

Aufgabe 1

EIS

9. Mai 2017

LAND:

Team:



Allgemeine Hinweise

Ihr habt 4 Stunden Zeit zur Verfügung um die Experiment durchzuführen.

**Tragt während dem Aufenthalt im Labor ständig Laborkittel und Schutzbrille.
Brillenträger müssen keine zusätzliche Schutzbrille tragen.**

Essen und Trinken ist im Labor strengstens verboten.

Im Fall von Hautkontakt mit Chemikalien müsst ihr die entsprechenden Stellen sofort mit Leitungswasser abspülen.

Alle Notiz- und Schmierblätter müssen am Ende des Versuchs abgegeben werden.

Alle Ergebnisse müssen in den **gelben Antwortbogen** eingetragen werden.

Nicht vergessen die Graphen zusammen mit dem Antwortbogen abzugeben.

Nur der gelbe Antwortbogen und die hinzugefügten Graphen werden bewertet.

Die Aufgabe 1 besteht aus 4 Experimenten.

Experiment 1: 32 Punkte

Experiment 2: 32 Punkte

Experiment 3: 20 Punkte

Experiment 4: 26 Punkte

Einleitung

Herzlich Willkommen im Eislabor. Dies wird euer Arbeitsplatz für die nächsten Stunden sein. Ihr werdet das Klima und die Lebensbedingungen der Vergangenheit untersuchen.

Der steigende Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre ist die primäre Ursache des Klimawandels. Experten diskutieren intensiv über den zu erwartenden weltweiten Temperaturanstieg und ob dies zu einer verstärkten Eisschmelze in den Polargebieten führen wird. Dazu gehört auch das Inlandeis in Grönland. Solch eine Eisschmelze kann zu einem Anstieg der Meeresspiegel um mehrere Meter führen.

Wenn wir in der Lage sein wollen, das zukünftige Klima vorherzusagen ist es von großer Bedeutung das Wissen und Verständnis über das Klima der Vergangenheit zu verbessern. Eine dafür eingesetzte Methode ist die Untersuchung von Eisbohrkernen. Diese Proben aus der Eisschicht werden durch Bohrungen von der Oberfläche bis zum Felsuntergrund entnommen. In Grönland beträgt der Durchmesser der Eisschicht an manchen Stellen mehr als 3000 Meter. Eisbohrkerne ermöglichen es, Erkenntnisse über das Klima der Vergangenheit zu erhalten. Messungen der Eigenschaften des Eises sowie dessen Gehalt an Verunreinigungen und Luftblasen ermöglichen es Untersuchungen der Atmosphäre, Meere und Eisdecken der Vergangenheit mit hoher Präzision durchzuführen.

Ihr werdet Eisbohrkerne untersuchen, die an der Teststation NEEM in Grönland entnommen wurden, und werdet DNA-Fragmente aus Proben der Dye-3 Position analysieren. Zudem werdet ihr heute vorkommende Organismen aus sogenannten Kryokonitlöchern im arktischen Eis bestimmen. Anhand von physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen werdet ihr das Klima in früheren Zeiten bestimmen. Auf diese Art und Weise könnt ihr entscheidend zum Verständnis des Klimas in der Gegenwart und früheren Eiszeiten beitragen. Des Weiteren leistet ihr einen Beitrag zum Verständnis der Veränderungen von Klimasystemen und ermöglicht Voraussagen über die Reaktion der Eisdecke auf zukünftige Klimaveränderungen.

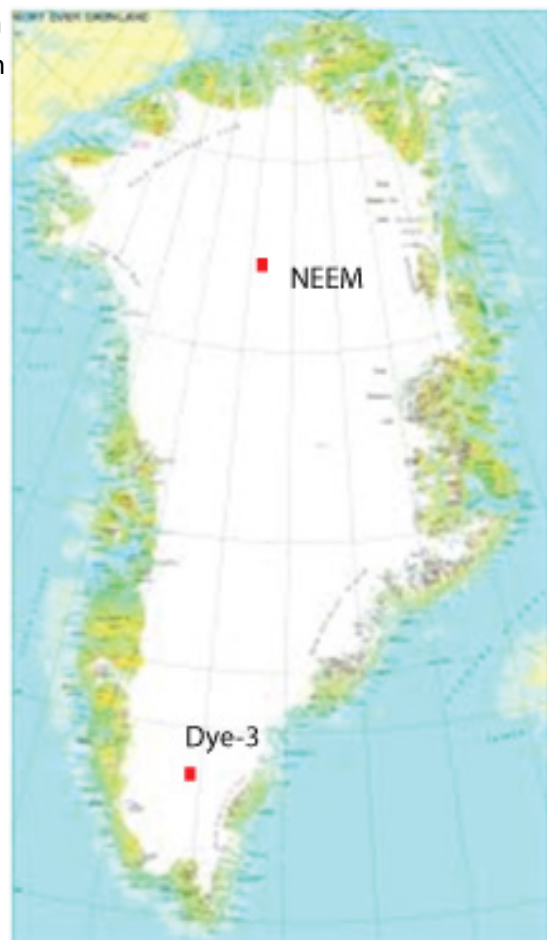


Abbildung 1.0. Grönland, nahe am Nordpol gelegen. Angegeben sind der Bohrort NEEM und die Position von Dye-3

Experiment 1

32 Punkte

Einleitung

Polare Eisbohrkerne erlauben wichtige Rückschlüsse auf das Klima in der Vergangenheit. Willi Dansgaard, ein Pionier der Forschung in diesem Gebiet, erkannte 1952, dass das Verhältnis der schweren zu den leichten Isotopen der Wassermoleküle des polaren Schnees stark mit der Atmosphärentemperatur zu der Zeit des Niederschlages korreliert. Daher können Untersuchungen der tiefer liegenden Schichten der grönländischen Eisschicht und des antarktischen Eisschildes Informationen über das Klima vor hunderten oder tausenden von Jahren liefern.

In dieser Aufgabe habt ihr die einmalige Möglichkeit, Messungen an Proben echter Eisbohrkerne aus Grönland durchzuführen. Als erstes sollt ihr die Dichte des Eises bestimmen und später, mit Hilfe moderner Laserspektroskopie, die Temperaturen in Grönland vor langer Zeit rekonstruieren.

Materialien

- 1 zylinderförmige Eisbohrkernprobe mit einer Dicke von etwa 2 cm
- 1 Becherglas, 1000 mL
- 1 Flasche kaltes deionisiertes Wasser
- 1 Laborwaage (Genauigkeit: $\pm 0,1$ g)
- 1 Kartoffelgabel
- 1 Thermometer
- 1 Plastikmessschieber
- Millimeterpapier
- 2 Flaschen mit Wasserproben von Eisbohrkernen – wird verteilt
- 2 Plastikpipetten
- 2 Probenfläschchen

1.1 Eisdichte

Die oberste Schicht des grönländischen Eises besteht aus dem Firnschnee, also Schnee aus dem letzten Jahr. Damit wird im Folgenden Eis bezeichnet, das durch einen Verdichtungsprozess aus Schnee entsteht. Eure erste Aufgabe ist die experimentelle Bestimmung der Dichte einer Probe eines echten Eisbohrkernes von dem grönländischen Eisschild.

Beachtet die folgenden Hinweise:

In dem folgenden Experiment sollt ihr mit Eis in einer Umgebung mit einer Temperatur über dem Gefrierpunkt arbeiten. Daher solltet ihr eure Geräte vorbereiten und die einzelnen Schritte der Untersuchung gründlich lesen und im Team planen, bevor ihr die Probe des Eisbohrkernes aus dem Gefrierschrank nehmt. Verzögerungen beim Experimentieren können zu unnötigem Schmelzen der Probe und damit zu schlechten Messwerten führen.

Aufgabenteil 1.1

Bearbeitet die folgenden Schritte:

Aufgabenteil 1.1.1

- a. Füllt den Messbecher mit 0,5 L kalten deionisierten Wassers aus dem Kühlschrank. Messt die Temperatur T_w des Wassers.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.1 auf dem Antwortbogen.*

- b. Bestimmt die Dichte ρ_w des Wassers bei der gemessenen Temperatur mit Hilfe des Graphen in **Abbildung 1.1**.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.1 auf dem Antwortbogen.*

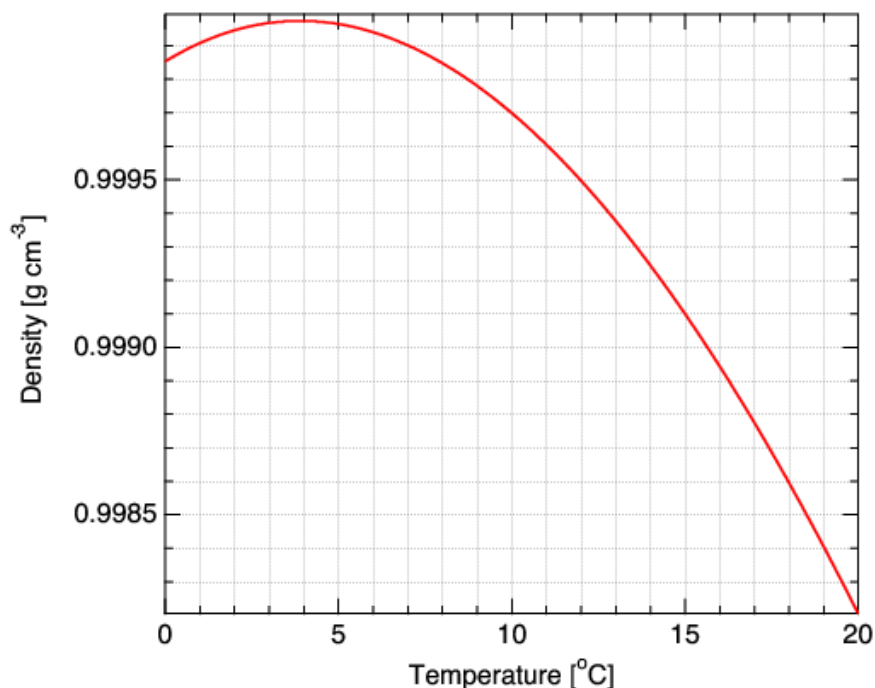


Abbildung 1.1. Wasserdichte (Density) als Funktion der Temperatur (Temperature).

Aufgabenteil 1.1.2

- c. Stellt den Messbecher auf die Waage und messt die Masse m_{w+g} des Bechers mit dem Wasser.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.2 auf dem Antwortbogen.*

- d. Holt die Eisbohrkernprobe aus dem Gefrierschrank.
- e. Bestimmt mit dem Messschieber den Durchmesser D_{ice} und die Dicke H_{ice} eurer Probe.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.2 auf dem Antwortbogen.*

- f. Legt die Eisbohrkernprobe in das Wasser. Bestimmt die neue Masse $m_{\text{g+w+ice}}$.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.2 auf dem Antwortbogen.*

- g. Drückt mit der Kartoffelgabel das Eis unter Wasser. Notiert den neuen Messwert $m_{\text{g+w+ice+Kraft}}$.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.2 auf dem Antwortbogen.*

Aufgabenteil 1.1.3

- h. Berechnet das Volumen V_{ice} der Probe.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.3 auf dem Antwortbogen.*

- i. Berechnet die Masse m_{ice} der Eisbohrkernprobe.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.3 auf dem Antwortbogen.*

- j. Verwendet die Ergebnisse aus den Schritten h und i, um die Dichte ρ_{ice} des Eises zu bestimmen.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.3 auf dem Antwortbogen.*

- k. Verwendet die Ergebnisse aus den Schritten g und i, um eine zweite Abschätzung der Dichte ρ'_{ice} des Eises durchzuführen. Gebt alle Schritte eurer Rechnung an.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.3 auf dem Antwortbogen.*

Aufgabenteil 1.1.4

In diesem Aufgabenteil sollt ihr die Unsicherheiten einiger eurer Ergebnisse mit Hilfe der Betrachtung maximaler und minimaler Werte abschätzen

- l. Berechnet die Differenz $\rho'_{\text{ice}} - \rho_{\text{ice}}$.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.4 auf dem Antwortbogen.*

- m. Ihr habt vermutlich bemerkt, dass die Anzeige $m_{\text{g+w+ice+Kraft}}$ der Waage für den Fall des mit der Kartoffelgabel unter Wasser gedrückten Eises nicht ganz stabil ist. Schätzt die Ungenauigkeit $\Delta m_{\text{g+w+ice+Kraft}}$ des angezeigten Wertes ab.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.4 auf dem Antwortbogen.*

- n. Schätzt die Unsicherheit $\Delta \rho'_{\text{ice}}$ mit Hilfe eures Ergebnisses in Schritt m ab.

