

Könnte der Eisbär mit einem schwarzen Pelz die Wärmestrahlung der Sonne besser nutzen?

G. Colicchia, H. Wiesner, M. Hopf und C. Mauch

Zu unseren Alltagserfahrungen gehört, dass auf schwarze Körper durch das Sonnenlicht mehr Wärme als auf weiße Körper übertragen wird. In jedem Sommer spürt man das ja in Autos mit dunkler Lackierung im Vergleich zu Autos mit weißem Lack. Hat dann – so könnten sich die Schülerinnen und Schüler fragen - die Natur den tropischen Tieren dunkle Haare und den polaren Tieren weiße Haare gegeben, damit die ersten sich überwärmen und die zweiten wenig Sonnenlicht nutzen können? Oder stimmt es nur unter speziellen Bedingungen, dass weiße Körper (Tiere) sich weniger als schwarze Körper durch Sonnenlicht erwärmen?

In diesem Beitrag wollen wir diesen Fragen nachgehen, und zwar auf einem für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I zugänglichen Niveau. Detailliertere physikalische Betrachtungen und Untersuchungen werden später veröffentlicht. Wir werden zeigen, dass der weiße Pelz der Eisbären zur Sonnenlichtnutzung günstiger ist als ein schwarzer Pelz. Daneben hat der weiße Pelz selbstverständlich die sehr wichtige Funktion, den Bären im Eis gut zu tarnen.

Das Thema ist verknüpft nicht nur die Physik mit der Biologie, es enthält auch in starkem Maße geographische Aspekte.

Der Eisbär

Die Eisbären haben sich während des Pleistozän (Zeitperiode von vor etwa 1,8 Millionen bis 11000 Jahren) von den Braunbären abgespalten und im Treibeis des Nordpolarmeeres und den umgebenden arktischen Landstrichen ihren neuen Lebensraum erobert. Eisbären besitzen einen sehr kurzen Schwanz, einen schmalen Kopf und kleine, abgerundete Ohren. Ihre Fußsohlen sind dicht behaart, um gegen Kälte geschützt zu sein. Eisbären können auch sehr schnell (bis zu 40 km/h) laufen und hervorragend schwimmen. Ihre Hauptnahrungsquellen sind Robben, Fische und Seevögel [1].

Die Eisbären sind Warmblüter. Die innere Körpertemperatur liegt bei 38 °C, an der Hautoberfläche beträgt sie bei ruhigem Wetter 30-36 °C und geht bei Wind bis auf 27 °C zurück. Wegen des kalten Lebensraums sollen die Eisbären möglichst wenig Wärme abgeben. Der Winterschlaf (mehr als 4 Monate) findet in selbst gegrabenen Eishöhlen statt. Dabei reduziert der Eisbär seinen Energieumsatz ganz erheblich und lebt von den angefressenen Fettpolstern.

Das weiße Fell

Die Eisbären schwimmen im kalten Wasser und liegen auch direkt auf dem Eis. Deswegen benötigen sie eine möglichst dicke Fettschicht zum Schutz im Wasser und ein sehr gut isolierendes Fell gegen das Eis, die sehr kalte Luft und den starken Wind.

Das gelblich-weiße Fell der Eisbären ist extrem dicht und Wasser läuft sofort ab. Die vielen in ihm eingeschlossenen kleinen Luftpöcher isolieren so gut, dass Eisbären kaum Wärme verlieren. Dazu trägt auch die dicke Fettschicht direkt unterhalb der Haut bei. Selbst mit Wärmekameras (Infrarot) sind Eisbären nicht zu entdecken, da sie so wenig Wärmestrahlung abgeben.

Es gibt die Auffassung, dass die Haare des Eisbärpelzes eine den Lichtleitern ähnliche Funktion haben: Sonnenlicht sollte in sie eindringen und durch Totalreflexion auf die schwarze Haut des Eisbären effizienter als bei normalen weißen Haaren geleitet werden [2], [3], [4]. Durch Fluoreszenz soll in den Haaren ein Teil des ultravioletten Lichtes in Licht niedrigerer Frequenz umgewandelt werden, so dass noch mehr Strahlungsenergie für den Wärmehaushalt genutzt werden kann. Durch neuere, direkte Messungen an Haaren von

Eisbären und Re-Analyse von älteren Daten wird diese Ansicht inzwischen in Zweifel gezogen [5].

