

Name:

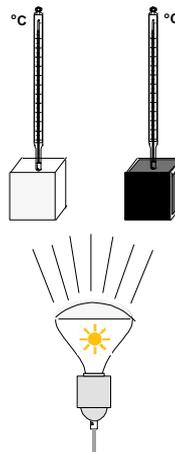
Datum:

Erwärmung der Erdoberfläche durch Bestrahlung: Variante A

Schwarze und weiße Würfel im Vergleich – Messung mit Thermometer

Geräte:

2 Thermometer, weißer Würfel (Pappe, 5 cm Kantenlänge, mit vorbereiteter Öffnung für ein Thermometer), schwarzer Würfel (Pappe, 5 cm Kantenlänge, mit vorbereiteter Öffnung für ein Thermometer), Lampe mit Leuchtmittel (Philips PAR38 EC SPOT 12, 230 V, 120 Watt), Lineal, Stoppuhr



Durchführung

1. Überprüfe, ob sich der weiße Würfel, der schwarze Würfel und die Lampe auf den vorgesehenen Positionen befinden. Die Lampe sollte schräg in Richtung zu den Würfeln ausgerichtet sein.
2. Miss den Abstand zwischen der Lampe und den Würfeln.

Abstand = _____ cm

3. Stecke in jeden Würfel ein Thermometer in die dafür vorbereitete Öffnung, so dass man alle Zahlen auf den Thermometern noch gut ablesen kann.

Verändere die Position der Würfel dabei nicht!

4. Nach einer Wartezeit von 1 – 2 Minuten starte die Stoppuhr und lies die Temperatur an den beiden Thermometern ab. Trage die Werte bei 0 Minuten in die Tabelle auf der nächsten Seite ein.
5. Schalte jetzt die Lampe ein, indem du den Stecker in die Steckdose steckst.
6. Lies jede Minute die Temperatur auf den beiden Thermometern ab und notiere die Werte in der Tabelle.
7. Beende die Messung nach 10 Minuten und schalte die Lampe aus.

Was beobachtest du?

Zeit [min]	Temperatur [°C] weißer Würfel	Temperatur [°C] schwarzer Würfel
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Berechne jeweils die Unterschiede zwischen den Anfangs- und Endtemperaturen:

Weißer Würfel: _____ °C

Schwarzer Würfel: _____ °C

Was stellst du fest?

Was bedeutet das für die Erwärmung der Erdoberfläche?

Name:

Datum:

Erwärmung der Erdoberfläche durch Bestrahlung: Variante B

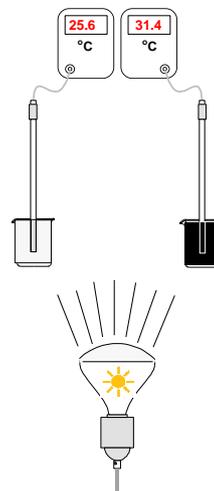
Schwarze und weiße Oberflächen im Vergleich – Messung mit einem Thermoelement

Geräte:

Becherglas (25 mL, mit schwarzer Pappe ummantelt), Becherglas (25 mL mit weißer Pappe ummantelt), Messzylinder (25 mL), 2 Minicomputer mit Thermoelement, Lampe mit Leuchtmittel (Philips PAR38 EC SPOT 12, 230 V, 120 Watt), Lineal, Becherglas mit Leitungswasser (100 mL)

Material:

Leitungswasser



Durchführung

1. Fülle in jedes Becherglas 20 mL kaltes Leitungswasser. Verwende zum Abmessen den Messzylinder.
2. Stelle in jedes Becherglas ein Thermoelement, das an einen Minicomputer angeschlossen ist.
3. Stelle die Bechergläser auf die markierten Positionen in 20 cm Entfernung von der Lampe.
4. Überprüfe, ob an den Minicomputern eine Messdauer von 600 Sekunden und ein Messintervall von 60 Sekunden eingestellt sind.

