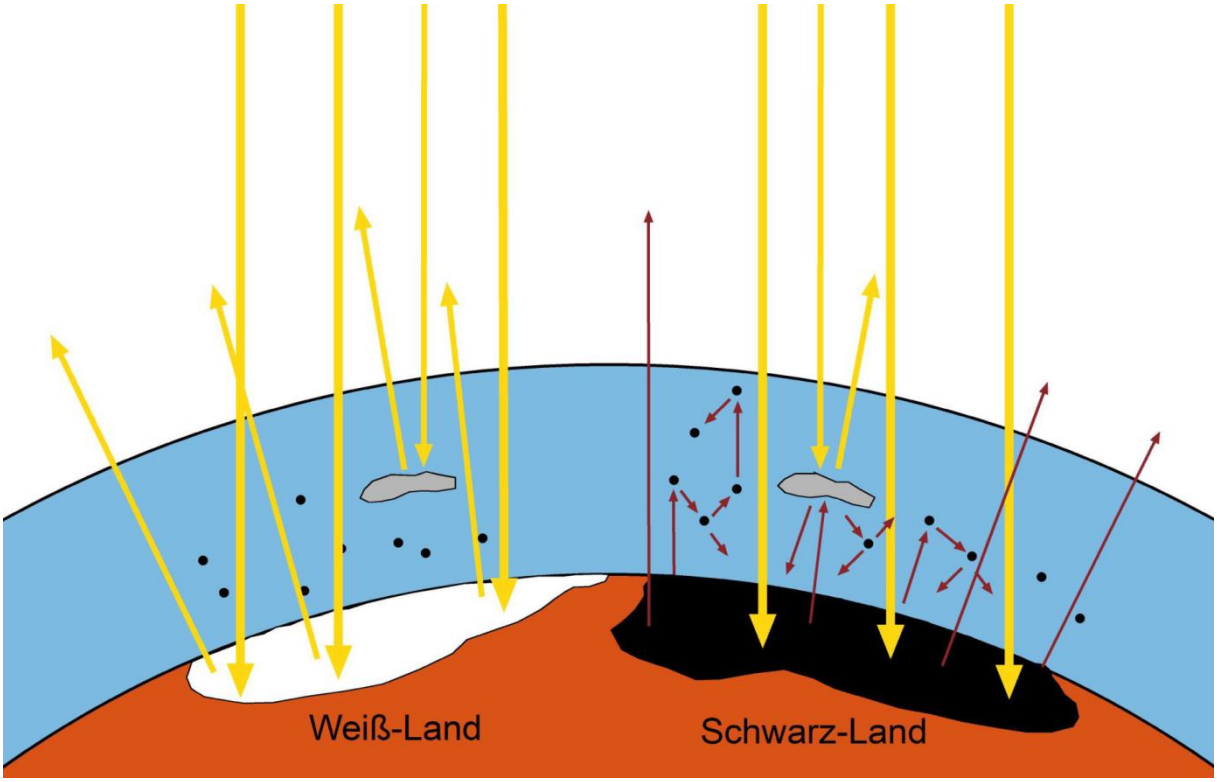
Landeshauptstadt Hannover

Schulbiologiezentrum



19.69

"Dunkle Arktis": Wenn der Nordpol schmilzt…

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

Februar 2014

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover

Titel: "Dunkle Arktis": Wenn der Nordpol schmilzt…
Ein Geographisch-physikalisches Unterrichtsprojekt
zwischen Atlas, Internet und physikalischen Kleinexperimenten

Arbeitshilfe 19.69

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

Wenn das Eis schmilzt: "Dunkle Arktis"	3
Albedo: Schwarz und Weiß	4
Wie hoch steht die Sonne am Nordpol über dem Horizont?	5
Der "Fühlglobus": Jahreszeiten, Tag/Nacht und Polarsommer-/Winter	6
EXCEL-Programm zur Berechnung des Höhenwinkels und des Azimuts	9
Sonnenhöhe und Energie	
Eis isoliert und trennt das Meer von der Luft	
Eis entzieht der Umgebung Wärme	10
Kalorimetrie in der Thermoskanne: Messung der Schmelzwärme von Eis	11
Was geschieht, wenn die polare Eisdecke zerfällt?	
Simulation der "Dunklen Arktis"	12
Meeresspiegelanstieg durch schmelzendes Meereis?	13
Eisbären, Eisschollen und etwas Hydrostatik: Klein Platz mehr für "Knut"?	
Ist der Golfstrom durch schmelzendes Meereis in Gefahr?	14

Wenn das Eis schmilzt: "Dunkle Arktis"

Eisige Kälte und ein halbes Jahr ununterbrochene Helligkeit, ein halbes Jahr Dunkelheit. Die beiden Polkappen sind zu allen Jahreszeiten unwirtliche Gegenden in die der Reisende seit jeher alles Lebensnotwendige mitbringen muss.
Anders als der Südpol auf dem Kontinent Antarktis hat der Nordpol keinen festen Boden unter den Füßen sondern schwimmt auf dem Meer. Einst waren es nur mutige Forscher, die am Drehpunkt der Erdachse stehen wollten. Sie brachen mit Skiern und Hundeschlitten dorthin auf. Immer war es ein Wettlauf gegen die Dunkelheit. Viele erreichen das Ziel nicht. Heute sind es Juppies und reiche Senioren oder die sich dort - GPS gesteuert - mit Sekt und Kamera vom Flugzeug absetzen lassen.
Wird der Tourist den Nordpol bald mit der AIDA ansteuern können?
Noch kann man auf dem Nordpol stehen. Man hat dann ein paar Meter Eis und darunter über 4000 Meter Wasser unter sich. Das Eis besteht aus in langen kalten Zeiten gefrorenem Meerwasser. Wissenschaftler nennen es "Meereis".
Das Eis wird dünner? Wie lange noch bleibt es erhalten? Und was ist, wenn es verschwindet?
Die Zeitungen sprechen von der "dunklen Arktis". Dabei geht es nicht um die Polarnacht…
Die von Meereis bedeckte Arktis stabilisiert das Klima und wirkt einem globalen Temperaturanstieg entgegen. Die Ursache dafür ist die "Albedo" des Eises und die damit verbundene geringe Absorption von Sonnenstrahlung sowie die vom Eis aufgenommene "Schmelzwärme".
Lässt das Abtauen der schwimmenden Eiskappe den Meeresspiegel ansteigen?
Führt es zum Versiegen des Golfstroms?

Das Schulbiologiezentrum Hannover hat sich in den vergangen Jahren im Rahmen des EU-Projekts "Inquiry based scientific education" (IBSE) mit der Thematik "Biodiversität und Klimawandel" beschäftigt. Hier ging es auch um Fragen rund um einen möglichen Meeresspiegelanstieg und den Golfstrom. In der folgenden Zusammenstellung von Experimenten versuchen wir, die klimawirksamen physikalischen Prozesse vom Nordpol auf einfache experimentelle und demonstrative Weise in die Schule zu holen. Mögen Ihnen die wenigen hier beschriebenen Versuche als Einstiege in einen hoffentlich weitere Neugier und Fragen weckenden forschenden Unterricht dienen.

„Dunkle Arktis“ verstärkt globale Erwärmung

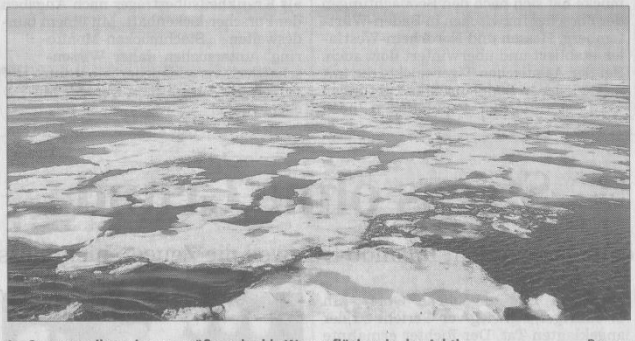
Wissenschaftler messen Zusammenhang zwischen Rückgang des Meereises und Abnahme von Lichtreflexion

VON GERD BRAUNE

Das Meereis verschwindet, der Arktische Ozean wird „dunkler“ – und das hat erhebliche Auswirkungen auf die globale Erwärmung. Im Sommer gibt es mittlerweile große offene dunkle Wasserflächen, die weniger Sonnenenergie ins All zurücksenden. Eine Studie zeigt nun, dass durch den Verlust von Eis die „Albedo“, die Rückstrahlung der Erdoberfläche, sogar noch stärker abgenommen hat als bisher vermutet.

„Durch den Rückgang des Meereises absorbiert die Arktis viel mehr Energie als früher, wodurch das Meereis ein wichtiger Faktor der globalen Erwärmung wird“, sagt Kristina Pistone von der Scripps Institution of Oceanography der University of California in San Diego. Die Wissenschaftlerin gehört zum Forscherteam, das die neuesten Erkenntnisse in der wissenschaftlichen Zeitschrift „Proceedings of the National Academy of Sciences“ veröffentlicht hat.

Seit den siebziger Jahren hat sich die Arktis um nahezu zwei Grad Celsius erwärmt, etwa dreimal mehr als das globale Mittel. Zugleich ging die Meereisfläche erheblich zurück. Am Ende des arktischen Sommers im September ist die Eisfläche rund 40 Prozent geringer als noch vor wenigen Jahrzehnten – oft nur vier bis fünf Millionen Quadratkilometer statt sieben Millionen, wie zwischen 1979 und 2000. Pistone und ihr Kollege Ian Eisenman betonen, dass die bisherigen Berechnungen der Zusammenhänge zwischen dem Rückgang des Meereises, der Abnahme der Rückstrahlfähigkeit der Erdoberfläche und die Energieaufnahme auf Modellen beruhten. Nun aber stützen sie sich auf tatsächliche Beobachtungen: Auf Messungen der einfallenden und reflektierten Sonnenstrahlung durch das Satellitenprogramm CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System) und Mikrowellenmessungen, anhand derer sich der Umfang der Eisfläche auf dem Arktischen Ozean bestimmen lässt.

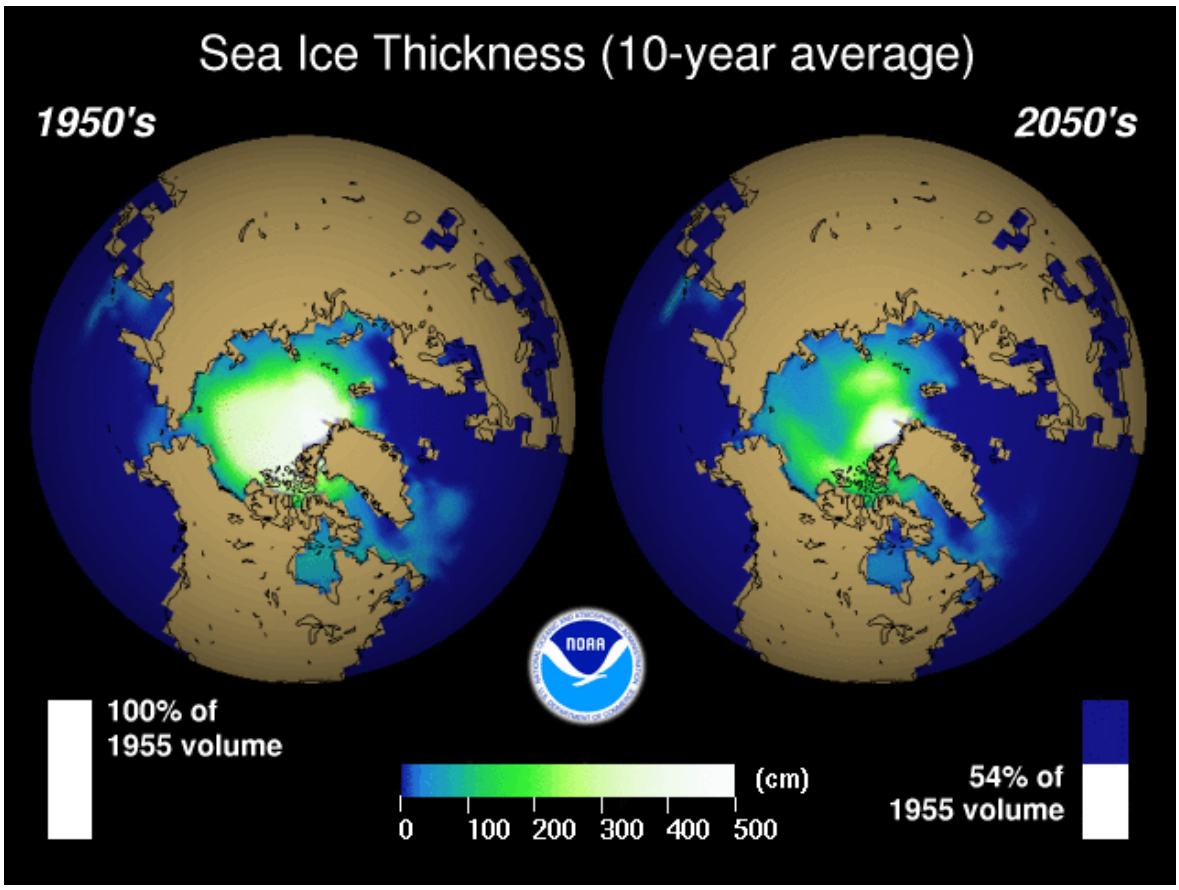


Im Sommer gibt es immer größere dunkle Wasserflächen in der Arktis. Braune

Durch Satelliten-Mikrowellenmessungen wird der Rückgang des Meereises seit mehr als 30 Jahren dokumentiert. Der aus dem All zu beobachtenden „Verdunkelung“ der Arktis wird seit Langem ein verstärkender Effekt auf die globale Erwärmung zugeschrieben. Die neue Analyse „offenbart eine verblüffende Beziehung zwischen der planetarischen Albedo und der Bedeckung des Meeres mit Eis“, schreiben die Wissenschaftler.

Die Albedo ist ein Maß für die Fähigkeit einer Fläche, Strahlen zu reflektieren. Eis und Schnee haben eine sehr hohe Rückstrahlung, während das dunkle Wasser mehr Energie aufnimmt, was wiederum das Wasser erwärmt und Eis schmelzen lässt. Selbst in der zentralen Arktis, die ganzjährig nahezu zu 100 Prozent von Meereis bedeckt ist, ist ein Rückgang der Albedo festgestellt worden, wenn auch nicht so stark wie in den eisfreien Regionen: Auf dem Packeis bilden sich im Sommer durch die Sonneneinwirkung Schmelzwasserseen, die mehr Sonnenenergie absorbieren als Eis.

Hannoversche Allgemeine Zeitung vom 21.02.14



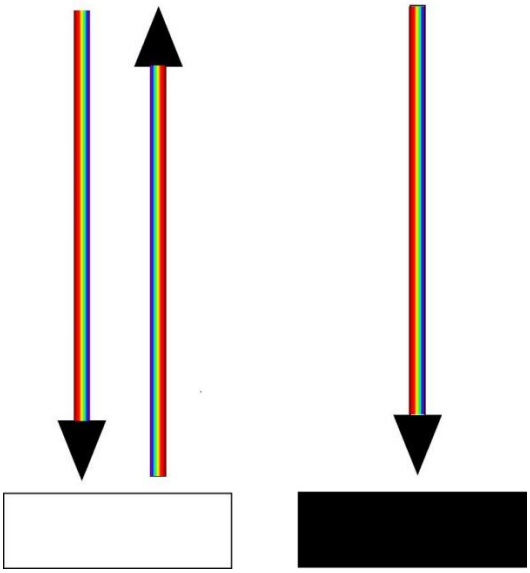
Prognostizierte Veränderung der Eismächtigkeit am Nordpol (Abbildung: NOAA)

Albedo: Schwarz und Weiß

Eis ist durchsichtig, durch viele Lufteinschlüsse und darauf liegendem Schnee aber auch weiß.

"Weiß" heißt: Das Sonnenlicht (bestehend aus allen Spektralfarben) wird (fast) vollständig reflektiert.

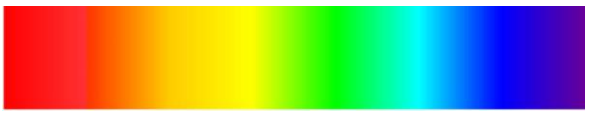
"Schwarz" heißt: Das Sonnenlicht wird (fast) vollständig "geschluckt" (absorbiert).