Das Fell ist zum Teil durchsichtig, so dass ein beträchtlicher Teil der einfallenden Wärmestrahlung auf die schwarze Haut des Bären gelangt, und dort absorbiert wird.

Nach empirischen Messungen von Øritsland und Lavigne [6] beträgt der Wärmeverlust W_{verl} eines Eisbären mit der Laufgeschwindigkeit v_L

$$W_{\text{verl}} = 62,8 + 4 v_L \text{ (Zahlenwert in W/m}^2, v_L \text{ in m/s einsetzen).}$$

Die diffuse Sonnenstrahlung in der Arktis liefert bei bewölktem Himmel dem Eisbären durch Absorption immerhin schon eine Leistung von $70 - 130 \text{ W/m}^2$. Diese kompensiert in etwa den Wärmeverlust. Der Verlust steigt bei Wind erheblich an. Dann wird zur Reduzierung von Energieverlusten die Temperatur an der Hautoberfläche deutlich abgesenkt.

Unterrichtliches Vorgehen in der Sekundarstufe I

Recht realitätsnah wäre die Verwendung und der Vergleich von weißen und schwarzen Webpelzen (oder wenigstens dicken Textilien). Unsere Bemühungen entsprechende Pelze zu finden, die deutliche und reproduzierbare Effekte zeigen, die denen beim Eisbärfell entsprechen, waren erfolglos. Streuung, Transmission und Absorption hängen sehr empfindlich von den Pigmenten und dem Material der Pelze und Stoffe ab. Wir schlagen deshalb im Folgenden sehr vereinfachte Modellversuche vor.

Man beginnt mit einem Versuch der zu bestätigen scheint, dass sich schwarze Körper erwartungsgemäß bei Bestrahlung mit intensivem Licht schneller als weiße erwärmen.

Versuch 1: Lehrerdemonstrationsversuch - Beleuchtung einer schwarzen und einer weißen Metalldose

Man stellt eine schwarze und eine weiße Metalldose (oder eine andere völlig lichtundurchlässige Dose) unter eine starke Lampe (wir haben eine 1000 Watt-Fotolampe benutzt (Achtung: Lampe und Umgebung werden sehr heiß), Abstand Lampe – Dosen etwa 80 cm) und misst die Temperatur der Luft im Doseninneren (Bild 1). Die Temperaturmessung wurde mit CASSY gleichzeitig für beide Dosen durchgeführt. Die beiden Temperaturfühler sind in passende kleine Löcher in der Seite der Dosen gesteckt. Die Temperatur in der schwarzen Dose steigt erwartungsgemäß schneller an (Diagramm 1). Die übliche Meinung, dass schwarze Körper sich unter der Sonne schneller erwärmen, scheint damit bestätigt. Um deutliche und rasche Temperaturänderungen zu erreichen, werden luftgefüllte Dosen verwendet, da die Wärmekapazität des eingeschlossenen Luftvolumens sehr klein ist.

