Landeshauptstadt Hannover

Schulbiologiezentrum

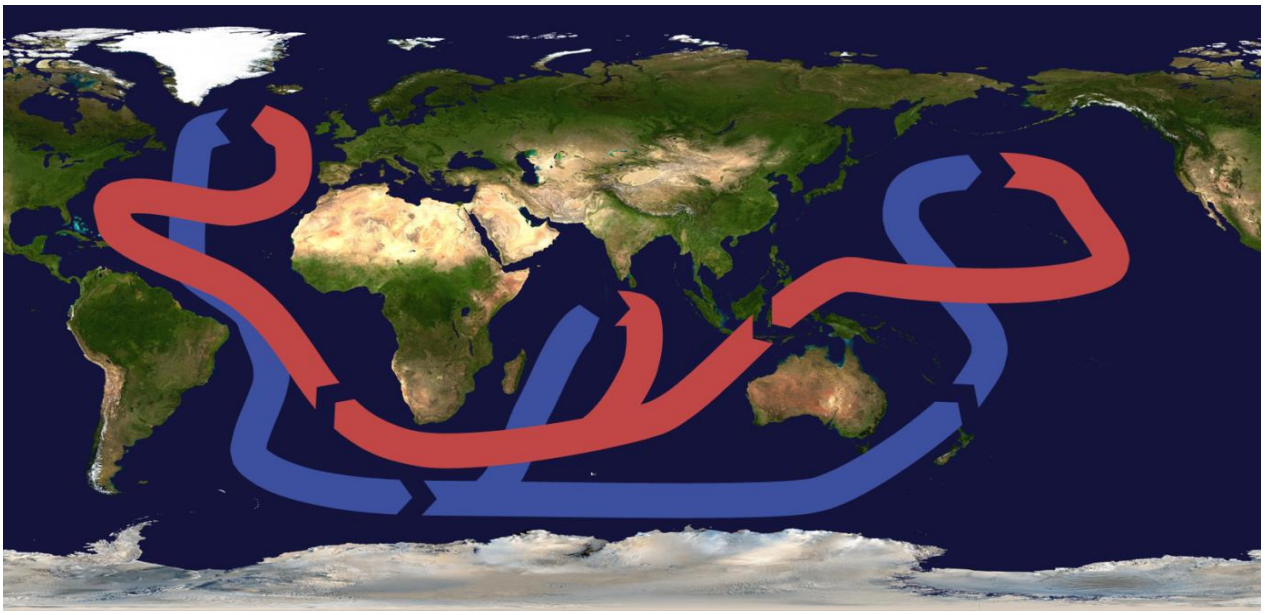


Abbildung: WIKIPEDIA

19.86

Der "Golfstrom" im Aquarium (Arbeitsfassung)

Ein Geographisch-physikalisches Unterrichtsprojekt
zwischen Atlas, Internet und physikalischen Kleinexperimenten

April 2016

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover

Titel: Der "Golfstrom" im Aquarium
Ein Geographisch-physikalisches Unterrichtsprojekt
zwischen Atlas, Internet und physikalischen Kleinexperimenten

Arbeitshilfe 19.86

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

Inhalt

Einige Worte vorweg
Eine lange "Warmwasserleitung" nach Europa
Mittlere Monatstemperaturen Nordatlantik Westeuropa Juni 2014 bis Mai 2015
Erstes "Brainstorming" mit Schülern
Strahlung und Strahlungsbilanz auf der Erde
Die warmen Tropen sind genau so groß wie der kalte "Rest" der Erde
Die Erde dreht sich: Massentransport und Corioliskraft
Kartenmaterial zum Thema "Golf-/Nordatlantikstrom"

Mögliche Interpretation der Karten in Bezug auf den Golf-/Nordatlantikstrom:

- Meeresströmungen und atmosphärische Zirkulation
- Mittlere Temperaturen an der Oberfläche
- Salzgehalt an der Oberfläche
- Dichte des Oberflächenwassers
- Lufttemperaturen im Januar bzw. Juli
- Mittlere globale Wolkenbedeckung
- Mittlere jährliche Netto-Strahlungsaufnahme an der Oberfläche
- Mittlere jährliche Niederschläge
- Mittlere Meereshöhen
- Globale Verteilung von Land und Meer
- Europas Sonderstellung

Entstehung des Golfstroms und seiner Ableger
Golfstrom: Einige Zahlen
Kartenmaterial zur Physik des Golfstroms

Atlasarbeit und Experimente zur Geographie und Physik des Golfstroms

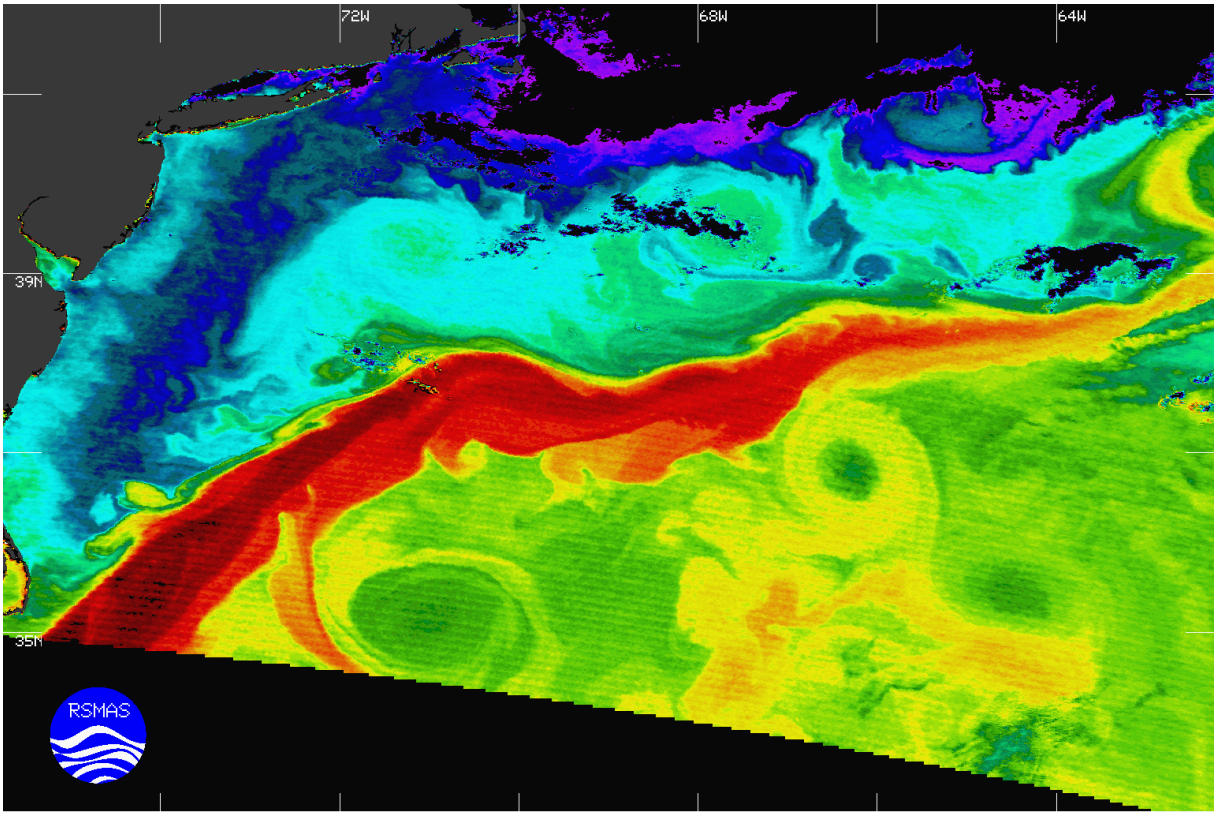
- Wasser ist nicht gleich Wasser…
-
- Atlasarbeit (Klimate der Erde, Meeresströmungen, Luftdruck und Winde)
- Hypothesenbildung: Wie funktioniert der Golfstrom?
- Bewertung und Filtern der Hypothesen
- Planung der Versuche

Experimente

- Können wir Meerwasser für unsere Experimente selbst herstellen?
- Bewegt sich Wasser, wenn es erwärmt wird?
- Verdunstet Wasser, wenn es erwärmt wird?
- Wie stark dehnt sich Wasser durch Erwärmung aus?
- Trennt sich warmes von kaltem Wasser?
- Warum enthalten Heizkörper eigentlich Wasser und keine Luft?
- Wie viel Wärme kann Wasser transportieren?
- Kann Salzwasser mehr Wärme transportieren als Süßwasser?
- Wie verhält sich kaltes und warmes Wasser in "normalem" Wasser?
- Was "wiegt" kaltes und warmes Wasser?
- Wie verhält sich salziges und weniger salziges Wasser in "normalem" oder salzigem Wasser?
- Wie verhält sich salziges Wasser in Süßwasser?
- Was geschieht, wenn salziges Meerwasser zu Meereis wird?
- Was geschieht, wenn salziges Meerwasser erwärmt wird?
- Was verhalten sich Masse, Dichte und Auftrieb, wenn Salzwasser erwärmt wird?
- Wie verändert sich der Salzgehalt wenn Meerwasser verdunstet und an anderer Stelle abregnet?

- Kann man den Golfstrom im Aquarium simulieren?
- Kann man die Temperaturverteilung im Atlantik simulieren?
- Wie hoch ist der Salzgehalt in den Ozeanen?
- Was hat die Verteilung von Meer und Land bzw. die Form der Kontinente mit dem Golfstrom zu tun?
- Die Thermohaline Zirkulation im Atlas

Wie ein warmer Fluss im Meer…



http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/0/681/gulf_stream_modis_lrg.gif

Einige Worte vorweg

Der Winter 2013 war ungewöhnlich lang. "Schuld" daran - so hörte man oft in den Medien - war ein Hoch namens "Jill". So weit so gut. Warum aber blieb "Jill" so lange?
Der an eine "kleine Eiszeit" erinnernde "Rekordwinter" war für die einen - z.B. Mojib Latif in einem Deutschlandfunk-Interview - ein ganz normales Ereignis im immer schon chaotischen Wettergeschehen.
Für andere ist der lange Winter ein Hinweis darauf, dass der durch Menschen herbeigeführte "Klimawandel" nunmehr zur Schwächung oder sogar zum Aussetzen des uns wärmenden Golfstroms geführt habe. Und dies führe zur nur scheinbar paradoxen Situation, dass es trotz der globalen Klimaerwärmung in Europa kälter würde…

Das "Sorgenkind" Golfstrom wurde im September 2012 sogar zum Tageschau-Thema, allerdings mit der beruhigenden Aussicht, dass er auch in Zukunft ein stabiles Klima in Europa garantieren wird.

Abbildung: Screenshot ZDF

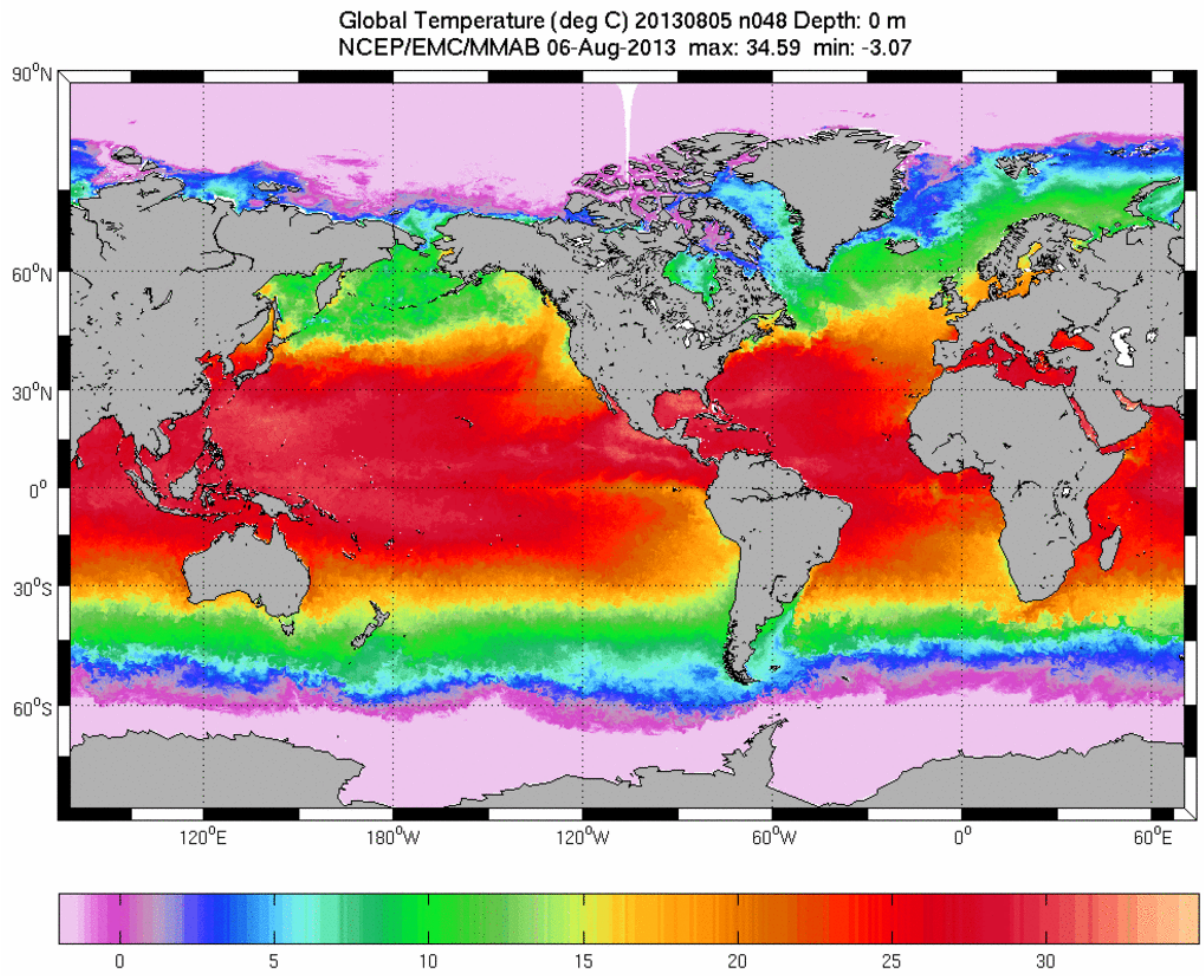
Der "Klimawandel" wird in der breiten Öffentlichkeit, wie das Wetter, oft sehr laienhaft diskutiert. Hinter schlagwortartig benutzten meteorologischen Fachbegriffen verbirgt sich viel Unkenntnis darüber, wie Wetter und Klima überhaupt entsteht. Bei Neu- und Vollmond ändere sich das Wetter behaupten die einen, früher sei das Wetter - ohne Umweltverschmutzung - noch "normal" gewesen, so die anderen. Das Wetter ist ein Platz, wo viele Laien glauben, ungestraft mitreden zu können, selbst wenn sie nur "Kaffeesatz lesen"!
Hinter Wetter- und Klimaphänomen stecken physikalische Gesetzmäßigkeiten die man studieren kann. Die Analyse ihres komplexen Zusammenwirkens ist eine Aufgabe für Großrechner. Das führt zu einer zunehmenden Professionalisierung der Wettervorhersage mit der Folge, dass der Normalbürger "das Wetter" zunehmend den Fachleuten überlässt und nur noch in seine Apps schaut wenn er wissen will, ob es draußen regnet. Warum gerade jetzt und gerade hier, wird selten hinterfragt.
Leider ist die Physik des Wetters in dieser Zeit des uns täglich von den Medien ins Bewusstsein gebrachten "Klimawandels" fast völlig aus der Schule gedrängt worden.
Entstehung und Dynamik von Hoch- und Tiefdruckgebieten bzw. -gürteln gehören heute nicht unbedingt zum Allgemeinwissen. Kaum noch jemand kann eine Wetterkarte lesen, geschweige denn, die Entwicklung der nächsten Stunden oder Tage aus der Druckverteilung und der Lage von Fronten abzuleiten. Wichtige für das zukünftige Klima entscheidende Elemente wie die Nordatlantische Oszillation (NAO) und die Thermohaline Zirkulation (THC) sind erst recht kaum bekannt. Dabei sind besonders NAO und THC die Schlüsselfaktoren des milden, eine reiche Subsistenzwirtschaft ermöglichenden mittel- und nordeuropäischen Klimas: Unter NAO versteht man den über dem Nordatlantik schwankenden Temperaturgegensatz zwischen polaren und subtropischen Breiten. Die Ausprägung dieses Temperaturgefälles ist entscheidend z.B. für den Verlauf unserer Winter. Bei großem Temperatur- und damit Druckgegensatz, also positiven NAO-Werten, wird mit westlichen

Winden milde Atlantikluft nach Europa geführt. Bei negativen Werten (geringe Gegensätze) schläft diese Westwinddrift ein und atlantische Tiefs erreichen Mitteleuropa nicht mehr. Stattdessen bildet sich ein blockierendes Hoch von Zentralasien bis nach Europa aus und bringt uns "sibirische" Kälte. So geschehen im Winter 2013. Sollte sich, wie vielfach angenommen, die Erde tatsächlich erwärmen und das Eis des Nordpolarmeeres abschmelzen hätte dieses nach Erkenntnis vieler Meteorologen gravierende und für den Laien paradox erscheinende Folgen: Kältere Winter trotz Klimaerwärmung! Veränderungen des Temperatur- bzw. Druckgegensatzes würden sich durch verringerten Salzgehalt des atlantischen Oberflächenwassers möglicherweise auch auf die Intensität und Reichweite des Golf- bzw. nordatlantischen Stroms auswirken. Diese uns noch in hohen Breiten erreichenden Meeresströmungen tropischen Ursprungs sind die eigentlichen Grundlagen für den hohen Grad europäischer Zivilisation. Ohne dieses Warmwasser-Förderband wäre es bei uns kalt wie im Kanadischen Neufundland und in Labrador, das wie man im Atlas leicht nachprüfen kann, auf den gleichen Breitengraden liegt wie Mittel- und Nordeuropa.
Diese kleine Arbeitshilfe wird Ihnen keine weiteren Antworten darauf geben, warum manche Winter so lang und kalt sind und es in manchen überhaupt keinen Schnee gibt. Wir werden Ihnen auch nicht die Entscheidung abnehmen ob die Erde einen menschgemachten "Klimawandel" erleben wird oder nicht. Beides überlassen wir anderen. Wir möchten Ihnen, den in der Schule tätigen und didaktische Entscheidung treffenden Kolleginnen und Kollegen lediglich einige, auf unserer eigenen Unterrichtspraxis gründende Anregungen geben wie Sie das jetzt allgegenwärtige Thema "Klimawandel" mit geographischen und physikalischen Zusammenhängen unterfüttern können. Nicht mehr und nicht weniger.
Der Versuch, viele "Inquire"-Aspekte hineinzutragen ist eine Folge einer im Schulbiologiezentrum Hannover jetzt bald zweijährigen Auseinandersetzung mit der Methode einer möglich schülerorientierten forschungsbasierten Auseinandersetzung mit der Natur (IBSE: Inquiry based scientific education).
Mit diesem Thema bewegt sich das Schulbiologiezentrum durchaus in "heimischen Gewässern": Das "Klima" als Summe von Wetter ist zwar zunächst ein physikalisches (meteorologisches) und dann ein geographisches Thema, es hat aber in seinen Konsequenzen erhebliche Auswirkungen auf die (biologische) Natur.

Eine lange "Warmwasserleitung" nach Europa

Nassau / Bahamas:
Wassertemperatur 29°C. Rund 10°C wärmer als auf Sylt. Fast "Badewannentemperatur! Warum ist es dort so warm? Scheint die Sonne dort länger als bei uns?

Nordkap / Norwegen:
Wassertemperatur 12°C. Rund 7°C kälter als auf Sylt. Dafür aber über 500 km nördlich des Polarkreises und "nur" noch etwas mehr als 2000 km vom Nordpol entfernt. Da springen ganz Mutige schon mal ins Wasser und sei es nur deshalb, weil es so schön weit "oben" liegt. Was nur wenige dort "oben" wahrnehmen: Das Nordkap liegt so nördlich wie Mittelgrönland!
Warum ist es am Nordkap eigentlich noch so warm?



Wassertemperaturen im August 2013, Quelle: NOAA, National Weather Service

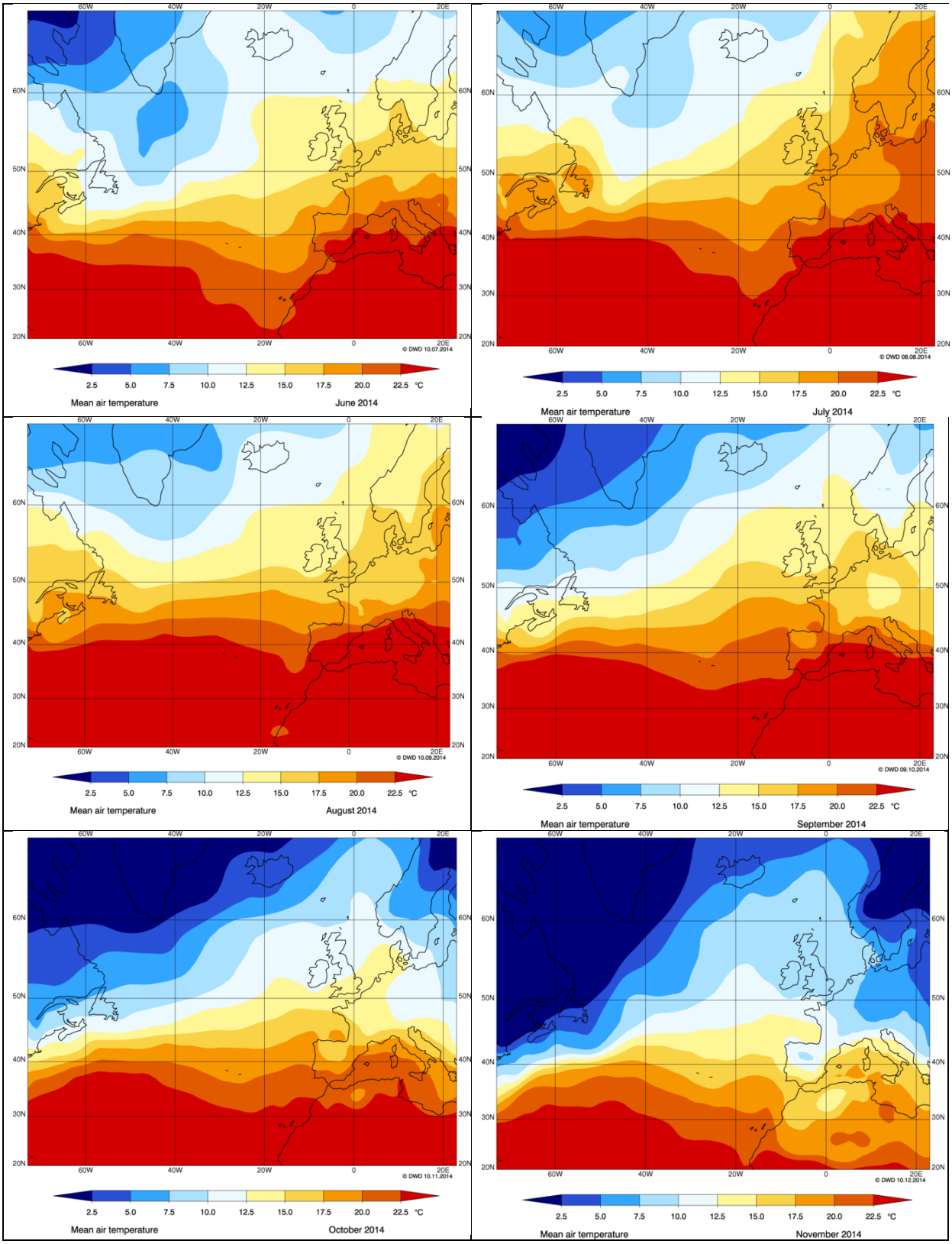
Ein Blick auf die globale Temperaturverteilung der Ozeanoberflächen zeigt auf der in mittleren Breiten vom Wasser dominierten Südhalbkugel einen nahezu, nur leicht von der Meerenge zwischen Südamerika und der Antarktis gestörten breitenkreisparallelen Verlauf. Auf der Nordhalbkugel mit ihren großen Landflächen fällt auf, dass das Meer an den Ostseiten der Kontinente kälter ist als an den Westseiten und das dies zwischen Nordamerika und Nordeuropa besonders stark ausgeprägt ist.

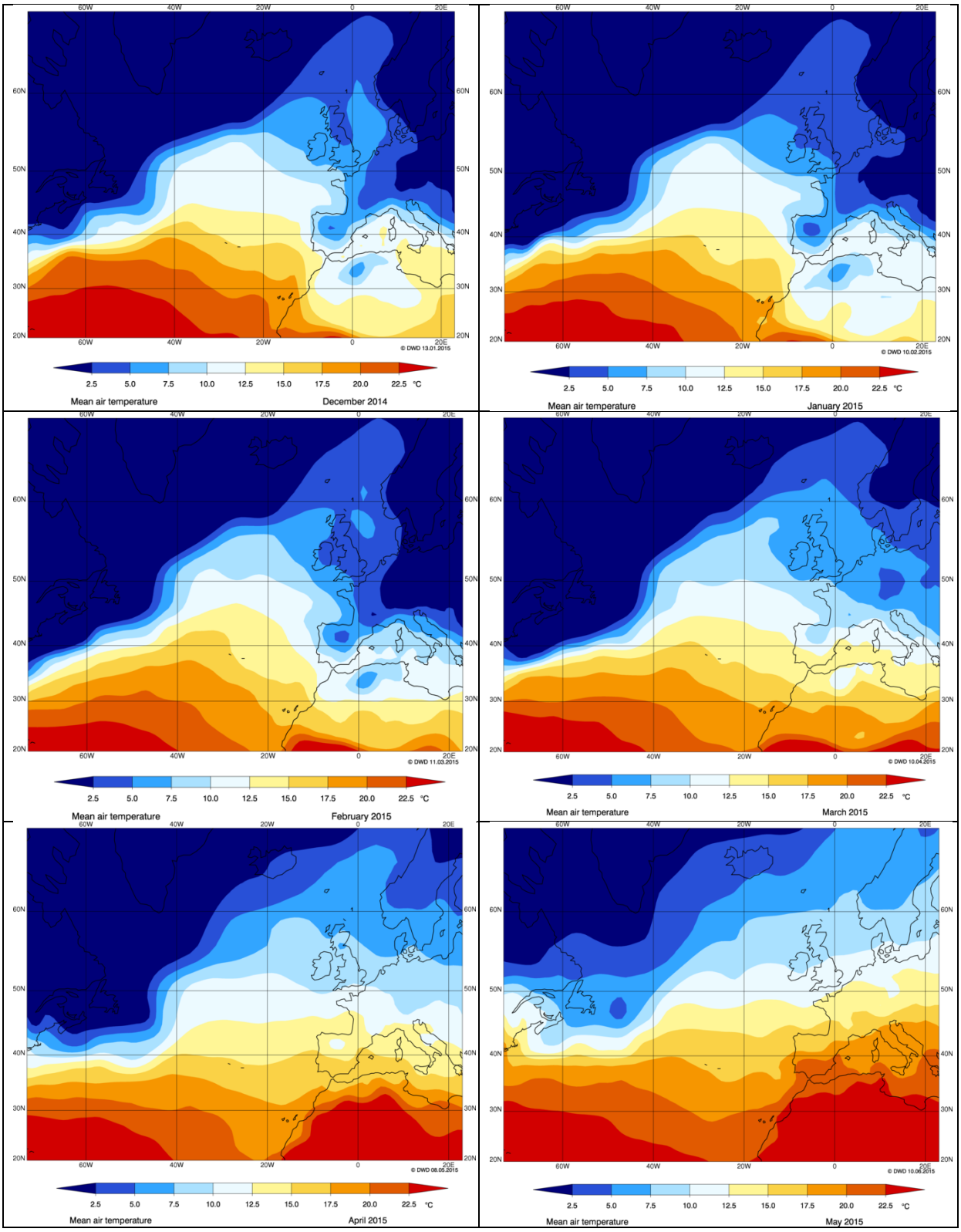
Warum ist das so? Was macht das Meer in Nordeuropa so warm?

Mittlere Monatstemperaturen Nordatlantik und Westeuropa im Jahreslauf

(Juni 2014 - Mai 2015)

(Quelle: Deutscher Wetterdienst. www.dwd.de)





- Diese Karten werden vom Deutschen Wetterdienst monatlich aktualisiert und sind unter www.dwd.de >Fachnutzer >Hobbymeteorologen >Wetter und Klima Europa abrufbar.
- Weitere Karten geben die Abweichungen vom langjährigen Monatsmittel 1961 - 1990 wieder.
- Das Archiv reicht zurück bis Januar 2002

Erstes Brainstorming mit Schülern

Ein erstes "Brainstorming" unter Schülerinnen und Schülern dazu könnte zu Vermutungen wie diesen führen:

Unterschiedliche Verteilung von "gutem" und "schlechtem" Wetter, d.h. besonders viel Sonnenschein über Nordeuropa?	Das lässt sich mit Satellitenbildern oder Wetterkarten nachprüfen, führt aber zum Ergebnis, dass das Nordmeer oft unter dichtem Nebel verborgen ist.
Unterschiedliche Meerestiefen? Flaches Wasser erwärmt sich schneller!	Auch das lässt sich - im Atlas - nachprüfen, führt aber zu keinem positiven Ergebnis.
Unterschiedliche Verteilung von Land und Meer?	Auf dem 60sten südlichen Breitengrad umspannen die Ozeane die ganze Erde. Auf dem 60sten nördlichen Breitengrad ist die Erde in Kontinente und Ozeanbecken gegliedert. Asien und Nordamerika sind nur durch die schmale Beringstraße getrennt. Der Abstand zwischen Nordeuropa und Europa ist, nur im Norden von Grönland unterbrochen, sehr groß. Nordeuropa hat einen breiten Zugang zum Atlantik.
Meeresströmungen? Transport von warmem Wasser in kältere Zonen?	Nachsehen im Atlas!
Wird Wasser durch die Drehung der Erde in Schwung gebracht?	Vergleich der Rotationsrichtung der Erde mit der Bewegungsrichtung des Wassers.
Wird das Wasser vom Wind angetrieben?	Im Atlas nachprüfen! Wie aber entsteht Wind? Und hängt die transportierte Wassermenge von der Windstärke ab?

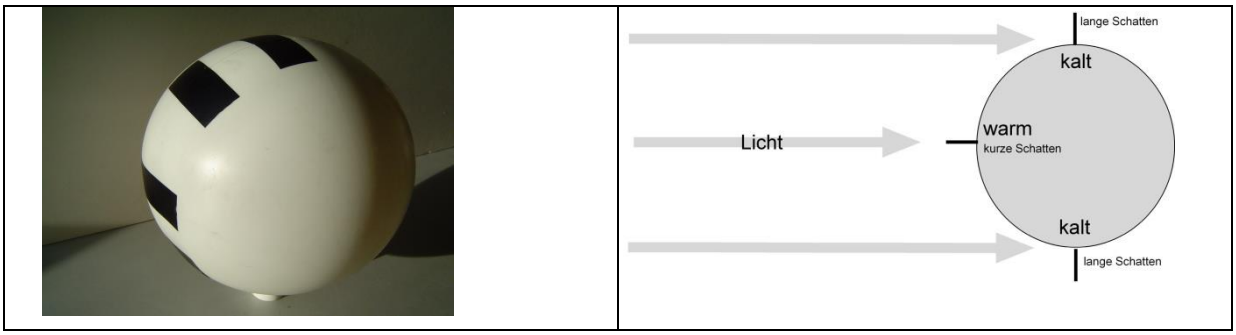
Viele Fragen und Vermutungen werden im Anfangsstadium noch offen bleiben müssen. Wichtig ist, dass die Ergebnisse des "Brainstormings" sowie alle später dazukommenden Gedanken und Lösungen notiert und für alle sichtbar plakatiert werden.