*Die Minicomputer wurden bereits vorbereitet. Du wirst eine Temperaturmessung über 10 Minuten durchführen und dabei jede Minute einen Wert messen. **Verändere die Einstellungen nicht eigenständig!***

5. Starte gleichzeitig die Messung mit beiden Thermoelementen, indem du auf beiden Minicomputern auf das Feld MESSEN drückst.

6. Schalte sofort danach die Lampe ein, indem du den Stecker in die Steckdose steckst. Achte darauf, dass die Lampe die Bechergläser gleichmäßig von schräg oben bestrahlt!
7. Notiere die Messwerte, die die Minicomputer anzeigen, in der folgenden Tabelle.
8. Schalte die Lampe nach Ende der Messzeit aus und schütte das Wasser aus den Bechergläsern in den Ausguss.

Messwerte:

Zeit [min]	Temperatur [°C] Becherglas mit weißer Pappe	Temperatur [°C] Becherglas mit schwarzer Pappe
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Berechne jeweils die Unterschiede zwischen den Anfangs- und Endtemperaturen:

Becherglas mit weißer Pappe: _____ °C

Becherglas mit schwarzer Pappe: _____ °C

Welche Beobachtungen hast du gemacht?

Was bedeutet das für die Erwärmung der Erdoberfläche?

Informationen zu den Versuchen „Erwärmung der Erdoberfläche durch Bestrahlung“ – Eis-Albedo-Rückkopplung

In diesen Versuchen sollen die SchülerInnen Temperaturveränderungen von schwarzen und weißen Pappen, die mit Licht bestrahlt werden, indirekt messen. Die Versuche stellen ein Modell für die Erde, die von der Sonne bestrahlt wird, mit ihren unterschiedlichen Oberflächen dar. Damit sind diese Versuche im Kontext zum Thema Klimawandel zu betrachten.

Hintergrund

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel auf der Erde wird beobachtet, dass Eisflächen wie Gletscher oder die Polkappen durch die steigende mittlere globale Temperatur der Luft in Bodennähe vermehrt schmelzen. Insbesondere das Schmelzen des arktischen Eises bringt weitreichende regionale Gefahren wie ansteigende Lufttemperaturen, auftauende Permafrostböden und ansteigende Meeresspiegel mit sich.¹

Der Anstieg der mittleren globalen Temperatur der Luft und seine Folgen wurde hauptsächlich durch Menschen seit Beginn der Industrialisierung verursacht und wird daher als anthropogener Treibhauseffekt bezeichnet (anthropogen = von Menschen verursacht).² Dieser wird in einem Versuch zum Treibhauseffekt von Kohlenstoffdioxid in unserer Reihe experimentell untersucht und in den Hintergrundinformationen vertieft behandelt.

Wie kommt es zur Erwärmung der Erdoberfläche? Trifft Licht, das elektromagnetische Strahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen darstellt, auf eine Oberfläche, so kann es reflektiert oder absorbiert werden. Wird das Licht absorbiert, werden dadurch Atome und Moleküle je nach Wellenlänge elektronisch (Ultraviolett- (UV-) und sichtbarer Bereich) oder zur Bewegung, d. h. zum Schwingen und Rotieren angeregt (Infrarot- (IR-) Bereich). Wird dabei das sichtbare Licht vollständig absorbiert, so sieht die Oberfläche schwarz aus.³ Im Resultat enthält die Oberfläche mehr Energie, sie wird warm.