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.4 auf dem Antwortbogen.*

- o. Nehmt an, dass die Beschaffenheit der Probe und die Unsicherheit bei der Messung mit dem Messschieber zu einer Unsicherheit von 0,2 mm bei den Größen D_{ice} und H_{ice} führen. Berechnet die Unsicherheiten ΔV_{ice} und $\Delta \rho_{\text{ice}}$ von V_{ice} und ρ_{ice} .

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.1.4 auf dem Antwortbogen.*

1.2 Verdichtung von Schnee zu Eis und Druck im Eis

Der Druck, der zu der Verdichtung des Firms führt wird durch das Gewicht des Materials selbst verursacht. Daher nimmt die Dichte mit zunehmender Tiefe, wie in **Abbildung 1.2** gezeigt, zu. Die Dichte in einer Tiefe z ist gegeben durch die Formel:

$$p(z) = \frac{g \cdot m_z}{A}.$$

Dabei bezeichnet $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ die Schwerebeschleunigung auf der Erde und m_z die Masse der Eissäule, die sich oberhalb der Tiefe z auftürmt. Die Querschnittfläche dieser Eissäule sei A .

Aufgabenteil 1.2.1

Beantwortet mit Hilfe der obigen Formel und der **Abbildung 1.2**, ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind.

Aussage	Richtig	Falsch
$p(z)$ hängt ausschließlich von der Tiefe z ab.		
Bei ausreichend großen Tiefen verhält sich der Druck $p(z)$ nahezu wie eine lineare Funktion.		
$p(z)$ hängt von der Tiefe z und der Dichte $\rho(z)$ ab.		
$p(z)$ ist unabhängig von der Tiefe z .		
$p(z)$ ist unabhängig von der Querschnittfläche A der Eissäule.		

➤ *Markiert die korrekten Antworten unter 1.2.1 auf dem Antwortbogen.*

Aufgabenteil 1.2.2

Bestimmt näherungsweise die Dichte und den Druck des Eises in den folgenden Tiefen mit Hilfe der **Abbildung 1.2**.

Tiefe z [m]	Dichte ρ [kg m^{-3}]	Druck p [kPa]
0		
80		
160		
1000		

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.2.2 auf dem Antwortbogen.*

Mit unserer kleinen Bohrmaschine können Eisbohrkerne mit einem Durchmesser von 74 mm und einer Länge von 1 m aus Tiefen von bis zu 350 m gewonnen werden.

Aufgabenteil 1.2.3

Berechnet die Masse eines solchen Eisbohrkernes aus den folgenden Tiefen:

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.2.3 auf dem Antwortbogen.*

Tiefe z [m]	Masse m [kg]
80	
160	

Mit unserer großen Bohrmaschine können Eisbohrkerne mit einem Durchmesser von 98 mm und einer Länge von 4 m aus Tiefen bis zum Boden des Eisschildes gewonnen werden.

Aufgabenteil 1.2.4

Berechnet die Masse eines mit der großen Bohrmaschine aus den folgenden Tiefen gewonnenen Eisbohrkernes:

➤ *Notiert euer Ergebnis unter 1.2.4 auf dem Antwortbogen.*

Tiefe z [m]	Masse m [kg]
1000	
2000	

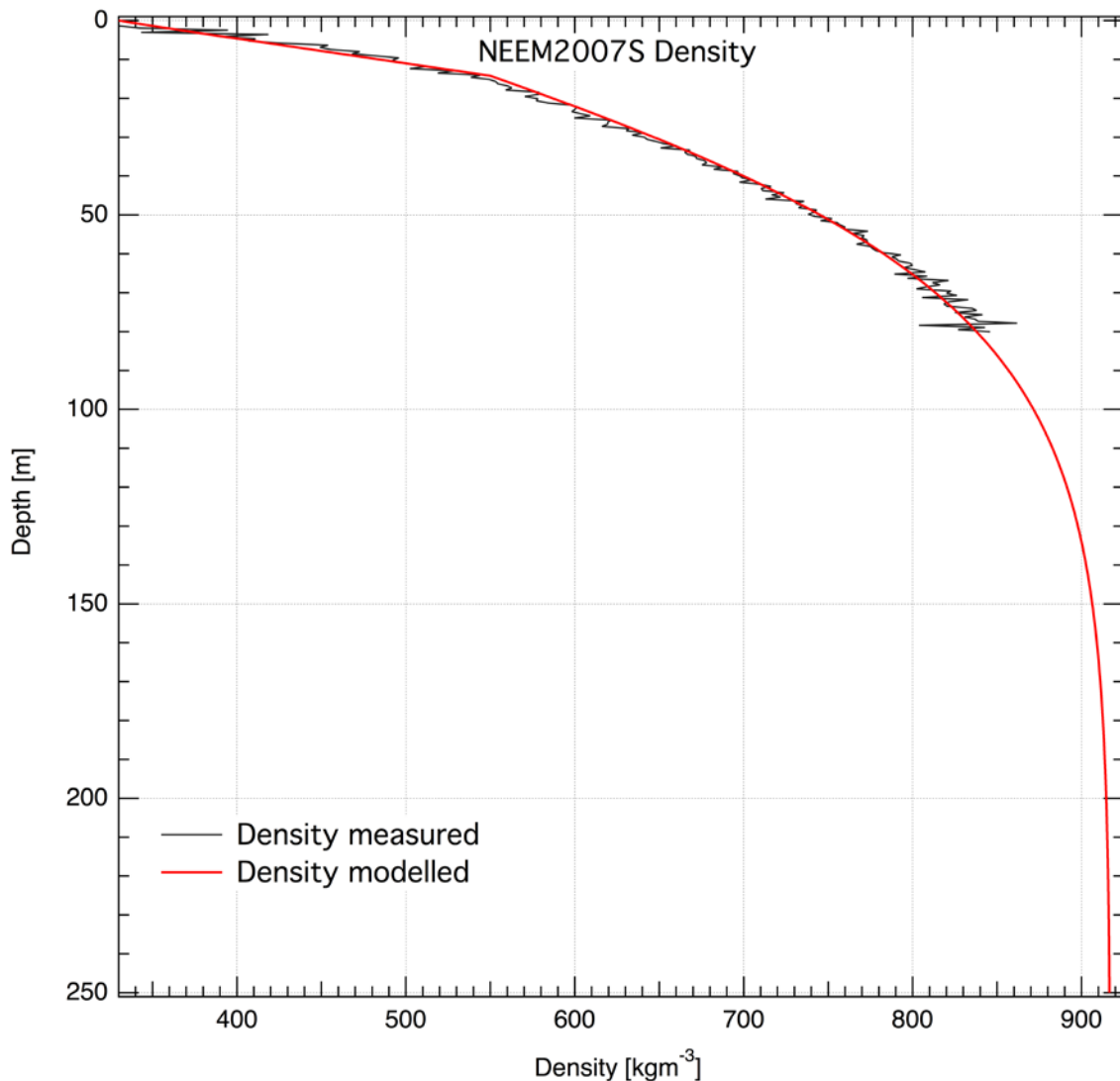


Abbildung 1.2. Dichte (*Density*) des grönländischen Eises als Funktion der Tiefe (*Depth*) (beachtet die Orientierung der Achsen).

1.3 Altersbestimmung von Eis und Isotope

Im nächsten Teil des Experimentes werdet ihr mit Proben aus den tieferen Teilen des NEEM Eisbohrkerns arbeiten. Der NEEM Eisbohrkern wurde zwischen 2007 und 2012 in Nordostgrönland gewonnen und enthält Eis von vorigen Warmzeiten zwischen Eiszeiten (interglaziale Zeiten).

Ihr erhaltet zwei Flaschen mit echten Eisbohrkernproben aus zwei unterschiedlichen Tiefen des Eisschildes. Ihr sollt das Alter beider Proben abschätzen, die Temperatur oberhalb des Eisschildes berechnen und am Ende Probengläschen für eine Isotopenuntersuchung mit einem Laserspektrometer vorbereiten.

Eisfluss

Normalerweise denken wir bei Eis an einen Feststoff. Tatsächlich ist Eis aber ein Material, das sich unter Druck wie eine Flüssigkeit verhalten kann. Dieses Verhalten zeigt sich insbesondere bei den Eisschilden in Grönland und der Antarktis. Jedes Jahr fällt eine neue Lage Schnee auf den Eisschild.

Wenn die jährliche Schneeschicht verdichtet wurde, führt die Eislast zu einer kontinuierlichen Dehnung und Verdünnung der Eisschichten. Wie in **Abbildung 1.3** angedeutet, besitzt eine Eisschicht mit einer anfängliche Dicke von 20 cm in einer Tiefe von 1000 m nur noch eine Dicke von etwa 10 cm (etwa 50 % des ursprünglichen Wertes).

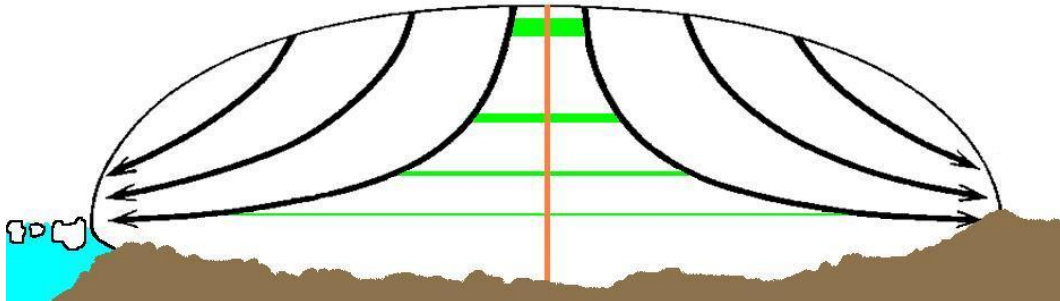


Abbildung 1.3. Eisfluss

Durch eine sehr präzise und hochaufgelöste Messung von Wasserisotopen und chemischer Verunreinigungen lässt sich die Dicke der jährlich deponierten Eisschichten in dem Eisbohrkern vermessen. In der folgenden Tabelle ist die Dicke der Eisschicht pro Jahr (**im Folgenden mit λ bezeichnet. Einheit: Meter pro Jahr**) basierend auf realen Daten des NEEM Eisbohrkernes angegeben.