Vielleicht wird auch schon der "**Golfstrom**" als Ursache genannt:

Zum Golfstrom kann man sich im Atlas, im Lexikon und im Internet informieren. Die Entstehung des Golfstroms (und anderer Ströme) sind nicht nur bei Wikipedia gut dokumentiert. Des Weiteren stehen, besonders von US-amerikanischer Seite, sehr viele, auch täglich aktualisierte Daten und Karten zur Verfügung.

Strahlung und Strahlungsbilanz auf der Erde

Im Sommer, wenn die Sonne tagsüber lange und mittags hoch am Himmel steht, ist es warm. Im Winter, wenn die Tage kurz sind und die Sonne nur wenig über den Horizont steigt ist es kalt. Die eingestrahlte Energie ist also abhängig von der Dauer und dem Winkel der Einstrahlung.



Aus Wilma, Rita, Katrina, Larry und die anderen…
Experimente zur Geo-Physik der Wirbelstürme, Arbeitshilfe 19.66, Schulbiologiezentrum Hannover

Die Energieaufnahme hängt darüber hinaus auch ab von den Stoffeigenschaften der absorbierenden Fläche ab. Weiße Flächen reflektieren den größten Teil der Strahlung und erwärmen sich nur geringfügig, schwarze Flächen dagegen verwandeln den größten Teil des absorbierten Sonnenlichts in Wärme.

Stoffe mit einer hohen Wärmekapazität, z.B. Wasser erwärmen sich langsamer als Luft, dafür speichern sie die aufgenommene Wärmeenergie länger.

In der Dunkelheit gibt die Erde die tagsüber aufgenommene Energie als "langwellige" Gegenstrahlung wieder ab.

Die "Energiebilanz" Q setzt sich - vereinfacht - damit aus drei Gliedern zusammen die man noch weiter vereinfachend zu zwei Komponenten zusammenfassen kann:

Q_k = Input (kurzwellige Einstrahlung - reflektierte Strahlung)

Q_k setzt sich aus der kurzwelligen Globalstrahlung G abzüglich der reflektierten Strahlung R zusammen.

Q_l = Output (langwellige Ausstrahlung)

$$Q = Q_k - Q_l$$

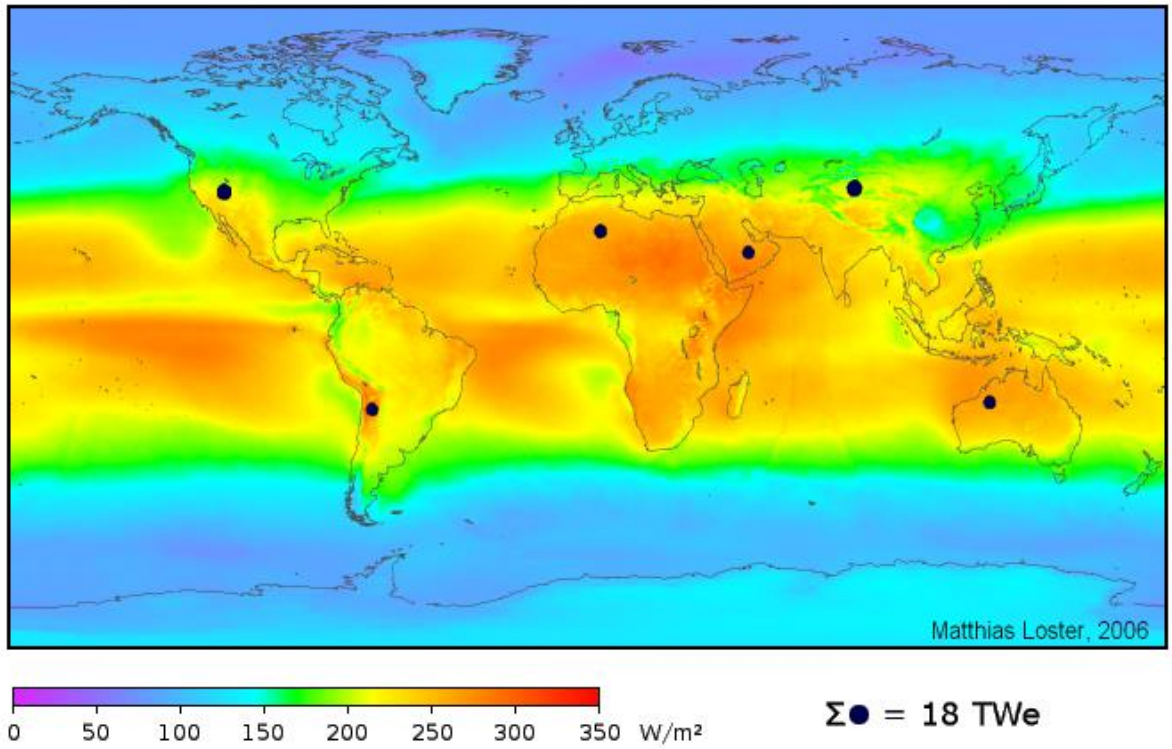
Bezogen auf die gesamte Erde sollte sich eine ausgeglichene Bilanz ergeben:

$Q_k = G - R = 342\ W/m^2 - 107\ W/m^2 = 235\ W/m^2$

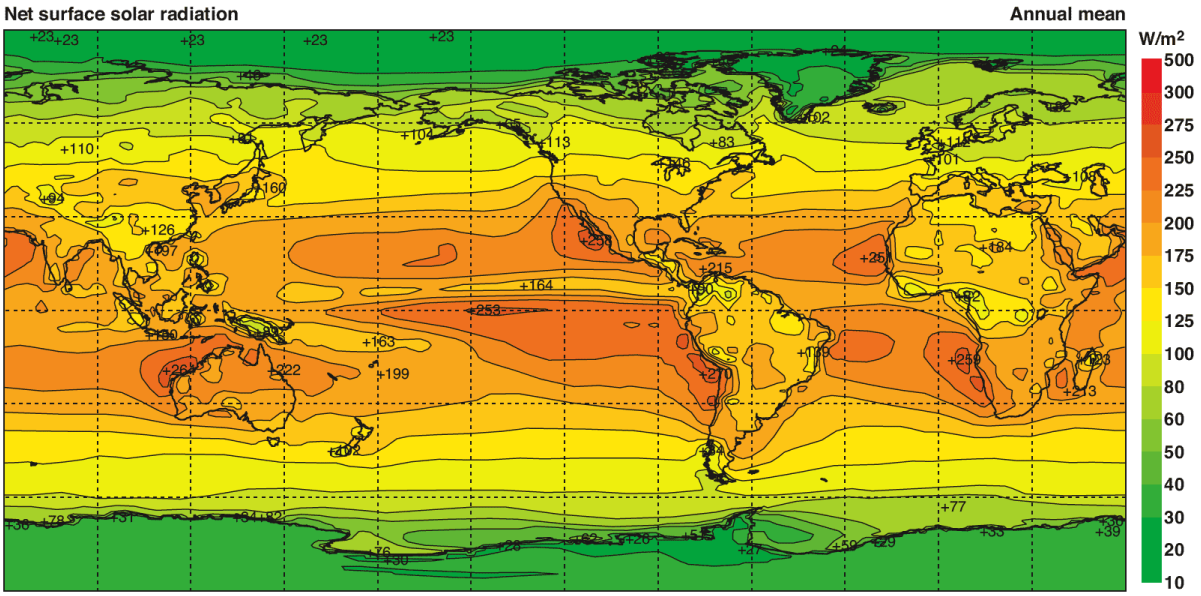
$Q_l = 235\ W/m^2$

$Q = 0\ W/m^2$

Da die Energieaufnahme mit der Tageslänge und dem Einstrahlungswinkel schwankt, ist sie abhängig von der geographischen Breite. Albedo (Rückstrahlung) und Wärmekapazität der absorbierenden Flächen modifizieren den Input zusätzlich.



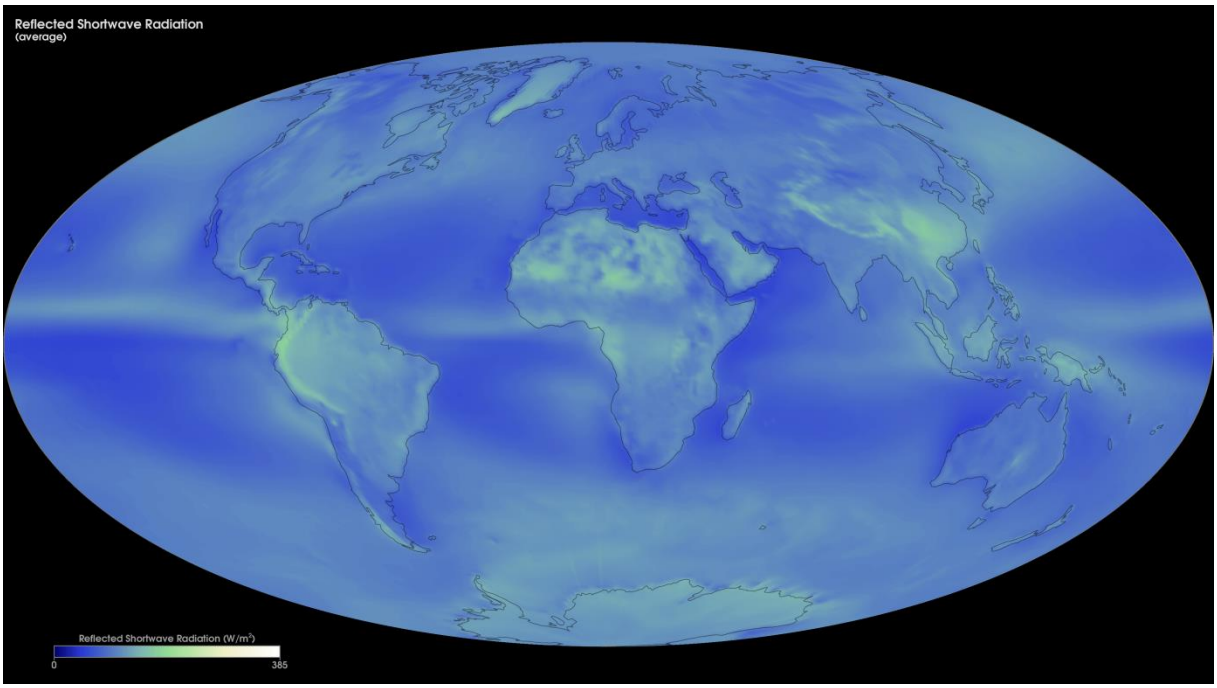
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Solar_land_area.png



http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter05/Images/Fig5-8A.png

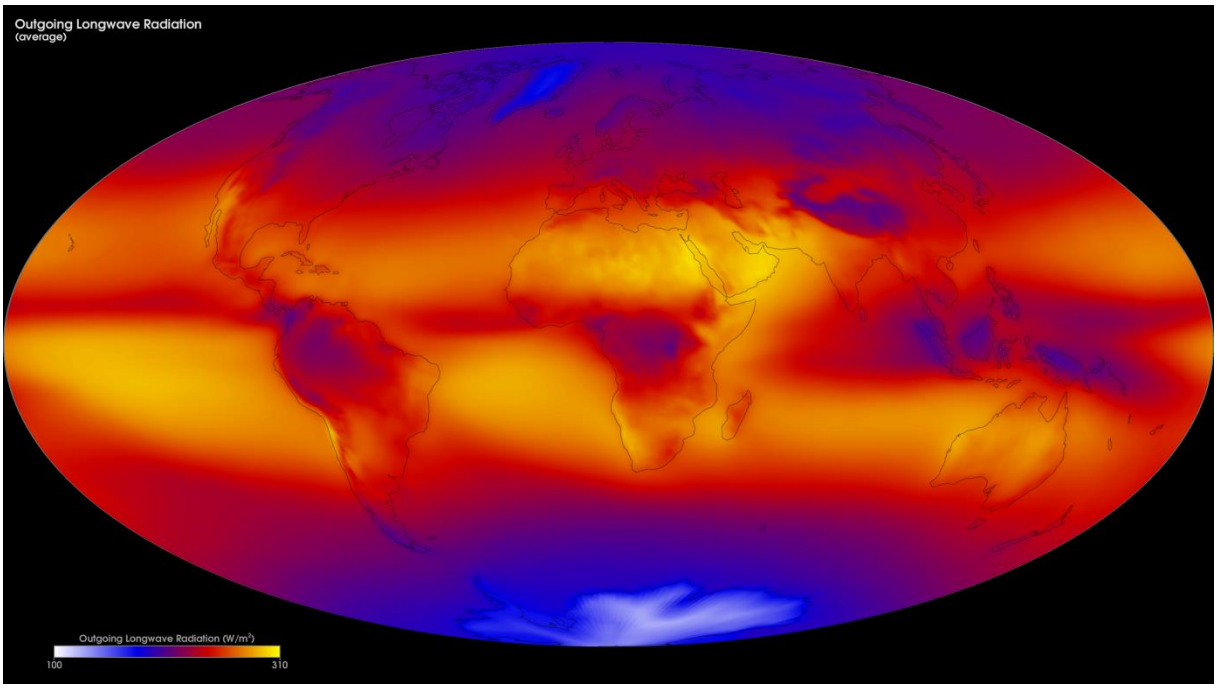
Quelle der folgenden Karten: svs.gsfc.nasa.gov, Science Visualization Studio

Die von der NASA veröffentlichte Karte zeigt die von der Erde reflektierte kurzwellige Strahlung: Helle Flächen zeigen eine hohe, dunkle Flächen eine geringe Albedo an.

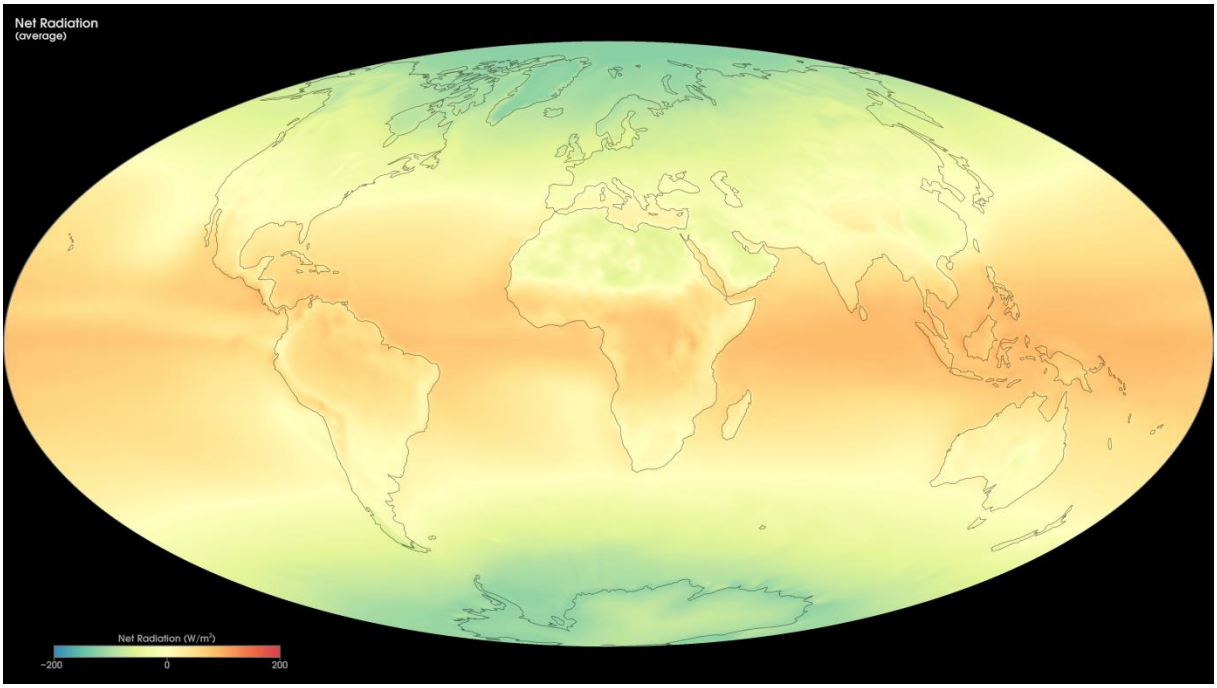


Die mit der Gegenstrahlung verbundenen Energieverluste sind wiederum an die "Einnahmen" gekoppelt.

Die nächste Karte zeigt die Intensität der langwelligen Gegenstrahlung. Besonders hoch ist sie in den wolkenarmen, von Hochdruckgebieten geprägten Gebieten beiderseits des Äquators. In den Kerntropen und hier besonders über ist die infrarote Strahlung durch den hohen Wasserdampfgehalt herabgesetzt. In den polnahen Regionen bleibt sie schon aufgrund der geringen Inputs klein.

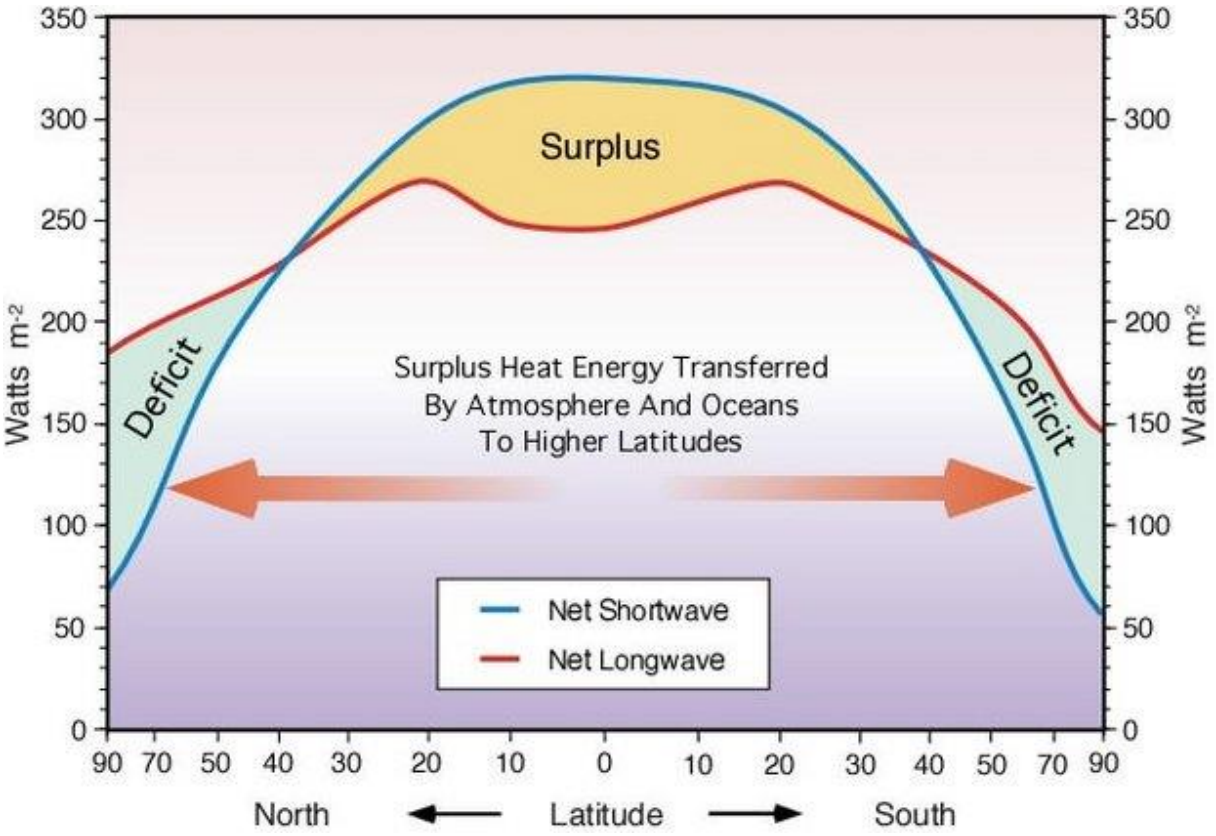


Die Karte "Net Radiation" zeigt Bilanz-Überschüsse in den Tropen (rote Bereiche) und defizitäre Gebiete in hohen Breiten (grüne bis blaugrüne Flächen)



http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030600/a030604/ceres_net_all_average_2000-2015.png

Wenn man nur die Strahlung berücksichtigt wäre nur in einer Zone zwischen 30° N und 30°S die Energiebilanz positiv, nördlich und südlich ist sie mit dem Breitengrad wachsend defizitär.



http://www.eoearth.org/files/115701_115800/115741/620px-Radiation_balance.jpg

Rechnet man die auf die Zone bezogene Energiebilanz in Temperaturwerte um wäre die Erde am Äquator fast 40° warm, an den Polen dagegen unter -40° kalt. Ein Unterschied von mehr als 80°!

Geographische Breite	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
t_{zonal} berechnet in °C	39	36	32	22	8	-6	-20	-32	-41	-44
t_{zonal} beobachtet in °C	26	27	25	20	14	6	-1	-9	-18	-22
$\Delta t_{beobachtet - berechnet}$ in °C	-13	-9	-7	-2	+6	+12	+19	+23	+23	+22

Quelle: Wilhelm Kuttler, Klimatologie, 2. Auflage, Schöningh/UTB, Paderborn 2013

Tatsächlich beträgt die Differenz nur 48°C. Dabei ist es am Äquator 13 Grad kälter und an den Polen 22 Grad wärmer als es die Strahlungsbilanzen erwarten ließen.

Tatsächlich findet ein Wärmetransport großen Ausmaßes zwischen den Tropen und den höheren Breiten statt, ein Wärmetransport, der durch die vom globalen Energiegefälle bewegten Medien Luft und Wasser zustande kommt. Energie fließt aus Überschussregionen in Gebiete ab, in denen Defizite herrschen.

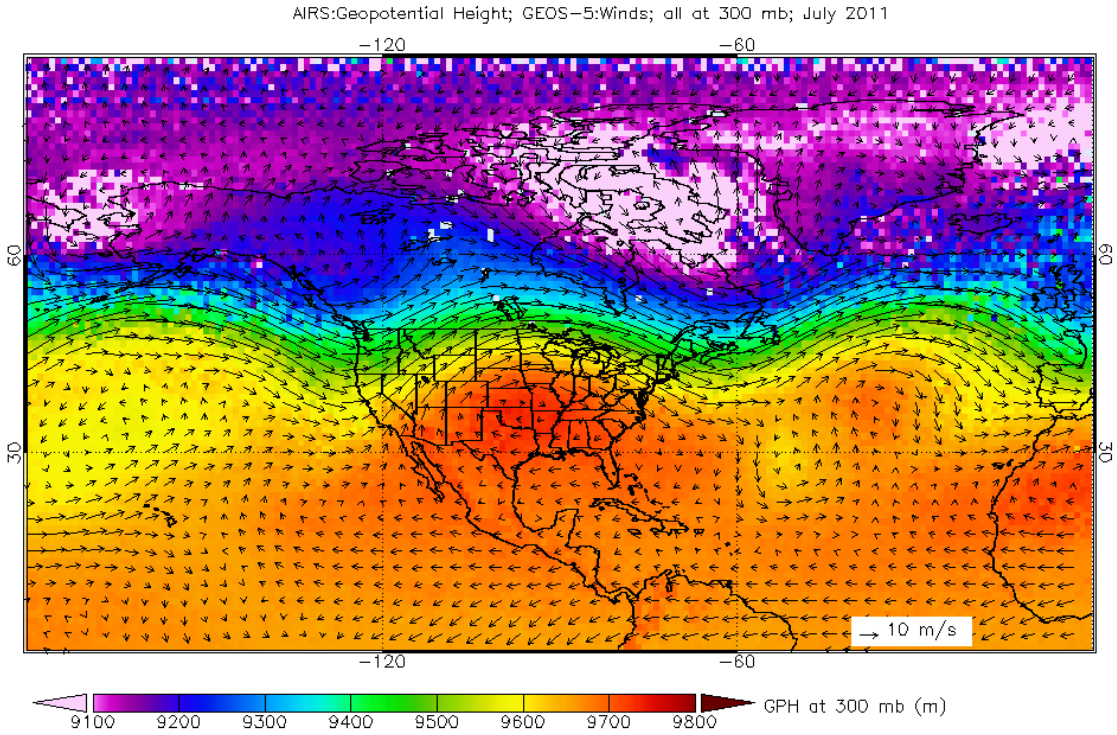
Die warmen Tropen sind genau so groß wie der kalte "Rest" der Erde

Die Flächen zwischen den Breitenkreisen nehmen von den Tropen zu den Polen hin deutlich ab. Die Überschussregionen sind so groß wie die Gebiete mit negativem Saldo:

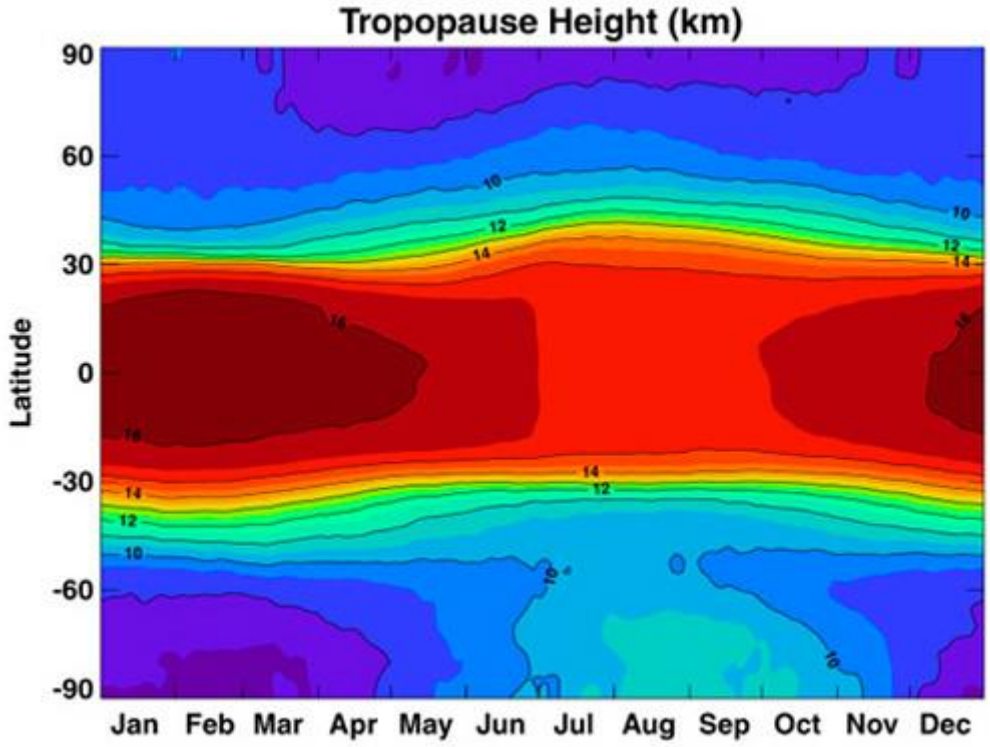
Nach der Beziehung $A_{2,1} = 2*\pi*r_E^2*(\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1)$ ist die Region zwischen 30°N und 30°S mit 50% der Erdoberfläche genauso groß wie die beiden Zonen zwischen 30° und 90° Nord bzw. Süd. Das führt dazu, dass die in den Tropen erwärmten Wasser- und Luftmassen meridional in Nord- bzw. Südrichtung zu den Polen wandernd sich auf einer stets kleineren Fläche konvergieren.

Als gedankliches Analogon möge man sich vorstellen, dass sich eine doppelte, sich an den Händen haltende Menschenkette. auf dem Äquator stehend, gleichzeitig und im Gleichschritt nach Norden bzw. nach Süden in Bewegung setzt. Das führt unweigerlich zu lateralen Kollisionen.

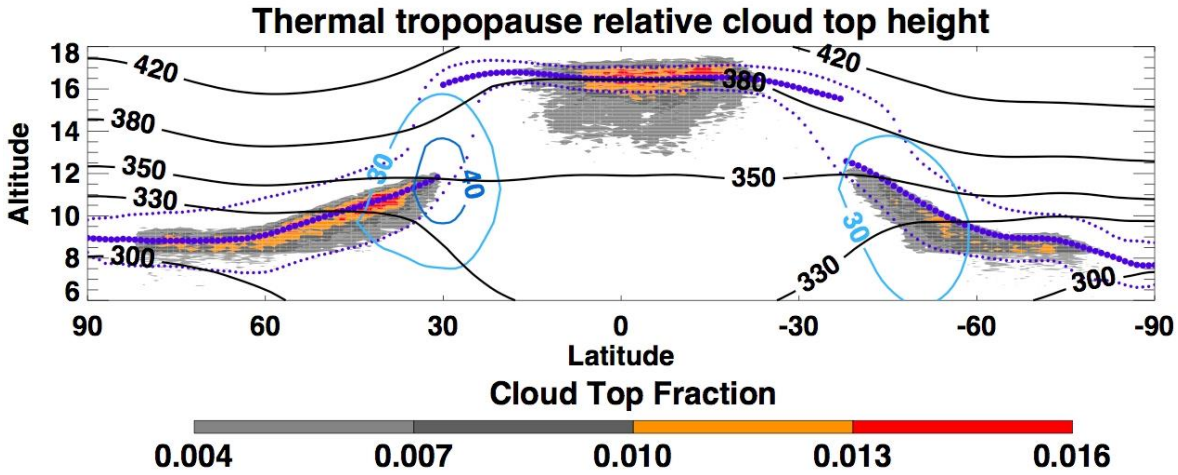
Als Ergebnis dieses Gedankenexperiments könnte man meinen, dass wenn tropische Luft- und Wassermassen polwärts bewegt werden sie sich zu einem "Berg" aufstapeln. Tatsächlich aber liegt die Obergrenze der Atmosphäre in den Tropen mit 17 km deutlich höher als über den Polen (7 km).



http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/images/GPH_wind_300mb_Jul_2011.png



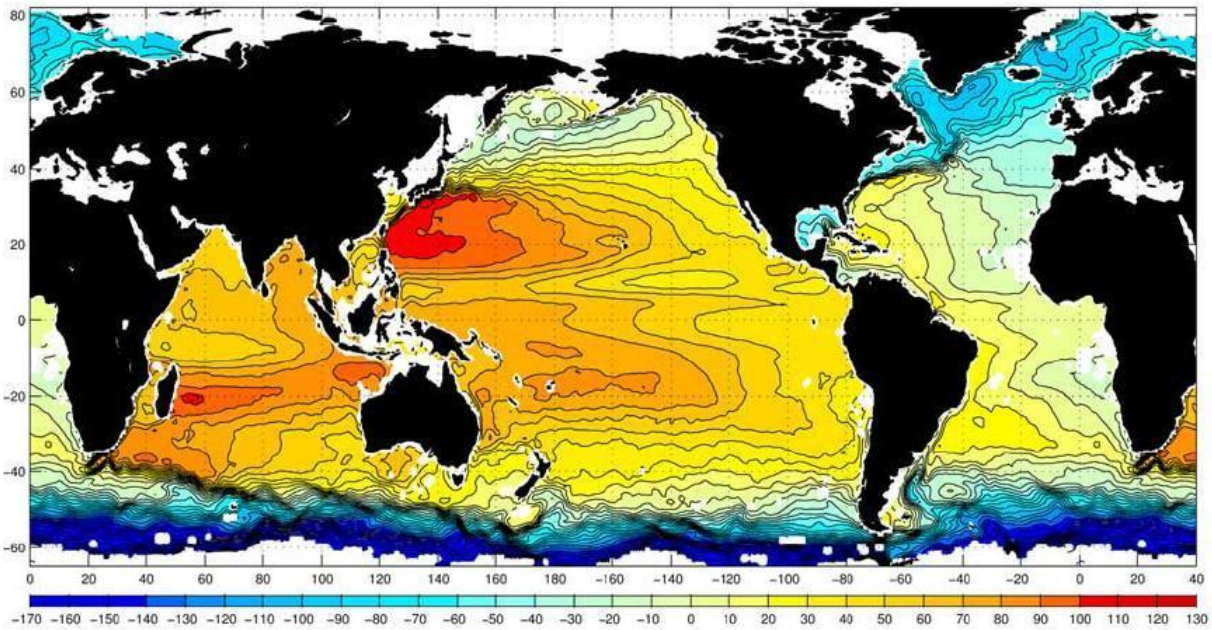
http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap_2/2_Js/2-06.jpg



http://www.acom.ucar.edu/Research/Highlight/satdat2011-1b.jpg

Auch der Meeresspiegel wächst zu den Polen nicht an.