Je nach Beschaffenheit der Erdoberfläche ist die Erwärmung bei gleicher eingestrahelter Energie größer oder kleiner. Daraus kann man schließen, dass Strahlung von dunklen Oberflächen überwiegend absorbiert, während sie von hellen Flächen überwiegend reflektiert wird. Den Grad der Reflexion bezeichnet man dabei als „Albedo“ (aus dem Lateinischen: albus = weiß), die aus dem Verhältnis von rückgestrahltem zu eingestrahlttem Licht berechnet wird und damit immer eine dimensionslose Zahl ≤ 1 ist.⁴ Die durchschnittliche Albedo der Erde ist 0,3 (sphärische Albedo). Das bedeutet, dass im Mittel 30 % des Sonnenlichtes, das die Erde erreicht, wieder in den Weltraum zurückgestrahlt wird. Die verschiedenen Oberflächen der Erde tragen unterschiedliche Werte zur Albedo bei (s. Tabelle 1)⁵. Eine hohe Albedo findet man z. B. für Schnee, niedrige Werte für Wald oder Ackerland (Abbildung 1).⁶

Wie eingangs erwähnt, wird ein Teil der von der Oberfläche unseres Planeten absorbierten Sonnenstrahlung als längerwellige Wärmestrahlung wieder abgestrahlt. Diese wird von Treibhausgasen wie Wasser (H_2O in den Wolken), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Methan (CH_4) absorbiert und in alle Richtungen wieder abgegeben. Die Folge ist, dass die Wärmestrahlung lange in der Atmosphäre bleibt und sie erwärmt (s. Versuche und Hintergrundinformationen zu „Modell für den Treibhauseffekt“ und „Erwärmung von Gasen durch IR-Strahlung“). Diese Erwärmung befördert nun das Abschmelzen von

Gletschern und Eisflächen. Damit treten an die Stelle weißer, stark reflektierender Oberflächen dunkle, stärker absorbierende. Diese befördern mit ihrer Transformation kurzwelliger Strahlung (UV, sichtbares Licht) in längerwellige Wärmeabstrahlung (IR), zusätzlich durch Wechselwirkung mit den Treibhausgasen, die weitere Erderwärmung. Und damit schließt sich der Kreis. Wir haben es hier mit einem **positiven Rückkopplungseffekt** zu tun, der **Eis-Albedo-Rückkopplung**¹. Eine Rückkopplung kann stabilisierend wirken – so funktionieren viele unserer Körperfunktionen – oder aber wie im Fall vieler den Klimawandel befördernden Prozesse verstärkend wirken, wenn sich Ursache und Wirkung gegenseitig befeuern.

Tabelle 1: Albedo-Werte verschiedener Oberflächen⁵

Material	Albedo
Frischer Schnee	0,80–0,90
Alter Schnee	0,45–0,90
Wolken	0,60–0,90
Wüste	0,30
Savanne	0,20–0,25
Felder (unbestellt)	0,26
Rasen	0,18–0,23
Wald	0,05–0,18
Asphalt	0,15
Wasserfläche (Neigungswinkel > 45°)	0,05
Wasserfläche (Neigungswinkel > 30°)	0,08
Wasserfläche (Neigungswinkel > 20°)	0,12
Wasserfläche (Neigungswinkel > 10°)	0,22

Die Albedo ist das Reflexionsvermögen einer Oberfläche. Angegeben wird die Höhe der Reflexion in Prozent. Wird das Sonnenlicht nicht reflektiert, sondern absorbiert, erwärmt sich der Körper und die umgebende Luftschicht.

