



WISSENSCHAFTSWERKSTATT

Gletscher

Einleitung

Herzlich willkommen in der Wissenschaftswerkstatt Gletscher!

Wir vom Fachdidaktikzentrum Chemie der Universität Graz werden dich heute im Labor betreuen. Das Outdoorlabor führen wir in Kooperation mit der Kaiserschildstiftung als Wissenschaftswerkstatt durch.

Hier noch einige Infos zur Benutzung des Laborbuchs:

Blick in die Forschung

In diesem Bereich findest du QR-Codes zu Links oder wissenschaftlichen Artikeln. Wenn dich ein Thema interessiert kann du hier weiterlesen. Die Verweise sind dabei mit Schneeflocken gekennzeichnet:



Schwerer Text. Hierbei handelt es sich meistens um echte wissenschaftliche Publikationen.



Mittelschwerer Text. Es handelt sich hierbei um einfache wissenschaftliche Publikatione oder sonstige vertiefende Texte.



Leichter Text. Hierbei handelt sich meistens um Links oder Texte speziell für Schüler:innen.

Hilfreiche Symbole



Wir entwickeln ständig neue Experimente oder integrieren neue Experimente in unser Labor. Dieses Symbol zeigt dir, dass wir gerade **etwas Neues ausprobieren**. Es kann sein, dass die Anleitung noch nicht so gut verständlich ist oder das Experiment noch nicht so gut funktioniert. Bitte frag' uns einfach und wir helfen dir!



Experimente mit diesem Symbol können etwas länger dauern.



Experimente mit diesem Symbol sind **eher für den Klassenraum geeignet**. Manchmal nimmst du hier auch Proben mit, die du dann im Klassenraum weiter untersuchst.

Inhalt

- 01 Rucksack 1: Phänomene am Berg
- 02 Rucksack 2: Woraus besteht der Dachstein?
- 03 Rucksack 3: Was ist ein Gletscher?
- 04 Rucksack 4: Schwarz und weiß
- 05 Rucksack 5: Geophysik am Berg

 Virtuelle Gletscher und Zugang zur digitalen Lernumgebung



Rucksack 1

Phänomene am Berg



Am Berg begegnen wir einer ganzen Reihe an besonderen Phänomenen. Es beginnt bereits bei der Fahrt mit der Seilbahn nach oben. Du hast sicherlich den Druck auf den Ohren gespürt. Diesem Phänomen gehst du hier mit einem einfachen Experiment auf den Grund.

Am Berg schmeckt es oft auch anders. Du kennst dies vielleicht schon aus dem Flugzeug. Warum Tomatensaft im Flugzeug so beliebt ist und wie anders es auf dem Berg schmeckt erfährst du ebenfalls mit dem Inhalt dieses Rucksacks. Und wenn wir schon beim Essen sind: auch die Zubereitung des Essens am Berg ist anders. Die Siedetemperatur verändert sich am Berg. Der Höhenunterschied zur Talstation ist hoch genug, dass wir dies ebenfalls in einem einfachen Experiment sehen nachvollziehen können.

Vielleicht hast du auch auf der Fahrt mit der Gondel schon die hängenden Wolken am Berg festgestellt. In einem Experiment bestimmen wir hier den Taupunkt und schauen uns an, wie Wolken überhaupt entstehen.

Zum Rucksack:





Geschmack am Berg

Vergleich des Geschmacks im Tal und am Berg



Fragestellung

Schmeckt es am Berg anders?



Experiment

Führe den Versuch im Tal und auf dem Berg durch.

- Wir testen gemeinsam, wie es am Berg schmeckt.



Beobachtung

Lebensmittel	Geschmack im Tal	Geschmack am Berg
Bananensaft		
Cola		
Gummibärchen		



Erklärung

Viele Lebensmittel schmecken am Berg anders als im Tal. Ein wichtiger Grund dafür ist die Flüchtigkeit mancher Aromastoffe.

Beim Essen gelangen die Moleküle der Aromastoffe in die Luft und werden über die Nase wahrgenommen. Da ein großer Teil unseres Geschmacksempfindens auch vom Geruch abhängt, sind diese Aromastoffe entscheidend für den Geschmack.

In größeren Höhen ist der Luftdruck geringer. Dadurch können die Aromamoleküle leichter in die Gasphase übergehen, sie sind also flüchtiger. Gleichzeitig verteilen sie sich schneller in der Luft. Das führt dazu, dass insgesamt weniger Aromastoffe gleichzeitig unsere Nase erreichen, wodurch der Geschmack oft weniger intensiv wirkt.

Zusätzlich ist die Luft am Berg meist trockener. Dadurch können die Schleimhäute in Nase und Mund austrocknen, was den Geruchs- und Geschmackssinn weiter beeinträchtigt.

Auch die niedrigere Siedetemperatur von Wasser spielt eine Rolle: Lebensmittel werden beim Erhitzen oft weniger stark gekocht, wodurch sich Aromastoffe anders entwickeln oder lösen.

Insgesamt führen der geringere Luftdruck, die veränderte Flüchtigkeit der Aromastoffe und die eingeschränkte Wahrnehmung dazu, dass Lebensmittel am Berg oft anders (meist weniger intensiv) schmecken als im Tal.

Du konntest hier einige bekannte Lebensmittel testen. Wir haben solche ausgewählt, die einen intensiven Geruch haben.

Auf dem Dachstein schmeckt es übrigens ähnlich wie im Flugzeug. In der Flugzeugkabine wird ein ähnlicher Luftdruck hergestellt, wie auf einem Berg mit 3000 m Höhe.



Blick in die Forschung

❄️ Quarks.de zum veränderten Geschmack am Berg und im Flugzeug.



❄️ Ein Artikel des Nobelpreisträgers Richard Axel zur Funktion des Geruchssinns.



1b

Druck auf den Ohren

Veranschauliche den Luftdruck mit einer leeren Flasche



Fragestellungen

- Woher kommt der Druck auf den Ohren beim Seilbahnfahren?
- Was ist dünne Luft?



Experiment

- Öffne die Leere Flasche oben auf dem Berg.
- Verschließe die Flasche wieder und mache ein Foto,
- Steige in die Gondel nach unten und beobachte die Flasche.
- Mache ein weiteres Foto wenn du bei der Talstation bist.



Beobachtung

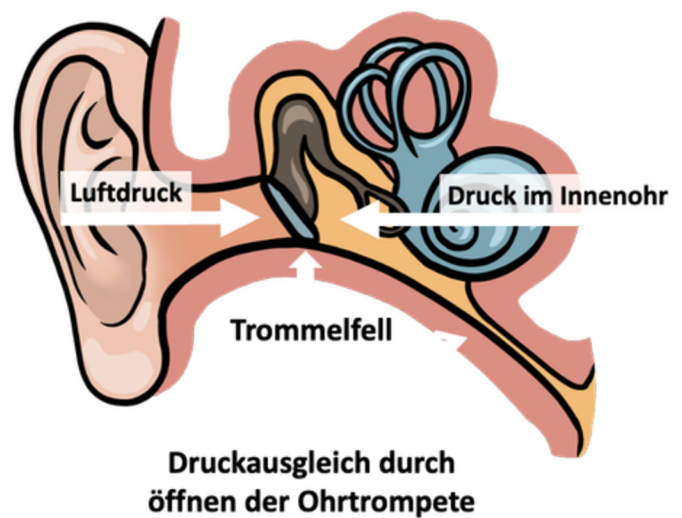


Erklärung

Auf der Dachstein-Bergstation (2.687 m) herrscht ein Luftdruck von etwa 730 hPa. Wenn eine leere PET-Flasche dort geöffnet und sofort wieder verschlossen wird, befindet sich Luft mit diesem niedrigen Druck in der Flasche.

Während der Fahrt zur Talstation steigt der Außendruck kontinuierlich an – im Tal herrschen etwa 1013 hPa. Die eingeschlossene Luft in der Flasche behält jedoch ihren niedrigen Druck von 730 hPa. Der höhere Außendruck drückt nun stärker auf die Flaschenwände als der niedrigere Innendruck dagegen wirkt. Diese Druckdifferenz führt dazu, dass sich die Flasche zusammenzieht.