Im Gegenteil:



Source: Niiler et al., 2004.

http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/niiler_height.jpg

Die Erde dreht sich: Massentransport und Corioliskraft

Luft oder Wasser, auf der Erde von A nach B verfrachtet, bewegt sich über einer unter ihnen rotierenden Bezugsebene. Daraus folgt eine, nach dem Entdecker ihrer mathematischen Bezüge "Coriolis-Kraft" genannte Ablenkung. Streng genommen ist sie nur eine "Scheinkraft" da sie nur auf bewegte Körper wirkt, sie also nicht aus der Ruhelage zu beschleunigen vermag.

Ein einfaches Experiment mit einem Teller und einem Wassertropfen zeigt, worum es dabei geht.

- Halte einen Teller senkrecht, drehe ihn langsam gegen den Uhrzeigersinn und bringe mit einer Pipette etwas Wasser in sein Zentrum. Verfolge die Spur des herablaufenden Wassers.
- Wiederhole den Versuch, setze den Tropfen aber auf den oberen Rand.
- Wiederhole den Versuch und setze den Tropfen an eine beliebige Stelle

Wie verläuft die Wasserspur, wenn man den Teller im Uhrzeigersinn dreht?

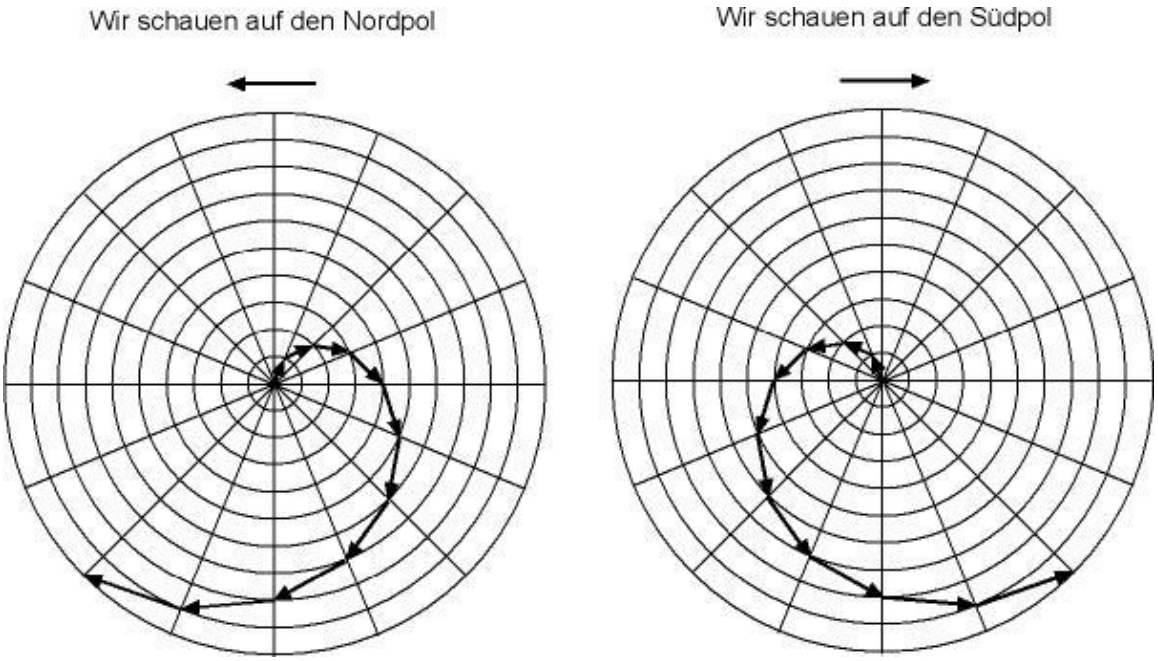
Ergebnis:

Dreht man den Teller gegen den Uhrzeigersinn beschreibt das der Schwerkraft folgende Wasser eine Rechtskurve. Dabei ist es egal, wo man den Tropfen auf den Teller setzt.

Dreht man den Teller im Uhrzeigersinn beschreibt das Wasser eine Linkskurve. Auch hier ist es egal, wo man den Tropfen auf den Teller setzt.

Wenn man nur den Tropfen betrachtet rollt er senkrecht auf der Unterlage herab. Auf dem Teller hinterlässt er aber eine gebogene Spur. Die Ablenkung ist am Tellerrand am stärksten, im Zentrum geht sie auf null zurück.

Mit einem glatten Ball kommt man zu den gleichen Ergebnissen.



Besonders gut geeignet ist ein Drehteller mit einer Handkurbel den man in die eine oder die andere Richtung rotieren lassen kann.

Wenn man mit einem Pinsel einen geraden Strich über die Scheibe zieht wird die Spur auf der rotierenden Fläche stets eine Kurve beschreiben.

Welche Drehrichtung hat die Erde und welche Konsequenzen hat das für Luft und Wasser in Bewegung?

- Die Sonne geht im Osten auf.
- Sie „wandert“ von Osten nach Westen.
- Die Sterne ziehen in der gleichen Richtung über den Himmel.
- Die Sterne drehen sich – auf der Nordhalbkugel - im Laufe eines Tages gegen den Uhrzeigersinn um den Polarstern herum

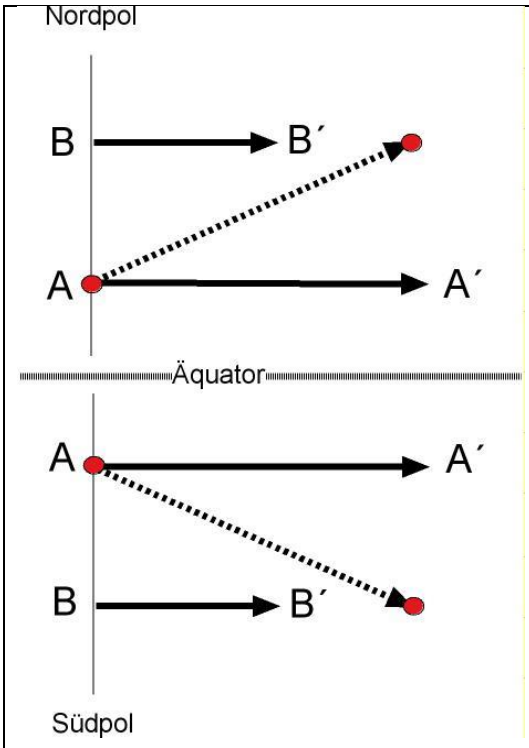
- Im Osten geht die Sonne früher auf und unter als im Westen.
- Im Westen geht sie später auf und unter als im Osten.
- Nach Osten zu muss die Uhr vorgestellt werden.
- Nach Westen zu muss sie zurückgestellt werden.

Auf den Globus übertragen heißt die Lösung: Schauen wir auf den Nordpol, dreht sie sich links, also gegen den Uhrzeigersinn. Schauen wir auf den Südpol, so ist es genau andersherum. Dabei gibt es natürlich eine Drehrichtung: In Richtung Osten.

Daraus ist zu folgern:

Auf der **Nordhalbkugel** werden bewegte Teilchen nach **rechts** abgelenkt.

Auf der **Südhalbkugel** werden bewegte Teilchen nach **links** abgelenkt.



Ein Teilchen (rot) bewegt sich (reibungsfrei) in einem rotierenden System von A nach B.
A liegt auf einem niederen, B auf einem höheren Breitengrad.

A und B bewegen sich ostwärts (hier nach rechts).

Der Ort A legt auf der kugelförmigen Erde eine größere Strecke zurück als B.

Die Bewegungsrichtung des Teilchens setzt sich zusammen

- aus der Kraft die das Teilchen von A nach B beschleunigt
- und der Massenträgheit des Teilchens das mit dem Ort A nach Osten rotiert.

Die am Ort A nach Osten gerichtete Komponente ist größer als in B. Daher erhält das Teilchen einen Vorsprung und wird auf der Breite von B eintreffen bevor ihn B erreicht hat.

Aus der folgenden Tabelle wird deutlich, dass die Differenz der Rotationsgeschwindigkeit zwischen den Breitenkreisen vom Pol zum Äquator abnimmt:

Geographische Breite (Grad)	Länge des Breitenkreises (km)	Rotationsgeschwindigkeit (km/h bzw. m/s)	
90	0	0	0
80	6945	289	81
70	13681	570	159
60	20000	833	232
50	25712	1071	299
40	30642	1277	356
30	34641	1443	402
20	37588	1566	437
10	39392	1641	458
0	40000	1667	465

Die Dynamik atmosphärischer Drucksysteme und der ozeanischen Zirkulation werden ganz entscheidend von der Corioliskraft geprägt.

- **Hochdruckgebiete** mit von Zentrum zur Peripherie gerichtetem Druckgradienten werden auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn umströmt.
- **Tiefdruckgebiete** mit von der Peripherie zum Zentrum gerichtetem Druckgradienten werden auf der Nordhalbkugel gegen Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel im Uhrzeigersinn umströmt.
- **Meeresströmungen** bilden große Wirbel ("Gyres") die auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn rotieren.

Wir berechnen die Corioliskraft:

Die Erde rotiert in etwa 24 Stunden (= 84400s) um ihre Achse. Bezogen auf die Sterne verkürzt sich die Rotationsdauer um auf 86146s. Das ist der Grund dafür, dass die Sterne täglich etwa 4 Minuten früher im Süden stehen.

Die Winkelgeschwindigkeit ω der Erdrotation berechnet sich nach

$$\omega = \frac{2*\pi}{t} = \frac{2*\pi}{86146s} = 7{,}29 * 10^{-5}/\mathrm{s}$$

360° wird hier als Bogenmaß 2*π formuliert. Das Bogenmaß ist die Länge des Kreisbogens im Einheitskreis mit dem Radius

Die Corioliskraft F_C (kg*m/s^2) ist abhängig von

- der geographischen Breite (φ, °)g
- der Masse (kg) des bewegten Körpers (*m*, kg)
- der Geschwindigkeit des bewegten Körpers (ν, m/s)
- und der Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation (ω)

$$F_C = 2 * \omega * \nu * m * sin\varphi$$

- Die Corioliskraft nimmt mit der geographischen Breite zu.
- An den Polen (sin90 = 1) erreicht sie ihr Maximum, am Äquator (sin0 = 0) geht sie auf null zurück.
- Die Corioliskraft nimmt mit der Geschwindigkeit des bewegten Körpers zu.
- Ist die Geschwindigkeit des Körpers = 0 dann ist auch die Corioliskraft = 0
- Die Corioliskraft nimmt mit Masse des bewegten Körpers zu.
- Ist die Masse des Körpers = 0 dann ist auch die Corioliskraft = 0

Bei großen Systemen (Hoch-/Tiefdruckgebieten, Meeresströmungen) muss in Betracht gezogen werden, dass die Corioliskraft auf die Bewegung von Teilchen in hohen Breiten weniger wirkt als in niederen.

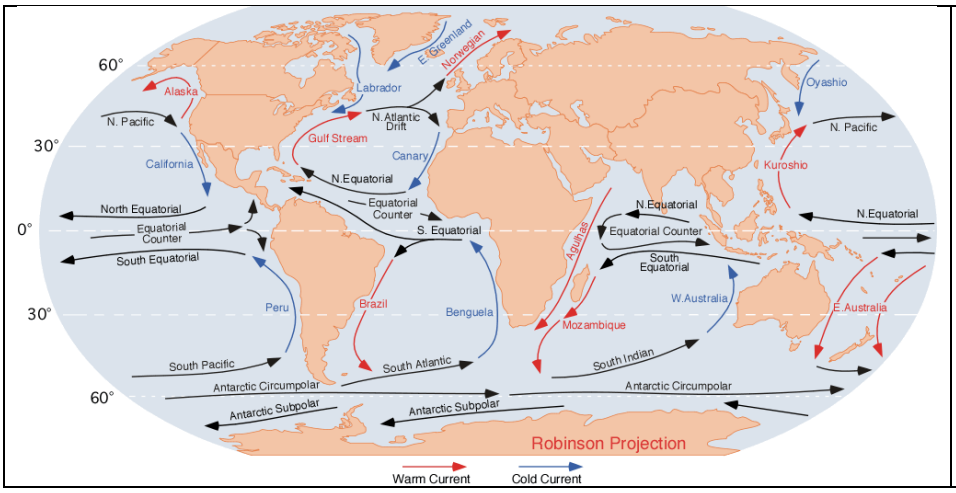
Zur Corioliskraft in Bezug auf atmosphärische Drucksysteme mehr in unserer Arbeitshilfe
Wilma, Rita, Katrina, Larry und die anderen - **Experimente zur Geo-Physik der Wirbelstürme**

Kartenmaterial zum Thema "Golf-/Nordatlantikstrom"

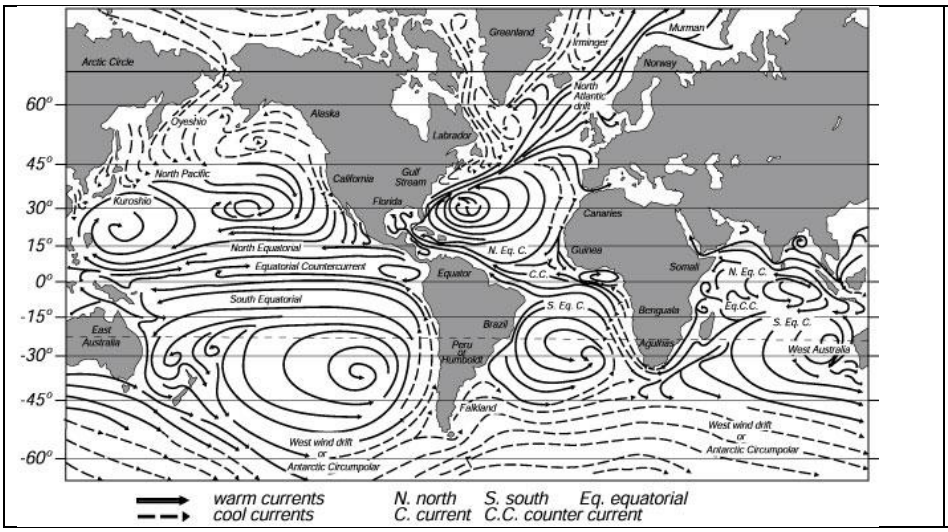
Mögliche Interpretation der Karten in Bezug auf den Golf-/Nordatlantikstrom:

Meeresströmungen und atmosphärische Zirkulation

Golfstrom, Nordatlantikstrom, Kanarenstrom und Nordäquatorialstrom bilden an der Meeresoberfläche ein kreisförmiges, im Uhrzeigersinn verlaufendes Strömungssystem das von seinem, gegen den Uhrzeiger verlaufenden süd-atlantischen Pendant im östlichen Teil des tropischen Atlantiks durch den Äquatorialen Gegenstrom getrennt ist. Ein nördlicher Ast des warmen Südäquatorialstroms zieht entlang der äquatorialen Südamerikanischen Ostküste nach Nordwesten bis in die Karibik. Das Nordatlantische Strömungssystem ("Golfstrom") kühlt sich auf dem Wege nach Norden ab, setzt sich im kalten (ablandigen) Kanaren-Strom fort und erwärmt sich erneut in niedrigen Breiten.



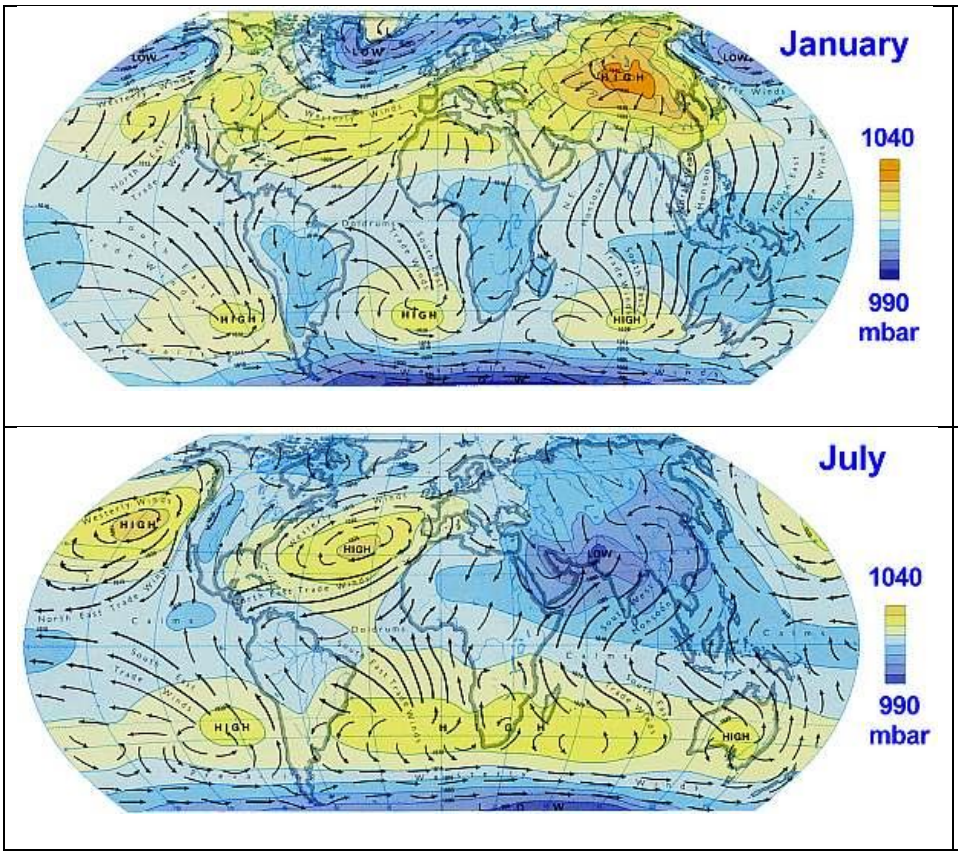
Quelle: Wikipedia, "Ocean Currents"



Quelle:
Robert Stewart,
Our Ocean Planet,
Oceanography in the 21st century, An online textbook

oceanworld.tamu.edu
(Texas A&M University)

Meeresströmungen an der Oberfläche



Quelle:
Seafriends
The Marine Conservation and Education Centre in Leigh (Neuseeland)

www.seafriends.org.nz

Globale Zirkulation Januar/Juli

Mittlere Temperaturen an der Oberfläche

Der westliche tropische und subtropische Atlantik zählt zu den Gebieten mit den höchsten mittleren Oberflächentemperaturen. Anders als der Indische Ozean und der Pazifik ist er nicht von kühleren Gebieten durchsetzt. Der östliche Rand wird vom ablandigen Kanaren-Strom bzw. dem Benguela-Strom bestimmt. Auffallend sind die im nordöstlichen Atlantik auch in gemäßigten und subpolaren Breiten noch relativ hohen Temperaturen wogegen im nordwestlichen Teil kaltes Oberflächenwasser dominiert. Dies findet eine Entsprechung im Nord-Pazifik.

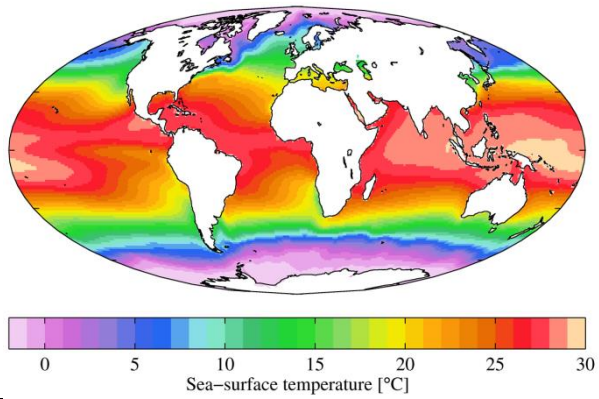
Salzgehalt an der Oberfläche

Die zentralen nördlichen bzw. südlichen Teile des Atlantiks gehören, neben dem diesbezüglich herausragenden Mittelmeer und dem subtropischen Süd-Pazifik zu den Arealen mit dem höchsten Salzgehalt. Wolkenarmut, hohe Insolation (Besonnung), hohe Oberflächentemperaturen und damit verbundene starke Evaporation (Verdunstung) erhöhen hier den relativen Salzgehalt.
Deutlich geringere Salinität weist die Westküste Mittelamerikas auf. Hier wird innerhalb der Innertropischen Konvergenzzone feuchte Karibikluft nach Westen getragen und regnet sich dort ab. Auffallend sind die im Vergleich zum Nordpazifik hohen Werte im Nordatlantik.

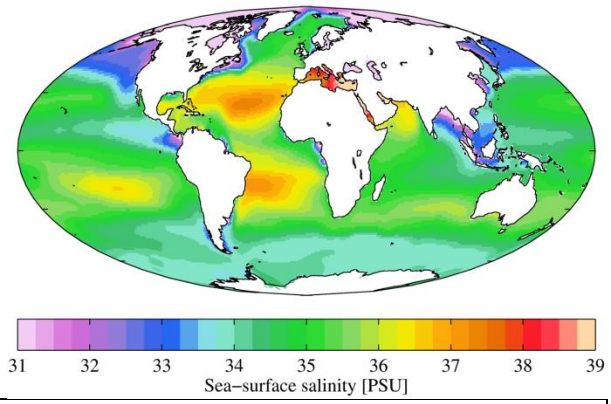
Dichte des Oberflächenwassers

Drei Gebiete besonders hoher Dichte fallen ins Auge: Zum einen der antarktische zirkumpolare Bereich, zum anderen der (östliche) Nord-Atlantik bis in polare Breiten hinauf. Auch das Mittelmeer verzeichnet hohe Dichtewerte. Rund um die Antarktis bleibt das sie umströmende Wasser dauerhaft kalt, die erhöhte Dichte ist bei geringer Salinität in erster Linie durch die Temperatur bestimmt. Im warmen Mittelmeer ist die Verdunstungsrate zu einem hohen Salzgehalt, was ebenfalls die Dichte erhöht. Im Nord-Atlantik vereinigen sich beide Faktoren: Abkühlendes Oberflächenwasser und hoher Salzgehalt. Der Nord-Atlantik hat in dieser Beziehung keine Entsprechung im Nord-Pazifik.

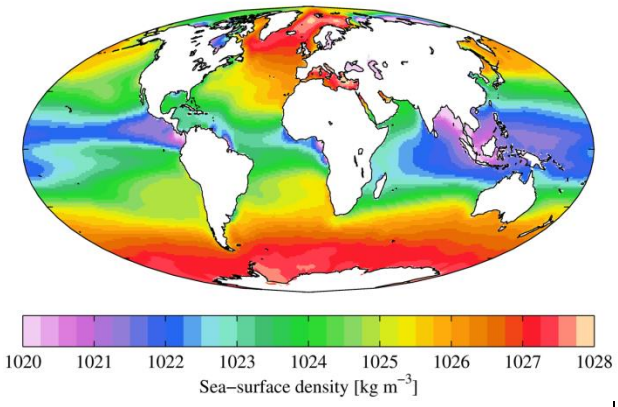
1



2



3

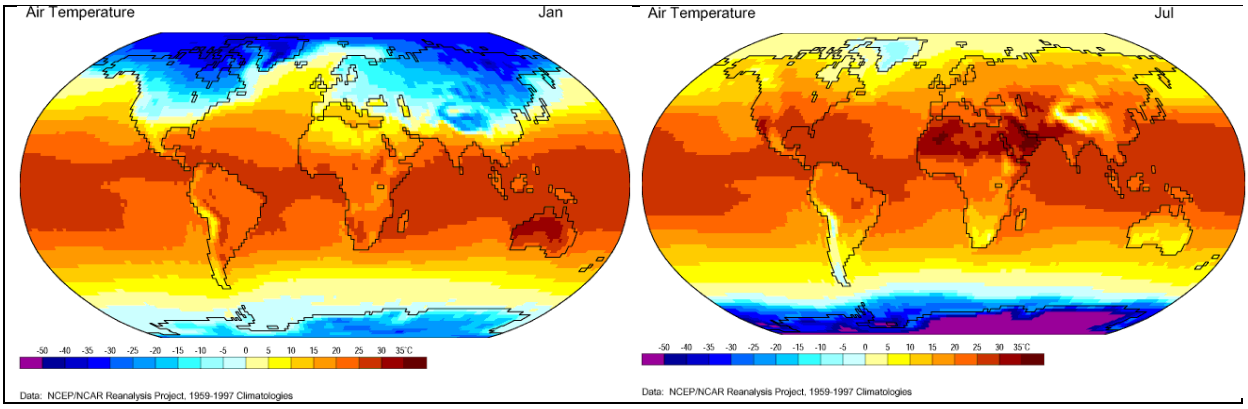


1: Mittlere Temperatur an der Oberfläche
Hoch in den Tropen, polwärts absinkend
2: Mittlerer Salzgehalt an der Oberfläche
Besonders hoch im subtropischen Nord- und Südatlantik, am höchsten im Mittelmeer
3: Mittlere Dichte an der Oberfläche
Besonders hoch im Nordatlantik und rund um die Antarktis

Quelle: Wikipedia
World Ocean Atlas (WOA)
Ocean Climate Laboratory
National Oceanographic Data Center (U.S.)

Lufttemperaturen im Januar bzw. Juli

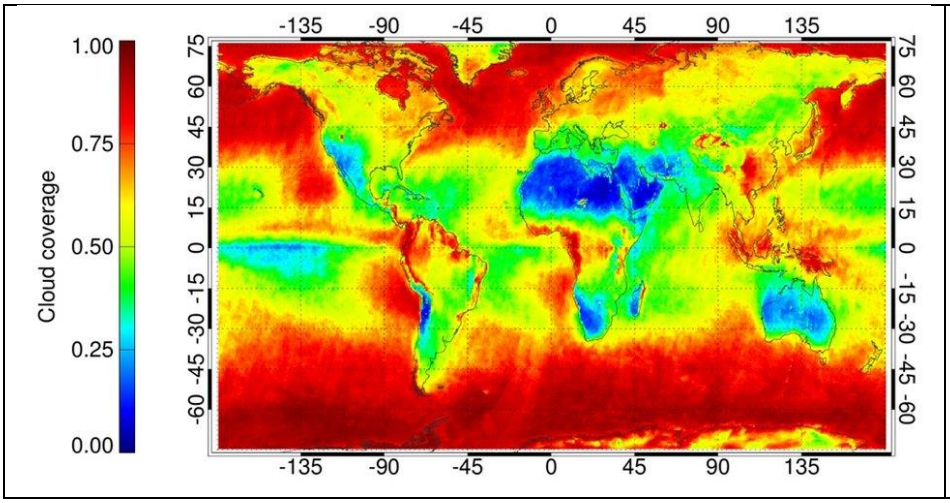
Das Herkunftsgebiet des Golfstroms zeichnet sich ganzjährig durch hohe Lufttemperaturen aus. Im Vergleich zum Nord-Pazifik ist die Luft über dem Nord-Atlantik auch im Winter bis in polare Breiten relativ warm. Dabei gibt es im Januar deutliche Unterschiede zwischen seinem Nordwest- und Nordostteil: Der Nordosten Nordamerikas und Grönland ist deutlich kälter als Skandinavien. Auffällig sind die hohen Temperaturen an den subtropischen Osträndern der Kontinente die an der Westseite Afrikas und Südamerikas nur schmale Bänder bilden.



Lufttemperaturen im Januar bzw. Juli
(NCEP/NCAR Reanalysis Project 1959-1997, http://www.physicalgeography.net/fundamentals)

Mittlere globale Wolkenbedeckung

Die blauen Zonen über den Kontinenten zeigen sehr wolkenarme Wüstengebiete. Auffällig ist das blaue Areal über dem mittleren tropischen Pazifik. Das Entstehungsgebiet des Golfstroms zeichnet sich durch geringe Bewölkung und daher hoher Besonnung (Insolation) bei hohem Sonnenstand aus. Durch Verdunstung (Evaporation) wird die Luft gekühlt. Durch die klare Luft ist allerdings auch die Gegenstrahlung (langwellige Wärmestrahlung) größer. Über dem Nordatlantik ist der Bedeckungsgrad dagegen hoch. Hier findet im Bereich von Tiefdruckwirbeln eine starke Durchmischung der Atmosphäre statt, verbunden mit Niederschlägen. Durch Kondensation der feuchten Tropikluft (Warmfronten) wird die die bei der Evaporation investierte Wärmeenergie wieder abgegeben.