Kurzwellige Strahlung ("Licht") wird von absorbierenden Körpern in Wärme verwandelt:

Bei der Wahl zum "coolsten" Typen unter der Sonne wird derjenige gewinnen, der ein weißes T-Shirt trägt. Damit ist auch klar, wer der "heißeste" Typ ist.
Schwarze Materialien absorbieren das Sonnenlicht und wandeln die im Licht verborgene Energie in Wärme um.
Genauer gesagt: Die von der Sonne als "Licht" abgegebene kurzwellige elektromagnetische Strahlung führt dazu, dass die Atome und Moleküle des absorbierenden Materials in Schwingungen geraten. Je stärker diese Schwingungen sind, desto wärmer erscheint uns das Material.
So lange die Arktis weiß ist, wird das Sonnenlicht weitgehend zurückgestrahlt.
Wenn das das Eis schmilzt bleibt nur dunkles Meer…
Und dann wird die Arktis schlagartig wärmer!

Mit einem Handspektroskop kann man das Licht in seine Spektralanteile zerlegen. Betrachtet man die Sonne oder weiße Wolken so erscheint dieses Bild:



Hier ein Blick auf weiße bzw. schwarze Oberflächen:

Weiße Oberfläche:
Alle im Sonnenlicht enthaltenen Wellenlängen werden weitgehend reflektiert und kaum absorbiert. Die Oberfläche bleibt kalt.

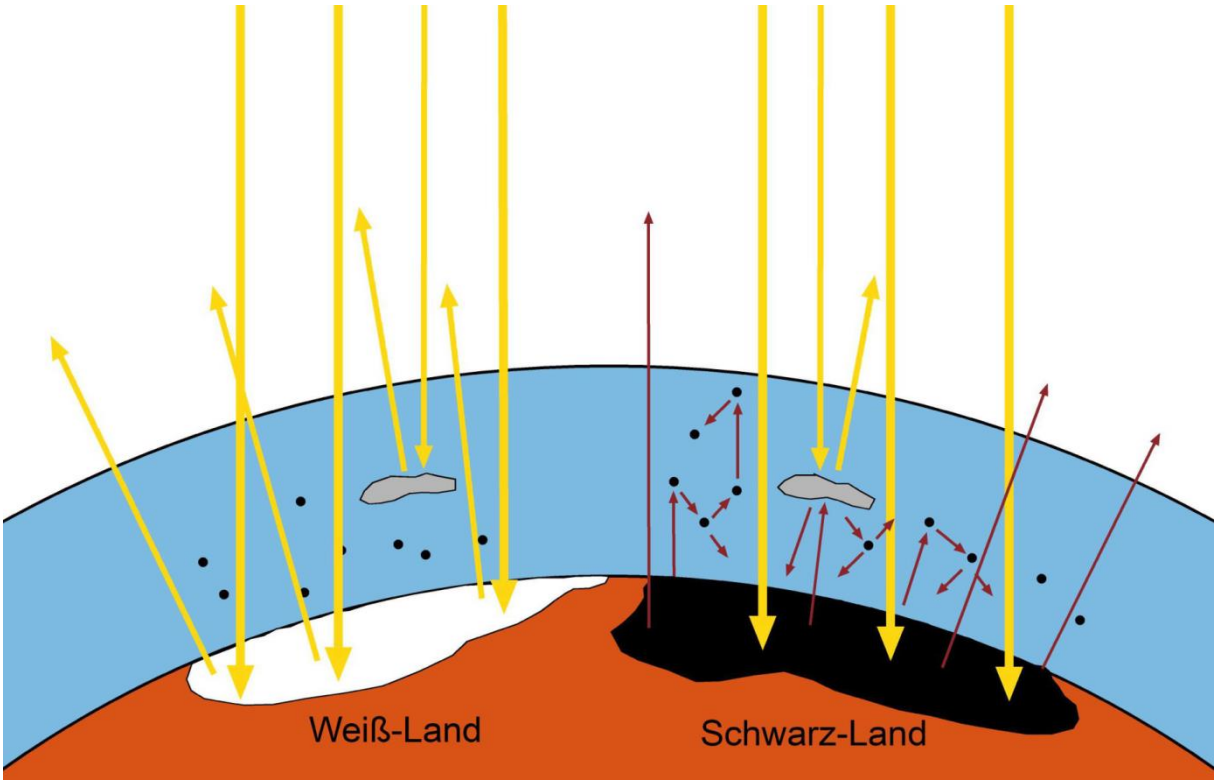
Schwarze Oberfläche:
Alle im Sonnenlicht enthaltenen Wellenlängen werden weitgehend absorbiert und kaum reflektiert. Die Oberfläche wird warm.

Füllen Sie weiß und schwarz bemalte, sonst aber gleiche Dosen mit gleich warmem Wasser, stellen Sie sie in die Sonne und messen Sie die Temperaturen!

Schwarz, Weiß und der Treibhauseffekt:

Gäbe es auf der Erde ein (idealisiertes) "Weiß-Land" dann würde das auf die weiße Oberfläche treffende Sonnenlicht vollständig zurück in den Weltraum reflektiert. Die in der Atmosphäre enthaltenen Treibhausgase würden wirkungslos bleiben weil sie mit dem (kurzwelligen) Licht nicht wechselwirken. Die über "Weiß-Land" treibenden Wolken könnten bestenfalls verhindern, dass das Licht die Erde erreicht.

Über einem ebenso idealisierten "Schwarz-Land" sähe das vollständig anders aus: Dort würde das Licht in Wärme verwandelt. Die daraus folgende Wärmestrahlung (passend auch Gegenstrahlung genannt) wird von Wolken und Treibhausgas-Molekülen absorbiert und in alle Richtungen gestreut, mit der Folge, dass sie lange in der sich damit erwärmenden Atmosphäre verbleibt. Nur dort wo sie weder auf Wolken noch auf Treibhausgas-Moleküle trifft kann sie die Erde ungehindert verlassen.



Stark vereinfachtes Schema der Folgen unterschiedlicher Albedo, von Wolken und Treibhausgasen (Grafik: Ingo Mennerich)

Das Thema "Treibhauseffekt" hat das Schulbiologiezentrum 2007 auf die IdeenEXPO getragen. Parallel dazu haben wir eine, die bei uns ausleihbaren Experimentiermaterialien begleitende Arbeitshilfe veröffentlicht.

"Heiße" und "Coole" Sachen…

Bei der Wahl zum "**coolsten**" Typen unter der Sonne wird derjenige gewinnen, der ein weißes T-Shirt trägt. Damit ist auch klar, wer der "**heißeste**" Typ ist. Aber warum ist das so?

- Stelle eine weiße und eine schwarze Dose nebeneinander.
- Beleuchte sie mit einem kräftigen Strahler (oder stelle sie in die Sonne).
- Fühle ihre Temperatur mit den Fingern.
- Befestige ein Thermometer an der Dosenwand.

- Betrachte die Dosen mit einem Handspektroskop.

  Das Handspektroskop zerlegt das sichtbare Licht in seine Spektralanteile.

_____ Dose

_____ Oberfläche:

Alle im Sonnenlicht enthaltenen Wellenlängen werden weitgehend _____ und kaum _____.

Die Oberfläche erscheint _____.

_____ Dose

_____ Oberfläche:

Alle im Sonnenlicht enthaltenen Wellenlängen werden weitgehend _____ und kaum _____.

Die Oberfläche erscheint _____.

- Richte eine Thermosäule* auf einen weit entfernten Gegenstand.
- Regele den an die Thermosäule angeschlossenen Messverstärker so ein, dass der Zeiger des Messgeräts auf "Null" steht.
- Richte die Thermosäule auf die vom Strahler beleuchtete weiße bzw. schwarze Dose.
- Halte eine Glasplatte zwischen Thermosäule und die Dosen.
- Was ist zu beobachten?

*) Eine Thermosäule registriert die für unsere Augen unsichtbare langwellige (infrarote) Wärmestrahlung und verwandelt sie in eine, zur Strahlungsintensität proportionale, aber sehr geringe Spannung. Diese wird über einen Messverstärker (einstellbar) um den Faktor 10^3, 10^4 oder 10^5 verstärkt und auf dem Messgerät angezeigt.

Wie hoch steht die Sonne am Nordpol über dem Horizont?

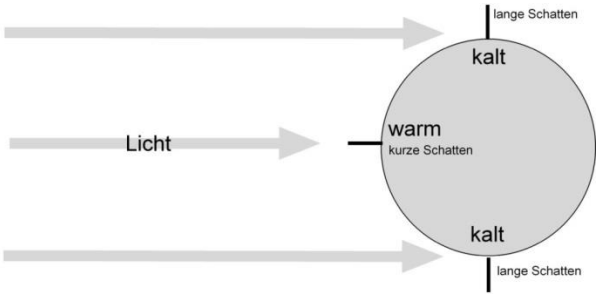
In einem unten beschriebenen einfachen Versuch zur "Dunklen Arktis" wird die Sonne durch einen senkrecht über dem "Polarmeer" aufgestellten Strahler simuliert. Vielleicht sollte man ihn besser so aufstellen, dass er das "Polarmeer" nur im flachen Winkel beleuchtet: Tatsächlich erhebt sich die Sonne am Pol nur wenige Grad über den Horizont und dies auch nur im "Polarsommer".
Der arktische Sommer dauert am Nordpol ein halbes Jahr, von Frühlingsbeginn im März bis zum Herbstbeginn im September. Von Ende September bis Ende März bleibt die Sonne unter dem Horizont. Zur gleichen Zeit ist am Südpol "Polartag". Während des Polartags im Nordsommer geht die Sonne am Nordpol nicht unter. Zur gleichen Zeit ist der gegenüberliegende Südpol in dunkle "Polarnacht" gehüllt.
Die Grenze des "Polartages" bzw. der "Polarnacht" ist durch den Polarkreis definiert an dem mindestens einmal pro Jahr die Sonne nicht auf- bzw. nicht untergeht. Zu den Polen hin verlängert sich Polartag und Polarnacht wo sie maximal 6 Monate erreichen.
Wie hoch steht die Sonne am Nordpol in den vier Jahreszeiten?
Die Rotationsachse der Erde ist gegenüber ihrer Umlaufbahn um die Sonne ("Ekliptik") um etwa 23,5° geneigt. Auf ihrem etwa 365 ¼ Tage dauernden elliptischen Weg um die Sonne zeigt die Erde mit dem Nordpol stets in dieselbe Richtung (ungefähr zum Polarstern).
Dadurch sind die Pole ein halbes Jahr lang der Sonne zu- und ein halbes Jahr lang der Sonne abgewandt.

Der "Fühlglobus": Jahreszeiten, Tag/Nacht und Polarsommer-/Winter

Mit dem in die Sonne gestellten "Fühlglobus" lässt sich gut zeigen, wie die Tages- und Jahreszeiten entstehen, wie hoch die Sonne jeweils über dem Horizont steht, wie lang die Schatten dann sind und wie viel Energie auf eine Fläche fällt. Damit lassen sich auch die Verhältnisse an den Polen untersuchen.

Schwarze Hände zeigen, wo der Globus am wärmsten wird

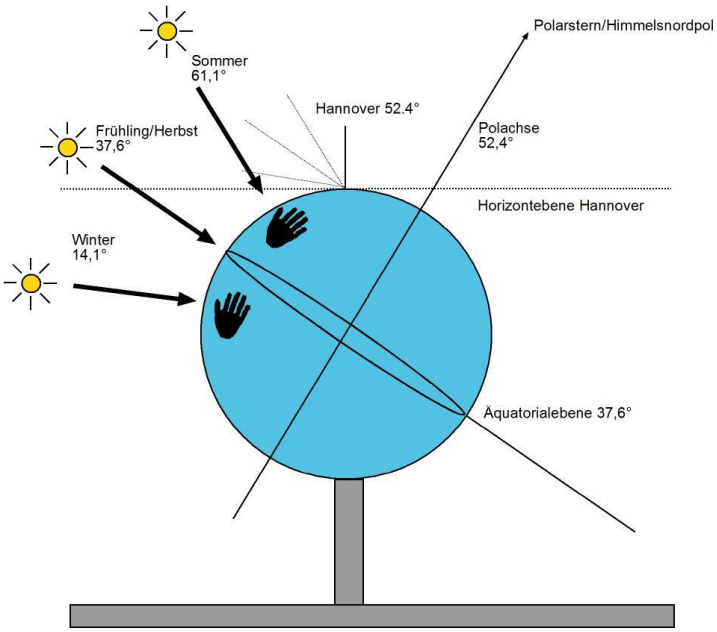
Foto: Ingo Mennerich



Grafik: Ingo Mennerich

"Warm" und "kalt" hängen vom Einfallswinkel des Sonnenlichts ab, der an den Schattenlängen erkennbar ist. Durch die an Schultafeln meistens gewählte Darstellung (links) entsteht der - falsche - Verdacht, dass die Tropen der Sonne viel näher sind als die Pole und daher wärmer sind.
Bei einer Entfernung Sonne-Erde von rund 150 Millionen Kilometern spielt der "Bauch" der mit 12000 km großen Erde aber keine entscheidende Rolle.

(6000 km von 150000000 km sind 0,004%!))

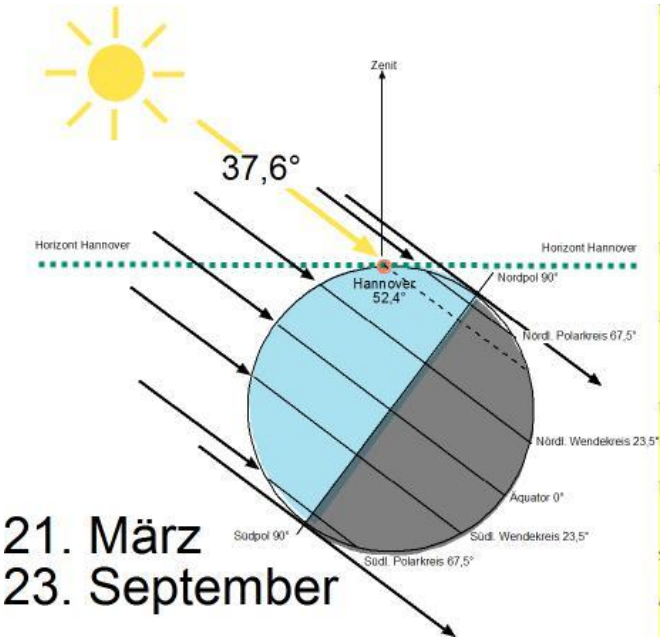


Der "Fühlglobus" ist ein einfacher großer Gymnastikball der - anders als ein wie die Erde um 23,5° geneigter Globus - mit seiner Achse parallel zum Himmelsnordpol ausgerichtet wird. Der Himmelsnordpol ist die gedachte nördliche Verlängerung der irdischen Rotationsachse und steht - wie der Polarstern - daher senkrecht (90°) über dem Nordpol. Aus der Perspektive jedes anderen Ortes auf der Erde liegt er genau im Norden und im Falle Hannovers, das auf dem 52,4. nördlichen Breitengrad liegt, in einem Winkel von 52,4° zum Nord-Horizont.

Grafik: Ingo Mennerich

Die täglich um diese Achse des bei uns im "Energiegarten" aufgestellten Fühlglobus "herumwandernde" Sonne geht morgens in östlicher Richtung auf, erreicht mittags ihren höchsten Punkt im Süden , geht abends in westlicher Richtung unter und ist nachts (im Norden) nicht zu sehen.

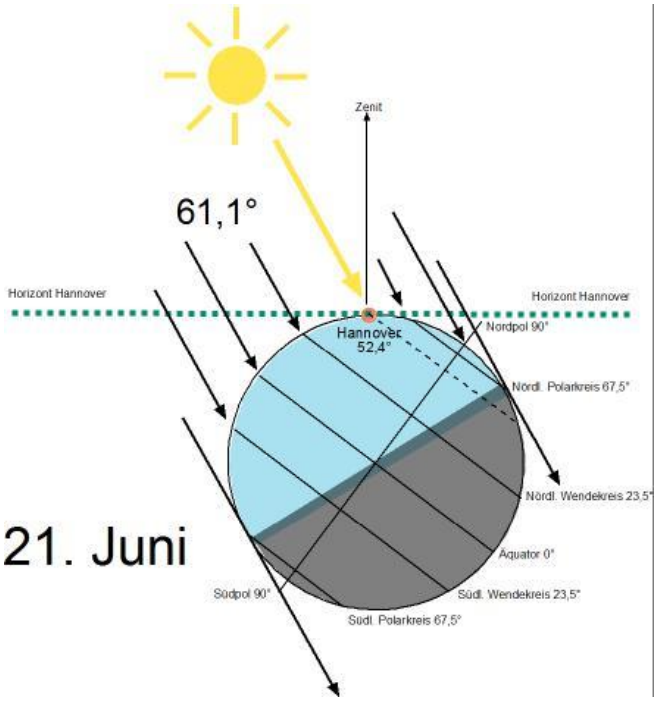
Im Winter sind die Tage bei uns kurz (etwa 8 Stunden), zur Tag-/Nachtgleiche im Frühjahr und Herbst etwa 12 Stunde und im Sommer mit etwa 16 Stunden am längsten.