Das gleiche Prinzip erklärt auch den Druck auf den Ohren während der Seilbahnfahrt. Im Mittelohr befindet sich Luft mit dem Druck der jeweiligen Höhe. Ändert sich der Außendruck schneller als sich der Druck im Mittelohr anpassen kann, entsteht eine Druckdifferenz am Trommelfell. Dieses wird dann entweder nach innen oder außen gedrückt, was als unangenehmer Ohrendruck wahrgenommen wird.



Blick in die Forschung

❄ Hier gibt es einen Beitrag wie Knochen beim Hören helfen.



❄ Hier gelangst du zu einem Beitrag über ein Forschungsprojekt, das dem Ohr beim Hören "zuschaut".





Kochtopf am Berg

Bestimmung des Siedepunkts von kochendem Wasser



Fragestellung

Bei welcher Temperatur siedet Wasser?



Experiment

Führe den Versuch im Tal und auf dem Berg durch.

- Bestimme die Siedertemperatur des Wassers indem du es mit dem Gaskocher erhitzt und die Siedetemperatur bestimmst.
- Bestimme die Höhe (z.B. mit der Smartwatch oder der App Phyphox)



Beobachtung

Ort	Höhe	Siedetemperatur



Erklärung

Auf der Bergstation der Dachsteinseilbahn in 2.687 Meter Höhe siedet Wasser bereits bei etwa 91°C und nicht erst bei den gewohnten 100°C. Der Grund dafür ist der geringere Luftdruck in dieser Höhe.

Mit zunehmender Höhe nimmt der Luftdruck ab. Während auf Meereshöhe ein Druck von etwa 1013 hPa herrscht, beträgt er auf der Dachstein-Bergstation nur noch etwa 730 hPa. Diese Druckverringerung hat direkten Einfluss auf das Siedeverhalten von Wasser.

Wasser siedet, wenn der Dampfdruck der Wassermoleküle den äußeren Luftdruck erreicht. Die Wassermoleküle müssen sozusagen gegen den Luftdruck "ankämpfen", um als Dampfbläschen aufsteigen zu können. Bei geringerem Luftdruck ist dieser Widerstand kleiner, weshalb bereits bei niedrigeren Temperaturen genügend Moleküle die nötige Energie besitzen, um zu verdampfen.

Diese Temperaturverringerung hat konkrete Folgen: Lebensmittel benötigen längere Garzeiten, da das kochende Wasser weniger heiß ist. Getränke wie Tee oder Kaffee erreichen ebenfalls nicht die gewohnte Temperatur, auch wenn das Wasser deutlich sprudelt.

Der niedrigere Siedepunkt ist also eine direkte Folge des reduzierten Luftdrucks in der Höhe und nicht etwa der kälteren Umgebungstemperatur.



Blick in die Forschung



Der Kochtopf auf dem Mount Everest



Storm Ciarán's effect on the boiling point of water in the southeast of the United Kingdom.





Wolken am Berg

Bestimmung des Taupunktes



Fragestellung

Warum hängen Wolken am Berg?
Wann entsteht eine Wolke?



Experiment

Bestimme den Taupunkt mit Hilfe einer Konservendose.



Beobachtung

	Messwerte
Lufttemperatur (in °C)	
Wassertemperatur bei Beschlagen der Dose (in °C)	
relative Luftfeuchtigkeit (in %)	



Erklärung

Beim Versuch wird die mit Wasser gefüllte Dose schrittweise abgekühlt. Dabei kühlt sich auch die Luft direkt an der Metalloberfläche der Dose ab.

Luft enthält immer Wasserdampf. Die maximale Menge an Wasserdampf, die Luft aufnehmen kann, ist temperaturabhängig. Sinkt die Temperatur, kann die Luft somit weniger Wasserdampf aufnehmen bzw. hier "halten".

Kondensiert an der Außenseite der Dose Wasser ist die Luft an dieser Stelle so weit abgekühlt, dass sie mit Wasserdampf gesättigt ist. Überschüssiger Wasserdampf geht in den flüssigen Zustand über. Die Temperatur, die du in diesem Moment misst, nennt man den Taupunkt. Er ist eine charakteristische Größe für den aktuellen Feuchtigkeitsgehalt der Luft:

Der Taupunkt gibt an, auf welche Temperatur die Luft abgekühlt werden müsste, damit sie gerade gesättigt ist.

Mit der Bestimmung des Taupunkts und der Außentemperatur kannst du die tatsächliche relative Luftfeuchtigkeit ermitteln. Dieser Wert macht eine Aussage darüber, wie hoch die Feuchtigkeit in der Luft aktuelle ist.

Die im Experiment beobachtete Kondensation ist auch grundlegend für die Entstehung von Wolken. Steigt Luft in der Atmosphäre auf, kühlt sie sich mit zunehmender Höhe ab. Gleichzeitig bleibt die enthaltene Wasserdampfmenge zunächst gleich. Erreicht die Luft dabei den Taupunkt, ist sie gesättigt (100 % relative Luftfeuchtigkeit). Der Wasserdampf beginnt zu kondensieren und bildet viele kleine Wassertröpfchen – eine Wolke entsteht.

Dass Wolken nur in bestimmten Höhen auftreten, liegt daran, dass der Taupunkt erst dort erreicht wird. Unterhalb dieser Höhe ist die Luft noch nicht gesättigt, sodass kein sichtbares Wasser entsteht. Oberhalb davon kann sich – je nach Temperaturverlauf und Feuchtigkeitsgehalt – mehr oder weniger dichte Bewölkung bilden.

Blick in die Forschung



Hier geht es zu einem Artikel über Wolken und das Wetter. Erhalte einen Einblick in die Physik der Atmosphäre



Hier findest du einen Artikel über die Arbeit eines Klimaforschers in der Arktis



Rucksack 2

Woraus besteht der Dachstein?



Wer heute am Gipfel des Dachsteins steht, befindet sich auf dem Boden eines verschwundenen tropischen Meeres. Der Berg ist kein einfacher Klumpen Stein, sondern ein riesiges Archiv aus der Zeit vor etwa 210 bis 230 Millionen Jahren (der Obertrias). Zur Zeit der Obertrias lag die Region, in der sich heute die Alpen befinden, in der Äquatorzone. Hier erstreckte sich ein flaches, warmes Meer, in dem sich riesige Karbonatplattformen bildeten – vergleichbar mit heutigen Korallenriffen. In diesem Meer lagerten sich über lange Zeit Kalkschlämme sowie die Schalen und Skelette von Meeresorganismen ab.

Der Dachstein besteht hauptsächlich aus zwei Gesteinsarten, die sich chemisch unterscheiden:

- Dachsteinkalk: Er ist fast reines Calciumcarbonat (CaCO_3)
- Dachsteindolomit: In manchen Schichten mischt sich ein weiteres Element dazu: Magnesium. Aus dem Kalk wird dann Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Dieser Stein ist etwas spröder und verwittert anders als der reine Kalk. Oft findest du im Gelände einen rhythmischen Wechsel: Dicke Kalkbänke werden von dünnen Dolomit-Schichten getrennt.

Dass der Dachstein so zerfurcht aussieht, liegt an der Verkarstung. Kalkstein hat eine besondere Eigenschaft: wenn Regenwasser aus der Luft Kohlenstoffdioxid aufnimmt, entsteht eine schwache Kohlensäure. Diese Säure "frisst" sich chemisch in den Stein und sorgt für das typische Aussehen.

Zum Rucksack:



2a

Karst

Untersuchungen mit Salzsäure



Fragestellung

Wie kann ich zeigen, dass der Dachstein aus Kalk besteht?
Wie viel Kohlenstoffdioxid ist m Dachsteinkalk enthalten?



Experiment

Weise zunächst Kalkstein nach.
Löse dann einen kleinen Stein und schau, wie viel Kohlenstoffdioxid im Kalkstein gespeichert ist.