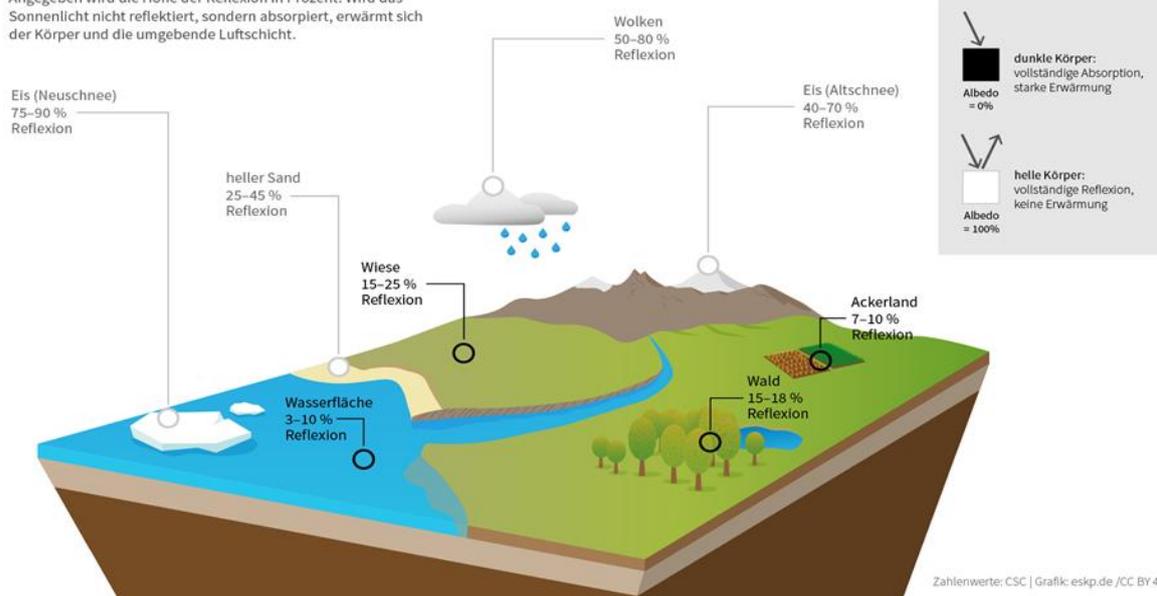


Abb. 1: Albedo verschiedener Erdoberflächen⁶

Erklärungen zu den Versuchen

Vorbemerkung

Für diesen Versuch gibt es zwei unterschiedliche Varianten, damit er sowohl mit dem Thermometer als auch mit mehr technischer Ausstattung in Form eines Thermoelements und Minicomputer durchgeführt werden kann.

Die gemessenen Werte können allerdings nur qualitativ ausgewertet werden und insbesondere ein Vergleich der in Variante A und B gemessenen Differenzen ist aus mehreren Gründen physikalisch nicht sinnvoll. Diese Gründe sind z. B. die unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten von Luft und Wasser,⁷ die Glasschicht zwischen Pappe und Medium, die in Form eines Becherglases in Variante B eingesetzt wird, und die unterschiedliche Temperaturübertragung beim Thermometer gegenüber dem Thermoelement.

Variante A: Erwärmung der Erdoberfläche durch Bestrahlung – schwarze und weiße Würfel im Vergleich (mit Thermometer)

Die SchülerInnen sollen in diesem Versuch messen, wie stark sich die Luft in einem schwarzen Würfel im Vergleich zu einem weißen bei Bestrahlung erwärmt. Beide Würfel werden nebeneinander, aber ohne sich zu berühren, in den Strahlengang einer Lampe gelegt. Wichtig ist, dass beide Würfel den gleichen Abstand und die gleiche Position zur Lampe haben (Vergleichbarkeit!). Die Positionen werden für die SchülerInnen in der Vorbereitung des Versuchs auf der Arbeitsfläche markiert. Sollte die Arbeitsfläche sehr kalt sein, wie man es bei Labortischen im Winter feststellen kann, empfiehlt es sich, die Würfel auf einer isolierenden Platte aus Holz, Kunststoff oder Pappe aufzubauen. Beide Würfel haben eine Öffnung, in die jeweils ein Thermometer passt. Die Thermometer sollen jeweils so in die Öffnung gesteckt werden, dass es nicht die bestrahlte Wand des Würfels von innen berührt, dass die Skala gut ablesbar ist, und so, dass es auf der von der Lampe abgewandten Seite auf der Unterlage liegt, damit das Steigrohr nicht direkt bestrahlt wird. Über einen Zeitraum von 10 Minuten werden jede Minute die Temperaturen an beiden Thermometern abgelesen und die Werte in eine Tabelle eingetragen. Vor einer zweiten Messung müssen die Würfel und Thermometer auf Raumtemperatur abkühlen.

