bern (Foto: L.Diamond)

Die Schweizerische Nationalbank ist ein interessantes Objekt für ein Gedankenexperiment in Gestein-Wasser-Interaktion

EIN TIPP: Die Antwort nicht weitersagen!

Eine Kruste der Skepsis?

Nun fragst Du Dich vielleicht: Woher wissen wir soviel über das Wasser in der Erdkruste? Woher kommt das Wasser in der Tiefe? Welche gewaltigen Kräfte bewegen es durch die Gesteine aufwärts und nicht abwärts? Wie kann sich das Wasser durch die Kruste bewegen, wenn die Kruste aus festem Material, also Gestein, besteht? Sind die Gesteine in der Tiefe infolge Korrosion porös, ähnlich wie die Rostkruste auf Eisen, oder sind sie dicht und undurchlässig wegen der Ausfällung von neuen Mineralien, wie bei der oben erklärten Aderbildung? Hat Gestein-Wasser-Interaktion gleich nach der Entstehung der Erde angefangen oder erst später? Was sind die Folgen dieser physikalischen Einwirkungen und chemischen Aggression, und wie relevant sind sie für Mensch, Tier und Pflanzen?



Petra, Jordan (Foto: L. Diamond)

Wie eine zerfallende Kathedrale: Die Sandsteinwände eines Canyons werden ausgehöhlt wenn der natürliche Zement, der die Körner im Sandstein zusammenhält, vom Regenwasser gelöst wird.

Natürliche Folgen

Auf all diese Fragen haben Geologen faszinierende, wenn auch oft noch unvollständige Antworten. Tatsache ist, dass diese Fragen das Forschungsthema von zahlreichen Geologen weltweit darstellen, einschliesslich von Geologen an unserem Institut an der Universität Bern. Weil für die moderne Gesellschaft die letzte der obigen Fragen von besonderer Bedeutung ist, wollen wir hier nur diese angehen. Dazu werden im Folgenden beispielhaft einige Konsequenzen von Gestein-Wasser-Interaktion erläutert. Diese Beispiele sollen auch zeigen, warum Geologen so viel Aufwand betreiben, um Antworten auf die anderen Fragen zu finden!

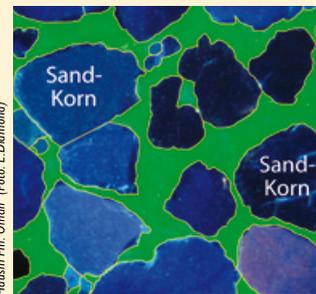


Gestein-Wasser-Interaktionslabor, Universität Bern (Foto: L. Diamond)

Highland Valley Mine, British Columbia (L. Diamond)



Das metallisch glänzende Mineral sieht aus wie Gold, ist es aber leider nicht. Dennoch handelt es sich um ein wertvolles Erz, nämlich Kupfersulfid. Diese Form von Kupfer ist die wichtigste Quelle für den Industriebedarf. Vor Millionen von Jahren zirkulierten unter einem kleinen Gebiet von British Columbia (Kanada) heisse, kupferreiche Wässer. Eine ungewöhnliche Abfolge von Ereignissen hat das Kupfer in extrem hoher Konzentration zur Ausfällung gebracht. Nach der Untersuchung dieser Gestein-Wasser-Interaktion wird die Geologin bzw. der Geologe (siehe Schuh) andere Lagerstätten suchen, nämlich dort, wo ähnliche Ereignisse stattfanden. Dies um sicherzustellen, dass es auch in der Zukunft in Deinem Haus elektrische Kabel und Wasserleitungen aus Kupfer geben kann.



Haushi Fm. Oman (Foto: L. Diamond)

Dieses künstlich gefärbte Bild im Mikroskop zeigt eine Sandsteinprobe aus einem Erdölfeld in 1500 m Tiefe. Erdöl kann sich durch die grossen Poren (im Labor mit grünem Harz sichtbar gemacht) zwischen den Sandkörnern (blau) bewegen oder kann in solchen Poren gespeichert bleiben.

