

TIERE IN DER KÄLTE

ZOOSCHULE HANNOVER



...echt anders!

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
EINLEITUNG	3
SACHINFORMATION	4
Einleitung.....	4
Wärmeerzeugung.....	5
Wärmeaufnahme.....	6
Wärmeabgabe.....	7
Isolation.....	7
Wärmeregulation.....	9
UNTERRICHTSANREGUNGEN UND MATERIALIEN	12
Brillenpinguine – Überlebenskünstler im Meer.....	13
Anpassungen an die Kälte – Beispiele aus dem Erlebnis-Zoo Hannover	
■ Eisbären.....	14
■ Karibus.....	15
■ Sibirische Tiger.....	16
■ Schneeeulen.....	17
Ohne Körperisolation können manche Tierarten in der Kälte nicht überleben.....	18
Wechselwarm oder gleichwarm?.....	19
Auswertung von Wärmebildern.....	20
Wie fangen Robben Fische?.....	21
Die Robben des Erlebnis-Zoo.....	22
Das Eisbärenfell – Lernen von der Natur.....	23
Grolar-Bären.....	24
Winterschlaf oder Winterruhe – Schwarzbären auf Sparflamme.....	25
Stoffwechselaktivität in Abhängigkeit von der Außentemperatur.....	26
Wölfe sind weit verbreitet.....	27
LÖSUNGEN	28
QUELLEN	38
Abbildungsverzeichnis.....	38
Literaturverzeichnis.....	38



Abb. 1: Brillenpinguin (*Spheniscus demersus*)



Abb. 2: Eisbär (*Ursus maritimus*)

EINLEITUNG

Eisbären sind das Symbol des Klimawandels. Das größte Landraubtier könnte in seinem natürlichen Lebensraum bis zum Jahr 2100 ausgestorben sein. Diese Aussage erscheint zunächst einmal paradox. Denn für die meisten Tiere ist eine langanhaltende Kälteperiode ein entscheidender Selektionsfaktor den nicht alle Tiere überstehen. Tiere befinden sich im Winter oft in einer Zwickmühle. Das Nahrungsangebot nimmt ab oder ist schon aufgebraucht und die Temperatur bewegt sich ab und an am Ende des Toleranzbereichs der Tiere. Somit würde die Klimaerwärmung vermeintlich den Selektionsdruck mindern und die Überlebenschancen erhöhen. Doch das ist, wie das Beispiel Eisbär zeigt, nicht der Fall. Obwohl Eisbären hervorragend an die extreme Kälte ihres natürlichen Lebensraumes angepasst sind und dem Tier selbst auch die Erwärmung wenig ausmacht, wird die Nahrungsbeschaffung, d.h. die Jagd auf Ringelrobben auf dem tauenden Meereis immer schwieriger. Die Eisbären kommen dadurch in einen Teufelskreis, weil hungrige, entkräftete Tiere weniger Erfolg bei der Jagd haben.

Zusammen mit Karibus, Präriehunden, Schneeeulen, Rothörnchen, Hunds- und Ohrenrobben sowie vielen Tierarten mehr leben auch Eisbären auf ihrer naturnahen Anlage im Themenbereich Yukon Bay. Der thematische Schwerpunkt von Yukon Bay sind die Tierarten der „Kalten Zone“. Dieser Schwerpunkt ist hervorragend geeignet um den Schüler*innen diese Tierarten und ihre Anpassungen an ihren Lebensraum näher zu bringen. Der besondere Tierbestand und die Art der Tieranlagen ermöglichen in einer faszinierenden Weise die grundlegende Überlebensstrategien an den Tieren zu beobachten wie es in ihrem natürlichen Lebensraum so kaum möglich wäre.

Dieses Themenheft soll dazu dienen, durch Sachinformationen und Unterrichts Anregungen, Lehrer*innen zu motivieren, sich während oder vor einem Besuch im Erlebnis-Zoo Hannover intensiver mit den Tieren in der Kälte auseinander zu setzen.

Nicht nur Angepasstheiten und Überlebensstrategien von gleichwarmen (homiothermen) Tierarten sind Gegenstand dieses Themenhefts. Dort wo es aus didaktischen Gründen sinnvoll ist, werden auch wechselwarme (poikilotherme) Tiere mit einbezogen.

Faszinieren die Schüler*innen der Grundschule vor allem die erstaunlichen Phänomene tierischen Überlebenskünster in der Kälte, lassen sich ab der Sekundarstufe viele ökologische, stoffwechselphysiologische und evolutionsbiologische Themen erarbeiten.

Neben dem Unterrichtsgang „Tiere der Kälte“ für die Grundschule und Sekundarstufe 1, bietet die Zooschule ebenfalls einen vertiefenden Workshop „Tiere in der Kälte: Überleben in sich verändernden Polargebieten“ für die Klassenstufen 5 – 6 zwischen den Herbst- und Osterferien an.

Für Rückfragen, Verbesserungsvorschläge und Kritik steht das Team der Zooschule – wie immer – gerne zur Verfügung. Über jede Art eines Feedbacks freuen wir uns.



Abb. 3: Karibu (Rangifer tarandus caribou)



Abb. 4: Rothörnchen (Tamiasciurus hudsonicus)

SACHINFORMATION

EINLEITUNG

Die niedrigstmögliche Temperatur beträgt 0° Kelvin oder $-273,15^\circ$ Celsius und bezeichnet den absoluten Nullpunkt. Dieser Zustand liegt dann vor, wenn alle Atome ohne Bewegung sind. Selbst solche Temperaturen, die im Weltall vorherrschen können, überleben noch wenige Tierarten – wie das Bärtierchen (Tardigrada) – indem sie in Kryptobiose fallen, d.h. ihren Stoffwechsel nahezu komplett herunterfahren. Die niedrigste Temperatur auf der Erde wurde mit -93°C in der Ost-Antarktis gemessen. Die kältesten Temperaturen, die Säugetiere und Vögel überleben können, sind rund -70°C ! Allerdings gelingt dies nur absoluten Spezialisten. Bei Pinguinen isoliert die dicke Fettschicht gegen die eisigen Polartemperaturen. Ihre wie Dachziegel eng an der Haut liegenden Federn bilden ein dichtes Federkleid, das die Körperwärme kaum nach außen dringen lässt. Daher bleibt sogar der Schnee auf ihrem Gefieder liegen ohne zu schmelzen. Zudem dichten Pinguine

ihr Gefieder mit einem Gemisch aus Öl und Wachs ab, das in der Bürzeldrüse an der Schwanzwurzel gebildet wird. Damit machen die Vögel aus ihrem Federkleid einen wasserabweisenden „Taucheranzug“, der ihnen ermöglicht in den antarktisch kalten Meeren auf Nahrungssuche zu gehen. Perfekt an die Kälte im eisigen Wasser und auch an Land angepasst sind Eisbären. Im arktischen Winter leben sie auf dem Packeis, wo sie ihrer Hauptbeute (Robben) auflauern. Ihr dichtes Fell, dessen Haare hohl sind und somit gut isolieren, sowie eine zehn Zentimeter dicke Speckschicht unter der Haut lässt die größten Landraubtiere tiefste Temperaturen bis ebenfalls -70 Grad aushalten. Die Haut ist übrigens schwarz. Dadurch kann sie mehr Wärme speichern, wenn die Sonne auf das Fell scheint und die hohlen Haare das Licht zur Haut leiten.

Extreme Minustemperaturen überleben nur diejenigen Tierarten, die sowohl über besondere Anpassungen (Adaption als Ergebnis eines längeren Evolutionsprozesses) und über eine ausreichend individuelle Fitness (Modifikation) verfügen. Der daraus resultierende Existenzbereich (Reaktionsnorm) in Bezug auf den abioti-

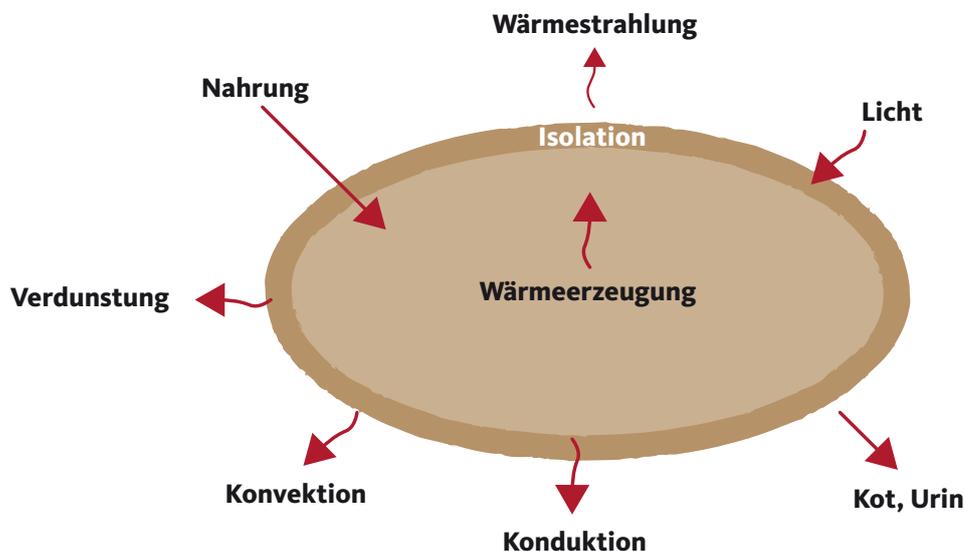


Abb. 5: Grundlegende Einflussfaktoren des Wärmehaushalts



Abb. 6: Schwarzschwanz-Präriehund (*Cynomys ludovicianus*)

schen Faktor „Kälte“ ist genetisch festgelegt. Allerdings kann die Schwächung des Körpers und seiner Funktionen dramatische Folgen haben. Die Schwächung eines Körpers resultiert aus Parasitenbefall, Krankheiten und Verletzungen, vor allem aus Nahrungsmangel.

Kälte kann als Fehlen von Wärme beschreiben werden. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass ein Wärmeübergang immer nur von der warmen zur kalten Seite erfolgen kann. Der sogenannte Wärmestrom ist immer in Richtung des Temperaturgradienten gerichtet. Kälte kommt nicht, sondern Wärme wird verdrängt.

Durch permanente Wärmeproduktion weist der Körperkern von gleichwarmen (homiothermen) Tieren in der Regel eine höhere Körpertemperatur auf als seine Umgebung. Dies ist notwendig für einen effektiven Ablauf der Stoffwechselprozesse und dient als Bezugspunkt für den nach außen gerichteten Temperaturgradienten. Die Temperatur im Wärmekern kann von Säugetieren und Vögeln unabhängig von der Außentemperatur nahezu konstant gehalten werden. Ausnahmen sind z.B. die Spitzmaus oder das Schnabeltier. Je größer der Temperaturgradient von innen nach außen ist, desto größer ist der Wärmestrom und desto höher der Energieverlust des Tieres. Bei einer gegebenen, kalten Außentemperatur ist das Überleben eines gleichwarmen Tieres modellhaft abhängig von der in Abb. 5 dargestellten Faktoren.

Zusammengefasst kann festhalten werden: Die Körperwärme ist abhängig von der Wärmeproduktion durch Stoffwechselprozessen plus der Wärmeaufnahme durch die Umwelt (z.B. Sonneneinstrahlung) minus der Wärmeabgabe an die Umgebung. Gleichwarme Tiere können daher ihre „normalen“ Körperfunktionen auf Dauer nur aufrechterhalten, wenn es ihnen gelingt, diese oben genannten Faktoren im Gleichgewicht zu halten (Homöostase).



Abb. 7: Kalifornischer Seelöwe (*Zalophus californianus*)

WÄRMEERZEUGUNG

Jede lebende Zelle ist an der Wärmeproduktion des Körpers beteiligt. Da dies in erster Linie von ihrer Stoffwechselaktivität abhängt, können verschiedene Produktionszentren unterschieden werden. In Ruhephasen, ohne körperliche Aktivität, also im Grundumsatz, produzieren die inneren Organe, besonders die Leber, 50 % der Gesamtwärme. Mit ca. 20 % ist das Gehirn beteiligt. Weitere 20 % werden durch die Muskeln sowie 10 % durch die Knochen und restlichen Organe beigetragen. Im Leistungsumsatz, also bei körperlicher Belastung, produzieren die Muskeln die größte Wärmemenge, denn nur ein geringer Teil der aufgenommenen Energie wird in körperliche Arbeit umgewandelt. Bei sehr großen Anstrengungen kann die Wärmeproduktion durch die Muskeln sprunghaft auf ein Vielfaches des Ruhewertes ansteigen und mehr als 90 % der gesamt-

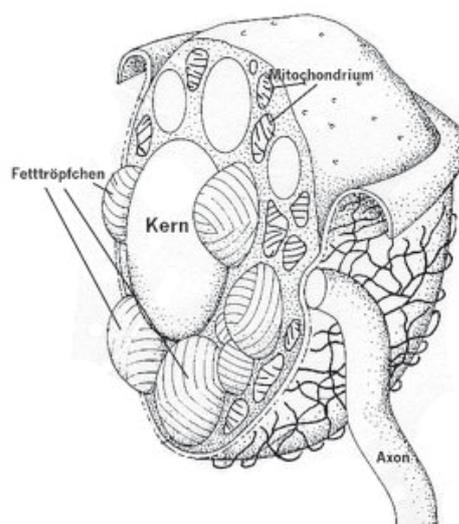
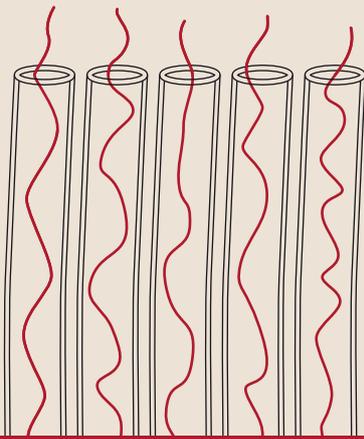


Abb. 8: Modellhafter Bau einer braunen Fettzelle

ten Wärme ausmachen. Wenn die Körpertemperatur den Sollwert unterschreitet, machen sich Tiere diesen Effekt durch Muskelzittern zu Nutze. Der zweite, sehr effektive Mechanismus um die Körpertemperatur durch



WÄRME

Abb. 9: Glasfaserhypothese des Eisbärenfells

Erhöhung der Wärmeproduktion zu steigern, ist die chemische Thermogenese durch Aktivierung von braunen Fettzellen. Diese sind zentralnervös innerviert, so dass die reichlich vorhandenen Mitochondrien schnell aktiviert werden können. Diese verstoffwechseln das in den kleinen Tröpfchen vorliegende Fett ohne ATP-Gewinn allein zum Zweck der Wärmeproduktion. Die Wärme wird mit dem Blut im Körper verteilt.

Die Energie zur Aufrechterhaltung der Wärmeproduktion stammt in beiden Fällen aus der Nahrung. Die Möglichkeit einer kontinuierlichen Nahrungsbeschaffung bzw. die Fähigkeit Nährstoffe in großen Mengen zu speichern, ist eine (Über-)Lebensnotwendigkeit für Tiere, die ihre natürliche Verbreitung in den kalten Lebensräumen haben.