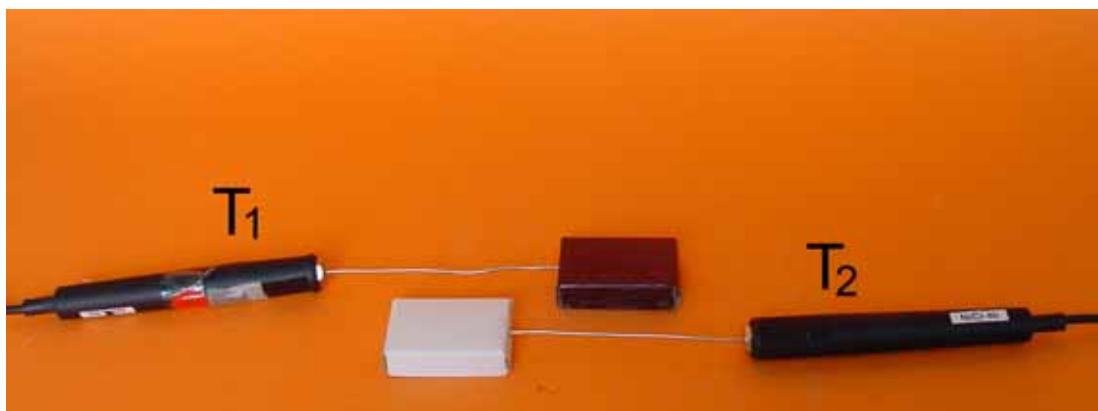


Bild 1: Versuchsanordnung

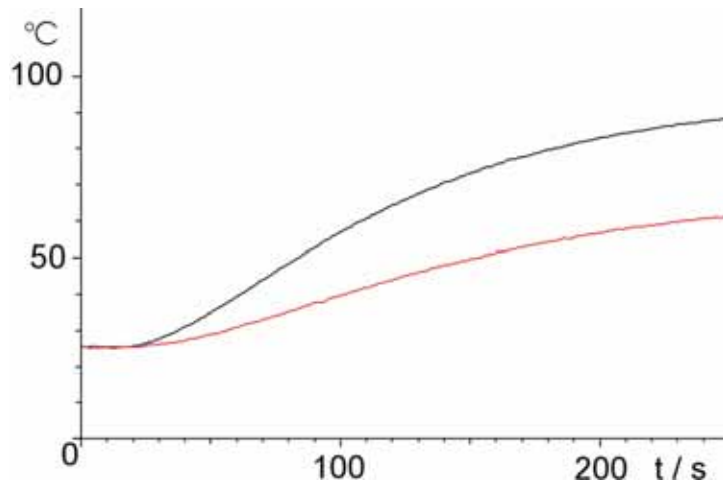


Diagramm 1: Temperaturverlauf in den beiden Dosen (Kurve oben schwarze Dose, unten weiße Dose)

Wenn man die Dosen anfasst, bemerkt man, dass die Oberfläche der schwarzen Dose deutlich wärmer ist als die der weißen. Da die schwarze Dose auch mehr Energie zum Inneren übertragen hat, schließt man, dass sie mehr Strahlungsenergie absorbiert hat, während die weiße Dose mehr Strahlungsenergie reflektiert hat.

Nun wird die Frage aufgeworfen, ob aus energetischen Gründen der Eisbär nicht besser ein dunkles Fell haben sollte, damit er mehr von der Sonnenstrahlung absorbiert. Dem wird in einem zweiten Versuch nachgegangen.

Versuch 2: Bestrahlung eines weißen und eines schwarzen Felles

Da das Eisbärfell zu einem beträchtlichen Teil für das Sonnenlicht durchlässig ist und sehr viel Luft zur Isolierung einschließt, wird das Eisbärfell durch eine durchsichtige, mit Luftblasen versehene Verpackungsfolie simuliert. Verglichen wird dies mit einer mit Folienstift außen schwarz gefärbten Folie der gleichen Art. Beide Folien sind um schwarz gefärbte Dosen gewickelt (Bild 2).



Bild 2: Simulation eines Bären mit lichtdurchlässigem (unten) und dunklem Fell (oben)

Die Temperatur unter der durchsichtigen Folie steigt deutlich schneller an als unter der schwarzen Folie! (Diagramm 2)