Bildung von Erzlagerstätten

Riesige Mengen Wasser haben sich durch die Erdkruste bewegt, seit diese vor mehr als 3 Milliarden Jahren entstanden ist. In der Tiefe lösen heisse Wässer feinverteilte Metallanteile aus dem Nebengestein. Wenn die nun metallhaltigen Wässer in höhere Gesteinsschichten aufsteigen und abkühlen, oder chemisch besonders reaktive Gesteine durchfliessen, so können metallreiche Mineralien ausfallen. Im Vergleich zum Herauslösen der Metalle geschieht das Ausfallen auf viel kleinerem Raum. Daher sind Metallkonzentrationen in diesen Ablagerungen viel höher als im Ausgangsgestein. Durch diese Gestein-Wasser-Interaktion werden vormals wertlose, d.h. nicht abbauwürdige Metallvorkommen zu wertvollen Erzlagerstätten angereichert. Manche Erzkörper werden durch Prozesse der Gebirgsbildung später aus der Tiefe in die Nähe der Oberfläche geschoben, wo sie heute infolge Erosion zu Tage treten können. Diesem Geschenk der Natur verdanken wir die meisten der zugänglichen Ressourcen von Kupfer, Eisen, Zink, Gold und weiteren Rohstoffen, von denen unsere industrialisierte Gesellschaft abhängt. Viele Geologen arbeiten daran, die komplexe Bildungsgeschichte von Erzlagerstätten zu entziffern, da man mit solchen Kenntnissen zielgerichtet nach neuen Lagerstätten suchen kann. Wertvolle Detektivarbeit!

Bildung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten

Kohlenwasserstoffe in der Erdkruste entstehen durch den Zerfall von Pflanzen und marinen Organismen, die im Schlamm und Sand begraben werden, weil Flüsse ihre Sedimentfracht nahe der Küste eines Ozeans ablagern. Wird eine solche Schicht durch weitere Sedimente überlagert, so kann das organische Material abgeschottet von Sauerstoff, unter zunehmenden Drucken und Temperaturen zu Rohöl und Methangas umgewandelt werden. Wo sich diese in einem relativ seichten Bereich der Erdkruste anreichern, können sie wirtschaftlich gefördert werden.

Um eine wirtschaftliche Lagerstätte zu ergeben, müssen Öl und Gas also mobilisiert und konzentriert werden. Die Mobilisierung von Gas geschieht recht einfach, aber Öl ist dickflüssig und bleibt in engen Gesteinsporen kleben. Hier spielt Gestein-Wasser-Interaktion eine entscheidende Rolle: Zirkulierendes Grundwasser kann durch teilweise Lösung der Gesteine den Porenraum erweitern und die Mobilisierung und Anreicherung von Öl fördern. Das mobilisierte Öl kann unter Umständen die Erdoberfläche erreichen, mit dem unerwünschten Resultat, dass die Kohlenwasserstoff-Moleküle durch Reaktion mit Sauerstoff oder mit Bakterien zerstört werden. So gehen potenzielle Ölreserven verloren, ohne dass sie vorher zur Energiegewinnung genutzt werden konnten.

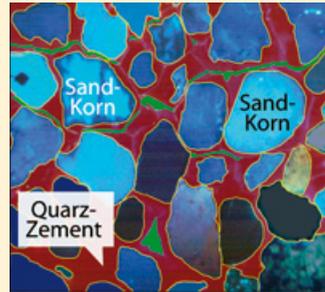
Zum Glück gibt es auch Umstände, unter denen zirkulierende Grundwässer Mineralien zur Ausfällung bringen, die dann die Poren der überliegenden Sedimente verstopfen und undurchlässig machen. Anstatt zur Erdoberfläche aufzusteigen, bleibt Öl dann unter diesen Sedimenten gefangen, reichert sich dort an und kann mittels Bohrungen gefördert werden.

Andere geologische Faktoren wie Zeit, Temperatur und tektonische Brüche spielen auch eine wichtige Rolle bei der Bildung von Öl- und Gaslagerstätten. Wie im Falle der Erzlagerstätten müssen Geologen den Ablauf der Gestein-Wasser-Interaktion in den Sedimentbecken verstehen, um neue Öl- und Gasressourcen zu entdecken.

Explosiver Vulkanismus

kane stellen lokal eine Bedrohung dar, aber sie haben auch globale Auswirkungen: Sie stossen riesige Mengen Gas, einschliesslich CO₂, in die Atmosphäre aus. Vulkane sind jedoch nicht alle gleichartig.