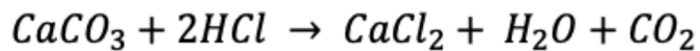
Beobachtung

Masse des Steins	Volumen Gas



Erklärung

Der Dachstein besteht überwiegend aus Kalkstein (Calciumcarbonat, CaCO_3), der vor etwa 200–250 Millionen Jahren in einem flachen, warmen Meer entstanden ist. In diesem Meer lebten zahlreiche Organismen wie Korallen, Muscheln und Algen, die Kalkschalen oder Skelette bildeten. Nach ihrem Absterben lagerten sich diese am Meeresboden ab und wurden über lange Zeit zu festem Kalkstein verpresst. Mit Salzsäure (HCl) lässt sich dieser Kalkstein leicht nachweisen. Dabei entsteht Kohlenstoffdioxid (CO_2), das als Gasbläschen sichtbar wird:



Das Kohlenstoffdioxid (CO_2) war zuvor im Gestein gebunden und wird durch die Reaktion freigesetzt. Der Dachstein ist ein typisches Beispiel für eine Karstlandschaft. Karst entsteht, weil Kalkstein durch leicht saures Wasser (z. B. Regenwasser mit gelöstem CO_2) langsam gelöst wird. Dabei bilden sich charakteristische Formen wie Rillen, Spalten und Höhlen.

Man unterscheidet dabei zwei typische Strukturen:

Gebankter Karst: Der Kalkstein ist in Schichten („Bänken“) aufgebaut. Wasser dringt entlang von Schichtgrenzen und Klüften ein und löst das Gestein bevorzugt dort auf.

Riffkalk (geriffter Karst): Dieser entstand direkt aus ehemaligen Korallenriffen. Er ist oft massiver und unregelmäßiger aufgebaut, da er aus den verfestigten Strukturen der Korallen besteht.



Gebankter Karst beim Dachstein.
Sehr schön erkennbar sind die Rillen.

Blick in die Forschung



Hier geht es zum einen Beitrag über Kohlenstoffdioxid im Meer und die Entstehung von Riffen und Bergen.





Farbige Steine

Warum sind Steine farbig?



Fragestellung

Warum sind Steine farbig?

Was färbst einen Stein grünlich oder rot?



Experiment

In diesem Experiment gehst du der Ursache für die Farbigkeit einiger Steine auf den Grund. Hierzu untersuchst du rote und grüne Steine mit Teststäbchen auf Eisen und Kupfer.

Suche dir hierfür geeignete Steine zusammen.

Bitte trage eine Schutzbrille und wasche ggf. die Hände!



Beobachtung



Erklärung

Viele Gesteine haben unterschiedliche Farben – manche sind rötlich, andere grünlich oder bläulich. Diese Farben entstehen durch winzige Mengen bestimmter Metalle, die in den Steinen eingebaut sind.

Steine bestehen aus Mineralen, und Minerale sind aus winzigen Bausteinen – den Atomen – aufgebaut. Diese Atome ordnen sich in regelmäßigen, dreidimensionalen Mustern an, die man Kristallgitter nennt. Man kann sich das wie ein dreidimensionales Gerüst vorstellen, ähnlich einem Klettergerüst auf dem Spielplatz, nur viel kleiner und regelmäßiger. In dieses “Gerüst” können sich fremde Atome einbauen – sie ersetzen dann die ursprünglichen Atome an bestimmten Stellen. Diese fremden Atome sind oft Metalle wie Eisen oder Kupfer, und sie verleihen dem Mineral seine charakteristische Farbe.

Eisen ist ein sehr häufiger Farbgeber für rot und braune Farben in Gesteinen.

Die Farbe entsteht durch Eisen (Eisen(III)-oxid). Dieses kennt man vom alltäglichen Rost und es färbt Gesteine rotbraun bis dunkelrot.

Kupferverbindungen erzeugen oft sehr auffällige grünliche oder bläuliche Farben.

Schon winzigste Mengen dieser Metalle reichen aus, um einem ganzen Gestein eine intensive Farbe zu verleihen. Die Farbe ist deshalb ein wichtiger Hinweis auf die Zusammensetzung von Gesteinen,.

Blick in die Forschung

❄ Hier gelangst du zu einem Beitrag über die Farbigkeit von Edelsteinen.



❄ Hier geht es zu einer Beitrag auf scinexx.de über die Farbe von Edelsteinen.



Rucksack 3

Was ist ein Gletscher?



Gletscher wirken auf den ersten Blick wie starre, unbewegliche Eismassen. Tatsächlich sind sie jedoch dynamische Systeme, die sich ständig verändern und bewegen. Sie entstehen aus einzelner Schneeflocken, die zunächst zu Firn werden und sich auf dem Berg ansammeln. Über mehrere Jahre hinweg kommt mehr Schnee hinzu und durch den Druck werden die Flocken immer dichter zusammengepresst bis sie schließlich ein dichtes Gletschereis bilden. Das ein Gletscher aus Schnee besteht, kannst du durch die Leitfähigkeit nachweisen. So ist diese gleich wie bei Regentropfen.

Ein lebendiger Gletscher bewegt sich langsam talwärts und transportiert dabei zum Beispiel Gestein mit. Gletscher formen auf diese Weise Landschaften und du kannst die Spuren der Gletscherbewegung im Gelände sehen. Nicht nur in der Landschaft hinterlässt die Bewegung Spuren. Auf dem Gletscher entstehen durch die Bewegung Gletscherspalten.

Zum Rucksack:





Gletscherwasser

Leitfähigkeit und pH-Wert von Wasser, Eis und Schmelzwasser



Fragestellungen

- Woher kommt der Druck auf den Ohren beim Seilbahnfahren?
- Was ist dünne Luft?



Durchführung

1. Fülle etwas von deiner Probe in ein Becherglas.
2. Schalte das Leitfähigkeitsmessgerät ein und spüle die Sonde mit destilliertem Wasser ab.
3. Halte die Sonde in deine Probe und notiere dir den Wert.
4. Spüle die Sonde danach erneut mit destilliertem Wasser ab.
5. Führe die Schritte für alle Proben durch und notiere die jeweilige Leitfähigkeit.



Beobachtung

Probe	Leitfähigkeit	pH-Wert



Erklärung

Die elektrische Leitfähigkeit von Wasser hängt direkt von den darin gelösten Ionen ab. Je mehr Ionen vorhanden sind, desto besser kann das Wasser elektrischen Strom leiten.

Gewöhnliches Wasser enthält immer gelöste Salze und andere Stoffe aus der Umgebung. Beim Durchfließen von Gestein und Boden löst Wasser kontinuierlich Minerale heraus – Calciumionen aus Kalkstein, Natriumionen aus Salzvorkommen, Sulfationen aus Gips und viele andere. Diese Ionen machen das Wasser elektrisch leitfähig.

Beim Gefrieren passiert etwas Bemerkenswertes: Die Wassermoleküle ordnen sich zu einem regelmäßigen Kristallgitter, aber die meisten gelösten Ionen werden dabei "ausgeschlossen" und sammeln sich in winzigen Zwischenräumen oder an Korngrenzen. Da die Ionen im festen Eis nicht mehr frei beweglich sind, sinkt die elektrische Leitfähigkeit drastisch.

Schmelzwasser verhält sich ähnlich wie destilliertes Wasser. Da beim Gefriervorgang die meisten Ionen aus dem Kristallgitter ausgeschlossen wurden, enthält das entstehende Schmelzwasser nur sehr wenige gelöste Stoffe. Erst wenn es wieder über Gestein fließt und neue Minerale aufnimmt, steigt die Leitfähigkeit allmählich an.



Blick in die Forschung

❄ Leitfähigkeit wird auch zur Bestimmung der Dicke von Permafrost verwendet.





Gletscher aus Schnee

Untersuche unterschiedliche Schneeflocken



Fragestellungen

- Wie unterscheiden sich Schneeflocken?
- Kann man das unterschiedliche Alter von Schneeflocken erkennen?
- Wie verändert sich der Schnee auf dem Weg zu Gletschereis?



Experiment

Beobachte Schneeflocken mit dem Snow Kit. Sammle hierzu einzelne Flocken und betrachte sie auf dem dunklen Untergrund unter der Lupe. Grabe im Schnee ein Loch und untersuche die verschiedenen Schichten.

