GeoUnion
Alfred-Wegener-Stiftung

BGB Schwerpunktschule für Geographie

UNESCO
Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft und Kultur

Bergstraße-Odenwald
UNESCO
Global Geopark

Das Meer im Bauland – erdgeschichtliche und aktuelle Erkundungen

Workshop für Naturführer/-innen, Lehrer/-innen und weitere Interessierte

Samstag, 23. September 2017, 9.00-17.00 Uhr,
Burghardt-Gymnasium Buchen, St.-Rochus-Straße 5, 74722 Buchen

Bericht

Programm:

9.00 Uhr	Begrüßung
9.15 Uhr	Vortrag mit Diskussion: **Die Bedeutung der Meere für das Erdsystem: für Klima, Biosphäre, Stoffkreisläufe** Prof. Dr. Bernhard Diekmann, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Potsdam / Dr. Christof Ellger, GeoUnion
10.15 Uhr	Arbeit mit Material in Gruppen und Präsentation im Plenum: **Geheimnisse des Ozeans: Natur und Gefährdung der Meere** Dr. Christof Ellger, GeoUnion
12.15 Uhr	Mittagspause (Selbstverpflegung im Burghardt-Gymnasium)
13.00 Uhr	Fahrt zum Geopark-Eingangstor Tropfsteinhöhle Eberstadt
13.30 Uhr	Workshop im Workshop: **Muschelkalk sehen und begreifen – eine didaktische und methodische Annäherung an die marinen Lebenswelten der Trias** (Steinbruch Eberstadt, Steinbruch Schmittshöhe, Tropfsteinhöhle) Lehrer/-innen des Burghardt-Gymnasiums
17.00	Ende des Workshops

Zu erwerbende Fähigkeiten und Fertigkeiten: Fachwissen, Recherchemethoden, Kompetenzen für die Konzeption und Durchführung natur- und erlebnispädagogischer Programme

Leitung: Christof Ellger, GeoUnion; Christiane Stolz, Geo-Naturpark Bergstraße-Odenwald; Walter Kammerer, Jochen Schwab, Burghardt-Gymnasium Buchen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr 2016★17
MEERE UND OZEANE

Vortrag Prof. Dr. Bernhard Diekmann, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Potsdam, ersatzweise vorgetragen von Christof Ellger („Geo-Karaoke"):

Fakten zum Weltozean:

- bedeckt fast drei Viertel der Erdoberfläche
- tiefste Stelle 11034 m unter Meeresspiegel
- sorgt für ein Drittel des globalen Wärmetransports
- wichtigste Kohlenstoffsenke und -quelle
- Nahrungsgrundlage
- wichtiges Rohstoffreservoir
- dicht besiedelte Küstenregionen
- Wiege des Lebens; besondere Ökologie

Erdkugel-Darstellung mit Earth and Moon Viewer: https://www.fourmilab.ch/earthview/vplanet.html

Geschichte der Meeresforschung, wesentliche Marksteine:

500 v. Chr.:	Erde eine Scheibe
1519-1522:	Ferdinand Magellan, Erste Weltumsegelung
1768-1780:	Captain Cook, drei Expeditionen in die Südsee
1831-1836:	Charles Darwin, Beagle-Expedition
1872-1876:	Britische Challenger-Expedition
1914-1917:	Britische Endurance-Expedition in die Antarktis
1915:	Alfred Wegeners Hypothese der Kontinentalverschiebung

1900er bis 1990er Jahre:	Gründung internationaler und nationaler Meeresforschungsinstitute
1960er Jahre:	Beginn von Tiefseebohrungen

Die britische Challenger-Expedition (Dezember 1872 - Mai 1876):
Erforschung der Tiefsee. Wurde bis dato als umweltfeindlich und unbelebt angesehen.

- 244 Leute (22 Offiziere, 5 Wissenschaftler)
- 130 000 km (70 000 Seemeilen)
- 362 Standorte: Messung von Tiefe, Temperatur, Strömung, Wasserchemie
- Beprobung des Meeresbodens
- 4700 neue biologische Arten beschrieben.
- 50-bändiger Bericht (29 500 Seiten, 3000 Abbildungen und Tabellen), Erstellung dauerte 20 Jahre, Leitung: John Murray

Wesentlicher Forschungsweg heute: Internationale Tiefbohrprogramme

1968-1983:	Deep-Sea Drilling Project (DSDP)
1983-2003:	Ocean Drilling Program (ODP)
2003-2013:	Integrated Ocean Drilling Program (IODP)
Laufend:	International Ocean Discovery Program (IODP)

Wichtige Meeresforschungsinstitute (Auswahl):

1907:	Scripps Institution of Oceanography, San Diego, USA
1930:	Woods Hole Oceanographic Institution, USA
1949:	Lamont-Doherty Earth Observatory, New York, USA
1964:	Stae Oceanographic Administration, Qingdao, China
1968:	Ifremer, Plouzané, Frankreich
1994:	National Oceanography Centre, Southampton, United Kingdom
1892:	Biologische Anstalt Helgoland (heute AWI)
1928:	Senckenberg am Meer
1975:	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (BGR)
1980:	Alfred Wegener Institute für Polar- und Meeresforschung (AWI)
1987:	Geomar, Kiel
1992:	Institut für Ostseeforschung, Warnemünde (IOW)
2001:	Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Bremen (MARUM)

Deutschland betreibt 8 Forschungsschiffe: s. https://www.portal-forschungsschiffe.de/schiffe

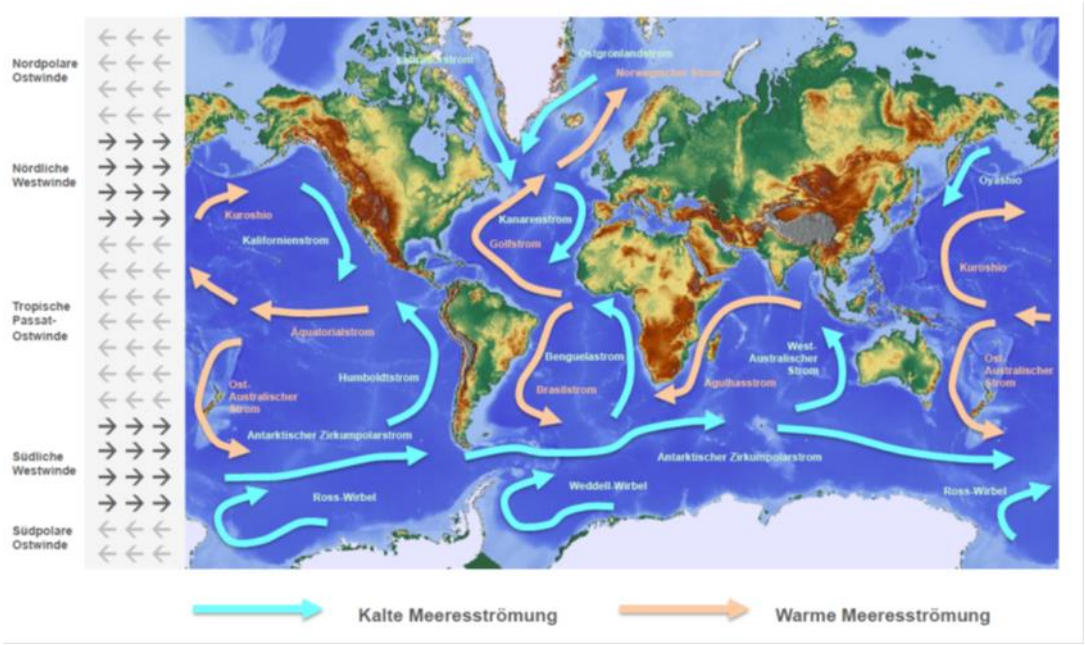
- - - - - - - - -

Die Rolle des Ozeans im globalen Wärmetransport: 1/3 der Energie wird über die Meere geleitet. Durch die Lage von Erde und Sonne zueinander entsteht ein Einstrahlungsüberschuss am Äquator und ein Einstrahlungsdefizit an den Polen, modifiziert jahreszeitlich durch die Schiefstellung der Erdachse gegenüber der Erdbahnebene um 23,44°.