Aufgabenteil 1.3.1

Erstellt mit Hilfe der Daten in **Tabelle 1** einen Graphen für λ als Funktion der Tiefe z auf Millimeterpapier. Bezeichnet den Graphen mit "Graph 1.3.1" und fügt ihn dem Antwortbogen bei.

➤ *Fügt "Graph 1.3.1" dem Antwortbogen bei.*

Tabelle 1

Tiefe z [m]	Dicke der Eisschicht pro Jahr λ [m/yr]
0	0,25
500	0,20
1200	0,10
1400	0,04
1500	0,0125

Alter des Eises

Die Größe λ ist für die Bestimmung des Alters einer Eisschicht sehr hilfreich. Wenn λ als Funktion der Tiefe bekannt ist, lässt sich der Zeitraum Δt , der in einer dünnen Schicht der Dicke Δz enthalten ist, bestimmen durch die Formel:

$$\Delta t = \frac{1}{\lambda} \cdot \Delta z$$

Für eine dicke Schicht zwischen den Tiefen z_1 und z_2 ist der entsprechende Zeitraum $t_2 - t_1$ durch die Fläche unter der $1/\lambda$ Kurve, wie in **Abbildung 1.4** gezeigt, gegeben.

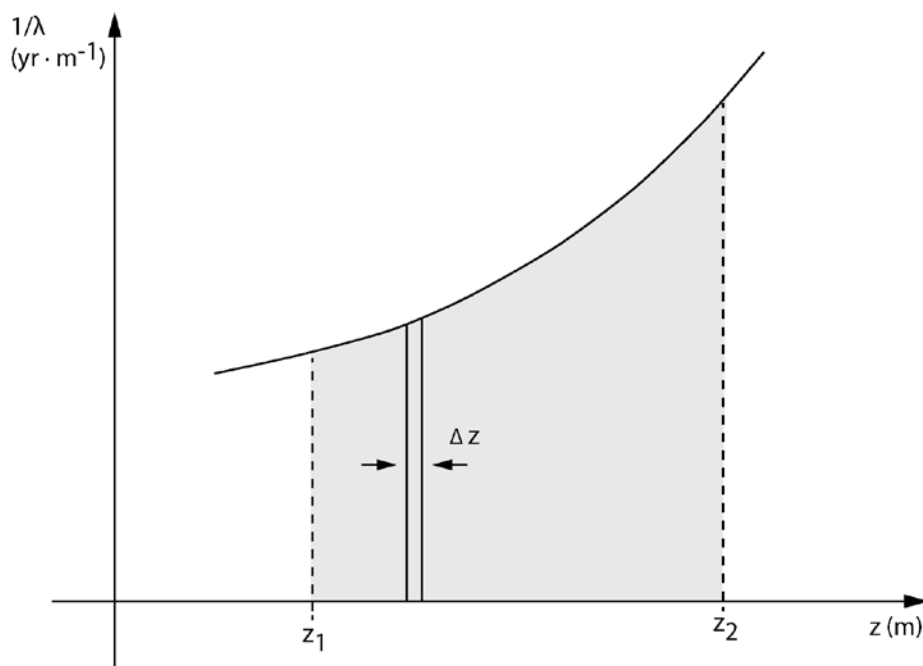


Abbildung 1.4

Aufgabenteil 1.3.2

Bestimmt mit Hilfe von **Tabelle 1** die Größe $1/\lambda$ für die Tiefen 0, 500, 1200, 1400 und 1500 m. Tragt die Größe $1/\lambda$ als Funktion von z auf. Verbindet die Punkte mit gerade Linien, um Berechnungen in dem folgenden Aufgabenteil zu vereinfachen. Bezeichnet den Graphen mit "Graph 1.3.2" und fügt ihn dem Antwortbogen bei.

➤ Fügt "Graph 1.3.2" dem Antwortbogen bei.

Aufgabenteil 1.3.3

Mit Hilfe des Graphen 1.3.2 könnt ihr das Alter des Eises aus einer gegebenen Tiefe bestimmen. Berechnet das Alter des Eises aus einer Tiefe von $z = 0, 500, 1200, 1400$ und 1500 m. Mit dem Alter ist damit die Anzahl der Jahre gemeint, die das Eis aus der Tiefe älter ist als das Eis an der Oberfläche. Erstellt einen neuen Graphen ("Graph 1.3.3"), der das Alter t als Funktion der Tiefe z darstellt.

➤ Fügt "Graph 1.3.3" dem Antwortbogen bei.

Isotopenverhältnis von Wasser im polaren Eis

Chemische Element mit der gleichen Protonenzahl (Ordnungszahl) aber unterschiedlicher Neutronenzahl werden Isotope genannt.

Wassermoleküle (H_2O) können demnach aus verschiedenen Wasserstoff- und Sauerstoffisotopen bestehen. Das bei weitem häufigste Wassermolekül besteht aus zwei ^1H und einem ^{16}O (wobei die hochgestellten Zahlen 1 und 16 die Nukleonenzahl (Massenzahl) bezeichnen). Die beiden nächsthäufigsten Varianten sind $^1\text{H}^{16}\text{O}^2\text{H}$ und $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$.

Diese molekularen Varianten nennt man Isotopomere. Sie haben die gleichen chemischen Eigenschaften, aber unterscheiden sich, wegen der Massendifferenz, bei physikalischen Eigenschaften wie Verdunstung und Diffusion.

Es wurde nachgewiesen, dass es einen Zusammenhang gibt zwischen den Temperaturänderungen über dem Eisschild und Änderungen der isotopischen Zusammensetzung der Wassermoleküle im Schnee aus dem sich das Eis bildet. Dies bedeutet: wenn wir die isotopische Zusammensetzung der Eisdecke von der Oberfläche bis zum Grund bestimmen können, dann können wir die historische Temperaturentwicklung in Grönland über mehrere zehntausend Jahre zurück rekonstruieren.

In der Isotopengeochemie wird die isotopische Zusammensetzung von Wasser im Vergleich zu einer gewissen Standardzusammensetzung ausgedrückt. Als internationaler Seewasserstandard gilt die Zusammensetzung des sogenannten *Vienna Mean Ocean Water* (VSMOW). Man nutzt die Größen $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$ um auszudrücken, wie stark die gemessene Isotopenzusammensetzung in einer Eisprobe von diesem Standard abweicht. δ ist eine relative Abweichung ohne Einheit und wird in Promille ausgedrückt. Je negativer der gemessene $\delta^{18}\text{O}$ Wert für eine Probe aus dem Eisschild ist, desto kälter war das Klima, als diese Eisschicht an der Oberfläche abgelagert wurde.

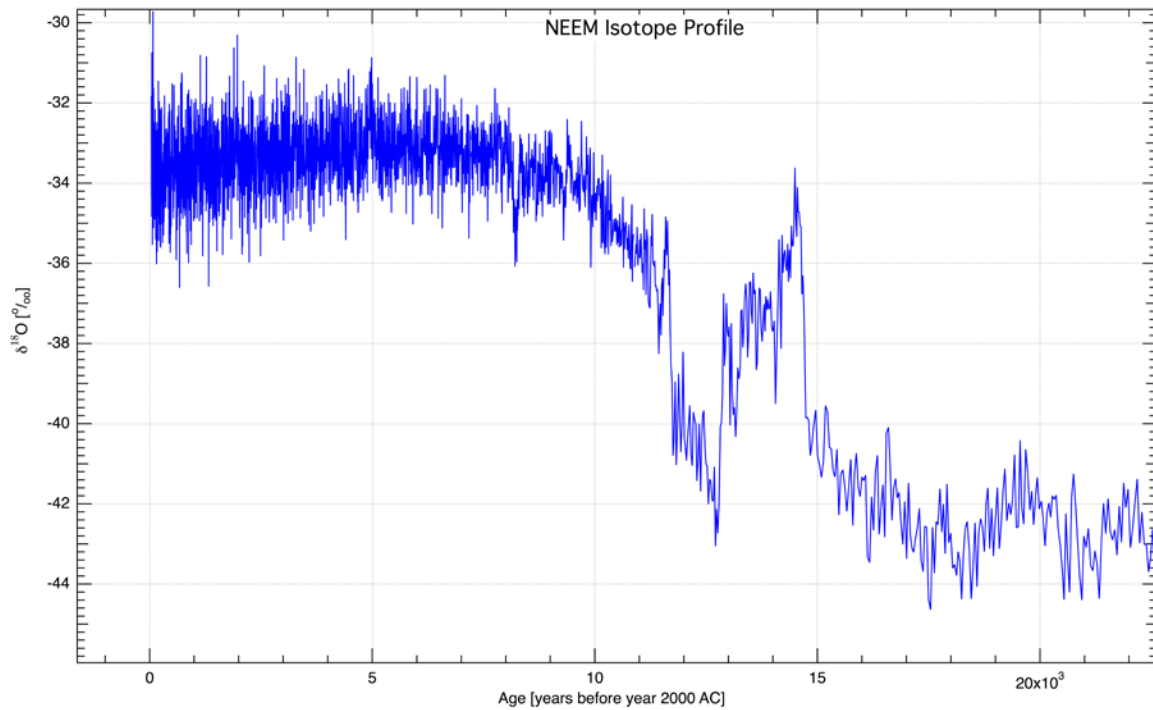
Ihr erhaltet zwei Plastikflaschen, die das Wasser von zwei Eisbohrproben enthalten. Die Tiefe, aus der jede Probe stammt, ist auf den Probeflaschen vermerkt. Dazu gibt es ein Diagramm, in dem das isotopische Profil von Wasser aus der NEEM Eisbohrung in Abhängigkeit vom Entstehungsalter der Eisschicht in Jahren vor 2000 dargestellt ist (**Abbildung 1.5**). Eine zweite ausgehängte Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Tiefe und Alter der Probe für die ersten 1700 m des NEEM Eisbohrkern (**Abbildung 1.6**).

Aufgabenteil 1.3.4

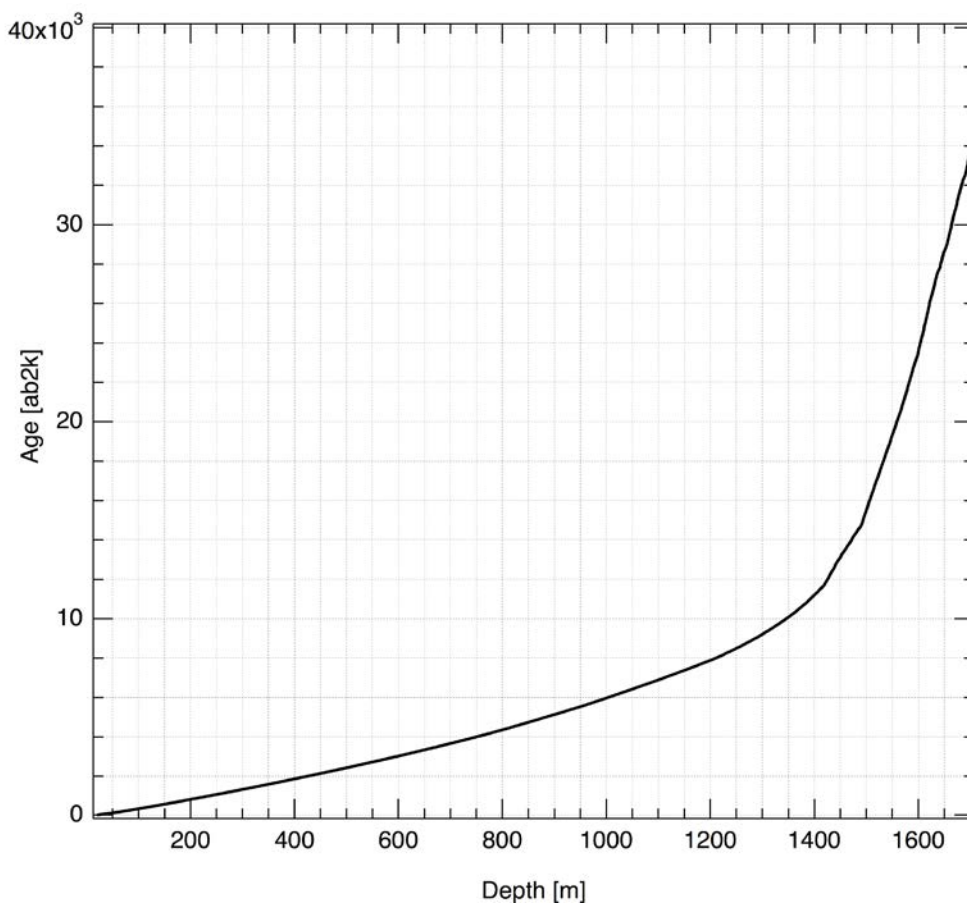
Ermittelt das Alter der Proben mithilfe der Abbildungen und markiert sie mit jeweils 2 vertikalen Linien in **Abbildung 1.5** und **Abbildung 1.6**. Leitet dann aus der grafischen Darstellung des Isotopenprofils für jede Probe eine Vorhersage für den $\delta^{18}\text{O}$ Wert ab.