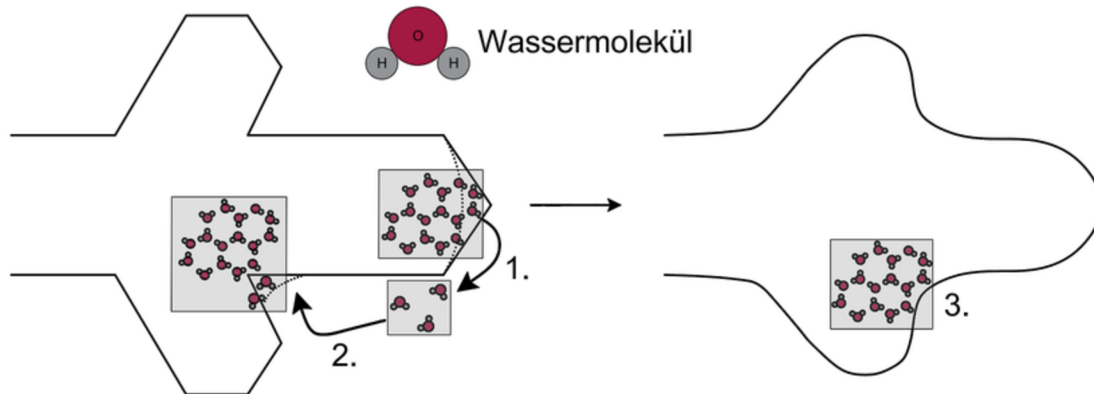


Beobachtung

Ort der Schneeflocke	Beschreibung und Aussehen



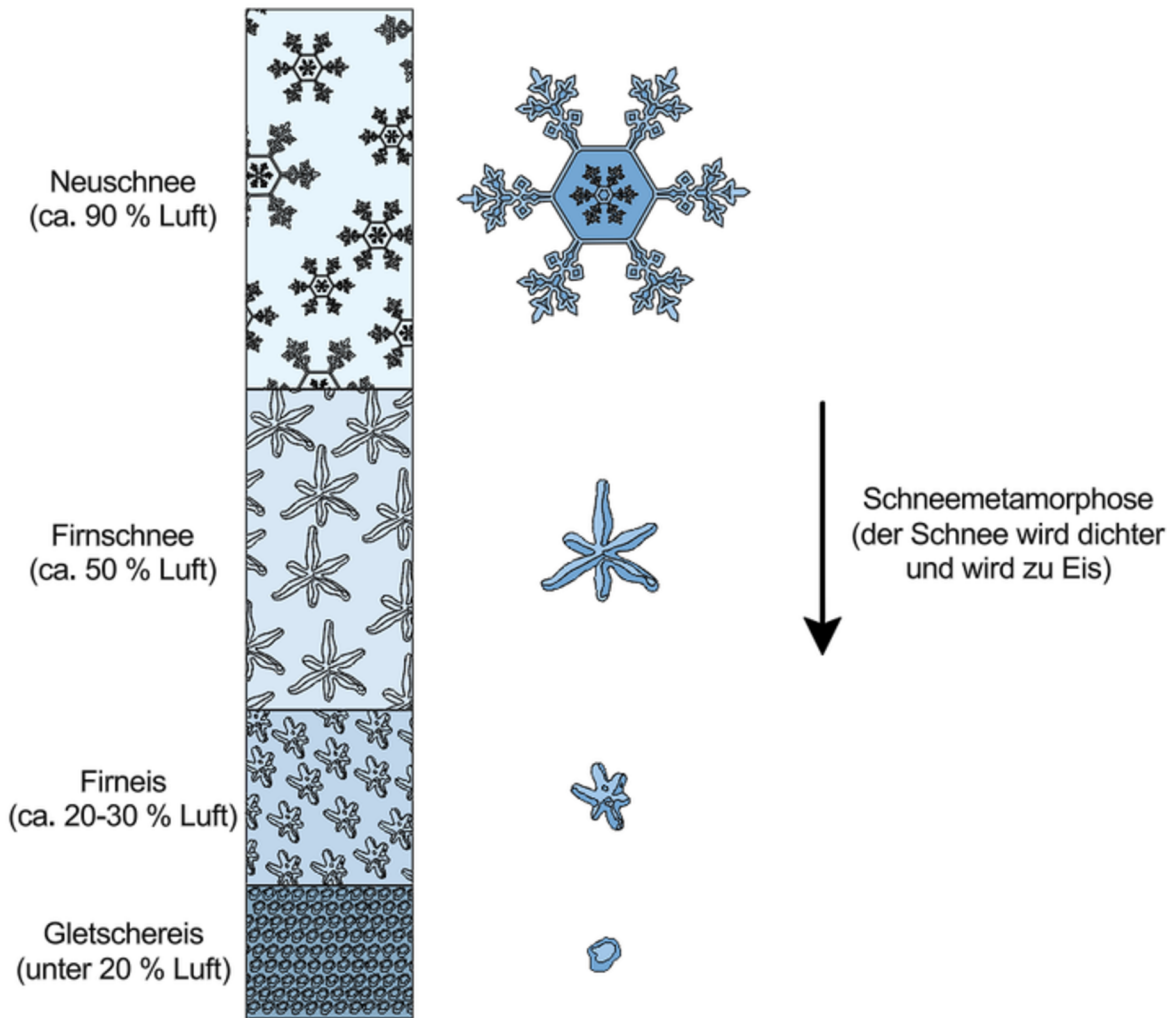
Erklärung



1. An der Spitze sublimiert das Eis (Festes Eis wird zu Wasserdampf)
2. In den Einbuchtungen resublimiert der Wasserdampf (Wasserdampf wird zu Eis)
3. Der Eiskristall wird abgerundet

Gletschereis entsteht durch die allmähliche Umwandlung von Schnee unter Druck und durch Veränderungen auf molekularer Ebene.

Die **obere Abbildung** zeigt, was mit den Wassermolekülen in einem Eiskristall passiert: An spitzen Stellen eines Kristalls sind die Moleküle weniger stabil gebunden. Deshalb lösen sie sich dort leichter und gehen direkt vom festen Zustand in Wasserdampf über (Sublimation). Dieser Wasserdampf bewegt sich durch die Poren im Schnee und lagert sich bevorzugt an Vertiefungen oder glatteren Flächen wieder an (Resublimation). Dadurch werden Spitzen und Kanten zuerst abgebaut und der Schneekristall wird insgesamt runder und kompakter. Auf diese Weise verändern sich die ursprünglichen, filigranen Schneeflocken zu größeren, körnigeren Eiskristallen.



Durch das Gewicht der darüberliegenden Schneemassen werden die Zwischenräume immer kleiner und die Luft wird herausgedrückt. Der Schnee entwickelt sich dabei von lockerem Neuschnee über Firm zu dichtem Gletschereis.

Blick in die Forschung

❄️ Ausführlicher Artikel über den Weg der Schneeflocke aus den Wolken bis zum Eis.



❄️ Ein Beitrag auf scinexx.de zum Einfluss des Winds auf Schneeflocken.





Gletscherspalten

Wie entstehen Gletscherspalten?



Fragestellungen

- Wie entstehen Gletscherspalten?
- Gibt es Gletscherspalten überall auf dem Gletscher?
- Gibt es auch auf dem Schladminger Gletscher (Gletscherlabor) Spalten?