Zum Frühjahres- und Herbstanfang steht die Sonne mittags senkrecht (90°) über dem Äquator (0° **Breite**). In Hannover steht sie mittags dann 90° - 52,4° = **37,6**° hoch über dem Südhorizont.

Grafik: Ingo Mennerich

Am **Nordpol** steht die Sonne am 21.03. und 23.09. den ganzen Tag (24 h) lang am ganz tief am Horizont (90° - 90,0° = **0**°).
Im Frühjahr beginnt der ein halbes Jahr andauernde "Polartag" und bis zum 21.06. gewinnt sie täglich an Höhe.

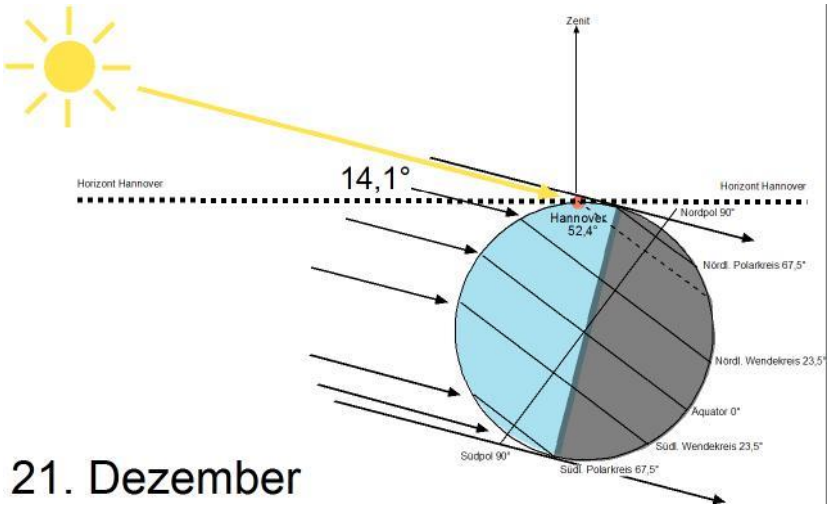


Zum **Sommeranfang** steht die Sonne mittags senkrecht (90°) über dem **nördlichen Wendekreis** (23,5° **N**). In Hannover erreicht sie mittags 90° - 52,4° + 23,5° = **61,1**° Höhe über dem Südhorizont.

Grafik: Ingo Mennerich

Am **Nordpol** steht die Sonne den ganzen Tag (24 h) lang 23,5° über dem Horizont.
(90° - 90,0° + 23,5°) = **23,5**°

Vom 21.06. bis zum im Herbstanfang am 23.09. verliert sie täglich an Höhe, dann erreicht sie den Horizont und es beginnt die ein halbes Jahr andauernde "Polarnacht" in der die Sonne unter dem Horizont bleibt.



Zum **Winteranfang** steht die Sonne mittags senkrecht (90°) über dem **südlichen Wendekreis** (23,5° **S**).
In Hannover erreicht sie mittags 90° - 52,4° - 23,5° = **14,1**° Höhe über dem Südhorizont.

Grafik: Ingo Mennerich

Am **Nordpol** steht die Sonne den ganzen Tag (24 h) lang 23,5° tief unter dem Horizont.
(90° - 90,0° - 23,5°) = - **23,5**

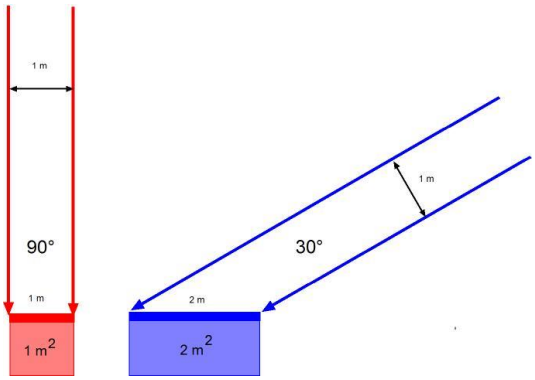
Im Winter erreicht die bei uns flach über dem Horizont stehende Sonne den "Nordpol" des Fühlglobus nicht mehr. Nach einer winterlichen Frostnacht mit Raureifbildung kann sich sogar mit einer nicht wegtauenden Eiskappe überziehen. Raureif gibt es zwar auch auf der "Nachtseite", er würde aber durch eine halbe Drehung der "Erdachse" verschwinden.

Höhe der Sonne und eingestrahlte Energie

Wie viel Sonnenergie auf die Erde fällt ist, neben der Tageslänge und Bewölkung, in erster Linie eine Frage der Höhe der Sonne über dem Horizont.

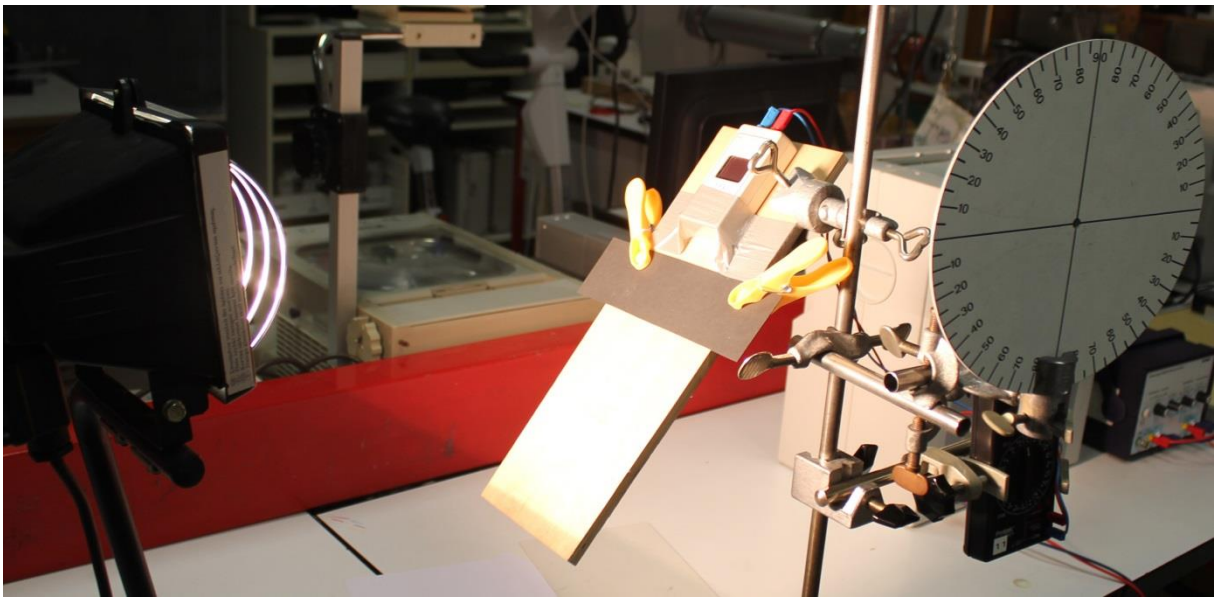
Für die Leistung P bei der Höhe α gilt: $P_{(W/m^2)} = \sin\alpha * 1000 W/m^2$

Bei senkrechter Einstrahlung (90°) sind das 1000 Watt/m^2, bei einem Winkel von 30° nur 500 Watt/m^2.



Während bei einem (quadratischen) Strahlungs-Querschnitt von 1m^2 bei senkrechtem Auftreffen (90°) eine horizontale Fläche von 1m^2 ausgeleuchtet wird, sind es bei 30° schon 2m^2. Die Sonnenenergie verteilt sich in diesem Fall auf die zweifache Fläche und jeder Quadratmeter Boden erhält nur die Hälfte der Energie.

Bei 23,5° Sonnenhöhe im Polarsommer fallen nur 39% der in den Tropen möglichen Strahlung ein. Dafür dauert der Tag 24 Stunden, in den Tropen nur 12. Im Frühjahr und Herbst ist der Energieeintrag noch geringer und im Polarwinter gleich Null (wenn man vom Vollmond absieht, der am Winterhimmel des Nordpols 24 Stunden lang am Himmel stehen kann).

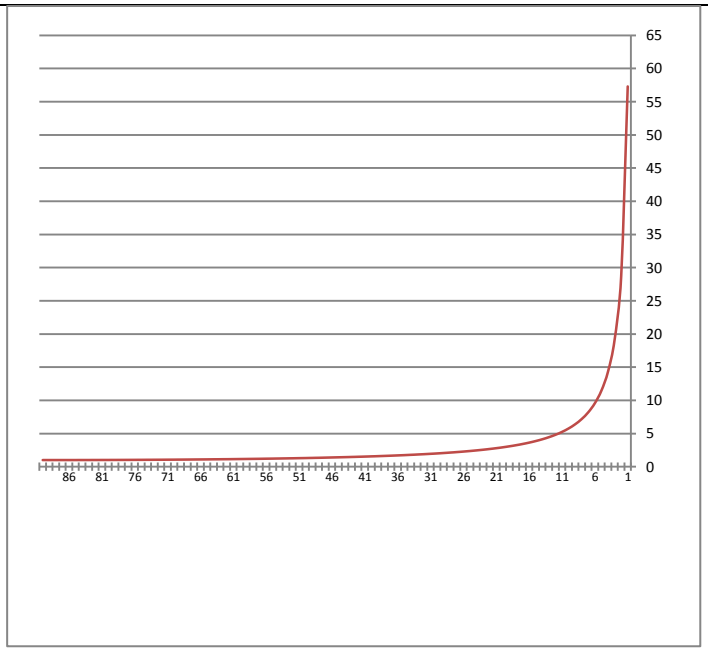


Versuchsanordnung zur Bestimmung der auf eine um einen bestimmten Winkel geneigte Fläche fallenden Strahlungsleistung. Oben eine Photozelle aus dem IKS-Solartrainer. Die auf weißer bzw. schwarzer Pappe entstehenden Temperaturen werden mit einem, mit Laserpointer ausgestatteten IR-Thermometer erfasst.

(Schul-LAB IGS Mühlenberg, März 2014, Foto: Ingo Mennerich)

Horizontwinkel α ("Sonnenhöhe")	Ausgeleuchtete Fläche $A = 1/\sin\alpha$	Eingestrahlte Leistung (%) $100\% \times \sin\alpha$
90	1,000 m^2	100%
85	1,004 m^2	99%
80	1,015 m^2	98%
75	1,035 m^2	97%
70	1,064 m^2	94%
65	1,103 m^2	91%
60	1,155 m^2	87%
55	1,221 m^2	82%
50	1,305 m^2	77%
45	1,414 m^2	71%
40	1,556 m^2	64%
35	1,743 m^2	57%
30	2,000 m^2	50%
25	2,366 m^2	42%
20	2,924 m^2	34%
15	3,864 m^2	26%
10	5,759 m^2	17%
5	11,474 m^2	9%
4	14,336 m^2	7%
3	19,107 m^2	5%
2	28,654 m^2	3%
1	57,299 m^2	2%
0	∞	0%

Horizontwinkel α ("Sonnenhöhe") und ausgeleuchtete Fläche in m^2



Warum ist es an den Polen kalt? (1)

Am Nordpol geht die Sonne vom 21.März bis zum 23. September nicht unter.

Vom 23. September bis zum 21. März geht sie nicht auf.

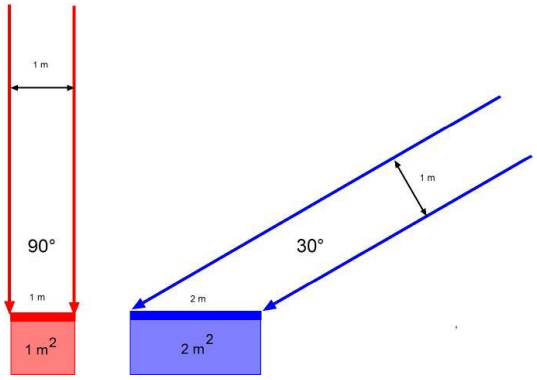
Dadurch ist es ein halbes Jahr lang "Tag" und ein halbes Jahr lang "Nacht".

Versuche die Situation mit Zirkel, Geodreieck und Bleistift darzustellen:

Benutze dafür ein eigenes Blatt.

- Zeichne mit Hilfe eines **Zirkels** zwei Querschnitte durch die Erde. (d= 12,6 cm).
- Die eine "Erde" soll ihre Lage im (Nord-)**Sommer**, die andere ihre Lage im (Nord-)**Winter** widergeben.
- Zeichne mit Hilfe des **Geodreiecks** die um 23,5° zur Senkrechten geneigte **Rotationsachse** der Erde.
- Wie hoch steht die Sonne am 21. Juni am Nordpol? _____°

Bei senkrechtem Auftreffen des Sonnenlichts fallen etwa 1000 Watt Leistung auf einen Quadratmeter.



Links:
Das Sonnenlicht fällt **senkrecht** (90°) auf die Erde.
Die senkrecht durch einen Querschnitt von 1m^2 fallenden Sonnenstrahlen verteilen sich auf 1x1 =1m^2 Fläche.
1m^2 Fläche empfängt die **volle** Leistung.

Rechts:
Das Sonnenlicht fällt **schräg** (30°) auf die Erde.
Die senkrecht durch einen Querschnitt von 1m^2 fallenden Sonnenstrahlen verteilen sich auf 1x2=2m^2 Fläche.
1m^2 Fläche empfängt die **halbe** Leistung.

- Versuche - nach dem Vorbild der Zeichnung oben - die Situation am 21. Juni am Nordpol auf einem Extrablatt zeichnerisch darzustellen.
- Versuche zu bestimmen, auf welche Fläche sich die die 1000 W Leistung an diesem Tag verteilen.
- Versuche zu bestimmen, wie viel Watt dabei auf einen Quadratmeter fällt.

Fällt dir dazu auch eine rechnerische Lösung ein?
Versuche es einmal mit dem SINUS des Winkels (Taschenrechner)!

Formel: P (W/m^2) = _____

Wie viel Leistung fällt am Nordpol kurz nach Frühjahresbeginn auf einen Quadratmeter?
(Höhe der Sonne über dem Horizont = 0,5°)
In Hannover (52° nördliche Breite) sind es kurz nach Frühjahresbeginn bei 38,5° Sonnenhöhe (mittags) etwa 623 Watt/m^2.

_____ Watt/m^2

Warum ist es an den Polen kalt? (2)

Am Nordpol erreicht die Sonne auch im Sommer nur eine geringe Höhe über dem Horizont.

Im Polarsommer scheint sie den ganzen Tag (24 h, "Polartag") in gleicher Höhe.

- Überprüfe, welchen Einfluss die Winkelhöhe der Sonne auf die am Boden eingestrahlte Leistung und die Temperatur hat.
- Informiere dich über die Winkelhöhe der Sonne im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter
- Welche Rolle spielt die Farbe des Bodens?

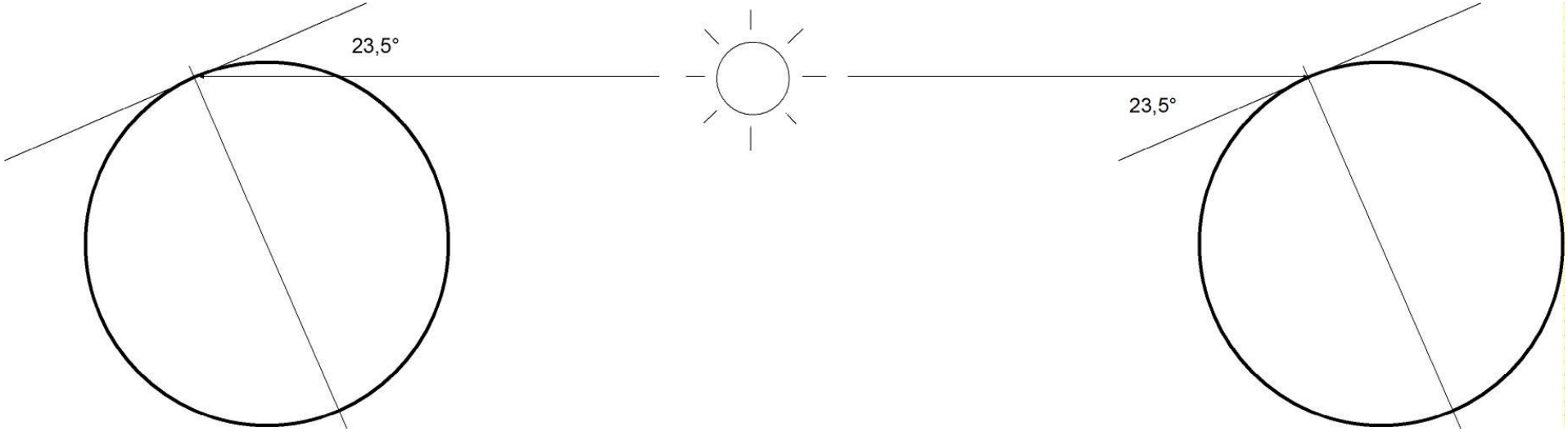
Material:

- Strahler (500 W) auf Stativ (horizontal ausgerichtet)
- Vertikal schwenkbare Platte
- Winkelmesser
- Messgerät →solare Leistung W/m^2 (1 mV entspricht 1 W/m^2)
- Infrarot-Thermometer mit Laserpointer
- Schwarze und weiße Pappstreifen
- Klammern zum Befestigen der Pappstreifen

Hinweis:
Bei 90° trifft das Sonnenlicht senkrecht, bei 0° horizontal auf den Boden

Winkel	Temperatur °C		Leistung W/m2
	Weiße Fläche	Schwarze Fläche	
90°			
80°			
70°			
60°			
50°			
40°			
30°			
20°			
10°			
00°			

Mögliche zeichnerische Lösung:



Im Sommer (21.06) steht die Sonne 23,5° über dem Horizont (Polartag).