Welche der beiden Proben stammt aus einer Zeit wo das Klima entscheidend kälter als heute war?

➤ *Tragt eure Antwort im Antwortbogen, Kasten 1.3.4 ein.*



Grafik 1.5. $\delta^{18}\text{O}$ in Funktion des Alters (in Jahren vor dem Jahr 2000) für die NEEM Bohrstelle.



Grafik 1.6. Der Tiefe-Alter Zusammenhang für die oberen 1700 m des NEEM Eiskörpers.

Aufgabenteil 1.3.5

Es gibt zwei verschiedene Modellvarianten für den Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem $\delta^{18}\text{O}$ Wert. Die erste Formel ist linear und die zweite quadratisch (T in $^{\circ}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ in Promille).

$$T = 1,5 \cdot \delta^{18}\text{O} + 20,45$$

$$T = -0,1 \cdot (\delta^{18}\text{O})^2 - 4,46 \cdot \delta^{18}\text{O} - 72,43$$

Benutzt jeweils die beiden Formeln, um die Temperatur über dem Eisschild zu der Zeit zu berechnen, als sich das Eis der beiden Proben abgelagert hat. Wie groß ist der Temperaturunterschied zwischen den beiden Proben?

➤ *Tragt eure Antworten in den Antwortbogen, Kasten 1.3.5 ein.*

Probenvorbereitung

Ihr sollt nun die beiden Eisbohrkernproben in Probengefäße überführen. Dafür stehen euch zwei Pipetten zur Verfügung. Ihr müsst jeweils etwa 1,5 mL Wasser aus den Probenfläschchen in die Probengefäße überführen. Die Probenvorbereitung ist dabei ein wichtiger Schritt, um Messunsicherheiten bei der Messung der Isotopenverhältnisse zu vermeiden.

Beachte die folgenden Punkte:

- Verdunsten der Proben kann die Isotopenzusammensetzung verändern.
- Vermischen der Probe mit anderem Wasser kann die Isotopenzusammensetzung verunreinigen.

Aufgabenteil 1.3.6

Fahrt mit der Überführung der Proben fort. Beschriftet die Probengefäße vorsichtig. Eure Proben werden nun über Nacht mit einem *Cavity Ring Down Laser Spectrometer* analysiert, um die Genauigkeit eurer Probenvorbereitung zu bewerten.

➤ *Bittet einen Laborassistenten, eure Proben einzusammeln und zu überprüfen.*

Aufgabenteil 1.3.7

Gebt an, ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind.

Aussage	Richtig	Falsch
Die Dauer, die die Probe der Laboratmosphäre ausgesetzt ist, kann einen Einfluss auf die Qualität der Messung haben.		
Beide Proben sollten mit derselben Pipette transferiert werden.		
Um die Auftrennung der Isotope zu minimieren, sollten die Proben so kalt wie möglich aufbewahrt werden.		
Die genaue Menge des in die Probengefäße transferierten Wassers ist entscheidend für die Qualität der Isotopenanalyse.		

➤ *Trage deine Antworten in den Antwortbogen, Kasten 1.3.7 ein.*

Kupfer- und Zinkgehalt in einem Eisbohrkern

Der Vulkan Laki auf Island brach am 8. Juni 1783 aus und die Eruption dauerte bis Februar 1784 an. Die Menge an Gasen und Asche, die in die Atmosphäre emittiert wurde, beeinflusste das gesamte Klima in Europa. Chemische Analysen von Eisbohrkernen, die von Bohrungen in Grönland stammen, geben wertvolle Informationen von solchen Ereignissen. Das Eis wurde durch gepressten Schnee aus jährlichen Schneefällen geformt. Jede jährliche Schicht gibt Auskunft über die Temperatur und die Zusammensetzung der Atmosphäre, auch über mögliche Inhaltsstoffe von Vulkanasche im Jahre des Schneefalls. Untersuchungen zeigten, dass die Vulkanasche Metalle beinhaltet.

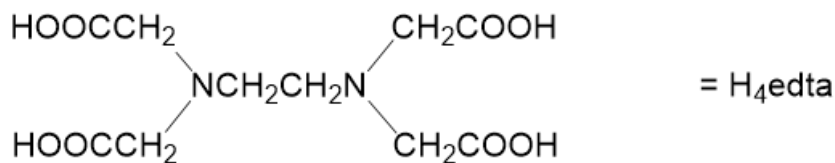
In diesem Experiment wird eine Einjahres-Schicht eines Eisbohrkerns auf die Metalle Kupfer und Zink untersucht. Durch Vergleich der Resultate mit anderen Bohrungen, könnt ihr zeigen, ob der Gehalt an Kupfer und Zink mit dem Ausbruch des Vulkans Laki in Verbindung gebracht werden kann.

Chemikalien und Materialien

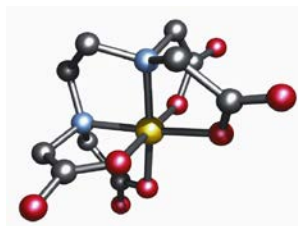
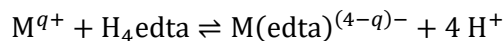
- Trichter
- Bürette, 25 mL
- Erlenmeyerkolben, 100 mL
- 3× Becherglas, 250 mL
- 3× Messzylinder, 10 mL
- Pipetten, 5, 10 (3×), 15, 20 (2×), 25 (2×) mL
- Peleusball
- 6× Messkolben, 100 mL
- Messkolben, 50 mL
- 10× Plastikküvetten, 10 mm
- Reagenzglas, 20 mL
- 10× Plastikpipetten, 1 mL
- 50 mL 0,20 M CH_3COOH /
1,7 M NaCH_3CO_2 Pufferlösung
- 10 mL 0,50 % Xylenol Orange
Indikatorlösung
- 50 mL 0,20 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ Lösung
- 250 mL 1,3 M NH_4Cl /7,0 M NH_3 , pH = 10
Pufferlösung
- 100 mL 0,0360 M $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2$ Lösung
- 250 mL 0,0170 M EDTA Lösung
- 150 mL (**Cu/Zn**) Probelösung
- Vernier SpectroVis Plus Spektrophotometer
- Computer
- Plastikwaschflasche
- Abfalleimer gekennzeichnet mit "X"
- Millimeterpapier

Für die Probenvorbereitung wurden 180,6 g Eis des Bohrkerns geschmolzen und quantitativ in einen 2000 mL Messkolben überführt. Dann wurde der Kolben mit Wasser bis zum Eichstrich aufgefüllt. Die vorgegebene Lösung (markiert mit (**Cu/Zn**)) ist 10^9 -fach konzentrierter als diese Ausgangslösung und wird für euer Experiment herangezogen. In diesem Experiment soll die Konzentration von Cu^{2+} und Zn^{2+} in der Probelösung (**Cu/Zn**) bestimmt werden. Die Zn^{2+} Konzentration wird mit einer EDTA-Titration bestimmt, die Cu^{2+} -Konzentration mittels Spektrophotometrie. Schließlich kann der Gehalt an Cu^{2+} und Zn^{2+} im Eisbohrkern berechnet werden.

A. EDTA (EthyleneDiamineTetraAcetate) Titration



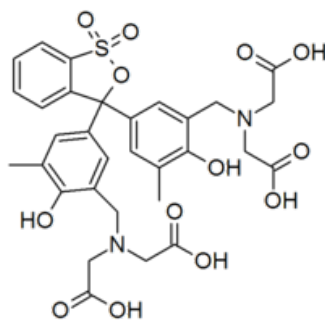
H₄edta, üblicherweise abgekürzt als EDTA, bildet sehr stabile Komplexe mit Metallionen M^{q+} durch Abgabe von H^+ Ionen:



$\text{M}(\text{edta})^{(4-q)-}$

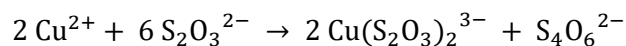
Das ist der Grund, warum viele Metallionen in einer nicht zu sauren Lösung mit EDTA titriert werden können (komplexometrische Titration).

Der Äquivalenzpunkt wird mit einem Metallionen-Indikator bestimmt (in eurem Fall wird Xylenol Orange verwendet, der bei gegebenen pH mit dem Metallion vor dem Äquivalenzpunkt eine rote Farbe und nach dem Äquivalenzpunkt eine gelbe Farbe ergibt). Als Titrierlösung wird eine Lösung von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{edta} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (hier als EDTA-Lösung bezeichnet) verwendet.

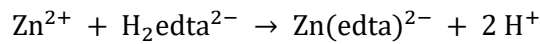


Xylenol Orange

In der folgenden EDTA-Titration ist Cu^{2+} durch die Reaktion mit im Überschuss vorhandenen Thiosulfat $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ "maskiert":



Der entstehende Komplex $\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ reagiert nicht mit $\text{H}_2\text{edta}^{2-}$. Zn^{2+} bildet jedoch keinen Komplex mit Thiosulfat und reagiert somit mit $\text{H}_2\text{edta}^{2-}$. In der folgenden EDTA-Titration wird nur der Zn^{2+} Gehalt bestimmt:



Die vorgegebene Bürette wurde mit deionisiertem Wasser befüllt. Entleert nun die Bürette und spült und befüllt sie anschließend mit 0,0170 M EDTA-Lösung. Überführt nun 10,00 mL Probenlösung (**Cu/Zn**) mit einer Pipette in einen 100 mL Erlenmeyerkolben. Gebt dann 5 mL Essigsäure/Acetat Pufferlösung (0,20 M CH_3COOH / 1,7 M NaCH_3CO_2) und 5 mL 0,20 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ Lösung hinzu. Gebt zur farblosen Lösung 6 Tropfen der 0,5 %-igen Xylenol Orange Lösung hinzu. Titriert diese Lösung nun mit EDTA Lösung, bis die Farbe von Rot auf Zitronengelb umschlägt.