WÄRMEAUFNAHME

Die Fähigkeit Licht an der Körperoberfläche zu absorbieren und in Wärmestrahlung umzuwandeln, hängt von Farbe und Struktur der Körperoberfläche ab. Demnach müssten ALLE Tiere in den kalten Gebieten der Erde eine raue, schwarze Körperbedeckung aufweisen, um den Anteil des reflektierenden Lichts (Albedo) zu minimieren und damit den Anteil der Wärmestrahlung zu maximieren. Dennoch zeigen viele arktische, gleichwarme Tiere eine weiße Körperfärbung und haben eine

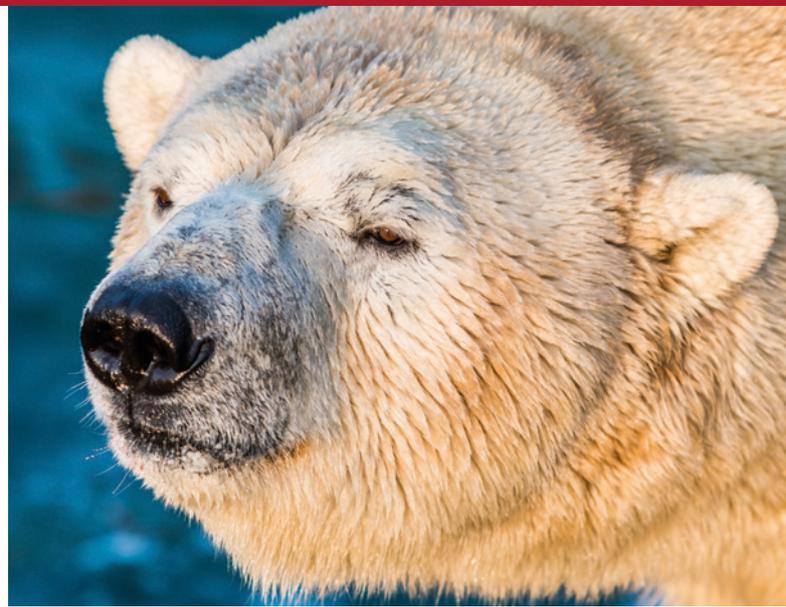


Abb. 10: Eisbär (Ursus maritimus)

eher glatte Körperoberfläche. Dies lässt vermuten, dass die Möglichkeit für gleichwarme Tiere, einen nach innen geleiteten Wärmestrom zu erzeugen, verhältnismäßig gering ist. Die Isolation des Körpers und der jahreszeitliche Lichtmangel (Polarnacht) bestätigen die oben beschriebene Aussage. Thermoregulatorisches Verhalten, das für wechselwarme Tiere existenziell notwendig ist, kann bei gleichwarmen Tieren deutlich weniger beobachtet werden. Es ist bei Pinguinen nachweisbar, doch sind die Effekte der Gegenkontrastierung im offenen Meer deutlich höher anzusehen als eine gezielte Ausrichtung heller bzw. dunkler Körperteile zur Sonne. Ebenfalls ist nicht anzunehmen, dass bei Eisbären das Problem einer möglichst hohen Wärmeaufnahme einerseits und einer möglichst effektiven Tarnung auf dem Eis andererseits perfekt gelöst ist. Eisbären können keine Lichtstrahlen wie durch ein Glasfaserkabel durch ihre hohlen Haare auf die schwarze Haut leiten und damit Licht absorbieren (Abb. 9).

Die Glasfaserhypothese konnte nicht experimentell nachgewiesen werden. Zudem zeigen thermografische Bilder, dass das Fell der Eisbären so gut isoliert, dass die Tiere kaum Wärme abgeben. Ebenfalls isolieren die Luftpolster zwischen den hohlen Haaren den Eisbären zusätzlich. Sie können auf diese Weise mit Wärmebildkameras praktisch nicht detektiert werden. Das erschwert die Zählung und Abschätzung der Eisbärenpopulation für die Forscher*innen in den arktischen Gebieten erheblich.

WÄRMEABGABE

Wärmeverluste erfolgen über alle inneren und äußeren Oberflächen eines Tieres sowie durch Wärmetransporte aus dem Körperinneren an die Peripherie. Die daran beteiligten Prozesse sind folgende:

1. **Wärmestrahlung:** Aussendung von elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich (780 nm bis 1 mm). Die Größe der Wärmeabstrahlung hängt direkt von der Größe der Oberfläche und der Temperaturdifferenz ab.
2. **Konvektion** (Wärmemitführung): Form der Wärmeabgabe, bei dem der Wärmetransport zusammen mit einem tragenden Medium erfolgt. Mit dem Blutstrom gelangt Wärme aus dem Körperkern in die Körperschale, mit dem Wind oder Wasser wird die Wärme von der Körperoberfläche weggetragen.
3. **Verdunstung:** Für die Überführung von Wasser in Wasserdampf wird Energie benötigt, die dem Körper in Form von Wärme entzogen wird. Verdunstung erfolgt beim Schwitzen und Atmen und kann durch Steigerung der Intensität geregelt werden.
4. **Konduktion** (Wärmeleitung): An der Kontaktfläche zwischen unterschiedlich warmen Körpern erfolgt ein Wärmefluss. Diese Form des Wärmetransportes, sog. Wärmediffusion, erfolgt ohne Stofftransport. Seine Größe wird nach dem Fourierschen Gesetz (1822) im Wesentlichen von der Wärmeleitfähigkeit der daran beteiligten Stoffe, der zu überbrückenden Hautdicke und der Temperaturdifferenz (innen vs. außen) bestimmt. Sie erfolgt immer in Richtung der geringeren Temperatur.

Beispiele für Wärmeleitfähigkeit in $J/cm \times s$:

- Luft: 0,05
- Feder: 0,05
- Fell: 0,06
- Fett: 0,4
- Muskulatur: 1,1
- Wasser: 1,4
- Eis: 6,0
- Silber: 1000,00

5. Mit **Kot** und **Urin** gelangt ebenfalls Wärme aus dem Körper. Da diese Exkretions- und Stoffwechselprodukte aus dem Körperinneren kommen und eine entsprechende Temperatur hat, führt ihre Ausscheidung zu Wärmeverlusten.

ISOLATION

Tiere, die ihre Verbreitung in kalten Lebensräumen haben, zeigen im Modell bezüglich der Isolation viele Parallelen zu einer Thermoskanne.

1. Sie können Wärmeverluste nicht völlig vermeiden.
2. Je dicker die Isolierschicht ist, desto besser ist der Schutz vor Wärmeverlust.
3. Größere Thermoskannen/Tiere kühlen langsamer ab als kleinere.
4. Sie haben eine möglichst kleine äußere Oberfläche.
5. Die Idealform ist die Kugel (bei Wirbeltieren nicht möglich), da sie bezüglich eines gegebenen Volumens die kleinste Oberfläche besitzt.

Man kann eine Thermoskanne als Ergebnis der bionischen Forschung verstehen, da sie im Tier- und Pflanzenreich verwirklichte Prinzipien technisch aufgreift und erklärt. Die geringe Leitfähigkeit von Fett und Luft ist die Grundlage des Konstruktionsprinzips der Haut, das Tiere in den kalten Ökosystemen schützt. Erreicht werden soll dadurch eine möglichst effektive Körperdämmung, d.h. der Verlust von Wärmeenergie nach außen soll möglichst reduziert werden.

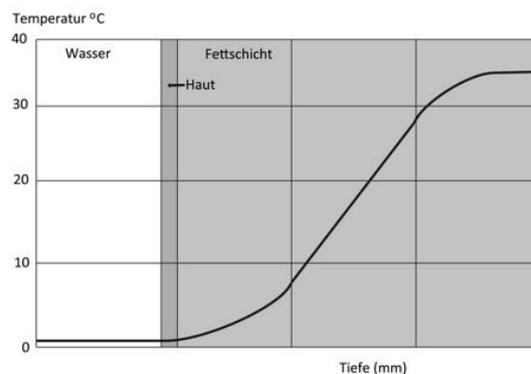


Abb. 11: Wärmeisolation einer Kegelrobbe



Abb. 12: Kegelrobbe (Halichoerus grypus)

Meeresbewohnende Säugetiere haben ein mit der Außenhaut verwachsenes Unterhautfettgewebe, das auch „Blubber“ genannt wird. Der „Blubber“ kann je nach Tierart über 50 cm dick sein und begrenzt den Wärmestrom in kalter Luft und im kalten Wasser gleichermaßen wirkungsvoll. Je dicker die Fettschicht ist, desto effektiver ist ihr Einfluss auf die Isolation. Da viele Tierarten zum Winter eine Fettschicht durch vermehrte Nahrungsaufnahme aufbauen, erreichen sie neben dem Isolations- auch einen Energiespeichereffekt. Kegelrobben gehören mit einer Größe von bis 220 cm und einem Gewicht bis zu 300 kg zu den „größeren“ Tieren und besitzen kein langes Fell.

An der Luft noch wirkungsvoller als eine reine Fettschicht sind ein langes, dichtes Fell oder ein dichtes Federkleid. Das Prinzip hierbei ist, die Luft zwischen den Haaren möglichst unbeweglich zu halten und damit vor allem Konvektion zu vermeiden. Fallender Schnee bleibt so auf den Tieren, z.B. Waldbison liegen, weil die Wärmeleitung zu gering ist, um den Schnee zu schmelzen. Für die isolierende Wirkung sind dabei weniger die langen Grannenhaare verantwortlich, die die Fellfärbung bewirken, sondern die sog. Unterwolle. Diese besteht aus deutlich mehr feineren Haaren und ist von außen betrachtet nicht sichtbar.

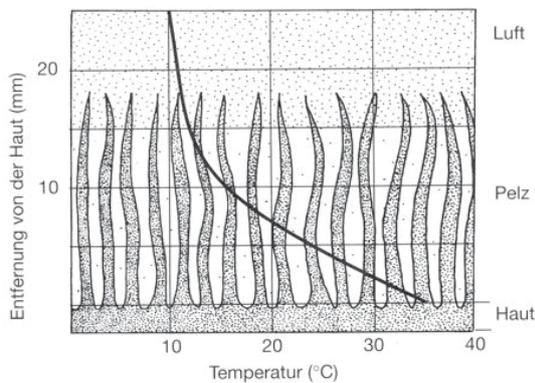


Abb. 13: Wärmeisolation eines Waldbisons (ohne Unterwolle)



Abb. 14: Waldbison (Bison bison athabasca)

Ein analoges Prinzip weist das Federkleid der Vögel in Form von Deckfedern und darunterliegenden Daunenfedern auf. Wenn das Federkleid nass wird, wird die isolierende Luftschicht verdrängt. Dadurch sinkt die Isolationswirkung um den Faktor 25. Das dichte Federkleid und das Einfetten der einzelnen Federn verhindert eine Durchnässung, z.B. bei den Pinguinen.

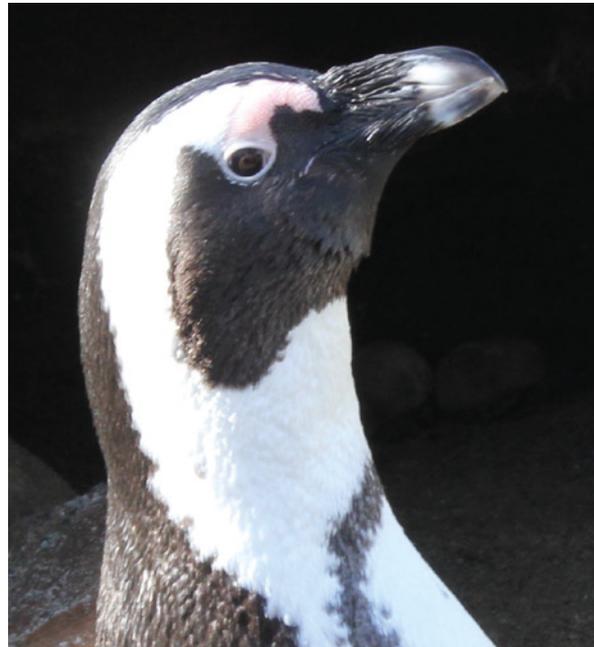


Abb. 15: Brillenpinguin (Spheniscus demersus)

Auch ein dichtes Fell ist eine gute Isolation. Das Fell des nördlichen Seebären hat über 25.000 Haare pro Quadratcentimeter und ist so praktisch wasserundurchlässig, so dass sogar die Luftschicht zwischen den Haaren erhalten bleibt. Beobachtet man die Seebären unter Wasser, perlen Luftblasen bei den tauchenden Tieren auf, was erahnen lässt, wie groß der gesamte Luftvorrat im Fell ist.

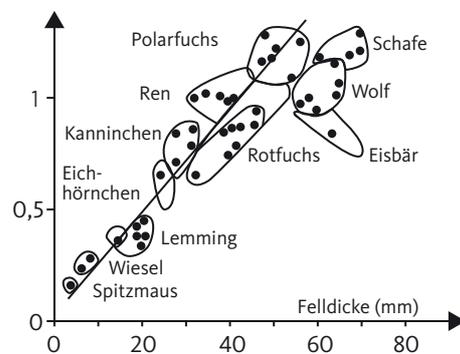


Abb. 16: Isolationsfähigkeit verschiedener Säugetierarten in Abhängigkeit von der Felllänge

Der Isolationseffekt hängt auch von der Länge der Haare ab. Tierarten, die in kälteren Lebensräumen vorkommen, haben Haarlängen von deutlich über 5 cm. Sehr kleinen Tierarten wie der Spitzmaus fehlt diese Möglichkeit. Sie weisen andere Anpassungen auf, z.B. durch spezielle Verhaltensmuster.

Die wichtigsten ökologischen Regeln in diesem Zusammenhang sind:

Bergmannsche Regel (Größenregel): Gleichwarme Tiere einer Art oder eines Verwandtenkreises sind in kälteren Lebensräumen größer als in wärmeren Lebensräumen.

Allensche Regel (Proportionsregel): Gleichwarme Tiere einer Art oder eines Verwandtenkreises besitzen in kälteren Lebensräumen relativ kurze Körperanhänge als in wärmeren Lebensräumen.

Rensche Regel: Säugetiere einer Art oder eines Verwandtenkreises besitzen in kälteren Lebensräumen mehr und längere Grannenhaare als in wärmeren Lebensräumen.

Hessesche Regel (Herz-Gewichts-Regel): Gleichwarme Tiere einer Art oder eines Verwandtenkreises besitzen in kälteren Lebensräumen durchschnittlich ein größeres Herzgewicht bzw. Herzvolumen als in wärmeren Lebensräumen.

Die biologischen Hintergründe der o.g. Regeln sind auch für Schüler*innen leicht zu erschließen: Die ersten drei Regeln zielen auf die Reduzierung der Wärmeabgabe in kälteren Lebensräumen ab, während die letzte Regel die Tendenz zu einem schnelleren Wärmetransport im Körper aufzeigt.