Experiment



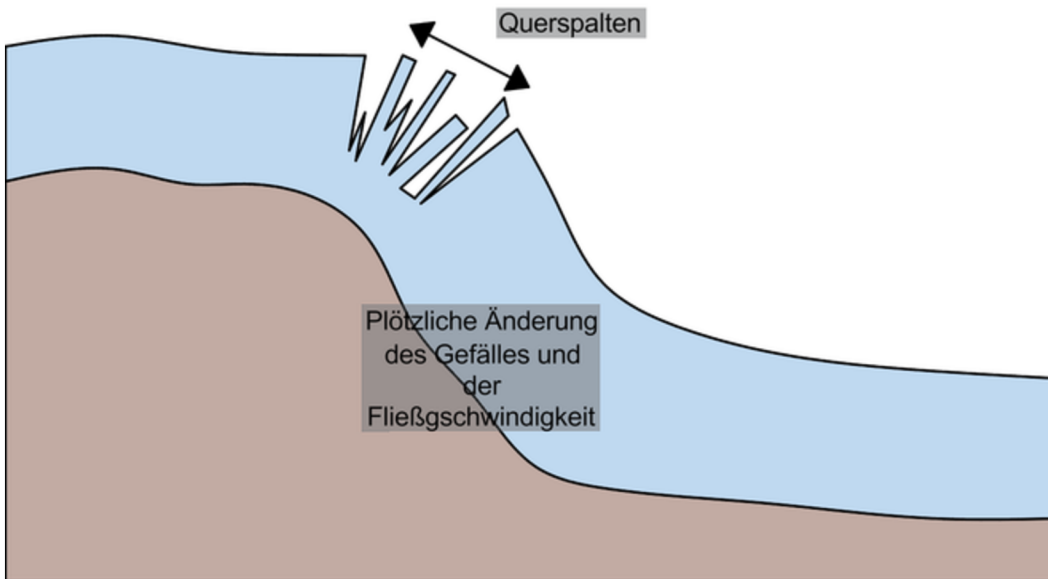
Forme mit dem Kinetischen Sand einen flachen Gletscher. Simuliere die Bewegung des Gletschers, indem du den Sand über verschiedene Oberflächen schiebst. Verwende dabei steile und flache Oberflächen.



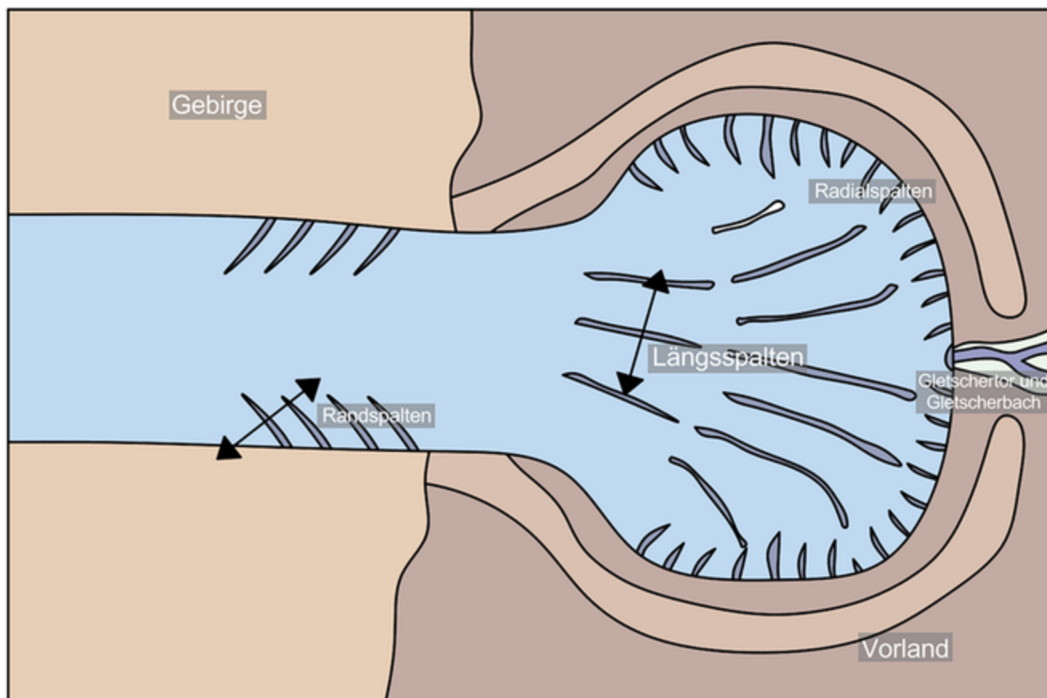
Beobachtung



Erklärung



Querspalten: Sie treten dort auf, wo das Gefälle und damit auch die Fließgeschwindigkeit des Eises schlagartig zunimmt.



Längsspalten: Sie treten bei Dehnungsspannungen auf. Diese kommen vor, wenn sich das Tal weitet und der Gletscher nicht mehr eingengt wird. So kann er sich ausbreiten und es kommt zu einer schnellen Dehnung, die die Verformbarkeit des Eises überschreitet.



Erklärung



- Sichelförmige Abschürfungen / Sichelbrüche
- Reibungsnarben
- Gletscherschliff / Gletscherschrammen

Wenn sich ein Gletscher talwärts bewegt, schleift und bricht er Gestein aus dem Untergrund heraus. Diesen Prozess nennt man glaziale Erosion. Dabei wirken vor allem zwei Mechanismen:

(1) Gesteinsbrocken werden im Eis mitgeführt und schleifen wie Sandpapier über den Untergrund (**Abrasion**). (2) der Gletscher reißt ganze Gesteinsstücke aus dem Fels heraus (**Plucking**). Wie stark ein Gletscher ein Gestein erodieren kann, hängt wesentlich von der Härte des Gesteins ab. Weiche Gesteine werden leichter abgeschliffen und abgetragen, während harte Gesteine dem Druck und der Reibung länger standhalten. Deshalb prägt die unterschiedliche Härte von Gesteinen das Aussehen von Gletscherlandschaften entscheidend mit.

Rucksack 4

Schwarz und weiß



In der modernen Gletscherforschung haben Wissenschaftler entdeckt, dass Mikroben eine entscheidende Rolle bei der Gletscherschmelze spielen. Besonderes Augenmerk gilt dabei Kryokonit, dunklen Staubansammlungen auf der Gletscheroberfläche. Kryokonit entsteht, wenn Staub, organisches Material auf das Eis geweht wird und sich dort ansammelt. Ergänzt wird dies durch kleine Steine und weitere Schmutzpartikel.

In sogenannten Kryokonitöchern bilden Mikroben Biofilme. Diese Biofilme bestehen aus einer vielfältigen Gemeinschaft von Bakterien und Mikroalgen. Die Mikroben nutzen die Struktur der Mineralkörner im Staub, um günstige Lebensbedingungen zu schaffen. Durch ihre Aktivität produzieren sie organisches Material und Farbstoffe, die das Kryokonit noch dunkler machen können. Zusätzlich sorgt dieser Prozess auch dafür, dass sich die schwarzen Kryokonitflecken vergrößern und ausbreiten können.

Dunkle Oberflächen absorbieren mehr Sonnenlicht, was zu einer lokalen Erwärmung führt. Dadurch schmilzt das umgebende Eis schneller. Dieser Prozess wird durch Mikroben beschleunigt, die damit eine bisher unterschätzte Rolle im Ökosystem Gletscher spielen. Sie tragen dazu bei, dass Gletscher schneller schmelzen, was wiederum Auswirkungen auf den globalen Klimawandel hat. Diese Erkenntnisse helfen uns, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen und ihrer Umwelt besser zu verstehen und die Auswirkungen des Klimawandels genauer zu modellieren.

Zum Rucksack:



4a

Hot Stone, Cold Ice

Wie wirken sich schwarze und weiße Flächen aus?



Fragestellung

- Was macht die schwarze Schicht mit dem Gletscher?
- Warum sind Steine in den Schnee eingesunken?
- Wie entsteht die Randkluft?