Aufgabenteil 2.1

- *Schreibt das Volumen der Titrierlösung V_1 in den Antwortbogen unter 2.1.*

Gebt die titrierte Lösung aus dem Erlenmeyerkolben in den Abfalleimer mit der Kennzeichnung "X". Wiederholt die die Titration zweimal und schreibt Werte für V_1 im Antwortbogen unter 2.1.

- *Berechnet den Mittelwert $V_{1,av}$ und schreibt das Ergebnis in den Antwortbogen unter 2.1.*

Aufgabenteil 2.2

Berechnet $[\text{Zn}^{2+}]$ in der Probenlösung an (**Cu/Zn**) mit Hilfe von $V_{1,av}$.

- *Zeigt eure Berechnung und schreibt das Resultat in den Antwortbogen unter 2.2.*

Aufgabenteil 2.3

Warum reagiert $\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ nicht mit $\text{H}_2\text{edta}^{2-}$?

- *Wählt die richtigen Antworten im Antwortbogen unter 2.3 aus.*

Aufgabenteil 2.4

Ethansäure, CH_3COOH , ist eine schwache Säure mit einer Dissoziationskonstante $K_a = 1,78 \cdot 10^{-5}$ M, wobei K_a wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

- *Löst die Gleichung nach $[\text{H}_3\text{O}^+]$ auf und schreibt den Ausdruck in den Antwortbogen unter 2.4.*

Berechnet $[\text{H}_3\text{O}^+]$ in der Ethansäure/Ethanoat-Pufferlösung.

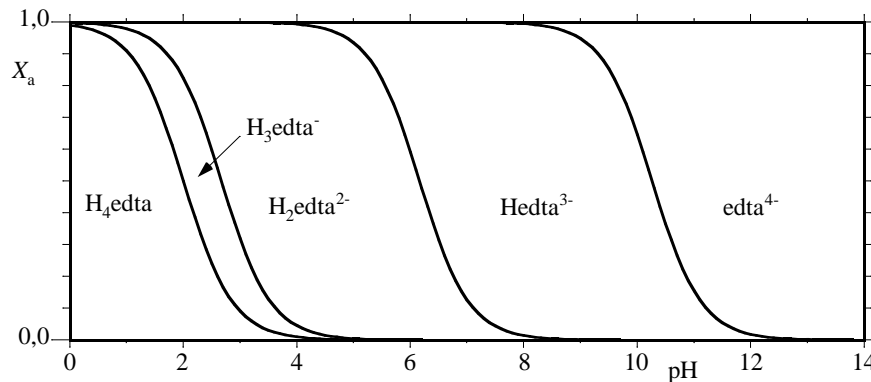
- *Zeigt die Resultate im Antwortbogen unter 2.4.*

Berechnet den pH in der Pufferlösung.

- *Schreibt den Ausdruck und das Ergebnis in den Antwortbogen unter 2.4.*

Für eine Lösung, die ein korrespondierendes Säure-Base-Paar beinhaltet, gibt der Molenbruch X_a der Säure den Anteil des korrespondierenden Säure-Base-Paares an, der in saurer Form vorliegt. Der Molenbruch X_a der Säure ist abhängig vom pH-Wert der Lösung. Dieser Zusammenhang zwischen

dem pH-Wert und X_a eines korrespondierenden Säure-Base-Paars kann über einen sogenannten Bjerrum Plot graphisch ausgedrückt werden. $H_4\text{edta}$ ist eine vierwertige Säure mit den pK_a -Werten $pK_{a1} = 1,99$, $pK_{a2} = 2,67$, $pK_{a3} = 6,16$, $pK_{a4} = 10,22$. Mit diesen Werten kann der Bjerrum Plot des EDTA-Systems konstruiert werden:



Bjerrum-Plot für das EDTA-System.

Aufgabenteil 2.5

Verwendet den Bjerrum-Plot, um abzuschätzen, ob eine wässrige Lösung von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{edta} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sauer, basisch oder neutral ist und begründet eure Antwort durch eine Markierung an der pH-Achse des Bjerrum-Plots.

➤ *Schreibt die Antwort in den Antwortbogen unter 2.5.*

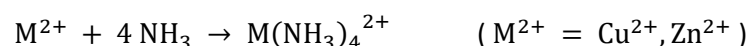
B. Fotometrie

Farbige Stoffe absorbieren Licht im sichtbaren Spektralbereich ($\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$). Dabei hängt die Extinktion (A vom engl. *absorbance*) der Lösung einer Komponente S in einer Küvette von der optischen Weglänge (l), der Konzentration dieser Komponente $[S]$ und dem wellenlängen-abhängigen molaren Extinktionskoeffizienten (ϵ) ab:

$$A = \epsilon \cdot [S] \cdot l$$

Diese Gleichung wird auch als Lambert-Beersches Gesetz bezeichnet.

Die Metallionen Cu^{2+} und Zn^{2+} reagieren in wässrigen Lösungen quantitativ mit Ammoniak, wobei die Verbindungen $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ und $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ gebildet werden:



Bei einer bestimmten Wellenlänge ergibt sich die Extinktion einer solchen Lösung aus der Summe der Extinktionen aller Komponenten der Lösung:

$$A = A(\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}) + A(\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+})$$

Oder umgeformt:

$$A = \varepsilon(\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}) \cdot [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}] \cdot l + \varepsilon(\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}) \cdot [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}] \cdot l$$

Im gesamten sichtbaren Spektralbereich gilt $\varepsilon(\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}) = 0 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Damit ergibt sich die Extinktion einer wässrigen Lösung, die Cu^{2+} , Zn^{2+} sowie NH_3 im Überschuss enthält, zu:

$$A = \varepsilon(\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}) \cdot [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}] \cdot l$$

Ihr bestimmt die Extinktion mit einem Vernier SpectroVis Plus Spektrophotometer, das mit einem Computer verbunden ist. Die optische Weglänge der Küvetten beträgt $l = 1,00 \text{ cm}$. Im Folgenden nutzt ihr einen Ammonium/Ammoniak-Puffer (1,3 M NH_4Cl / 7 M NH_3 , pH = 10) als Ammoniak-Quelle sowie eine 0,0360 M Kupfer(II)-Perchlorat-Lösung ($\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2$) als Cu^{2+} -Quelle.

Bereitet sechs Lösungen (**1-6**) mit einer bekannten Konzentration an $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ vor, indem ihr Teile der 0,0360 M $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2$ -Lösung in sechs verschiedene 100 mL Messkolben überführt. Pipettiert dazu 0; 5,00; 10,00; 15,00; 20,00 und 25,00 mL der Lösung in die verschiedenen Kolben. Gebt zu jedem Kolben 20 mL des Ammonium/Ammoniak-Puffers (1,3 M NH_4Cl / 7 M NH_3 , pH = 10). Füllt die Kolben anschließend bis zum Eichstrich mit Wasser auf und schüttelt den Kolben gründlich.

Aufgabenteil 2.6

Berechnet für jede der Lösungen **2-6** die Konzentration an $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$.

➤ *Schreibt eure Antwort in den Antwortbogen, Kasten 2.6.*

Benutzt Lösung **1** als Nullprobe und messt die Extinktion der Lösungen **2-6** bei $\lambda = 618 \text{ nm}$ (A_{618}). (Anhang C enthält Anweisungen zur Benutzung des Spektrophotometers)

➤ *Schreibt eure Ergebnisse in den Antwortbogen, Kasten 2.6.*

Benutzt eine Pipette, um 25,00 mL der Probelösung (**Cu/Zn**) in einen 50 mL Messkolben zu überführen. Gebt anschließend mit einer Pipette 10,00 mL des Ammonium/Ammoniak-Puffers (1,3 M NH_4Cl / 7 M NH_3 , pH = 10) hinzu. Füllt den Kolben bis zum Eichstrich mit Wasser auf und schüttelt ihn gründlich. Beschriftet diese Probe mit **7**.

Aufgabenteil 2.7

Bestimmt die Extinktion von Probe **7** bei $\lambda = 618 \text{ nm}$ (A_{618}).

➤ *Schreibt euer Ergebnis in den Antwortbogen, Kasten 2.7.*

Tragt die A_{618} -Werte der Lösungen **2-6** gegen $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$ auf. Benutzt dazu das vorliegende Millimeterpapier (beschriftet den Graphen mit "Graph 2.7"). Zeichnet eine Ausgleichsgerade ein, die am besten zu euren Punkten passt.

➤ *Fügt Graph 2.7 zu eurem Antwortbogen hinzu.*

Aufgabenteil 2.8

Bestimmt die Steigung und den y-Achsenabschnitt.

- *Zeigt auf dem Millimeterpapier, wie ihr die Werte für die Berechnung der Steigung und des y-Abschnitts erhalten habt. Schreibt eure Berechnungen und Ergebnisse in den Antwortbogen, Kasten 2.8.*

Aufgabenteil 2.9

Berechnet den molaren Extinktionskoeffizienten (ϵ) für $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ bei $\lambda = 618 \text{ nm}$.

- *Notiert eure Berechnungen und das Ergebnis im Antwortbogen, Kasten 2.9.*

Aufgabenteil 2.10

Benutzt den A_{618} -Wert von Lösung 7, um $[\text{Cu}^{2+}]$ in der zu Probelösung (**Cu/Zn**) zu bestimmen.

- *Notiert eure Berechnungen und euer Ergebnis im Antwortbogen, Kasten 2.10.*

Benutzt einen Messzylinder, um 10 mL der Probelösung (**Cu/Zn**) in ein Reagenzglas zu überführen. Gebt den Ammonium/Ammoniak-Puffer (1,3 M NH_4Cl / 7 M NH_3 , pH = 10) tropfenweise hinzu. Nach der Zugabe einiger Tropfen bildet sich ein Niederschlag. Gebt den Puffer weiter tropfenweise unter Rühren hinzu, bis sich der Niederschlag wieder komplett aufgelöst hat.

Aufgabenteil 2.11

Schlagt vor, worum es sich bei dem Niederschlag handeln könnte. Verwendet dazu auch chemische Formeln.

- *Notiert eure Antwort im Antwortbogen, Kasten 2.11.*
- *Notiert eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung des Niederschlags im Antwortbogen, Kasten 2.11.*

C. Der Eisbohrkern

Aufgabenteil 2.12

Berechnet den Gehalt an Cu^{2+} und Zn^{2+} in $\mu\text{g/g}$ im Bohrkern (1 $\mu\text{g} = 10^{-12} \text{ g}$). Molare Massen: Cu: 63,54 g/mol; Zn: 65,38 g/mol.

- *Notiert eure Berechnungen und Ergebnisse im Antwortbogen, Kasten 2.12.*

Bei einer anderen Bohrung in Grönland wurden 8 Bohrkern aus Tiefen von 67,155 – 67,785 m gefördert. Diese enthalten die jährlichen Schichten der Jahre 1782 – 1785. Bei der Bestimmung des Kupfer- und Zink-Gehalts ergaben sich folgende Ergebnisse:

Tiefe (m)	Probennummer	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
67,155–67,23	1	0,46	35

67,23–67,305	2	1,6	26
67,315–67,40	3	2,9	42
67,74–67,485	4	6,4	35
67,485–67,555	5	2,0	11
67,555–67,625	6	20,5	490
67,645–67,745	7	3,2	21
67,745–67,785	8	1,2	24

Daraus wurde geschlussfolgert, dass der relativ hohe Gehalt an Kupfer und Zink in der Probe 6 in Verbindung mit dem Ausbruch des Laki stehen könnte. Schätzt anhand eines Vergleichs mit euren Ergebnissen ab, ob der Gehalt an Kupfer und Zink in Verbindung mit dem Ausbruch des Laki stehen kann.