Quelle:
European Space Administration

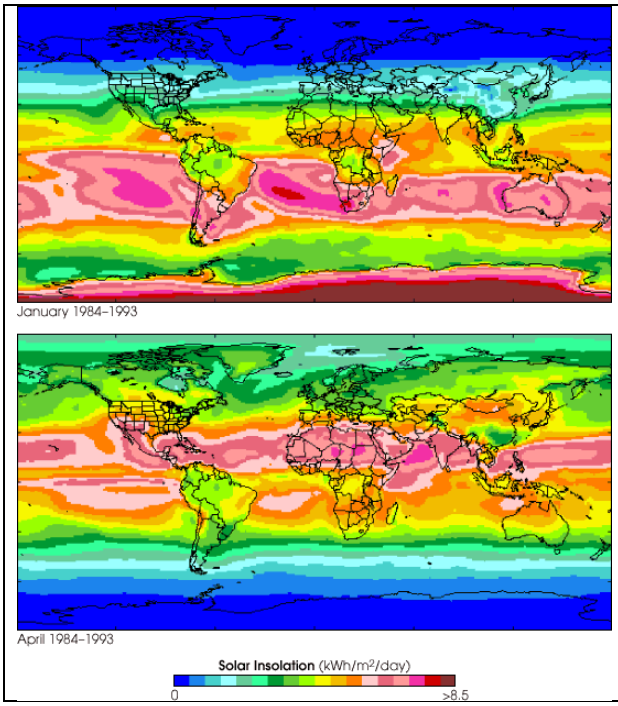
www.esa.int

Mittlere jährliche Wolkenbedeckung 2007-2009, nach Envisat-Daten
Blau: Gering ausgeprägte Wolkendecke,; Rot: Stark ausgeprägte Wolkendecke

Mittlere jährliche Netto-Strahlungsaufnahme an der Oberfläche

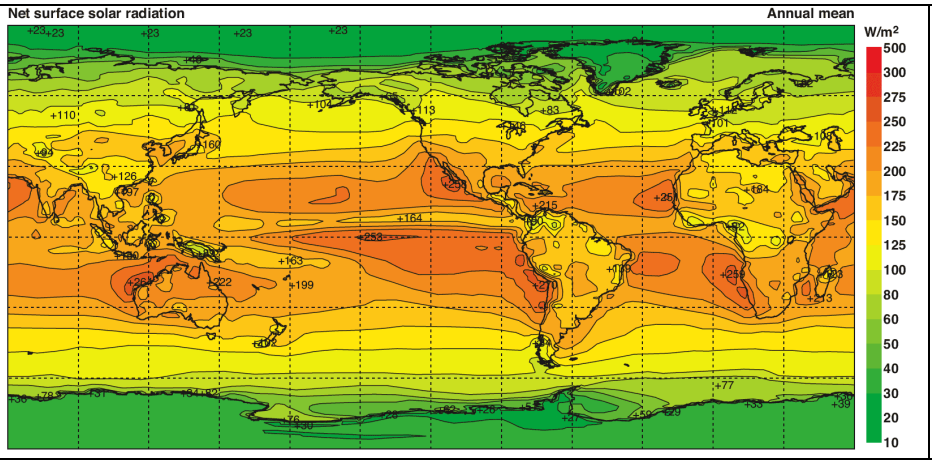
Die Karte zeigt, dass die Ozeane in niedrigen und mittleren Breiten eine deutlich höhere Netto-Strahlungsbilanz aufweisen als die entsprechenden Kontinente. Dies steht auf den ersten Blick im Widerspruch zu den auf dem Land erheblich höheren Lufttemperaturen. Die Meere nehmen aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers erheblich mehr Energie auf als die Landflächen. Dunkle Ozeane haben bei in niedrigen Breiten hohen Sonnen-Einstrahlungswinkeln eine erheblich geringere Albedo (Rückstrahlung) als z.B. helle Wüsten. So erwärmen sich die Ozeane zwar langsamer, aber deutlich nachhaltiger.

Das Muster der Netto-Strahlung wird zusätzlich von einer Reihe weiterer Faktoren geprägt (Bewölkungsgrad, Vegetation, kalte/warme Strömungen etc.)



Mittlere Strahlungsleistung an der Erdoberfläche ($KW/d/m^2$)
Oben: Januar 1984-1993
Unten: April 1984-1993

Quelle: Wikipedia, "Insolation"



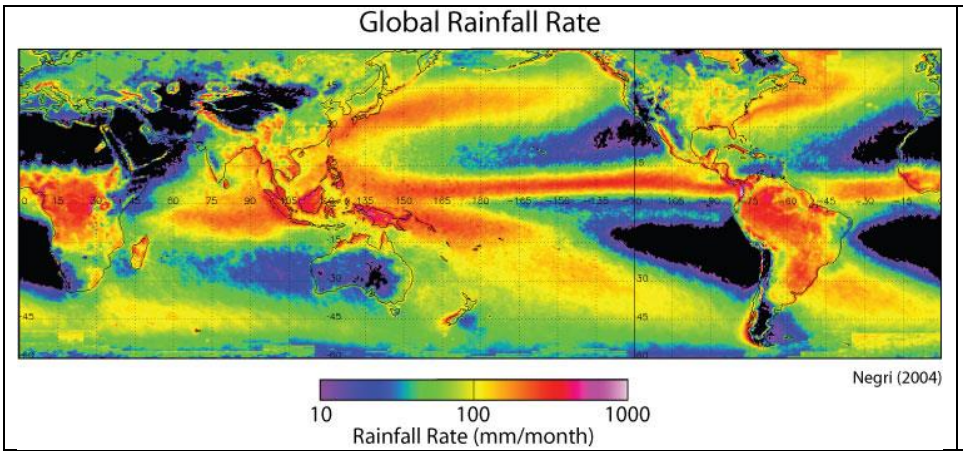
Quelle:
Robert Stewart,
Our Ocean Planet,
Oceanography in the 21st century, An online textbook

www.tamu.edu
(Texas A&M University)

Solare Netto-Strahlungsleistung an der Erdoberfläche in W/m2, errechnet aus der ECMWF Reanalyse atmosphärischer Daten über einen Zeitraum von 40 Jahren. Zu beachten ist, dass der größte Teil der absorbierten Strahlung von den tropischen Ozeanen aufgenommen wird. Aus Kallberg et al 2005

Mittlere jährliche Niederschläge

Die Innertropische Konvergenzzone führt über den Meeren zu einem ausgeprägten Niederschlagsband im Westteil des Pazifiks bzw. des Atlantiks polwärts abdreht. Mit den SW- bzw. NW-streichenden Passatwinden wird feuchte Karibikluft in den Pazifik getragen und verringert im Westen Mittelamerikas den Salzgehalt. In der warmen Karibik fällt relativ wenig Niederschlag was bei gleichzeitig hoher Insolation den Salzgehalt erhöht.
Auffällig sind die großen niederschlagsarmen Gebiete im Westen Afrikas bzw. Amerikas. Sie befinden sich im Bereich der ablandigen, von kaltem Auftriebswasser bestimmten Meeresströmungen. Dort herrscht in der Regel starke Bewölkung (Schichtwolken, Nebel).

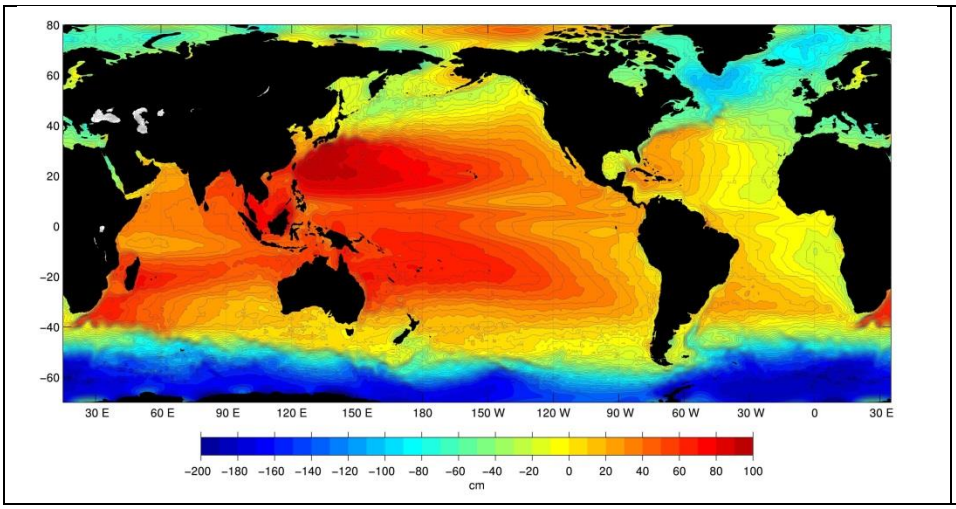


Quelle:
Robert Stewart,
Environmental Geoscience,
Environmental Science in the 21st century, An online textbook

oceanworld.tamdu.edu
(Texas A&M University)

Mittlere Meereshöhen

In den westlichen Teilen der Ozeane liegt der durchschnittliche Meeresspiegel deutlich höher als im Osten. Hier kommt es zu einem Aufstau der in subtropischen Breiten nach Westen gerichteten Strömungen. Auffällig ist der, fast wie eine Kante ausgeprägte Niveauunterschied zur Nordostamerikanischen Küste. Die Vermutung liegt nahe, dass das Wasser durch die nach Osten gerichtete Erdrotation zurückbleibt, an die amerikanische "Barriere" gedrückt wird und aus diesen hohen Lagen in die "Tiefe" abfließt. Dagegen spricht, dass das Wasser nicht beschleunigt wird sondern sich drehenden Erde folgt.



Quelle:
Robert Stewart,
Our Ocean Planet,
Oceanography in the 21st century, An online textbook

oceanworld.tamu.edu
(Texas A&M University)

Mittlere Topographie der Meeresoberfläche für den Zeitraum 1992-2002. (Geostrophische) Meeresströmungen verlaufen parallel zu den Höhenlinien.

Globale Verteilung von Land und Meer

Ca. 70% der Erdoberfläche besteht aus Ozeanen. Die Kontinente, also restlichen 30%, verteilen sich vor allem über die Nordhemisphäre und erreichen dort auch viel höhere Breiten als auf der Südhalbkugel. Nord- und Südamerika, Europa sowie Afrika und Ostasien bilden von Nord nach Süd verlaufende, einer zonalen Strömung Barrieren entgegengesetzte Einheiten.

Auf der Südhalbkugel besteht zwischen Südamerika, Afrika, Australien und der Antarktis ein breiter, die drei großen Ozeane verbindender Streifen. Sonst sind die Becken in zonaler Richtung getrennt. Der Nordatlantik und das Nordpolarmeer sind über die Baffin Bay, die Grönlandsee und das Europäische Nordmeer miteinander verbunden, das Nordpolarmeer über die Beringstraße auch mit dem Pazifik.

Der zusammenhängende Welt-Ozean lassen sich sechs große Becken unterscheiden:

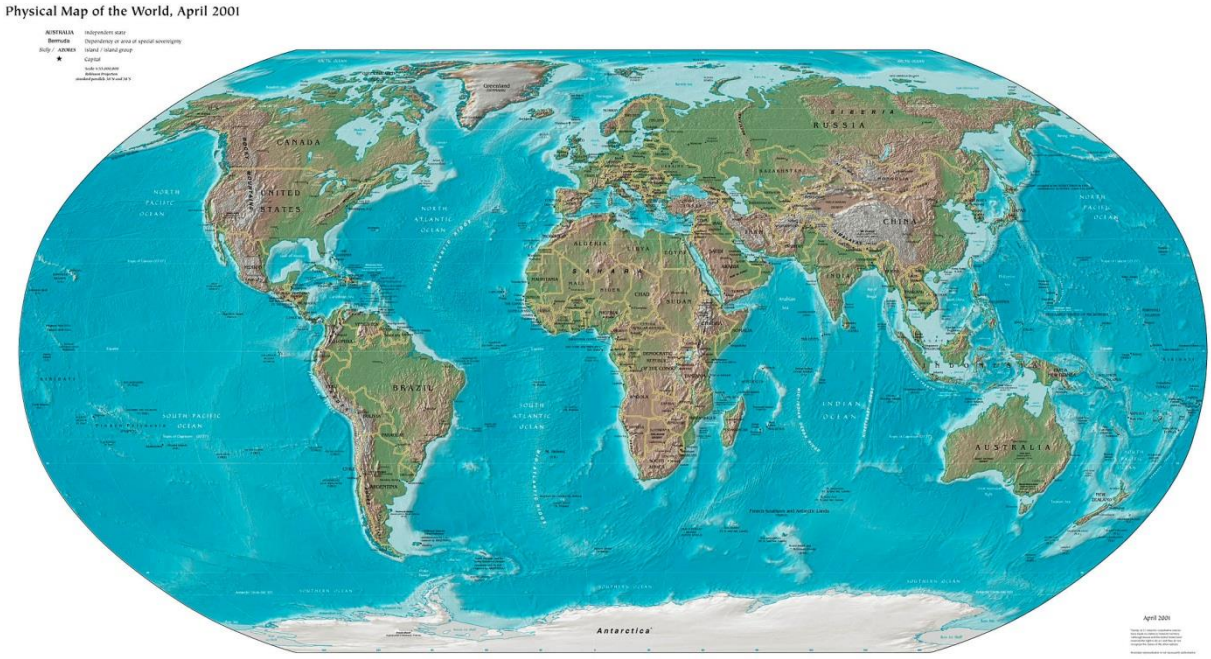
- Nordpazifisches Becken
- Südpazifisches Becken
- Nordatlantisches Becken
- Südatlantisches Becken
- Indisches Becken
- Nordpolarbecken

Europas Sonderstellung

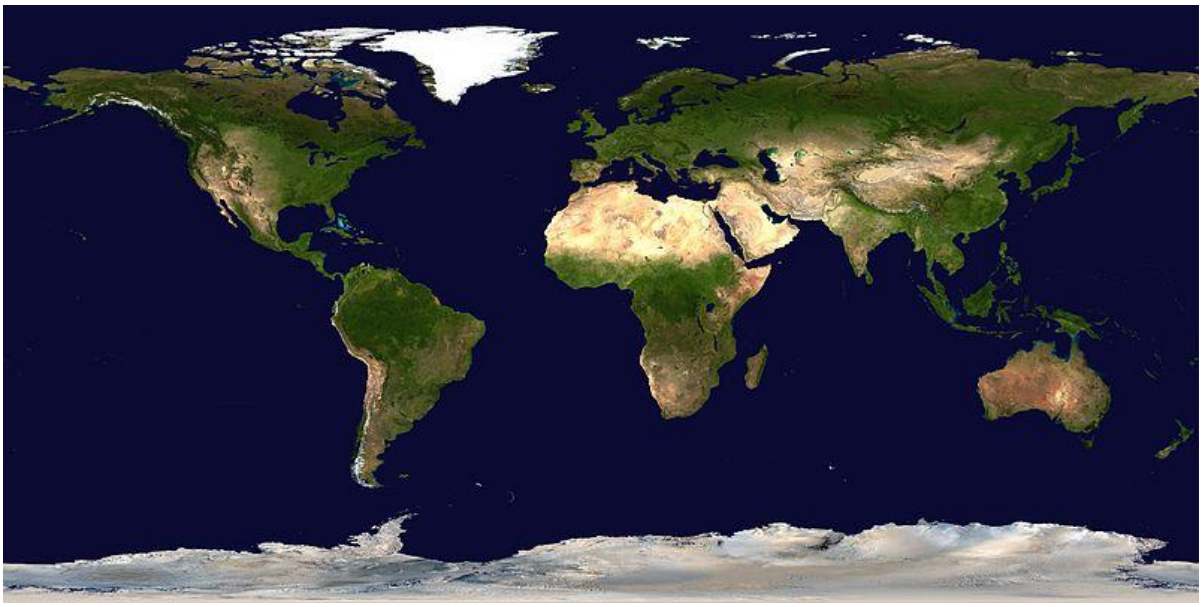
Die in diesen Becken kreisenden subtropischen Wirbel ("Gyres") folgen den vorherrschenden, ihrerseits von der Corioliskraft bestimmten Windsystemen.
So werden die nordhemisphärischen, im Uhrzeigersinn laufenden Gyres durch die konvergierenden Passatwindzonen von den dem Uhrzeiger entgegenlaufenden Wirbeln der Südhalbkugel getrennt.

Europa ist überproportional stark gegliedert und im Norden, Westen und Süden maritimen Einflüssen ausgesetzt. Das begrenzt die Temperaturamplituden. Europa wird nicht, wie Nord- und Südamerika im Westen von großen Barrieren (Rocky Mountains/Anden) begrenzt. Der Zustrom kalter polarer Luft kann auch nur bei (relativ seltenen) Ostwindlagen erfolgen, anders als in Nordamerika, wo kalte kontinentale Luft tief nach Süden eindringen kann ist die von Norden einströmende Polarluft vom Meer bestimmt. Die zonal verlaufenden Alpen schotten den mediterranen Süden Europas weitgehend von polaren Einflüssen ab.
Die meisten Ostseiten der Ozeane sind kühl. Man denke an den kühlen Kalifornien-Strom, das südamerikanische Pendant des Humboldt- oder Peru-Stroms oder in Afrika an den Kanaren- bzw. Benguela-Strom. In den meisten Fällen wird den Westseiten der Ozeane die in den Tropen aufgenommene Wärme zugeführt, z.B. in der Karibik, in Ostafrika oder in China und Japan (Kuro-Shio-Strom).

Europa ist an der Ostseite des Atlantiks durch den Golf- und Nordatlantik-Strom eine Ausnahme die uns einen klimatischen Vorteil von kaum zu schätzendem Wert bringt.
Das von wirklichen Extremen freie Klima des Golfstroms hat uns zusammen mit anderen naturräumlichen und geschichtlichen Gegebenheiten in die Position der "Ersten Welt" gebracht. Nicht zuletzt deshalb sind wir das Ziel von Menschen, die eine ungünstigere Lebensbasis haben.



Quelle: Wikipedia, Physische Karte



Quelle: Wikipedia,

Entstehung des Golfstroms und seiner Ableger

Was bringt ein Wasserteilchen dazu, sich auf eine lange Reise um den ganzen Erdball zu machen und dabei Wärme und Kälte, Höhen und Tiefen zu durchleben?
Meeresströmungen haben komplizierte, zum Teil auch noch nicht ganz verstandene Ursachen. Man wird in der Schule nicht umhinkommen zu vereinfachen und auf Quellen zum Weiterstudium zu verweisen. Die folgende Zusammenfassung sollte daher nur als grobe Skizze verstanden werden.

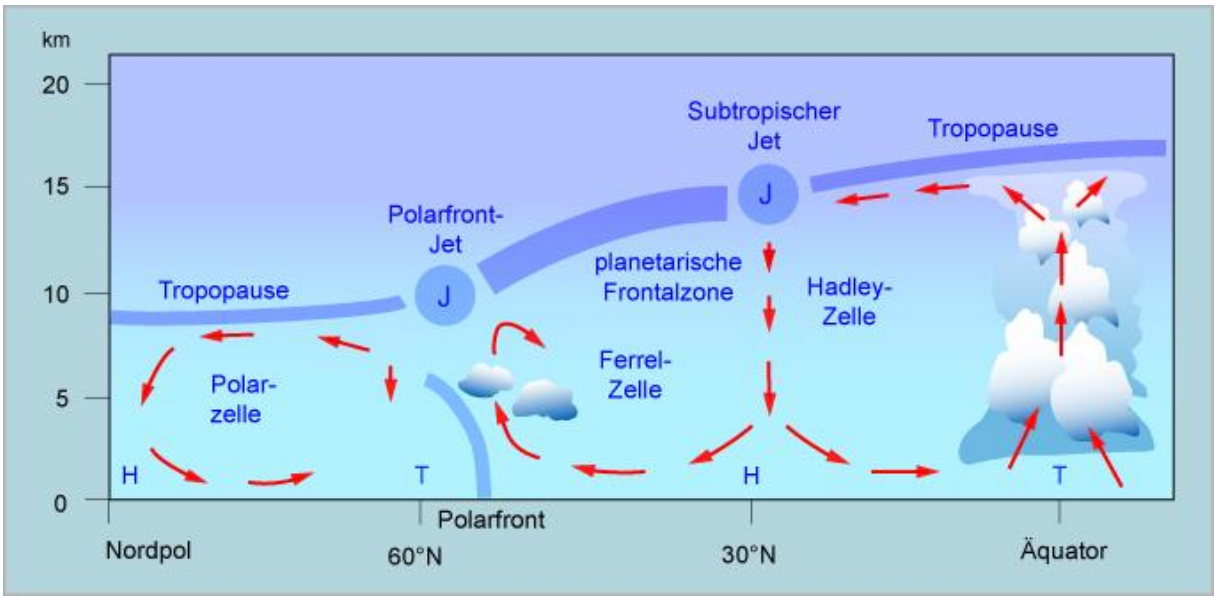
Der **Golfstrom** und seine quer über den Nordatlantik nach Westeuropa hinausreichende Fortsetzung, der **Nordatlantische Strom** sind vom Wind durch Oberflächenreibung angetriebene Meeresströmungen. Die den Wassertransport verursachenden globalen Windsysteme sind wiederum eine Folge des Temperatur- und damit Luftdruckgefälles zwischen den Tropen und den Polen.

Die äquatornahe Zone in der die Bodenluft am stärksten erwärmt wird Innertropische Konvergenz (ITC) genannt. Über den wärmespeichernden Ozeanen liegt sie ganzjährig in der Nähe des Äquators, über den Kontinenten schwenkt sie zum Teil bis zu den Wendekreisen aus. Innerhalb der ITC steigt heiße Luft auf und konvergieren die Passatwinde, der Nordostpassat auf der Nordhalbkugel und der Südostpassat auf der Südhalbkugel. Sie vereinigen sich zu einer östlichen Strömung die das äquatornahe Oberflächenwasser nach Westen bewegt. Hier befinden sich auch die Geburtsstätten der zunächst westwärts, dann nord- und nordostwärts ausschwenkenden Hurrikane.

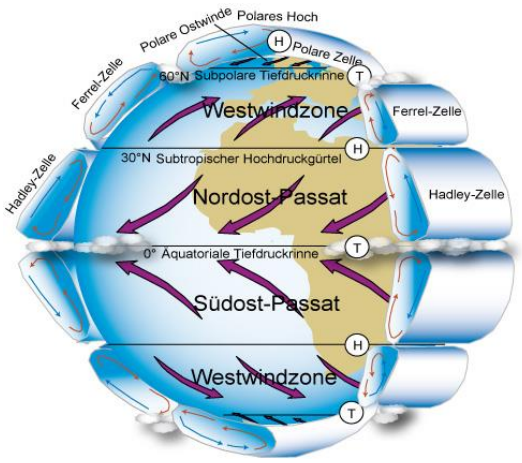
Die in der ITC aufsteigende warme Tropikluft reicht viel höher hinaus als die polare Kaltluft und würde auf einer nicht rotierenden Erde in der Höhe in Richtung der Pole abfließen. Da sie auf ihrem Wege dorthin konvergieren und der zu den Polen abnehmende Raum immer geringer wird sinken sie bereits vom 30. Breitengrad aufwärts ab. Durch die Eigenrotation der Erde (Coriolis-"Kraft") wird diese Strömung auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt mit der Folge, dass die aus äquatorialen Breiten in der Höhe polwärts abfließenden Luftmassen zu Westströmungen werden (Westwinddrift, Jet Streams).

Die bodennah aus polaren Breiten äquatorwärts gerichtete Ausgleichsströmung erfährt eine ab 60° zunehmende und zum Aufstieg führende Erwärmung.

Im mittleren Bereich dieser Westströmung kommt es zu einer wellenförmig mäandrierenden Frontalzone, der Polarfront. In ihr wandern Tiefdruckgebiete mit polwärts vorstoßenden Warm- und äquatorwärts einbrechenden Kaltfronten nach Osten. Über dem Atlantik entwickelt sich ein großes und nahezu ortsfestes Hochdruckgebiet ("Azorenhoch") das durch die Coriolis-Ablenkung im Uhrzeigersinn umströmt wird. Diese Verhältnisse finden wir über allen anderen Ozeanen wieder, nur dass die Luft- und Meeresströmungen auf der Südhalbkugel durch die Coriolis-Kraft nach links abgelenkt werden.



Dieses Bild ist ein Originalbild des Klimawandel-Wiki und steht unter der Creative Commons Lizenz **Namensnennung-NichtKommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 Deutschland**



Hamburger Bildungsserver "Planetarische Zirkulation"

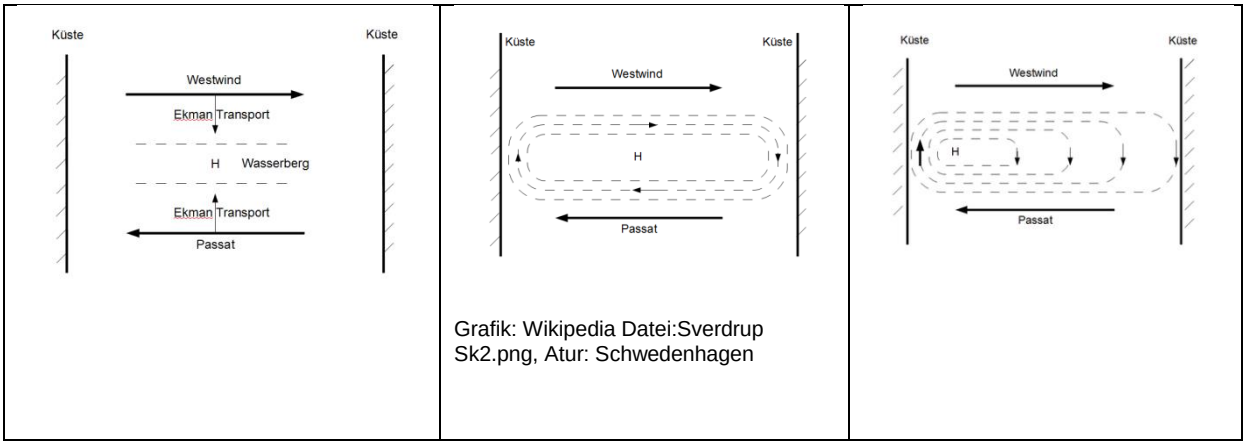
Dieses Bild ist ein Originalbild des Klimawandel-Wiki und steht unter der Creative Commons Lizenz **Namensnennung-NichtKommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 Deutschland**

Ekman-Transport

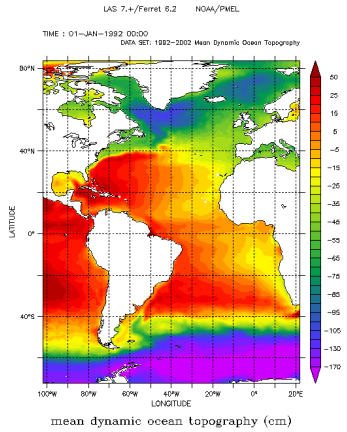
Durch Einwirkung der Coriolis-Kräfte wird der Wind abgelenkt, auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links. Die ihm bewegte Oberflächenschicht wird noch einmal in etwa 45° abgelenkt Von westlichen Winden nach Osten verschobenes Wasser erhält damit eine nach Süden gerichtete Komponente. Von östlichen Winden nach Westen verschobenes Wasser erfährt eine Ablenkung in nördliche Richtung. Das und so genannte Kelvin-Wellen führen insgesamt zu einer im Uhrzeigersinn verlaufenden Kreisbewegung des Wassers. Durch komplizierte dynamische Prozesse (Rossby -Wellen, Sverdrup-Relation) wird der der Kern der zonalen Hochs asymmetrisch nach Westen verlagert.

Ekman-Transport, Sverdrup-Relation, Kelvin- und Rossby-Wellen sind sollten nicht Gegenstand des Unterrichts sein. Sie führen aber in der Konsequenz zur Kreisbewegung, einem höheren

Wasserspiegel im tropischen und subtropischen Westteil der Ozeane und einer deutlich stärkeren Strömung an der Ostküste der Kontinente.



Grafik: Wikipedia Datei:Sverdrup Sk2.png, Atur: Schwedenhagen



http://de.wikipedia.org/wiki/Sverdrup-Relation Wikimedia Commons File:SeaSurfaceTopography Atlantic.gif

Thermohaline Zirkulation

Meeresströmungen sind weiterhin Teil des "Globalen Marinen Förderbandes". Dieses "Förderband" wird auch Thermohaline Zirkulation genannt und hat in erster Linie etwas mit der Temperatur ("thermo"), dem Salzgehalt ("halin") und damit der Dichte der Ozeane zu tun. Unterschiedliche Dichte des Wassers führt zu Aufstiegs- und Absinkbewegungen.

Topografische Einflüsse

Die Kreisbewegung der Meeresströmungen im Nordatlantik vollzieht sich zwischen den, das Becken begrenzenden Kontinenten, Nord-/Mittelamerika auf der einen, Europa und Afrika auf der anderen Seite. Die besondere Topographie Mittel- und Nordamerikas sowie Grönlands fördert den Golfstrom in besonderer Weise. Hier zu nennen ist die Barriere-Wirkung Nord- und Südamerikas, die Beckensituation der Karibik, der Kontinentalabfall zwischen nordamerikanischem Schelf und dem eigentlichen Atlantik sowie die weit nach Süden ragende eisbedeckte Insel Grönland.
Nord- und Südamerika sind durch eine sich zu Panama hin sehr schmal werdende Landbrücke miteinander verbunden. Diese, in Bezug auf den Golfstrom wesentliche Barriere, entstand erst vor (geologisch) kurzer Zeit vor etwa 4,5 Millionen Jahren.

Wären Nord- und Südamerika getrennte Einheiten geblieben würde das äquatoriale, durch die Passatwinde nach Westen getriebene Oberflächenwasser in den Pazifik strömen statt (sommerlich) angenehme Badetemperaturen in Amrum zu erzeugen. Die Plattentektonik ("Kontinentalverschiebung") ist ein wesentlicher "Global Player" beim Klimawandel.

Golfstrom: Einige Zahlen

Der Golfstrom ist typischerweise 100 km breit und 800 - 1200 m tief

Benjamin Franklin´s Karte des Golfstroms 1770 (Französische Version 1778)

Wassermenge:

1 Sverdrup (Sv), benannt nach dem norwegischen Ozeanographen Harald Ulrik Sverdrup, entspricht einer Durchflussmenge von 1 Million Kubikmeter Wasser pro Sekunde.

1 Million Kubikmeter , das ist ein Würfel mit 100 Metern Seitenlänge.

Der Golfstrom strömt in der Floridastraße mit 30 - 40 Sv! Auf 55°N, südlich von Neufundland sind es 150 Sv. 150000000 m^3/s, der entsprechende Würfel hat dann eine Seitenlänge von über 530 m. Auf der Höhe der Färoer-Inseln geht der Strom auf 8,5 Sv zurück.

Der Abfluss aller Flüsse der Welt zusammengenommen erreicht gerade einmal 1,2 Sv. Die in den Atlantik mündenden Flüsse entlassen nur 0,6 Sv.

Geschwindigkeit:

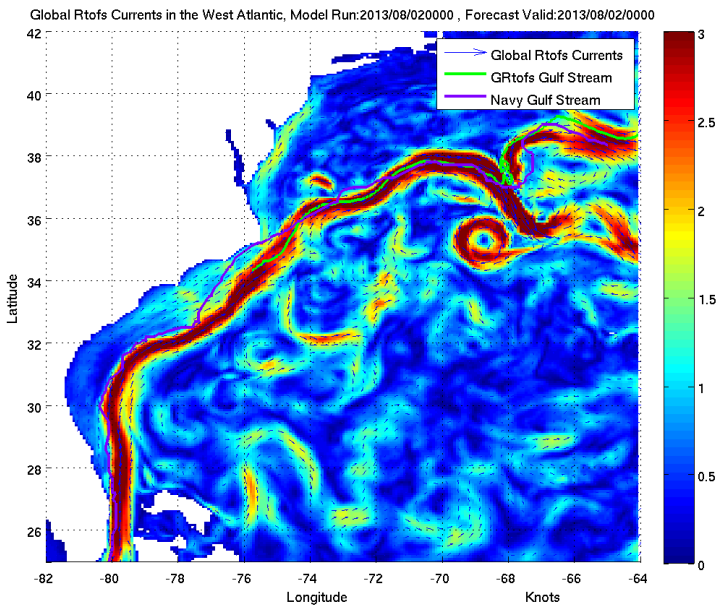
Auf der unten abgebildeten Karte vom 13. März 2013 ist der Golfstrom als ein schmales, mäandrierendes und seitlich Strudel ("Eddies") bildendes Band zu erkennen. Seine Geschwindigkeit variiert mit Spitzen bei fast 1 m/s (Quelle: DEOS, Delft University of Technology). Die im Internet abrufbaren Karten werden ständig aktualisiert (http://rads.tudelft.nl/gulfstream/).
Die Durchschnittsgeschwindigkeit liegt bei 6,4 km/h entspricht damit der Geschwindigkeit eines flott gehenden Fußgängers und der 300fachen Geschwindigkeit des Amazonas (Quelle: National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, http://oceanservice.noaa.gov/facts/gulfstreamspeed.html) Spitzenwerte liegen um 9 km/h.