Im Winter (21.12.) steht die Sonne 23,5° unter dem Horizont (Polarnacht).

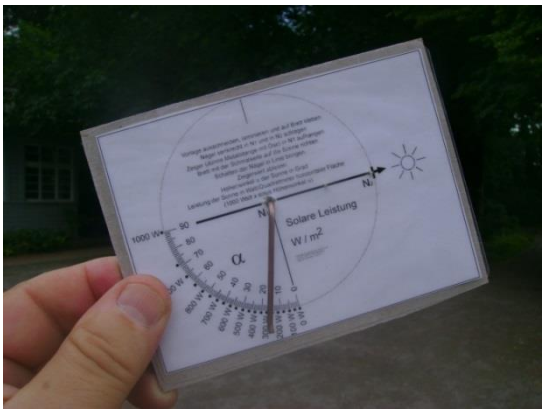
Solarer Leistungsmesser

Dieses einfache und leicht nachzubauende Messgerät zeigt, welche Leistung (Watt) die Sonne bei einer bestimmten Winkelhöhe über dem Horizont auf einen Quadratmeter Erde fallen lässt.

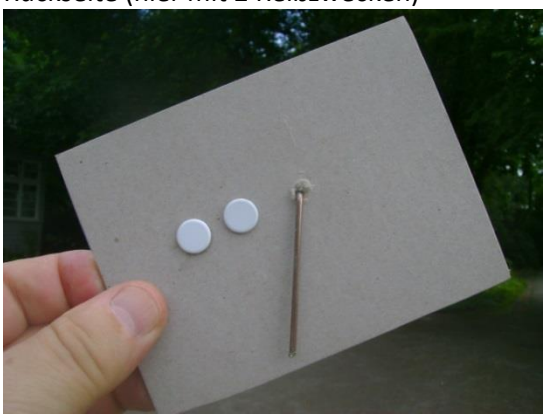
Der solare Leistungsmesser wird in Pfeilrichtung (Sonnensymbol) so auf die Sonne gerichtet, dass der Schatten der von der Rückseite her durch die Pappe hindurchgestoßenen Reißzwecke(n) auf die durchgezogene Linie fällt. Mit dem beweglich im Zentrum (N_2) gelagerten und stets senkrecht hängenden Stab kann die Winkelhöhe der Sonne (innere Skala) und die auf einen Quadratmeter horizontalen Bodenfläche solare Leistung abgelesen werden.

NICHT IN DIE SONNE SCHAUEN (Gefahr der **ERBLINDUNG**!).

Vorderseite



Rückseite (hier mit 2 Reißzwecken)

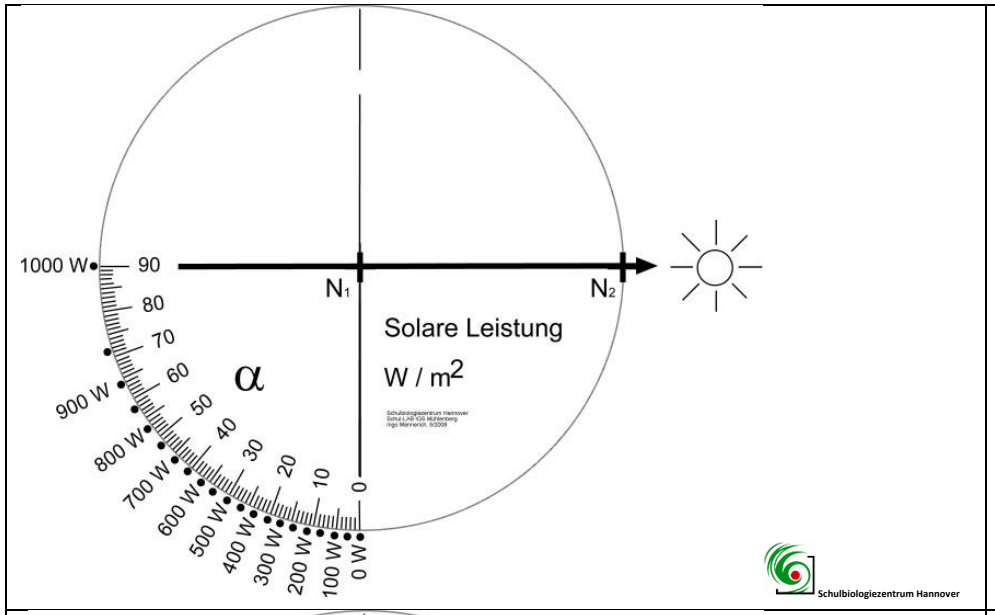


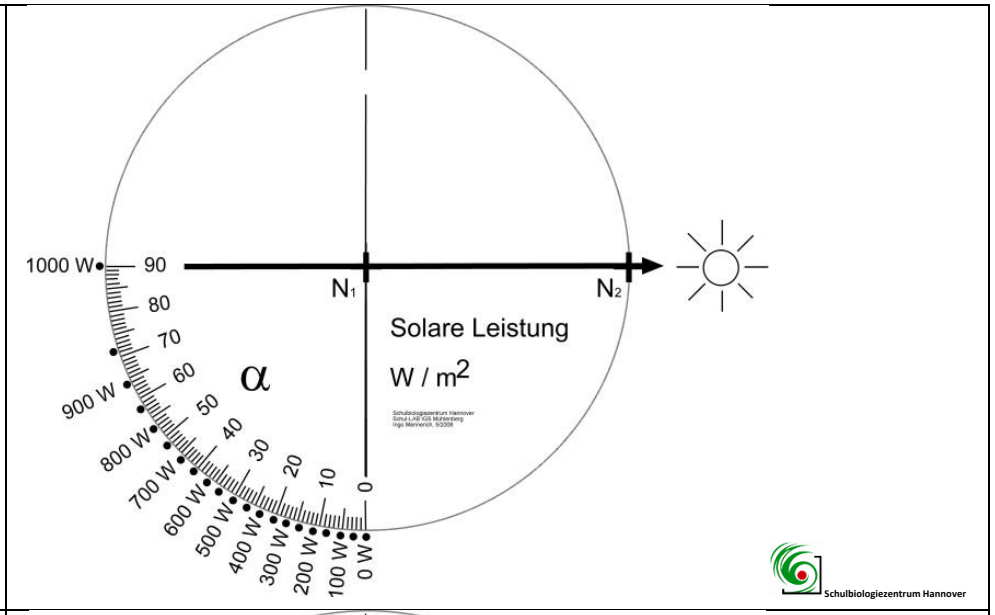
Material:

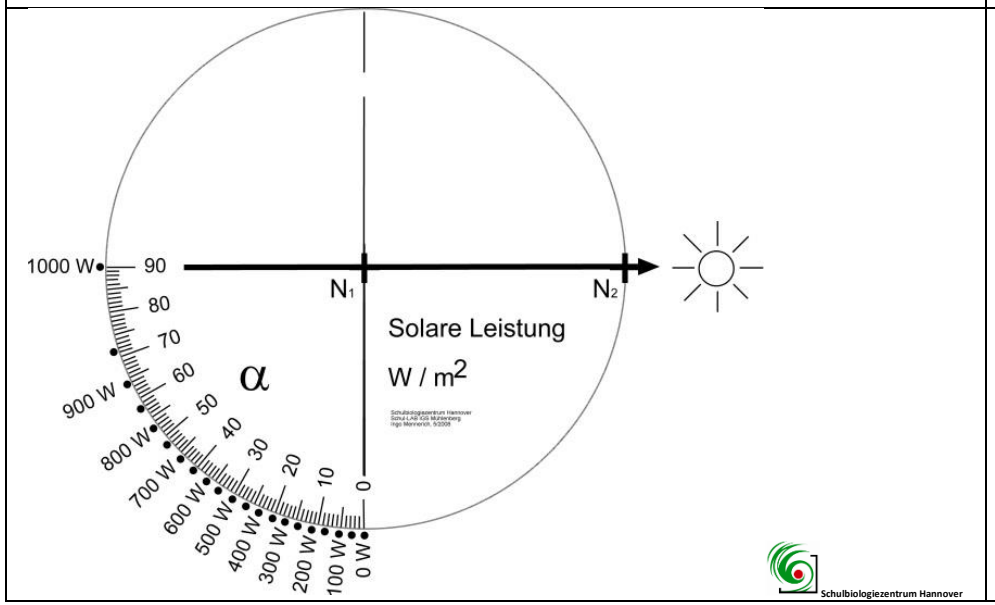
- Kopiervorlage (4er-Gruppe) zum Ausschneiden
- Pappe
- 1 - 2 Reißzwecken
- Dünne Metallstange (z.B. Schweißstab 1 mmØ)
- Laminierfolie und Laminiergerät (Option)
- Schere und Klebstoff

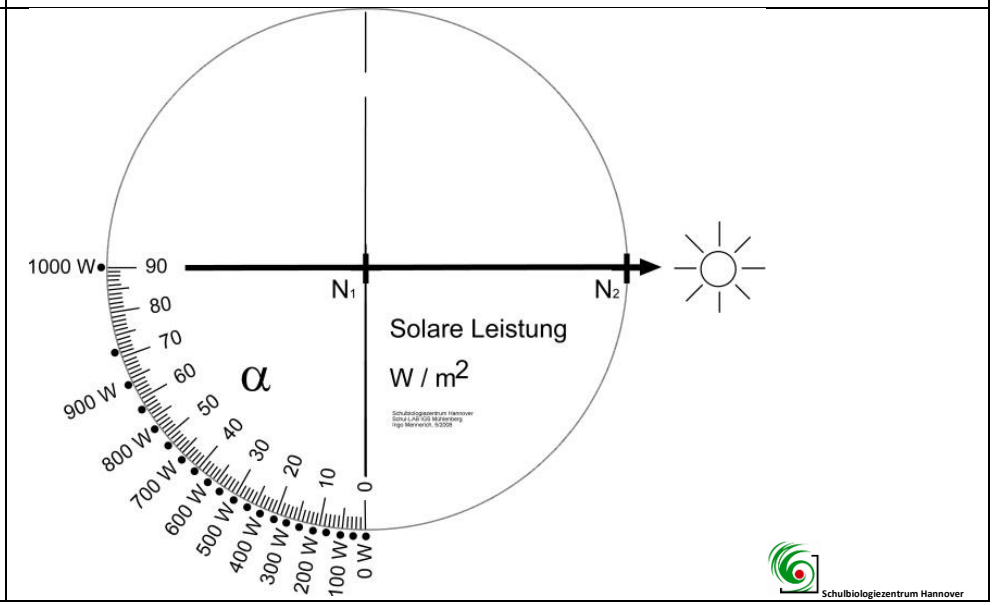
Bauanleitung:

- Schneide die Vorlage aus. Wir empfehlen, sie zu laminieren.
- Klebe die evtl. laminierte Vorlage auf eine gleich große und nicht zu starke Pappe.
- Drücke eine Reißzwecken durch den Punkt N_1, ziehe sie wieder heraus und stecke sie von der Rückseite her durch die Pappe. Ihre Spitze muss ganz aus der Pappe herausragen.
- Bohre ein passendes Loch durch das Zentrum (N_2) und schiebe ein kurzes Stück Schweißstab hindurch.
- Forme den Schweißstab zu einem "U".


1000 W
90
80
70
900 W
60
800 W
50
700 W
40
600 W
30
500 W
20
400 W
10
300 W
200 W
100 W
0 W
0
N1
N2
α
Solare Leistung
W / m2
Schulbiologiezentrum Hannover

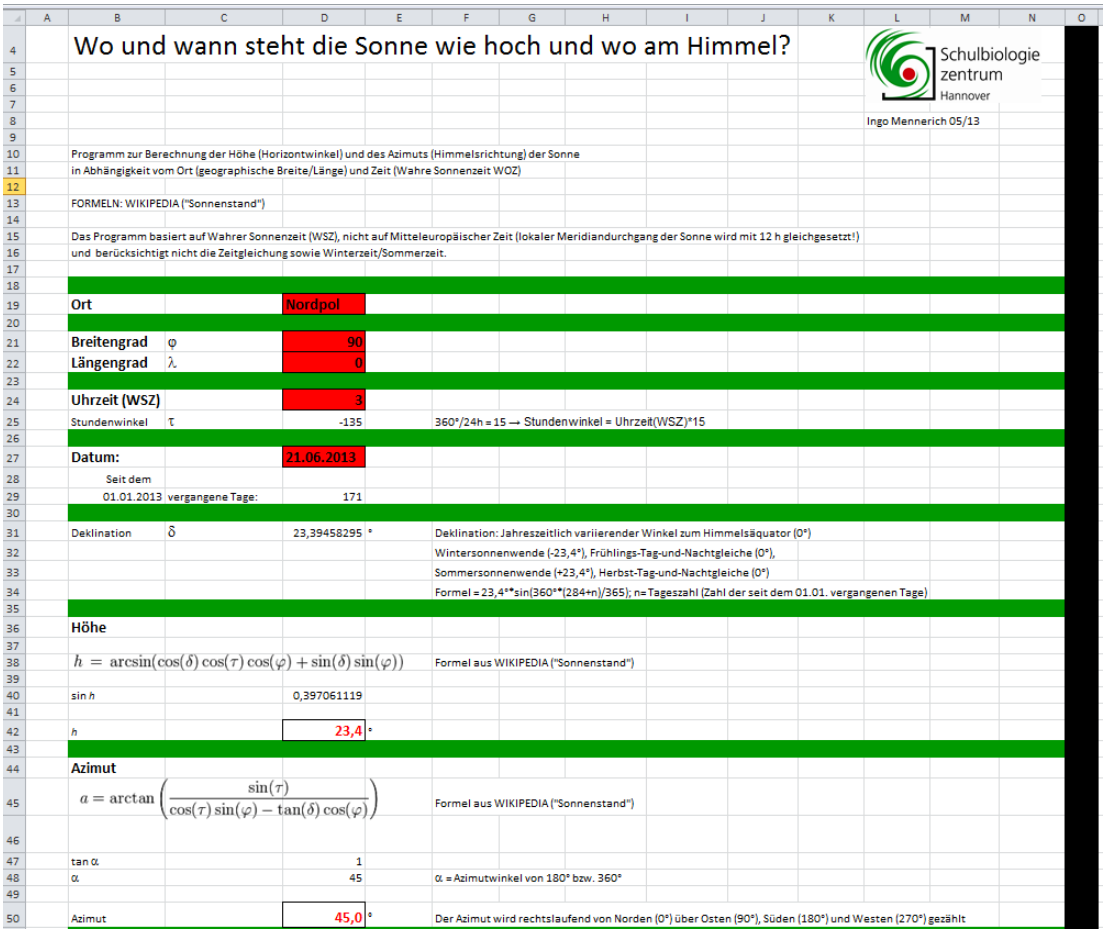

1000 W
90
80
70
900 W
60
800 W
50
700 W
40
600 W
30
500 W
20
400 W
10
300 W
200 W
100 W
0 W
0
N1
N2
α
Solare Leistung
W / m2
Schulbiologiezentrum Hannover


1000 W
90
80
70
900 W
60
800 W
50
700 W
40
600 W
30
500 W
20
400 W
10
300 W
200 W
100 W
0 W
0
N1
N2
α
Solare Leistung
W / m2
Schulbiologiezentrum Hannover


1000 W
90
80
70
900 W
60
800 W
50
700 W
40
600 W
30
500 W
20
400 W
10
300 W
200 W
100 W
0 W
0
N1
N2
α
Solare Leistung
W / m2
Schulbiologiezentrum Hannover

EXCEL-Programm zur Berechnung des Höhenwinkels und des Azimuts (Himmelsrichtung) der Sonne von jedem Ort der Erde

Auf unserer Webseite www.schulbiologiezentrum.info finden Sie unser Excel-Programm, dass Ihnen für jeden Tag des Jahres, für jede Zeit und für alle Orte auf der Erde die Sonnenhöhe und die Richtung, aus der sie scheint, berechnet.
Sie können es sich von unserer "Sonnenseite" frei herunterladen.