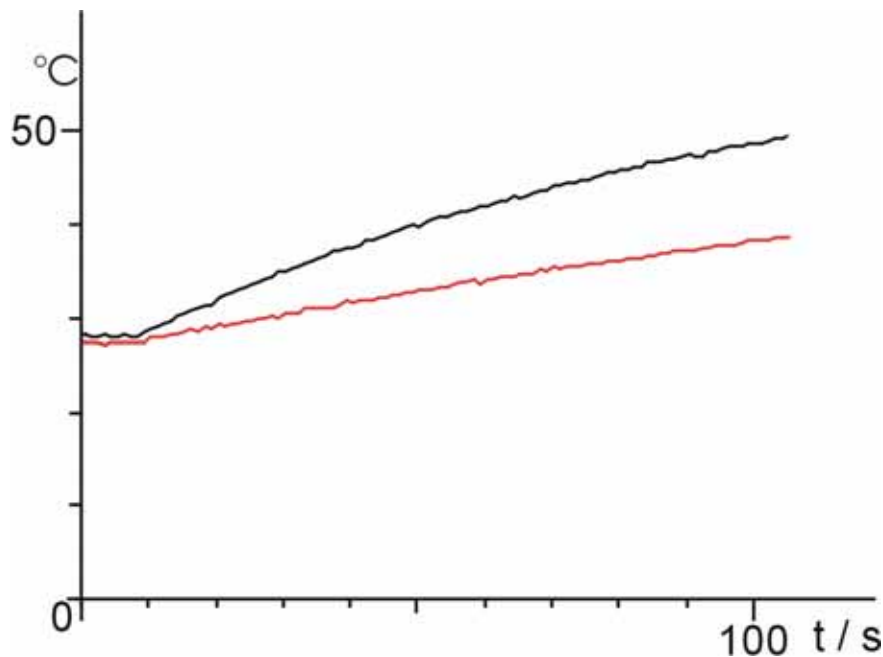


Diagramm 2: Obere Kurve: Temperaturverlauf in der mit durchsichtiger Folie umwickelten Dose; unten: Temperaturverlauf in der Dose, umwickelt mit schwarzer Folie

Ein noch stärker auf das Prinzipielle reduzierter Simulationsversuch verwendet zwei durchsichtige Plastikdosen, deren Boden mit schwarzem Stift gefärbt wird. Ein Deckel bleibt durchsichtig, der andere wird schwarz gefärbt. (Bild 3) Es ergibt sich wieder ein unterschiedlicher Temperaturanstieg wie in Diagramm 2.

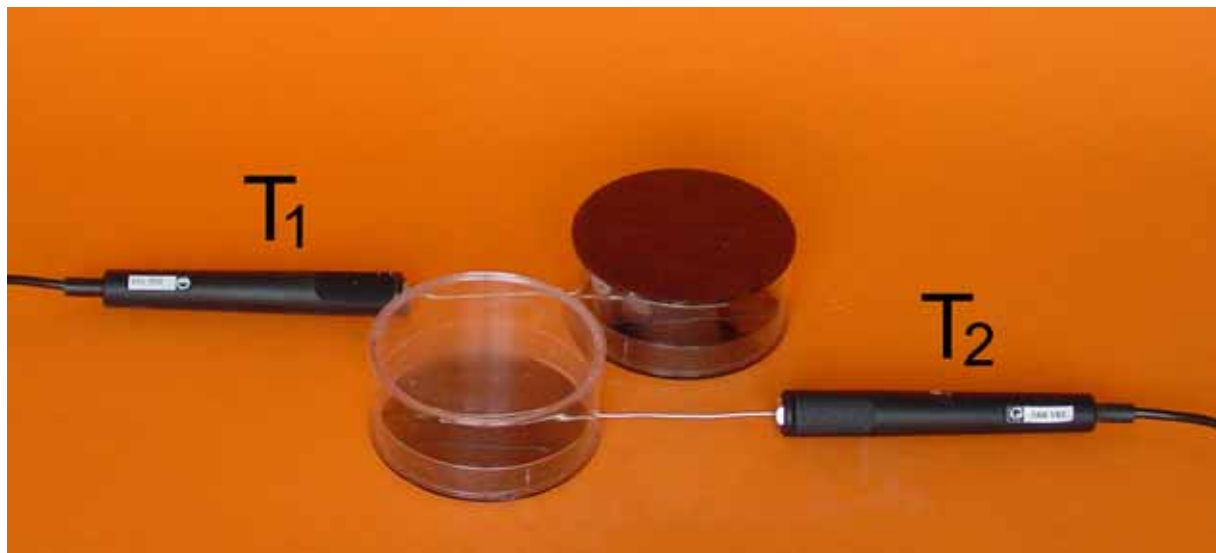


Bild 3: Vereinfachte Versuchsanordnung

Diese Ergebnisse stimmen überein mit der derzeitigen Sichtweise in der Tierphysiologie: „Dunkle Haare und Federn schützen die Haut gegen die schädigenden Wirkungen ultravioletter Strahlungsanteile. Obwohl sie eine beträchtliche Strahlungswärme absorbieren, stellen sie dennoch einen Überwärmeschutz dar, da die Wärme konvektiv abgeführt werden kann, bevor sie die Hautoberfläche erreicht. Weiße Haare und Federn reflektieren zwar einen größeren Teil der kurzwelligigen Strahlung, lassen aber die längerwellige Wärmestrahlung

weitgehend ungehindert zur Haut gelangen. Dunkel pigmentierte Tierarten sind daher für tropische Gebiete mit starker Sonneneinstrahlung u. U. besser angepasst“ [7]