WÄRMEREGULATION

Kein gleichwarmes Tier lebt permanent in kalten Lebensräumen, so dass es in wärmeren Jahresabschnitten oder bei verstärkter körperlicher Aktivität vor dem Problem steht, überflüssige Wärme nach außen abführen zu müssen. Diese Problematik ist in sehr kalten Phasen entsprechend umgekehrt. Notwendig sind gut regulierbare Systeme, die die innere Körpertemperatur konstant halten, d.h. Unterkühlungen und Überhitzungen vermeiden. Im Laufe der Evolution haben sich vielfältige Mechanismen entwickelt u.a.:

1. Änderung des Blutstroms: Ein perfektes System ist bei den Robben vorhanden. Sie haben in der Peripherie des Körpers Blutgefäße, die sie bei Bedarf verengen (Vasokonstriktion) oder weiten (Vasodilatation) können. Somit wird die Durchblutung geregelt und damit entsprechend auch die Wärmeabgabe. Dies geschieht nicht über die ganze Hautfläche, sondern nur an bestimmten zentralen Stellen, die als „Wärmefenster“ bezeichnet werden. Dort stehen zwei Durchblutungssysteme zur Verfügung. Der Rücktransport des Blutes erfolgt in warmer Umgebung über sog. Hautvenen, über die Wärme effektiv abgeführt werden kann. Bei niedriger Außentemperatur wird dagegen auf tiefer gelegene Venen „umgeschaltet“, die dicht neben den zuleitenden Arterien verlaufen. Nach dem Gegenstromprinzip entzieht das abgekühlte Blut dieser Venen dem Blut der Arterien einen Großteil der Wärme und gelangt anschließend vorgewärmt in den Wärmekern des Tieres. Das arterielle Blut erreicht, nun deutlich abgekühlt, die oberflächennahen Körperbereiche. Die Wärmeabgabe wird so minimiert, dass Robben auf dem Eis liegen können ohne das Eis zu schmelzen. Auch Pinguine sowie Timber- und Arktische Wölfe lassen durch diesen Mechanismus exponierte Körperteile (Pfoten und Füße) abkühlen, so dass sie kaum Wärme verlieren.



Abb. 17: Timberwolf (*Canis lupus occidentalis*)

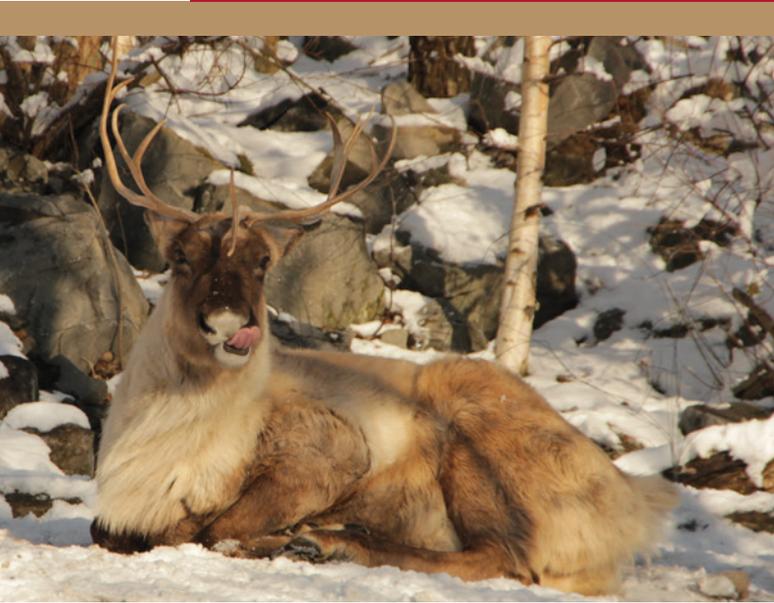


Abb. 18: Karibu im Winterfell



Abb. 19: Karibu im Sommerfell

2. Fellwechsel: Säugetiere, die im Winter ein dichtes Winterfell ausbilden, wechseln dieses periodisch mit Beginn der wärmeren Jahreszeit zugunsten eines kürzeren Sommerfells. Vögel dagegen mausern sich entsprechend und erneuern damit ihr Federkleid. Die Regulationsmöglichkeiten sind bei ihnen folglich deutlich geringer, da die Mauser auch hormonell beeinflusst wird.

3. Haare bzw. Federn aufrichten: Das Aufrichten von Haaren bzw. Federn erhöht die Isolationswirkung, da mehr Luft „festgehalten“ wird. Als Rudiment ist diese Möglichkeit auch noch beim Menschen vorhanden. Das Ergebnis wird als sog. Gänsehaut bezeichnet. Vögel erreichen diesen Effekt durch Aufplustern des Gefieders.



Abb. 20: Aufgeplusterte Schneeeule (Bubo scandiacus)

4. Erhöhung der Wärmeproduktion: Dies kann durch erhöhte Aktivitäten, Kältezittern und Fettverbrennung erreicht werden.

5. Steigerung der Verdunstung: Schwitzen können nur wenige Tiergruppen (z.B. Primaten). Viele Säugetiere und Vögel hecheln und erzeugen so die Verdunstungskälte. Manche Vogelarten befeuchten ihre Beine zur Abkühlung mit Exkrementen (z.B. Störche).

6. Akklimatisation: Parallel zu Temperaturveränderungen finden physiologische Veränderungen im Körper statt, die zu einer Adaption an die veränderten Bedingungen führen. So nehmen wir als Mensch eine kühle Temperatur zu Beginn des Winters deutlich kälter wahr, als die exakt gleiche Temperatur im Frühling. Viele Tierarten passen sich durch Akklimatisation im Herbst an die kälteren Wintertemperaturen an.

7. Thermoregulatorisches Verhalten: Oft reichen kleine Änderungen im Verhalten aus, um den bevorzugten regulierenden Effekt zu erzielen: Veränderung der Exposition zur Sonne, Aufsuchen eines Schatten- oder Sonnenplatzes, kühlendes Bad, Einrollen, um die Körperoberfläche zu minimieren u.v.m.

Beispiele aus dem Erlebnis-Zoo Hannover:

1. Rückzug unter die Erde: Schwarzschwanz-Präriehunde legen umfangreiche Bauten und Tunnelsysteme an, die sie teilweise mit Pflanzenmaterial auspolstern. Unter der Erde ist es im Winter deutlich wärmer als an der Oberfläche.



Abb. 21: Schwarzschwanz-Präriehund (*Cynomys ludovicianus*)

2. Tier-Wanderungen: Waldbisons suchen im Winter regelmäßig tiefer gelegene Täler oder wärmere Gebiete auf.



Abb. 22: Waldbison (*Bison bison athabasca*)

3. Vogelzug: Zugvögel wie Zwerg-Kanadagans oder Weißstorch wechseln zwischen Brut- und Überwinterungsgebiet. Die Schneeeulen sind sog. Strichvögel, sie weichen nur kurzfristig vor extremer Kälte in wärmere Gebiete aus.



Abb. 23: Schneeeule (*Bubo scandiacus*)

4. Winterruhe: Bei großer Kälte verbringen einige Tierarten (z.B. Waschbären) im Winter Ruhephasen, in denen sie inaktiv sind. Allerdings halten sie keinen echten Winterschlaf. Sie haben bei der Winterruhe eine leicht verlangsamte Herzfrequenz, die Körpertemperatur wird dadurch ebenfalls nur minimal gesenkt. Zwischendurch werden sie gelegentlich wach, nehmen Nahrung zu sich und setzen Kot und Urin ab.



Abb. 24: Waschbär (*Procyon lotor*)

5. Winterschlaf: Im Erlebnis-Zoo sind keine (eigenen) Tiere, die einen Winterschlaf halten. Die Verwandten der Schwarzschwanz-Präriehunde, die Weißschwanz-Präriehunde halten im Gegensatz zu ihren Verwandten einen Winterschlaf. Dabei fällt ihre Körpertemperatur nahezu bis auf Umgebungstemperatur ab, jedoch nie auf 0°C. Die Wärmeproduktion und -abgabe sind minimiert und die Tiere können so bis zu sieben Monate von den vorher angefressenen Fettdepots überleben. Kurze, periodisch auftretende „Aufheizphasen“ dienen u.a. der Stärkung des Immunsystems.

UNTERRICHTSANREGUNGEN

Die folgenden Materialien sind Unterrichtsanregungen zum Thema TIERE IN DER KÄLTE, die zur Vor- oder Nachbereitung eines Zoobesuches sowie eines geführten Unterrichtsgangs bzw. Workshop durch die Zooschule dienen.

Wir, als Menschen, können Temperaturen nur über die Haut direkt wahrnehmen. Die Schüler*innen müssten also Tiere anfassen, um ihre Wärme zu spüren. Dies ist aus guten Gründen bei den Tieren in Yukon Bay nicht möglich. Aber auch schon die Körperformen verraten einiges über die Anpassungen der Tiere an ihren Lebensraum. Allein durch genaues Beobachten sind wesentliche Körpermerkmale erkennbar, die den verschiedenen Tierarten ein Überleben in der Kälte ermöglichen.

Die verschiedensten Isolierungsmethoden der Tierarten durch Fett (z.B. Kegelrobbe), Luft (z.B. Schneeeule), Verhaltensänderungen (z.B. Präriehunde) oder doppelte Isolation (z.B. Pinguine) können in der Themenwelt Yukon Bay beobachtet und erarbeitet werden.



Abb. 25: Workshop „Tiere in der Kälte: Überleben in sich verändernden Polargebieten“

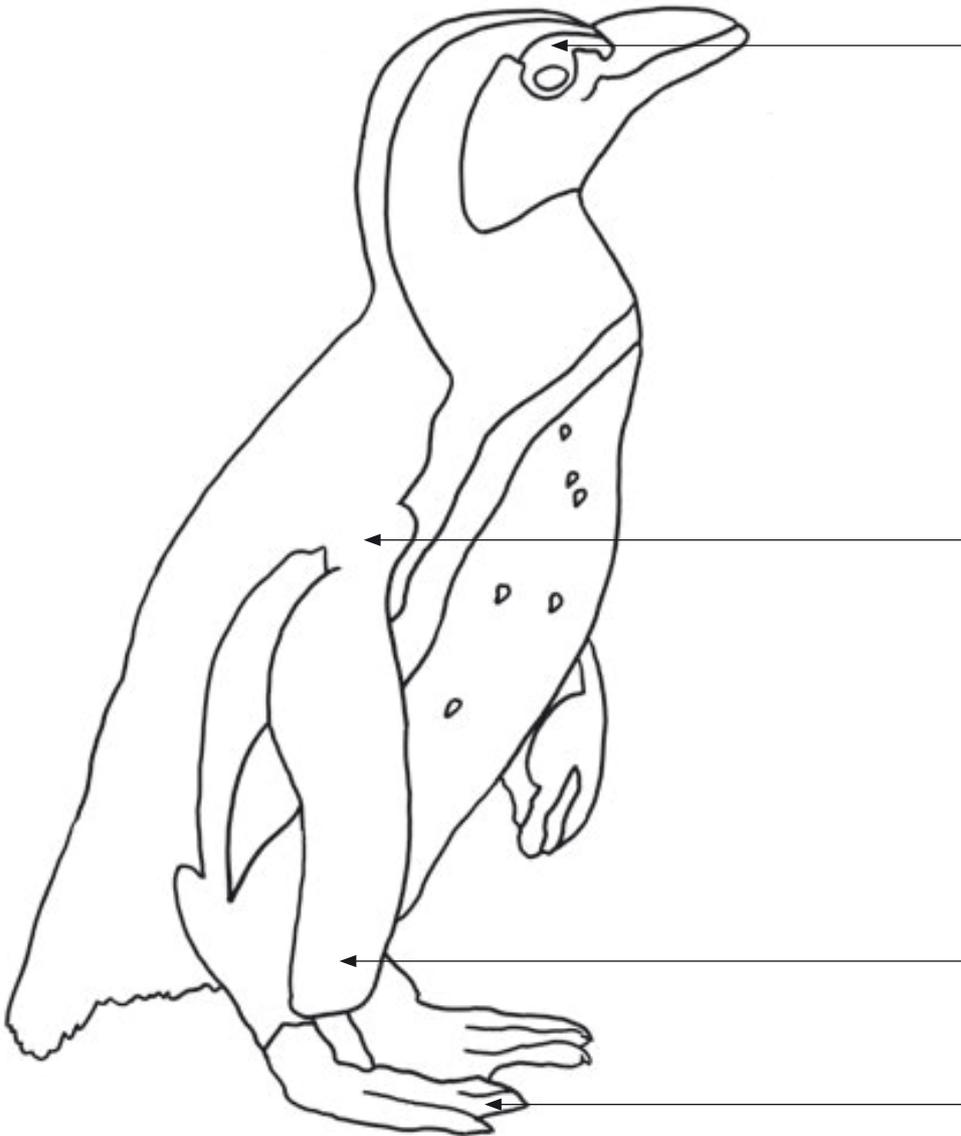
Die Themenfelder, die für ältere Klassenstufen relevant sind, lassen sich anhand von weiteren Informationen mit Hilfe von Arbeitsblättern darstellen. Die Arbeitsblätter dieses Themenheftes greifen ökologische, stoffwechselphysiologische, genetische und evolutionsbiologische Gebiete auf. So werden u.a. Klimawandel sowie, unterschiedliche Methoden, z.B. Arbeit mit Interpretation von Wärmebildern oder Bionik thematisiert.

BRILLENPINGUINE – ÜBERLEBENSKÜNSTLER IM MEER

Gehe vor die Anlage der Brillenpinguine in Yukon Bay.

AUFGABEN

- 1 Schaue dir die Tiere genau an.
- 2 Male die unten gezeigte Zeichnung farbig aus.
- 3 Erkläre die Vorteile der Körperzeichnung des Brillenpinguins in eigenen Worten.
- 4 An den mit Pfeilen gekennzeichneten Körperstellen wurden Temperaturen bei einem Pinguin, der auf Eis steht gemessen. Leider sind die folgenden Messwerte durcheinandergekommen: 3° C, 12° C, 20° C und 38° C. Ordne die Temperaturen den markierten Körperstellen zu und begründe deine Entscheidung.



ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – EISBÄREN

Gehe vor die Anlage der Eisbären in Yukon Bay.

AUFGABEN

- 1 Schaue dir die Tiere genau an.
- 2 Kreise auf dem Foto die Körperstellen ein, an denen du besondere Merkmale der Eisbären beobachtet hast, die ihnen das Überleben in der Kälte ermöglichen.
- 3 Notiere deine Beobachtungen in der folgenden Tabelle, indem du zuerst die Merkmale nennst und dann ihre Bedeutung/Funktion.



Mermal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)

ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – KARIBUS

Gehe vor die Anlage der Karibus in Yukon Bay.

AUFGABEN

- 1 Schaue dir die Tiere genau an.
- 2 Kreise auf dem Foto die Körperstellen ein, an denen du besondere Merkmale der Karibus beobachtet hast, die ihnen das Überleben in der Kälte ermöglichen.
- 3 Notiere deine Beobachtungen in der folgenden Tabelle, indem du zuerst die Merkmale nennst und dann ihre Bedeutung/Funktion.



Mermal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)

ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – SIBIRISCHE TIGER

Gehe vor die Anlage der Sibirischen Tiger im Dschungelpalast!

AUFGABEN

- 1 Schaue dir die Tiere genau an.
- 2 Kreise auf dem Foto die Körperstellen ein, an denen du besondere Merkmale der Sibirischen Tiger beobachtet hast, die ihnen das Überleben in der Kälte ermöglichen.
- 3 Notiere deine Beobachtungen in der folgenden Tabelle, indem du zuerst die Merkmale nennst und dann ihre Bedeutung/Funktion.



Mermal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)

ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – SCHNEEEULEN

Gehe vor die Anlage der Schneeeulen in Yukon Bay.

AUFGABEN

- 1 Schaue dir die Tiere genau an.
- 2 Kreise auf dem Foto die Körperstellen ein, an denen du besondere Merkmale der Schneeeulen beobachtet hast, die ihnen das Überleben in der Kälte ermöglichen.
- 3 Notiere deine Beobachtungen in der folgenden Tabelle, indem du zuerst die Merkmale nennst und dann ihre Bedeutung/Funktion.