Energie:
Der Golfstrom liefert etwa 1,4 Petawatt (10^{15} W) Leistung, das entspricht etwa dem 100 fachen Energiebedarf der Menschheit oder der Nutzleistung von etwa 2 Millionen modernen Kernkraftwerken (Quelle: Wikipedia).

Die zentrale Frage lautet:
Welche Kräfte lassen diesen gewaltigen Strom fließen?

Kartenmaterial zur Physik des Golfstroms (Auswahl)

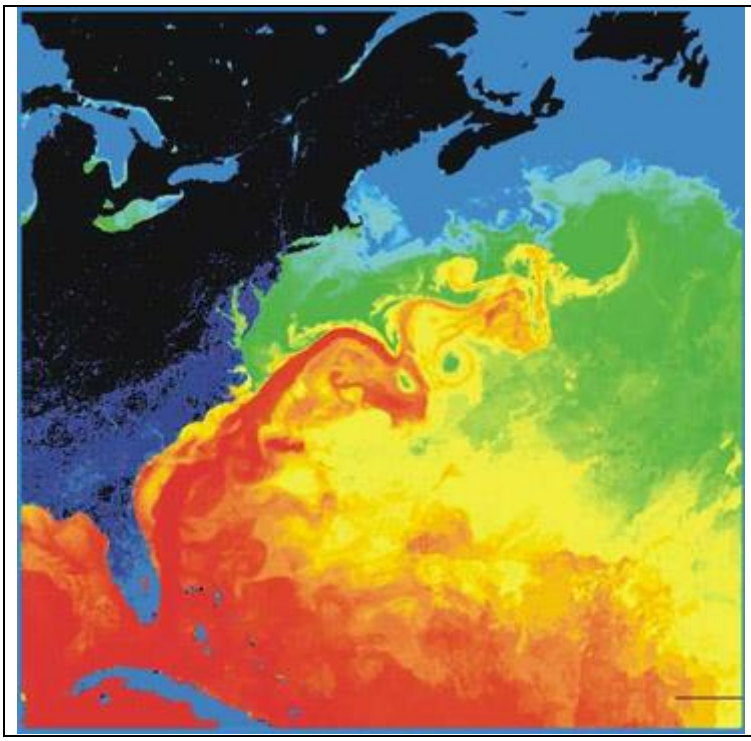
Strömungsgeschwindigkeit



Rot:
Hohe (rot) und geringe (blau) Strömungsgeschwindigkeit

Quelle:
Ocean Prediction Center der NOAA
http://www.opc.ncep.noaa.gov/sst/images/gulfstream/GRtofsCurrWatlGS.png

Temperatur:

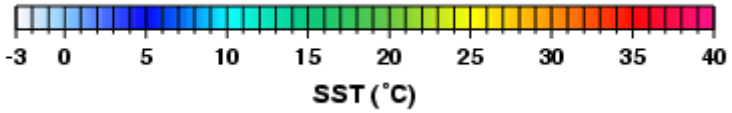


Rot:
Hohe (rot) und geringe (blau) Temperaturen

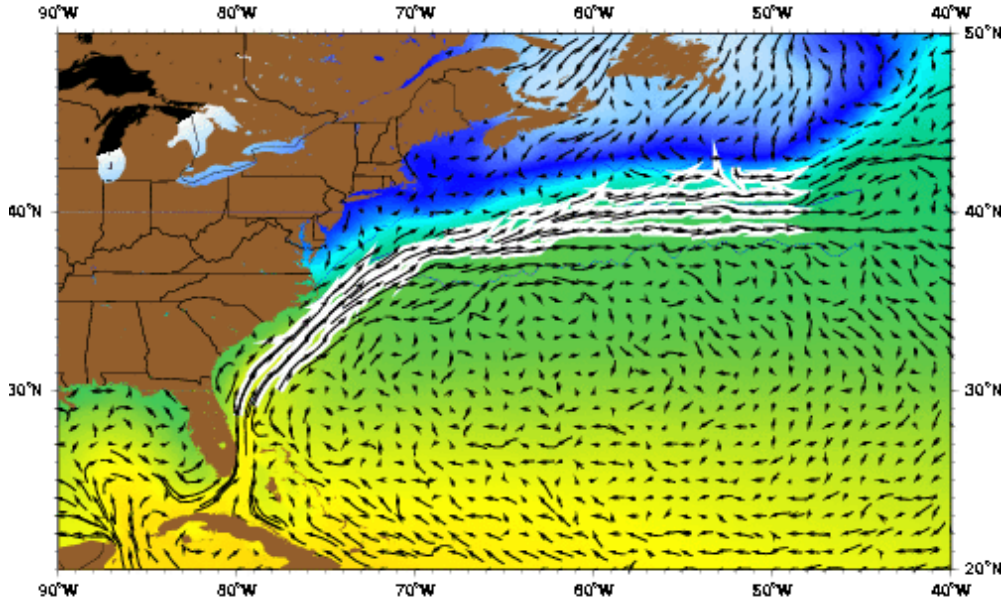
Quelle:
NASA
https://de.wikipedia.org/wiki/Golfstrom

Jahreszeitliche Unterschiede Oberflächentemperatur

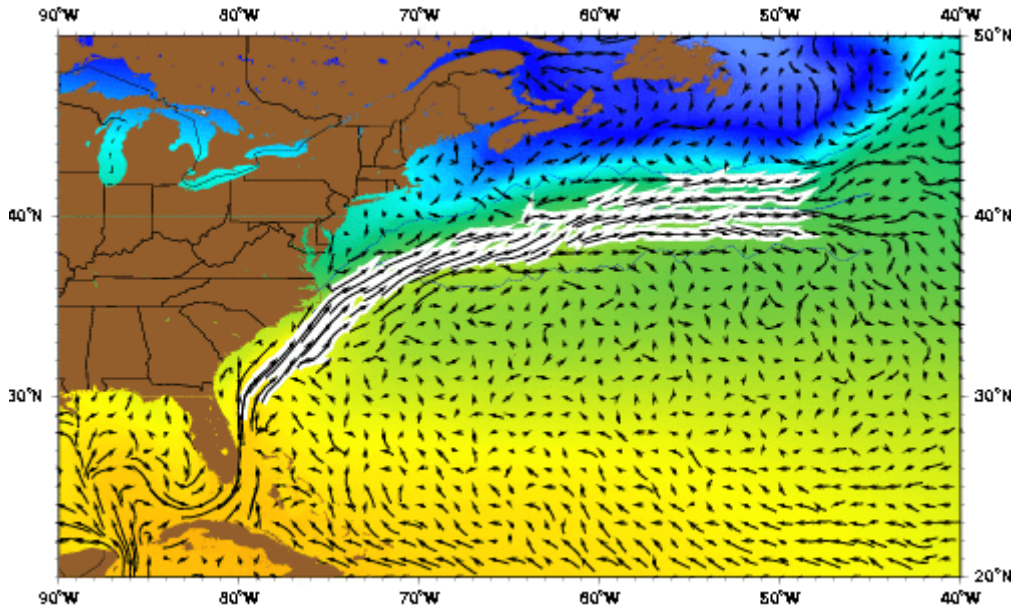
http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/img_mgsva/gulf-stream-JAS.gif



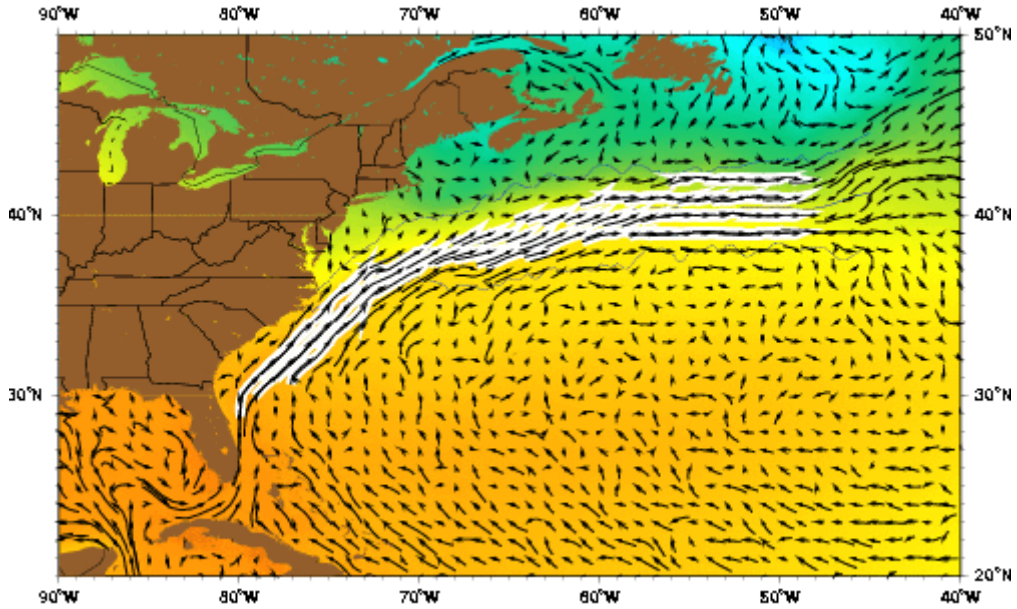
Januar - Februar - März



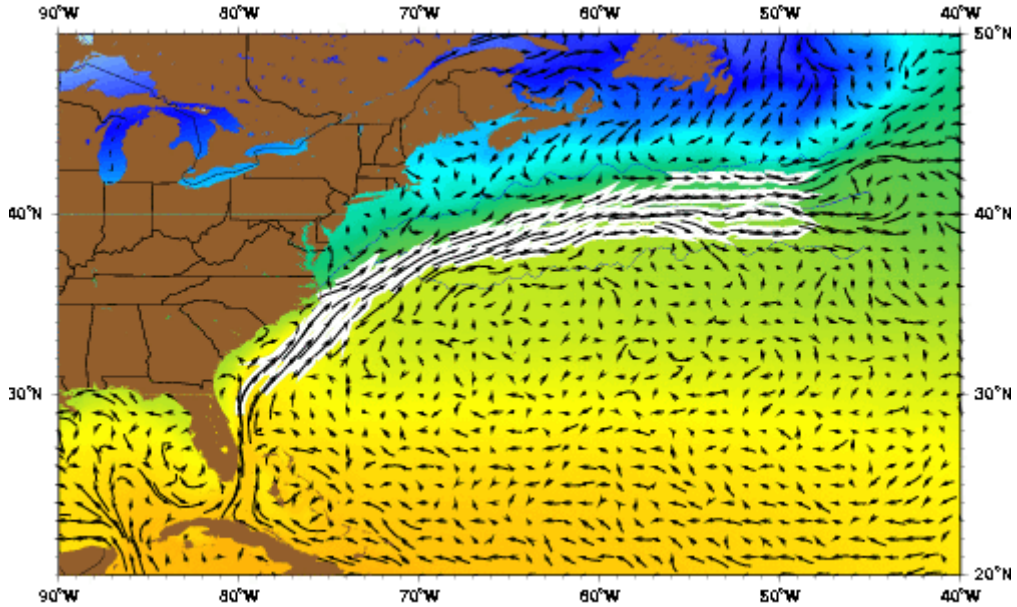
April - Mai - Juni



Juli - August - September

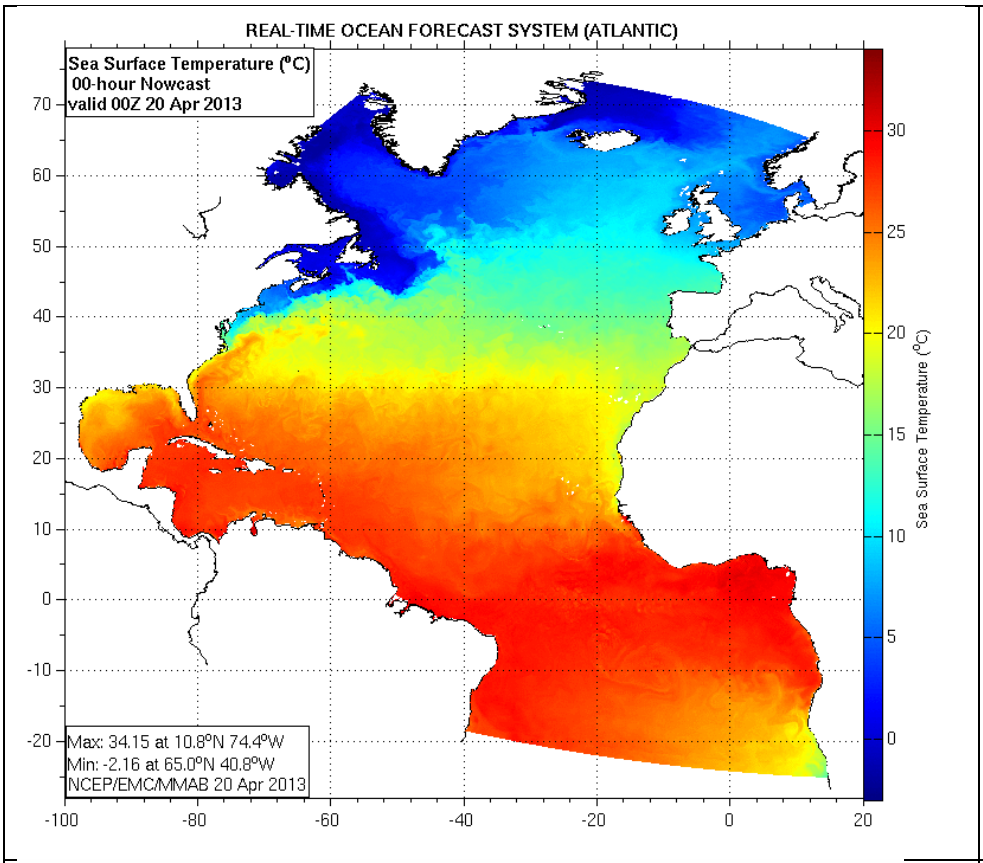


Oktober - November - Dezember

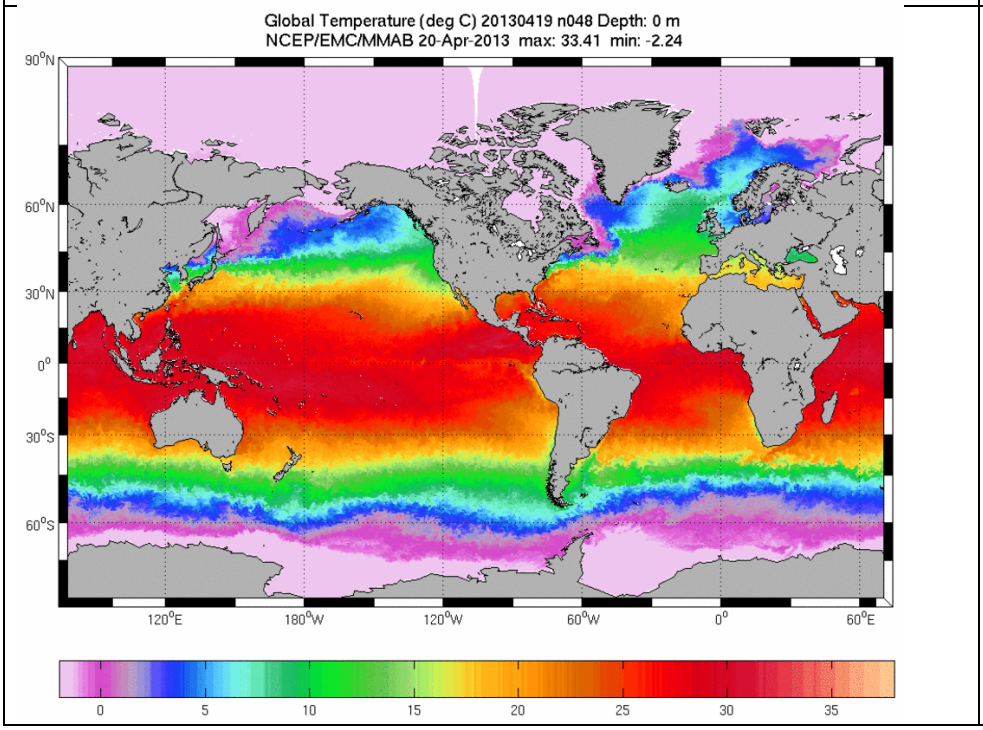


Die unten stehende Karten des National Weather Service der NOAA werden fortlaufend aktualisiert (Vorhersagemodell)

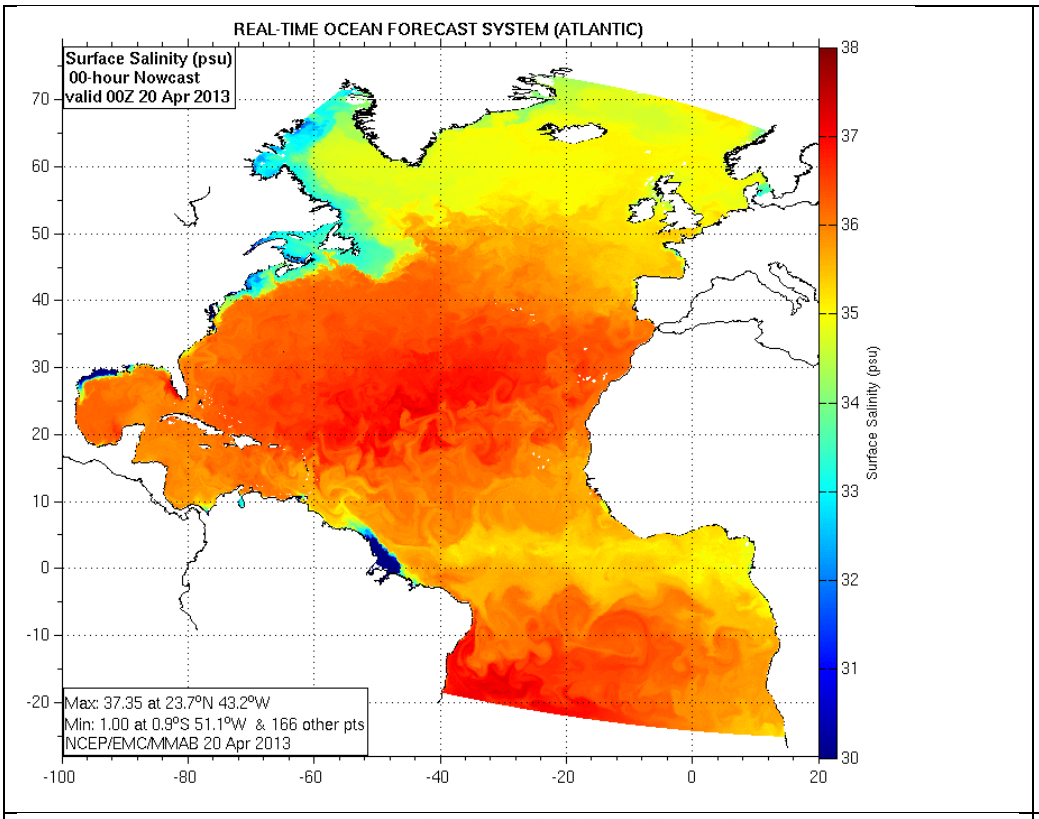
Quelle: NOAA, National Weather Service, http://polar.ncep.noaa.gov



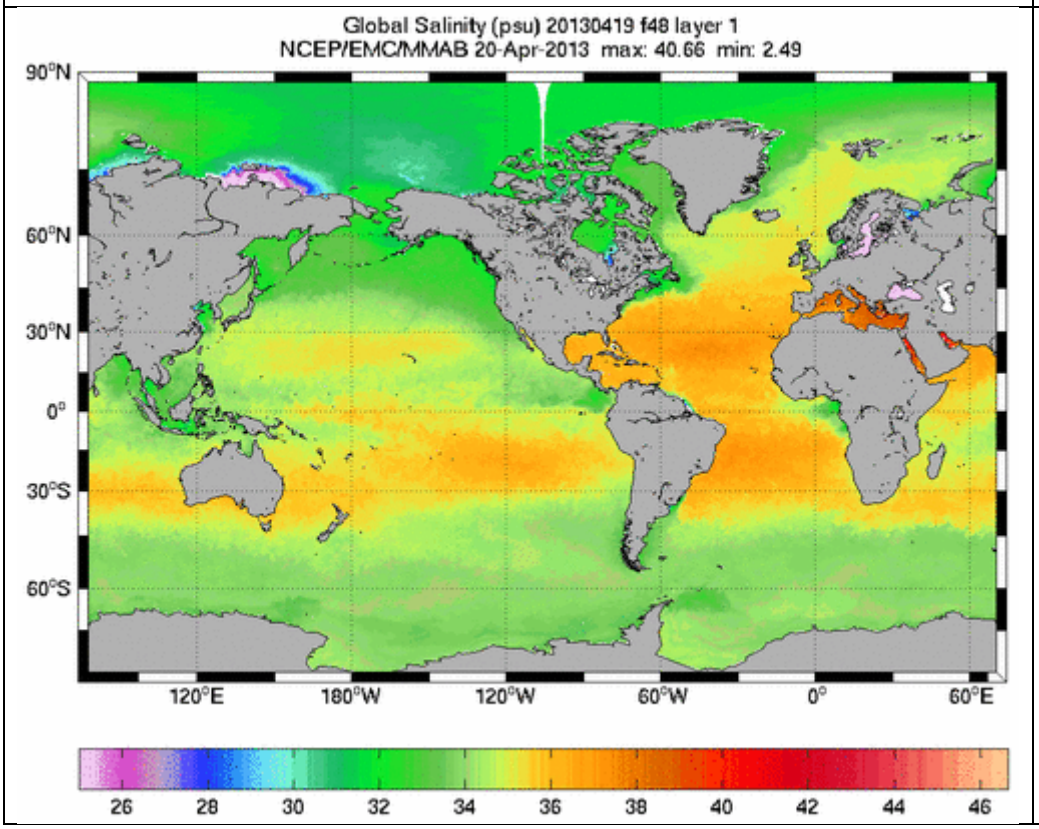
Temperatur: Nordatlantik



Temperatur Global



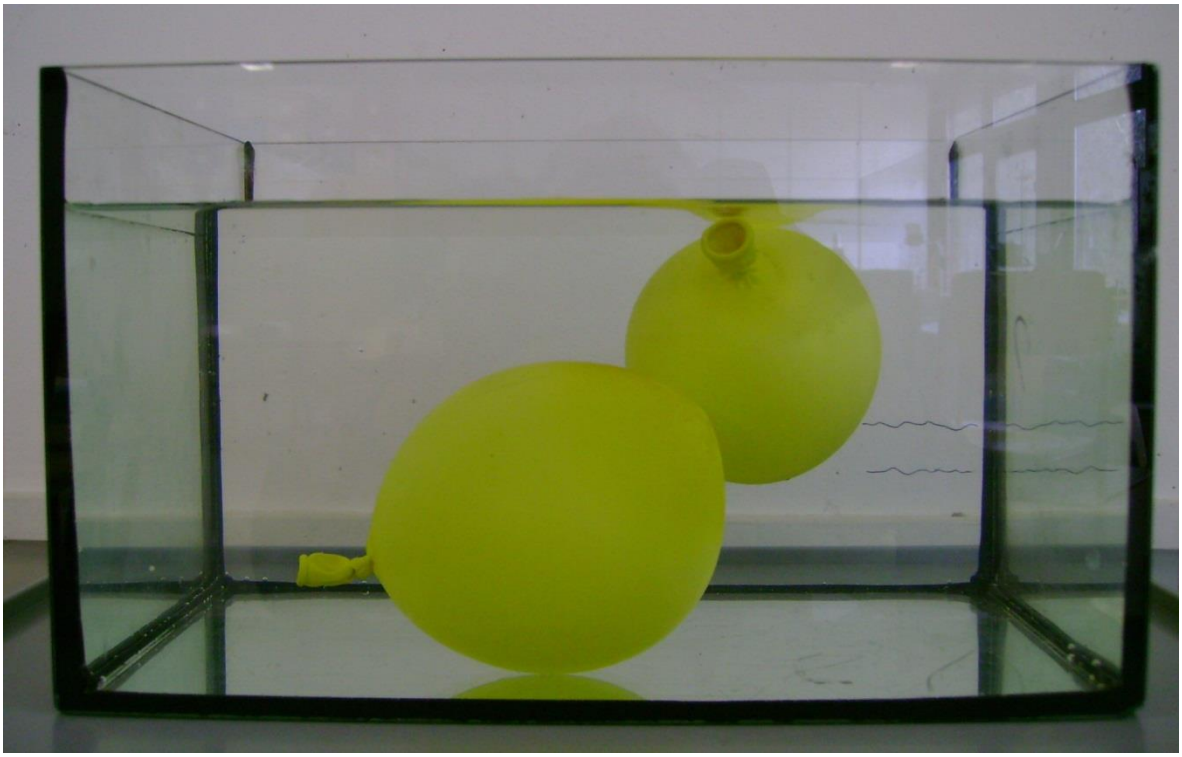
Salzgehalt: Nordatlantik



Salzgehalt Global

Atlasarbeit und Experimente zur Geographie und Physik des Golfstroms

Die im Folgenden aufgeführten Experimente und Hinweise zur Kartenarbeit sind nur Vorschläge. Viele Versuche haben sich bewährt, lassen sich aber vielfach abwandeln, verbessern und durch völlig Neues ersetzen.
Dabei sollte man nicht aus dem Auge verlieren, die Schülerinnen und Schüler so weit als möglich selbst entscheiden zu lassen, auf welche Weise sie "ihre" Fragestellungen verfolgen wollen.
Das kann idealerweise darin münden, dass man nur Materialien bereithält oder ihnen die Schränke der Sammlung öffnet.
Wir haben darauf verzichtet, Arbeitsblätter abzudrucken und uns auf einfache Arbeitsanweisungen beschränkt. Info-Boxen geben in einigen Fällen zusätzliche Hinweise.



Wasser ist nicht gleich Wasser…
Zwei "Wasserbomben": Die eine schwebt, die andere liegt am Boden.
Zufall? Nein, auch wiederholtes Hin- und Herbewegen der beiden wassergefüllten Ballons führt immer wieder zum gleichen Resultat: der größere sinkt zu Boden, der kleinere
Liegt das an der Größe? Der eine Ballon ist größer (und damit vielleicht schwerer?) als der andere. Wir legen beide nacheinander auf die Waage und stellen fest, dass sie unterschiedlich schwer sind. Damit scheint alles klar zu sein. Oder?

h

Ein zweiter Impuls:
In einem mit Wasser gefüllten Plastikbecher befinden sich zwei mit Stopfen fest verschlossene Probenröhrchen. Das eine schwebt an der Oberfläche, das andere steht auf dem Boden.
Dass beide mit einer Flüssigkeit gefüllt sind ist kaum zu sehen denn sie enthalten keine Luft.
Beide Gefäße sind gleich groß. Sie sollten demzufolge die gleiche Menge Flüssigkeit enthalten.

- Vielleicht handelt es sich um verschiedene Flüssigkeiten?
- Oder enthält der schwebende Ballon noch Luft?
- Oder besteht der Trick darin, dass etwas (Unsichtbares?) im anderen Ballon versteckt wurde?
- Oder ist das Wasser unterschiedlich warm?

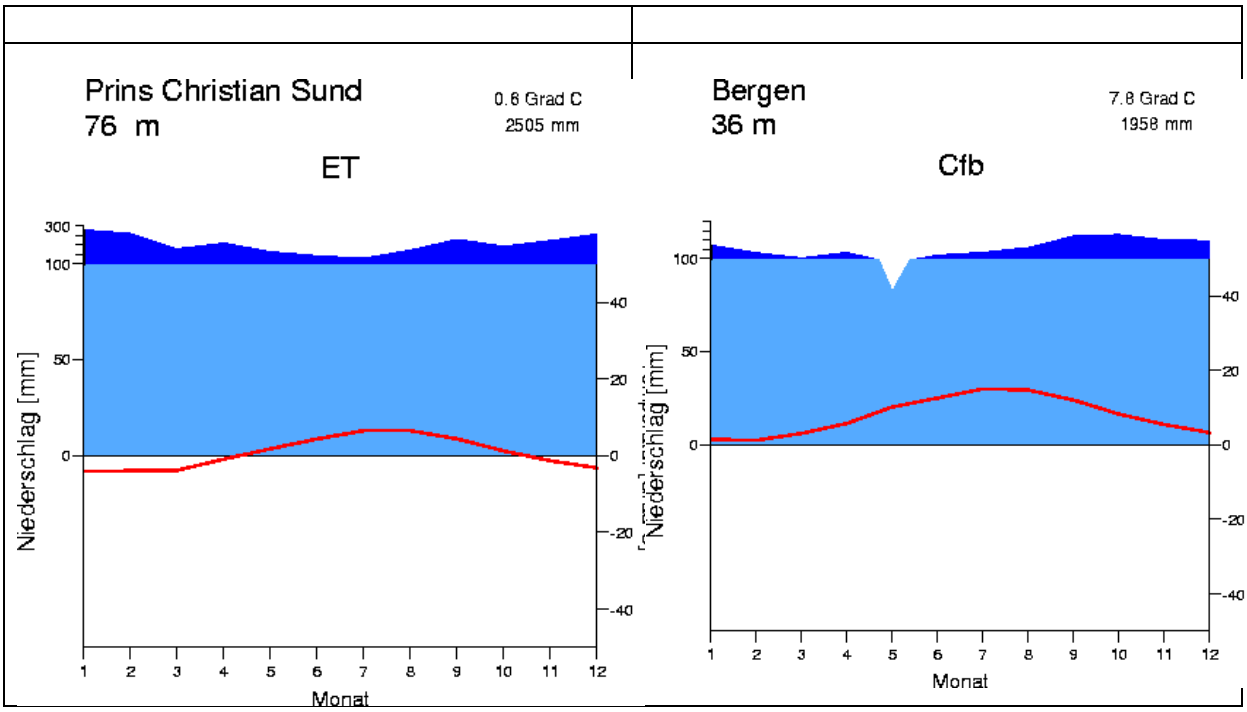
Die nähere Untersuchung zeigt:
Beide Ballons sind vollständig mit Flüssigkeit gefüllt und enthalten keine Luftblasen.

Markieren wir die Ballons mit "A" und "B". Wir legen sie auf zwei Suppenteller, stechen sie mit einer Nadel an und lassen den Inhalt in die Teller laufen. Tatsächlich: der Ballon "A" enthält mehr Flüssigkeit als Ballon "B" was man mit einem Messzylinder leicht überprüfen kann.
Die Flüssigkeiten sehen sieht aus wie Wasser, riechen wie Wasser schmecken aber unterschiedlich.
Ballon "A" enthält Salzwasser, Ballon "B" Leitungswasser.