Experiment

Infrarotkamera:



Lichtmesser:



Beobachtung

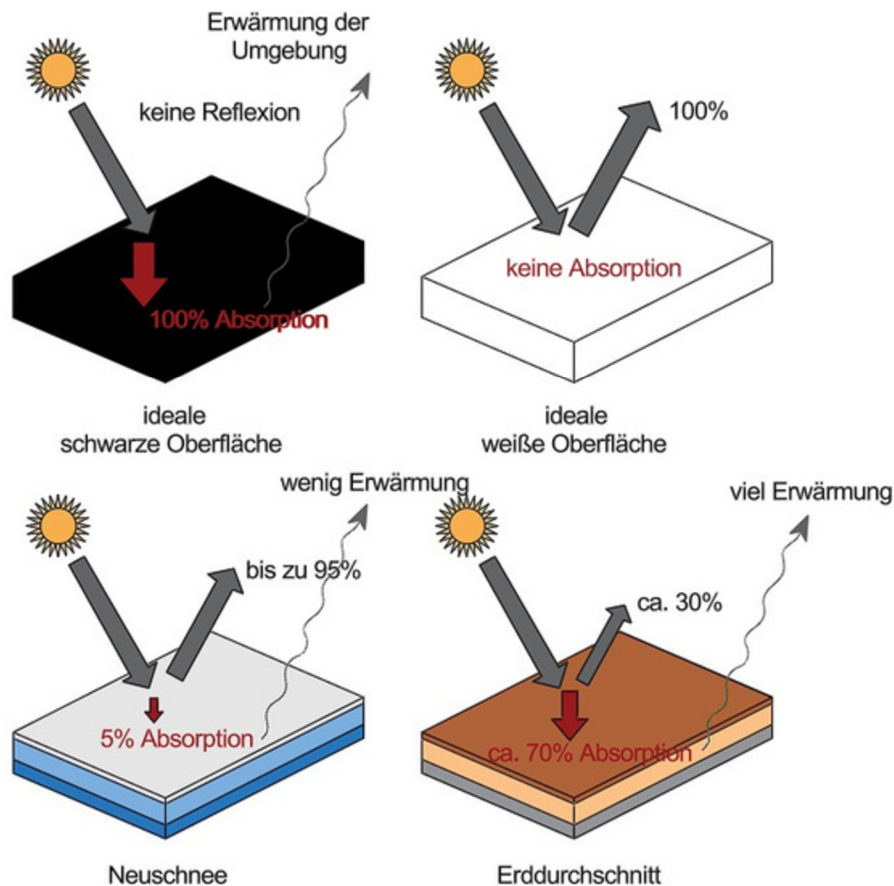
Probe/Objekt	Farbe und Oberfläche	Temperatur [°C]	Reflexion [Lux]



(kurze) Erklärung

Das Albedo beschreibt, wie stark eine Oberfläche das einfallende Sonnenlicht reflektiert. Dieser Wert wird in Prozent angegeben und hat große Auswirkungen auf die Erwärmung von Oberflächen.

Weißer Schneeflächen haben ein sehr hohes Albedo von etwa 80-90%. Sie reflektieren also den Großteil des Sonnenlichts und bleiben dadurch kühl. Der Lichtmesser zeigt eine hohe Reflexion, die Wärmebildkamera niedrige Temperaturen.



Dunkle Gesteine besitzen ein niedriges Albedo von nur 5-15%. Sie absorbieren fast das gesamte Sonnenlicht und wandeln es in Wärme um. Dies führt dazu, dass dunkle Steine sich durch die Sonneneinstrahlung stark erwärmen und diese Wärme an den umgebenden Schnee abgeben, wodurch dieser schmilzt. Der Stein sinkt so in den Schnee ein.

Blick in die Forschung

❄ Hier findest du einen Artikel über den Energiehaushalt der Erde



❄ Hier geht es zu einer wissenschaftlichen Publikation für Schüler:innen über Albedo in der Arktis und Antarktis



4b

Schwarze Löcher im Eis

Analyse von Kryokonit



Fragestellung

- Was ist die schwarze Schicht auf dem Gletscher?
- Was ist die schwarze Substanz in den Löchern?

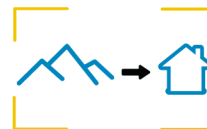


Experiment

Sammeln und
Trocknen von
Kryokonit:



Analyse von
Kryokonit:



Beobachtung



Erklärung


Kryokonit ist ein dunkles, staubartiges Material, das sich in kleinen Löchern und Vertiefungen auf Gletscheroberflächen ansammelt. Der Name stammt aus dem Griechischen und bedeutet "Eisstaub". Kryokonit besteht aus einer Mischung verschiedener Materialien.

Anorganische Bestandteile bilden den Hauptanteil. Dabei handelt es sich um feinen Gesteinsstaub, der durch Wind über weite Strecken transportiert wird. Auf dem Dachsteingletscher stammt dieser Staub hauptsächlich aus dem umgebenden Kalkgebirge – deshalb lässt sich mit dem Salzsäure-Test nachweisen, dass es sich um Kalkstein (Calciumcarbonat) handelt. Die Salzsäure reagiert mit dem Kalk unter Bildung von Kohlendioxid, was durch das charakteristische Aufschäumen sichtbar wird.




Organische Bestandteile machen einen kleineren, aber wichtigen Teil aus. Dazu gehören Pollen, Pflanzenfasern, Bakterien, Algen und andere Mikroorganismen. Diese können durch Verbrennen zerstört werden, wodurch nur die anorganischen Reste übrig bleiben.

Der dunkle Staub wird durch Wind auf die Gletscheroberfläche getragen. Aufgrund seines niedrigen Albedos (geringe Reflexion) erwärmt er sich in der Sonne stark und schmilzt das umliegende Eis. Dadurch entstehen die charakteristischen kleinen Löcher, in denen sich immer mehr Kryokonit ansammelt. Kryokonit beschleunigt das Abschmelzen von Gletschern erheblich, da die dunklen Bereiche mehr Sonnenwärme absorbieren als das helle Eis. Diese positive Rückkopplung verstärkt den Schmelzprozess und macht Kryokonit zu einem wichtigen Faktor beim Gletscherschwund.

Blick in die Forschung

 Hier gelangst du zu einem Beitrag auf Scinexx.





 Hier geht es zu einer wissenschaftlichen Publikation über Kryokonit.



Rucksack 5

Geophysik



Wie kann man herausfinden, was unter der Oberfläche eines Gletschers oder im gefrorenen Boden passiert? Und welche Möglichkeiten gibt es, diese empfindlichen Systeme zu schützen? Mit solchen Fragen beschäftigen sich die Geophysik und das Geoengineering.

Die Geophysik nutzt physikalische Methoden, um verborgene Strukturen der Erde sichtbar zu machen. Anstatt zu graben, messen Forscherinnen und Forscher zum Beispiel elektrische Eigenschaften des Untergrunds, um herauszufinden, wo sich Eis, Wasser oder gefrorener Boden befinden. So lässt sich auch die Dicke von Permafrost bestimmen oder beobachten, wie sich dieser im Laufe der Zeit verändert.

Das Geoengineering geht noch einen Schritt weiter: Hier wird untersucht, wie man gezielt in natürliche Systeme eingreifen kann, um sie zu schützen oder Veränderungen abzuschwächen. Ein Beispiel dafür ist das Abdecken von Gletschern mit speziellen Vliesen, die das Schmelzen verlangsamen.

In diesem Kapitel lernst du beide Perspektiven kennen. Du untersuchst, wie Wind unsere Wahrnehmung von Temperatur beeinflusst, wie Gletscher durch einfache Maßnahmen geschützt werden können und wie man mit Messmethoden wie der elektrischen Widerstandstomographie (ERT) einen Blick in den Untergrund wirft.

Zum Rucksack:





Windchill

Wie funktioniert ein Gletscherfließ?



Fragestellungen

- Warum ist der Gletscher in ein Vlies eingepackt?
- Wie funktioniert ein Gletschervlies?



Experiment



Wickle eine kleine Aluminiumflasche mit einem Filz ein und messe die Temperatur.



Beobachtung

Messung	Temperatur in °C

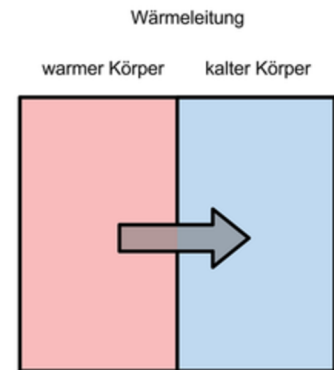


Erklärung

Wärme kann auf drei Weisen übertragen werden, sie fließt dabei immer von Bereichen höherer Temperatur zu kälteren:

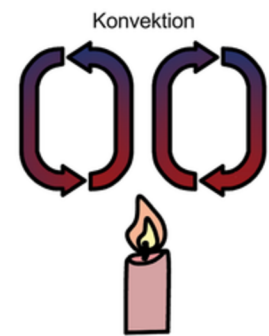
Wärmeleitung:

Energietransport durch mikroskopische Teilchenströße.
In Metallen tragen zusätzlich freie Elektronen wesentlich dazu bei.