Mit Hilfe des folgenden Tafelbildes kann der Sachverhalt als schematische Darstellung verdeutlicht werden:

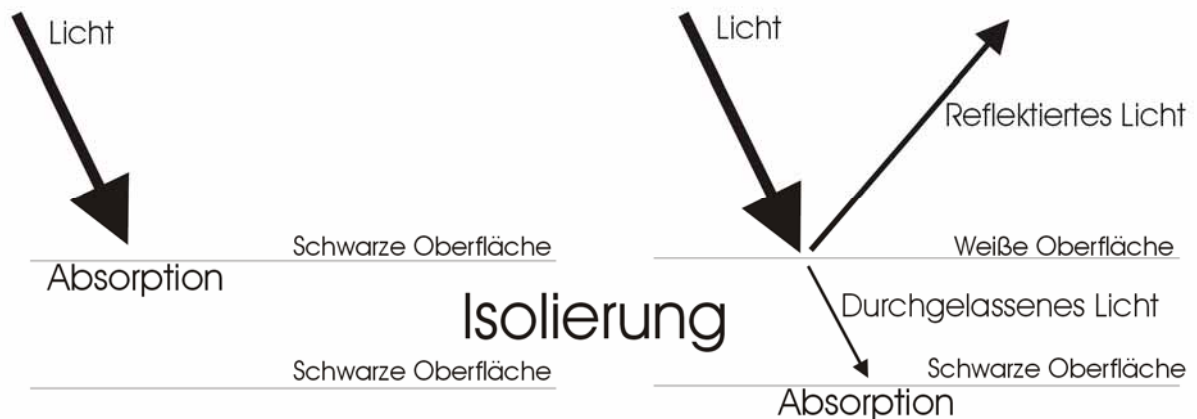


Bild 4: Tafelbild

Auf den Eisbären bezogen heißt dies: Ein dunkles Fell würde das ganze Licht an der Oberseite absorbieren und sich dort erwärmen. Dabei erwärmt sich hauptsächlich die oben liegende Luft im Fell. Beim Eisbären dagegen gelangen Teile der Sonnenstrahlung (vorwiegend der infrarote Anteil), die auf die Haare des Eisbären treffen, bis auf die schwarze Haut, werden dort absorbiert und erwärmen diese.

Zur Vertiefung können diese Erkenntnisse auf die folgenden Fragen angewendet werden:

- 1) Warum haben viele Tiere, die in warmen Ländern leben, braune Haare?
- 2) Warum haben Tiere, die in kalten Ländern leben, eine schwarze Haut?
- 3) Das Fell eines Eisbären wirkt wie ein „transparentes Isoliermaterial“ [8], [9]: Wärmestrahlung wird durchgelassen, im Inneren absorbiert und heizt damit auf. Gleichzeitig wirkt das Material (hier das Fell) wärmedämmend nach außen. Wo könnten solche Materialien sinnvoll eingesetzt werden?

Literatur

- [1] D. P. Demister; I. Stirling: Ursus Maritimus, Mammalian Species N. 145 (1981), 1-7.
- [2] R. E. Grojean; J. A. Sousa; M. C. Henry: Utilization of solar radiation by polar animals: an optical model for pelts, Applied Optics Vol. 19, N. 3 (1980), 339-346.
- [3] H. Tributsch et al.: Light collection and solar sensing through the polar bear pelt, Solar Energy Materials 21 (1990), S. 219-236.
- [4] U. Bossert: Modellexperimente zum Wärmehaushalt der Säugetiere, Biologie in der Schule 47 (1998) 5, S. 268-271.
- [5] D. W. Koon: Is polar bear hair fiber optic?, Applied Optics, Vol. 37, N. 15 (1998), S. 3198-3200.
- [6] N.A. Øritsland, D.M. Lavigne, Comp. Biochem. Physiol. 53 A (1976) S. 327
- [7] A. Scheunert, A. Trautmann: Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 1987, Berlin
- [8] W. Nachtigall; Das große Buch der Bionik. DVA, Stuttgart/München, 2000, S. 302ff.

[9] O.E. Berge: Transparente Wärmedämmung. Unterricht Physik, Heft 61 (2001), S. 22-25
Für Informationen über den Eisbären siehe die Adresse: <http://pbsg.npolar.no>