Vielleicht hast Du auf Reisen schon bemerkt, dass es zwei Arten aktiver Vulkane gibt. Es gibt solche (z.B. auf Hawaii oder Galapagos), die langsam fliessende Lavaströme ausstossen, manchmal auch eine feurige Fontäne aus Lava. Hier können Vulkanologen in speziellen Schutzanzügen ihre Messgeräte in die Lava halten, ohne um ihr Leben fürchten zu müssen. Dies sind „freundliche“ Vulkane.



Haushi Fm. Oman (Foto: L. Diamond)

Der Sandstein in diesem Mikroskop-Bild stammt aus 4000 m Tiefe, also von viel tiefer als jener im obigen Bild. Er ist viel kompakter. Die Sandkörner sind mit Quarz (rotbraun) zementiert, der aus zirkulierendem Grundwasser ausgefallen ist. Vom ursprünglichen Porenraum ist nur ganz wenig (grünes Harz) frei geblieben und es fehlt ein zusammenhängendes Netz von Poren. Daher kann Erdöl weder ein- noch ausfliessen.



Stromboli, Italien (Foto: M. Mazarek)

Ohne Interaktion zwischen Wasser und Magma unterhalb des Vulkankegels sind Eruptionen zwar beeindruckend, aber relativ harmlos.



Mt. St. Helens, Oregon, USA (Foto: USGS)

Starke Interaktion zwischen Wasser und der Magma unterhalb eines Vulkans führt zu einer gewaltigen Eruption von Wasserdampf, Asche und Gesteinsfragmenten. Die Ablagerungen einer solchen Eruption können umliegende Landstriche über Hunderte von Quadratkilometern begraben.



(Foto: J. Megert)

Explosiver Vulkanismus im do-it-yourself-Experiment. Kurz vor der Eruption des Mt. St. Helens (Oregon, 1980) hat ein Erdbeben am Gipfel plötzlich den Druck auf die Magmakammer reduziert, was dazu führte, dass Wasser und CO₂ explosionsartig freigesetzt wurden. Du kannst einen ähnlichen Vorgang simulieren, indem du rasch den Korken einer Flasche „experimentellen Magmas“ entfernst.

Dann gibt es andere, gefährliche, denen man sich während aktiver Phasen höchstens auf einige Kilometer nähern darf. Denn bei einem solchen Ausbruch kann der obere Teil des Vulkans in einer gewaltigen Explosion weggsprengt werden. Es bilden sich gigantische Staub- und Gaswolken, die mehrere Kilometer in die Atmosphäre aufsteigen und dann weite Landstriche mit einer mächtigen Aschenschicht bedecken. Dies sind „unfreundliche“ Vulkane, die ganze Städte begraben können (z.B. Pompeji). Diese Vulkane zieren auch ganze Gebirgsketten, wie z.B. die Anden.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Vulkantypen liegt im Ausmass der Gestein-Wasser-Interaktion am Ort, wo Magma entsteht, also tief unterhalb der Vulkankegel. Unter den gefährlichen Vulkanen des Anden-Typs (der Mt. St. Helens im Bild oben ist ein Beispiel), werden wässrige Lösungen unter hohem Druck ins Magma aufgenommen. Zunehmender Druck erhöht die Löslichkeit von Gasen im geschmolzenen Gestein, so wie z.B. ein höherer Druck auch die Löslichkeit von CO₂ in Wasser erhöht - siehe Champagner. Wenn dieses gashaltige Magma durch den Schlot des Vulkans nach oben steigt, dann nimmt der Druck und somit auch die Löslichkeit der Gase rapide ab. Diese können das Magma sprengen und explosionsartig als Jet herausschiessen. Die Kraft einer solchen Explosion ist verheerend – da nützt selbst die beste Schutzkleidung nichts mehr...

Im Gegensatz dazu ist die Interaktion zwischen Wasser und Magma unter den Vulkanen auf Hawaii oder Galapagos gering, und bei einer Eruption wird weniger Gas freigesetzt. Solche Eruptionen sind vergleichsweise harmlos.

Geologen in aller Welt versuchen zu verstehen, wo und wann explosive Eruptionen drohen. Selbst wenn diese Forschungsarbeit je abgeschlossen wird, empfiehlt es sich, nur freundliche Vulkane zu besuchen.