Wo und wann steht die Sonne wie hoch und wo am Himmel?

Schulbiologie zentrum Hannover

Ingo Mennerich 05/13

Programm zur Berechnung der Höhe (Horizontwinkel) und des Azimuts (Himmelsrichtung) der Sonne
in Abhängigkeit vom Ort (geographische Breite/Länge) und Zeit (Wahre Sonnenzeit WOZ)

FORMELN: WIKIPEDIA ("Sonnenstand")

Das Programm basiert auf Wahrer Sonnenzeit (WSZ), nicht auf Mitteleuropäischer Zeit (lokaler Meridiandurchgang der Sonne wird mit 12 h gleichgesetzt!)
und berücksichtigt nicht die Zeitgleichung sowie Winterzeit/Sommerzeit.

Ort		Nordpol		
Breitengrad	φ	90		
Längengrad	λ	0		
Uhrzeit (WSZ)		3		
Stundenwinkel	τ	-135		360°/24h = 15 → Stundenwinkel = Uhrzeit(WSZ)*15
Datum:		21.06.2013		
Seit dem 01.01.2013	vergangene Tage:	171		
Deklination	δ	23,39458295	°	Deklination: Jahreszeitlich variierender Winkel zum Himmelsäquator (0°)
				Wintersonnenwende (-23,4°), Frühlings-Tag-und-Nachtgleiche (0°),
				Sommersonnenwende (+23,4°), Herbst-Tag-und-Nachtgleiche (0°)
				Formel = 23,4**sin(360**(284+n)/365); n= Tageszahl (Zahl der seit dem 01.01. vergangenen Tage)

Höhe

$$h = \arcsin(\cos(\delta)\cos(\tau)\cos(\varphi) + \sin(\delta)\sin(\varphi))$$ Formel aus WIKIPEDIA ("Sonnenstand")

sin *h*	0,397061119	
h	23,4	°

Azimut

$$a = \arctan\left(\frac{\sin(\tau)}{\cos(\tau)\sin(\varphi) - \tan(\delta)\cos(\varphi)}\right)$$ Formel aus WIKIPEDIA ("Sonnenstand")

tan α	1	
α	45	α = Azimutwinkel von 180° bzw. 360°
Azimut	45,0	° Der Azimut wird rechtslaufend von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) und Westen (270°) gezählt

Uhrzeit	Stundenwinkel(°)	sin h	Höhe(°)	sin α	α	Azimut(°)
0	-180	0,3970611	23,4	1,22515E-16	7,01958E-15	7E-15
1	-165	0,3970611	23,4	0,267949192	15	15,0
2	-150	0,3970611	23,4	0,577350269	30	30,0
3	-135	0,3970611	23,4	1	45	45,0
4	-120	0,3970611	23,4	1,732050808	60	60,0
5	-105	0,3970611	23,4	3,732050808	75	75,0
6	-90	0,3970611	23,4	-2,87721E+16	-90	90,0
7	-75	0,3970611	23,4	-3,732050808	-75	105,0
8	-60	0,3970611	23,4	-1,732050808	-60	120,0
9	-45	0,3970611	23,4	-1	-45	135,0
10	-30	0,3970611	23,4	-0,577350269	-30	150,0
11	-15	0,3970611	23,4	-0,267949192	-15	165,0
12	0	0,3970611	23,4	0	0	180,0
13	15	0,3970611	23,4	0,267949192	15	195,0
14	30	0,3970611	23,4	0,577350269	30	210,0
15	45	0,3970611	23,4	1	45	225,0
16	60	0,3970611	23,4	1,732050808	60	240,0
17	75	0,3970611	23,4	3,732050808	75	255,0
18	90	0,3970611	23,4	2,87721E+16	90	270,0
19	105	0,3970611	23,4	-3,732050808	-75	285,0
20	120	0,3970611	23,4	-1,732050808	-60	300,0
21	135	0,3970611	23,4	-1	-45	315,0
22	150	0,3970611	23,4	-0,577350269	-30	330,0
23	165	0,3970611	23,4	-0,267949192	-15	345,0
24	180	0,3970611	23,4	-1,22515E-16	-7,01958E-15	360,0

Das Beispiel vom 21.06. zeigt die im Laufe von 24 Stunden um einen Azimut von 360° "wandernde" und stets gleich hoch über dem Horizont stehende Sonne.

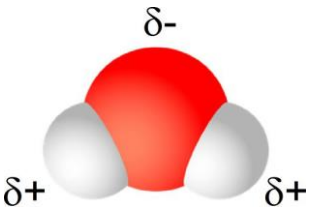
Eis isoliert und trennt das Meer von der Luft

Flüssiges Wasser ist mit 0,6 $W*m^{-1}*K^{-1}$ ein guter, Eis mit 2,2 $W*m^{-1}*K^{-1}$ (bei 0°C) ein eher mittelmäßiger Wärmeleiter. Das heißt, eine auf dem Meer schwimmende Eisschicht kann, in einem von ihrer Stärke abhängigen Maß das darunter liegende (wärmere) Wasser von der darüber liegenden kalten Luft thermisch isolieren.

Dass Obstblüten bei Frost mit Wasser besprüht werden hat allerdings nichts mit der Isolationswirkung des Eises sondern mit der Wärmeabgabe beim Eisbildungsprozess zu tun.

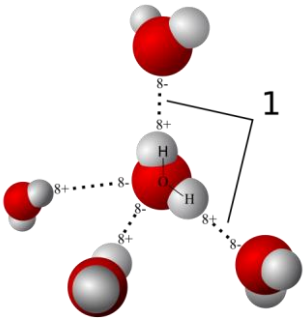
Das Schmelzen des Eises entzieht der Umgebung Wärme

Eis wird nicht so ohne weiteres zu Wasser! Eis verhält sich bei Energiezufuhr sogar relativ stabil. Das liegt - abgesehen von der bereits genannten hohen Albedo - an der so genannten "Schmelzwärme" die investiert werden muss um die zwischenmolekularen Bindungen im Eiskristall aufzubrechen.
Eis, flüssiges Wasser und Wasserdampf bestehen aus H_2O-Molekülen, also aus einer Verbindung von 2 Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom.



http://de.wikipedia.org/wiki/Eigenschaften_des_Wassers

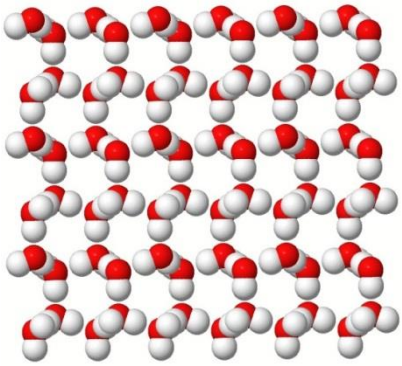
Wassermoleküle sind elektrische Dipole mit asymmetrischer Ladungsverteilung zwischen den beiden H- und dem O-Atom.

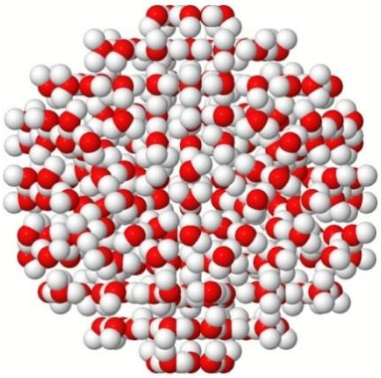


de.wikipedia.org/wiki/Eigenschaften_des_Wassers

Auf der Seite der beiden Wasserstoffatome herrscht ein leicht positiver Ladungsüberschuss, auf der Sauerstoffseite ein negativer. Durch diese Ladungsunterschiede angezogen verketten sich Wassermoleküle zu Gruppen (Clustern).

Im festen Zustand ("Eis") haben die Wassermoleküle wenig Energie und liegen durch die oben genannten Kräfte angezogen eng beieinander. Sie bilden dabei hexagonale Kristallstrukturen aus, die z.B. zur typischen Form der Schneeflocken führen.





Grafiken: Chemgapaedia

Eis:
Hier bilden die Wassermoleküle feste und unbewegliche Gitterstrukturen.
Die Gitterstruktur erfordert durch große "Leerräume" mehr Platz.

Wasser:
Hier bilden die Wassermoleküle lockere und bewegliche Verbände (Cluster)
Clusterstruktur erfordert weniger Platz (bessere Raumausfüllung)

Um Eis in Wasser zu verwandeln, d.h. um die Bindungen zwischen den Molekülen aufzubrechen, braucht man Energie. Die "Schmelzwärme" (Schmelzenthalpie) beträgt 333,5 KJ pro Kilogramm Eis.

Mit dieser Energiezufuhr könnte man 1 Kg 0°C kaltes Wasser auf fast 80° bringen:

Um die Masse m = 1 kg Wasser um $\Delta T = 1°C$ zu erwärmen sind E = 4,19 KJ Energie erforderlich:

Aus $m*4{,}19\ KJ*\Delta T = E$ folgt durch Umstellung $\Delta T = E /(4{,}19\ KJ*m)$

$\Delta T = 333{,}5\ KJ /(4{,}19\ KJ*1\ kg) = 79{,}4\ °C$

Die in den Aggregatzustandswechsel von fest nach flüssig hineingesteckte Energie wird nicht als Wärme wirksam sondern dient allein dem Aufbrechen der Kräfte zwischen den Wassermolekülen. Diese Energie wird der Umgebung entzogen, die dadurch unverändert kalt bleibt. Solange Eis schmilzt, wird sich das Schmelzwasser kaum über 0°C erwärmen. Erst wenn sich das Eis vollständig in Wasser verwandelt hat, kann die Temperatur steigen.
Für die **Arktis** bedeutet das:
Beim Schmelzen wird die Erwärmung der Umgebung und damit der Schmelzprozess verzögert.

Das Gefrieren von Wasser fügt der Umgebung Wärme hinzu

Obstblüten werden bei Frost gerne mit feinen Tropfen besprüht die sich in eine dünne schützende Eisschicht verwandeln. Die Annahme, dass das Eis eine isolierende Schicht um die Blüten bildet ist eher abwegig. Tatsächlich wird beim Gefrieren des Wassers Erstarrungswärme an die Umgebung abgegeben und zwar genau so viel, wie beim Schmelzen des Eises der Umgebung entzogen wird (333,5 kJ/kg).

Für die **Arktis** bedeutet das:
Beim Gefrieren wird die Abkühlung der Umgebung und damit der Gefrierprozess verzögert.

Kalorimetrie in der Thermoskanne: Messung der Schmelzwärme von Eis

Ein Eiswürfel mit bekannter Masse wird in Wasser mit bekannter Masse und Temperatur gelegt. Der Eiswürfel nimmt Energie auf und wird beim Schmelzen auf 0°C erwärmt. Dabei entzieht er dem Wasser Energie. Dessen Temperatur sinkt infolgedessen. Das Schmelzwasser nimmt so lange Energie auf bis es die gemeinsame Mischtemperatur angenommen hat.

$Es = m_w * 4{,}19 * (c_w - c_m)KJ - m_e * 4{,}19 * c_m KJ$

E_s:	Schmelzwärme
m_w:	Masse des Wassers
c_w:	Temperatur des Wassers (Ausgangstemperatur)
m_e:	Masse des Eises
c_m:	Mischtemperatur

Die Schmelzwärme-Kalorimetrie wird am besten in einer gut isolierten Thermoskanne durchgeführt.

1. Schritt: Wasser mit bekannter Masse und Temperatur in die Kanne geben
2. Schritt: Eiswürfel mit bekannter Masse hinzugeben
3. Schritt: Thermoskanne einige Zeit vorsichtig (!) umschwenken
4. Schritt: Mischtemperatur messen
5. Schritt: Schmelzwärme berechnen
6. Schritt: Schmelzwärme pro kg Eis berechnen

Wasser und Eis getrennt abwiegen

Temperatur in der Thermoskanne messen

Beispiel:

50 g Eiswürfel
500 g Wasser mit 24°C
Mischtemperatur 14,5°C
$E_s = 0{,}5 * 4{,}19 * (24 - 14{,}5)KJ - 0{,}05 * 4{,}19 * 14{,}5$ KJ
$E_s = 16{,}9$ kJ
Die spezifische Schmelzwärme (bezogen auf 1 kg Eis):
$s = E_s / m_e = 337{,}3$ kJ/kg
(Literaturwert 333,5 KJ/kg)

Im konkreten Fall wird 0,5 kg Wasser beim Schmelzen des Eises 333,5 kJ/kg * 0,05 kg = 16,7 kJ Wärme entzogen.

$\Delta T = 16{,}7$ KJ /(4,19 KJ * 0,5 kg) = 8 °C

Dabei fällt die Temperatur des Wassers von 24°C auf 16°C. Während das Schmelzwasser (0,05 kg) sich der Umgebungstemperatur anpasst sinkt die Temperatur des Wassers um zusätzliche 1,5°C.

Kalorimetrie der Schmelzwärme von Eis

Wenn Eis schmilzt, entzieht es seiner Umgebung Wärme.

Schmelzen Eiswürfel im Wasser, wird das Wasser dadurch um einen bestimmten Betrag abgekühlt.

Die "Schmelzwärme" lässt sich durch einen einfachen Kalorimeter-Versuch bestimmen.

- Miss mit einer genauen Waage 500 g Wasser ab.
- Gib das Wasser in eine leere Thermoskanne.
- Miss und notiere die Temperatur des Wassers.
- Gib etwa 50 g Eiswürfel in ein Becherglas.
- Füge die Eiswürfel vorsichtig* (!) dem Wasser hinzu.
- Verschließe die Thermoskanne und schwenke sie vorsichtig* (!) um.
- Wenn du die Eiswürfel nicht mehr hörst, öffne die Kanne und miss die Temperatur erneut.

*) Das Innere der Thermoskanne besteht aus empfindlichem Glas!

Berechne die dem Wasser entzogene Schmelzwärme (E_s) nach der folgenden Formel:

$$E_s = m_w * 4{,}19 * (c_w - c_m) - m_e * 4{,}19 * c_m$$

E_s: Schmelzwärme (KJ)

m_w: Masse des Wassers (kg)

c_w: Temperatur des Wassers (Ausgangstemperatur °C)

m_e: Masse des Eises (Kg)

c_m: Mischtemperatur (°C)

E_s = _____ kg * 4,19KJ * (____°C - _____°C) - _____kg * 4,19KJ x _____° C

E_s = _____ KJ

Bezogen auf 1 kg Eis beträgt die (spezifische) Schmelzwärme _____ kJ/kg

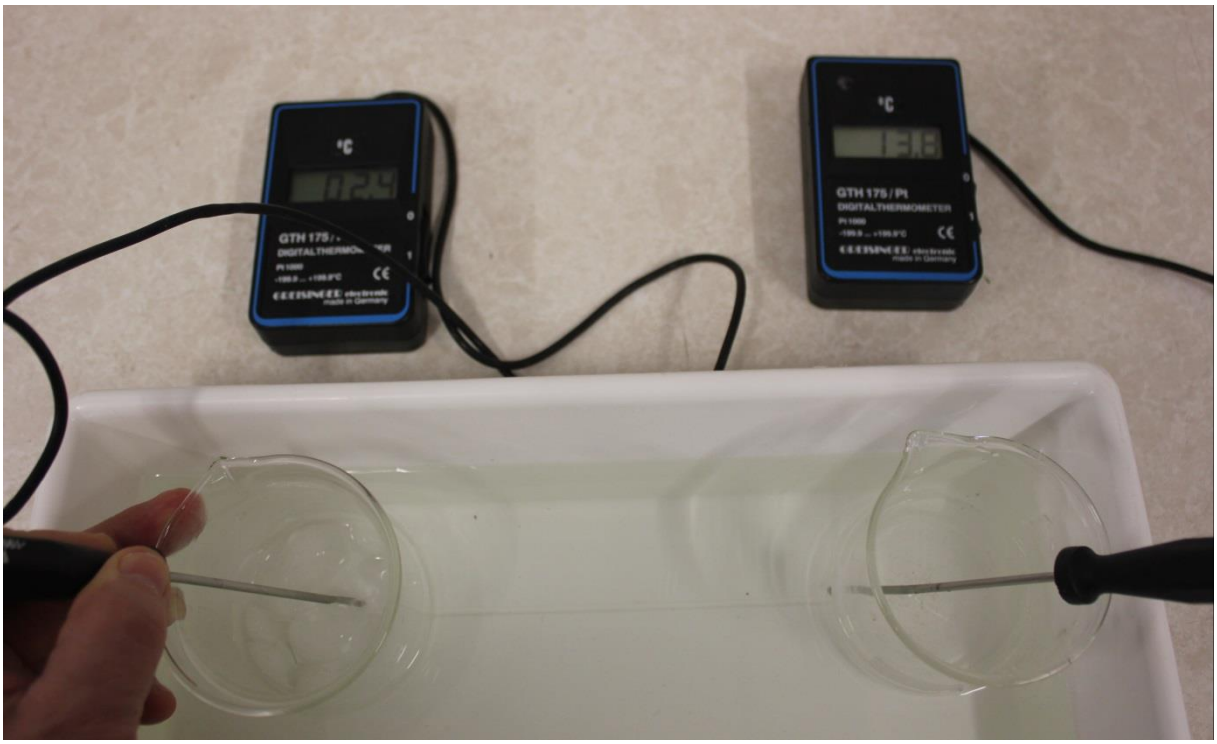
Wasser und Eis unter der "Sonne"

Was geschieht, wenn 0°C "warmes" Eis in der "Sonne" liegt?

