

Kälteschutzmechanismen des Eisbären



Eisbären (*Ursus maritimus*) sind die zweitgrößte Bärenrasse der Welt. Neben ihrem weißen Fell sind sie an einer Vielzahl weiterer Merkmale, etwa den großen Tatzen, die ihnen sowohl beim Schwimmen als auch bei der Fortbewegung im Schnee helfen, zu erkennen (Amstrup, Feldhamer, Thompson, & Chapman, 2003). Eisbären leben in der Arktis, rund um den Nordpol. Sie sind an das extreme Leben in der Arktis perfekt angepasst. Ihre innere Körpertemperatur sollte rund 37°C betragen. Nimmt die Wärmeabgabe durch das Sinken der Außentemperatur zu, hat der Eisbär unterschiedliche Strategien zur Bewältigung der Umgebungstemperaturen. Die Bandbreite der Strategien lässt sich in drei Kategorien unterteilen (vergleiche Abbildung).

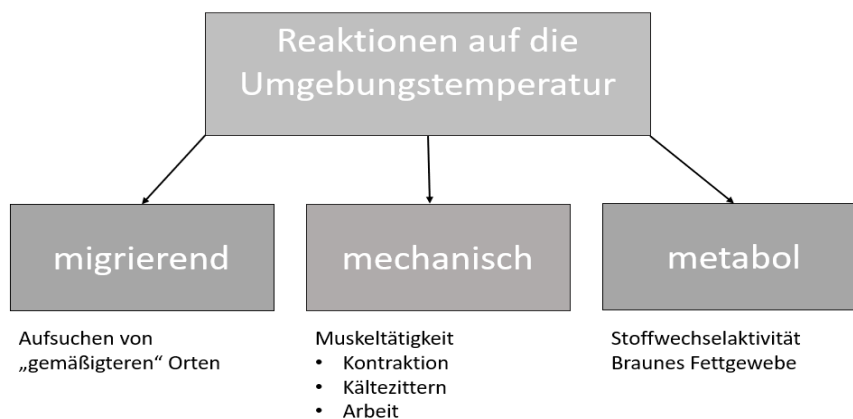


Abb.: Übersicht verschiedener Reaktionen des Eisbären auf die Umgebungstemperatur

Auch Eisbären können ihre Körpertemperatur durch ihr Verhalten beeinflussen. Hierzu machen sie sich die physikalischen Phänomene der Wärmeausbreitung zunutze, z.B. indem sie Orte mit einer „geeigneteren“ Temperatur aufsuchen (**migrierend**) oder die isolierende Wirkung von Schnee nutzen, wenn sie sich in eine Schneehöhle zurückziehen, um zu überwintern, wie es die trächtigen Weibchen tun. Die Männchen ziehen auch im Winter umher. Sie graben sich nur bei extremer Kälte, insbesondere arktischen Winden, für einige Zeit in eine Schneehöhle ein. Hier geht es insbesondere darum, Wärmeabgabe durch Wärmeströmung zu verhindern (A. S. Blix & Lentfer, 1979).

Eine **mechanische** Wärmegewinnung erfolgt durch das Einsetzen des Muskeltonus. Bereits durch das Anspannen der Muskulatur wird Wärme erzeugt. Bedingt ist dies durch den Wirkungsgrad der Muskulatur, der bei etwa 20% liegt. Die restlichen 80% werden in Form von Wärme abgegeben (Müller et al., 2019). Dieser Effekt kann durch das rhythmische Kontrahieren der Muskeln verstärkt werden. Wir kennen dieses Phänomen als Kältezittern.

Die **metabole** Wärmegewinnung erfolgt durch den Stoffwechsel der Eisbären. Die dabei bereitgestellte Energie wird durch chemische Reaktionen geliefert. Die Freisetzung von Wärme wird dabei oft als eine Art Abfallprodukt gesehen, das durch den Energiefluss zustande kommt und abgestrahlt wird. Bei lebenden Organismen bedingen sich Wärme und biochemische Reaktionen jedoch wechselseitig. Eine Erhöhung der Stoffwechselaktivität (= Umsetzung von Sauerstoff und Nährstoffen) setzt Wärme frei, die dazu beiträgt, die Körpertemperatur zu halten. Gleichzeitig bedarf es einer gewissen Körpertemperatur, um die biochemischen Reaktionen des Stoffwechsels überhaupt aufrechterhalten zu können