Unnatürliche Folgen

Alle bisher erwähnten Beispiele für Gestein-Wasser-Interaktion sind natürliche Vorgänge, die sich unserer Kontrolle entziehen und noch nicht vollständig verstanden werden. Neben den natürlichen Prozessen gibt es Beispiele von Gestein-Wasser-Interaktion, die sich aus dem Umgang der Gesellschaft mit der Erde ergeben:

Geothermische Energie

Die Erkenntnis, dass fossile Brennstoffe begrenzt und nicht erneuerbar sind, sowie dass ihre Nutzung den Treibhausgasgehalt der Atmosphäre massgeblich erhöht, hat die Aufmerksamkeit der Gesellschaft auf alternative Energiequellen gerichtet. Eine der grössten Energiereserven unseres Planeten ist seine eigene innere Wärme. Mit zunehmender Tiefe werden die Gesteine wärmer. Dafür gibt es zwei Gründe: Einerseits hat die Erde noch eine Restwärme, die von ihrer heißen Geburt als Planet vor 4.55 Milliarden Jahren übriggeblieben ist. Andererseits erzeugen radioaktive Elemente wie Uran, Thorium und Kalium, welche in den Gesteinen der Erdkruste angereichert sind, durch ihren spontanen radioaktiven Zerfall ständig neue Wärme. Die innere Wärme fliesst langsam zur Erdoberfläche, aber die Wärmeabgabe ins All ist so gering, dass unser Planet noch viele Jahrmillionen im Innern heiss bleiben wird.

In verschiedenen Gegenden der Welt wird diese Energiequelle genutzt, um Elektrizität zu erzeugen oder um Gebäude zu heizen. Wie wird diese Energie den Gesteinen entzogen? Durch Gestein-Wasser-Interaktion natürlich. Eine Methode besteht darin, das in der Tiefe zirkulierende Grundwasser, das bereits durch die umliegende Gesteine erwärmt wurde, zu fördern. Das heisse Grundwasser (oder Wasserdampf) wird durch Bohrlöcher an die Oberfläche gebracht, wo es elektrische Generatoren antreibt oder Gebäude heizt. Wo es keine natürliche Grundwasser-Zirkulation in der Tiefe gibt, kann Wasser von der Erdoberfläche durch Bohrlöcher gepumpt werden, wo es dann vom Gestein erwärmt wird. Durch umliegende Bohrlöcher wird das erhitzte Wasser wieder an die Oberfläche gefördert. Es entsteht also ein künstlicher Kreislauf.

Geothermische Energie, völlig umsonst, das hört sich gut an, aber leider sind mit ihrer Nutzung oft geo-



Old Faithful, Yellowstone, USA (Foto: USGS)

Geysire zeigen, dass sich heisses Grundwasser nahe der Erdoberfläche befindet



Wairakei, Neuseeländer (Foto: L. Diamond)

Dieses Kraftwerk wandelt die thermische Energie des heissen Grundwassers in Strom um. Wie bei einem Geysir wird überschüssiger Wasserdampf vom Kühlturm abgelassen.



Foto: NAGRA

Radioaktiver Abfall in einem Schutzbehälter. Da wir wissen, wie chemisch aggressiv tiefes Grundwasser ist, müssen wir sehr sorgfältig untersuchen, in welchen Gesteinsformationen man radioaktive Abfälle und andere toxische Abfälle deponieren kann, so dass die Schutzbehälter intakt bleiben und der Austritt von Schadstoffen langfristig verhindert werden kann.



Foto: L. Diamond

Von Menschen verursachte CO₂-Emissionen treiben die globale Klimaveränderung an. Diese Entwicklung kann gebremst werden, indem industrieller CO₂-Abfall in tiefliegende geologische Formationen gepumpt wird. Dafür sind Gesteine geeignet, die sich als gute Gas-Speicher erwiesen haben, z.B. ausgeschöpfte Gas-Lagerstätten.

logische Probleme verbunden. Der Wärmefluss der Erde ist in vielen Gegenden so gering, dass die nötige Tiefe eines Bohrlochs das ganze Unternehmen unwirtschaftlich machen würde. Ausserdem, das haben wir ja schon gelernt, führt die Zirkulation heisser Wässer zu Lösungs- und Ausfällungsreaktionen entlang des Fließpfads. Mineralausfällung kann die Poren des wasserhaltigen Gesteins verstopfen und somit den Fließweg unterbrechen. Gegenwärtig zielt die Forschung im Bereich der Gestein-Wasser-Interaktion auf erhöhte Energie-Gewinnung und das Verhindern von Mineralausfällung.