Was geschieht wenn 0°C "warmes" Wasser in der "Sonne" liegt?

- Gib 50 g Eiswürfel in ein Becherglas
- Füge 50 g kaltes Leitungswasser hinzu
- Lasse die Mischung eine Minute lang stehen
- Gieße das Wasser in ein zweites Becherglas
- Miss die Temperatur des Wassers
- Miss die Temperatur der Eiswürfel

- Stelle beide Bechergläser in kaltes Leitungswasser
- Schalte den Strahler ("Sonne") ein.
- Miss im Minutenabstand die Temperatur der Eiswürfel und des Wassers



Wie erklärst du das Versuchsergebnis?

Varianten des Versuchs

1) Statt die den Inhalt der Bechergläser mit dem Strahler zu erwärmen kannst du sie auch in warmes Wasser stellen.

   Rühre den Inhalt der Bechergläser und das Wasser in der Schale gut um.

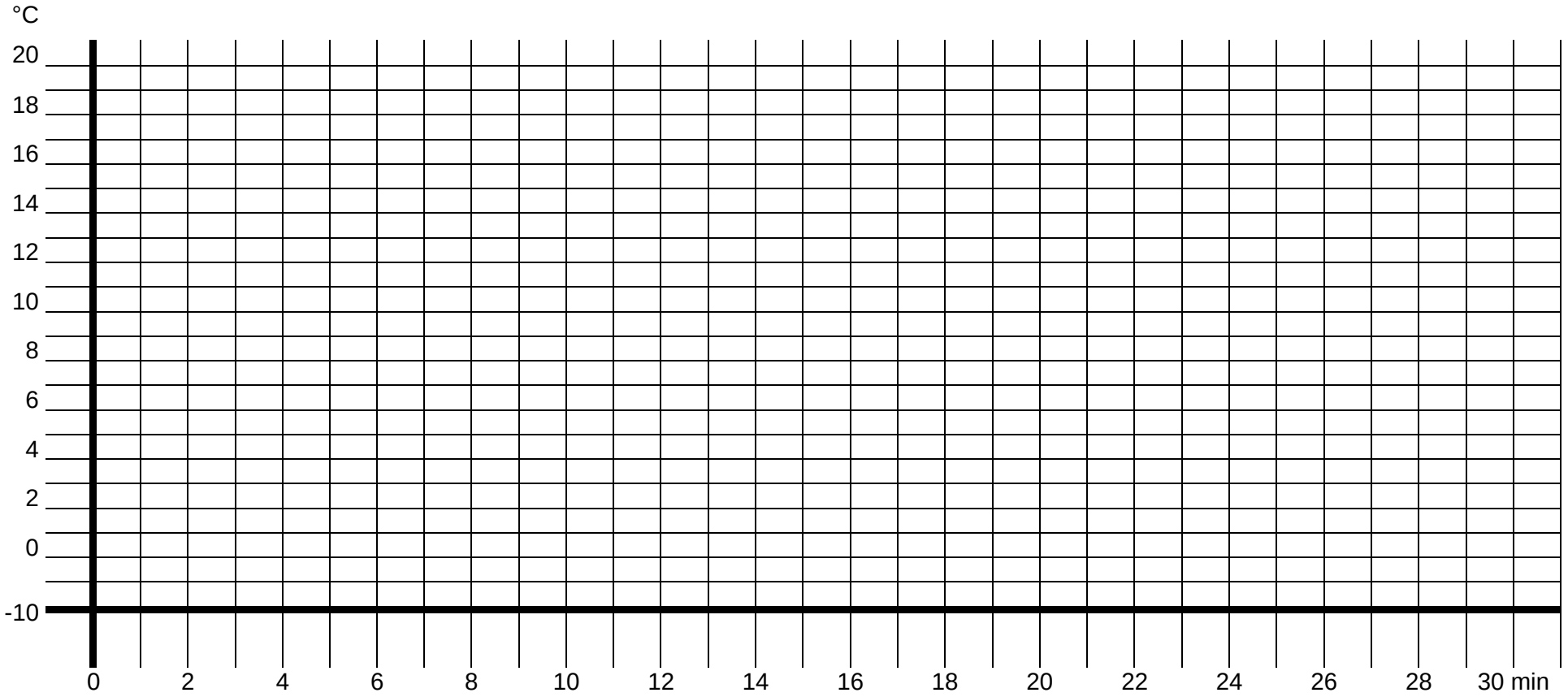
   Welche der Bechergläser hat die Mischungstemperatur am schnellsten erreicht?

2) Man kann die Versuche auch doppelt ansetzen:
   Einmal mit Süßwasser und einmal mit selbst hergestelltem "Meerwasser" (3,5% Salzgehalt)

   Welchen Einfluss hat das Salz auf die Temperaturentwicklung?

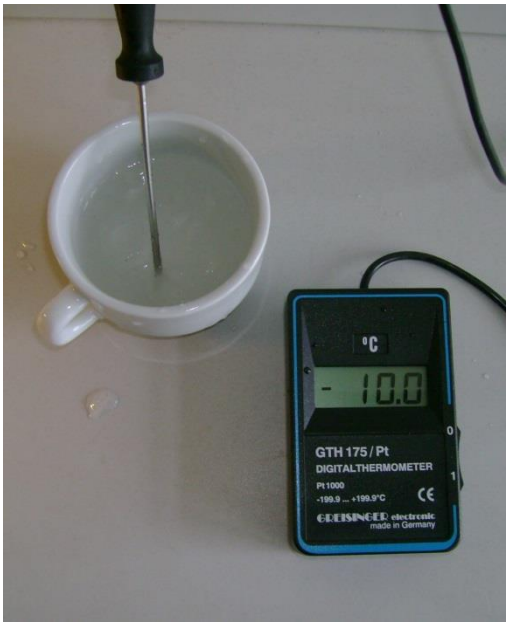
Schulbiologiezentrum Hannover

Wasser und Eis unter der "Sonne"



Zeit (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Wasser (°C)																					
Wasser+Eis (°C)																					

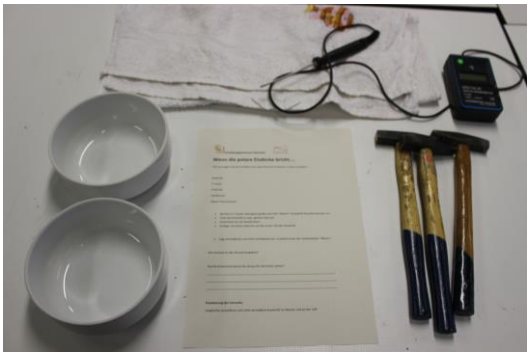
Welche Rolle spielt das Salz im Meerwasser?



Eismischung: -10°C und fast flüssig
Foto: Ingo Mennerich

Mit einer so genannten "Kältemischung" aus zerstoßenem Eis und Salz lassen sich sehr tiefe Temperaturen erzeugen.
Mit einer, in einer Kältemischung liegenden Schale kann man mit Schülern aus Sahne, Zucker und Früchten unter Rühren leckeres Speiseeis erzeugen.
Im Bild links wurde Salz (NaCl) und Eis in einer Tasse im Verhältnis 1:4 gemischt und gut durchgerührt. Die Temperatur fiel auf - 10°C. Wird der Behälter gut isoliert können noch erheblich tiefere Temperaturen erreicht werden. Theoretisch und in vielen Versuchen bis etwa - 21°C.

Was geschieht dabei?
Salz senkt bekanntermaßen den Gefrierpunkt des Wassers ("Streusalz").
Das Salz "zwingt" das Eis, schon bei Temperaturen unter null zu schmelzen. Die zum erzwungenen Aufbrechen der zwischenmolekularen Bindungen notwendige Schmelzwärme wird der Umgebung (dem Schmelzwasser) entzogen das sich dadurch weit unter den "normalen" Gefrierpunkt abkühlt.



Zerstoßenes ("crushed") Eis erhält man, indem man Eiswürfel in ein Handtuch wickelt und mit dem Hammer darauf schlägt.

Was folgt daraus für die **Arktis**?
Im Meer (3,5% Salzgehalt) schmilzt das Eis nicht bei 0°C sondern schon bei - 1,9°C. Der Schmelzprozess wird dadurch verzögert.

Schulbiologiezentrum Hannover

"Kältemischung" für ganz tiefe Temperaturen:

Eine Kältemischung besteht aus zerstoßenem Eis und Salz.

Salz senkt den Gefrierpunkt des Wassers (Streusalz).

Wenn man das Eis mit Salz mischt, wird es schon bei Temperaturen unter 0°C flüssig.

Beim Schmelzen des Eises wird der Umgebung Energie entzogen (Stichwort "Schmelzwärme")

Theoretisch kann die Eismischung auf - 21°C abgekühlt werden..

Material:

Eiswürfel, Salz, Waage, Thermometer, Löffel

- Mische zerstoßenes Eis und Salz.
  Zerstoßenes ("crushed") Eis erhältst du, indem du Eiswürfel in ein Handtuch wickelst und mit dem Hammer darauf schlägst.
- Wiege das Eis und das Salz und notiere das Verhältnis.
- Rühre die "Eismischung" mit dem Löffel gut um.
- Miss die Temperatur! Wie tief fällt sie? _____°C

Wie kannst du noch tiefere Temperaturen erreichen?

1)_____

2)_____

Welche Rolle könnte das Salz im Meerwasser für die Temperatur der Arktis spielen?

_____

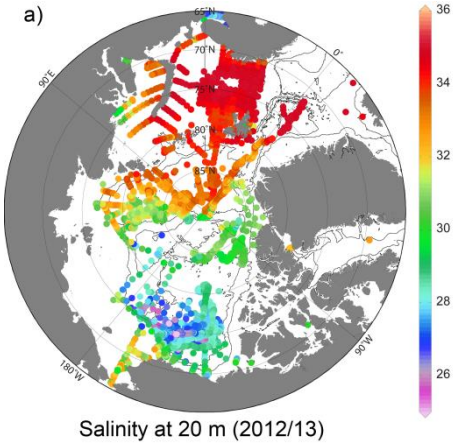
_____

_____

Was geschieht, wenn die polare Eisdecke zerfällt?

Eine zerfallende Eisdecke hat bei gleicher Masse eine viel größere Oberfläche als ein einzelner Eisblock.
Eine 1 km^2 große und 1 m dicke plattenförmige Eisscholle hat ein Volumen von 1 Million Kubikmetern und eine Gesamtoberfläche von 2*1000m*1000m (Ober-/Unterseite) + 4*1m*1000m (Seitenflächen) = 2004000 m^2. Zerfällt diese Platte in 1 Million quaderförmige Blöcke von 1m^3 dann beträgt die Oberfläche - bei unverändertem Gesamtvolumen - bereits 1000000*6*1m = 6 Millionen Quadratmeter.
Lösen sich diese 1 Million Quader weiter in 1000 Blöcke zu jeweils 1 dm^3 auf, sind aus der ursprünglichen Platte 1 Milliarde Quader geworden. Ihre Gesamtoberfläche beträgt jetzt 60 Millionen Quadratmeter. Ein weiterer Zerfall in 1 Billion 1 cm^2 große Würfel führt zu einer Gesamtoberfläche von 600 Millionen Quadratmetern.
Bei unveränderter Masse und gleichem Volumen steigt die Oberfläche also steil an.

Schwimmendes Eis liegt im hydrostatischen Gleichgewicht mit einem Großteil seines Volumens unter der Meeresoberfläche:



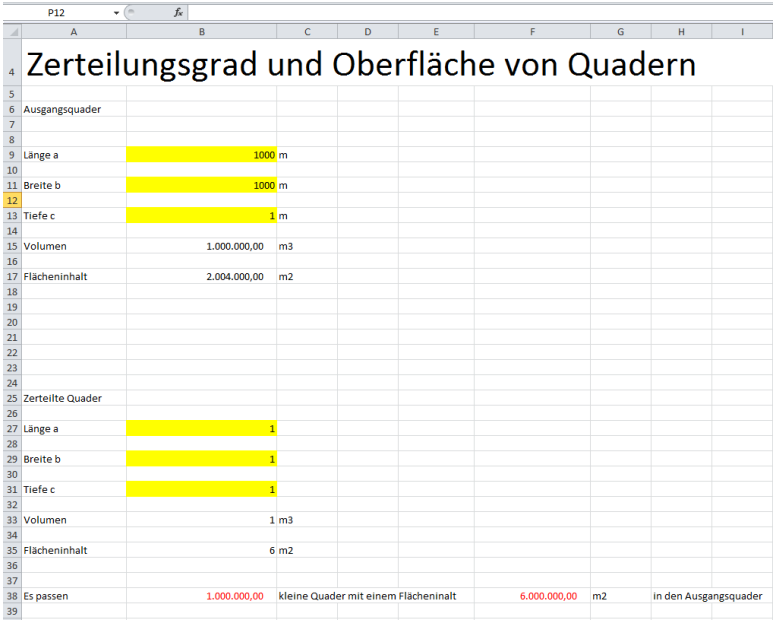
Salzgehalt der Arktis in g/cm^3
Quelle: NOAA
http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/ocean_temperature_salinity.html

Der Salzgehalt des arktischen Ozeans liegt bei etwa 30 g/Liter und die daraus resultierenden Dichte bei 1,03g/cm^3. Die Dichte des darauf schwimmenden Meereises liegt je nach Rest-Salzgehalt und Luftgehalt zwischen 0,85 und 0,93g/ cm^3. Bei einer durchschnittlichen Dichte von 0,89g/cm^3 schwimmt Meereis mit dem 0,14fachen (14%) seiner Mächtigkeit über, bzw. mit 86% unter der Oberfläche.

Süßwassereis (Eisberge) mit 0,917g/cm^3 taucht mit 89% noch etwas tiefer ins Meerwasser ein.

Die oben genannte 1 km^2 große und 1 m tiefe Platte taucht 86 cm tief ins (ruhige) Meerwasser ein.
Die Kontaktfläche zum Wasser ist 1000m*1000m + 4*1000m*0,86m = 1003440 m^2.
Für daraus entstehende 1m^3 große Blöcke mit einer Oberfläche von je 6m^2 heißt das, dass sie mit einer Fläche von 4*1m*0,86m + 1mx1m = 4,44 m^2 im (ruhigen) Wasser liegen. Bei einer Million solcher Blöcke steigt die gesamte Kontaktfläche auf 4400000 m^2.
Zerfällt jeder dieser Quader weiter in 1000 jeweils 1 Kubikdezimeter große Blöcke gilt:
Jeder der 1 Milliarde Würfel taucht 0,086 m tief ins Wasser. Das ergibt eine Kontaktfläche von 4*0,1m*0,086m + 0,1m*0,1m = 0,044 m^2 pro Würfel.
Dieser Wert, mit 1 Milliarde malgenommen ergibt 44,4 Millionen Quadratmeter!