Der wahrscheinlichsten aller Vermutungen, dass die Ballons, weil unterschiedlich groß und schwer, unterschiedlich tief ins Wasser tauchen sollte man unbedingt nachgehen:
Dazu stellen die Schüler einfach mehrere unterschiedlich große "Wasserbomben" aus Leitungswasser her und lassen sie in Leitungswasser gleiten.
Möglicherweise werden anfangs einige oder alle schwimmen und andere absinken. Nach einiger Zeit aber - wenn sich Temperaturunterschiede ausgeglichen haben - werden alle schweben.
Im Wasser wiegt Wasser, egal wie viel, nichts!

Was hat dieses Experiment mit dem "Golfstrom" zu tun?
Und warum ist der Golfstrom wichtig für uns?

Die Antwort auf die zweite Frage zuerst:
Der Golfstrom ist der Grund dafür, dass wir in Deutschland (noch) keine Eiszeit erleben. Der Golfstrom und seine Fortsetzung, der Nordatlantische Strom, bringen tragen in tropischen Breiten erwärmtes Wasser bis hinauf in Europas Norden. Dass, zusammen mit den langen Tagen im Sommer, ist der Grund dafür, dass man noch in Mittelnorwegen Erdbeeren und Pfirsiche ernten kann.
Ohne den Golfstrom wäre es fast so kalt wie an der amerikanischen Ostküste. Hannover liegt auf dem gleichen Breitengrad wie Neufundland in Kanada. Dort in der Nähe lief die Titanic auf einen Eisberg. Die zwar regenreiche aber recht milde Stadt Bergen in Norwegen liegt etwa so nördlich wie die Südspitze von Grönland. Nur wenige Kilometer vom Kap Farvel entfernt beginnt das ewige (?) grönländische Inlandeis. Grönland heißt seit Wikingerzeiten "Grünland". Es muss in Grönland einmal anders gewesen sein als heute



Eine geographische Frage vorweg…
Jeder kennt "Wer wird Millionär". Das könnte Ihre Frage sein:

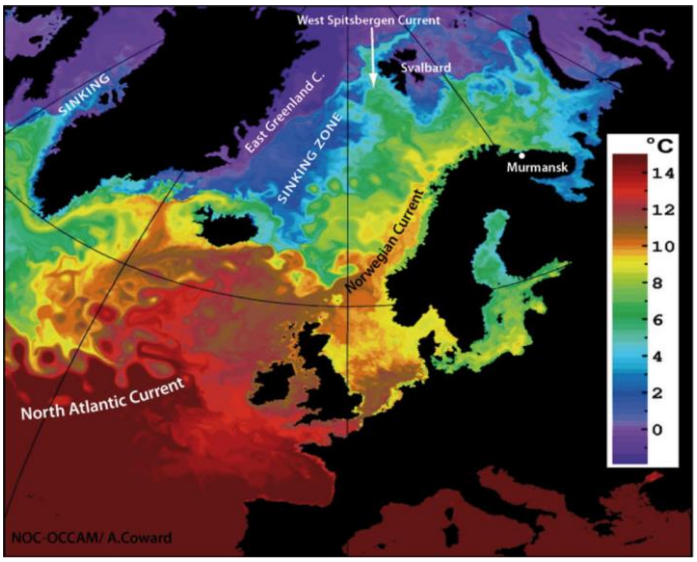
Was liegt südlicher als Grönland?

A: Reykjavik	C: Stockholm
B: Bergen	D: Sankt Petersburg

Alle Städte scheinen südlicher zu liegen, weil nach Gefühl oder tatsächlich wärmer.
Grönlands Südspitze, das Kap Farvel (59° 46' N) liegt aber südlicher als…

- Reykjavik (64° 08' N), Bergen (60° 23’ N) und Sankt Petersburg (59° 56’ N)!

Nordnorwegen ist nur in den Hochlagen (sub)arktisch, an den Küsten reifen wunderbar süße Erdbeeren und etwas Mutigere können auf den Lofoten noch in den Atlantik steigen und später erzählen, dass sie so nördlich wie Mittelgrönland schwimmen waren.



Atlasarbeit

Viele geographische Aspekte des Golfstroms können die Schülerinnen und Schüler in Eigenarbeit mit dem Atlas erkunden. Dabei helfen besonders diese Karten (als Beispiel hier der weit verbreitete DIERCKE-Atlas).

- **Klimate der Erde** (Klimaklassifikation, Effektive Gliederung nach SIEGMUND/FRANKENBERG Jahreszeitenklimate nach TROLL/PFAFFEN und Klimate der Erde nach KÖPPEN/GEIGER)
  Hier wird deutlich, dass die Grenzen zwischen den Mittelbreiten (D, der Subpolaren Zone (E) bzw. der Polaren Zone (F) - oder entsprechender Zonen - von Nordamerika nach Europa stark nach Norden ausschwingen: Baffin Island in Ostkanada und Mittelgrönland liegen auf demselben Breitengrad wie das norwegische Nordkap. Erst nach Sibirien zu verlagern sich diese Grenzen wieder südwärts um - und das ist ein Hinweis - über Alaska sich wieder nach Norden zu verlagern.
- **Meeresströmungen**
  Auffällig ist, dass die Meeresströmungen auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn und auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn laufen.
  Auffällig weiterhin ist, dass Meeresströmungen in Äquatornähe von Ost nach West laufen.
  Weiterhin fällt ins Auge, dass die Ostküsten der großen Kontinente in der Mehrzahl der Fälle von warmen, die Westküsten dagegen von kalten Meeresströmungen erreicht werden.
  Der Golfstrom und Nordatlantische Strom bilden hier eine Ausnahme: Hier wird warmes Wasser bis in nach Spitzbergen geführt.
- **Luftdruck und Winde**
  Die Verteilung des Luftdrucks und der Winde zeigt ein auffälliges Muster: Auf der Nordhalbkugel werden Hochdruckgebiete im Uhrzeigersinn umströmt, auf der Südhalbkugel entgegen dem Uhrzeigersinn. Dies entspricht der Zirkulation der Meeresströmungen. Bei Tiefdrucksystemen verhält es sich umgekehrt.
  Auffällig sind die im äquatorialen Bereich von Nordosten nach Südwesten wehenden Passatwinde die in der Nähe des Äquators konvergieren.
  Im Bereich des Golfstroms/Nordatlantischen Stroms zeigt sich eine im Januar kräftige, im Juni schwächere über den Atlantik verlaufende Westwinddrift.

Hypothesenbildung: Wie funktioniert der Golfstrom?

Der Golfstrom ist eine große Meeresströmung wie viele andere Meeresströmungen auch.

Warum bewegt sich Wasser?

In einem "Brainstorm" tragen die Schülerinnen und Schüler Vermutungen und mögliche Ursachen zusammen. Diese lassen sich - um ein "Verzetteln" zu vermeiden - schon etwas kanalisieren. Die Vorauswahl wird anschließend von allen bewertet (1: Sehr wahrscheinlich. 3: Wenig wahrscheinlich)

• Kaltes Wasser fließt in der Tiefe vom Nordpol („oben“) zum Südpol („unten“). Wenn alles Wasser „unten“ ist staut es sich dort, steigt auf wird erwärmt und fließt an der Oberfläche zum Nordpol zurück	1	2	3
• Die Erde dreht sich von Westen nach Osten. Das Wasser der Ozeane bleibt aufgrund der Massenträgheit hinter dieser Drehung zurück und bildet an der Amerikanischen Küste einen Berg.	1	2	3
• Durch die Drehung der Erde ist die Geschwindigkeit (und die dadurch erzeugte Fliehkraft) am Äquator höher als an den Polen. Damit ist der Meeresspiegel am Äquator hoher. Das Wasser fließt von dort zu den Polen.	1	2	3
• Warmes Wasser ist leichter als kaltes. Daher sinkt das in den Tropen erwärmte Oberflächenwasser nicht ab und breitet sich mit dem Wind aus	1	2	3
• In der Nähe des Äquators fallen die höchsten Niederschläge. Das Regenwasser fließt in die Ozeane und von dort aus zu den regenärmeren Polen.	1	2	3
• Warmes Wasser dehnt sich aus. Der Meeresspiegel ist am warmen Äquator höher als an den kalten Polen.	1	2	3
• Warmes Wasser dehnt sich aus. Dadurch breitet es sich zu den Polen hin aus	1	2	3
• Das Wasser wird vom Wind angetrieben. Der Wind weht von Amerika nach Europa	1	2	3
• Das Wasser wird am Äquator durch die Passatwinde nach Westen getrieben. Amerika wirkt wie eine Staumauer. Ein Teil des Wassers fließt dann an der nordamerikanischen Ostküste entlang nach Nordosten.	1	2	3
• Den Golfstrom gibt es nur weil Nord- und Südamerika miteinander verbunden sind.	1	2	3
• Warmes Wasser ist leichter als kaltes Wasser. Das kalte Wasser sinkt unter das warme Wasser.	1	2	3
• Salzwasser ist schwerer als Süßwasser.	1	2	3
• Wasser mit hohem Salzgehalt ist schwerer als Wasser mit geringem Salzgehalt.	1	2	3
• Der Golfstrom kühlt sich auf seinem Weg nach Norden ab.	1	2	3
• Durch Verdunstung von Wasser steigt der Salzgehalt.	1	2	3
• Durch Verdunstung verliert das Wasser Energie. Dadurch sinkt die Wassertemperatur.	1	2	3
• Durch Vereisung wird das Salzwasser noch salziger.	1	2	3
• Durch Abschmelzen von Gletschereis wird Salzwasser "süßer".	1	2	3
• Hoch im Norden sinkt das Wasser des Golfstroms in die Tiefe. Zum Ausgleich strömt Wasser hinterher.	1	2	3

Bewertung und Filtern der Hypothesen
Diese Liste der Hypothesen schreitet von "einfachen" Lösungen zu fortgeschrittenen Konzepten die schon einiges Vorwissen erfordern. Sie lässt sich sicher fortsetzen!
Entscheidend ist, dass die Schüler die Hypothesen gemeinsam bewerten, Argumente für die eine oder andere Vermutung finden und dass der ausgetragene Disput darüber in der gemeinsamen Planung von Ansätzen mündet, die eine Überprüfung der Thesen ermöglichen.

Die genannten Hypothesen lassen sich auf einige Themenüberschriften verdichten:

- Schwerkraft (Wasser fließt von oben nach unten)
- Drehung der Erde (Massenträgheit, Corriolis"kraft")
- Meeresspiegelhöhe
- Antrieb durch Wind
- Temperatur des Wassers bzw. der Wasserschichten
- Dichte ("Gewicht") des Salz- bzw. Süßwassers
- Veränderung des Salzgehaltes durch Eisbildung bzw. Zustrom von Gletschereis

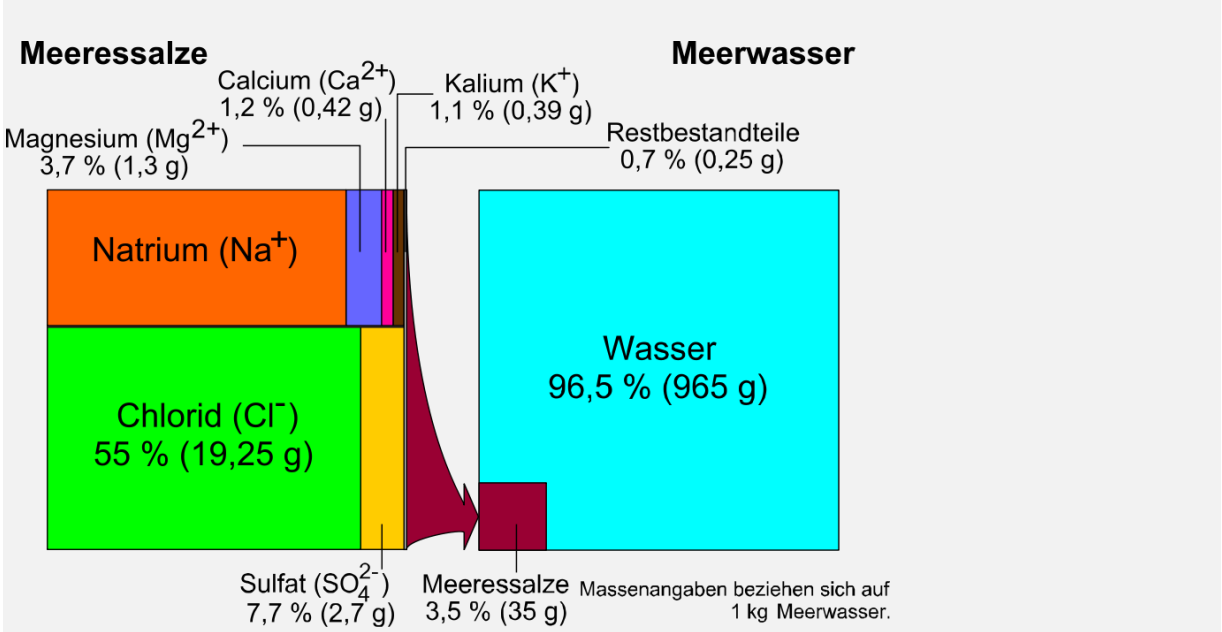
Planung der Versuche
Bei der Versuchsplanung und -durchführung gehen wir gruppenarbeitsteilig und interessenorientiert vor. Dabei wird es immer Überschneidungen geben (z.B. wird die Dichte des Wassers wahrscheinlich sowohl vom Salzgehalt als von der Temperatur abhängig sein) die zum Austausch zwischen den Teams führen. Das kennzeichnet zuarbeitendes wissenschaftliches Arbeiten und sollte durch gezielte "Verlinkung" der Gruppen durch den Lehrer gefördert werden.
Die Rolle des Lehrers sollte sich ansonsten auf das Setzen von Impulsen und das Bereitstellen und spontane Heranschaffen von Versuchsmaterial beschränken.
Das Forschen sollte in erster Linie eine Sache der Schüler sein. Das schließt im Idealfall auch ein, dass sie "Sackgassen" beschreiten. Nur aus Fehlern wird man klug.
Diese "freie" Methode ist im engen Zeit- und Stoffplan des Schulalltags oft nicht realisierbar.
Wir geben Ihnen daher im Anhang auch eine Auswahl von Arbeitsblättern an die Hand die ein eher "kochbuchartiges" Vorgehen vorschreiben.
Zwischen "freiem" idealtypisch selbstbestimmten forschenden Lernens und rezeptartigen Anleitungen liegt aber ein weites Feld das mit der Erfahrung beider Seiten, der Lehrer und der Schüler wachsen kann.

Experimente

Können wir Meerwasser für unsere Experimente selbst herstellen?

- Als "Vorlage" steht uns eine Flasche Meerwasser zur Verfügung ("Biomaris")
- Wie können wir herausfinden, wie viel Salz im Meerwasser enthalten ist?
- Wir gießen Meerwasser in ein großes flaches Gefäß, lassen es vollständig verdunsten und wiegen das verbleibende Salz.
- Meerwasser besteht aus Wasser und Salz und kann nicht das gleiche Gewicht haben wie reines Wasser.
- Wir wiegen ein bestimmtes Volumen (z.B. 100 ml) destilliertes Wasser bzw. Meerwasser, berechnen die jeweilige Dichte und ermitteln den Salzanteil.
- Das Verhältnis der gelösten Ionen ist bei allen Salzkonzentrationen gleich.
- Dadurch lässt sich auch der Gewichtsanteil der Komponenten bestimmen.
- Damit lässt sich "Meerwasser" mit Reinstoffen aus der Chemie-Sammlung oder aus Meersalz herstellen.

►Lehrer-Info:
Meerwasser hat einen durchschnittlichen Salzgehalt von etwa 3,5%.
Ein Liter (1000 cm^3) enthält also etwa 965 g Wasser und 35 g "Meersalz".

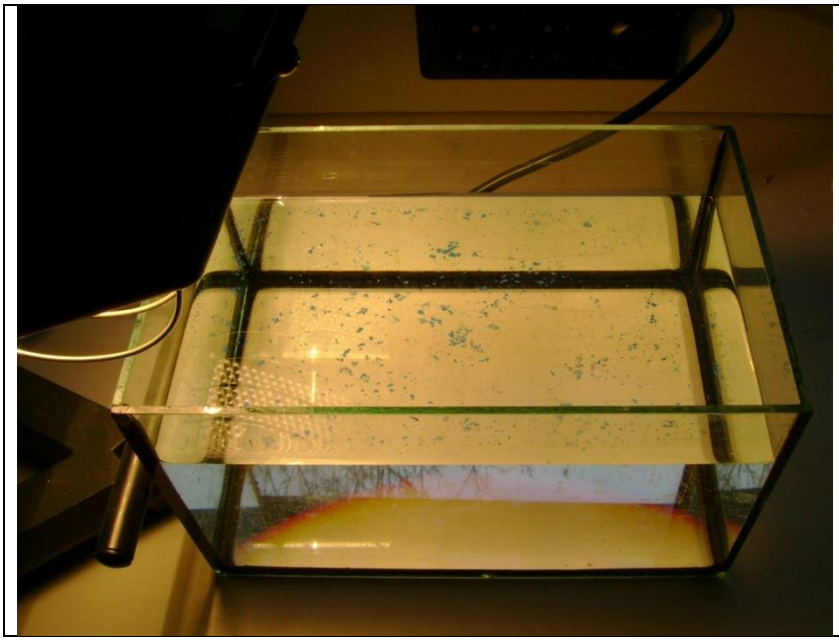


Grafik: Wikipedia

Bewegt sich Wasser, wenn es erwärmt wird?

Wir haben einen kräftigen Strahler an der Schmalseite eines randvoll mit Leitungswasser gefüllten Aquariums montiert. Der Strahler simuliert die tropische Sonne. Mit einem Messer wird Schulkreide auf die "tropische" Wasseroberfläche geschabt.

- Wird sich der Kreidestaub, der auf der Oberfläche liegenbleibt, bewegen?
- Wenn ja, wie kommt die Bewegung zustande?
- Kann man sie noch verstärken?
- Welche Rolle spielt die Temperatur des zu Beginn eingefüllten Wassers?
- Welche Rolle spielt die Form des Beckens?
- Kann man noch bessere Hilfsmittel einsetzen um die Bewegung anzuzeigen?
- Macht es einen sichtbaren Unterschied ob man bei diesem Versuch Leitungswasser oder Meerwasser benutzt?

	• Wie kann man die Temperaturen erfassen, ohne in den Versuch einzugreifen?

►Lehrer-Info:

Die Dynamik wird durch Unterschiede in der Temperatur und im Salzgehalt bestimmt.

- Warmes Wasser ist leichter als kaltes und bildet die oberste Schicht unter der "Sonne".
- Die warme Oberschicht dehnt sich auf die ganze Oberfläche aus und kühlt dabei ab.
- Auf der "kalten" Seite sinkt das Wasser ab
- Das auf der "warmen" Oberseite abfließende Oberflächenwasser wird durch kaltes "Auftriebswasser" aus tieferen Schichten ersetzt.

Die Intensität dieses Kreislaufs kann durch größere Temperaturgegensätze verstärkt werden.

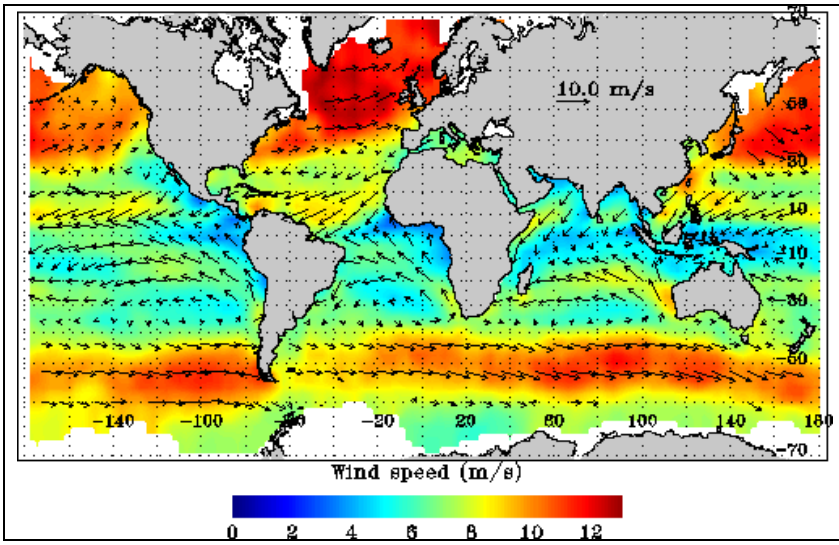
Wird "Meerwasser" verwendet

- wird der Salzgehalt unter der "Sonne" durch Verdunstung steigen. Das schwere Salzwasser sinkt beim Abkühlen schneller ab als Leitungswasser.

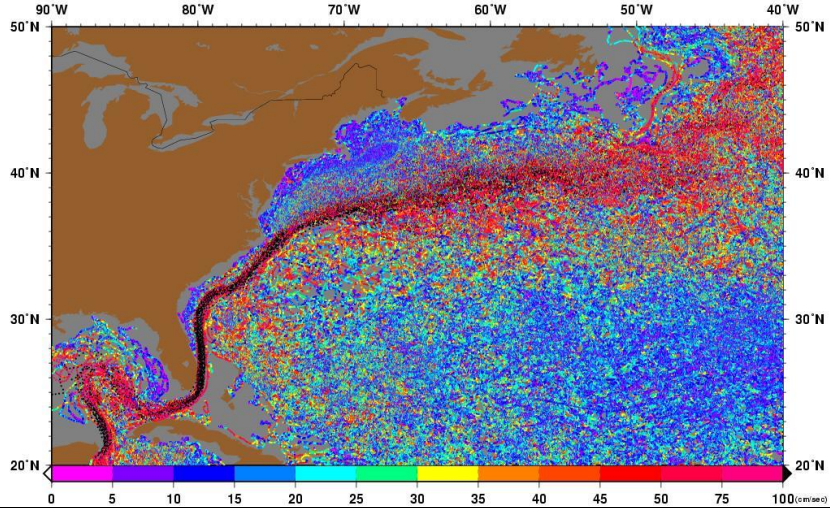
Wie schnell bewegt sich Wasser, wenn Wind darüber streicht?

Befestige einen Fön an der Schmalseite eines randvoll mit Leitungswasser gefüllten Aquariums.
Mit einem Schalenanemometer wird die Windgeschwindigkeit gemessen.

- Wie schnell wird sich der Kreidestaub der Wasseroberfläche bewegen?
- In welchem Verhältnis stehen Wind- und Wassergeschwindigkeit zueinander?



- Wie lange bräuchte das warme Oberflächenwasser der Karibik dann etwa um Europa zu erreichen?
- Distanz Florida/Europa etwa 7000 km



- Stimmt die Geschwindigkeit der Oberflächenströmung mit den erwarteten Werten überein?

Grafik: oceancurrents.rsmas.miami.edu

►Lehrer-Info:

Das gemessene Verhältnis der Wind- und Wassergeschwindigkeit beträgt etwa 33 : 1.
Die Geschwindigkeit der Kreidestaubpartikel betrug im Experiment z.B. bei 4m/s Windgeschwindigkeit zwischen 10 und 15 cm/s und damit nur etwa 3% der Windgeschwindigkeit.
Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit (Januar) beträgt 8 - 12 m/s, im Mittel etwa 10m/s.
Daraus würde eine Wasserbewegung von 0,3 m/s folgen.
Um 7000 km zurückzulegen bräuchte ein Luftteilchen etwa 8 Tage, ein Wasserteilchen 270 Tage.
Die tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit mit > 1m/s und maximal 2,5m/s ist deutlich höher!

Wie verhält sich Wasser und Luft in Bezug auf ihre Wärmeeigenschaften?

- Hänge die Temperaturfühler von zwei Digitalthermometern in eine Thermoskanne, einen an den Boden und einen etwa in die Mitte des Gefäßes
- Gib etwas siedendes Wasser in eine Thermoskanne und verschließe sie (z.B. mit Watte)
- Wie verhalten sich die Wasser- und Lufttemperaturen zueinander?
- Welche Endtemperaturen erwartest du?

- Die Mischungstemperatur kann mit der Richmannschen Mischungsformel berechnet werden.

$$T_M = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}$$

Dabei ist:

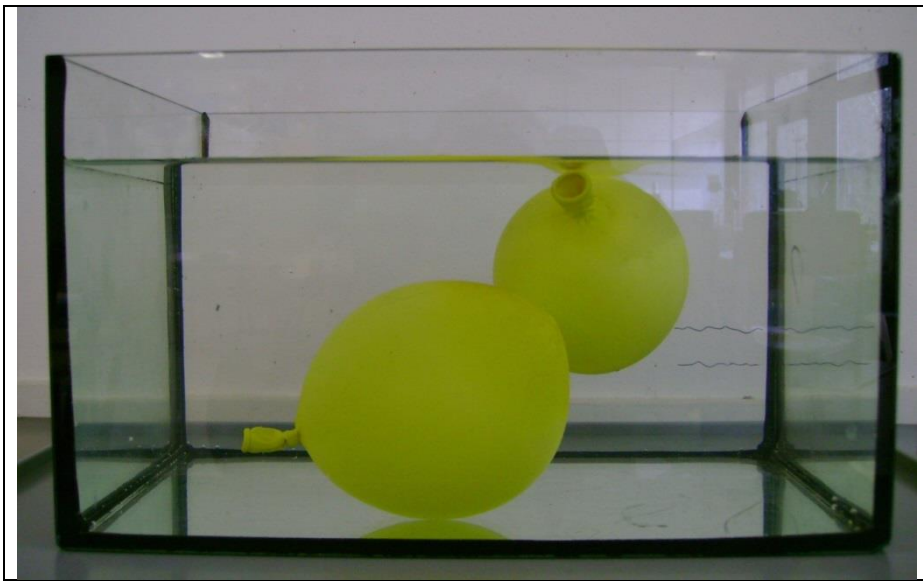
- "T_M" →Mischungstemperatur in °C
- "c_1" →spezifische Wärmekapazität des ersten Stoffes in Joule pro Kilogramm mal Celsius [J / (kg · C)]
- "c_2" ist die spezifische Wärmekapazität des zweiten Stoffes in Joule pro Kilogramm mal Celsius [J / (kg · C)]
- "m_1" ist die Masse des ersten Stoffes in Kilogramm [kg]
- "m_2" ist die Masse des zweiten Stoffes in Kilogramm [kg]
- "T_1" ist die Temperatur des ersten Stoffes in Celsius [C]
- "T_2" ist die Temperatur des zweiten Stoffes in Celsius [C]
-

►Lehrer-Info:

- Die spezifische Wärmekapazität von Wasser hat mit c = 4196J/kg*K etwa 4mal so hoch wie die von Luft (1005J/kg*K).
- Die Dichte des Wassers ist 1000kg/m^3, die der Luft 1,293kg/m^3.
- Das Volumen der Luft muss zunächst in Masse umgerechnet werden.

Wie verhält sich kaltes und warmes Wasser in "normalem" Wasser?

- Man kann zwei "Wasserbomben" mit kaltem bzw. mit heißem Wasser füllen und in "normaltemperiertes" (raumwarmes) Wasser gleiten lassen.
- Was ist dabei zu beobachten?
- Was geschieht wenn sich die Temperaturen ausgleichen?
- Was geschieht, wenn man dem Aquarium warmes oder kaltes Wasser hinzufügt?

	• Hängt das Verhalten der Ballons von ihrer Größe ab?

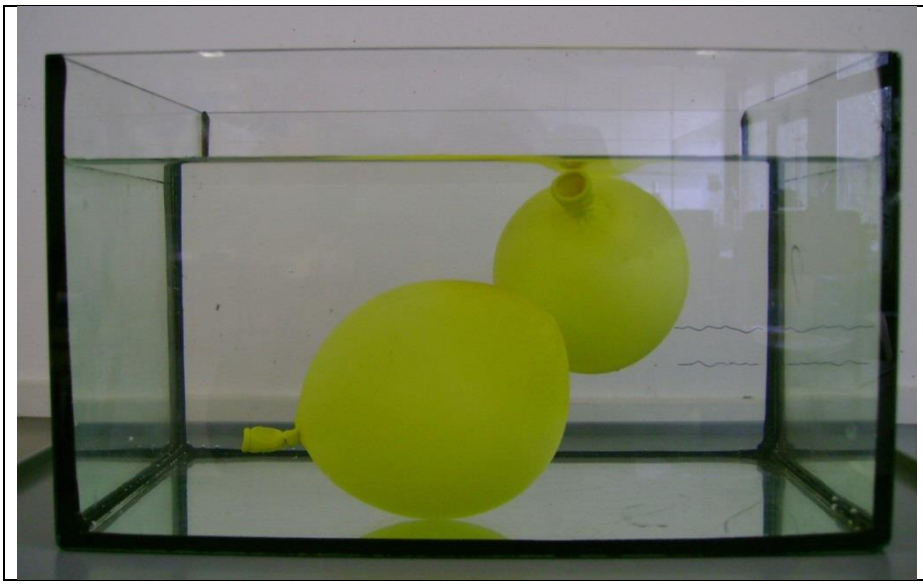
►Lehrer-Info:

- Kaltes Wasser ist schwerer als "normal" temperiertes Wasser. Der mit kaltem Wasser gefüllte Ballon sinkt also zum Grund während das warme Wasser Auftrieb erfährt.
- Nach einiger Zeit haben die Balloninhalte die Temperatur des umgebenden Wassers angenommen und schweben "schwerelos" im Wasser.

Kann man mit Wasser gefüllten Ballons eine "Meeresströmung" simulieren?

Man kann durch eine geschickte Versuchsanordnung die "Wasserbomben" dazu bringen sich durch das Becken zu bewegen.
Dazu sollte die eine Seite des mit Wasser gefüllten Beckens mit einer "Sonne" versehen sein.

- Welche Größe sollten die Ballons dabei haben?
- Spielt die Farbe der Ballons oder ihres Inhalts eine Rolle?
- Welche Temperatur sollte das in die Ballons gefüllte Wasser haben?
- Welche Ausgangstemperatur sollte das Wasser im Becken haben?

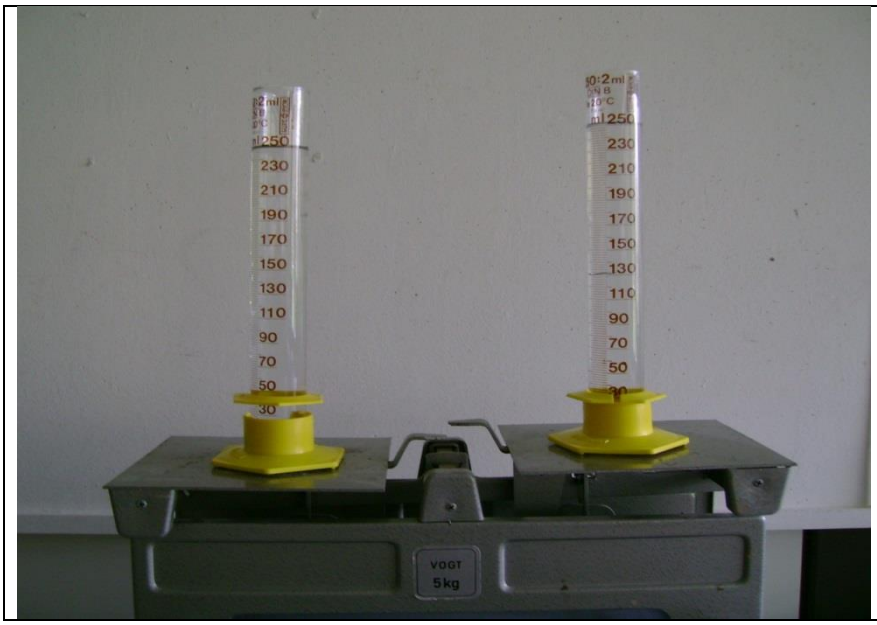
	• Hängt das Verhalten der Ballons von ihrer Größe und Farbe ab?