Energieausgleich durch a) **atmosphärische Zirkulation**: Wärmetransport von niederen zu hohen Breiten über komplexe Windsysteme, unter Einfluss der Erdrotation (Corioliskraft),
b) **Meeresströmungen**: – **windgetriebene**; – **das Förderband, die thermohaline Zirkulation**

Windgetriebene Meeresströmungen
Zusammenstellung: Bernhard Diekmann, (Kartengrundlage: https://maps-for-free.com)

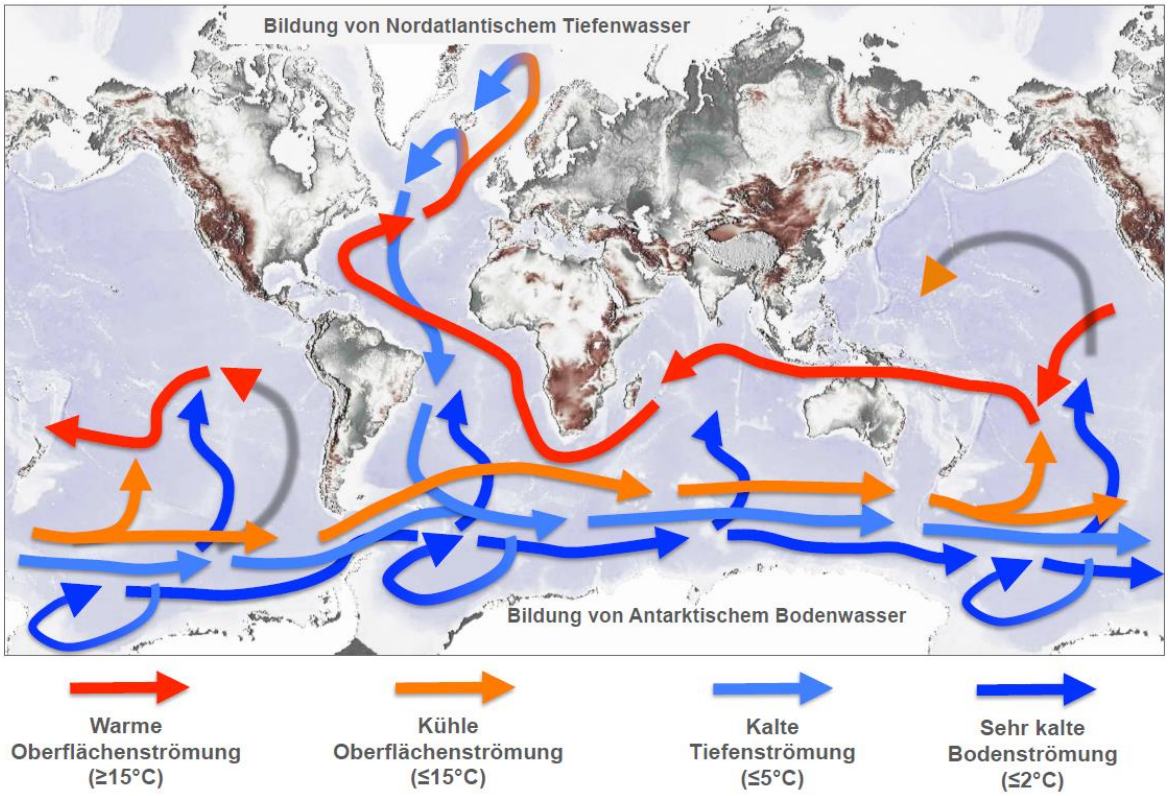
Die



windgetriebenen Meeresströmungen werden (wie der Name sagt) von den vorherrschenden Winden angetrieben und außerdem von der Konfiguration der Kontinente bestimmt. Markant sind fünf große subtropische Wirbel.

Neben der Oberflächenzirkulation gibt es auch eine Tiefen- und Bodenwasserzirkulation im Ozean, die durch Temperatur- und Dichteunterschiede der Wassermassen getrieben wird (**thermohaline Zirkulation**). Die Oberflächenzirkulation ist mit der Tiefenzirkulation verbunden und bildet das sogenannte "**Förderband**".

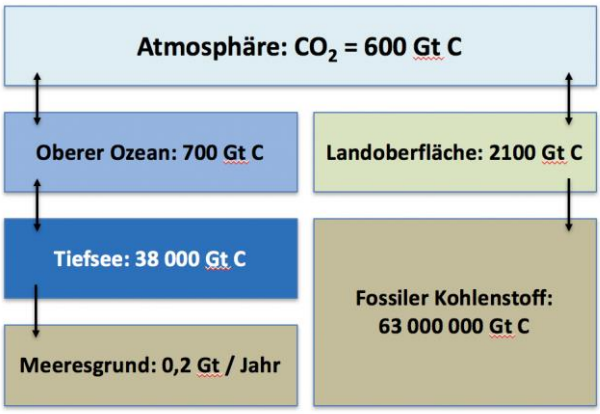
Das ozeanische Förderband: die thermohaline Zirkulation
Zusammenstellung: Bernhard Diekmann, (Kartengrundlage: https://maps-for-free.com)



„Achillesferse" des Förderbands ist der Nordatlantik, wohin der Golfstrom Wärme auch aus der Südhalbkugel bringt und wo er absinkt; sein Sog treibt die Dynamik des Förderbands.
Im Südpolarmeer entsteht kaltes (unter 0°C), schweres, salzreiches Wasser. Diese Lauge sinkt ab und vermischt sich auf seinem Weg nach unten mit dem etwas wärmerem Wasser aus der unmittelbaren Umgebung. Diese Mischung bildet das Antarktische Bodenwasser. Es fließt als tiefste globale Wassermasse am Meeresboden in nördliche Richtung durch alle großen Weltmeere.

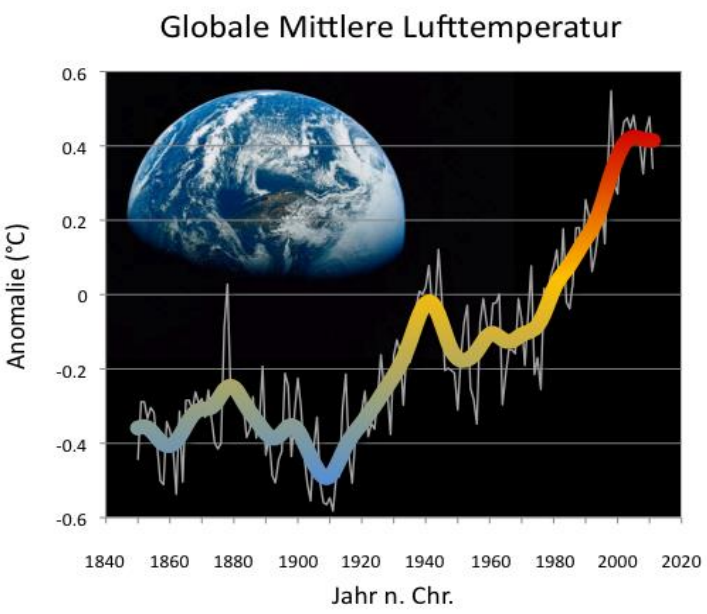
Der globale Kohlenstoffkreislauf

In der Atmosphäre und im Oberen Ozean ist vergleichsweise wenig Kohlenstoff gespeichert, anders dagegen in der Tiefsee und mehr noch im Gesteinsuntergrund. Die Atmosphäre steht mit der Deckschicht des Ozeans in direkter Wechselwirkung. Steigender atmosphärischer CO2-Partialdruck wird durch Kohlensäurebildung im Ozean aufgefangen – zur Zeit etwa 25 % des menschlichen CO2-Ausstoßes. Dies führt aber auch zur Versauerung und schadet kalkbildenden Organismen (Korallen, Kalkplankton). Kalte Ozeane lösen mehr CO2 als warme Ozeane. Durch Absinken von Wassermassen und Sedimentation von abgestorbenem Phyto- oder Zooplankton gelangt Kohlenstoff auf den Meeresgrund; aus Coccolithen oder Foraminiferen entstehen Kalksteinlager.