Ein Quader mit der Länge a, der Breite b und der Tiefe c hat ein Volumen von V = a*b*c und einen Flächeninhalt von A_o = 2*(a*b + a*c + b*c). Mit diesen beiden Formeln kann man leicht ein EXCEL-Programm entwickeln dass den Zusammenhang zwischen Zerteilungsgrad und dem Anstieg der Oberflächen zeigt.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4	Zerteilungsgrad und Oberfläche von Quadern								
5									
6	Ausgangsquader								
7									
8									
9	Länge a	1000	m						
10									
11	Breite b	1000	m						
12									
13	Tiefe c	1	m						
14									
15	Volumen	1.000.000,00	m3						
16									
17	Flächeninhalt	2.004.000,00	m2						
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25	Zerteilte Quader								
26									
27	Länge a	1							
28									
29	Breite b	1							
30									
31	Tiefe c	1							
32									
33	Volumen	1	m3						
34									
35	Flächeninhalt	6	m2						
36									
37									
38	Es passen	1.000.000,00	kleine Quader mit einem Flächeninalt			6.000.000,00	m2	in den Ausgangsquader	
39									

Viele zerbrochene Eisschollen können in viel engeren Kontakt mit dem Meerwasser treten als eine geschlossene Eisdecke. In bewegtem Wasser überspülen die Wellen auch die ursprünglich nur der Luft ausgesetzten Oberseiten der Schollen und lassen sie auch dort ergrauen. Mulden füllen sich mit hineingeschwapptem Seewasser dass sich leichter erwärmt und den Schmelzprozess beschleunigt. Das zerfallende und dünner werdende Eis wird grauer, durchsichtiger und "schluckt" immer mehr Sonnenlicht.

Das kann man ein einem einfachen Experiment zeigen: Ein nicht allzu fest zusammen gedrückter weißer Schneeball wird "gläsern" wenn man ihn ins Wasser legt. Gleichzeitig verringert sich sein Auftrieb. Die Schnee- oder Eiskristalle, zwischen denen sich normalerweise Luft befindet, fließen zusammen. Die isolierende Wirkung einer (lockeren) Schneeschicht auf dem Eis nimmt ab und verschwindet schließlich.

Zwei gleiche Volumina Eis, einmal als Block und einmal fein zerstoßen, schmelzen unterschiedlich schnell. Wenn man den Versuch zusätzlich in gleich temperiertem Wasser bzw. Luft durchgeführt wird man feststellen, dass der Schmelzprozess im Wasser deutlich schneller verläuft, das Wasser allerdings auch deutlich schneller abkühlt als die Luft.

Wasser besitzt eine um das vierfache höhere **Wärmekapazität** als Luft:

15° C warmes (Bade)Wasser empfinden wir als "kalt", 15° warme Luft dagegen als "warm". Der Grund: Wasser entzieht uns pro Zeiteinheit viermal so viel Wärme wie gleich temperierte Luft.

Wenn die polare Eisdecke bricht (1)….

Welche Folgen hat das Zerfallen einer geschlossenen Eisdecke in kleine Schollen?

Material:

2 Tassen

Eiswürfel

Handtücher, Hämmer

Digital-Thermometer

- Bereite in 2 Tassen zwei gleich große und tiefe "Meere" mit jeweils Raumtemperatur vor.
- Teile die Eiswürfel in zwei gleiche Teile auf.
- Umwickele sie mit Handtüchern.
- Schlage mit einem Hammer auf den einen Teil der Eiswürfel.

- Lege zerstoßenes und nicht zerstoßenes Eis in jeweils eines der vorbereiteten "Meere".

Wie deutest du das Versuchsergebnis?

Welche Erkenntnis kannst du daraus für die Arktis ziehen?

_____

_____

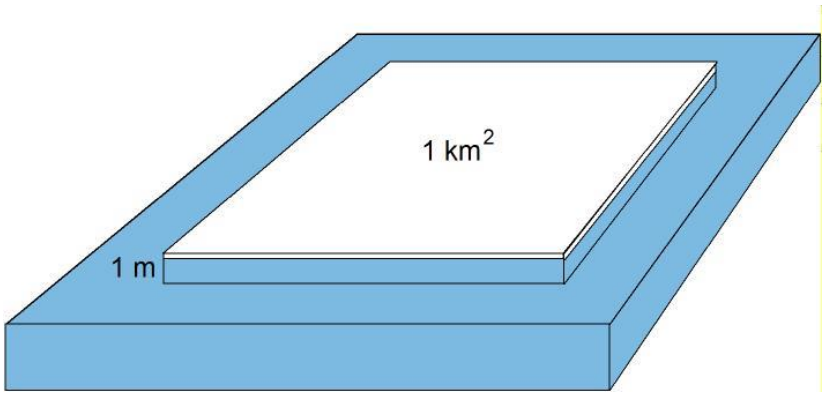
_____

Erweiterung des Versuchs:

Vergleiche zerstoßene und nicht zerstoßene Eiswürfel im **Wasser** und an der **Luft**.

Wenn die polare Eisdecke bricht (2)….

Welche Folgen hat das Zerfallen einer geschlossenen Eisdecke in kleine Schollen?



Ein 1 km² große und 1 m tiefe Eisscholle zerbricht in kleinere Quader.

Wie viele und wie große Quader sind es jeweils?

Berechne das Volumen und den Flächeninhalt der einzelnen Quader sowie ihre Gesamtfläche!

Quader mit 1 m Seitenlänge:

Volumen: _____ m^3 Flächeninhalt: _____ m^2

Anzahl der Quader: _____ Gesamtfläche: _____ m^2

Quader mit 0,1 m Seitenlänge:

Volumen: _____ m^3 Flächeninhalt: _____ m^2

Anzahl der Quader: _____ Gesamtfläche: _____ m^2

Quader mit 0,01 m Seitenlänge:

Volumen: _____ m^3 Flächeninhalt: _____ m^2

Anzahl der Quader: _____ Gesamtfläche: _____ m^2

Quader mit 0,001 m Seitenlänge:

Volumen: _____ m^3 Flächeninhalt: _____ m^2

Anzahl der Quader: _____ Gesamtfläche: _____ m^2

Simulation der "Dunklen Arktis"

- Bereiten Sie eine größere Menge Eiswürfel vor.
- Zerstoßen Sie einen Teil der Eiswürfel zu feinem "Schnee".
- Füllen Sie eine Schale mit dunklem Boden (das "Nordpolarmeer") halb- bis dreiviertelvoll mit kaltem Wasser.
- Geben Sie so viele Eiswürfel hinzu, dass die Wasseroberfläche ganz von schwimmendem (!) "Meereis bedeckt ist. Decken Sie das "Meereis" mit einer Schicht aus "Schnee" zu.
- Stellen Sie einen starken Scheinwerfer über die "Arktis".

- Beobachten Sie das Eis und messen Sie fortlaufend die Wasser- und Lufttemperaturen in verschiedenen Tiefen und Höhen.
- Wann beginnt der "Schnee" zu schmelzen?
- Wie wirkt sich das Schmelzen des Schnees auf das "Meereis" aus?
- Welche Folgen hat das Abschmelzen von "Schnee" und "Meereis" auf die Temperatur des "Meeres"?
- Wie entwickelt sich die Temperatur des "Meeres" ohne das auf ihm schwimmende Eis?

Erweiterung des Experiments:
Stellen Sie die "Arktis" in einen größeren Behälter, z.B. einen Kasten aus Styropor. Er stellt den außerpolaren Bereich des "Planeten" dar. Gut geeignet sind auch passende Kühlboxen die zusätzlich den Vorteil haben, dass man durch abwechselndes Auf- und Zuklappen des Deckels den "Polartag" bzw. die "Polarnacht" simulieren kann.
Welche Auswirkungen hat die "Arktis" auf die "globale" Umgebung?
Wie wirkt sich das Abschmelzen des "Meereises" auf die Umgebungstemperatur aus?

Varianten des Versuchs:

- Sie könnten statt Leitungswasser vorbereitetes "Meerwasser" mit einem Salzgehalt von 3,5% verwenden (35 g Salz mit kaltem Wasser auf 1000 g aufgießen).
- Sie könnten den Versuch statt bei Raumtemperatur in "arktischer" Umgebung durchführen, z.B. im Winter draußen.
- Sie könnten die "Sonne", der Realität an den Polen entsprechend, statt senkrecht in flachem Winkel einstrahlen lassen (Polartag).
- Sie könnten einen Parallelversuch im Dunkeln durchführen, z.B. im Kühlschrank (Polarnacht).

Die Arktis in einem schwarzen Topf….

Die innere Arktis ("Nordpol") ist ein von schwimmendem Meereis bedeckter Ozean ("Nordpolarmeer").

Wie entwickelt sich die Temperatur des Nordpolarmeeres, wenn das Eis schmilzt?

Material:

- Schwarzer Topf
- Eiswürfel, zerstoßene Eiswürfel, Schnee (im Winter)
- Auf Stativ montierter Strahler
- Thermometer
- Kaltes Leitungswasser

Gib etwa 5 cm hoch kaltes Leitungswasser in den Topf.

Füge viele Eiswürfel und zerstoßenes Eis hinzu.

Decke die Eisschicht mit Schnee zu

Miss die Temperaturen des Wassers und des Eises

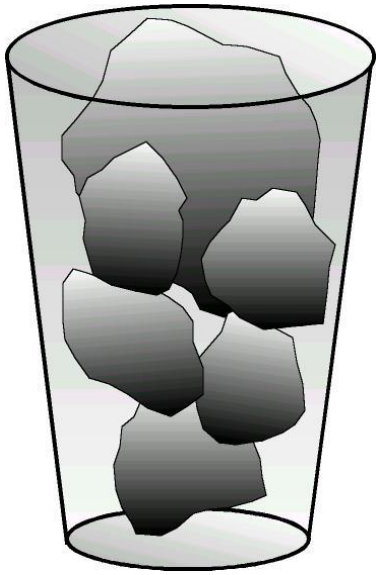
Temperatur des Wassers zu Beginn des Versuchs:	____°C
Temperatur des darauf schwimmenden Eises:	____°C
Temperatur des darauf liegenden Schnees:	____°C
Temperatur des Wassers nach einigen Minuten:	____°C
Temperatur des Eises nach einigen Minuten:	____°C
Temperatur des Wassers beim Schmelzen des letzten Eises:	____°C
Temperatur des Wassers einige Minuten nach dem Schmelzen des Eises:	____°C

Meeresspiegelanstieg durch schmelzendes Meereis?

Bereiten sie große Eisstücke vor. Am besten eignen sich ins Gefrierfach gestellte Metallbecher (andere Materialien könnten reißen). Füllen sie ein Glasbecken zu 80% mit kaltem Wasser, fügen sie die Eisblöcke hinzu und erhöhen Sie den "Meeresspiegel" bis er den Rand des Beckens erreicht. Beobachten Sie die mit schwimmendem Eis bedeckte "Arktis" und beobachten, ob sich der "Meeresspiegel" sich beim Schmelzen des Eises verändert. Wird das Becken überlaufen?

Oder:

Geben sie ein paar Eiswürfel in ein Trinkglas und fügen Sie Limonade hinzu bis das Glas ganz voll ist. Werden die Eiswürfel beim Schmelzen dazu führen, dass die Limonade überläuft?



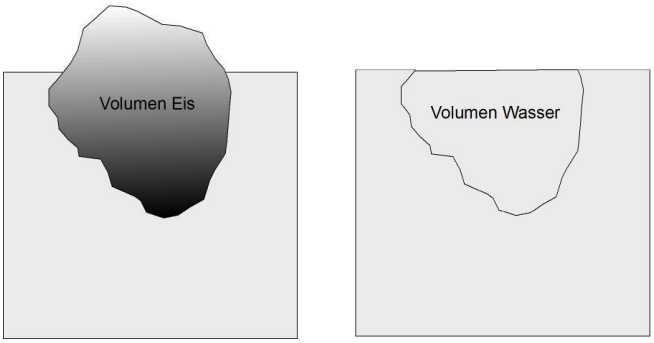
Grafik: Ingo Mennerich

Dazu ein Text aus unserer Arbeitshilfe
"Schwimmen, schweben, untergehen":

"Es war einmal ein Kind, dem war heiß und es hatte großen Durst. Es ging zum Cola-Automaten, ließ einige Eiswürfel in den Becher plumpsen und füllte den Becher dann randvoll mit Cola.
Dann ging es langsam und vorsichtig zum Tisch zurück. Die Mutter sah den bis zum Rand gefüllten Becher und begann zu schimpfen: „Du kannst wieder mal den Hals nicht voll kriegen! Jetzt trink bloß schnell aus, bevor die Eiswürfel schmelzen und die Cola über den Rand läuft!“
Und dann erzählte sie dem Kind von schmelzenden Eisbergen und davon, dass das Meer steigt und wir vielleicht alle untergehen und...“
Und das Kind schaute seine Mutter an und fand die Geschichte mit den schmelzenden Eisbergen so spannend, dass es völlig vergaß wie heiß ihm war und dass die Eiswürfel im Becher langsam schmolzen..."

Ein kleiner Tipp zur Auflösung des vielleicht überraschenden Ergebnisses:

- Eis beansprucht bei gleicher Masse ("Gewicht ") mehr Raum.
- Wenn es schmilzt, füllt es den Raum, den es beim Schwimmen an Wasser verdrängt hat.
- Wasser hat im (gleichwarmen) Wasser kein Gewicht und gleiches Volumen.
- Eis hat im Wasser schwimmend kein Gewicht, aber ein größeres Volumen. Daher ragt es über die Wasseroberfläche hinaus.

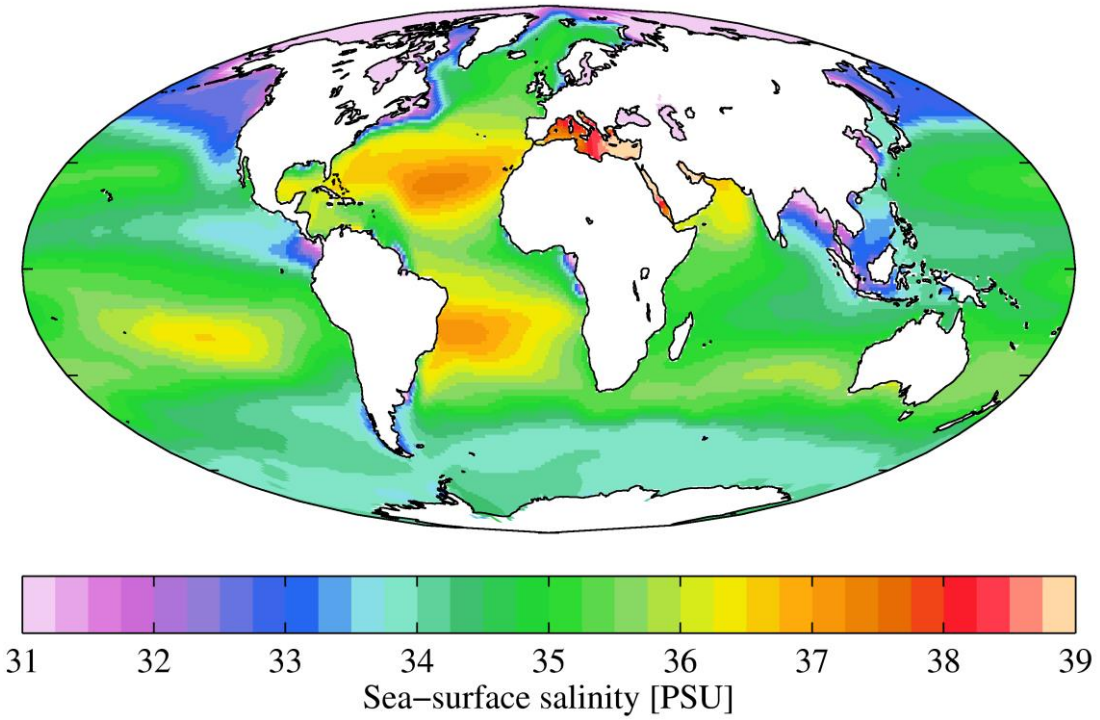


Die gleiche Masse Wasser, einmal im gefrorenen (links), einmal im flüssigen Zustand (rechts) im Wasser schwimmend.