Variante B: Erwärmung der Erdoberfläche durch Bestrahlung – schwarze und weiße Oberflächen im Vergleich (mit Thermoelement und Minicomputer)

Auch in diesem Versuch sollen SchülerInnen messen, wie sich die Temperatur von Schwarz zu Weiß bei Bestrahlung verhält. Hier wird die Wärme allerdings von Pappflächen aufgenommen und über ein Becherglas auf kaltes Leitungswasser übertragen. Die Pappe wird jeweils eng um ein kleines Becherglas gelegt und mit einem Klebestreifen befestigt. Die Bechergläser werden mit Leitungswasser gefüllt und in den Strahlengang einer Lampe gestellt. Die Pappflächen verdecken die Bechergläser vollständig. Auch in diesem Versuch ist es wichtig, dass sich beide Bechergläser in gleichem Abstand und Position zur Lampe befinden. Neben den Markierungen für die Positionen der Geräte werden für diesen Versuch außerdem zwei Minicomputer für die Erfassung einer Temperaturmessung über einen Zeitraum von 10 Minuten (600 s) mit einem Intervall von 1 Minute (60 s) für die SchülerInnen vorbereitet. Die gemessenen Werte werden

von den SchülerInnen in eine Tabelle übertragen. Sie können abschließend auch auf einem mobilen Datenträger gespeichert und mitgenommen werden. Die Temperaturmessung erfolgt mit zwei Thermoelementen, die sich jeweils im Becherglas im Wasser befinden.

Vor einer zweiten Messung müssen die Thermoelemente und die Bechergläser abkühlen und das Leitungswasser ausgetauscht werden.

Beobachtungen

In beiden Varianten des Versuchs kann durch die Temperaturmessung festgestellt werden, dass sich die Luft bzw. das Wasser hinter der schwarzen Pappe stärker erwärmt als hinter der weißen Pappe. Das Gelingen des Versuches ist nicht so sehr vom absoluten Abstand von der Lampe oder deren exakter Neigung abhängig. Entscheidend für die Vergleichbarkeit der Temperaturen ist, dass beide Gefäße im Versuch der gleichen Bestrahlung ausgesetzt sind!

Nach den ausgearbeiteten Versuchsvorschriften werden folgende Ergebnisse erhalten: Die Luft erwärmt sich etwa um 7 – 9 °C stärker in dem schwarzen gegenüber dem weißen Würfel. Bei dem Wasser im „schwarzen Becherglas“ beobachtet man Temperaturen, die etwa 5 – 7 °C höher als die Temperaturen im „weißen Becherglas“ liegen. Die Ergebnisse aus beiden Versuchen lassen sich wie oben ausgeführt nicht direkt miteinander vergleichen.

Deutung

In beiden Varianten des Versuchs können SchülerInnen feststellen, dass schwarze Flächen oder Körper Strahlung in stärkerem Maße absorbieren und sich dadurch in einem bestimmten Zeitraum stärker erwärmen als weiße. Diese qualitative Schlussfolgerung können sie anhand der jeweils höheren Temperatur des Mediums hinter der schwarzen Pappe treffen. Da bzw. wenn alle übrigen Parameter während der Messungen gleich gehalten werden, kann der beobachtete Effekt der „Farbe“ der Pappe zugeordnet werden.

SchülerInnen und Schüler kennen diesen Effekt vermutlich aus dem Alltag: In schwarzer Kleidung (sofern enganliegend, also schlecht durchlüftet) wird es uns in der Sonne schneller heiß, der Innenraum eines schwarzen Autos erwärmt sich schneller als der eines weißen.