Mermal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)

OHNE KÖRPERISOLIERUNG KÖNNEN MANCHE TIERARTEN IN DER KÄLTE NICHT ÜBERLEBEN

Alle Tierarten der Themenwelt Yukon Bay haben besondere Körpermerkmale und Verhaltensweisen entwickelt, die ihnen das Überleben in den kalten Lebensräumen ermöglichen. Alle Tierarten verringern die Abgabe von Körperwärme durch eine möglichst gute Isolierung ihrer Körperfläche. Die Isolierung erfolgt bei einigen Tierarten durch Fett, das in die Unterhaut eingelagert wird, andere bilden eine Schutzschicht aus Federn (Vögel) bzw. Haaren (Säugetiere) aus, die viel Luft einschließen und so den Wärmeverlust des Körpers verringern. Manche Tierarten haben sogar beide oben genannten Isolierungsmöglichkeiten.

AUFGABEN

- 1 Gehe durch die Themenwelt Yukon Bay.
- 2 Schau dir die verschiedenen Tierarten genau an. Tipp: Robben und Pinguine kannst du auch sehr gut aus dem Inneren des Schiffes beobachten.
- 3 Bestimme wie sich jede Tierart vor Wärmeverlust schützt (isoliert) und trage deine Beobachtungen unten in die Tabelle ein.
- 4 Begründe die Isolierungsmethode der Tierarten, die nur an Land leben.
- 5 Erkläre, welche Tiere sich optimal vor Kälte schützen.

Fell / Federn	Fett	Fett und Fell / Federn

TIPP: Interessante Beispiele findest du bei unten gezeigten Tieren.

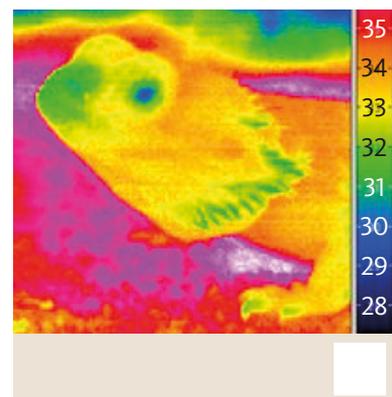
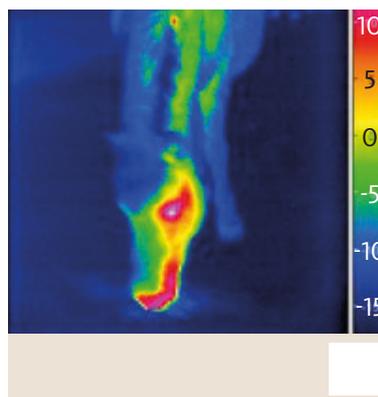
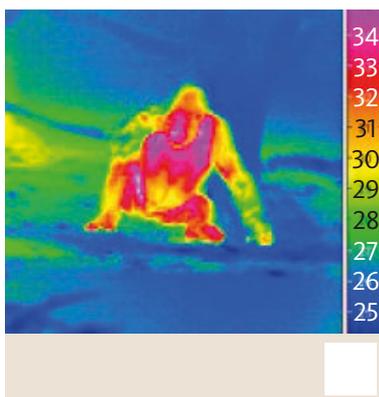
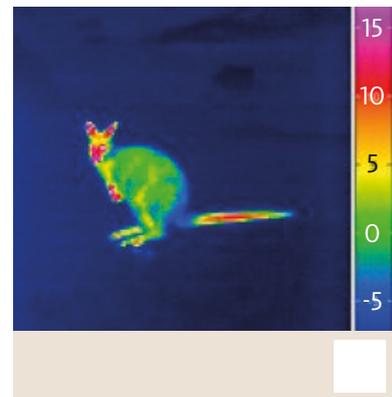
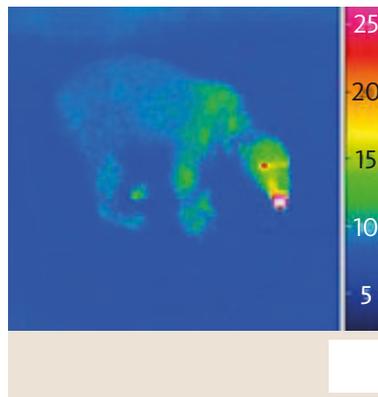
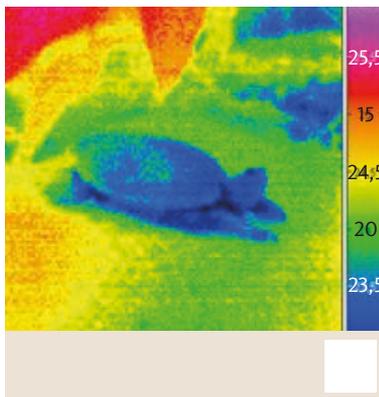
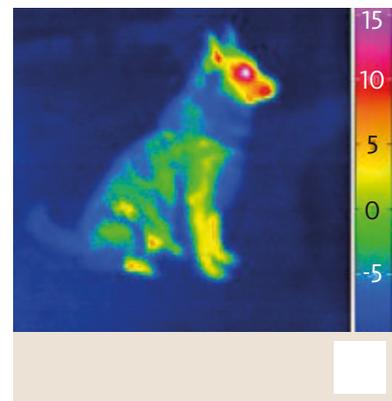
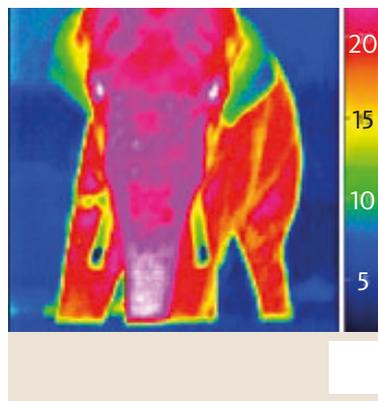
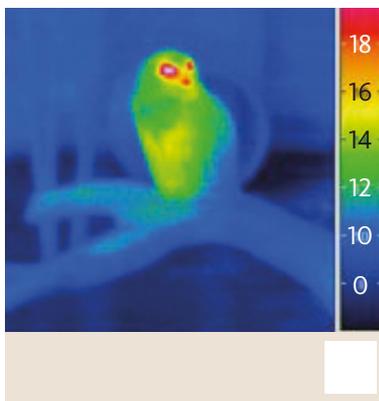


WECHSELWARM ODER GLEICHWARM?

Die Wärmebilder zeigen, wie stark die Wärmeabgabe über die Hautoberfläche der verschiedenen Tierarten ist. Die Temperaturen kannst du in der Skala auf der rechten Seite der Bilder ablesen. Bitte beachte die unterschiedliche Skalierung der Bilder!

AUFGABEN

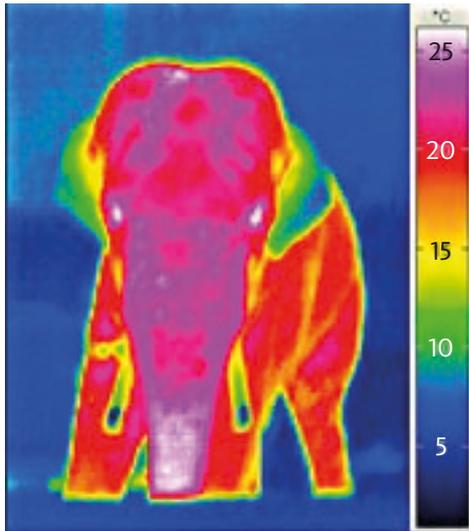
- 1 Schreibe die Tierart, die du erkennst, unter die Abbildung.
- 2 Kennzeichne in den Kästchen die gleichwarmen Tiere mit einem „G“ und die wechselwarmen Tiere mit einem „W“.
- 3 Gib an, welche zwei Tierarten am meisten Wärme abgeben und welche zwei am wenigsten.
- 4 Erläutere deine Beobachtungen.



AUSWERTUNG VON WÄRMEBILDERN

Die Thermokamera ist ein Messgerät, mit dem berührungslos Temperaturen von Oberflächen erfasst werden können. Sie nimmt nicht das mit dem Auge sichtbare Licht, sondern Infrarotstrahlung auf und wandelt diese in ein Wärmebild um. Dabei wird jeder Temperatur eine Farbe zugeordnet. Anhand dieser Farbe kann mit einer Skala, die hier rechts an den Abbildungen angeordnet ist, die Temperatur an der Tierkörperoberfläche genau bestimmt werden. Die Farbgebung verläuft dabei von schwarz (kälteste Temperatur) über das Farbspektrum zu weiß (höchste Temperatur). Der Messbereich und die Zuordnung der Farben sind bei jedem Bild anders, d.h. Farben können nicht von einem Bild auf ein anderes Bild übertragen werden, sondern es muss jedes Mal neu abgelesen werden.

Beispiel: Asiatischer Elefant



1. BESTIMMUNG DER TEMPERATUREN

a) Notiere dir als erstes die Umgebungstemperatur der Tiere:

■ ca. 5° C

b) Bestimme die durchschnittliche Temperatur an der Oberfläche der Tiere:

■ ca. 20° C

c) Notiere die Körperstellen, die beim Elefanten am wärmsten sind:

■ Augen, oberer Kopfbereich und Rüsselspitze mit jeweils ca. 25,5° C

d) Notiere die Körperstellen, die beim Elefanten am kältesten sind:

■ Spitze der Stoßzähne und Ohren mit 3 – 5° C.

2. DEUTUNG DER GEFUNDENEN ERGEBNISSE

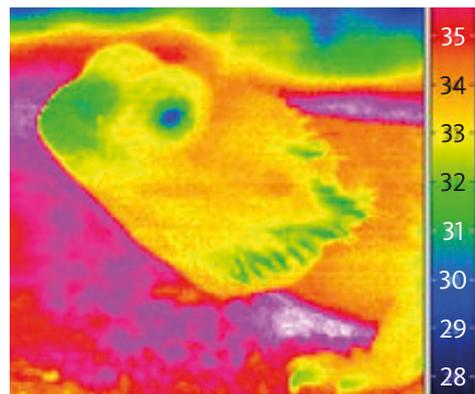
Anhand der Außentemperatur von ca. 5° C kann festgestellt werden, dass die Aufnahme im Herbst/Winter auf der Außenanlage der Elefanten gemacht wurde. Da die Haut des Elefanten rund 15° C wärmer als die Außentemperatur ist, handelt es sich bei einem Elefanten um ein gleichwarmes Tier. Da der Temperaturunterschied deutlich ist, kann die Aussage getroffen werden, dass der Elefant sich vor Wärmeverlust nicht sehr wirksam schützen kann. Es handelt sich sehr wahrscheinlich um ein Tier, dessen Lebensraum in den Tropen liegt.

Die wärmsten Körperstellen lassen sich damit erklären, dass in diesen Bereichen die geringste Isolationswirkung besteht (Augen), die Wärmeerzeugung durch Muskelbewegung sehr hoch ist (Rüssel) und die Durchblutung hoch ist (Gehirn).

Die kältesten Körperstellen lassen sich damit erklären, dass diese Körperteile sehr exponiert liegen und eine große Hautoberfläche besitzen, über welche die Wärme abgestrahlt wird (Ohren). Die blauen Bereiche an den Spitzen der Stoßzähne zeigen die dort zum Schutz des Tieres vom Zoo angebrachten wärmeleitenden Metallkappen.

AUFGABEN

- 1 Werte nach dem Muster dieser Anleitung nun das nebenstehende Bild aus. Es zeigt eine Bartagame.





Seehund



Nördlicher Seebär



Kegelrobbe

WIE FANGEN ROBBEN FISCHE?

In einer weltweit einmaligen Anlage erforschen Meeresbiologen*innen in Rostock, wie sich Robben unter Wasser orientieren. Denn verblüffend wenig wissen die Forscher*innen über die Navigationskünste der Tiere. Neun Seehunde, zwei Kalifornische Seelöwen und ein Südafrikanischer Seebär können sich in einem über und unter Wasser abgezäunten Gebiet in der Anlage frei bewegen. Bis zu sechs Meter ist das Wasser tief und nur ein kräftiges Netz trennt das mehr als 10.000 Kubikmeter fassende Freigehege vom Rest der Ostsee. In ihrer Forschung untersuchen die Biologen*innen die einzelnen Sinnesorgane ihrer Robben. Sie versuchen zu verstehen, wie diese hören, sehen, tasten und riechen. Da sind zum Beispiel die bis zu 20 cm langen Barthaare, die sog. Vibrissen. Sie sind deutlich sensibler als etwa die Barthaare einer Katze und das wohl wichtigste Sinnesorgan der Seehunde. Mit ihrer Hilfe können sie im Wasser noch kleinste Änderungen der Strömung wahrnehmen.

Die Wissenschaftler*innen haben in unzähligen Versuchen erforscht, wie eine Spurverfolgung im Wasser funktioniert. Seehund Henry, ausgestattet mit Augenbinde und Gehörschutz, konnte zum Beispiel einem Modellboot im Wasser (zur Beutesimulation eines Fisches) ohne Probleme folgen - weil er dessen Wirbelspur in der Wassersäule mit den Vibrissen fühlen konnte. Selbst mit einer halben Minute Abstand konnte das Tier die Schwimmrichtung des künstlichen Beutefisches zu 70 % richtig schätzen. Denn, das zeigten die Experimente, auch wenn sie selbst bei schnellen Schwimmbewegungen das Wasser aufwirbeln, können sich die Seehunde auf ihre sensiblen Barthaare verlassen. Diese flattern nicht in der Strömung. Dies liegt an dem ganz besonderen Querschnitt der Haare. Sie sind oval und in Längsrichtung gewellt. Das führt zu einem extrem geringen Strömungswiderstand im Wasser.

Wenn sie ihren Fisch selbst fangen müssen, können sich die Seehunde zudem auch auf ihr hervorragendes Zeitgefühl verlassen, ein weiterer Faktor für ihre Präzisionsnavigation im Wasser. Wie gut ihr Zeitsinn ist, haben die Rostocker Forscher*innen erst kürzlich nachgewiesen: Seehund Luca kann Zeitintervalle teilweise im Millisekundenbereich abschätzen.

Wolf Hanke, Matthias Witte, Lars Miersch, Martin Brede, Johannes Oeffner, Mark Michael, Frederike Hanke, Alfred Leder, Guido Dehnhardt: Harbor seal vibrissa morphology suppresses vortex-induced vibrations. *Journal of Experimental Biology* 2010 213: 2665-2672; doi: 10.1242/jeb.043216.

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/robben-forschung-in-rostock-abtauchen-mit-meeressaeuern-a-1113695.html>, verändert.

AUFGABEN

- 1** Erläutere die Experimente, mit denen nachgewiesen wurde, dass Robben Fische mit Hilfe ihrer Vibrissen verfolgen können.
- 2** Entscheide, ob die Ergebnisse der Experimente unter halb-natürlichen Bedingungen auf die Situation in den Ozeanen übertragen werden kann.
- 3** Nenne weitere Körpermerkmale der Robben, die dieses Meeressäuger zu sehr erfolgreichen Fischjägern machen.