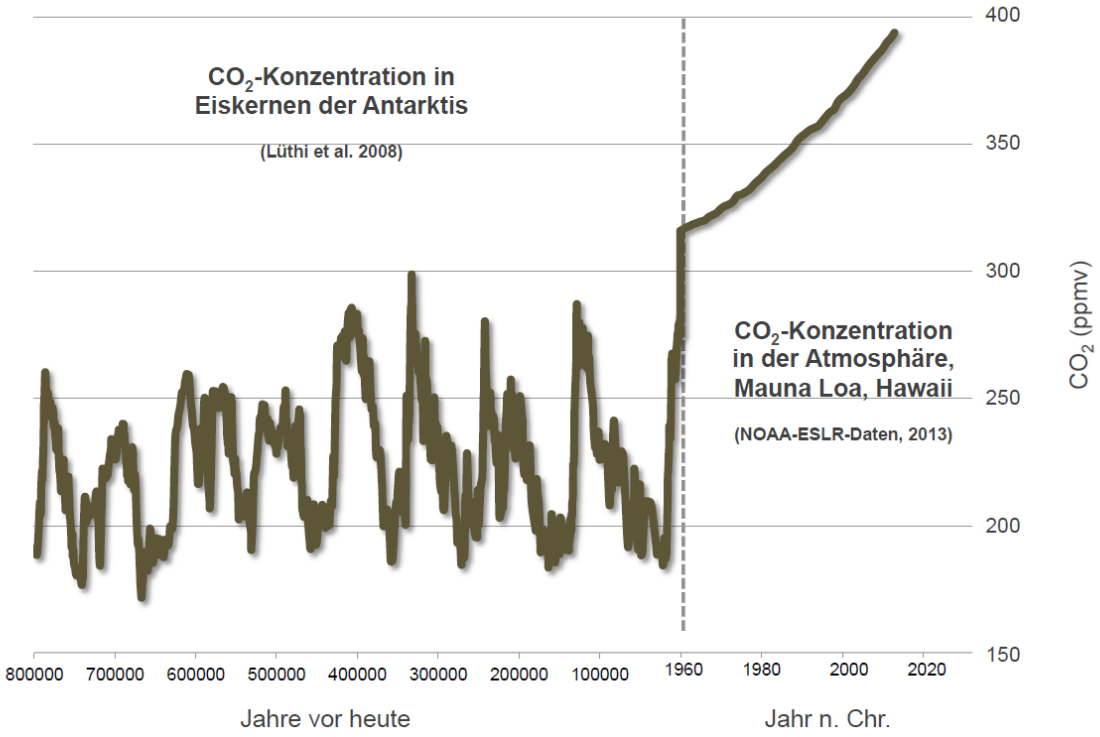


Vereinfacht nach: Sigman & Boyle, 2000, Nature, 407: 859-869

Klimawandel: „Die Erde hat Fieber“



Durch den anthropogenen CO2-Ausstoß hat sich der CO2-Gehalt in der Atmosphäre von rund 280 ppm in vorindustrieller Zeit auf rund 400 ppm erhöht (wie vor 500 Mill. Jahren! – Quelle: Eiskerne). Wegen des Treibhauseffekts steigt dadurch die Temperatur auf der Erde.



In der Arktis verläuft die Erwärmung doppelt so schnell wie im globalen Durchschnitt. Hier bestehen zwei bedeutende Selbstverstärkungseffekte in Richtung auf Erwärmung:

1) Mit der Erwärmung schwinden Meereis und Schnee, also die weißen Flächen; deren **Albedo-Wirkung** (Rückstrahlung des kurzwelligen Sonnenlichts) geht verloren, das Sonnenlicht wird vermehrt in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt; die Erwärmung steigt.

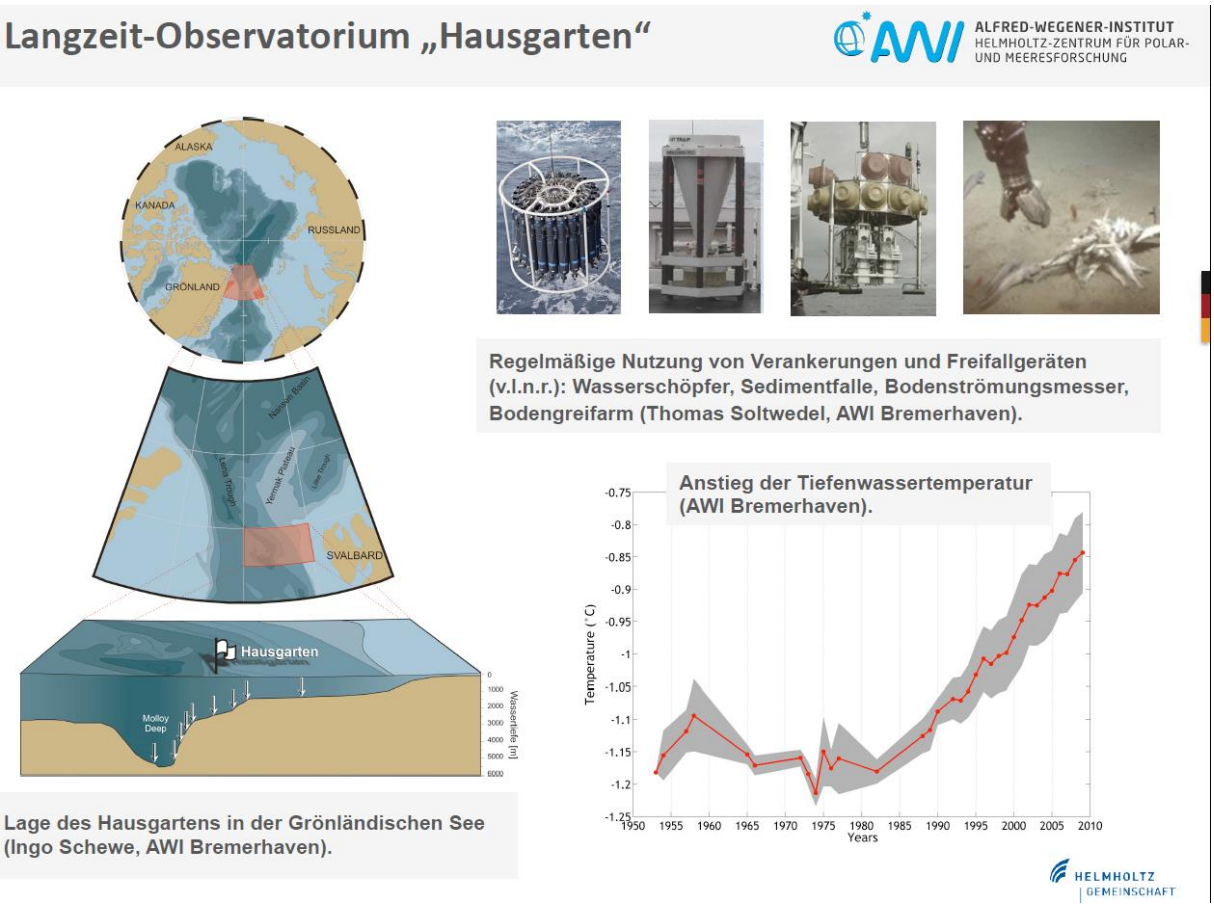
2) Bei Erwärmung taut der **Permafrostboden** auf, dabei entweicht Methan, was den Treibhauseffekt weiter ansteigen lässt.

Der bedrohte Weltozean:

- Erwärmung und Versauerung
- Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg mit Konsequenzen für Küstengebiete
- Verschmutzung der Ozeane, Plastikmüll
- Änderungen des Nahrungsangebots

AWI-Standort „Hausgarten" in der arktischen Tiefsee: Langzeit-Observatorium

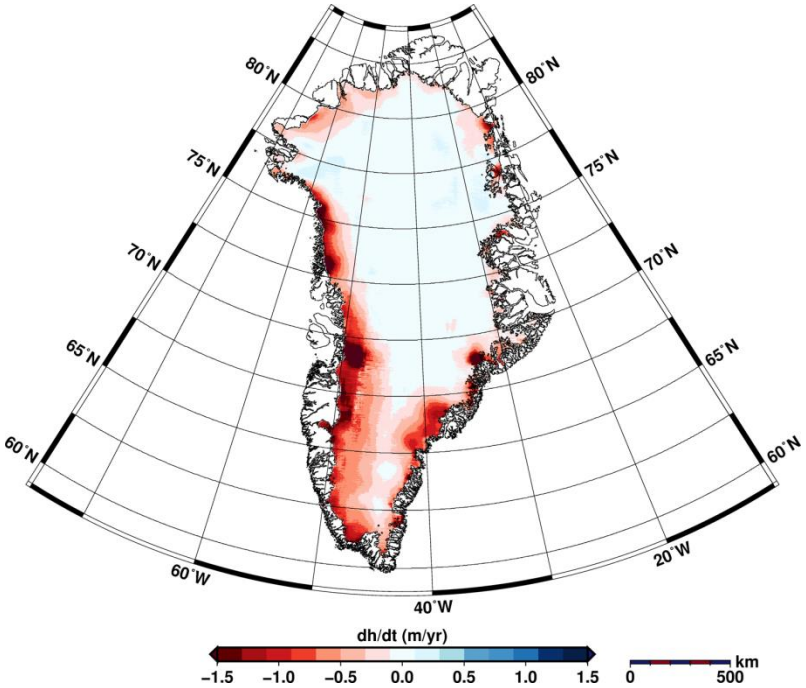
- Wassertemperaturerhöhung um 1°C
- Funde von Plastikmüll weit ab von der bewohnten Erde
- Der Atlantische Kabeljau verdrängt den Arktischen Dorsch.