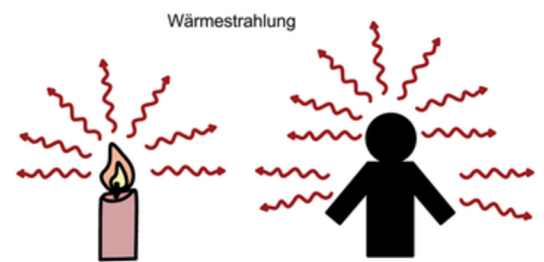
Konvektion:

Wärmeübertragung in Flüssigkeiten und Gasen durch Strömungen.
Freie Konvektion entsteht durch Dichteunterschiede infolge von Temperaturunterschieden (warme Luft steigt, kalte Luft sinkt).
Erzwungene Konvektion: durch äußere Kräfte wie Wind und Ventilatoren.



Strahlung:

Wärmetransport durch elektromagnetische Wellen, der kein Medium benötigt (z.B. Sonneneinstrahlung)



Blick in die Forschung

❄ Hier findet ihr ein Video des Senders "Deutsche Welle" zu den Gletschervliesen



❄ Hier gelangt ihr zu einem wissenschaftlichen Paper über Geotextilien und Gletscher



5b

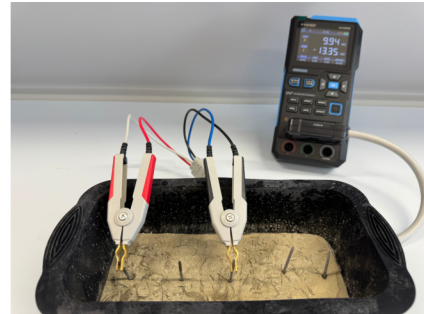
Messung des Permafrosts

Wie kann man messen, ob der Permafrost taut?



Fragestellungen

- Wie kann man die Dicke von Permafrost messen?
- Wie kann man feststellen, dass Permafrost taut?



Experiment



Messe die Dicke von Permafrost durch den Widerstand. Eis hat einen höheren Widerstand als Wasser. Wenn Eis taut, verringert sich somit der Widerstand. Schraube für die Messung Metallschrauben in Regelmäßigem Abstand in das Eis.



Beobachtung

Messung	Widerstand



Erklärung

In diesem Versuch misst du den elektrischen Widerstand des Eises direkt am Gletscher. Die Schrauben, die du ins Eis drehst, dienen dabei als Elektroden. Besonders wichtig ist, dass du mit einer **Vier-Punkt-Messung** (mit Kelvin-Klammern) arbeitest: Über zwei äußere Elektroden wird ein Strom durch das Eis geschickt, während zwei innere Elektroden die Spannung messen. Der Vorteil dieser Methode ist, dass Kontaktwiderstände – also der Übergang zwischen Schraube und Eis – das Ergebnis kaum verfälschen. So erhältst du eine deutlich genauere Bestimmung des tatsächlichen Widerstands des Materials.

Der gemessene Widerstand hängt stark davon ab, ob Wasser im Eis vorhanden und ob es gefroren oder flüssig ist. Flüssiges Wasser mit gelösten Ionen leitet Strom gut, während reines Eis ein schlechter Leiter ist. Unterschiede im Widerstand geben daher Hinweise auf die Struktur und den Zustand des Eises.

Ein ähnliches Prinzip wird in der Geophysik zur Untersuchung von Permafrost eingesetzt, allerdings in deutlich größerem Maßstab. Bei der **elektrischen Widerstandstomographie (ERT)** werden viele Elektroden entlang eines Profils in den Boden eingebracht. Über verschiedene Kombinationen von Strom- und Spannungselektroden wird der scheinbare Widerstand des Untergrunds gemessen. Aus diesen vielen Einzelmessungen wird anschließend mit Hilfe von Rechenverfahren ein zweidimensionales oder dreidimensionales Modell des Untergrunds erstellt. So lassen sich Bereiche mit hohem Widerstand (typisch für gefrorenen Boden) von Bereichen mit niedrigerem Widerstand (aufgetauter, wasserhaltiger Boden) unterscheiden.



Blick in die Forschung

❄ Hier gibt es mehr Infos zur Messung des Permafrost mittels ERT.



❄ Hier gibt es weitere Infos über Permafrost.





Virtuelle Gletscher



Dachsteingletscher (Österreich)



Luftbild:
basemap.at



Scanne die QR-Codes und wandere virtuell auf dem Gletscher.

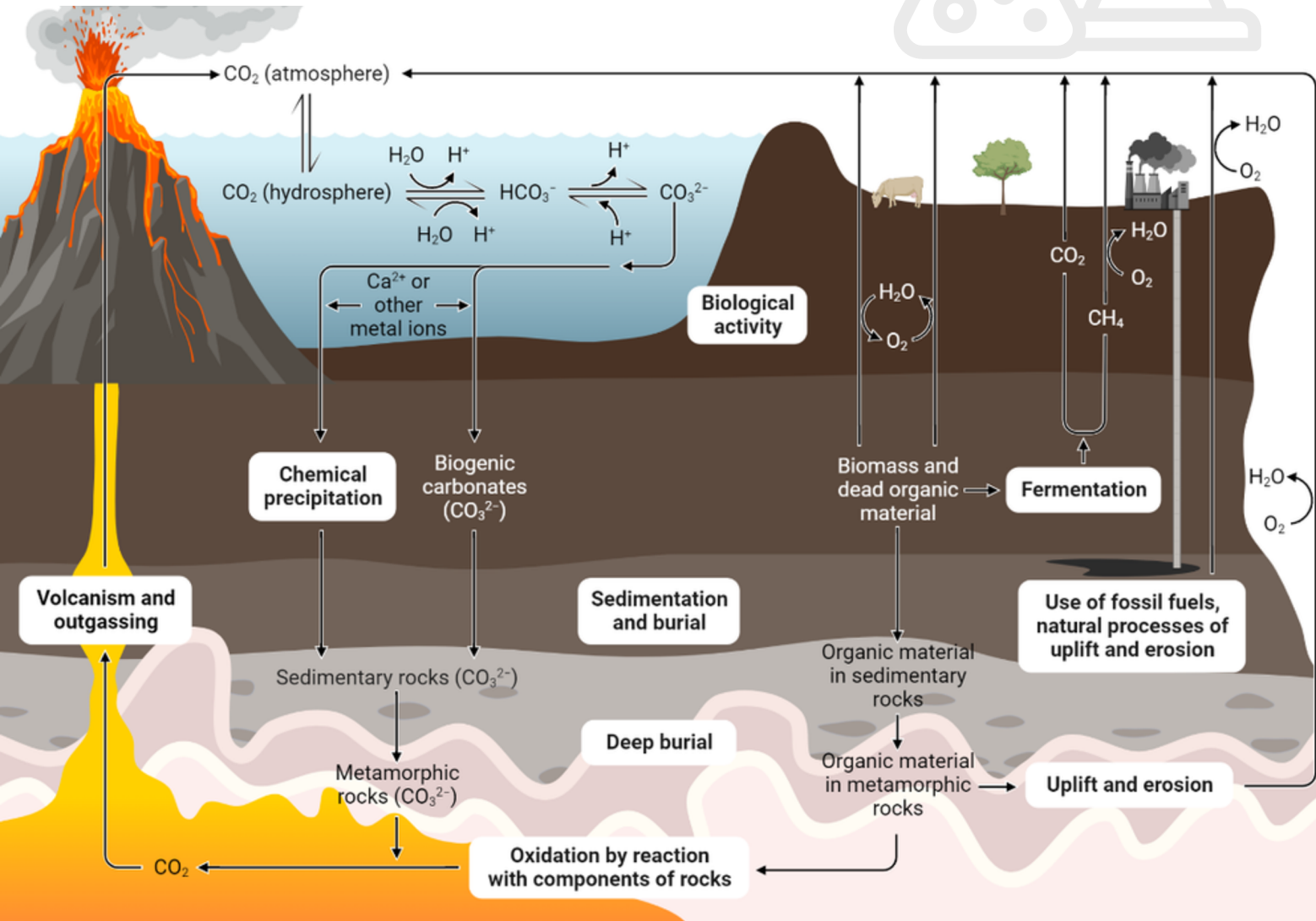


Zusatzrucksäcke

Hier findest du Experimente und Materialien zu euren Wunschthemen.