➤ *Markiert die richtige Antwort im Antwortbogen, Kasten 2.13.*

Metazoenleben in extremen Umgebungen

Auf der Erde existieren viele verschiedene Typen von extremen und harschen Habitaten. Extreme physikochemische Faktoren (wie z.B. Temperatur, Wasserverfügbarkeit, Salzkonzentration, pH und Sauerstoff Partialdruck) sind eine Herausforderung für die in solchen Habitaten lebenden Organismen. Um mit dieser feindlichen Umwelt zurechtzukommen, benötigen Organismen spezielle Anpassungen und nur die Widerstandsfähigsten können überleben. In der Arktis lebende Organismen sind offensichtlich an sehr tiefe Temperaturen angepasst. Kryokonitlöcher (bilden sich, wenn sich Staub durch den Schnee oder das Eis schmilzt) bieten eine Nische für ausgewählte Algen, Bakterien und Metazoen. In dieser Aufgabe bekommt ihr eine Probe, die das Material aus einem Kryokonitloch nachahmt.



Abbildung 3.1. Kryokonitloch

Material

- Petrischale mit Sedimentprobe
- Stereomikroskop
- Präpariernadel
- Bestimmungsschlüssel ([Appendix A1](#))
- Bildschlüssel ([Appendix A2](#))

Findet und identifiziert metazoische Lebensformen

Aufgabenteil 3.1

Findet und identifiziert aktive und sich bewegende mikroskopisch kleine metazoische Lebensformen (bis zu 1 mm lang) in der Sedimentprobe, indem ihr das Stereomikroskop und den "Bestimmungsschlüssel" ([Appendix A1](#)) benutzt.

➤ *Tragt eure Antworten in den Antwortbogen ein.*

Beachtet:

1. *Appendix A2* zeigt Bilder von Tieren, die in der Probe anwesend sind, UND von Tieren, die NICHT mikroskopisch klein sind und/oder NICHT in der Sedimentprobe anwesend sind. Zahlen, die mit einem Sternchen (*) im „Bestimmungsschlüssel“ (*Appendix A1*) markiert sind, beziehen sich auf ein spezifisches Bild im *Appendix A2*.
2. Ihr solltet euch die unten angegebene „Terminologie“ anschauen, bevor ihr die Antworten eintragt.
3. Nur für das korrekte Ausfüllen des Antwortbogens- also mit exakt den mikroskopisch sichtbaren Metazoen, die tatsächlich in der Probe anwesend sind- werdet ihr die volle Punktzahl erhalten

Terminologie

<i>Metazoen</i>	Ein mehrzelliges Tier mit Zellen, die sich zu Geweben differenzieren
<i>Radialsymmetrie</i>	Das Tier hat eine zentrale Symmetrieachse. Entlang dieser Achse kann es in eine Anzahl von Spiegelbildern unterteilt werden. Das Tier hat keine rechte und linke Seite.
<i>Fortsätze</i>	Externe Ausstülpungen aus dem Tierkörper, z.B. Beine oder Antennen
<i>Zilium (Plural Zilien)</i>	Schlanke, haarähnliche Fortsätze, die von der Oberfläche einer Zelle hervorstehen. Zilien können beweglich (motil) oder unbeweglich sein
<i>Skaliden</i>	Dornige Fortsätze, die der Bewegung, Chemorezeption und Mechanorezeption dienen
<i>gelenkig</i>	Besteht aus Abschnitten, die durch Gelenke verbunden sind

Frühere Lebensräume in Grönland

Tief unten im Eisschild bis hinunter zum Felsboden, kann man Überreste von Lebensformen finden, die lebten, bevor Eis die Landschaft bedeckte. Proben wurden zwei- bis dreitausend Meter unter der Eisoberfläche an der Position Dye-3 entnommen (siehe **Abbildung 4.1**). Durch Untersuchen des grundständigen Eises (basal ice), das Bodenpartikel enthält, ist es möglich, Bodenpartikel zu finden, die durch die Bewegung des Eises losgelöst wurden. Dadurch kann das grundständige Eis eine Menge an altem genetischen Material enthalten, das uns Hinweise über das Klima und die Pflanzenvielfalt aus der Zeit geben kann, als Grönland noch nicht von Eis bedeckt war. Alte Boden-DNA wurde aus diesem Material extrahiert.

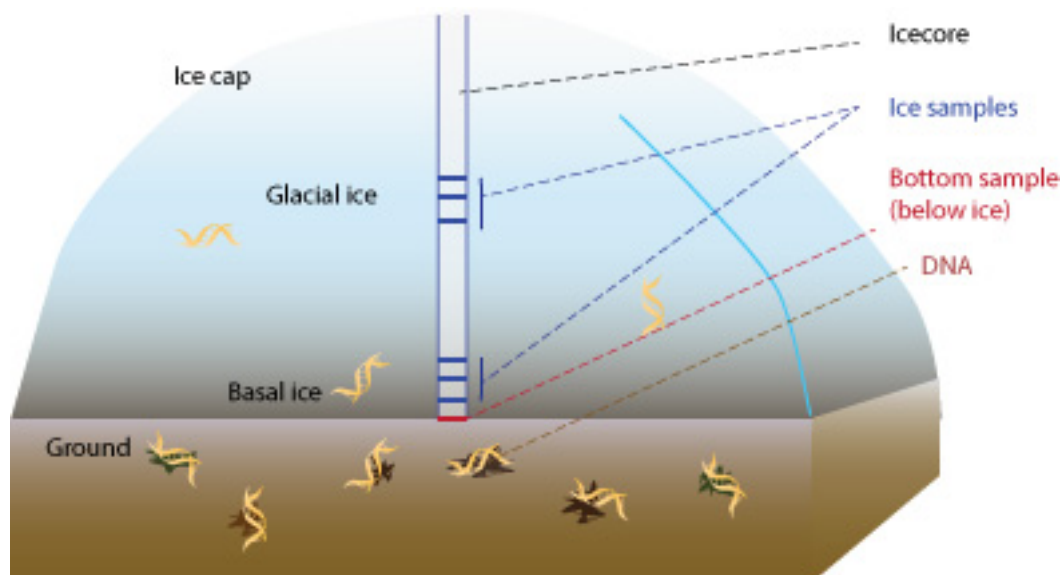


Abbildung 4.1. Darstellung des Eisschildes.

Bei diesem Experiment werdet ihr DNA aus solchen Proben analysieren und bestimmen, welche Lebensräume in Grönland vor der Bildung der Eisschilde existierten. Ihr sollt nach der Anwesenheit von Indikatorpflanzen suchen, die in bestimmten klimatischen Nischen leben und spezielle Temperaturanforderungen zum Überleben und Wachstum benötigen. Die verschiedenen Wachstumsanforderungen der spezifischen Pflanzenfamilien geben uns Informationen über den Temperaturbereich ihres Lebensraumes, die Länge vom Sommer- und Winterperioden und ob zum Beispiel ein Wald existierte. Ausgehend von diesen Informationen könnt ihr bestimmen, welchen Lebensraum es in Grönland gab, bevor sich das große Eisschild bildete.

Eine PCR (Polymerase Chain Reaction) wurde durchgeführt, um die DNA, die wir untersuchen wollen, zu vervielfältigen. Eure Aufgabe ist es, die alte DNA mithilfe von Elektrophorese zu untersuchen und ihr werdet die Ergebnisse mit DNA-Bibliotheken von modernen Pflanzen vergleichen.

Um die Anwesenheit von spezifischen Pflanzenfamilien nachzuweisen, wurden Primer¹ entwickelt, die für jede der angesprochenen Familien an eine spezifische Region im Genom binden. Wenn eine bestimmte Pflanzenfamilie in eurer Probe vorhanden ist, werdet ihr eine Bande im Gel erkennen.

Material

- 1 Gel Kassette
- 1 FlashGel® Dock mit Kabeln
- 1 Spannungsquelle
- 1 Röhrchen mit Puffer, beschriftet mit "Buffer 4"
- 1 Mikropipette 2-20 µL
- Mikropipetten Spitzen
- PCR-Tubes mit DNA-Proben der Leit-**Familien** (für Experiment 4A)
- PCR-Tubes mit DNA-Proben der Leit-**Gattungen** (für Experiment 4B)
- Fusselfreie Tücher
- Abfalleimer
- Appendix B

Taxonomischer Stammbaum

Ihr sucht nach spezifischen Pflanzenfamilien und –gattungen in euren Proben. Diese Familien und Gattungen werden als Klimaindikatoren benutzt, da diese nur in einem Klima leben können, an dessen Bedingungen sie angepasst sind. Zur Analyse eurer Ergebnisse benötigt ihr [Appendix B](#), [Abbildung 4.2](#) und [Abbildung 4.3](#).

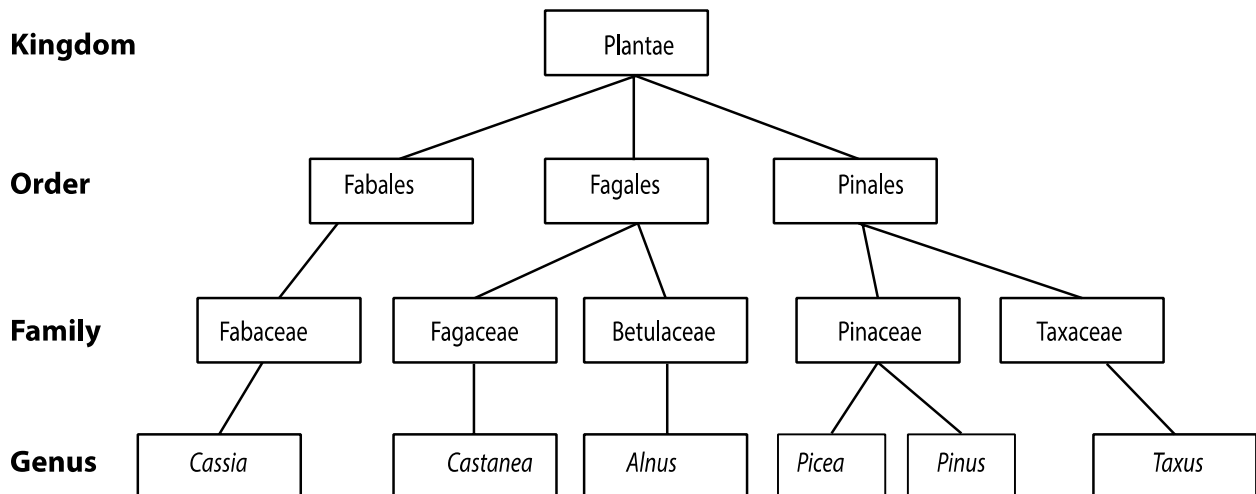


Abbildung 4.2. Taxonomischer Stammbaum mit den Indikator Pflanzenfamilien und – gattungen. Beachtet, dass dieser Stammbaum nicht vollständig ist.

¹ Primer sind kurze einzelsträngige DNA-Fragmente (Länge von 20-30 Nukleotiden) welche so zusammengesetzt werden, dass sie an einen komplementären DNA-Strang binden. Während der PCR kopiert die DNA-Polymerase den komplementären DNA-Strang von der Stelle aus, an der der Primer bindet. Somit wird der komplementäre DNA-Strang vervielfältigt.

Elektrophorese

Ihr werdet die Technik der Gelelektrophorese zur Untersuchung von alten DNA Fragmenten im Eis anwenden.