Grafik: Ingo Mennerich

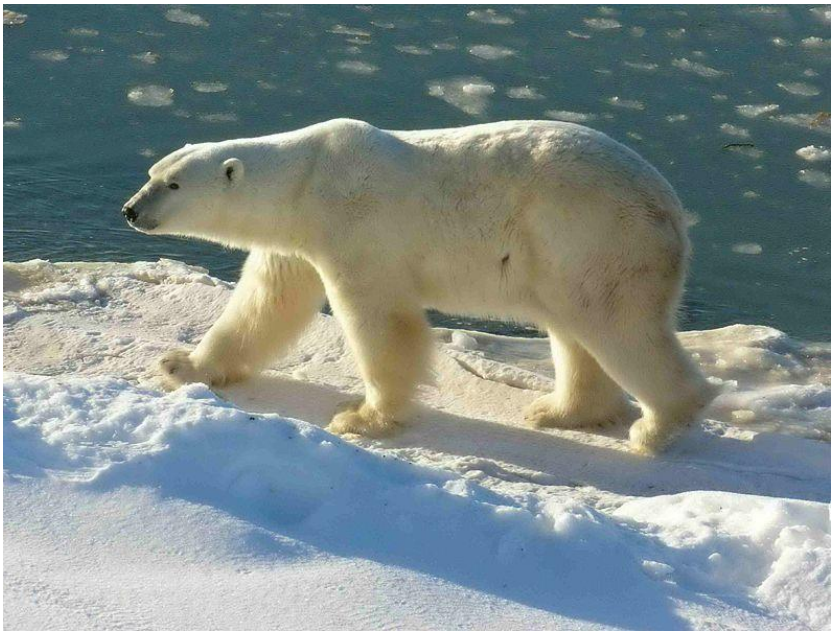
	Dichte g/cm^3	Volumen cm^3 von 1 g
Wasser	1,00	1,00
Eis	0,92	1,09
Meereis (0°C, Salzgehalt 3 - 5‰)	0,92	1,09
Meerwasser (Salzgehalt 31 -39‰)	1,031 - 1,039	0,97 - 0,96

Salzgehalt der Ozeane



Quelle: Wikipedia, "seawater"

Eisbären, Eisschollen und etwas Hydrostatik: Klein Platz mehr für "Knut"?



Ein großer weiblicher Eisbär wiegt 300 kg und steht auf einer auf Meerwasser schwimmenden quaderförmigen 10 m^3 großen und 1 m dicken Eisscholle (Meereis, Dichte 0,92 g/cm^3).
Kann sie ihn tragen?

Dichte Meerwasser: 1,03g/cm^3
Dichte Meereis: 0,92g/cm^3
Dichteunterschied zwischen Meerwasser und Meereis (Eisscholle): 0,11 g/cm^3 oder 110kg/m^3.
1 m^3 Meereis trägt daher maximal (im hydrostatischen Gleichgewicht) eine Masse von 110 kg.

Wie tief taucht die Scholle ins Wasser ein?
Ohne die Eisbärin liegen 89% der Scholle unter Wasser (bzw. sie ragt zu 11% aus dem Wasser).
Die Scholle hat eine Masse von 10*1000000cm^3*0,92g= 9200 kg.
Zusammen mit der Eisbärin wiegt sie 9500 kg (also 0,95g/cm^3).
Damit verringert sich der Dichteunterschied zwischen Meerwasser und Eisscholle auf 0,08g/cm^3.
Mit der Eisbärin taucht die Scholle mit 92% der Dicke ein (bzw. ragt mit 8% aus dem Wasser empor).

Könnte sie zusätzlich auch noch einen männlichen Eisbären (800 kg) tragen?
Zusammen mit beiden Eisbären wiegt die Scholle 10300 kg (also 1,03g/cm^3). Damit hat sie die gleiche Masse wie das von ihr verdrängte Wasser und wiegt **nichts**.
Anders ausgedrückt: 10 m^3 Meereis könnten (maximal) 10*1000000*0,11g/cm^3 = 1100 kg oder das Gewicht beider Eisbären tragen.

Was geschieht, wenn die Scholle in zwei gleiche Teile (5m^3) zerbricht?
Dann muss der männliche Eisbär schwimmen…

Ist der Golfstrom durch schmelzendes Meereis in Gefahr?

Der Golfstrom als Teil der weltumspannenden, alle Meeresströmungen beeinflussenden thermohalinen Zirkulation ist möglicherweise durch den Zustrom von Süßwasser vom Nordpol in Gefahr.

Die Konsequenzen eines versiegenden Golfstroms wären dramatisch: Europa würde ohne den Warmwasserzustrom aus der Karibik erheblich kälter werden.

Aber warum eigentlich "Süßwasser". Meereis ist doch gefrorenes Meerwasser. Müsste es dann nicht salzig sein?

Ein Experiment zeigt, was beim Gefrieren von Meerwasser geschieht:

Stellen Sie "Meerwasser" her (3,5% Salzgehalt, d.h. 35 g Salz in 1000 g Wasser) und lassen Sie es im Kühlschrank teilweise gefrieren. Schmecken Sie das entstandene Eis!

Es ist nicht annähernd so salzig wie das "Meerwasser"!

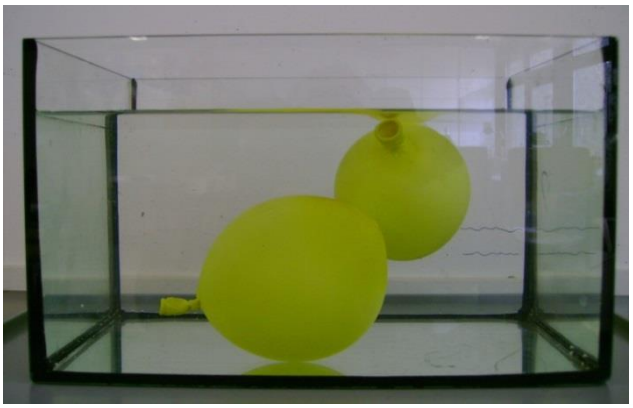
Dafür ist das noch nicht gefrorene Wasser umso salziger!

Wenn man "Meerwasser" und "Meereis" im Vergleich vollständig verdunsten lässt, bleibt beim Meereis nur ein geringer Salzrest übrig. Tatsächlich werden nur wenige Ionen (Na+, Cl-) in die Gitterstruktur des Eises eingebaut. Meereis enthält nur 0,3 - 0,5% Salz, Meerwasser etwa 3,5%.

Süßwasser hat eine geringere Dichte als Salzwasser und ist daher leichter. Süßwasser liegt auf dem schwereren Salzwasser und sinkt darin nicht ab. Unter der subtropischen Sonne des mittleren Nordatlantiks verdunstet ein Teil des Oberflächenwassers dessen Salzgehalt und Dichte folglich steigt. Das Absinken des immer salziger werdenden Golfstroms in größere Tiefen ist ein wichtiger Motor der **thermohalinen Meereszirkulation**. Durch Vermischung mit dem Schmelzwasser aus der Arktis und damit einhergehende Aussüßung wird dieser Motor möglicherweise erheblich gestört.

Wir haben uns im Schulbiologiezentrum Hannover mit der Frage beschäftigt, in wie weit man den Golfstrom und seine mögliche Gefährdung im "Aquarium" simulieren kann. Dazu wird in absehbarer Zeit eine weitere Arbeitshilfe erscheinen.

Ein Beispiel daraus:

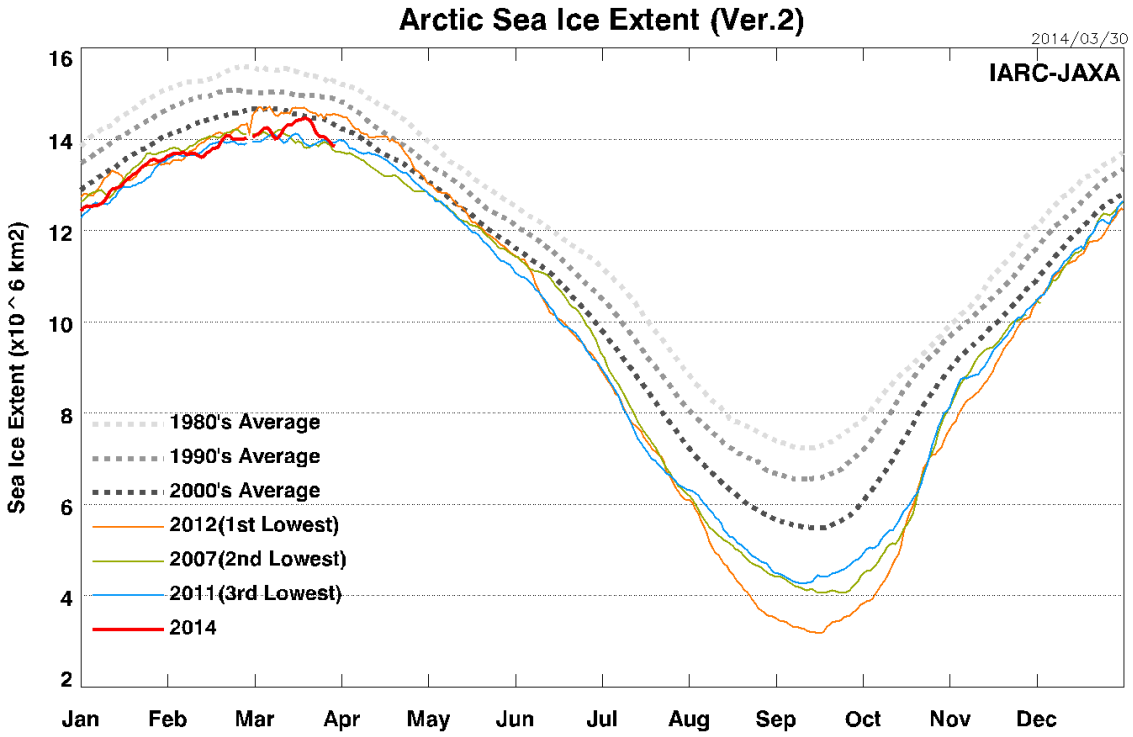


Zwei Luftballons, einer mit Leitungswasser, der andere mit "Meerwasser" gefüllt, schwimmen in Leitungswasser.
Beide Ballons verdrängen etwa soviel Wasser wie sie selbst enthalten. Welcher der beiden Ballons enthält "Meerwasser"?
Was geschieht wenn man das Wasser im Aquarium abkühlt oder erwärmt? Was, wenn Salz hinzugegeben wird?

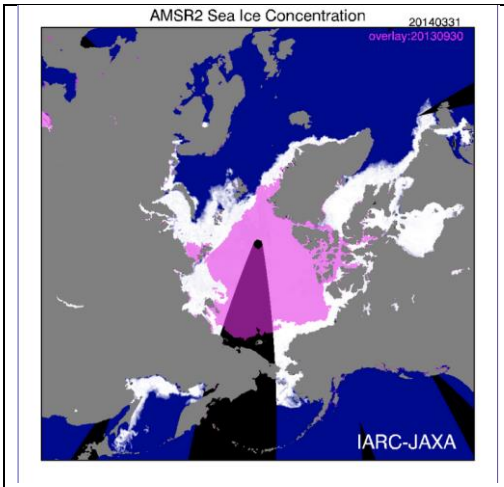
Aus: "Der Golfstrom im Aquarium" (Schulbiologiezentrum Hannover)

Anhang:

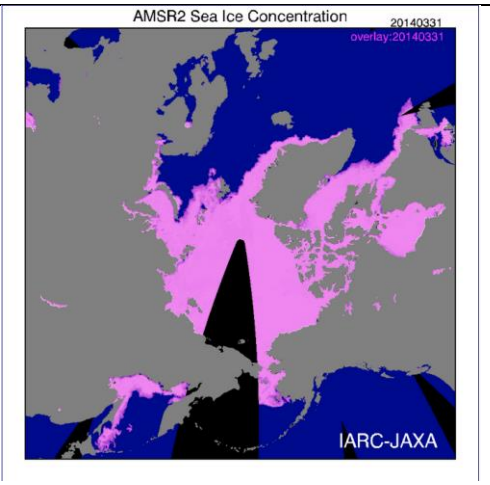
Im Internet finden Sie und Ihre SchülerInnen viele Karten, Daten und Quellen zur aktuellen und historischen Eisbedeckung der Arktis. Die von öffentlichen US-amerikanischen Einrichtungen publizierten Materialien haben den Vorteil, dass sie gemeinfrei sind, also keinem Copyright unterliegen. Hier nur einige "Appetithäppchen" die zu weiteren Nachforschungen anregen sollen.



Quelle: Arctic Sea-ice monitor, http://www.ijis.iarc.uaf.edu

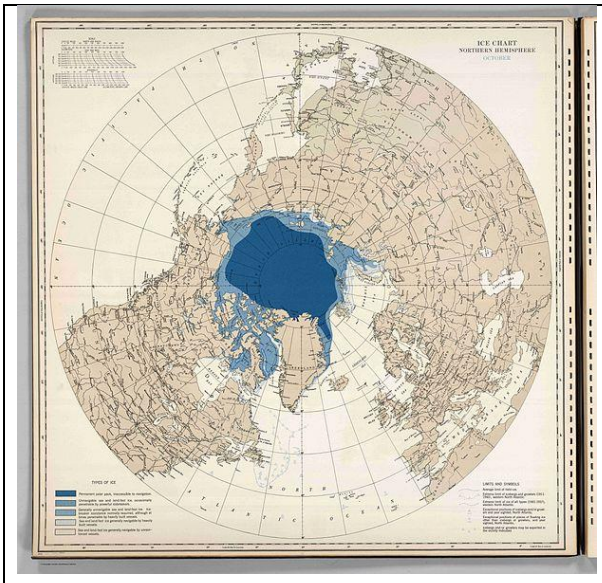


Eisbedeckung Arktis 30.09.2013



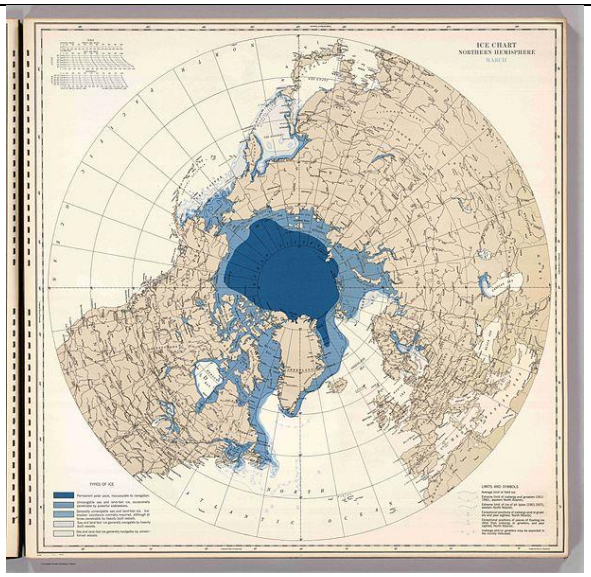
Eisbedeckung Arktis 31.03.2014

Quelle: Arctic Sea-ice monitor, http://www.ijis.iarc.uaf.edu



Arctic ice October 1946

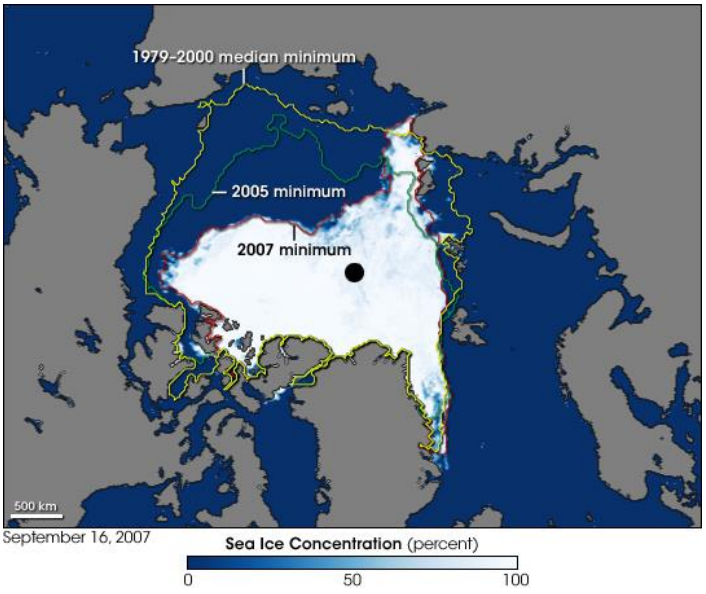
U.S. Navy - *Ice Atlas of the Northern Hemisphere*, 1946, David Rumsey Map Collection, Original



Arctic ice March 1946

Quelle: Wikipedia, Arctic ice pack, http://en.wikipedia.org/wiki/Arctic_ice_pack

Eisbedeckung 2007 (Minimum)



This image shows the Arctic as observed by the Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E) aboard NASA's Aqua satellite on September 16, 2007. The image shows a record sea ice minimum in the Arctic.

Quelle: NASA, Earth Obervatory,
Wikipedia: Wikipedia, Arctic ice pack, http://en.wikipedia.org/wiki/Arctic_ice_pack