Rucksack CO₂

Der Dachstein als Kohlenstoffdioxid-Speicher



Bildquelle:

Lugano, G. (2023). The Carbon Cycle (Detailed).

<https://app.biorender.com/biorender-templates/t-650781f15ff5aa54b4b05e63-the-carbon-cycle-detailed>

In diesem Rucksack beschäftigt ihr euch mit dem Bergen als Kohlenstoffdioxidspeicher. Ihr lernt den geochemischen Kohlenstoffkreislauf kennen und geht dem Prinzip von Carbon Capture and Storage (CCS) auf den Grund.

Zum Rucksack:





Erklärung

In diesem Experiment simulieren wir im Kleinen, wie Kohlendioxid (CO₂) zur Erwärmung der Atmosphäre beiträgt.

Die Sonne sendet überwiegend kurzwellige Strahlung (sichtbares Licht und nahes Infrarot). Diese kann problemlos durch Glas und durch CO₂ hindurchdringen. Sie trifft auf die Oberfläche im Becherglas und erwärmt dort Wasser, Eis und Glasboden. Die erwärmten Oberflächen senden langwellige Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) zurück. Und genau hier liegt der Unterschied: CO₂-Moleküle können diese langwellige Infrarotstrahlung absorbieren (aufnehmen) und speichern einen Teil der Energie in Form von Schwingungen ihrer Molekülstruktur (Biegeschwingungen der O=C=O-Bindung). Danach geben sie die Energie wieder ab – aber nicht gerichtet, sondern zufällig in alle Richtungen. Ein Teil dieser Wärme wird also zurück ins Glas reflektiert.

Die Wärme bleibt länger im Becherglas eingeschlossen. Das CO₂ wirkt wie eine durchsichtige Wärmedecke. Im Vergleichsglas ohne CO₂ kann ein größerer Anteil dieser Wärmestrahlung einfach durch den Glasrand oder die Folie nach außen entweichen.

CO₂ verhält sich in diesem Experiment weitgehend inert – es reagiert nicht, sondern wirkt rein physikalisch als sogenanntes IR-aktives Molekül.

Das bedeutet: Es kann elektromagnetische Strahlung im infraroten Bereich selektiv absorbieren und emittieren, weil seine Molekülstruktur asymmetrische Schwingungen erlaubt. Andere Gase wie z. B. Stickstoff (N₂) oder Sauerstoff (O₂) können das nicht – sie sind IR-inaktiv.

Blick in die Forschung

❄ Hier findest du einen Artikel über die Rolle von Kohlenstoffdioxid als Klimagas.



❄ Hier findest du einen Artikel über 10 Dinge, die unser Klima beeinflussen.



6b

Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid im Wasser



Fragestellungen

- Wie löst sich Kohlenstoffdioxid in Wasser?
- Wann entsteht Kohlensäure?
- Löst sich mehr Kohlenstoffdioxid in warmen oder in kaltem Wasser?



Experiment



Leite Kohlenstoffdioxid in Wasser mit verschiedenen Temperaturen ein. Beobachte die Flasche und teste den pH-Wert.



Beobachtung



Erklärung

CO₂ ist ein Gas, das sich gut in Wasser lösen kann. Beim Schütteln vergrößerst du die Kontaktfläche zwischen Wasser und Gas, wodurch mehr CO₂ ins Wasser übergeht. Dabei wird es nicht nur physikalisch gelöst, sondern reagiert auch chemisch mit dem Wasser zu Kohlensäure (H₂CO₃). Ein Teil des CO₂ verschwindet also aus dem Gasraum in die Flüssigkeit. Weil nun weniger Gas im Luftraum vorhanden ist, sinkt der Druck in der Flasche. Von außen wirkt aber weiterhin der normale Luftdruck auf die Flasche – und da innen nun ein Unterdruck herrscht, wird die Flasche zusammengedrückt. Du kannst also direkt beobachten, wie CO₂ aus der Luft „verschwindet“ – zumindest vorübergehend – und in Wasser gebunden wird.

Genau dieser Prozess passiert auch in der Natur – in viel größerem Maßstab. Ozeane, Seen, Flüsse und sogar Regenwasser nehmen ständig CO₂ aus der Atmosphäre auf. Die Weltmeere sind daher eine der größten sogenannten CO₂-Senken der Erde: Sie speichern große Mengen Kohlenstoff, der sonst zur Erwärmung der Atmosphäre beitragen würde. Allerdings ist dieser Prozess empfindlich. Wird zu viel CO₂ aufgenommen, sinkt der pH-Wert des Wassers – es wird saurer. Das kann langfristig empfindliche Ökosysteme schädigen, etwa Korallenriffe oder planktonische Organismen, die eine wichtige Rolle im marinen Nahrungsnetz spielen.

Blick in die Forschung

❄ Hier gelangst du zur Zeitschrift World Ocean Review mit jeder Mege Artikel zur Rolle der Ozeane im Klimawande.

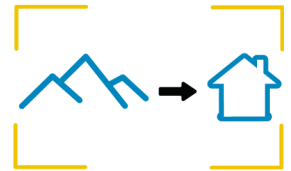


❄ Hier geht es zu einem Beitrag, wie schmelzende Gletscher Kohlenstoffdioxid speichern können.





Speicherung von Kohlenstoffdioxid



Fragestellungen

- Wie kann man Kohlenstoffdioxid speichern?
- Wie funktioniert der geochemische Kohlenstoffkreislauf?
- Kann man Kohlenstoffdioxid zu Stein verwandeln?



Experiment



In diesem Experiment gehst du der Speicherung von Kohlenstoffdioxid mit Hilfe von Basalt im Modellexperiment nach.



Beobachtung



Erklärung

Zunächst löst sich das CO_2 aus dem Gasraum im Wasser und bildet Kohlensäure. Diese reagiert mit den Mineralien im Basaltgestein – vor allem mit Calcium-, Magnesium- und Eisenverbindungen. Dabei entstehen Hydrogencarbonat-Ionen, die das CO_2 nun chemisch gebunden in der Flüssigkeit halten. Der CO_2 -Gehalt in der Luft der Flasche sinkt, der Innendruck fällt ab – und die Flasche wird durch den äußeren Luftdruck zusammengedrückt. Die sichtbare Verformung ist also ein indirekter Nachweis dafür, dass CO_2 im Inneren „verschwunden“ ist.

Dieses Prinzip wird auch in der realen Welt genutzt: In bestimmten Regionen – etwa in Island oder im Oman – wird CO_2 aus Industrieanlagen aufgefangen, in Wasser gelöst und tief in poröses vulkanisches Gestein wie Basalt gepresst. Dort reagieren die Mineralien über längere Zeit mit dem gelösten CO_2 und wandeln es schließlich in feste Karbonate wie Kalkstein um. So wird aus einem unsichtbaren Klimagas ein fester Bestandteil des Gesteins. Dieser Prozess ist unter dem Begriff Carbon Capture and Storage (CCS) bekannt – in diesem Fall in Form von Carbon Mineralization, also der Umwandlung von CO_2 in „Stein“.

In unserem Schulversuch läuft dieser Prozess allerdings nicht vollständig ab. Unter den einfachen Bedingungen in der PET-Flasche – bei Raumtemperatur und ohne hohen Druck – endet die Reaktion meist bei der Bildung von Hydrogencarbonat. Das CO_2 ist damit zwar gebunden, aber noch nicht dauerhaft im Gestein gespeichert. Dennoch zeigt das Experiment anschaulich, wie CO_2 durch natürliche Prozesse entfernt und gespeichert werden kann – und wie geologische Materialien wie Basalt dabei helfen können, den CO_2 -Gehalt der Atmosphäre langfristig zu senken.

Blick in die Forschung

❄ Hier findest du einen Artikel über die Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Basalt



❄ Hier geht's zu einem Artikel über die Menge an gespeichertem Kohlenstoffdioxid in Bäumen





WISSENSCHAFTS
WERKSTATT

www.gletscherlabor.at