►Lehrer-Info:

- Die Ballons sollten klein bleiben, damit sie sich nicht gegenseitig behindern.
- Kleine Volumina erwärmen sich schneller und geben die Wärme auch schneller wieder ab.
- Vorteilhaft scheint es auf den ersten Blick, schwarze Ballons zu verwenden: Das könnte ihren Inhalt unter der "Sonne" schneller warm werden lassen.

Was "wiegt" kaltes und warmes Wasser?

- Zwei Messzylinder werden bis zur 250ml-Marke mit kaltem bzw. heißen Wasser gefüllt und auf eine Tafelwaage gestellt.
- Welche Temperaturen werden sich nach einiger Zeit einstellen?
- Welche Folge wird das für das "Gewicht" beider Gefäße haben?



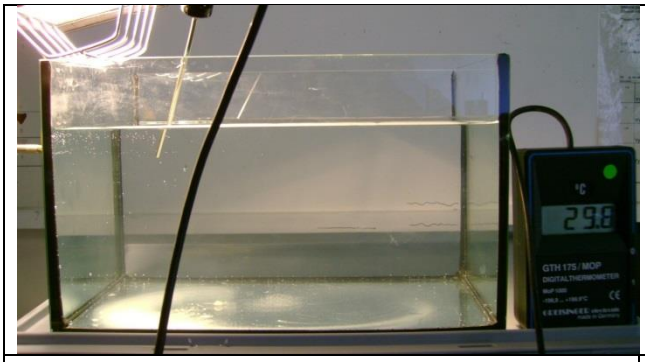
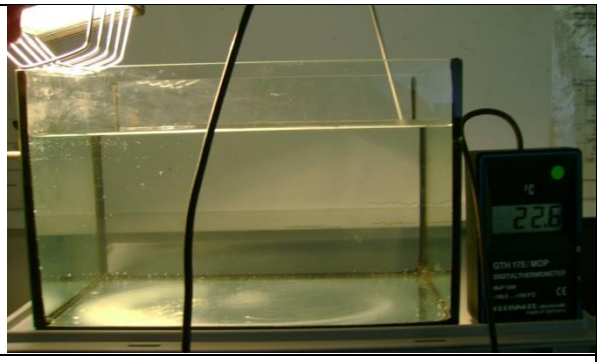
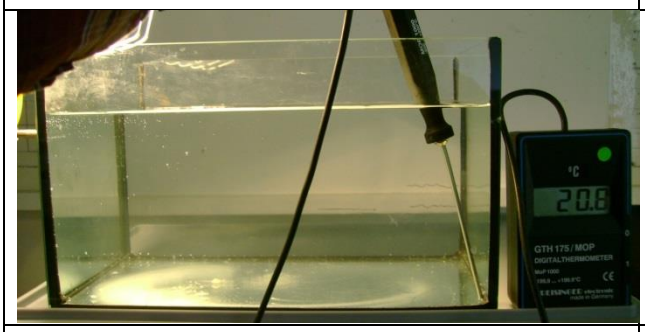
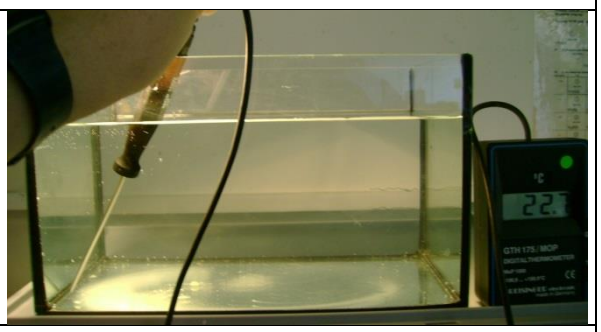
- Lässt sich auf dem Bild erkennen, ob das Wasser in beiden Gefäßen die gleiche Temperatur hat?

►Lehrer-Info:
Das rechte Gefäß enthält heißes Wasser und ist offensichtlich "leichter".
Beide Gefäße enthalten das gleiche Volumen Wasser.
Die sehr wahrscheinliche Vermutung vieler Schüler, dass das rechte Gefäß bei Abkühlung schwerer werden wird lässt sich mit etwas Geduld leicht überprüfen:
Der Gewichtsunterschied bleibt erhalten.
Woran liegt das? Aufmerksamen Beobachtern wird nicht entgehen, dass der Wasserstand im "leichten" Gefäß geringfügig abgesunken ist.
Das könnte zur Hypothese einer Volumenabnahme des Wassers bei fallender Temperatur führen.
Daraus ließe sich folgern, dass zu Beginn des Versuchs nur scheinbar gleich viel Wasser in den Behältern war. Bei gleichem Anfangs-Volumen wären folglich die Masse (und damit das Gewicht) des heißen Wassers geringer.

Kann man die Temperaturverteilung im Atlantik simulieren?

Mit einem Digitalthermometer lassen sich die Temperaturen an der Oberfläche und am Grund der "Tropen-" und der "Polarregionen" messen. Um gute Ergebnisse zu erzielen sollte die "Sonne" eine Zeit lang auf die "tropische" Meeresoberfläche geschienen haben.

- Bei den Messungen sollte das Wasser so wenig verwirbelt werden wie möglich!
- Wo ist Messfühler am empfindlichsten? Mache die Fingerprobe!
- Gibt es andere und bessere Messmöglichkeiten?
- Ist eine Thermokamera geeignet, mögliche Temperaturschichten darzustellen?
- Warmes Wasser hat ein größeres Volumen als kaltes. Hat das hier eine Auswirkung auf den "Meeresspiegel"?
- Welche Möglichkeiten gäbe es, die Temperaturunterschiede noch zu steigern?

	
Oberflächentemperatur "Tropen"	Oberflächentemperatur "Pol"
	
Tiefentemperatur "Pol"	Tiefentemperatur "Tropen"

►Lehrer-Info:
Der Messfühler ist an der Spitze am empfindlichsten (Fingerprobe!)
Unter der "Sonne" erreicht die Oberflächentemperatur ihr Minimum, am Grunde der "Tropen" ist sie am geringsten. Hier kommt es also zur größten Temperaturdifferenz. Die Oberfläche der "Polarregion" ist deutlich kälter (schräg einfallende "Sonne"), durch Wärmetransport allerdings immer noch wärmer als der Grund des "Meeres".
Eine Thermokamera kann die Schichtung recht gut darstellen, objektive Werte zu erhalten ist bei spiegelnden Flächen (Glas) allerdings problematisch.
Ein Zusatz dunkler Pigmente erhöht die Absorption und verringert die Eindringtiefe des Lichts. Das steigert die Wärmeentwicklung an der Oberfläche.

Trennt sich warmes von kaltem Wasser?

Wir haben eine Milchflasche langsam bis zum Überlaufen mit kochendem Wasser gefüllt und mit einem Schraubdeckel verschlossen. Anfangs ist das Wasser überall heiß. Man kann die Flasche nicht anfassen.

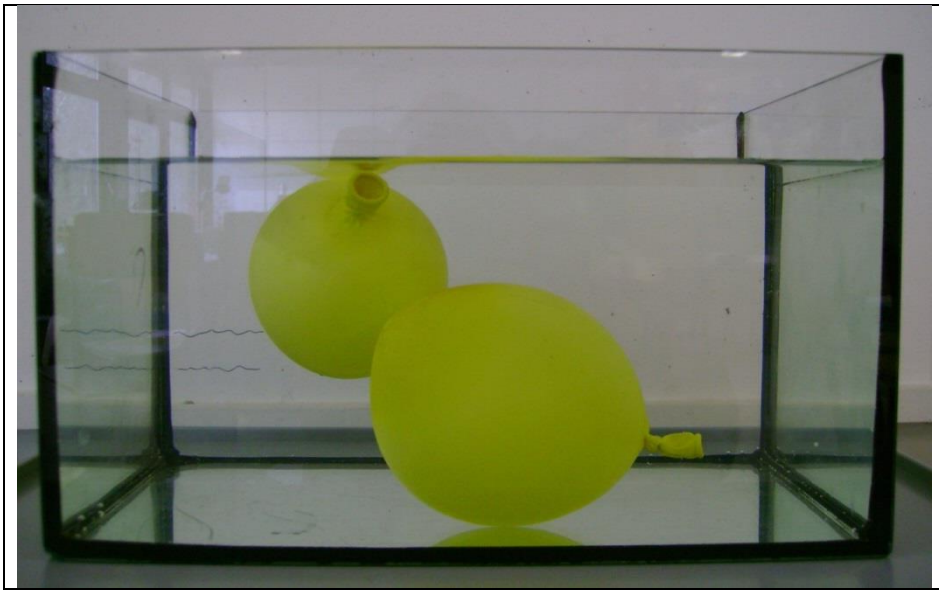
- Stellt sich eine Temperaturschichtung ein? Kann man sie fühlen?

►Lehrer-Info:
Die sich nach einiger Zeit einstellende Temperaturschichtung lässt sich gut erkennen. Der Flaschenhals bleibt noch lange heiß während der Boden deutlich auskühlt. Die Schichtung wird auf längere Zeit durch Durchmischung und Wärmeaustausch mit der Umgebung aufgehoben.
Ein interessanter Nebeneffekt: Das Wasser im Flaschenhals beginnt nach einiger Zeit sprudelnd zu kochen und die Blasenbildung hält an obwohl die Temperatur fühlbar weit unter den normalen Siedepunkt gefallen ist. Bekannt ist, dass Wasser auf hohen Bergen auf Grund des dort geringeren Luftdrucks schon weit unter 100°C kocht.
Die Erklärung unseres Phänomens: Wasser dehnt sich bei Erwärmung aus. Bei Abkühlung schrumpft das Volumen. Da die Flasche hermetisch geschlossen ist, sinkt der Wasserspiegel ohne dass er durch Luft ersetzt werden kann. Das sich bildende Vakuum setzt den aus der Flüssigkeit austretenden Wassermolekülen keinen Widerstand entgegen. Dadurch sinkt der Siedepunkt bis auf etwa 40°C.

Wie verhält sich salziges und weniger salziges Wasser in "normalem" oder salzigem Wasser?

Man kann zwei "Wasserbomben" mit salzigem bzw. mit weniger salzigem Wasser füllen und in "normaltemperiertes" (raumwarmes) Salz- oder Süßwasser gleiten lassen.

- Was ist dabei zu beobachten?
- Ist das Verhalten der Ballons von ihrer Größe abhängig?
- Was geschieht wenn man Leitungswasser bzw. Salzwasser hinzugibt?
- Was geschieht, wenn man kaltes bzw. warmes Wasser hinzugibt?

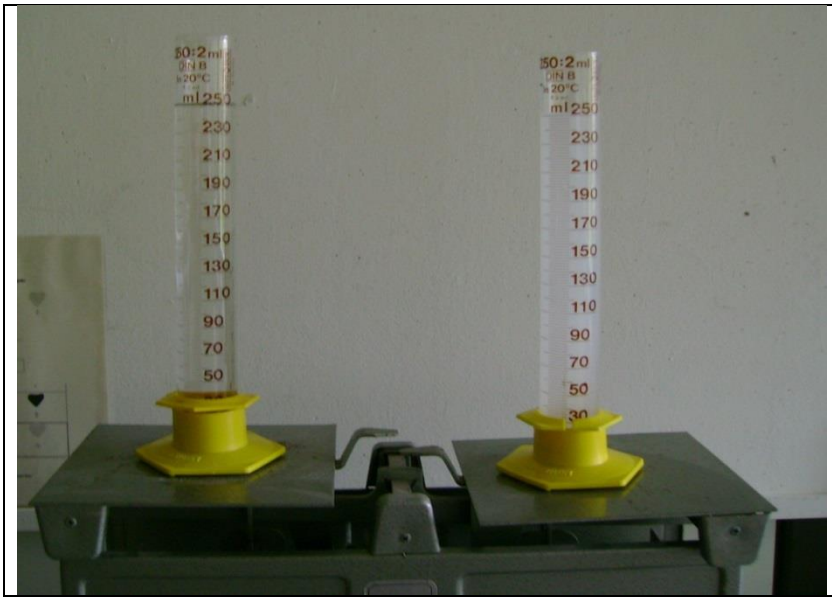
	• Lässt sich hier erkennen, welchen Salzgehalt das Wasser im Aquarium hat?

►Lehrer-Info:
Der rechte Ballon ist schwerer als der linke, dessen Inhalt die gleiche Dichte hat wie das umgebende Wasser und daher schwebt. Zu den Salzkonzentrationen lassen sich nur relative Angaben machen.

- Wurde das Becken mit Leitungswasser gefüllt , enthält der rechte Ballon Salzwasser, der linke Leitungswasser
- Wurde das Becken mit Salzwasser gefüllt ist die Salzkonzentration im rechten Ballon höher, im linken schwebenden Ballon entspricht sie der Salzkonzentration der Umgebung. Ein mit Leitungswasser gefüllter Ballon würde, da leichter als die Umgebung, aus der Wasseroberfläche herausragen.

Was "wiegt" Süßwasser und Salzwasser?

- Vergleiche mit Messzylindern und einer Tafelwaage gleiche Volumina von Leitungs- und "Meerwasser"
- "Meerwasser" kann im Messzylinder hergestellt werden.
- Meerwasser enthält etwa 3,5% Salz. Wie viel Salz muss Leitungswasser gelöst werden?
- Eine Pipette kann helfen das Wasservolumen exakt einzustellen.
- Ist zu erkennen, welches Gefäß Salzwasser enthält?
- Was wird geschehen, wenn das Wasser nach einigen Wochen vollständig verdunstet ist?

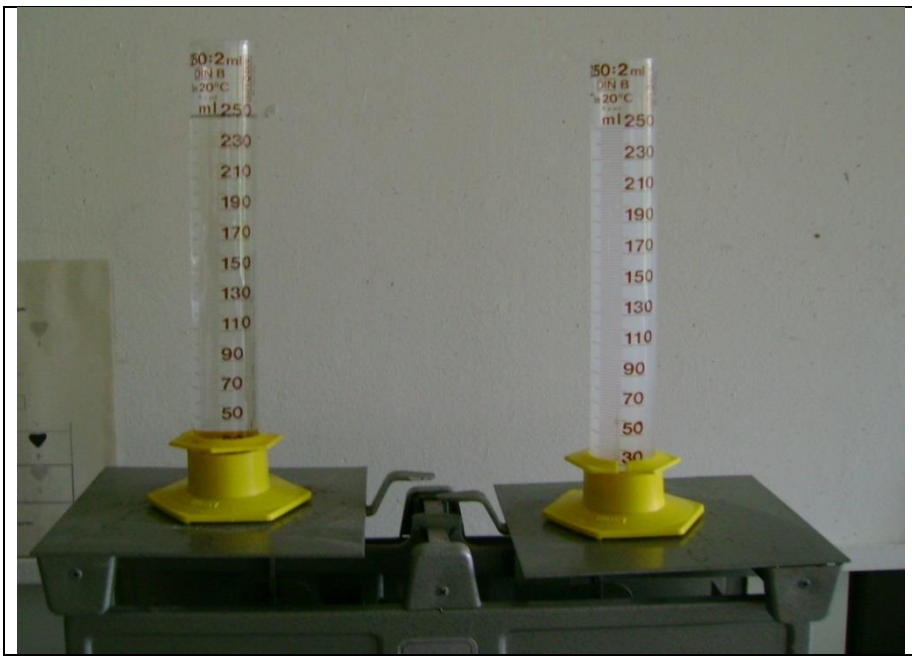


►Lehrer-Info:
Eine häufige von Schülern geäußerte Ansicht ist, dass Salzwasser leichter sei als Süßwasser.
Zur Begründung wird gerne angeführt, dass man im Salzwasser schwimmend leichter sei ("Totes Meer"-Effekt). Oft wird auch gesagt, Salz sei leichter als Wasser und damit müsse Salzwasser auch weniger wiegen als Süßwasser.
Dieses Experiment (und das folgende) zeigen, dass dem nicht so ist.
Salz besteht überwiegend aus Natriumchlorid. Im Wasser löst sich das Salz und wird dabei unsichtbar. Beim Auflösen dissoziiert das NaCl-Molekül zu Na+ und Cl- -Ionen. Beide, Na wie Cl sind mit Atommassen von 23 bzw. 35 deutlich massereicher ("schwerer") als die Bestandteile des Wassers. Außerdem bilden sich das Volumen reduzierende Hydrathüllen um die elektrisch geladenen Ionen: Die Wassermoleküle liegen im Umfeld der Ionen deutlich enger beieinander und nehmen dadurch weniger Platz ein.

Welche Volumina haben Süßwasser und Salzwasser?

Könnte es sein, dass der Meeresspiegel bei hohem Salzgehalt höher liegt als bei niedrigem?
Könnte es sein, dass das Meer im Ursprungsgebiet des Golfstroms durch hohen Salzgehalt einen größeren Raumbedarf hat und der Meeresspiegel daher höher liegt?
Wäre das eine Erklärung für den Antrieb des Golfstroms?

- Gib ein bestimmtes Volumen feinen Sand (z.B. 10 cm^3) zu einem bestimmten Volumen Wasser (z.B. 240 ml).
- Fällt das Ergebnis so aus wie du es erwartet hattest?
- Was geschieht, wenn man statt Sand Salz ins Wasser gibt?



►Lehrer-Info:
10 cm^3 Kochsalz und 100 ml Wasser ergeben deutlich weniger als 110 ml Wasser!

- 100 cm^3 (100 ml) Wasser hat bei einer Dichte von 1 g/cm^3 eine Masse von 100g.
  Das lässt sich durch Wiegen nachprüfen. 10 cm^3 Kochsalz (Natriumchlorid) wiegen etwa 22g. (Dichte 2,16 g/cm^3) und damit mehr als doppelt so viel wie das gleiche Volumen Wasser.
- Die vereinigte Gesamtmasse von 122 g führt im Experiment nur zu einem Salzwasservolumen von 102 cm^3 und einer Dichte (Masse/Volumen) von etwa 1,2 g/cm^3.

Die Hypothese, dass das Meer im Ursprungsgebiet des Golfstroms durch hohen Salzgehalt einen größeren Raumbedarf hat und der Meeresspiegel daher höher liegen müsse ist damit wiederlegt.

Was geschieht, wenn salziges Meerwasser erwärmt wird?

Bei diesem Experiment wird "Meerwasser" zu gleichen Teilen (Messzylinder) auf zwei Becher mit großer Öffnung verteilt.
Dann füllen wir je zwei identische Probengläser mit "Meerwasser" und zwei mit Leitungswasser, verschließen sie luftfrei und etikettieren sie.
Jeder Becher erhält ein Probenglas mit "Meer-" bzw. Leitungswasser.
Der eine Becher wird langsam und vorsichtig im Wasserbad erwärmt (Temperaturkontrolle) oder in die Sonne gestellt.

- Verhalten sich die Probengläser gleich oder unterschiedlich?
- Schwimmen sie oder sinken sie zu Boden?
- Was geschieht im erwärmten bzw. im kalten Becher?
- Was geschieht, wenn das Wasser in den Bechern verdunstet?

►Lehrer-Info:

Die Probengläser zeigen je nach Salzgehalt und Salzkonzentration bzw. Temperatur der Umgebung unterschiedliches Verhalten:

- " Meerwasser " in " Meerwasser " schwebt
- "Meerwasser" in Leitungswasser sinkt zu Boden
- Leitungswasser in" Meerwasser" steigt auf
- Leitungswasser in Leitungswasser schwebt

Bei Erwärmung des einen Bechers tritt folgendes ein:

- Ein Teil des erwärmten Wassers verdunstet und lässt das Salz dabei zurück. Dadurch erhöht sich die Dichte des "Meerwassers" im Becher und übersteigt bald die Dichte im Probenglas. Dann steigt auch das Probenglas mit dem "Meerwasser" auf

Was "wiegt" kaltes und warmes Süß- bzw. Meerwasser?

Vier Messzylinder werden bis zur 250ml-Marke mit kaltem bzw. heißen Leitungswasser- bzw. "Meerwasser" gefüllt und gewogen.

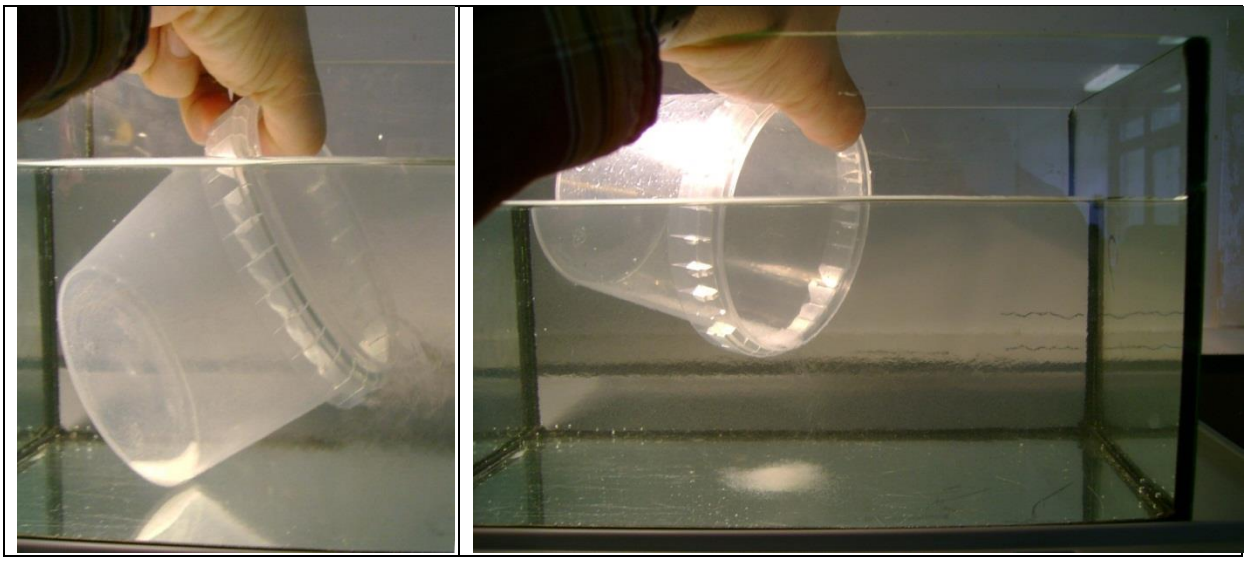
- Welches Wasser ist am leichtesten? Welches am schwersten?
- In welcher Weise können diese Eigenschaften den "Motor" für eine Meeresströmung bilden?

BILD	• Text

▶ Lehrer-Info:
Warmes Leitungswasser ist - bei gleichem Volumen - leichter als kaltes. Der Grund: Die größere thermische Energie steigert die Bewegung der Moleküle die infolgedessen einen größeren Raum in Anspruch nehmen. In gleichen Volumina heißen bzw. kalten Wassers befinden sich damit mehr bzw. weniger Moleküle. Damit ist die Masse und Dichte des heißen Wassers geringer.
"Meerwasser" ist aufgrund des zugefügten Salzes schwerer als warmes oder kaltes Leitungswasser. Am schwersten in der Reihe ist kaltes "Meerwasser" dass infolgedessen auch am leichtesten in die Tiefe sinkt.

Wie verhält sich in Süßwasser gefülltes Salzwasser?

Wir haben Salzwasser in einen Kunststoffbecher gegeben und dieses ganz langsam in ein mit Leitungswasser ("Süßwasser") gefülltes Glasbecken gegeben. Dabei bilden sich kräftige Schlieren die zu Boden sinken und dort eine Schicht bilden.



- Was ist dabei zu beobachten?
- Kann man das Salzwasser durch Erwärmung des Wassers in einen Kreislauf versetzen?
- Kann man den unterschiedlichen Salzgehalt auch schmecken? Vorschlag: Mit einem Trinkhalm Proben aus verschiedenen Tiefen ziehen.
- Man kann den Salzgehalt indirekt auch messen. Die elektrische Leitfähigkeit steigt mit zunehmendem Salzgehalt. Werden zwei Messstifte eines Multimeters z.B. mit Klebeband so verbunden dass sich ihr Abstand nicht ändern kann gibt der Ohmsche Widerstand zwischen den Kontakten einen Hinweis auf die Salzkonzentration

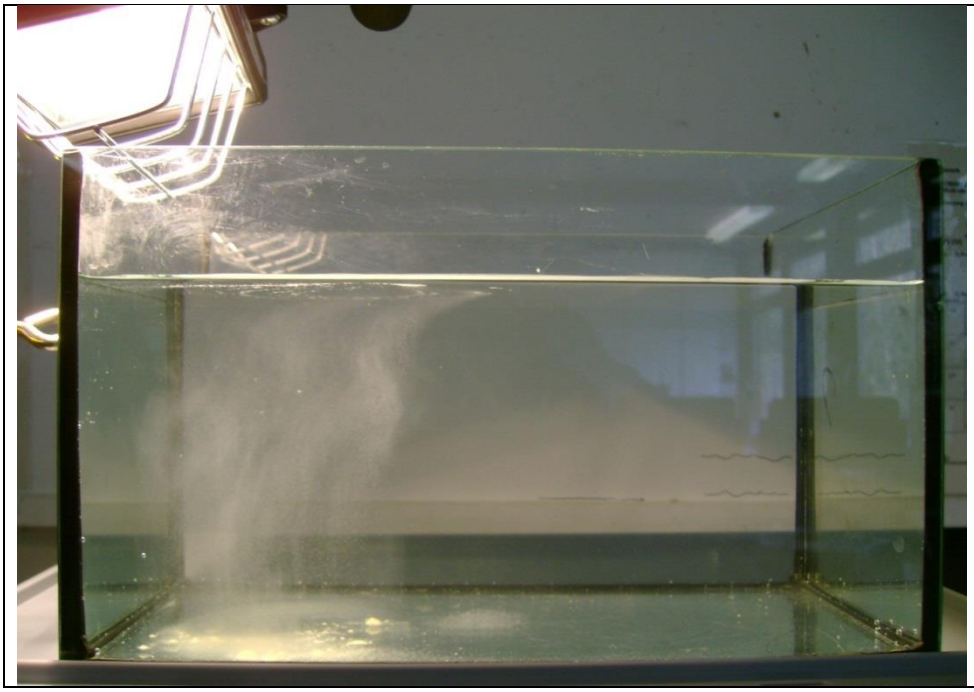
.

►Lehrer-Info:
Die Schlieren kommen dadurch zu Stande, dass das Licht beim Übergang von optisch dünneren zu optisch dichteren Medien (bzw. umgekehrt) gebrochen wird. Die Grenzen zwischen dem dichteren Salzwasser und dem Süßwasser sind noch lange in Bewegung. Die Schlieren scheinen zu fließen. Deutlich zu sehen ist, dass das Salzwasser am Boden bleibt, selbst wenn es beim Einleiten unter Wasser an den Beckenrändern hochschwappt.
Die Schüler werden möglicherweise vorschlagen das Salzwasser anzufärben.
Welcher Farbstoff ist dafür geeignet? Geht er mit dem Salz eine wie auch immer geeignete Verbindung ein oder entmischen sich Salz und Farbstoff aufgrund möglicher unterschiedlicher Dichten? Hier eröffnet sich ein breites Experimentier- und Erkenntnisfeld…

Kann man den Golfstrom im Aquarium simulieren?

Bei diesem Experiment wird zunächst - wie im vorigen Versuch - Leitungswasser mit "Meerwasser" unterschichtet. Dann wird das Becken einseitig bestrahlt und eine Messerspitze feines und trockenes Gesteinsmehl (Bentonit) auf die Oberfläche gestreut.

- Was lässt sich beobachten?
- Welche Bewegungen lässt das Gesteinsmehl erkennen?
- Worauf muss man bei der Auswahl und Vorbereitung eines zur Simulation geeigneten Stoffes achten? Hätte man nicht auch Tinte nehmen können?



- An welche Grenzen stößt diese "Simulation" und warum?

►Lehrer-Info:
Hier wurde zunächst nach obigem Muster Salzwasser in Süßwasser gegeben und dann ein seitlich aufgestellter Scheinwerfer eingeschaltet. Dieser simuliert die "Tropen". Dann gaben wir eine Messerspitze sehr feines, fast staubartiges Gesteinsmehl (Bentonit) auf die tropische Wasseroberfläche. Die feinsten Partikel bilden eine langsam von der Leuchte wegwandernde Schicht auf der Wasseroberfläche. Die gröbere Fraktion des Bentonits sinkt ab, im oberen Bereich schnell, im unteren Bereich langsamer. Nach längerer Zeit bildet sich ein "Bauch" von Teilchen, die oberhalb einer bestimmten Höhe, wahrscheinlich der Grenze zwischen Salz- und Süßwasser schweben.
Kurz unter der Oberfläche zieht schon kurz nach dem Einschalten des Strahlers eine Wolke Bentonit "polwärts".

Gibt es einen Stoff, der die Wasserzirkulation im Becken sichtbar machen kann?

Ein Stoff, den man zur Simulation der Wasserzirkulation in einem Becken einsetzen könnte müsste folgende Eigenschaften haben

- Sich farblich gut vom Wasser abzusetzen
- Sich nicht mit Wasser mischen
- Das gleiche spezifische Gewicht und die gleiche Wärmekapazität wie Wasser haben

BILD	Text

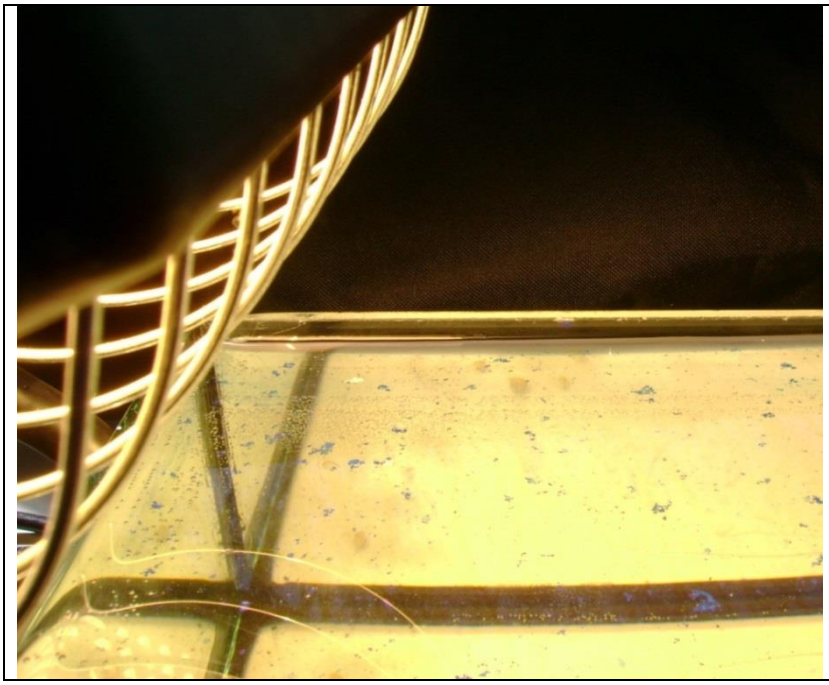
►Lehrer-Info:
Salz löst sich in Wasser und bildet farblose Ionen. Färbt man Salz werden die Farbstoffe bei der Dissoziation abgetrennt.
Die Farbstoffe selbst haben ein höheres spezifisches Gewicht und sinken auf den Grund.