DIE ROBBERN DES ERLEBNIS-ZOO

In der Robben-Anlage in der Themenwelt Yukon Bay leben drei verschiedene Arten von Meeressäugtieren zusammen. Dass sich unterschiedliche Tierarten in den Meeren begegnen, ist selbstverständlich. Deshalb sind die drei Robbenarten des Erlebnis-Zoo auch in ihrer Anlage zusammen zu beobachten. Die Robben-Anlage ermöglicht auch die Tiere in ihrem Element „Unterwasser“ zu beobachten.



Kalifornischer Seelöwe



Kegelrobbe



Nördlicher Seebär

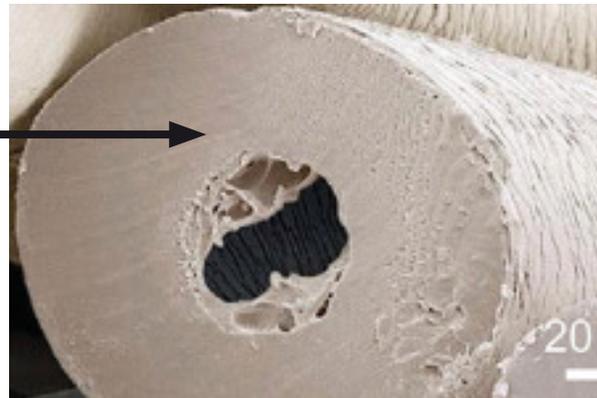
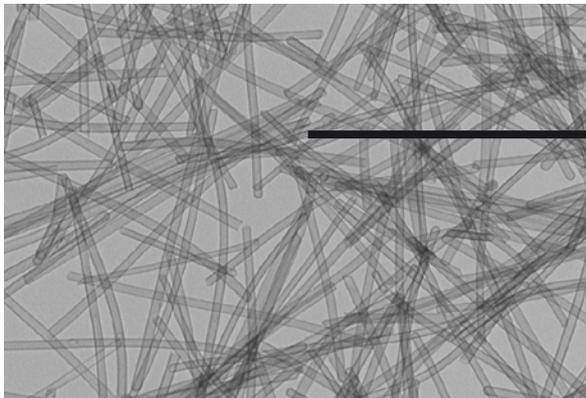
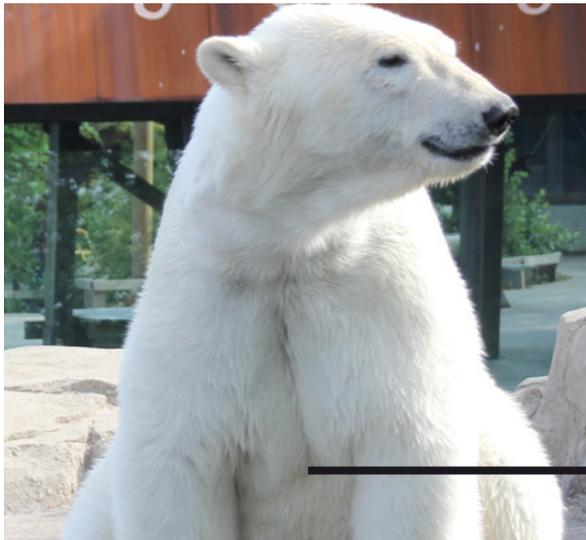
AUFGABEN

- 1 Beobachte die drei Robbenarten. Beschreibe und notiere die unterschiedlichen Erkennungsmerkmale, die Fortbewegung an Land und im Wasser sowie den Hauptaufenthaltort der Robbenarten.
- 2 Erkläre, warum die drei Robbenarten in der Natur natürlicherweise nicht zusammenleben.
- 3 Erläutere, welche Besonderheiten sich dadurch in der Zootierhaltung ergeben.

Kalifornischer Seelöwe	Kegelrobbe	Nördlicher Seebär
Erkennungsmerkmale		
Fortbewegung an Land		
Fortbewegung im Wasser		
Hauptaufenthaltort		

DAS EISBÄRENFELL – LERNEN VON DER NATUR

Hohle Härchen, die wärmeisolierend, wasserabweisend und elastisch sind. Das raffinierte Fell der Eisbären ermöglicht dem größten Landraubtier in der Arktis ein Leben unter extremen Bedingungen. Nun haben Wissenschaftler das interessante Naturpatent in eine künstliche Version umgesetzt – in ein Material aus hohlen Kohlenstoffröhrchen. Durch seine spannenden Merkmale könnte es sich zu einem Hochleistungs-Dämmstoff für Anwendungen in der Architektur oder der Luft- und Raumfahrt entwickeln, sagen die Wissenschaftler. In den Labors für Forschung und Entwicklung wird überall auf der Welt gearbeitet. Doch die Evolution macht das in gewisser Weise sehr erfolgreich schon seit Jahrmillionen: Die Natur hat die Lebewesen der Erde mit erstaunlichen Materialien und Konzepten ausgerüstet, die ihnen Überlebensvorteile für ihre jeweilige Umwelt und Lebensweise bieten. Diese Naturpatente haben dem Menschen schon oft als Inspiration bei der Entwicklung technischer Lösungen gedient. Diese Forschungsrichtung heißt Bionik.



Bilder 2 – 4: Zhan et al. (2019)

AUFGABEN

- 1** Beschreibe anhand der Abbildungen den Aufbau eines Eisbärenfells.
- 2** Erläutere die Funktion des Fells.
- 3** Erkläre die physikalischen und biologischen Hintergründe, die zu dieser Form eines Eisbärenfells geführt haben.
- 4** Überprüfe, ob das Eisbärenfell auf synthetische (künstlich hergestellte) Materialien übertragbar ist (Bionik).

GROLAR-BÄREN

Vancouver, Kanada – Irgendetwas kam dem Jäger David Kuptana im Jahr 2010 merkwürdig vor: Der Eisbär, den er gerade in der Arktis erlegt hatte, sah völlig ungewöhnlich aus. Er war ganz anders als andere Eisbären. Kuptana informierte die Jagd- und Naturschutzbehörde der kanadischen Northwest Territories. Biologen nahmen DNA-Proben des erlegten Tieres. Kurz danach steht die Sensation fest: Der erlegte Bär ist eine Kreuzung aus Eisbär (*Ursus maritimus*) und Grizzlybär (*Ursus arctos horribilis*). Sein Fell ist dick und weiß wie bei einem Eisbären, aber seine Beine und Tatzen sind braun wie bei einem Grizzlybären. Auch der Schädel ist breit wie bei einem Braunbären, die Klauen sind lang. In Kanada nennt man diese Hybridbären „Grolar-Bären“, eine Mischung aus den englischen Namen Grizzly und Polar Bear. Manchmal werden sie auch „Pizzly“ genannt.



Hybridbären in einem Zoologischen Garten



Hybridbär aus Kanada

Es ist erst das zweite Mal, dass man einen solchen „Hybriden“ erlegt hat. 2006 schoss ein amerikanischer Jäger den ersten nachgewiesenen Grolar-Bären, ein Männchen, ebenfalls in den kanadischen Northwest Territories. Aber das zweite erlegte Tier durch Kuptana fand deutlich mehr Aufmerksamkeit in der Wissenschaft. Denn es handelte sich bei dem Tier bereits um die zweite Generation eines Grolar-Bären, d.h. die Mutter war bereits eine Kreuzung, also eine Grolar-Bärin und der Vater ein Grizzlybär. Dabei handelt es sich um eine Ausnahme, denn Hybride zwischen Arten sind normalerweise extrem selten und sie produzieren meistens unfruchtbare oder keinen Nachwuchs.

Eisbären und Grizzlybären sind eng verwandte Arten. Forschungen an der Genetik beider Arten zeigen, dass sich die Abspaltung von Eis- und Braunbär vor 338.000 bis 934.000 Jahren ereignete. Der Eisbär gilt phylogenetisch gesehen als eigenständige und differenzierte Art und als Geschwisterart des Braunbären.

Bis zum Jahr 2017 wurden insgesamt acht Grolar-Bären genetisch nachgewiesen. Die Wahrscheinlichkeit ist deutlich erhöht, dass solche Kreuzungen wegen der Klimaerwärmung zukünftig häufiger vorkommen wird. Grizzlybären wandern auf der Suche nach Nahrung und Fortpflanzungspartnern verstärkt nach Norden und kommen dadurch auch in Lebensräumen wie der Arktis vor. Dort treffen sie dann auf Eisbären, die auf das Festland ausweichen müssen, weil das Meereis und ihre Nahrungsgrundlagen in Form von Robben schwinden. Dadurch verringert sich die Populationsgröße der ohnehin schon gefährdeten Eisbären weiter.

Richardson, Evan; Branigan, Marsha; Paetkau, David; Pongracz, Jodie D. (2017): Recent Hybridization between a Polar Bear and Grizzly Bears in the Canadian Arctic". *Arctic*. 70 (2): 151–160. doi:10.14430/arctic.4643
<https://www.sueddeutsche.de/wissen/baeren-mischung-pizzly-auf-eis-1.942154>, verändert.

AUFGABEN

- 1 Nenne die Gründe für die Entstehung von Grolar-Bären.
- 2 Erläutere wie man nachgewiesen hat, dass der Grolarbär eine „Hybrid-Art“ ist.
- 3 Erläutere die möglichen Auswirkungen der Hybridisierung auf die Population von Grizzlybären und Eisbären.
- 4 Begründe, warum zeugungsfähige Nachkommen bei Hybrid-Arten eine Seltenheit darstellt.

WINTERSCHLAF ODER WINTER- RUHE? – SCHWARZBÄREN AUF SPARFLAMME

Atmen, schnauben, brummen – nahezu unsichtbar hebt und senkt sich die Oberfläche des Fellbergs. Geradezu durchdringend dagegen erklingt ein tiefes Dröhnen. Was folgt ist Stille. Dann beginnt das Schnarchkonzert erneut. Die Geräusche kommen von einem Amerikanischer Schwarzbären im Winterschlaf. Oder Winterruhe?



Amerikanischer Schwarzbär (*Ursus americanus*)

Kann man bei Bären überhaupt von Winterschlaf sprechen oder halten sie eine Winterruhe? Die Körpertemperatur während der winterlichen Ruhephase ließ die Wissenschaft immer wieder zweifeln. Die meisten Bärenarten reduzieren ihre Aktivitäten während der Wintermonate. Amerikanische Schwarzbären „fahren“ im Winter sozusagen auf „Sparflamme“.

Schwarzbären zeigen fünf bis sieben Monate im Jahr eine deutlich reduzierte Aktivität. Die Tiere ziehen sich in Höhlen zurück. In dieser Zeit essen und trinken sie nicht. Zum Ende des Winters bzw. Beginn des Frühlings verlassen die Bären ihre Höhle in einer ähnlichen körperlichen Verfassung, in der sie zuvor waren. Besonders erstaunlich ist, dass in der langen Zeit weder Muskeln noch Knochen abgebaut wurden. Sie haben jedoch 25 % ihres Körpergewichts verloren. In Langzeituntersuchungen wurden Stoffwechselraten und Körpertemperaturen der Schwarzbären über den Winter gemessen. So konnte festgestellt werden, dass während des Winters der Stoffwechsel auf 25 % des Grundumsatzes reduziert wurde, die Körpertemperatur jedoch nur auf 30 – 37° C absank. Wenn die Körpertemperatur 30° C erreichte, bekamen die Bären Schüttelfrost und zitterten sich wieder auf 36 – 37° C. Die Herzschlagfrequenz fiel von 55 auf nur noch 9 – 14 Schläge pro Minute. Nach dem „Aufwachen“ aus der Winterpause halten Schwarzbären diese reduzierte Stoffwechselrate noch bis zu drei Wochen aufrecht. Die Untersuchungen zeigten, dass der Großteil der Stoffwechsel-Reduzierung während des Winters unabhängig von der Körpertemperatur ist. Bisher galt die Regel, dass bei zehn Grad geringerer Körpertemperatur der Stoffwechsel nur um 50 % sinkt. Bei den untersuchten Schwarzbären betrug die Absenkung jedoch 75%! Die relativ hohe Körpertemperatur ist ein enormer Vorteil für das Aufwachen aus der Winterpause. Was sonst deutlich länger dauert, schafft der Schwarzbär in wenigen Minuten.

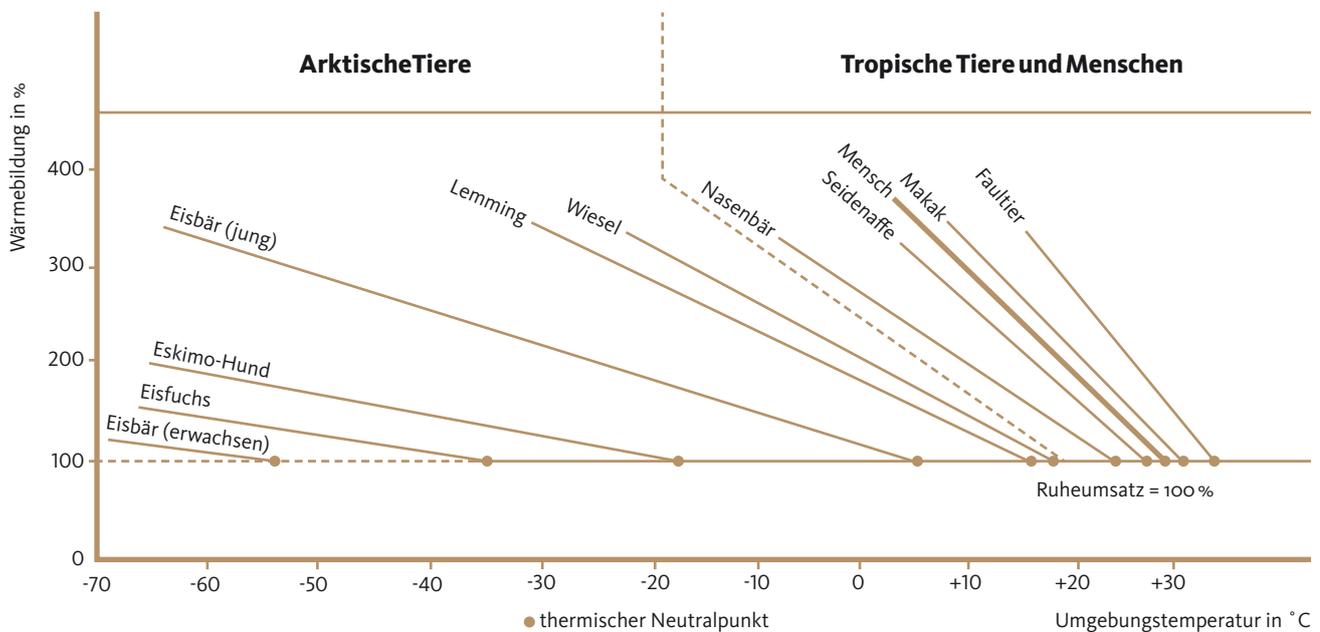
Øivind Tøien, John Blake, Dale M. Edgar, Dennis A. Grahn, H. Craig Heller, Brian M. Barnes (2011): Hibernation in Black Bears: Independence of Metabolic Suppression from Body Temperature, *Science* Vol. 331, Issue 6019, pp. 906-909, DOI: 10.1126/science.1199435.

AUFGABEN

- 1 Erläutern Sie die Zusammenhänge zwischen Körpertemperatur und Stoffwechselrate.
- 2 Erklären Sie die Überlebensstrategie der Bären im Winter.
- 3 Vergleichen Sie Winterruhe und Winterschlaf. Entscheiden Sie, welcher Fall beim Schwarzbär vorliegt.

STOFFWECHSELAKTIVITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER AUSSENTEMPERATUR

Wenn Tiere erfrieren, ist es in Wirklichkeit eher ein Verhungern. Aus Nahrungsmangel ist dann das labile Gleichgewicht zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe nachhaltig gestört. Die wichtigste (Überlebens-)Strategie für gleichwarme Tiere, eine kalte Zeit ohne oder mit wenig Nahrungsressourcen zu überstehen, ist, möglichst viel Energie für die Wärmeerzeugung einzusparen. Die folgende Abbildung zeigt Beispiele gleichwarmer Tiere:



AUFGABEN

- 1 Beschreiben Sie die Abbildung.
- 2 Erläutern Sie die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Temperatur und Stoffwechselaktivitäten der verschiedenen Tierarten.
- 3 Definieren Sie den thermischen Neutralpunkt der verschiedenen Tierarten.
- 4 Charakterisieren Sie die tropischen und arktischen Tierarten hinsichtlich ihrer ökologischen Toleranz in Bezug auf den Faktor Temperatur.
- 5 Überprüfen Sie die Richtigkeit des Zitats von Schwarzmaier et al. (1981) anhand der Abbildung:
„Es ist also, so paradox das erscheinen mag, die Wärmebildung vieler tropischer Tiere in ihrer heimatischen Umgebung die teilweise mehr belastet als die mancher Polartiere während des Polarwinters.“

WÖLFE SIND WEIT VERBREITET

Wölfe kommen fast in der gesamten nördlichen Hemisphäre und in den nördlichen Regionen der tropischen und subtropischen Gebiete der Alten Welt vor. Damit gehört der Wolf zu einem der am weitesten verbreiteten Säugetieren überhaupt.

AUFGABEN

- 1 Beschreiben Sie anhand der Tabelle das Aussehen der Unterarten des Wolfes in eigenen Worten.
- 2 Stellen Sie einen Zusammenhang zwischen Verbreitungsgebieten, Aussehen und Körpermerkmalen her.
- 3 Wenden Sie Ihnen bekannte ökologische Regeln auf diese Fallbeispiele an.

	Arktischer Wolf <i>Canis lupus arctos</i>	Timberwolf <i>Canis lupus occidentalis</i>	Eurasischer Wolf <i>Canis lupus lupus</i>	Äthiopischer Wolf <i>Canis simensis</i>
				
				
Verbreitung	75 – 82° nördliche Breite	48 – 74° nördliche Breite	40 – 65° nördliche Breite	9 – 18° nördliche Breite
Gewicht	35 – 50 kg	36 – 67 kg	30 – 70 kg	14 – 20 kg
Körperlänge	90 – 140 cm	112 – 170 cm	100 – 160 cm	90 – 100 cm
Schulterhöhe	65 – 80 cm	70 – 90 cm	70 – 85 cm	50 – 60 cm

LÖSUNGEN

S. 13: BRILLENPINGUINE – ÜBERLEBENSKÜNSTLER IM MEER

1. + 2.



3. Die Rückseite der Pinguine ist schwarz und die Bauchseite ist weiß. Dieser starke Kontrast wird Gegenkontrastierung genannt.

Vorteile: Möglichkeit zur Wärmeregulation an Land. Wenn einem Pinguin kalt ist, dreht er den Rücken zur Sonne und kann so durch das schwarze Gefieder viel Sonnenlicht absorbieren. Ist dem Vogel zu warm, exponiert er die Bauchseite. Das weiße Gefieder reflektiert die meisten Sonnenstrahlen. Ein weiterer Vorteil ist die Tarnung. Potentielle Fressfeinde (z.B. Haie oder Seeleoparden) sehen die weiße Bauchseite vor dem hellen Himmel, wenn sie sich von unten im Wasser nähern. Kommt der Fressfeind von oben, hebt sich die schwarze Rückenseite kaum vom dunklen Meeresgrund ab.

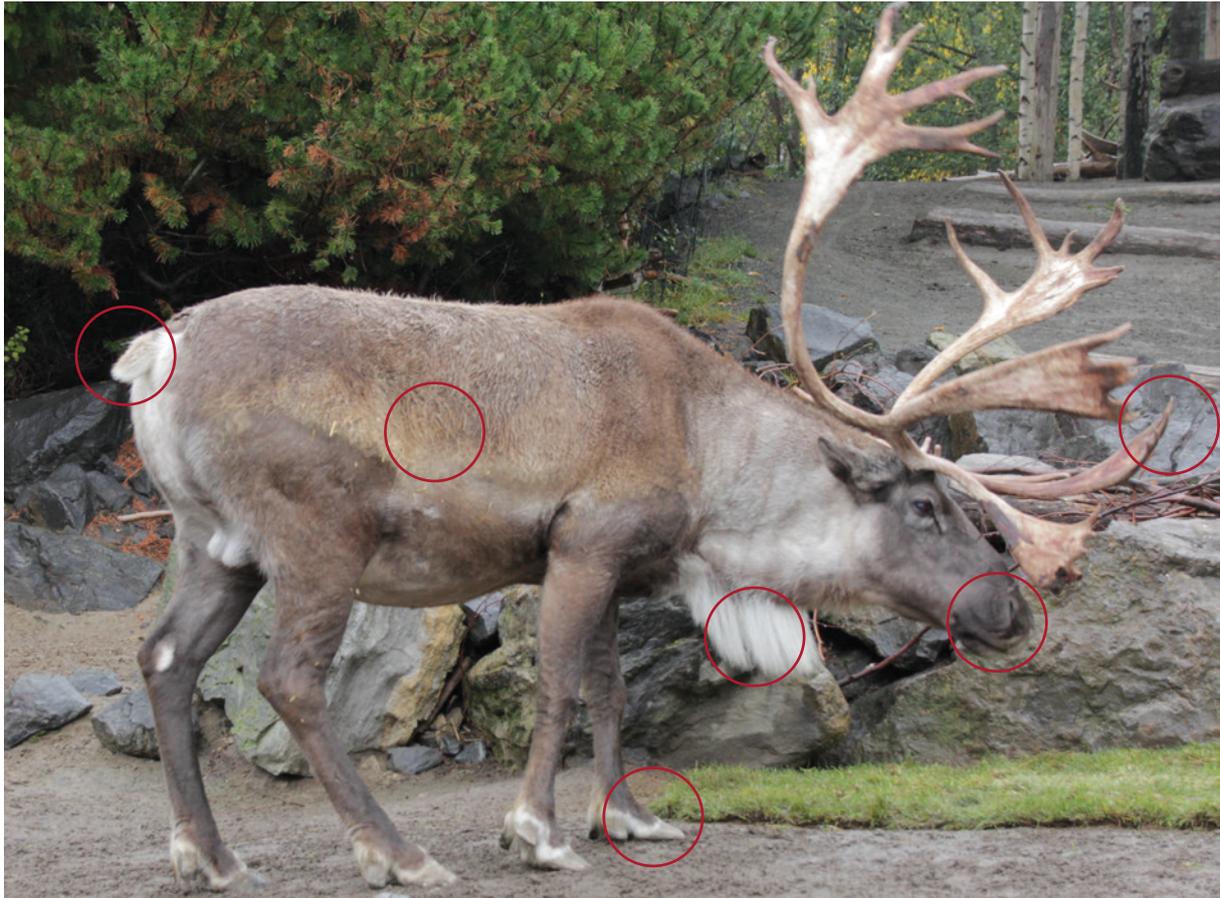
4. Temperaturen von oben nach unten: 38° C, 20° C, 12° C und 3° C. Die höchste Temperatur (38° C) erklärt sich aus der hohen Wärmeproduktion im Gehirn und daraus, dass der Bereich des Auges nur durch wenig Fett bzw. Federn geschützt ist. Der Körper ist dagegen besser isoliert (20° C). Die Flügelspitzen weisen keine Fettschicht und Federn auf. Sie besitzen zudem eine große abkühlende Wirkung (12° C). Die Füße sind am kältesten (3° C). Das liegt daran, dass die Füße direkten und ungeschützten Kontakt zum Eis haben. Der Pinguin verringert in den Füßen außerdem seine Durchblutung, so dass ein übermäßiger Wärmeverlust verhindert wird.

S. 14: ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – EISBÄREN



Merkmal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)
kleine Ohren	Kurze Körperanhänge vermindern die Gefahr der Auskühlung.
Kurzer Schwanz	Kurze Körperanhänge vermindern die Gefahr der Auskühlung.
Kräftige, kurze Krallen	Sicherer Halt auf dem Eis. Bei der Jagd auf Robben zum Ziehen der Robben aus dem Wasser
„Weißes“ Fell	Transparente, innen hohle Haare. Luft dient der Isolation. Farbe als Tarnung.
Kräftiges Raubtiergebiss	Sicheres Töten der Beute mit den Fangzähnen.
Gute Nase (guter Geruchssinn)	Kann Beute/Nahrung auf weite Entfernungen riechen.

S. 15: ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – KARIBUS



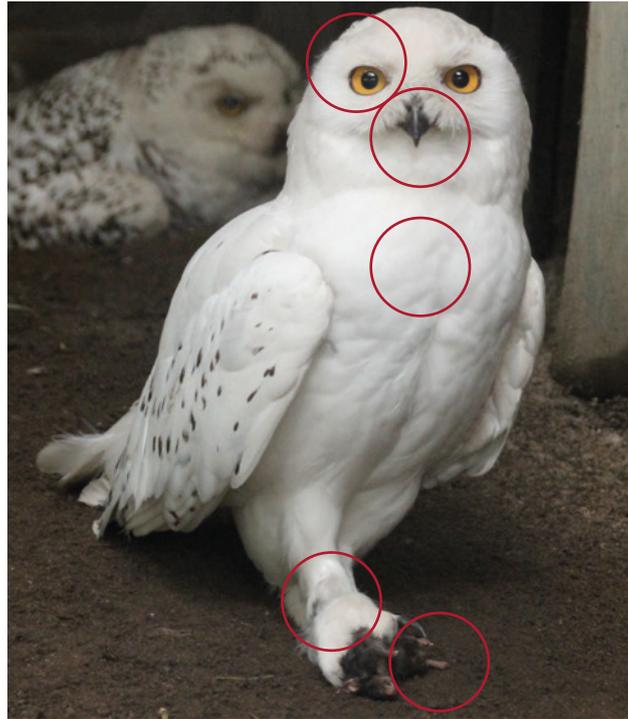
Merkmal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)
Kurze, durchblutete Körperanhänge, z.B. Schwanz	Verminderung der Wärmeabgabe (Allensche Regel).
Dichtes Winterfell mit viel Unterwolle	Extrem gute Isolierwirkung des Winterfells. Isolierende Luft wird zwischen den Haaren eingeschlossen.
Langes Geweih mit Augspross	Mit Hilfe des Geweihs kann Schnee weggeräumt werden, der z.B. Nahrung bedeckt.
Breite Hufe mit abspreizbaren scharfen Klauen	Hohe Auftrittsfläche vermindert das Einsinken der Tiere im tiefen Schnee. Dient zum Freischarren von Flechten (Nahrung) unter Schneedecken.
Langgezogene Schnauze	Dient der Erwärmung von kalter Luft beim Einatmen.
Nahrungsspezialist	Karibus sind Nahrungsspezialisten. Sie ernähren sich auch von Flechten, die sonst keine andere Tierart in den kalten Lebensräumen frisst.

S. 16: ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – SIBIRISCHE TIGER



Mermal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)
Große Pranken mit eingezogenen, langen Krallen	Schlagen und Festhalten der Beutetiere. Weiche Polster erlauben ein lautloses Anschleichen. Nahrung ist überlebenswichtig u.a. für die Wärmeproduktion.
Starke Muskulatur	Starke Muskulatur erlaubt auch große, wehrhaft Beutetiere zu töten. Schnelle Beschleunigung und große Sprungkraft.
Gestreiftes Fell	Gute Tarnung erlaubt dem Tiger ein Anschleichen an die Beute. Zudem ist das Fell sehr dicht mit viel Unterwolle und dient der Isolation.
Kräftiges Raubtiergebiss	Lange, dolchartige Fangzähne zum Töten der Beutetiere. Reißzähne dienen zum Abreißen von Fleisch.
Sehr gute Sinnesorgane (Ohren, Augen)	Können leiseste Geräusche wahrnehmen. Sehr guter Sehsinn für die Jagd notwendig.
Lange Schnurrhaare	Mit dem Tastsinnesorgan kann sich der Tiger in völliger Dunkelheit orientieren.
Sehr große Katze (Körperbau)	Dadurch sind die Wärmeverluste geringer als bei anderen Unterarten des Tigers (Bergmannsche Regel).

S. 17: ANPASSUNGEN AN DIE KÄLTE – SCHNEEEULEN



Mermal (beobachtet)	Funktion (Erklärung/Vermutung)
Befiederte, große Füße	Kälteschutz durch Isolierung und Vergrößerung der Auftrittsfläche, so dass ein Einsinken im Schnee verhindert wird.
Lange, scharfe Krallen	Dienen dem Ergreifen und Töten der Beutetiere.
Weißes, lockeres Gefieder	Färbung dient der Tarnung. Die Vögel werden so erst spät vom Beutetieren entdeckt. Im Gefieder kann viel Luft eingeschlossen werden, die isolierend wirkt.
Schnabel mit Federn umgeben	Dient als Schutz vor Kälte.
Sehr große Augen (im Verhältnis zum Körper)	Durch die großen Augen kann der Vogel auch bei schlechten Sichtverhältnissen gut sehen.
Sehr gutes Gehör (nicht von außen sichtbar)	Die Beute wird unter einer Schneedecke mit dem Gehör geortet.

S. 18: OHNE KÖRPERISOLIERUNG KÖNNEN MANCHE TIERARTEN IN DER KÄLTE NICHT ÜBERLEBEN

Fell / Federn	Fett	Fett und Fell / Federn
Schneeeule	Kegelrobbe	Eisbär
Karibu		Brillenpinguin
Wolf		Waschbär
Waldbison		Seebär
		Seelöwe
		Streifenskunk
		Schwarzschwanz-Präriehund

4. An der Luft noch wirkungsvoller als eine reine Fettschicht sind ein langes, dichtes Fell. Das Prinzip hierbei ist, die Luft zwischen den Haaren möglichst unbeweglich zu halten und damit Konvektion zu vermeiden. So bleibt sogar fallender Schnee auf den Tieren liegen, weil die Wärmeleitung zu gering ist, um den Schnee zu schmelzen. Für diese isolierende Wirkung sind dabei weniger die langen Grannenhaare verantwortlich, sondern die Unterwolle. Die Unterwolle besteht aus deutlich mehr feineren Haaren und ist von außen betrachtet nicht sichtbar. Dieses Prinzip findet man z.B. bei den Karibus, Wölfen und Waldbisons.

Der Eisbär, Waschbär, Streifenskunk und Schwarzschwanz-Präriehund haben neben einem dichten Fell auch eine verschieden starke Fettschicht, die sich die Tiere vor den Wintermonaten angefressen haben. Neben der isolierenden Wirkung benötigen diese Tiere diese Fettschicht, um davon über die Wintermonate zu zehren. Während der Wintermonate sind keine Nahrungsquellen oder nur sehr wenige vorhanden. Daher verbringen diese Tierarten bei großer Kälte im Winter auch eine Ruhephase, in denen sie inaktiv sind (Winterruhe). Allerdings halten sie keinen echten Winterschlaf!