Der Meeresspiegelanstieg ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen:

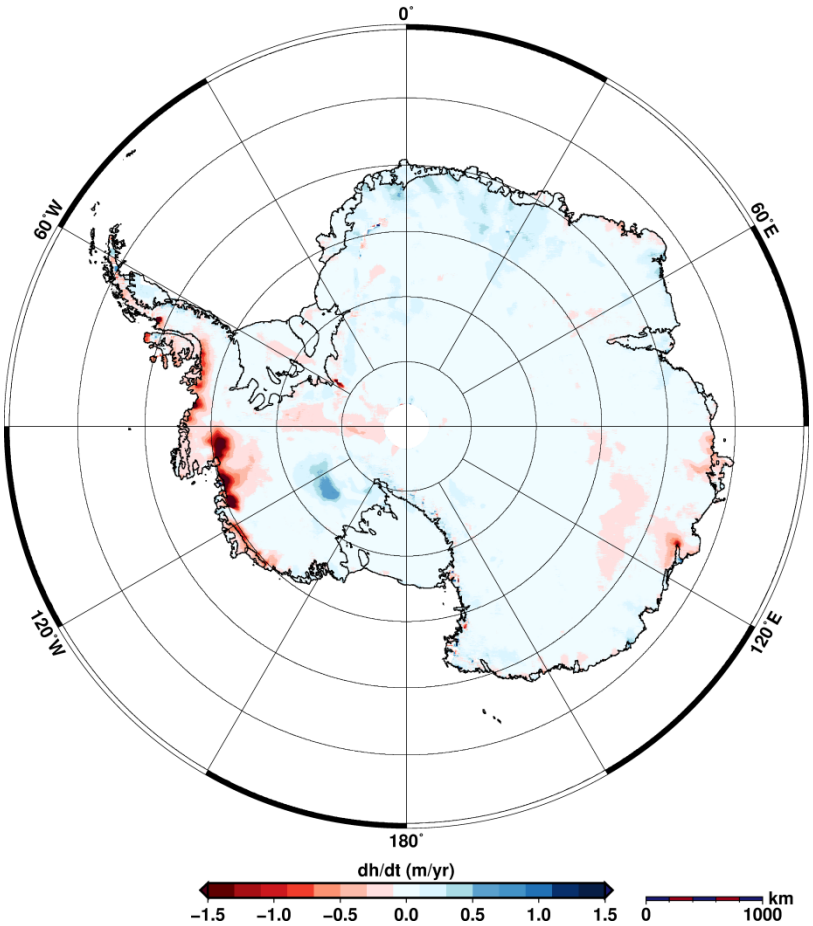
- die Ausdehnung des Meerwassers durch Erwärmung
- die weltweite Eisschmelze, vor allem in der Arktis und auch in der Antarktis

Zwischen 1901 und 2010 stieg der Meeresspiegel global um durchschnittlich 1,7 mm pro Jahr, im Zeitraum 1993 bis 2010 waren es durchschnittlich 3,2 mm pro Jahr (IPCC 2014). Andere Quellen geben den Meeresspiegelanstieg mit rund 2,8 mm pro Jahr, 1,2 mm entfallen auf die Eisschmelze, 1,6 mm auf die thermische Ausdehnung des Meerwassers.



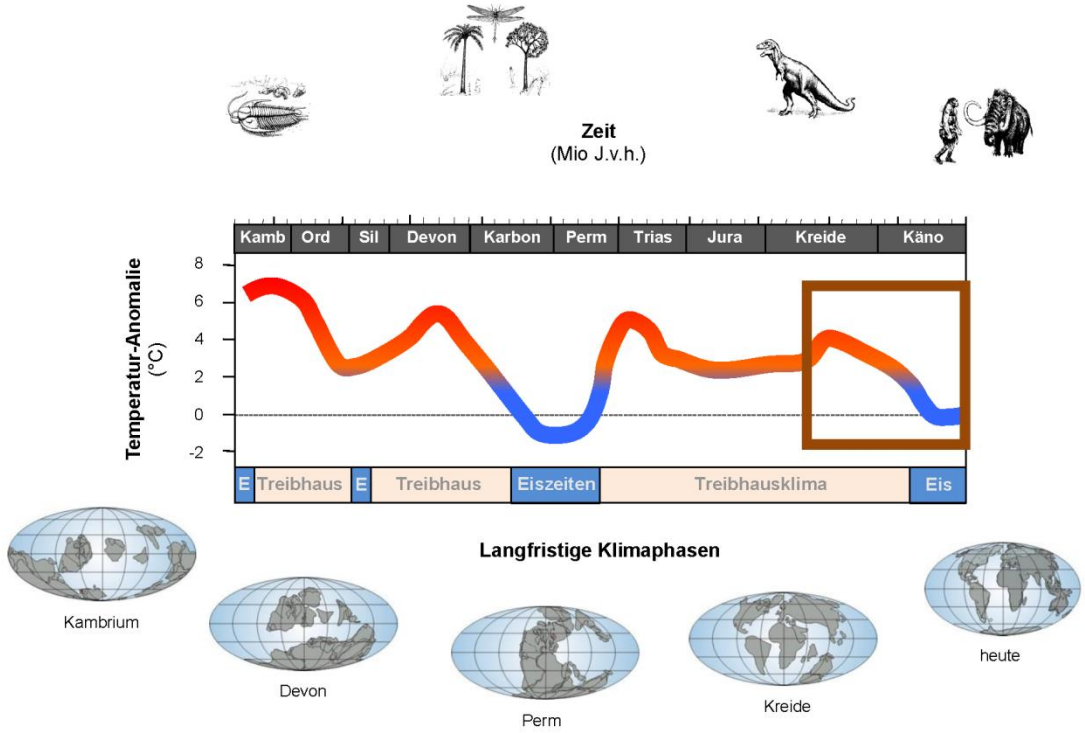
Höhenänderungen des grönländischen Eisschilds 2011-2014: Eisverlust
Quelle: Helm et al. 2014: Elevation and elevation change of Greenland and Antarctica derived from CryoSat-2. – The Cryosphere, 8, 1539–1559

Nicht nur in Grönland schmilzt das Eis, auch in der Antarktis gibt es Bereiche mit massivem Eisverlust, vor allem in der West-Antarktis. Aktuell zu beobachten ist u.a. das Aufbrechen des Larsen-C-Eisschildes.



Höhenänderungen des antarktischen Eisschilds 2010-2014
Quelle: Helm et al. 2014: Elevation and elevation change of Greenland and Antarctica derived from CryoSat-2. – The Cryosphere, 8, 1539–1559