Eisbären verfügen zudem über ein spezielles Fettgewebe, das sog. braune Fett. Dieses Gewebe ermöglicht es, Fetteinlagerungen direkt mit Sauerstoff umzusetzen, ohne den Umweg über die Leber zu gehen. Die Energie wird dabei direkt zur Wärmegewinnung genutzt (Brandes, Lang, & Schmidt, 2019). Die metabole Wärmegewinnung stellt dabei die eleganteste Form der Wärmegewinnung abgeben (Müller et al., 2019)

Eisbären verfügen über eine Vielzahl weiterer körperlicher Anpassungen, die ein Leben in der Arktis ermöglichen. Im Folgenden nur die Anpassungen erörtert, die einen Schutz vor Wärmeverlust darstellen.

1. Das Fell

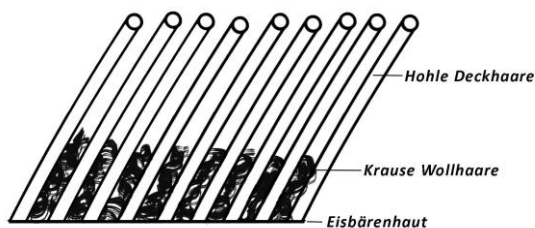


Abb.: Aufbau des Eisbärenfells

Das Fell besteht aus hohlen, durchsichtigen bis zu 30cm langen Deckhaaren und darunterliegenden gekräuselten Wollhaaren. Die transparenten Haare der Deckhaare reflektieren das Sonnenlicht nahezu vollkommen, wodurch es zum Eindruck der weißen Farbe kommt (Amstrup et al., 2003). Fast der ganze Körper des Eisbären ist mit Fell bedeckt. Auch die

Fußsohlen sind dicht behaart, nur die Ballen der Füße tragen keinen Pelz. Das Fell des Eisbären isoliert hervorragend. Die Isolationswirkung des Fells basiert zum einen auf den Luftpolstern zwischen den leicht gekräuselten Wollhaaren und in den hohlen Deckhaaren.

Luft isoliert etwa 25mal besser als Wasser. Wasser schütteln die Tiere nach einem Aufenthalt im Wasser sofort aus ihrem Fell. Das wird dadurch unterstützt, dass die Deckhaare ölig und wasserabweisend sind (Colichia & Wiesner, 1998).



Abb.: Fußsohle

2. Die schwarze Haut

Die Haut eines Eisbären ist schwarz. Früher nahm man an, dass die transparenten Haare des Eisbären wie Lichtleiter wirken, die die Wärmestrahlung der Sonne durch das Fell bis hin zur schwarzen Haut des Eisbären leiten. Dort würde die schwarze Haut die Wärmestrahlung absorbieren. Diese Annahme wurde mehrfach widerlegt.

Bereits 1988 äußerte Mirsky, dass eine Erwärmung durch die Sonne in polaren Regionen nur eine untergeordnete Rolle spiele. Koon widerlegte 1998 die Annahme der optischen Leitfähigkeit und stellte stattdessen fest, dass das UV-Licht von den Fellfasern schlicht absorbiert wird.

Mit der isolierenden Eigenschaft des Eisbärfells setzen sich auch Simonis et al 2014 auseinander. Sie konnten beobachten, dass bei Eisbären der Wärmeverlust durch Wärmestrahlung zehnmal so groß wie der durch Wärmeleitung ist. Da Eisbären aber mit einer Infrarotkamera so gut wie unsichtbar sind, kamen sie zu dem Schluss, dass das Fell die Infrarotstrahlung reflektiert. In der Tat scheinen die transparenten Haare des Eisbären, die vom Eisbären ausgehende Wärmestrahlung ähnlich einem Spiegel wieder auf den Körper zurückzuwerfen. Die schwarze Haut des Eisbären absorbiert also die reflektierte Infrarotstrahlung des Körpers und nicht die UV-Strahlung der Sonne (Simonis, Rattal, Oualim, Mouhse, & Vigneron, 2014).