Tiefenlager für giftige Abfälle und Treibhausgase

Ob chemische Industrie, Forschungslabor, Krankenhaus oder Kernkraftwerk – sie alle produzieren Sondermüll. Meistens wird dieser an der Erdoberfläche gelagert, aber immer öfter wird der Abfall in unterirdischen Tiefenlagern deponiert und so von der Biosphäre isoliert.

Dieser Entsorgungsansatz macht aus wissenschaftlicher Sicht Sinn, aber es sind einige Probleme denkbar: Falls Grundwasser mit den Abfallbehältern über lange Zeit in Berührung käme, so könnten diese allmählich zersetzt und ihr Inhalt freigesetzt werden. Im schlimmsten Fall könnte das Grundwasser die giftigen Abfallstoffe zur Oberfläche verfrachten, wo sie leicht in die Nahrungskette gelangen würden. Die Herausforderung für uns als Geologinnen und Geologen ist es, Gesteinsformationen zu finden und zu charakterisieren, wo die Wahrscheinlichkeit solch katastrophaler Szenarien extrem gering ist. Daneben sind wir verantwortlich für die fachgerechte Läuterung vergangener Sünden, wie z.B. oberflächlicher Abfalldepotien, welche Trinkwasserquellengefährden können.

In jüngster Zeit wendet sich die Forschung im Bereich Gestein-Wasser-Interaktion auch den Problemen zu, die durch Treibhausgase wie CO₂ in der Atmosphäre entstehen. Das Ziel ist ein Beitrag zur Reduktion der globalen Erwärmung zu leisten. Es werden Methoden entwickelt, um CO₂ (z.B. aus industriellen Prozessen) abzutrennen und unterirdisch in Gesteinsformationen zu pumpen, welche bekanntermassen über Jahrmillionen gasdicht geblieben sind.

Gestein–Wasser-Interaktion in der heutigen Gesellschaft

Wir haben oben nur einige interessante Beispiele der Erforschung von Gestein-Wasser-Interaktion erwähnt. Unsere Forschungsgruppe an der Universität Bern ist besonders an natürlichen Prozessen interessiert, die für die Erschliessung natürlicher Rohstoffe und für den Schutz der Umwelt relevant sind. Wir beschäftigen uns mit beiden Themenbereichen und können dieselben Forschungsmethoden in beiden Themenbereiche anwenden.

Du hast sicher bemerkt, wie ähnlich die Beispiele in Bezug auf die Fragestellung sind: Wie sind die Fliesswege des Grundwassers, wo gibt es Minerallösung, wo Ausfällung, usw. Häufig stellen wir fest, dass das Verständnis eines dieser Themenbereiche zum Verständnis des anderen beiträgt.

Wir sind uns sehr bewusst, dass es in der heutigen Gesellschaft ein Dilemma gibt. Einerseits verlangt die Gesellschaft ständig nach mehr Rohstoffen wie Metallen und anderen mineralischen Stoffen, aber auch - und immer mehr - Wasser und Energie. Deshalb ist eine der Hauptanwendungen der geologischen Forschung das Auffinden neuer Ressourcen.

Andererseits kann die Förderung natürlicher Rohstoffe negative Auswirkungen auf die Umwelt haben. Auch hier können wir Beiträge leisten, um diese Auswirkungen auf ein Minimum zu reduzieren. Es ist eine grosse Herausforderung für uns, geologisches Wissen auf beide Bereiche anzuwenden. Nur so können wir ein nachhaltiges Gleichgewicht zwischen Nutzung und Schutz der Natur erreichen.



Servette Mine, N. Italien. Foto: L. Diamond

Sichtbar im Vordergrund dieses Fotos sind die alten Holzstützen einer Mine, die einst die italienische Industrie mit Kupfer, Eisen und Schwefel versorgte. Die Mine ist nun stillgelegt, aber rostfarbenes, extrem saures und mit giftigen Schwermetallen belastetes Grundwasser fliesst ungehindert aus ihrem Eingang. Wenn sich diese Mine in einem Nutzwassergebiet befände, müsste man das toxische Wasser reinigen und die Mine wasserdicht versiegeln. Kenntnisse in Gestein-Wasser-Interaktion sind die Grundlage für jede derartige Sanierung.