Aufgabenteil 4.1

➤ *Schreibt die zu den korrekten Worte gehörigen Buchstaben in den Antwortbogen, Box 4.1.*

Wörter

A Aminosäure	G Base	M Vertiefungen (Wells)	S Desoxyribose-Moleküle
B DNA-Standard	H DNA-Fragmente	N Fettsäuren	T Phosphatgruppe
C Glukose Molekül	I Rinnen (Ditches)	O Kürzeste	U Kohlenhydrate
D Ladung	J Länge	P Längste	V Ladepuffer
E Moleküle	K Negativer Pol	Q Negative Netto-Ladung	W Positiver Pol
F Positive Netto-Ladung	L Proteine	R Größe	X Makromoleküle

Text

Die Elektrophorese wird in einer Elektrophorese-Kammer durchgeführt. Die Proben werden in die { Word 1 } eines Gels geladen, welches mit Puffer bedeckt ist.

Legt man ein elektrisches Feld an, so können Makromoleküle wie { Word 2 } und { Word 3 } aufgetrennt werden. Die Auftrennung erfolgt aufgrund unterschiedlicher { Word 4 } und { Word 5 } der Moleküle.

Nukleinsäuren wandern zum { Word 6 } weil sie eine { Word 7 } tragen aufgrund der { Word 8 }. Proteine können entweder gegen den positiven oder negativen Pol wandern, weil ihre Ladung von der Zusammensetzung der { Word 9 } abhängt.

Experiment 4A. Analyse der DNA Proben mittels Gelelektrophorese

Alte DNA, die im grundständigen Eis an Erdpartikel gebunden und somit konserviert ist, bietet Einblick in die prähistorische Zeit. Da das Material gefroren und unter Sauerstoffausschluss gelagert wurde, wurden die Nukleotid-Sequenzen konserviert, jedoch in einem stark degradierten Zustand. Man kann die verbleibenden kurzen DNA Fragmente als taxonomische Bibliothek verwenden, um ursprüngliche Gattungen in dieser geografischen Lage Grönlands zu identifizieren. In der folgenden Liste sind die unterschiedlichen Familien angeführt, deren DNA-Proben aus der PCR untersucht werden sollen. Sie wurden durch Vervielfältigung mit Familien-spezifischen Primern gewonnen.

- A1. Taxaceae
- A2. Pinaceae
- A3. Betulaceae
- A4. Fabaceae
- A5. Fagaceae

Die verschiedenen DNA Proben enthalten DNA der von euch zu untersuchenden Indikator-Familien.

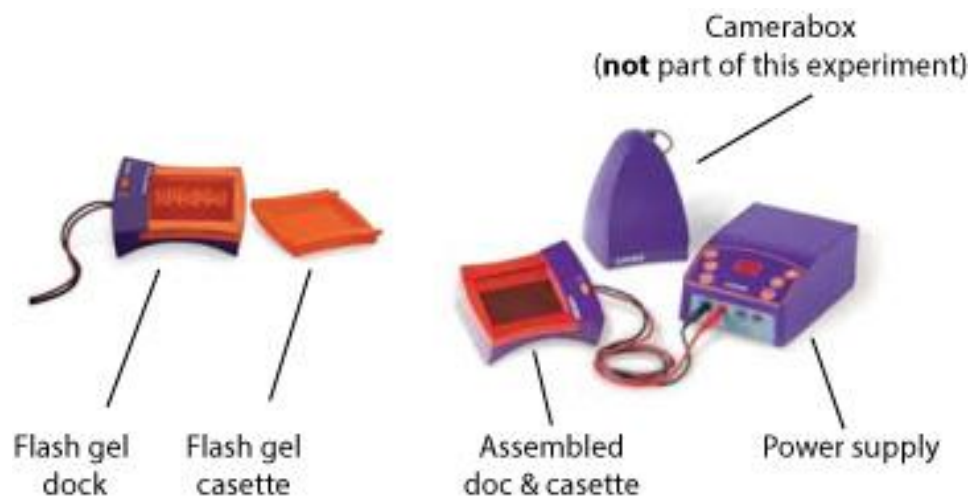


Abbildung 4.3 Das Lonza Flash Gel System

Anleitung

1. Öffnet die Verpackung und entnehmt die Gelkassette.
2. Entfernt die Klebestreifen von der Gelkassette.
3. Vergewissert euch, dass alle Vertiefungen mit "Buffer 4" gefüllt sind. Entfernt überschüssigen Puffer von der Kassette, aber **nicht** aus den Vertiefungen. Wenn ihr euch unsicher seid, fragt den Laborassistenten (Es gibt KEINEN Punktabzug für das Nachfragen!).
4. Steckt die Kassette in das Flash gel dock.
5. Befüllt die Vertiefungen mit den PCR Proben (5 μ L pro Probe), wie in **Abbildung 4.4** gezeigt. Vergesst nicht zu notieren, welche Proben in welche Vertiefungen pipettiert wurden.

Achtung: Verwendet nur 5 Vertiefungen im Gels, die anderen 6 Vertiefungen werden später gebraucht.

6. Verbindet die Kabel, entsprechend des Farbcodes mit Spannungsquelle.

7. Stellt die Spannung (Voltage) auf 195 V DC (oder wie am Arbeitsplatz ausgewiesen), Leistung (Power) auf 15 W (oder wie am Arbeitsplatz ausgewiesen), Stromstärke (Current) auf 25 mA, und die Zeit (Time) auf 10 min.
8. Startet die Elektrophorese
9. Beobachtet das Experiment jede Minute, indem ihr die Lampe am Flash gel dock einschaltet. Lasst die Elektrophorese für maximal 9 Minuten laufen.

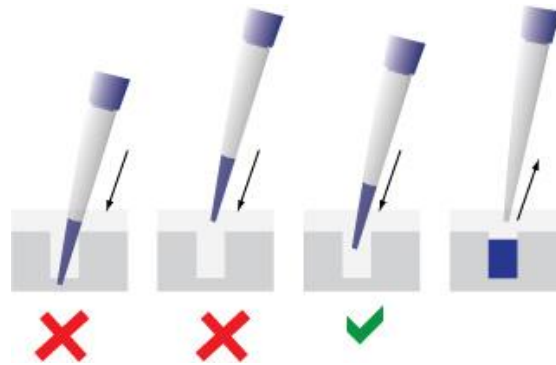


Abbildung 4.4. Beladen eines Gels mit Proben.

Analyse der Ergebnisse aus Experiment 4A

Aufgabenteil 4.2

Ein Signal am Gel zeigt an, dass die Familie in der Probe vorhanden war. Schreibt die Namen der analysierten Familien in die entsprechenden Boxen im Antwortbogen und gebt an, ob die jeweilige Familie in euren Proben vorhanden ist. Schreibt ein + (Signal vorhanden) oder ein – (kein Signal) in das Gelschema am Antwortbogen unter den jeweiligen Namen der Familie.

➤ *Schreibt die Namen der analysierten Familien in den Antwortbogen, Box 4.2.*

Aufgabenteil 4.3

Basierend auf euren Ergebnissen aus Experiment A und den Informationen in [Appendix B](#), entscheidet, welche der folgenden Aussagen über die Flora Grönlands richtig oder falsch sind.

Aussage	Richtig	Falsch
Keine Pflanzen waren zu diesem Zeitpunkt vorhanden.		
Nur vier Familien existierten zu dieser Zeit.		
Die Temperaturen im Winter waren unter -2 °C und im Sommer über 10 °C		
Nur drei Familien existierten zu dieser Zeit		
Nur anhand der Informationen über die Familien können keine Folgerungen in Bezug auf die Temperatur gemacht werden.		
Grönland hatte einen Wald zu dieser Zeit.		

➤ *Kreuzt jeweils die richtige Antwort am Antwortbogen in Box 4.3 an.*

Aufgabenteil 4.4

Welche Familien wären relevant für weitere Untersuchungen? Taxaceae, Fagaceae, Pinaceae, Fabaceae und/oder Betulaceae?

➤ *Kreist eure Antwort am Antwortbogen in Box 4.4 ein.*

Experiment 4B. Analyse der DNA Proben mittels Gelelektrophorese

Die DNA Proben zeigen an, nach welchen **Gattungen (genera)** gesucht werden soll.

In der folgenden Liste sind die unterschiedlichen Gattungen angeführt, deren DNA-Proben aus der PCR, gewonnen durch Vervielfältigung mit Gattungs-spezifischen Primern, untersucht werden sollen:

- B1. Alnus
- B2. Picea
- B3. Pinus
- B4. Taxus
- B5. Cassia
- B6. Castanea

Anleitung

1. Vergewissert euch, dass alle Vertiefungen mit "Buffer 4" gefüllt sind. Entfernt überschüssigen Puffer von der Kassette, aber **nicht** aus den Vertiefungen.
2. Steckt die Kassette in das Flash gel dock.

Achtung: Achtet darauf, nicht die Vertiefungen aus dem vorherigen Experiment zu verwenden!

3. Befüllt die Vertiefungen mit den PCR Proben (5 µL pro Probe), wie in **Abbildung 4.4** gezeigt. Vergesst nicht zu notieren, welche Proben in welche Vertiefungen pipettiert wurden.
4. Verbindet die Kabel entsprechend des Farbcodes mit der Spannungsquelle.
5. Stellt die Spannung (Voltage) auf 195 V DC (oder wie am Arbeitsplatz ausgewiesen), Leistung (Power) auf 15 W (oder wie am Arbeitsplatz ausgewiesen), Stromstärke (Current) auf 25 mA und die Zeit (Time) auf 10 min ein.
6. Startet die Elektrophorese.
7. Beobachtet das Experiment jede Minute, indem ihr die Lampe am Flash gel dock einschaltet. Lasst die Elektrophorese für maximal 9 Minuten laufen.

Analyse der Resultate aus Experiment 4B

Verwendet wie in Experiment 4A den taxonomischen Stammbaum und die Tabelle mit den Indikator-Gattungen aus dem Anhang.

Aufgabenteil 4.5

Schreibt die Namen der analysierten **Gattungen** in die Boxen und gebt an, ob die Gattung in eurer Probe vorhanden ist oder nicht.

- *Schreibt ein + (Signal vorhanden) oder ein – (kein Signal) in das Gelschema am Antwortbogen Box 4.5 unter den jeweiligen Namen der Gattung.*

Aufgabenteil 4.6

Basierend auf den Resultaten von Experiment 4B, und Appendix B, und den oben angeführten Antworten, welche Art von Ökosystem dominierte am Ort von Dye-3?

Aussage	
Regenwald	
Temperierter Laubwald	
Sumpf (Feuchtgebiet ohne Bewaldung, domiert durch lebende, torfformende Pflanzen)	
Weide (eine offene Fläche mit Grassland)	
Borealer Wald mit einer Mischung aus Laub- und Nadelbäumen.	

- *Kreuzt die richtige Antwort am Antwortbogen in Box 4.6 an.*

Aufgabenteil 4.7

Wir wollen sicherstellen, dass die DNA Proben aus den grundständigen Eisproben wirklich die ertümlichen Ökosysteme repräsentieren und nicht nur Verunreinigungen aus der Luft sind, die von anderen Bereichen im Laufe der Zeit nach Grönland transportiert wurden. Wo würdet ihr Kontrollproben innerhalb des Eiskerns entnehmen, um diese auf fremde, durch Luft transportierte, DNA zu untersuchen?