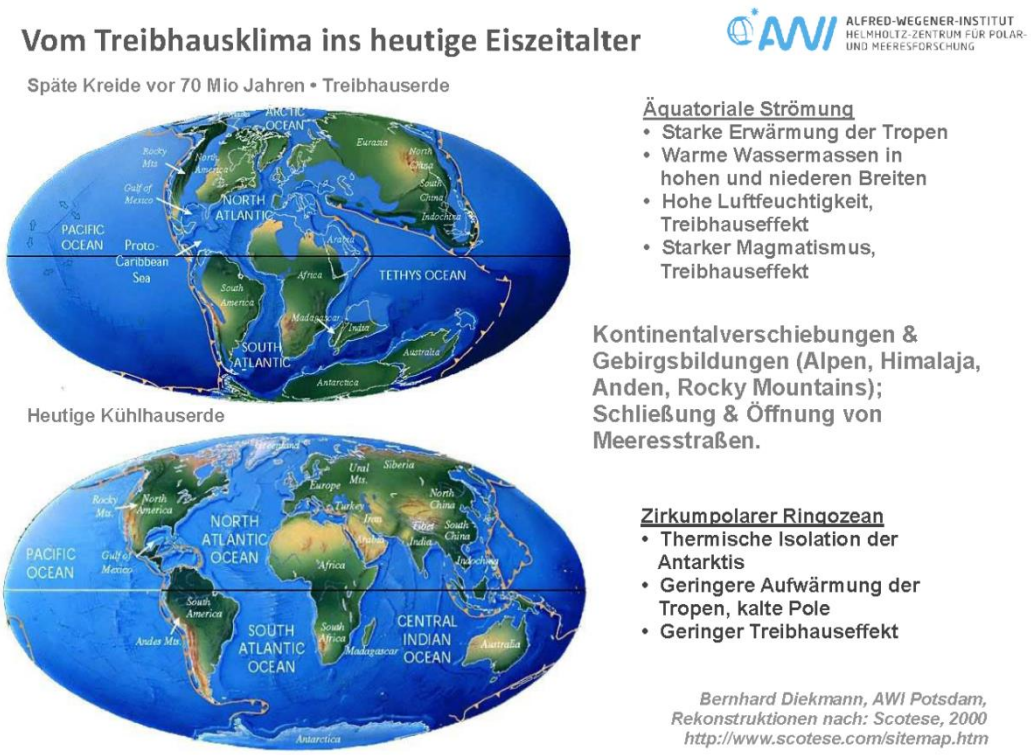
Die Meere im langfristigen Klimawandel



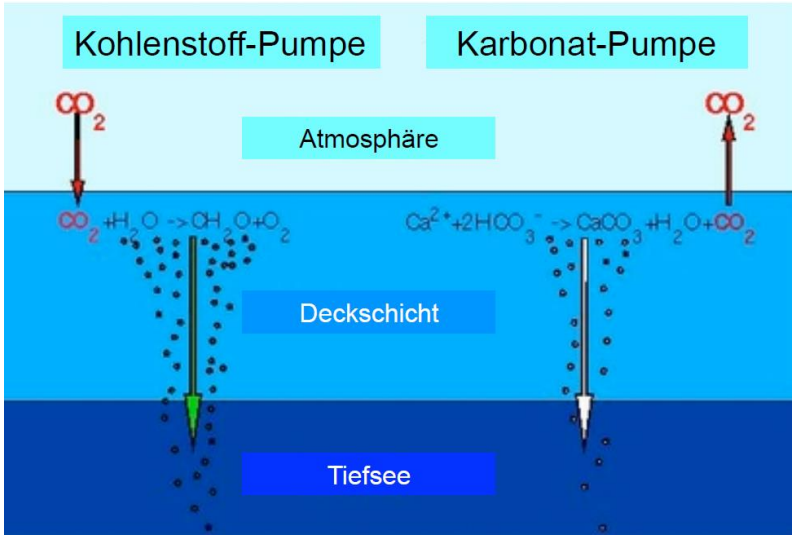
Diekmann, AWI Potsdam, nach Royer et al., 2004, Price et al., 2013, Karten: www.geomontanus.com

Im langfristigen erdgeschichtlichen Vergleich befinden wir uns heute in einer Eiszeitphase. Nach der eisfreien Kreide setzte die Vereisung der Antarktis vor etwa 40 Mio Jahren im späten Eozän ein. Die bipolare Vereisung begann im späten Pliozän vor etwa 2,7 Mio Jahren.

Man nimmt an, dass die „Kühlhauserde" – nach der „Treibhauserde" davor – dabei wesentlich auch durch Orogenese (Gebirgsbildung) und nachfolgender Erosion entstanden ist; dabei wurden Silikate und Karbonate gelöst, transportiert und in Wachstumsprozesse einbezogen, der Kohlenstoff dann im Weltmeer biologisch und chemisch ausgefällt und in Sedimentsenken eingelagert. Änderungen der Kontinentalanordnung und Meeresstraßen änderten die ozeanischen Pfade des Wärmetransports.



CO_2 im Ozean



Einerseits wird über die **Biologische Kohlenstoff-Pumpe** Kohlenstoff durch die Photosynthese des Phytoplanktons in Biomasse fixiert und als tote Organismen und Ausscheidungen in die Tiefsee verlagert. Andererseits setzt die **Karbonat-(Gegen-)Pumpe** bei der Bildung von Carbonatschalen (z.B. von Coccolithophoriden) CO_2 frei.

Botschaften zum Mitnehmen

- Der Ozean reagiert und reagierte immer sehr sensitiv auf Klimaänderungen.
- Der polare Ozean spielt dabei eine wesentliche Rolle (Kohlenstoff-haushalt, Eisschilddynamik, Meeresspiegel).
- Durch die sehr rasche, menschlich gemachte Klimaerwärmung wird er möglicherweise überfordert.
- Klimapolitik muss forciert werden.
- Schutzmaßnahmen vor ökologischen Schäden.

Erdkugel-Darstellung mit Earth and Moon Viewer: https://www.fourmilab.ch/earthview/vplanet.html

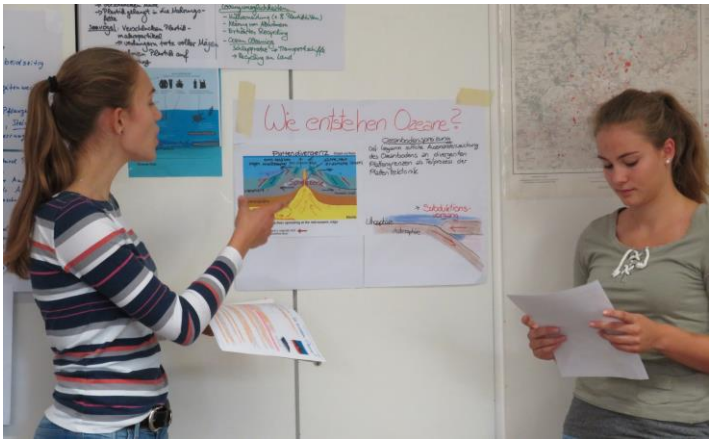
Zum Weiterlesen: AWI Fact Sheets
https://www.awi.de/ueber-uns/publikationen/berichte-und-broschueren.html

---

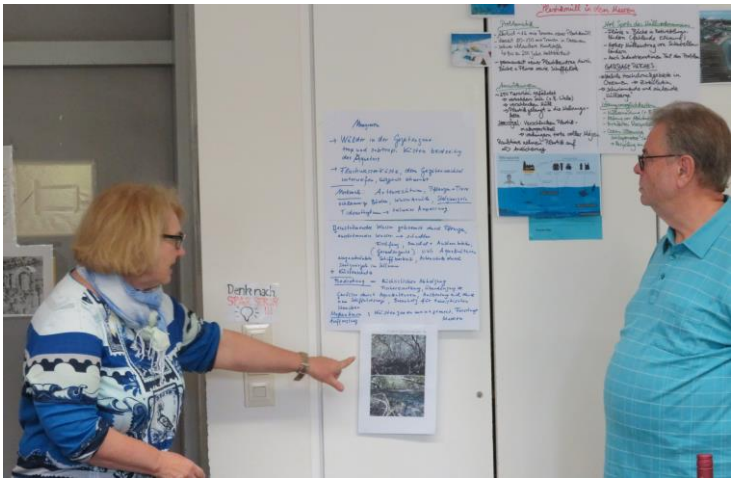
Arbeit mit Material in Gruppen und Präsentation im Plenum:
Geheimnisse des Ozeans: Natur und Gefährdung der Meere
Dr. Christof Ellger, GeoUnion

Behandelt wurde:

- Wie entstehen Ozeane? – Seafloor spreading
- Plastikmüll im Ozean
- Meeresspiegelanstieg
- Korallen
- Mangroven
- Miesmuschel
- CO_2 im Ozean
- Ocean Literacy: 7 Prinzipien der Meereskunde
- Thermohaline Zirkulation
- Schweinswal
- Hurricane
- Krill


Wie entstehen Ozeane?