Fette und Öle sind spezifisch leichter als Wasser und schwimmen daher auf. Versetzt man sie allerdings mit fettlöslichen und wasserunlöslichen (hydrophoben) Pigmenten bleibt diese Verbindung auch erhalten, wenn man sie dem Wasser hinzugibt.
Das Problem besteht darin, einen lipophilen Farbstoff mit einem spezifischen Gewicht zu finden, der das zu geringe spezifische Gewicht des Trägers kompensiert.
Rapsöl hat eine Dichte von 0,92g/cm3 und ist damit leichter als Wasser. Die Dichte von Indigo ist 1,2g/cm3, damit ist es schwerer als Wasser. Indigo hat eine hydrophilen Gruppen am Molekül und ist damit hydrophob (wasserabstoßend) und lipophil (fettlöslich).
Damit lassen sich - ein bestimmtes Öl/Indigo-Mischungsverhältnis vorausgesetzt, kleine dunkelviolette Öltropfen erzeugen die im Wasser schweben.

Was geschieht an der von der "Sonne" erwärmten Wasseroberfläche?

Bei diesem Experiment wird das Becken nach obigem Muster mit Leitungs- und "Meerwasser" gefüllt. Unter dem an der Schmalseite des Beckens aufgestellten Scheinwerfer steigt Wasserdampf auf. Zu sehen sind allerdings nur "Wolken" von bereits wieder kondensierten Wassertröpfchen.

- Wohin ziehen diese "Wolken"? Wo "regnen" sie sich ab?
- Welche Folgen hat die Verdunstung für den Salzgehalt des Wassers?
- In welcher Weise könnte die Verdunstung eine Rolle beim Zustandekommen einer "Meeresströmung" spielen?
- Auf welche Weise könnte man den Salzgehalt und seine Veränderung messen?
- Erklärt das Experiment den hohen Salzgehalt in der Karibik und die geringe Salzkonzentration im östlichen Pazifik?



►Lehrer-Info:
In einem geschlossenen Gefäß würden sich die "Wolken" in kühlerer Umgebung "abregnen" und dem System das verdunstete Wasser wieder zuführen. Hier schlägt es sich irgendwo im Raum und nur in sehr geringem Maß über dem Aquarium nieder. Das führt im Laufe der Zeit zum Absinken des Wasserspiegels.
Den bei der Verdunstung steigende Salzkonzentration könnte man durch vorsichtige Beprobung mit einer Pipette oder durch Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit zeigen.
Salzreiches Oberflächenwasser sinkt bei Abkühlung in kalten Zonen ab und bildet den "Motor" des thermohalinen Kreislaufs.
Im Ursprungsgebiet des Golfstroms verdunstet viel Oberflächenwasser. Der Wasserdampf und die sich daraus bildenden Wolken werden mit der dort westwärts gerichteten Passatströmung in Richtung Pazifik verfrachtet wo sie sich in kühlerer Atmosphäre in einem langen äquatornahen Streifen abregnen. Das führt zu einer negativen Bilanz an Wasser und steigendem Salzgehalt im karibisch-nordwestatlantischen Raum.

Wie verändert sich der Salzgehalt wenn Meerwasser verdunstet und an anderer Stelle abregnet?

Auf den Boden eines Glasbeckens werden zwei Untertassen gestellt. In die eine wird warmes "Meerwasser" gegeben, die andere bleibt leer. Das Glasbecken wird mit Klarsichtfolie überzogen und mit einem Strahler so beleuchtet, dass die "Sonne" über dem "Meerwasser" steht. Ein auf die Folie über die leere Untertasse gelegter Eiswürfel sorgt für die Kondensation des verdunstenden "Meerwassers".

Wenn sich genügend "Niederschlag" angesammelt hat kann der Salzgehalt des "Meerwassers" und des "Regens" untersucht werden.

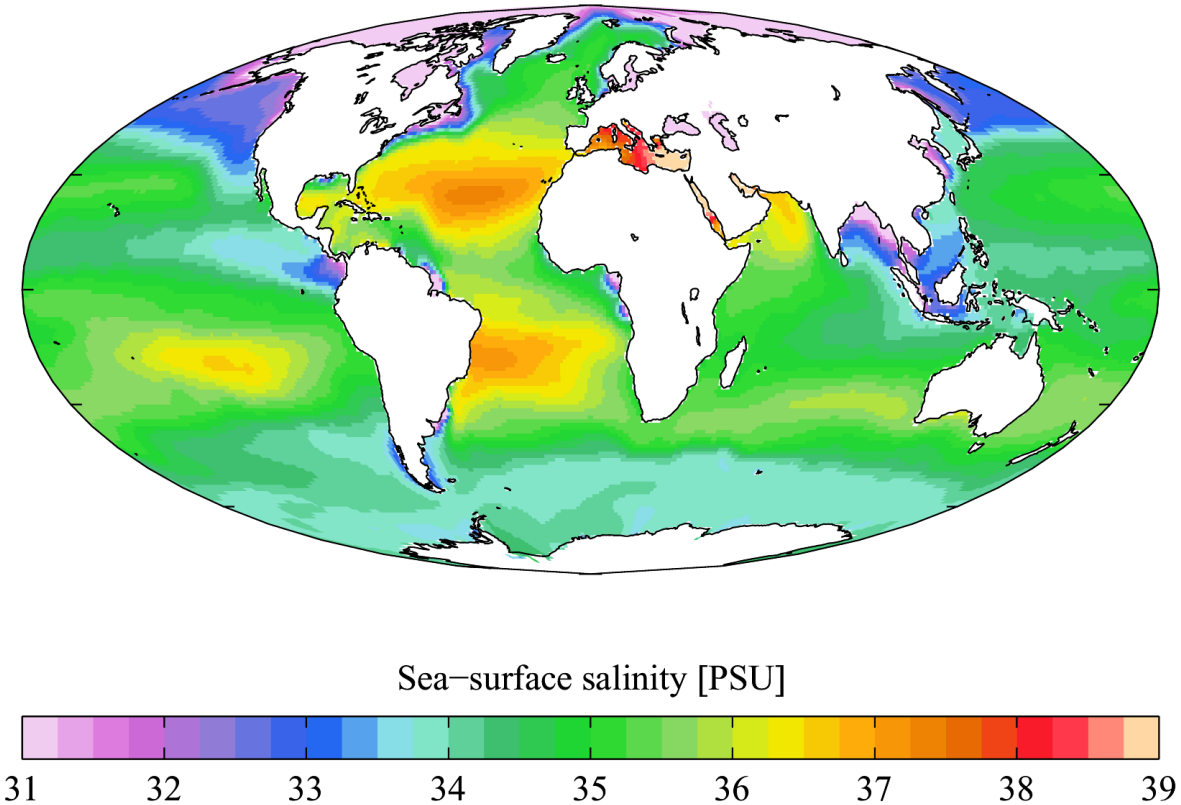
- Gelingt es, mit dieser Anordnung "Regen" zu erzeugen?
- Kann man den Versuch noch verbessern?
- Ist die Position des Eiswürfels optimal?
- Lässt sich der Salzgehalt in beiden Gefäßen messen?
- Erklärt das Experiment den hohen Salzgehalt in der Karibik und die geringe Salzkonzentration im östlichen Pazifik?

- Wo ist der Atlantik, wo der Pazifik?

►Lehrer-Info:
Im durch die Folie abgeschlossenen, einseitig bestrahlten Becken entsteht ein Treibhausklima das einen Teil des "Meerwassers" verdunsten lässt. Sein Salzgehalt steigt, was man durch eine Leitfähigkeitsmessung vor- und nachher überprüfen kann. Der aufsteigende Wasserdampf kondensiert unter dem Eiswürfel der eine optimale Position hat, weil er die Folie dort eindellt wo eine "Tropfnase" notwendig ist. Das "Regenwasser" sollte im Idealfall frei von Salz sein.
Verbessern kann man den Prozess in dem man statt der Untertassen Petrischalen verwendet und - temperatursteigernd - schwarze Pappe unter die bestrahlte Seite schiebt.

Wie hoch ist der Salzgehalt in den Ozeanen?

- Die Karte zeigt den Salzgehalt der Ozeanoberflächen in PSU (= %)
- Es gibt Regionen mit hohem und Regionen mit niedrigerem Salzgehalt
- Warum ist das so? Notiere mögliche Gründe!



Quelle: Wikipedia

►Lehrer-Info:
Der Salzgehalt der Ozeane und angrenzender Nebenmeere erreicht im Mittelmeer Werte um 3,8% und fällt im Nordpazifik auf Werte um 3,2% ab.
In Bezug auf den Golfstrom sei auf die hohen Werte im mittleren Nordatlantik und auf damit gekoppelte tiefe Werte im äquatornahen Bereich vor der südamerikanischen Küste hingewiesen.
Im Atlantik fallen zwei Regionen mit auch im globalen Vergleich hohen Werten auf.
Dabei zeigt der Südatlantik zwischen Südafrika und Südamerika eine von Ost nach West ansteigende Konzentration von 35 auf 37 ‰ (PSU). Diese ist der auf der Südhalbkugel vorwiegend von SO nach NW wehenden Passatwinde geschuldet. In dieser subtropischen, durch wolkenarme Hochdruckgürtel bestimmten Zone verdunstet viel Wasser. Damit steigt der Salzgehalt fortschreitend mit dem in westliche Richtungen bewegten Oberflächenwasser. Ein ähnlicher Effekt, wenngleich schwächer, tritt im Südpazifik auf.
In äquatornahen Bereichen (Innertropische Konvergenz ITC) senkt der Niederschlag den Salzgehalt.
Im subtropischen Nordatlantik gilt entsprechendes. Hier erhöht der hohe Salzgehalt des Mittelmeeres die Werte im östlichen Teil.
Das Mittelmeer ist ein, nur durch die Straße von Gibraltar mit dem Atlantik verbundenes Nebenmeer. Das sonnenreiche, warme und niederschlagsarme mediterrane Klima lässt viel Wasser verdunsten und führt zu sehr hohen Salzgehalten. Hinzuweisen ist darauf, dass in der schmalen

Meerenge oberflächennah salzärmeres "leichtes" einströmt und salzreiches "schweres" Tiefenwasser in den Atlantik herausströmt.
Das aus polaren Breiten nach Süden in den Nordatlantik strömende, schmelzende Eisberge führende kalte Wasser des Labradorstromes senkt den Salzgehalt entlang der amerikanischen Nordostküste.
Dem hohen Salzgehalt im karibischen und westatlantischen Raum stehen auffällig niedrige Werte westlich der mittelamerikanischen Landbrücke auf. Ein wesentlicher Grund dafür ist die hohe, aus dem karibischen Raum gespeisten und durch die Passatwinde verfrachteten feuchten Luftmassen. Sie regnen sich ab und senken den Salzgehalt.
Auffällig ist, dass der Salzgehalt im Nordatlantik deutlich höher ist als im Nordpazifik der in seinen mittleren Breiten schon geringere Werte aufweist.
Auch im südostasiatischen Raum finden sich geringe Werte, hier unter anderem bedingt durch hohe monsunale Niederschläge.

Wie stark dehnt sich Wasser durch Erwärmung aus?

Könnte die thermische Ausdehnung des Wassers der Grund dafür sein, dass der Meeresspiegel in der Karibik höher liegt als im Nordatlantik?
Eine mit Wasser gefüllte Flasche, eine mit einem Stopfen auf die Flasche gesetzte Messpipette und ein Thermometer mit Drahtfühler können die Frage beantworten, wie stark sich Wasser bei Erwärmung ausdehnt.
Der Inhalt der Flasche wird im Wasserbad erwärmt.

- Warum sollte der Flascheninhalt mit dem Messzylinder nachgemessen werden?
- Ist die prozentuale Ausdehnung bei allen Temperaturen gleich?
- Wie weit könnte sich das Meer bei Erwärmung ausdehnen?
- Überlege, wie tief sich das Meer durch Sonneneinstrahlung erwärmt.

- Warum ist es wichtig, dass keine Luft in der Flasche, im Stopfen und in der Messpipette verbleibt?
- Ist es denkbar, dass "Meerwasser" sich mehr oder weniger ausdehnt als Leitungswasser?

►Lehrer-Info:
Wir haben gute Resultate mit einer 0,5 Liter Coca-Cola-Flasche und einer 10ml Messpipette mit 0,1 ml Auflösung erzielt.
Im Bereich von 15° - 30°C lag die gemessene Volumenzunahme pro Grad Celsius zwischen 0,1ml im unteren und 0,2ml im oberen Temperaturbereich.
0,1ml bzw. 0,2 ml Volumenzunahme pro Grad Celsius sind, bezogen auf in diesem Fall 540ml Flüssigkeitsvolumen 0,019 bzw. 0,037%. Das stimmt größenordnungsmäßig recht gut mit den tatsächlichen Werten überein (0,014 bzw. 0,030%)
Mehr dazu in unserer Arbeitshilfe 19.70 "Wenn sich die Ozeane ausdehnen".

Warum enthalten Heizkörper eigentlich Wasser und keine Luft?
Wie viel Wärme kann Wasser transportieren?
Kann Salzwasser mehr Wärme transportieren als Süßwasser?

Gleiche Volumina Luft und Wasser erwärmen sich unterschiedlich:
Sie geben die Wärme auch unterschiedlich schnell ab.

- Luft erwärmt sich schnell, Wasser dagegen langsam
- Luft kühlt dagegen schnell, Wasser nur langsam aus.
- Das macht Wasser zu einem hervorragenden Wärmespeicher.

Versucht, euch auf der Basis folgender Informationen Experimente auszudenken, die diese Zusammenhänge gut verständlich macht.

Material:

- Thermosflasche
- Heißes Wasser
- Digitalthermometer mit Drahtfühler

- **Stellt die Versuche in den Kontext des Themas "Golfstrom"!**
- **Welche Alltagserfahrungen passen dazu?**

Vergleich der Wärmeeigenschaften von Luft und Wasser:

	Dichte (ρ) = kg/m^3)	Spezifische Wärmekapazität (c)= J/kg*K)	Wärmekapazitätsdichte (ξ) = J/m^3*K	
Luft	1,293	1005	1300	
Wasser	1000	4196	4200000	

- Um 1 Kubikmeter Luft um 1°C (entsprechend 1 K) zu erwärmen müssen ihm 1300 Joule Energie zugeführt werden.
- Um 1 Kubikmeter Wasser um 1°C (entsprechend 1 K) zu erwärmen müssen ihm 4200000 Joule Energie zugeführt werden.

►Lehrer-Info:
Wasser hat mit *c* = 4,196J/(g*K) eine erheblich höhere Wärmekapazität als Luft (1,005J/g*K).
Gleiche Volumina vergleicht man mit den Wärmekapazitätsdichten. Diese ist bei Wasser über 3000mal so groß wie bei Luft.
Wasser kann also erheblich mehr Wärme speichern mit der Folge dass die Erwärmung bzw. Abkühlung deutlich langsamer vonstattengehen.

Was geschieht, wenn salziges Meerwasser zu Meereis wird und umgekehrt?

Wissenschaftler warnen davor, dass das Abschmelzen der Polkappen negative Folgen für den Golfstrom haben könnte. Im schlimmsten Fall bräche er ganz ab mit kaum vorstellbaren Folgen für Europa.

Welche Eigenschaften hat Gletscher- bzw. Meereis?

Welche Folgen ergeben sich daraus?

- Wie schmeckt im Kühlschrank aus "Meerwasser" hergestelltes "Meereis"?
- Wodurch unterscheidet es sich von "normalem" Eis?

Gib aus "Meerwasser" hergestelltes Eis in ein Gefäß mit "Meerwasser".

- Welche Folgen sind für den Salzgehalt zu erwarten?
- Lässt sich das z.B. durch eine Leitfähigkeitsmessung nachweisen?

Welche Konsequenzen könnten sich aus dem Abschmelzen für den Golfstrom ergeben?

BILD	Text

►Lehrer-Info:
Meerwasser mit 3,5 % Salzgehalt senkt den Gefrierpunkt auf fast -2°C. Bei der Entstehung von Meereis werden die Ionen (mehrheitlich Natrium und Chlor) nicht in die Kristallstruktur eingebaut, es bilden sich aber kleine "Soletaschen" im Eis. Meereis selbst enthält - geschmacklich kaum merkbar - nur 0,3 - 0,5% Salz. Das Ausfrieren von Meereis erhöht folglich den Salzgehalt des Meerwassers so wie das Abtauen umgekehrt die Salinität verringert.

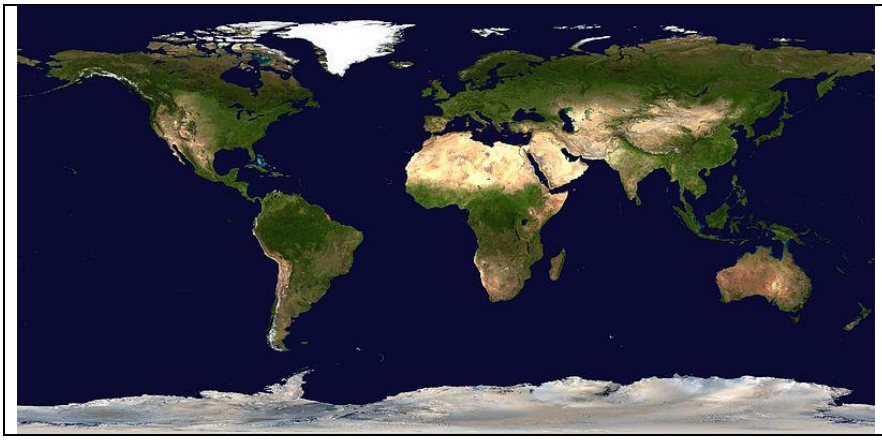
Der Zufluss durch Schmelzwasser, sowohl aus Gletscher- wie aus Meereis hätte eine Aussüßung der Ozeans zur Folge. Die Befürchtung: Wenn sich das Schmelzwasser mit dem durch Verdunstung immer salziger gewordenen Wasers des Golf-/Nordatlantikstrom mischt wird das Produkt leichter und sinkt nicht mehr in der für die Thermohaline Zirkulation typischen Weise ab.
Damit würde der "Motor" des Golfstroms gehemmt oder wegfallen.

Was hat die Verteilung von Meer und Land bzw. die Form der Kontinente mit dem Golfstrom zu tun?

Die Thermohaline Zirkulation im Atlas:

Die Karte "Weltmeere - Wasserzirkulation" (Erde - Klimadynamik) im DIERCKE-Atlas gibt Aufschluss über das "Globale Marine Förderband", bestehend aus warmen oberflächennahen Meeresströmungen, Absinkgebieten und den entsprechenden kalten Rückströmen in der Tiefe.

- Wie funktioniert das System der "Thermohalinen Zirkulation"?
- Warum wird die geographische Lage Europas von Klimatologen als "Glücksfall" bezeichnet?
- Nord- und Südamerika sind nur über eine schmale, erst seit wenigen Millionen Jahren existierende Landbrücke miteinander verbunden. Was wäre, wenn sie sich nicht geschlossen hätte?
- Was wäre, wenn unsere "Welt" nur aus kleinen Inseln bestünde?



- Diese Karte zeigt keine Meeresströmungen.
- Man kann sie aber vielleicht in sie "hineindenken"…

►Lehrer-Info:
Der Golfstrom ist ein geologischer "Glücksfall". Der Atlantik ist (noch) nicht so breit wie der Pazifik. Das führt zu einer relativ frühen Umkehrbewegung des in den Tropen erwärmten ursprünglich von Ost nach West versetzten Wassers.

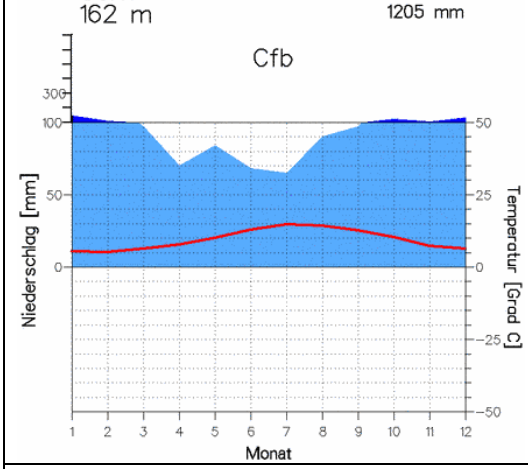
Mögliche Schlussfolgerungen:
Das warme Oberflächenwasser des tropischen Atlantiks wird vom Wind (Passat) in das Karibische Becken getrieben und dort weiter erwärmt.
Durch die Meerenge zwischen Florida und Cuba ("Floridastraße") erreicht es den Atlantik
Durch Verdunstung steigt der Salzgehalt was das im Norden abkühlende Oberflächenwasser zum Absinken in die Tiefe zwingt.

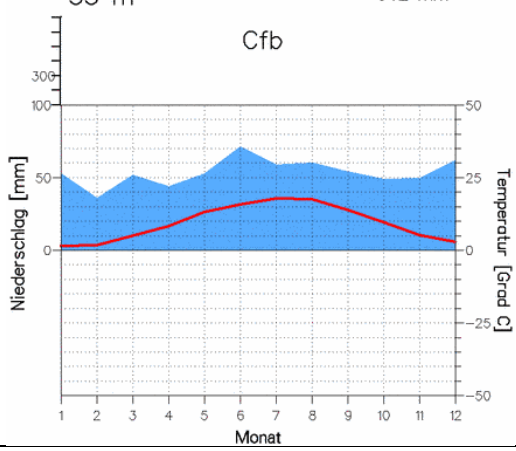
Thermohaline Zirkulation:
Auf der Karte im DIERCKE-Atlas wird deutlich, dass das Oberflächenwasser des Golfstroms/Nordatlantikstroms südwestlich Grönlands bzw. zwischen Ostgrönland und Nordnorwegen in die Tiefe sinkt dort eine unter Umständen weltumspannende Reise antritt. Ein Teil tritt im warmen Indischen Ozean wieder an die Oberfläche, umrundet Südafrika, quert den Südatlantik und wird im Karibischen Raum erneut als "Golfstrom" geboren.

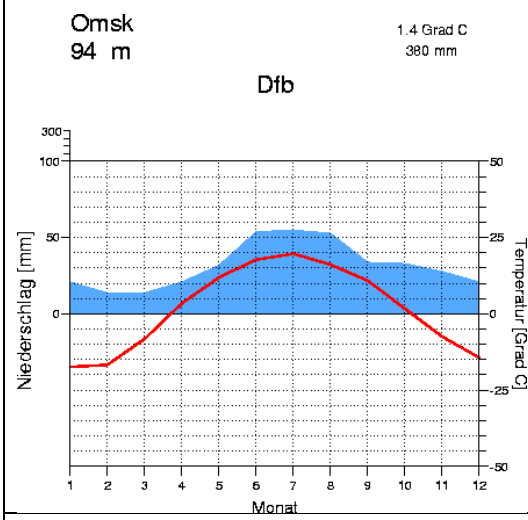
Diese Orte haben alle etwas gemeinsam…

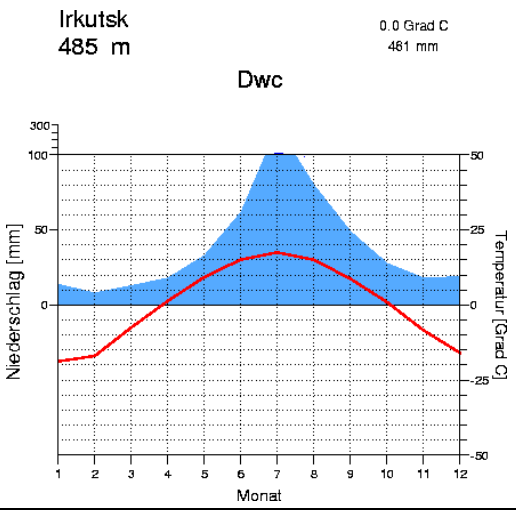
…und unterscheiden sich dennoch!

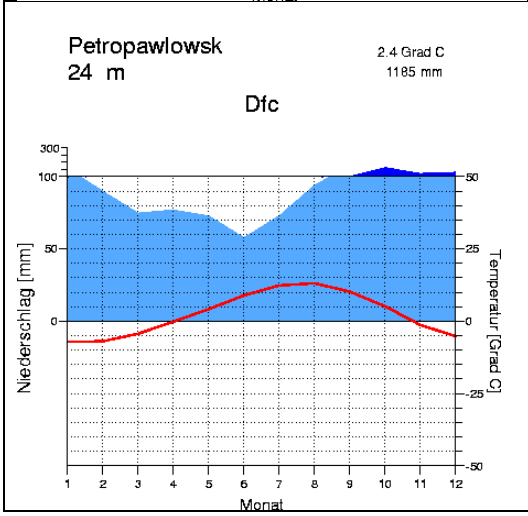
Vergleiche die folgenden Klimadiagramme











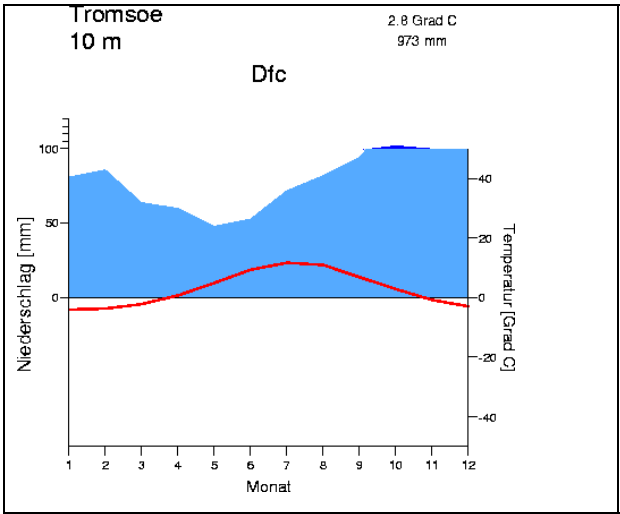
- Nach welchen Gesichtspunkten könnte man die Diagramme ordnen?
- Was haben sie gemeinsam?
- Wie sind die Unterschiede zu erklären?
- Welches ist das für euch angenehmste Klima?

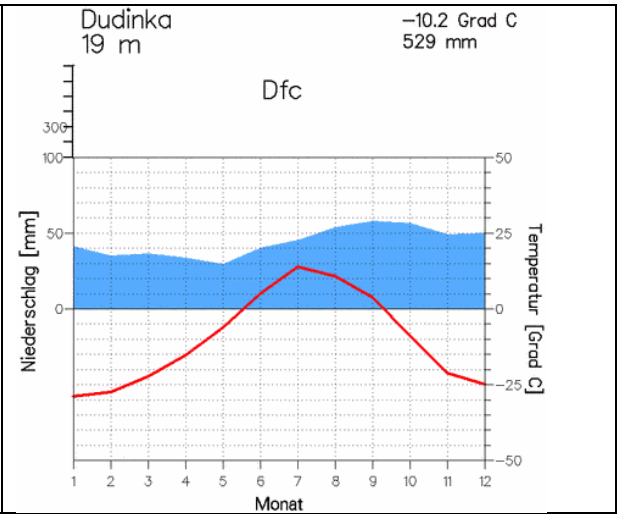
Quelle: www.klimadiagramme.de

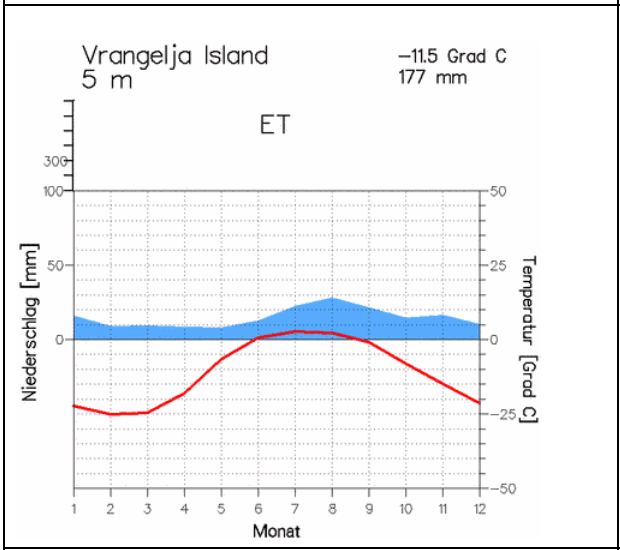
Diese Orte haben alle etwas gemeinsam…

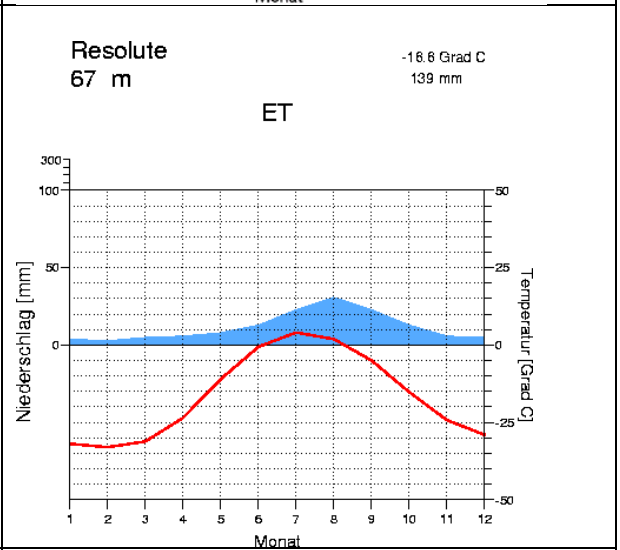
…und unterscheiden sich dennoch!

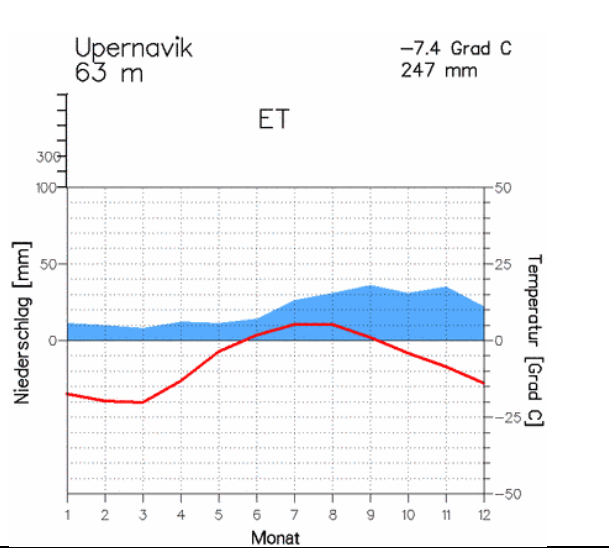
Vergleiche die folgenden Klimadiagramme











- Nach welchen Gesichtspunkten könnte man die Diagramme ordnen?
- Was haben sie gemeinsam?
- Wie sind die Unterschiede zu erklären?
- Welches ist das für euch angenehmste Klima?

Quelle: www.klimadiagramme.de