5. Alle Tiere sind für ihren jeweiligen natürlichen Lebensraum gut geschützt. Die verschiedenen Tierarten haben unterschiedliche Mechanismen der Wärmeerzeugung, Wärmeaufnahme oder -abgabe, Isolationsmechanismen oder Wärmeregulation, um in ihrem jeweiligen Ökosystem zu überleben. Welche Mechanismen für die jeweilige Tierart optimal sind, um sich vor Kälte zu schützen, kann für eine andere Tierart in seinem Lebensraum möglicherweise dazu führen, dass das Tier den Winter nicht überlebt.

S. 19: WECHSELWARM ODER GLEICHWARM?

1. + 2. Schneeeule / G, Asiatischer Elefant / G, Hund / G, Wasserschildkröte / W, Eisbär / G, Känguru / G, Flachlandgorilla / G, Exmoorpony / G, Bartagame / W
3. Die meiste Wärme geben der Asiatische Elefant und der Flachlandgorilla ab. Die geringste Wärme wird abgegeben vom Eisbären und der Schneeeule.
4. Nur gleichwarme Tiere (Säugetiere und Vögel) produzieren in ihrem Körper Wärme. Die wechselwarmen Tiere nehmen diese aus der Umgebung auf. Tierarten, die in kalten Lebensräumen vorkommen, schützen sich vor Wärmeverlusten durch ein langes Fell oder ein gut isolierendes Federkleid. Tropische Tierarten wie Asiatischer Elefant und Flachlandgorilla haben eher das Problem überschüssige Wärme abzugeben. Sie haben entweder kein Fell (Elefant) oder ein sehr kurzes Fell (Gorilla).

S. 20: AUSWERTUNG VON WÄRMEBILDERN

Bestimmung der Temperaturen

Umgebungstemperatur: Boden ca. 34-36° C, Luft ca. 30° C.

Durchschnittliche Temperatur an der Oberfläche des Tieres: ca. 33° C.

Wärmste Körperstellen: Rücken, Hinterkopf mit jeweils ca. 34,5 °C.

Kältesten Körperstellen: Auge (ca. 28° C), Schnauzenbereich (ca. 31° C), Stacheln und Krallen (ca. 31° C)

Deutung der gefundenen Ergebnisse

Anhand der Umgebungstemperatur von ca. 34 – 36° C auf dem Boden und ca. 30° C der Luft kann festgestellt werden, dass das Bild in einem Terrarium des Erlebnis-Zoo aufgenommen wurde. Da die Haut der Bartagame nur 1 – 3° C wärmer bzw. kälter als die Umgebungstemperatur ist, handelt es sich bei einem Bartagame um ein wechselwarmes Tier. Da der Temperaturunterschied sehr gering ist, kann die Aussage getroffen werden, dass die Bartagame sich vor Wärmeverlust nicht sehr wirksam schützen kann. Es handelt sich sehr wahrscheinlich um ein Tier, dessen Lebensraum eine hohe Temperatur aufweist, z.B. in den Wüsten oder Steppengebieten.

S. 21: WIE FANGEN ROBBEN FISCHE?

1. Grundprinzip: Wenn die Sinnesorgane (Augen, Ohr und Nase) der Robben künstlich funktionsunfähig gemacht werden und den Meeressäugern eine künstliche Strömungspur gelegt wird, der sie danach sicher folgen, kann der Nachweis erbracht werden, dass die Vibrissen der Tiere sehr strömungssensitiv sind.
2. Die Ergebnisse können nur teilweise auf die Bedingungen im offenen Meer übertragen werden. Zwar kann sicher davon ausgegangen werden, dass die Vibrissen auch im Meer die gleiche Sensitivität haben. Jedoch gibt es im Meer deutlich mehr Einflüsse durch Außenfaktoren (z.B. verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten), die sich auf die Sensitivität und Reichweite der Vibrissen auswirken können.
3. Wesentliche Körpermerkmale sind u.a.: eine dicke Fettschicht, die ein Überleben im kalten Wasser ermöglicht, eine sehr flexible Wirbelsäule, die eine sehr hohe Wendigkeit beim Schwimmen und Tauchen ermöglicht, die Geschwindigkeit beim Schwimmen, ein Gebiss mit einzeln stehenden und spitzen Zähnen sowie die Fähigkeit min. 20 Minuten lang zu tauchen und dabei eine Wassertiefe von über 200 m zu erreichen.

S. 22: DIE ROBBEN DES ERLEBNIS-ZOO

Kalifornischer Seelöwe	Kegelrobbe	Nördlicher Seebär
Erkennungsmerkmale		
Helle Tiere; Antrieb über die Vorderextremitäten; diese sind deutlich länger als die Hinterextremitäten. Zipfelförmige Außenohren (Ohrenrobber).	Kegelförmiger Kopf. Keine zipfelförmigen Außenohren. Walzenförmiger Körper. Geflecktes, kurzes Fell. Vortrieb im Wasser durch die Hinterextremitäten.	Dunkle bis schwarze Tiere. Spitzer Kopf mit großen Augen. Großer Geschlechtsdimorphismus. Flossenartige Extremitäten, besonders die Hinterextremitäten sehr lang. Zipfelartige Außenohren. Verliert im Wasser viel Luft aus dem dichten Fell.
Fortbewegung an Land		
Auf den zu Flossen umgebildeten Extremitäten laufend. Dabei sind die Tiere schnell.	Robbend auf dem Bauch. Fortbewegung relativ langsam.	Auf den zu Flossen umgebildeten Extremitäten laufend. Dabei sind die Tiere schnell.
Fortbewegung im Wasser		
Durch Schlagen der Vorderextremitäten. Gesteuert wird vor allem mit den Hinterextremitäten.	Durch Schlagen der beiden Hinterextremitäten, die zu Flossen umgebildet sind.	Durch Schlagen der Vorderextremitäten. Gesteuert wird vor allem mit den Hinterextremitäten.
Hauptaufenthaltsort		
Kaum an Land. Oft auf den Inselfelsen der Anlage. Durchkreuzen ständig den mittleren Teil des Beckens bzw. den Bereich der Scheiben.	Selten an Land, vor allem zum Schlafen. Bevorzugen den Bereich vor der Tribüne.	Halten sich an Land meistens bei dem Boot vor der Innenanlage auf. Im Wasser oft im Bereich der linken Scheibe.

2. Alle drei Arten ernähren sich als Raubtiere hauptsächlich von Fischen. Sie würden sich in der Natur um Nahrung Konkurrenz machen. Bei einer ähnlichen Lebensweise würde sich langfristig eine Art auf Kosten der anderen Art durchsetzen (Konkurrenzausschlussprinzip) oder falls genug Nahrungsressourcen vorhanden sind in Koexistenz leben.
3. Die drei Robbenarten sollen auf der großzügigen Anlage miteinander interagieren. Es handelt sich um eine angestrebte Vergesellschaftung von Tieren (siehe Themenheft ZOOTIERHALTUNG). Jedoch muss durch die Tierpfleger*innen sichergestellt werden, dass es unter den Arten zu keinen aggressiven Handlungen kommt, bei denen sich die Tiere potenziell verletzen könnten. Daher ist ein langfristiger Prozess für eine Vergesellschaftung einzuplanen. Eine optimale und artgerechte Haltung ist die Voraussetzung, d.h. die Strukturierung der Anlage, Wasserqualität, Nahrungsangebot und vieles mehr müssen beachtet werden. Ein wichtiger Faktor ist auch die Gruppenzusammensetzung bei den drei Robbenarten. Die unterschiedlichen Tierarten werden zunächst einzeln an die Anlage gewöhnt. Unter Beobachtung der Mitarbeiter*innen des Zoos werden dann zunächst zwei, am Ende alle drei Arten zusammengeführt und das Verhalten der Tiere beobachtet. Es bildet sich unterschiedlich schnell eine stabile Rangordnung zwischen den Tierarten aus, die ein Zusammenleben ermöglicht.

S. 23: DAS EISBÄRENFELL – LERNEN VON DER NATUR

1. Dargestellt ist das Eisbärenfell in verschiedenen Vergrößerungen. Auf dem Bild 3 sind viele transparente und hohle Haare eines Eisbären zu sehen. Auf dem Bild 4 ist der Aufbau eines einzelnen Haares gezeigt mit einem Hohlraum, der an eine Röhre erinnert.
2. Die Haare der Eisbären wurden evolutionär optimiert, um Wärmeverlust bei Kälte und Feuchtigkeit zu vermeiden. Die Funktion der langen und hohlen Haare ist es, möglichst viel Luft um den Körper der Tiere „festzuhalten“. Da Luft ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, isolieren die hohlen Haare sehr gut, so dass auf Wärmebildern von ruhenden Eisbären, die Tiere kaum oder gar nicht zu erkennen sind. Die transparenten Haare erscheinen uns durch die Lichtbrechung weiß, so dass der Eisbär sehr gut in seinem Lebensraum auf dem Eis getarnt ist. Einer weiteren Hypothese nach wird durch die hohlen Haare Wärmestrahlung auf die Haut des Eisbären geleitet. Durch die schwarze Farbe der Eisbärenhaut kann das Licht absorbiert werden, wodurch mehr Wärme aufgenommen werden kann.
3. Physikalische Hintergründe: Ein Vakuum ist ein sehr guter Isolator. Luft ist, wie auch andere Gasgemische, ein guter Isolator, da Gas im Verhältnis zu Flüssigkeiten (z.B. Wasser) nur eine geringe Dichte hat. Bei der Wärmeleitung wird die Energie durch Stöße der Moleküle untereinander übertragen. Da Luft nur relativ wenige Moleküle pro Volumeneinheit aufweist, ist die Häufigkeit gering, mit der Moleküle aufeinanderstoßen und Wärme übertragen. Bei einer Absorption von Sonnenstrahlung wird Strahlung (Licht) in Wärme umgewandelt. Das Absorptionsvermögen von Licht ist v.a. abhängig von der Färbung des absorbierenden Stoffes. Hierbei absorbieren schwarz gefärbte Strukturen, wie die Haut des Eisbären deutlich besser, als eine rein weiße Oberfläche, die nahezu alle Lichtstrahlen reflektiert.

Biologische Hintergründe: Für den Eisbären besteht die Notwendigkeit sich zu tarnen, um erfolgreich seine Hauptbeute (Robben) zu erlegen. Die Tarnung muss daher der Umwelt und Umgebung farblich angepasst sein. Aufgrund des Lebensraumes des Eisbären ist die Tarnfarbe daher weiß. Es kann sogar beobachtet werden, dass manche Individuen sogar ihre schwarze Nase mit einer Pfote verdecken, wenn sie an einem Luftloch der Robben auf Beute lauern.

4. Die Haare der Eisbären wurden evolutionär optimiert, um Wärmeverlust bei Kälte und Feuchtigkeit zu vermeiden. Dies macht sie zu einem hervorragenden Modell für einen synthetischen Wärmeisolator. Es ist bekannt, dass das Eisbärenfell seine besonderen Eigenschaften der Mikrostruktur der einzelnen Härchen verdankt. Im Gegensatz zu den Haaren von Menschen oder anderen Säugetieren sind Eisbärenhaare hohl. Unter dem Mikroskop zeigt sich, dass jedes Haar einen langen, zylindrischen Hohlraum im Inneren besitzt. Dadurch entsteht die weiße Farbe des Fells und auch seine physikalischen Eigenschaften basieren auf dieser Mikrostruktur: Die Hohlräume kombiniert mit dem Material der Haarhülle machen die Haare leicht, isolierend, wasserbeständig und flexibel. Dabei handelt es sich um ein Eigenschaftsprofil, das von dem Materialforscher von großen Interesse ist. Das Eisbärenfell-Konzept auf synthetische Materialien zu übertragen ist teilweise gelungen. Es handelt sich dabei um ein sogenanntes „Aerogel“. Das sind extrem poröse Festkörper, die fast nur aus Luft bestehen und dadurch extrem leicht, wärmedämmend und stabil sind. Das Eisbärenfell-Aerogel besteht aus Unmengen winziger hohler Kohlenstoffröhrchen, die den Eisbärhaaren nachempfunden wurde. Vergleichbar mit einem Haufen Spaghetti sind diese Röhrchen ineinander verwickelt und formen gemeinsam Aerogel-Gebilde. Im Vergleich zu anderen Aerogelen und Isolationskomponenten ist das vom Eisbären inspirierte Hohlröhrchen-Design noch leichter und hat einen besseren Wärmedämmungseffekt. Außerdem ist es wasserabweisend und vor allem strapazierfähig: Auch nach häufigem Eindrücken federt das Material immer wieder in den Ausgangszustand zurück. Somit könnte sich aus dem Konzept nun ein neuer Hochleistungs-Dämmstoff entwickeln, z.B. für die Luft- und Raumfahrt.

S. 24: GROLAR-BÄREN

1. Die aktuellen Studien zeigen, dass die Artbildung der Eisbären viel früher begann als jahrzehntelang angenommen. Eisbären tauchten bereits vor ca. 600.000 Jahren auf. Bislang erzählen hauptsächlich genetische Untersuchungen von den Urahnen der Polarbären. Es gibt eine Braunbärpopulation auf Inseln vor der Küste Alaskas, die Eisbären mehr ähnelt als anderen Braunbären. Natürlich sind beide Arten eng miteinander verwandt und paarten sich in ihrer Evolution wohl auch miteinander, doch genetisch zeigen sie deutliche Unterschiede. Durch die Isolation und unter den vorherrschenden extremen Lebensbedingungen in der Arktis erfolgte eine Artbildung zum Eisbären, größtenteils nach dem Modell der allopatrischen Artbildung. Als Folge der Klimaerwärmung begannen die Grizzly-Bären nach Norden zu wandern und neue Lebensräume und Nahrungsquellen zu erschließen. Umgekehrt werden die Eisbären durch das immer dünner werdende Meereis und der Verlust ihrer wichtigsten Nahrungsquelle (Robben) nach Süden gedrängt. In den Küstengebieten des Festlandes treffen nun die beiden Arten häufiger aufeinander und es kommt gelegentlich zu Verpaarungen. Die daraus resultierenden Arthybriden sind die Grolar-Bären.
2. Durch eine DNA-Sequenzanalyse wurde in diesem Beispiel der Beweis erbracht. DNA-Proben (z.B. Fell, Haut oder Blut) von Eisbären, Grizzly-Bären und Grolar-Bären werden genommen. Diese werden durch das Verfahren der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) amplifiziert und anschließend mit spezifischen Restriktionsenzymen geschnitten. Durch das Verfahren der Gelelektrophorese werden die Bruchstücke unter Gleichspannung spezifisch aufgetrennt. Diese werden dadurch sichtbar und können verglichen werden. Die DNA-Fragmente eines Grolar-Bären müssen in Teilen mit denen des Grizzly-Bären und in Teilen mit denen des Eisbären übereinstimmen.
3. + 4. Arthybride kommen relativ selten in der Natur vor, da die prä- und postzygotische Isolationsmechanismen wirksam sind. So finden entsprechende Paarungen kaum statt, bzw. es entwickeln sich sehr selten lebensfähigen Nachkommen. Wenn Nachkommen dennoch erzeugt werden, sind sie entweder steril, zeugen schwächere Nachkommen und sind im intraspezifischen Konkurrenzkampf unterlegen, so dass es zu keiner Fortpflanzung kommt. Sterile Arthybride bleiben ohne (oder haben nur marginalen) Einfluss auf die Population der Grizzly-Bären und Eisbären. Wenn sich jedoch die Umweltbedingungen drastisch verändern – wie in diesem Beispiel – und auch fruchtbare Hybrid-Bären der zweiten Generation entstehen, kann es dazu kommen, dass sich diese Hybrid-Bären in Grenzgebieten des natürlichen Lebensraumes etablieren. Theoretisch könnte im Verlauf der Zeit eine neue Bärenunterart durch Hybridisierung entstehen. Diese wäre eine Konkurrenz für die Eisbären, da sie die gleichen Rückzugsgebiete im Sommer beanspruchen würde. Die Lebensräume für die Grizzly-Bären würden sich ebenfalls im Norden mit denen der Hybrid-Bären überlappen.