Aussage	Richtig	Falsch
Im Zentrum des glazialen Eiskerns, in der Nähe des grundständigen Eises, wo fremde Pflanzen-DNA zusammen mit Luft und anderen Luftverunreinigungen und Schnee eingeschlossen worden sein könnte.		
Im saubereren glazialen Eis, viel näher an der Oberfläche als zum grundständigen Eis.		
Nur an der Oberfläche des Eisschildes, weil dieser Ort am wahrscheinlichsten verunreinigt wird.		
Atmosphärische Luftproben, weil das der Ursprung der Verunreinigungen ist.		
Atmosphärische Luftproben und die Oberfläche des Eisschildes (ice cap), weil beide Verunreinigungen beinhalten.		

- *Kreuzt jeweils die richtige Antwort am Antwortbogen in Box 4.7 an.*

Aufgabenteil 4.8

Analysiert anhand der Indikator-Gattungen, welches Klima zu diesem Zeitpunkt (in dem die Organismen in Grönland lebten) am wahrscheinlichsten war. Was sind die unteren und oberen Temperaturbegrenzungen? Verwendet [Appendix B](#).

Aussage	Richtig	Falsch
Sommer sind wärmer als 10 °C.		
Winter sind bis zu -40 °C kalt.		
Winter sind nicht kälter als -17 °C.		
Winter werden nicht kälter als -1 °C.		

➤ Kreuzt jeweils die richtige Antwort am Antwortbogen in Box 4.8 an.

Zurückverfolgung der Proteinsequenz

Die Forscher bei Dye-3 fanden bei der Untersuchung ihrer Funde einen Proteinanteil. Euer Job ist es, dieses Protein bis zur mRNA zurückzuverfolgen und einen möglichen spezifischen Primer für die Untersuchung mittels PCR (Polymerase Chain Reaction) auszusuchen.

Die Proteinsequenz ist:

Met-Phe-Asp-Gln-Asp-Tyr-Trp

Aufgabenteil 4.9

Berechne die mögliche Anzahl an mRNA Kombinationen der Proteinsequenz mithilfe des genetischen Codes ([Abbildung 4.5](#)).

		Second Letter					
		U	C	A	G		
1st letter	U	UUU Phe UUC UUA Leu UUG	UCU UCC Ser UCA UCG	UAU Tyr UAC UAA Stop UAG Stop	UGU Cys UGC UGA Stop UGG Trp	3rd letter	
	C	CUU Leu CUC CUA CUG	CCU CCC Pro CCA CCG	CAU His CAC CAA Gln CAG	CGU CGC Arg CGA CGG		
	A	AUU AUC Ile AUA AUG Met	ACU ACC Thr ACA ACG	AAU Asn AAC AAA Lys AAG	AGU Ser AGC AGA Arg AGG		
	G	GUU Val GUC GUA GUG	GCU GCC Ala GCA GCG	GAU Asp GAC GAA Glu GAG	GGU GGC Gly GGA GGG		

Abbildung 4.5.

➤ Schreibt eure Antwort unter 4.9 auf den Antwortbogen

Aufgabenteil 4.10

Welche dieser mRNA Sequenzen ist eine der möglichen Kombinationen der Proteinsequenz?

- 5'-AUG UUU GAU GAG GAC UAU UGG-3'
- 5'-AUG UUC CCA CAG GAC UAC UGG-3'
- 5'-AUG UUC GAU CAG GAC UAC UGG-3'
- 5'-AUG UUU GAU GGA GAU UAU UGG-3'
- 5'-AUG GGA GAU CAG GAU UAU UGG-3'

➤ *Schreibt eure Antwort unter 4.10 auf den Antwortbogen*

Aufgabenteil 4.11

Ihr müsst lediglich einen 12bp langen Primer aussuchen, obwohl das viel zu kurz wäre, um für eine echte DNA Analyse spezifisch zu sein. Normalerweise würde man sowohl einen Forward als auch einen Reverse Primer benutzen.

Welche dieser Möglichkeiten würdet Ihr als einen spezifischen Primer für die weitere Analyse verwenden?

- 3'-CTC CTG ATA ACC-5'
- 3'-GTT CTG ATG ACC-5'
- 3'-GTC CTG ATG ACC-5'
- 3'-CTT CTA ATA ACC-5'
- 3'-GTC CTA TTA ACC-5'

➤ *Schreibt eure Antwort unter 4.11 auf den Antwortbogen*

Wir kennen nun einige der Pflanzen und Temperaturbedingungen Grönlands bevor sich die großen Eisschilde bildeten und den Großteil der Landfläche bedeckten. Jetzt möchten wir wissen, wann diese Eisbildung im Gebiet des Dye-3 Kerns begann.

Das Alter des grundständigen Eises wurde mittels einer Kombination von vier Altersbestimmungstechniken (siehe unten) bestimmt. Zwei dieser Methoden basieren auf einem physikalischen, zwei auf einem biologischen Hintergrund. Die grundlegende Theorie hinter den verschiedenen Methoden wird im Folgenden beschrieben.

1. Die erste physikalische Methode zur Altersbestimmung von Eis basiert auf dem Zerfall radioaktiver Isotope im Eis wie ^{10}Be und ^{36}Cl . Diese beiden Isotope kommen in der Atmosphäre vor und werden zusammen mit dem Schnee in dem Eisschild eingeschlossen. Für die Altersbestimmung wird der exponentielle Zerfall der Isotope genutzt und das Verhältnis $^{10}\text{Be} / ^{36}\text{Cl}$ der noch vorhandenen Isotope bestimmt. Damit kann die Zeit, die die Isotope und die Luft in dem Eis eingeschlossen waren, abgeschätzt werden. Dies entspricht theoretisch dem Alter des Eises.
2. Eine andere physikalische Methode ist die Datierung durch optisch stimulierte Lumineszenz (OSL). Diese Methode schätzt die Zeit ab, seitdem die Bodenteilchen zuletzt Tageslicht ausgesetzt waren, und gibt damit die Zeitspanne an, seit wann die Bodenteilchen vom Eis eingeschlossen wurden. Mit Hilfe eines starken Laserstrahls kann man abschätzen, wieviel

Licht von den Teilchen der Bodenmineralien (Feldspat oder Quarz) reflektiert wird. Die Lichtmenge, die reflektiert wird, ist proportional zu der Zeitspanne, als die Teilchen zuletzt Licht ausgesetzt waren. Dies gibt uns theoretisch eine Abschätzung dafür, wann das Eis gebildet wurde und damit sein Alter.

3. Die biologische Methode, die zuerst angewendet wurde, wird Aminosäuren-Racemisierung (AAR) genannt. Damit wird der Zerfall von Aminosäuren aus biologischen Geweben in Lebewesen gemessen. Die Zerfallsrate in bestimmten Aminosäuren ist bei niedrigen Temperaturen konstant. Daher können wir theoretisch das Alter des Eises anhand des Zerfallsstands dieser Aminosäuren in grundständigen Eisproben abschätzen.
4. Die zweite biologische Methode beruht auf der DNA und der Theorie der molekularen Uhr. Da DNA-Moleküle mit fortschreitender Zeit degradieren und eine bestimmte Rate zufälliger Mutationen aufweisen, können wir alte DNA-Sequenzen mit aktuellen Sequenzen in spezifischen Genregionen vergleichen. Dadurch erhalten wir eine Abschätzung des Alters der "alten" DNA-Sequenzen. Dies ist ein Indikator dafür, wann das Lebewesen gelebt hat und wann sich das Eis gebildet und die DNA-Sequenzen eingeschlossen hat.

Alle vier Methoden der Altersbestimmung sind relativ neu für die Anwendung bei grundständigen Eisbohrkernen entwickelt worden, da keine anderen gut etablierten Methoden für dieses Material verfügbar waren. Daher beinhalten diese vier Methoden eine gewisse Unsicherheit. Daher wurden die vier Methoden kombiniert, um möglichst gut abgesicherte Datierung zu erhalten.

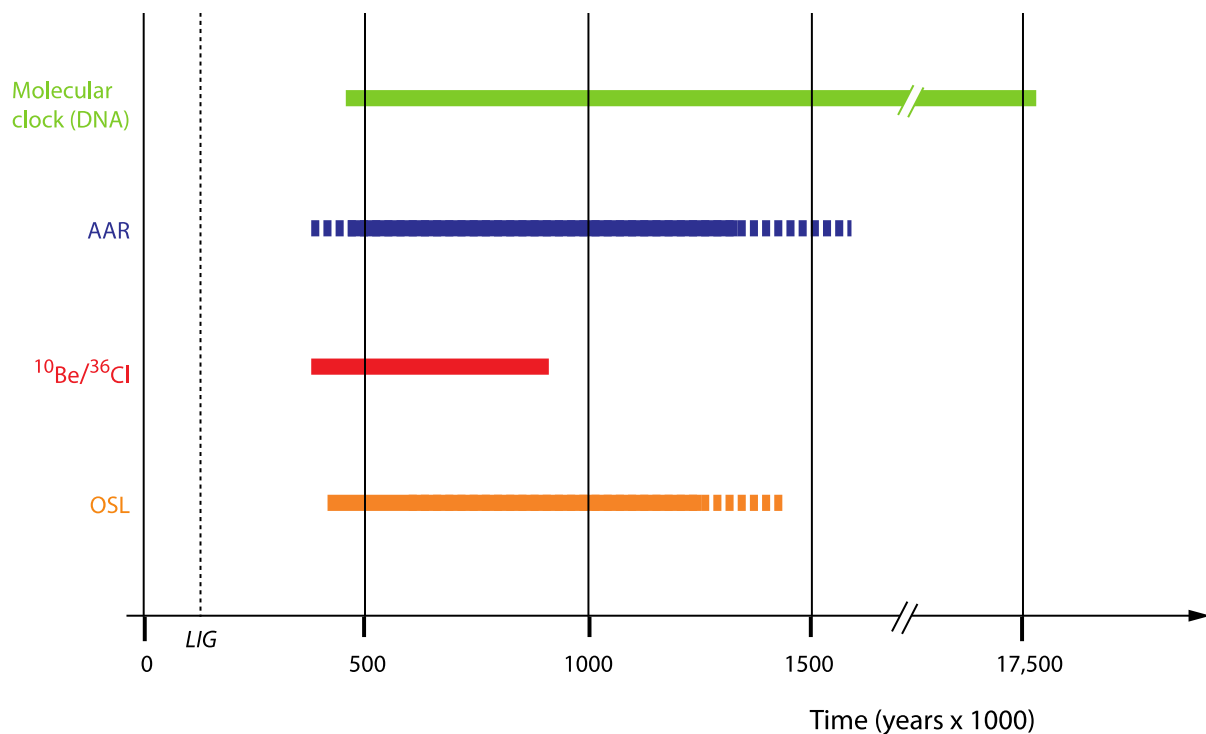


Abbildung 4.6. Vier Datierungsmethoden, die für die Datierung von alter DNA in Eisschilden verwendet wurden.

Waagerechte Zeitachse: Jahre vor heute x 1000. LIG: *Last interglacial period (die letzte eisfreie Periode)*, approx. 120,000 ybp (years before present).

Senkrechte Achse: Die vier Methoden. Gestrichelte Linien zeigen den Unsicherheitsbereich im minimalen und maximalen Alter an.

Aufgabenteil 4.12

Versuche mit Hilfe von **Abbildung 4.6** unter Verwendung der vier Methoden zu bestimmen, wann es am Ort von Dye-3 zuletzt Wald gegeben hat.

➤ *Kreuzt die Antworten auf dem Antwortbogen unter 4.12 an*

ENDE VON AUFGABE 1: EIS