3. Isolierende Fettschicht unter der Haut

Der Wärmeverlust vom Körperinneren an die Körperoberfläche wird durch die Fettschicht klein gehalten. Diese besitzt zum einen keine Blutgefäße und zum anderen ist die Wärmeleitfähigkeit von Fett gering. Entscheidend ist die Dicke der Fettschicht. Je dicker diese ist, desto geringer ist der Wärmeverlust an der Haut. Die Fettschicht des Eisbären ist in der Regel 5 bis 10 cm dick. (Colichia & Wiesner, 1998)

4. Weitere Anpassungen zur Reduktion des Wärmeverlusts

- **Verminderung der Hautdurchblutung**

Wärme wird im Inneren von Lebewesen über das Blut konvektiv transportiert. Um eine Wärmeabgabe über die Haut zu regulieren, können Lebewesen die Durchblutung der Haut und Extremitäten steuern. Ein verringerter Blutfluss bedeutet dabei auch einen geringeren Wärmeverlust in diesen Körperregionen.

- **Gegenstromprinzip**

Die großen Gefäße der Extremitäten (z.B. der Beine) sind parallel angeordnet. Das Blut der Arterien führt vom Zentrum des Körpers zu den Extremitäten hin und transportiert das auf Kerntemperatur erwärmte Blut mit sich. Das Blut in den Venen wird zum Körperinneren geführt und ist bereits abgekühlt, würde also kaltes Blut zur Körpermitte führen.

Da die Blutgefäße aneinander vorbeiführen, erwärmt das noch warme Blut der Arterien, das vom Körperinneren stammt, das schon erkaltete Blut in den Venen im Gegenstrom. So kommt das in den Arterien transportierte Blut kühler in den Extremitäten an. Das venös transportierte Blut wird auf seinem Rückweg zum Körper etwas aufgewärmt. Dies stellt eine Energieersparnis dar, da das kalte Blut nun weniger stark im Körperinneren erwärmt werden muss (Brandes et al., 2019).

- **Sohle des Eisbären**

Der nicht mit Fell bedeckte Teil der Sohle verfügt über polsterartige Strukturen aus Hornhaut, die ebenfalls eine Wärmeabgabe verhindern (Amstrup et al., 2003).

- **Kleine Ohren**

Wärmeverluste erfolgen über alle äußeren Oberflächen eines Eisbären. Das bedeutet: Je größer die Oberfläche, desto größer sind grundsätzlich die Wärmeverluste. Auffallend sind die kleinen runden Ohren, die zur Verringerung der Körperoberfläche beitragen.

- **Verringerung thermischer Fenster**

Thermische Fenster sind schwach isolierte Bereiche bei Lebewesen. Bei Eisbären sind die schwach isolierten Zonen die Schleimhäute und die Augen. Wobei letztere beim Eisbären kleiner als bei anderen Bären sind.

- **Große Nasenhöhle**

Im Vergleich zu anderen Bären ist die Nasenhöhle von Eisbären vergrößert. Diese Anpassung findet sich bei Tieren in Kältezonen häufig. Die größere Nase soll die kalte, trockene Luft stärker aufwärmen und befeuchten, so dass keine eiskalte Luft in die Lungen geführt wird (A. S. Blix, 2016).

Literatur

- Amstrup, S. A., Feldhamer, G. A., Thompson, B. C., & Chapman, J. A. (2003). *Polar bear. Ursus maritimus, Wild Mammals of North America: Biology, Management, and Conservation*: Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Blix, A. S. (2016). Adaptations to polar life in mammals and birds. *Journal of Experimental Biology*, 219(8), 1093–1105.
- Blix, A. S., & Lentfer, J. W. (1979). Modes of thermal protection in polar bear cubs--at birth and on emergence from the den. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 236(1), R67-R74.
- Brandes, R., Lang, F., & Schmidt, R. F. (2019). *Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie* (32. Auflage). Springer-Lehrbuch.
- Colichia, G., & Wiesner, H. (1998). Wärmeübertragung bei Tieren. *Unterrichtsvorschläge für ein fachübergreifenden Unterricht [Heat transfer in animals. Lesson materials for an interdisciplinary instruction]*. *Physik in Der Schule*, 36, 211-216.
- Koon, D. W. (1998). Is polar bear hair fiber optic? *Applied Optics*, 37(15), 3198–3200.
<https://doi.org/10.1364/AO.37.003198>
- Mirsky, S. D. (1988). Solar polar bears. *Scientific American*, 258(3), 24–26.
- Müller, W. A., Frings, S., & Möhrle, F. (2019). *Tier- und Humanphysiologie: Eine Einführung* (6. Auflage). Lehrbuch.
- Simonis, P., Rattal, M., Oualim, E. M., Mouhse, A., & Vigneron, J.-P. (2014). Radiative contribution to thermal conductance in animal furs and other woolly insulators. *Optics Express*, 22(2), 1940–1951.