S. 25: WINTERSCHLAF ODER WINTERRUHE? – SCHWARZBÄREN AUF SPARFLAMME

1. Sogar ohne jegliche Anstrengung im Schlaf weisen gleichwarme Tiere eine Mindeststoffwechselrate auf, den Ruheumsatz. Dieser wird hauptsächlich bestimmt durch die Umsetzungsrate von Enzymen, die jeden Stoffwechselschritt katalysieren. Wie jede chemische Reaktion kann man die Wechselrate der Enzyme und damit ihre Reaktionsgeschwindigkeit mit der RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel) umschreiben. Hiernach verdoppelt sich die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion, wenn die Temperatur um 10°C erhöht wird. Enzyme besitzen ein Temperaturoptimum, das der normalen Körpertemperatur des jeweiligen Lebewesens entspricht und bei dem sie am effektivsten arbeiten können. Bei erhöhter Körpertemperatur nimmt die Stoffwechselrate zwar zunächst noch zu, doch die Enzyme drohen zu denaturieren. Die Wasserstoffbrückenbindungen des Proteins lösen sich und die katalytische Wirkung geht durch die resultierende Konformitätsänderung zunehmend verloren. Im Normalfall hängt also die Stoffwechselrate nicht direkt von der Körpertemperatur, sondern – neben dem aktuellen physiologischen Zustand des Lebewesens – vom ATP-Verbrauch der Regelmechanismen, die die Körpertemperatur konstant halten, ab.
2. Bären benötigen täglich, u.a. abhängig von Unterart, Alter und Jahreszeit, durchschnittlich ca. 2 % des Körpergewichts an Nahrung. Nahrung steht im Winter nur sehr begrenzt oder gar nicht zur Verfügung und die angefressenen Fettreserven reichen nicht aus, um in Ruhezustand bei normaler Körpertemperatur den Winter zu überleben. Die Überlebensstrategie besteht also darin, die Körpertemperatur zu senken und dadurch eine geringe Stoffwechselrate zu erzielen. Durch eine geringere Stoffwechselrate können die Bären länger von ihren Fettreserven zehren. Um dies effektiv zu leisten, muss ein Schwarzbär nach der RGT-Regel eine Körpertemperatur von wenigen Grad Celsius über Null aufweisen. Schwarzbären haben jedoch die Fähigkeit die Stoffwechselaktivität und damit den ATP-Verbrauch von der Körpertemperatur „abzukoppeln“. Obwohl die Körpertemperatur nur um 3 – 9 °C sinkt, sinkt auch die Herzfrequenz, die ein Maß für die Stoffwechselaktivität ist, auf unter 20%. Die Fettvorräte reichen so ca. 5 x länger! Diese Abkopplung wird durch ein HIT-Hormon (Hibernation Induction Trigger) unterstützt, welches z.B. auch bei Murmeltieren nachgewiesen wurde.
3. Der Hauptunterschied zwischen Winterruhe und Winterschlaf ist, inwieweit die Körpertemperatur während der inaktiven Phase abgesenkt wird. Da dies beim Schwarzbären kaum der Fall ist, wird diese Tierart meistens als klassischer Winterruher beschrieben. Wissenschaftler gehen davon aus, dass alle Bären keinen Winterschlaf, sondern eine Art Winterruhe halten. Wobei das nicht unbedingt zwingend auf jeden Bären zutrifft. Im Gegensatz zu vielen anderen Bärenarten halten z.B. Malaienbären (*Helarctos malayanus*) keine Winterruhe, da sie in tropischen Gebieten leben und ihre Nahrungsquellen das ganze Jahr über verfügbar sind. Aber auch das Verhalten von Braun- oder Schwarzbären ist individuell verschieden und so gibt es durchaus Bären, die eine nur kurze Winterruhe machen. Leben sie in Gegenden,

in denen es im Winter so warm ist, dass sie genügend zu fressen finden, verzichten die Tiere meistens auf eine längere Winterruhe. Betrachtet man beim Schwarzbären den entscheidenden Energie-Einspareffekt, ähnelt er sogar einen Winterschläfer. Die Energiespareffekte eines Schwarzbären sind für andere Säugetierarten nur durch eine drastische Senkung der Körpertemperatur erreichbar. Die Übergänge zwischen Winterruhe und Winterschlaf sind (ab und an) fließend. Auch die Winterruhe bei Bären ist in der Wissenschaft nicht vollständig erforscht. Insbesondere die Diskrepanz zwischen dem Absenken der Körpertemperatur und den anderen Körperfunktionen interessiert die Forschung.

S. 26: STOFFWECHSELAKTIVITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER AUSSENTEMPERATUR

1. + 2. Wenn die Außentemperatur absinkt, erhöhen sich die Temperaturunterschiede im inneren Milieu eines gleichwarmen Tieres und die Wärmeabgabe nimmt zu. In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, u.a. der Größe des Tieres und der Qualität der isolierenden Schichten, wird das zunächst toleriert. Der Stoffwechsel bleibt bei einem ruhenden Tier auf dem Niveau des Grundumsatzes. Sinken die Außentemperaturen jedoch weiter ab, sinkt auch die konstant zu haltende Temperatur im Körperinneren. Das Tier kompensiert das, indem es die Wärmeproduktion erhöht. Dies geschieht durch die Erhöhung des Stoffwechsels, der dann proportional mit der weiteren Temperaturabnahme des Tieres ansteigt.
3. Der thermische Neutralpunkt ist die Außentemperatur, die ein gleichwarmes Tier gerade noch toleriert ohne durch eine Erhöhung der Stoffwechselaktivitäten für eine zusätzliche Wärmeproduktion sorgen zu müssen.
4. Tropische, gleichwarme Tierarten, wie das Faultier, sind stenotherm. Faultiere tolerieren nur geringe Temperaturschwankungen von ca. 20° C. Arktische Tierarten sind dagegen extrem eurytherm. Eisbären kommen mit Temperaturunterschieden von über 90° C zurecht. Tropische Tierarten fehlen leistungsfähige Schutzmechanismen vor kalten Temperaturen. Diese kommen im Tageszeitenklima ihres natürlichen Lebensraumes nicht vor, bzw. sind gering oder selten. Das Fehlen von entsprechenden Schutzmechanismen ist eine Anpassung, die wertvolle Stoffwechselenergie spart. In arktischen Gebieten dagegen gibt es ein ausgeprägtes Jahreszeitenklima und extrem hohe Temperaturschwankungen im Jahresverlauf.
5. Die Aussage ist nur bedingt richtig: Sie trifft bei Wetteranomalien zu, die nur in unregelmäßigen Abständen (u.a. El-Nino) auftreten und durch den Klimawandel verstärkt werden. Dann ist der Kältestress für die in der Abbildung angegebenen tropischen Tierarten sehr hoch. Viele kleine Tierarten haben entsprechende Schutzmechanismen gegen übermäßige Energieverluste durch Wärmeentzug entwickelt (u.a. Torpor bei kleinen Säugetieren). Ausgewachsene, arktische Tierarten haben tatsächlich nur geringe Probleme damit ihren Wärmehaushalt stabil zu halten. Ihr größtes Problem ist die Aufrechterhaltung des Grundumsatzes im Polarwinter (z.B. Eisfuchs) bzw. im Polarsommer (z.B. Eisbär) infolge von Nahrungsmangel.

S. 27: WÖLFE SIND WEIT VERBREITET

1. + 2. Das natürliche Verbreitungsgebiet des Arktischen Wolfes erstreckt sich über den Polarkreis hinaus (v.a. Kanada und Grönland). Entsprechend dient seine Fellfarbe als Tarnung. Deutlich zu erkennen ist, dass das Fell des Arktischen Wolfes länger als das der anderen Wolfsunterarten ist. Seine Körperform ist sehr kompakt. Die Ohren sind dicht mit Fell umwachsen und so gegen Auskühlung gut geschützt.

Das Verbreitungsgebiet der Timberwölfe schließt sich südlich an das der Arktischen Wölfe an. Manchmal überlappen sich die Verbreitungsgebiete. Der abgebildete Timberwolf in der Tabelle besitzt ein dunkles Fell. Die Fellfärbung bei Timberwölfen ist jedoch sehr variabel. Sie haben lange Beine und auch eine große Schulterhöhe. Beides hilft dem Tier im tiefen Schnee große Distanzen zu laufen und erfolgreich zu jagen.

Der Eurasische Wolf ist vor allem in Teilen Mitteleuropas und im nördlichen Asien verbreitet. Aufgrund des großen Verbreitungsgebietes sind die Größe und das Gewicht sehr variabel. Die Körperfärbung ist vorwiegend bräunlich-grau und dient als Tarnung in den Waldgebieten.

Der Äthiopische Wolf hat die mit Abstand südlichste Verbreitung (Äthiopien und Sudan, Afrika). Das natürliche Verbreitungsgebiet ist im Vergleich zu den anderen Wolfsunterarten sehr klein. Er hat das geringste Gewicht, ist jedoch recht hochbeinig. Seine Ohren sind lang. Der erfolgreiche Jäger lebt in den Hochgebirgen bis zu 4400 m. Er hat im Vergleich zu den anderen Wolfsunterarten das kürzeste Fell.

3. Denkbar sind hier Bezüge zur Bergmannschen Regel (Gewicht/Größe) und zur Allenschen Regel (relative Ohrlänge, relative Länge der Extremitäten). Die Tendenzen sind zwar gegeben, dass es jedoch auch mit der Bergmannschen Regel nicht zu vereinbarende Merkmale zu entdecken gibt, liegt in der Natur der Sache: nicht nur die Temperatur hat Einfluss auf die Körperform der verschiedenen Wolfsunterarten!

QUELLEN

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Wenn nicht anders angegeben, stammen die Fotos und Zeichnungen aus dem Bestand des Erlebnis-Zoo Hannover.

Abb. 8: Braune Fettzelle, <http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.zum.de/Faecher/Materialien/hupfeld/Aufgaben/Stofwechsel/braunes-fett/Abb4.jpg>

Abb. 11: Wärmeisolation bei der Kegelrobbe, nach Bertsch 1977, verändert.

Abb. 13: Wärmeisolation beim Waldbison, nach Bertsch 1977, verändert.

S. 34: Hui-Juan Zhan, Kai-Jin Wu, Ya-Lin Hu et. al (2019): Biomimetic Carbon Tube Aerogel Enables Super-Elasticity and Thermal Insulation. Chem Cell Press, Volume 5, ISSUE 7, p. 1871 – 1882, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.04.025>.

S. 40: Stoffwechselaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur, nach Schwarzmeier et al. 1981.

LITERATURVERZEICHNIS

Bertsch A. (1977): In Trockenheit und Kälte. Anpassungen an extreme Lebensbedingungen. Otto Meyer Verlag, Ravensburg.

Bickel H. et al. (1995): Natura Oberstufe Lehrerband Stoffwechsel. Ernst-Klett Verlag, Stuttgart.

Campell N.A. (2000): Biologie. 2. Auflage, Spektrum-Akademischer Verlag, Berlin.

Castello J.R. (2018): Canids of the World. Princeton University Press, Oxfordshire.

Castello J.R. (2020): Felids and Hyenas of the World. Princeton University Press, Oxfordshire.

Chester S. (2016): The Arctic Guide: Wildlife of the Far North. Princeton Field Guides Book.

Cieplek D. et al. (2010): Erlebnis Naturwissenschaften 1. Schroedel-Verlag, Braunschweig.

Del Hoyo J., Elliot A. & Sargatal J. (1992): Handbook of Birds of the World. Vol. 1. Ostrich to Ducks. Lynx Editions, Barcelona.

Del Hoyo J., Elliot A. & Sargatal J. (1999): Handbook of Birds of the World. Vol. 5. Barn-owls to Hummingbirds. Lynx Editions, Barcelona.

Derocher A.E. (2012): Polar Bears: A Complete Guide to Their Biology and Behavior. John Hopkins University Press.

Eckert R. et al. (2002): Tierphysiologie. 4. Auflage, Thieme Verlag, Heidelberg.

Flindt R. (1985): Biologie in Zahlen. Gustav Fischer Verlag.

Hailer F., Kutschera V.E., Hallström B.M. et al. (2012): Nuclear genomic sequences reveal that Polar bears are an old and distinct bear lineage. Science Vol. 336, pp. 344 – 347.

Hui-Juan Zhan, Kai-Jin Wu, Ya-Lin Hu et. al (2019): Biomimetic Carbon Tube Aerogel Enables Super-Elasticity and Thermal Insulation. Chem Cell Press, Volume 5, ISSUE 7, p. 1871 – 1882, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.04.025>.

Øivind Tøien, John Blake, Dale M. Edgar, Dennis A. Grahn, H. Craig Heller, Brian M. Barnes (2011): Hibernation in Black Bears: Independence of Metabolic Suppression from Body Temperature, Science Vol. 331, Issue 6019, pp. 906 – 909, DOI: [10.1126/science.1199435](https://doi.org/10.1126/science.1199435).

Mech L.D. & Boitani L. (2007): Wolves: Behavior, Ecology and Conservation. University of Chicago Press.

Müller W. et al. (2006): Tier- und Humanphysiologie. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin.

Nachtigall W. (2005): Plaudereien über das Leben auf dem Land, im Wasser und in der Luft. Springer Verlag, Berlin.

Richardson E., Branigan M., Paetkau D., Pongracz, Jodie D. (2017): Recent Hybridization between a Polar Bear and Grizzly Bears in the Canadian Arctic. *Arctic*. 70 (2): 151 – 160. doi:10.14430/arctic4643.

Schwarzmeier W. et al. (1981): *Energiehaushalt: Physiologische und ökologische Aspekte bei Tier und Mensch*. Ernst-Klett Verlag, Stuttgart.

Vogel G. et al. (1987): *dtv-Atlas zur Biologie Band 2*. 3. Auflage, Deutscher Taschenbuch Verlag, München.

Wilson D.E. & Mittermeier R.A. (2009): *Handbook of the Mammals of the World. Vol. 1. Carnivores*. Lynx Editions, Barcelona.

Wilson D.E. & Mittermeier R.A. (2011): *Handbook of the Mammals of the World. Vol. 2. Hoofed Mammals*. Lynx Editions, Barcelona.

Wilson D.E. & Mittermeier R.A. (2014): *Handbook of the Mammals of the World. Vol. 4. Seam Mammals*. Lynx Editions, Barcelona.

Zooschule
Erlebnis-Zoo Hannover
Adenauerallee 3
30175 Hannover
Tel.: 0511 / 28074 - 0
zooschule@erlebnis-zoo.de
erlebnis-zoo.de/zooschule

Stand 01.2021