TIEFWASSER
KORALLEN
FLACHWASSER
MALIBU
OCEAN BEACH

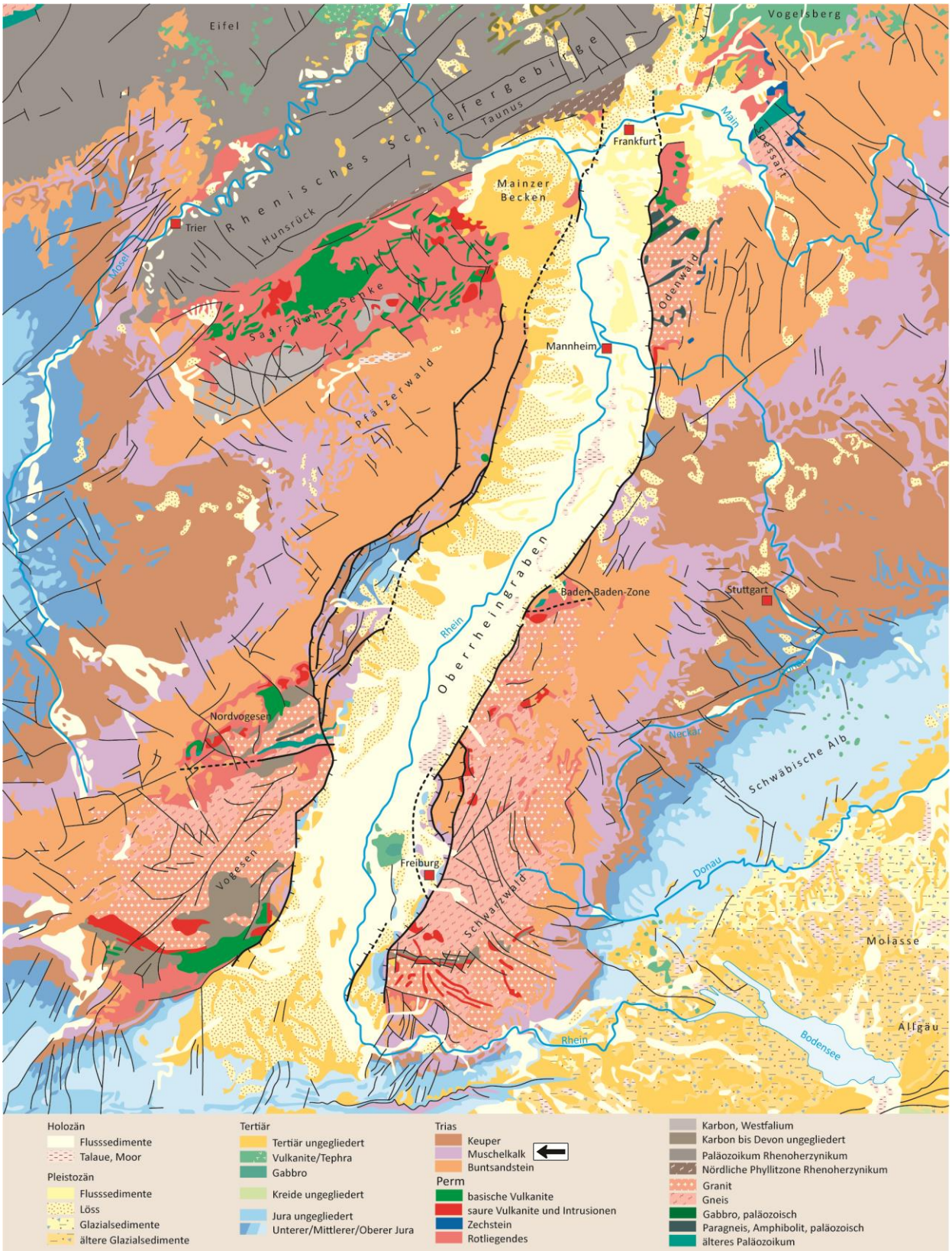


Meeresspiegelanstieg
Ursachen:
Folgen:

Wie entstehen Ozeane?

Muschelkalk sehen und begreifen –
eine didaktische und methodische Annäherung an die marinen Lebenswelten der Trias:

Die Bereiche des oberflächlich anstehenden Muschelkalks sind ein wesentlicher Baustein des südwestdeutschen Schichtstufenlandes, in dessen westlichem Bereich (Abbildung aus Meschede 2015):



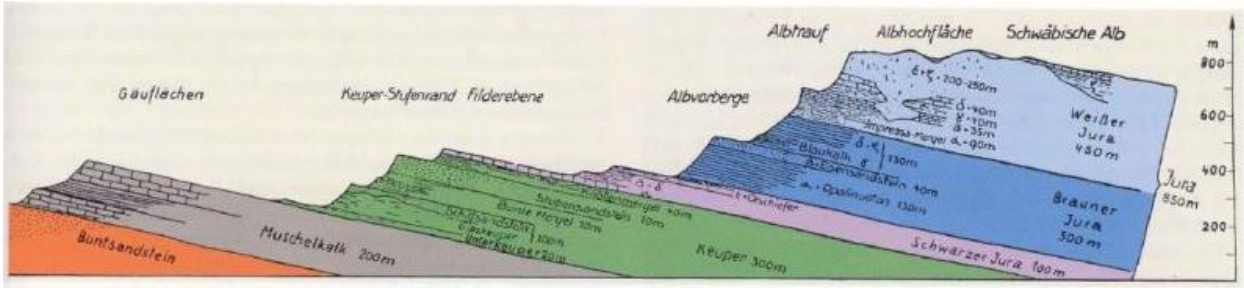


Abb. 21.7 Stark vereinfachter und überhöhter geologischer Schnitt durch das Süddeutsche Schichtstufenland vom Muschelkalk der Gäuflächen bis zum oberen Weißen Jura der Albhochfläche (nach Wagner 1960[21]).

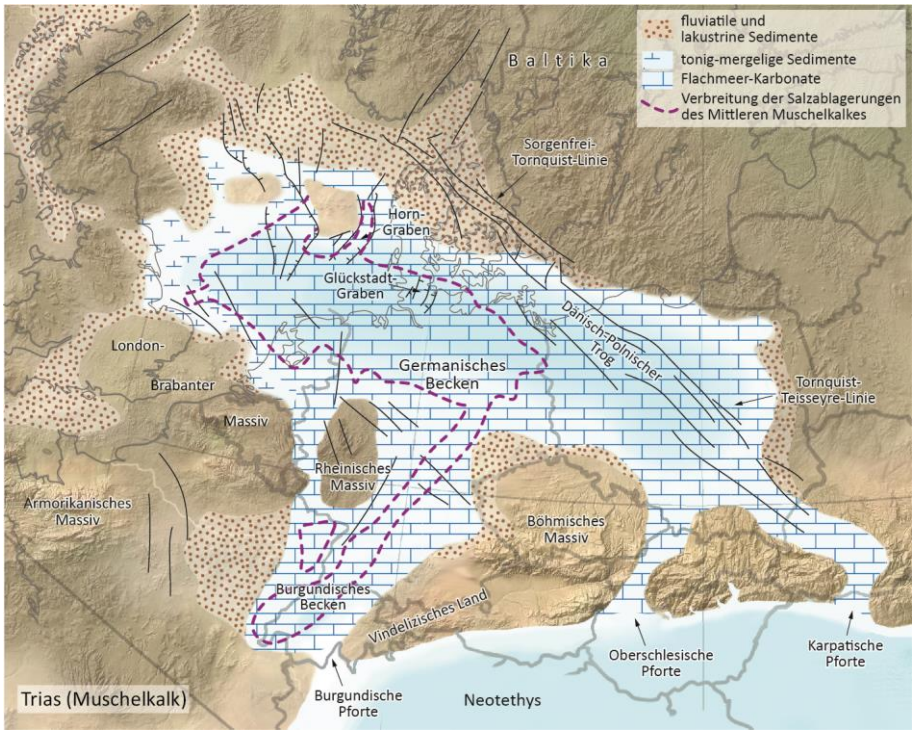
Quelle: Naturpark Schwäbisch-Fränkischer Wald

Die mesozoischen Schichtpakete wurden durch die Aufwölbung des Odenwalds (und den nachfolgenden Einbruch des Oberrheingrabens) im Tertiär schräggestellt, so dass sie heute an der Oberfläche von W nach E nebeneinander liegen. Morphologisch harte Gesteinslagen bilden dabei die charakteristischen Geländestufen.

Die Schichtstufen-Situation kann man natürlich auch anschaulicher darstellen:

Foto: C. Stolz, Geopark

Die Muschelkalksedimente stammen aus der Zeit von 246,5 bis 239,9 Mio. Jahren v.h. (vor heute). Sie wurden im Germanischen Becken abgelagert, das im Erdmittelalter mal marin, mal terrestrisch existierte.