Die Absorption, also die Aufnahme der elektromagnetischen Strahlung des Sonnenspektrums durch die Erdoberfläche bzw. das, was sich auf ihr befindet, hängt wesentlich von dessen Helligkeit und Morphologie ab. Auf üblicherweise unebenen (rauen) Oberflächen erfolgt die Rückstrahlung durch diffuse Reflexion, auf eher glatten Oberflächen spielt auch der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung eine wichtige Rolle für den reflektierten Anteil. Aufgrund dieser komplexen Zusammenhänge kann man für verschiedene Oberflächen, z. B. Schnee, Wasser, Sand, Wald, meist nur relativ weite Bereiche für die Albedo, ihr Rückstrahlvermögen, angeben (s. Tabelle 1).

Was hat es physikalisch mit der so großen Bedeutung der Helligkeit für die Albedo auf sich? Hier muss man sich bewusst machen, wie unsere Wahrnehmung von Farbe und Helligkeit mit der stofflichen Beschaffenheit eines Körpers zusammenhängen. Ein Gegenstand erscheint uns z. B. rot, weil seine Moleküle die Wellenlänge des komplementären

tären cyanfarbenen Lichtes aufnehmen können (subtraktive Farbmischung). Dessen Energie passt bautechnisch genau, um die Elektronen dieser „roten“ Moleküle anzuregen. Wenn ein Stoff kein Licht absorbieren kann, erscheint er uns transparent bzw. farblos. Der Eindruck einer „weißen Farbe“ kommt lediglich durch die Anordnung der Moleküle zustande, vergleichbar dem farblosen und transparenten Wasser und dem weiß erscheinenden Schnee. Je mehr Bereiche des Lichts ein Körper absorbieren kann, desto weniger bleibt für unser Auge übrig: er sieht im Extremfall schwarz aus. Logischerweise schluckt also eine schwarze Fläche mehr Energie – deshalb erscheint sie ja schwarz, während die weiße gerade deshalb weiß aussieht, weil sie die Strahlung nicht aufnehmen kann.

Zielsetzung der Versuche ist es, die Beobachtung in der anschließenden Besprechung im Labor, aber auch im begleitenden Schulunterricht in den Zusammenhang mit dem komplexen Thema Klimawandel zu stellen. Für die SchülerInnen muss die Verbindung vom Versuch zur Bestrahlung der Erde mit Sonnenlicht hergestellt werden. Dies kann beim Einstieg erfolgen, wenn man möglicherweise überlegt, wie man die Sonneneinstrahlung auf die Erde simulieren kann. Sicherlich können sie mit Hilfe des Versuchsergebnisses anschließend schlussfolgern, welche Oberflächen der Erde stärker durch Sonneneinstrahlung erwärmt werden und welche Konsequenzen für die Temperatur in der Atmosphäre zu erwarten sind. Tabelle 1 hilft bei der Einschätzung, welche Eisverluste (Landeis, Meereis) die größeren Effekte hervorrufen.

Insbesondere in der Arktis führen Rückkopplungsprozesse zu einem stärkeren Temperaturanstieg als global beobachtet wird, wofür neben dem Eisverlust die Zunahme an Treibhausgasen und auch Ruß verantwortlich sind, der durch den Wind von Regionen mit Waldbränden auf das Eis gebracht wird.^{1,8}

Quellen

1. https://de.wikipedia.org/wiki/Folgen_der_globalen_Erwärmung_in_der_Arktis (Zugriff am 22.11.2020)
2. <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhauseffekt> (Zugriff am 03.06.2020)
3. <http://www.schulbiologiezentrum.info/AH%2019.69%20Klimawandel%20Dunkle%20Arktis.pdf> (Zugriff am 10.10.2020)
4. <https://de.wikipedia.org/wiki/Albedo> (Zugriff am 18.11.2020)
5. [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_\(einfach\)](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_(einfach)) (Zugriff am 19.07.2020)
6. eskp.de (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albedo-Rückstrahlung_Infografik.png), <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode> (Zugriff am 18.11.2020)
7. <https://www.energie-lexikon.info/waermeleitfaehigkeit.html> (Zugriff am 18.11.2020)
8. <https://www.weltderphysik.de/gebiet/erde/news/2011/russ-auf-dem-mount-everest/> (Zugriff am 27.06.2020)