Paläogeographische Rekonstruktion Mitteleuropas zur Zeit des Muschelkalkes

Quelle: Meschede 2015 (Meschede, Martin: Geologie Deutschlands. Ein prozessorientierter Ansatz. Berlin und Heidelberg 2015)

Das Meeresbecken der Muschelkalkzeit war über die Burgundische, Oberschlesische und Karpatische Pforte mit dem Urmittelmeer, der Neothetys, verbunden. Die Muschelkalksedimente sind in Deutschland generell zwischen 200 und 400 m mächtig, im Bauland rund 270 m. Die Streichrichtungen bzw. Bruchlinien zeigen in ihrer Ausrichtung das Saxonische Gitter (variskisch: ca. SW-NE, herzynisch: NW-SE). Es handelt sich um Meeressedimente; zumeist ist es Kalk, im Mittleren Muschelkalk wurden jedoch auch andere Evaporite (Eindampfungsgesteine) abgelagert, in der typischen Folge (sortiert nach Löslichkeit): Kalk – Dolomit – Anhydrit – Gips – Steinsalz.

Gesamtanlage Steinbruch Eberstadt mit Tropfsteinhöhle (Quelle: www.eberstadter-tropfsteinhoehle.de)

Der Bereich um den Steinbruch Eberstadt und die Eberstadter Tropfsteinhöhle liegt im Unteren Muschelkalk. Dieser ist im nordbadisch-fränkischen Raum in relativ großer Mächtigkeit erhalten (bis zu 80 m).

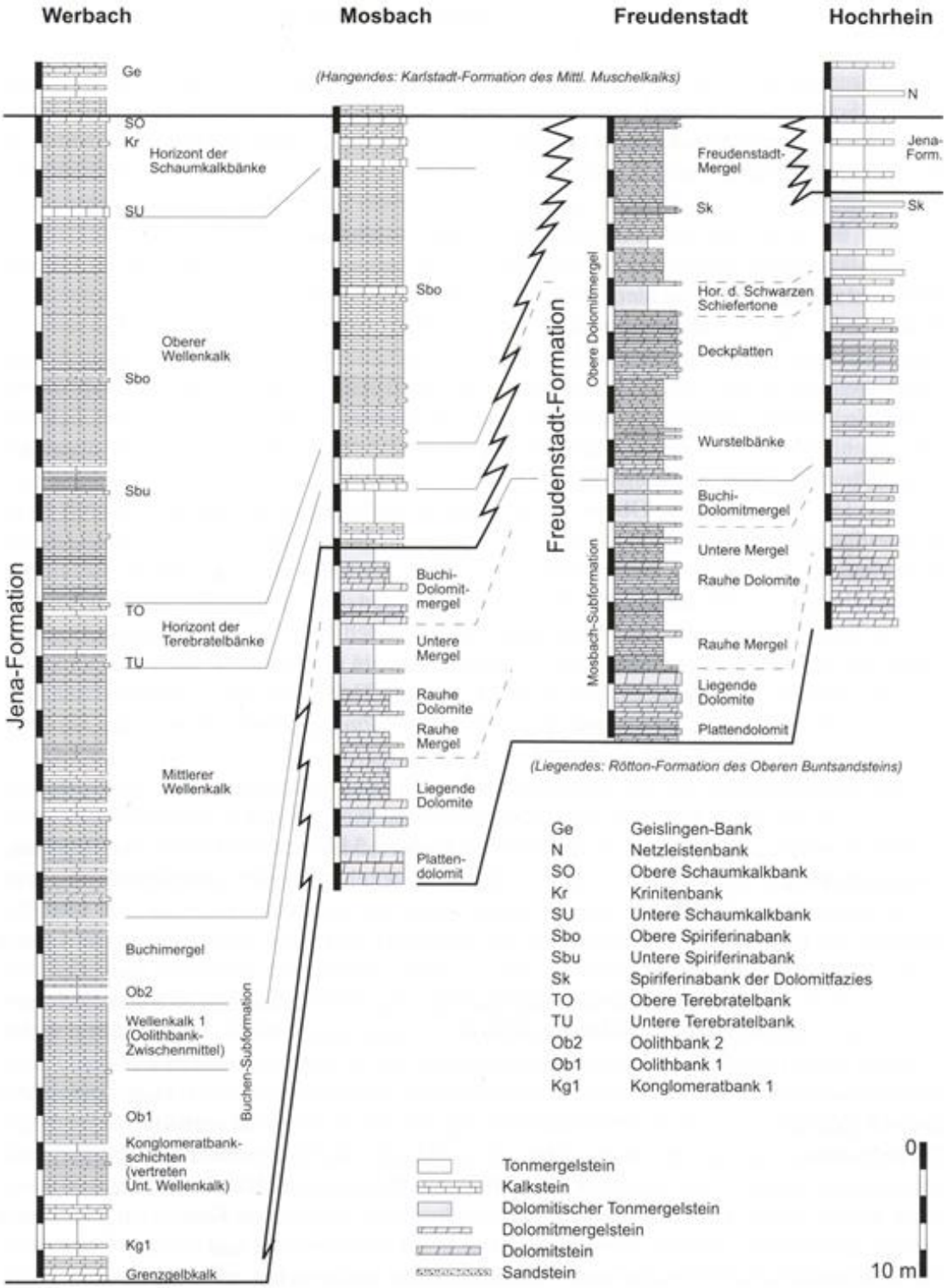


Abb. 54 Profile des Unteren Muschelkalks, zusammengestellt nach GEYER & GWINNER (1991), BRUNNER (1998), SIMON (1999b), GEYER et al. (2003).

Quelle: Geyer/Nitsch/Simon: Geologie von Baden-Württemberg, 5. Auflage, Stuttgart 2011

Die hier den Unteren Muschelkalk bestimmende Formation wird nach der typischen Entwicklung in Thüringen heute als Jena-Formation bezeichnet. Sie besteht im Wesentlichen aus Lagen von Wellenkalk, der sich als grauer, flaseriger, wellig gebankter Kalkstein darstellt, unterbrochen von dünnen Kalkmergelschichten. Dabei ist der untere Teil der Formation im Raum Buchen noch deutlich kalkiger ausgebildet als im übrigen Bundesland. Die unterste Schicht bildet der dolomitische Grenzgelbkalk, die oberste Schicht der ebenfalls härtere Schaumkalk. Die Sedimentationsrate wurde mit 1 cm in 400 Jahren berechnet.

Der Steinbruch wird betrieben von den SHB Schotterwerken Hohenlohe-Bauland, an die die Stadt Buchen das Gelände verpachtet hat. Der Abbaubereich erstreckt sich vertikal über 42 m. Produziert werden vor allem Schotter und andere Schüttgüter aus dem Wellenkalk; die härteren bankigen Lagen des Gelbkalks und Schaumkalks können auch als Werksteine verwendet werden.

Die Eberstadter Tropfsteinhöhle wurde erst 1971 bei einer Sprengung im Steinbruch entdeckt. Sie ist eine der wenigen Schauhöhlen, die im Unteren Muschelkalk existieren (so noch die kleine Teufelshöhle im hessischen Steinau an der Straße und die Goetz-Höhle in Meiningen). Die Höhle ist ein Resultat der Verkarstung der Muschelkalkplatten – d.h. der chemischen Lösung und des Abtransports des kalkigen Substrats – , die sich auch in anderen Karstphänomenen äußert (wie z.B. Dolinen, Flussschwinden, Karstquellen, Sinterung u.v.a.). Bedingungen für die Verkarstung sind die Klüfte im Gestein als Ausgangsbereiche für die Kalklösung, das ausreichende Wasserangebot und die Höhenlage. Die Höhle muss eine entsprechende Höhe über der Erosionsbasis haben, damit sie trockenfallen kann; die Eberstadter Höhle liegt heute auf rund 340 m ü. NHN, nahe der Wasserscheide zwischen der zum Main entwässernden Morre und der zum Neckar ausgerichteten Seckach. Die Höhle hat sich dabei unter einer Decke aus eher lösungsresistentem Schaumkalk entwickelt, die ihre Verschüttung von oben verhindert.

Die Höhle bildet einen unterirdischen Canyon. Erkennbar ist eine deutliche Konzentration auf zwei vorrangige Kluftrichtungen und eine prinzipiell rhenanische Orientierung ihres Verlaufs.

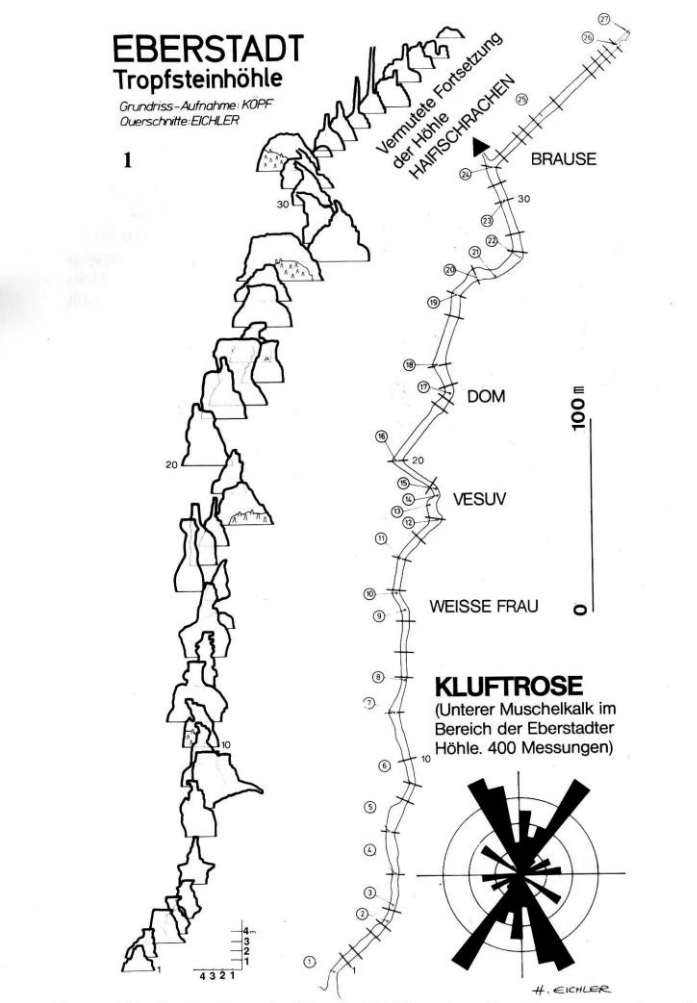
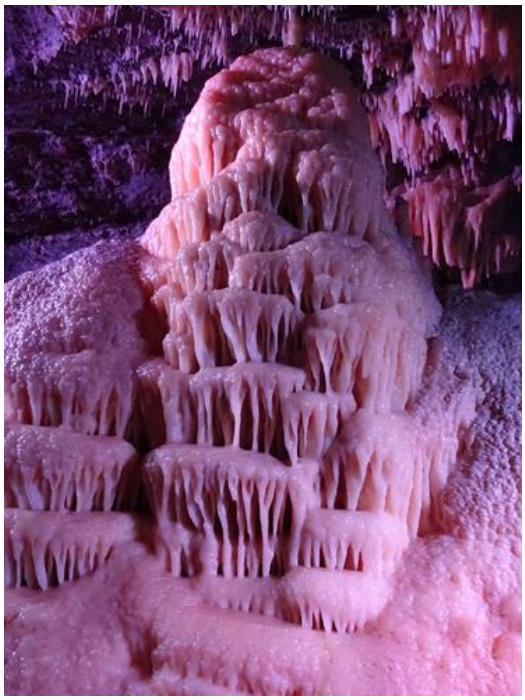


Abb. 1 Höhlenplan der Eberstadter Tropfsteinhöhle (Kreise geben Vermessungspunkte an).



Quelle: DOBAT, EICHLER u.a.1998: Die Eberstadter Tropfsteinhöhle. – In: Abh. Karst- u. Höhlenkunde, Reihe A, Heft 12, S. 57; aus: schule-bw.de

Die Höhle ist ca. 600 m lang. Sie ist Teil eines größeren Höhlensystems in diesem hochgelegenen oberflächlichen Bereich des Muschelkalks; zu diesem gehören der Hohle Stein und die Kornäckerhöhle gehören, die nicht für Besucher erschlossen sind.

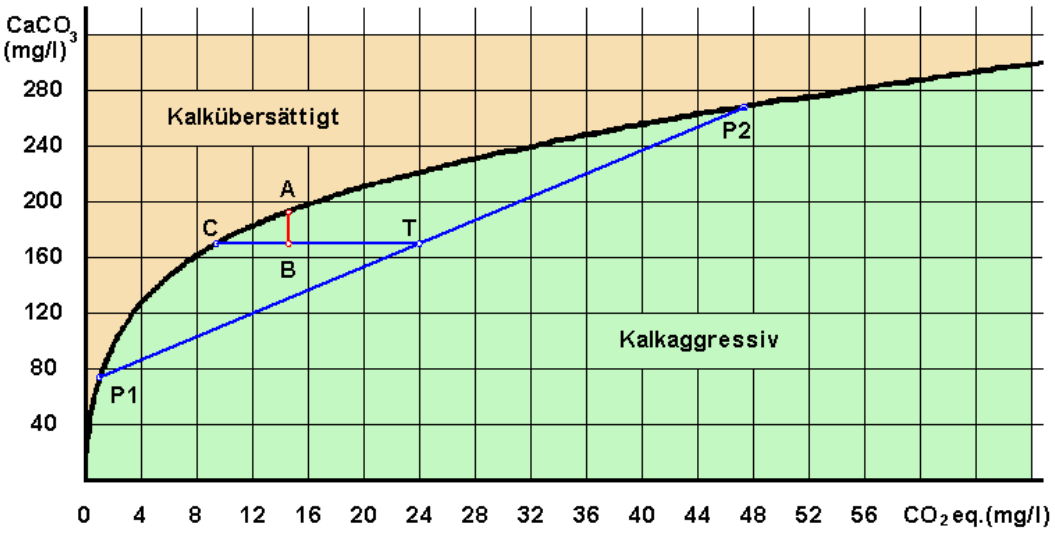
Durch die Kalklösung auf unterschiedlichen Ebenen und die zeitliche Verlagerung des vorrangigen Wasserlaufes nach unten zeigt die Höhle das typische Schlüssellochprofil einer Karsthöhle.

Für die Kalklösung gilt folgende Formel:

$$H_2O + CO_2 + CaCO_3 \iff Ca(HCO_3)_2$$

CO_2-reiches Wasser (Kohlensäure) löst den Kalk, wobei (in Wasser gelöstes) Calciumhydrogencarbonat entsteht. Häufige Lösungsformen sind Kolke, die durch die kreisförmigen Erosionsbewegungen des Wassers entstehen. Bei Druckentlastung und unter höheren Temperaturen verläuft der Prozess in die andere Richtung: Dann fällt Kalk aus, Wasser und Kohlendioxid entweichen. Auf diese Weise entsteht Sinter, auch in den bekannten Formen der Stalagtiten und Stalagmiten, der Sinterfahnen sowie der (zum Teil zugluftgetriebenen) Excentriques.

Interessant ist, dass die Intensität der Kalklösung durch Mischungskorrosion verstärkt wird; der Begriff bezeichnet den Umstand, dass eine Mischung aus zwei kalkgesättigten Lösungen erneut Kalk lösen kann; dies hängt damit zusammen, dass die Lösungsfähigkeit von Kalk in kohlensäurehaltigem Wasser nicht linear mit steigendem Anteil an CO_2 im Wasser verläuft, sondern parabelförmig: Die neue Mischung enthält damit überschüssiges CO_2, das wieder Kalk löst. Nur auf diese Weise lassen sich die großen Karsthohlräume innerhalb von Gebirgskörpern erklären.



Mischungskorrosion nach Bögli: Die Mischlösung mit der CO_2- und $CaCO_3$-Konzentration T, die aus zwei $CaCO_3$-gesättigten Lösungen mit den Konzentrationen P1 und P2 entstanden ist, liegt im kalkaggressiven Bereich (Quelle: Wikipedia)

Mit ihrer Ausstattung an Tropfsteinen gehört die Eberstadter Tropfsteinhöhle zu den bedeutendsten Besucherhöhlen Deutschlands.

Die Eberstadter Tropfsteinhöhle ist eine Einrichtung der Stadt Buchen. Sie empfängt heute ihre Besucher mit dem 2011 eröffneten Eingangsbereich und einer neu gestalteten LED-Beleuchtung. Bei der Gestaltung des Eingangsbereichs und des Höhlenzentrums waren verschiedene Experten, aber auch die Aktiven des Burghardt-Gymnasiums beteiligt, und auch das Programm der Höhle wird von der Schule mitgetragen. Viele der Höhlenführer/-innen sind (auch ehemalige) Schüler/-innen. Die Höhle kann nur im Rahmen von Führungen besichtigt werden. Sie hat in den Sommermonaten täglich geöffnet, im Winter an Sams-, Sonn- und Feiertagen; sie empfängt pro Jahr rund 60 000 Gäste und ist damit eine wichtige Institution für den Geotourismus. Als „Eingangstor Ost" bildet die Höhle und ihre Umgebung einen bedeutenden Baustein für den Geopark Bergstraße-Odenwald.