

# TIERISCH HEISS

LISA  
WARNECKE



aufbau

Wie Koala,  
Elefant und Meise  
auf die **KLIMAKRISE**  
reagieren

# TIERISCH HEISS

LISA  
WARNECKE

a

aufbau

Wie Koala,  
Elefant und Meise  
auf die **KLIMAKRISE**  
reagieren

# Über das Buch

Vom Outback bis zur Ostsee – wie die Tiere mit der Klimakrise umgehen

Die Wetterextreme nehmen zu. Buschbrände in Australien, Hitzewellen in Deutschland, Dürren in Afrika, schwindende Eisflächen an den Polen. Das »wütende Wetter« bedroht nicht nur uns Menschen, sondern auch die Tierwelt.

Possums fallen zu Hunderten tot aus den Bäumen, Koalas umarmen kühle Bäume – und sterben doch. Aber es gibt auch Tiere, die sich erfolgreich anpassen. Die in Australien lebende Wildtierbiologin Lisa Warnecke zeigt, welche Folgen in der Tierwelt schon jetzt zu sehen sind, warum wir die Biologie von Tieren verstehen müssen um ihnen bei der Bewältigung der Klimakrise helfen zu können – und wie dringend wir einen effektiveren Artenschutz brauchen, damit Ökosysteme im Wandel ein neues Gleichgewicht finden können.

## Über Lisa Warnecke

*Lisa Warnecke* wurde 1978 in Frankfurt am Main geboren und studierte Biologie an der Goethe-Universität. Seit 16 Jahren untersucht sie die Anpassung von Wildtieren an

Kälte, Hitze und Urbanisierung. Sie hat unter anderem mit Beuteltieren, Fledermäusen und Igel gearbeitet und dafür in Perth und Armidale (Australien), Winnipeg und Saskatoon (Kanada) und Hamburg geforscht. Nun lebt sie mit ihrem Mann und ihren zwei Kindern in Albury, Australien. 2017 erschien von ihr »Das Geheimnis der Winterschläfer. Reisen in eine verborgene Welt«.

# ABONNIEREN SIE DEN NEWSLETTER DER AUFBAU VERLAGE

Einmal im Monat informieren wir Sie über

- die besten Neuerscheinungen aus unserem vielfältigen Programm
- Lesungen und Veranstaltungen rund um unsere Bücher
- Neuigkeiten über unsere Autoren
- Videos, Lese- und Hörproben
- attraktive Gewinnspiele, Aktionen und vieles mehr

Folgen Sie uns auf Facebook, um stets aktuelle Informationen über uns und unsere Autoren zu erhalten:

<https://www.facebook.com/aufbau.verlag>

**Registrieren Sie sich jetzt unter:**  
**<http://www.aufbau-verlag.de/newsletter>**

Unter allen Neu-Anmeldungen verlosen wir jeden Monat ein Novitäten-Buchpaket!

---

Lisa Warnecke

## **Tierisch heiß**

*Wie Koala, Elefant und Meise auf die  
Klimakrise reagieren*

 aufbau digital

# **Inhaltsübersicht**

**Informationen zum Buch  
Newsletter**

**Vorwort**

**Kapitel 1 Extreme - Antworten auf wütendes Wetter**

**Hitze Welle**

**Sauer Stoff**

**Haus Halt**

**Kost Bar**

**Irre Parabel**

**Zebra Finken**

**Bruch Teil**

**Aqua Tisch**

**Klima Anlage**

**Feuer Säule**

**Funken Flug**

**Sonder Gremium**

**Arten Listen**

**Ent Kommen**

**Kont Rolle**

**Ab Schied**

## **Kapitel 2 Energie - Was Tiere zum Leben brauchen**

**See Betten**

**Energie Tisch**

**Ent Deckung**

**Thermo Neutral**

**Tor Por**

**Zeit Verschiebung**

**Wild Bahn**

**Kreide Zeit**

## **Kapitel 3 Anpassungen - Wie Tiere mit Hitze leben**

**Erd Ferkel**

**Unter Irdisch**

**Energie Zufuhr**

**Wunder Netz**

**Fett Speicher**

**Trink Wasser**

**An Hang**

**Kurz Strecke**

## **Kapitel 4 Grenzen - Von Nischen, Mobilität und Flexibilität**

**Plage Geister**

**Phäno Typisch**

**Zeit Lich**

**Mikro Klima**

**Sternen Tanz**

**Dienst Leistung**

**Mobil Ität**

**Frosch Laich**

**Schad Stoff**

**Schild Kröten**

**Mies Muschel**

**Süss Wasser**

## **Kapitel 5 Wandel - Zwischen Klimakrise und Artensterben**

**Eiab Lage**

**Ur Ban**

**Rück Gang**

**Finger Abdruck**

**Klima Quelle**

**Klima Puffer**

**Gene Tisch**

**Ark Tisch**

**Jagd Gründe**

**Mega Fauna**

**Elfen Bein**

**Hot Spot**

**Aus Sterben**

**Über Leben**

**Neuan Siedlung**

**Defau Nation**

**Zeit Raum**

**Danksagung**

**Anmerkungen**

**Register der erwähnten Tiere**

**Impressum**

Für meine Eltern Ruth und Heinz

# Vorwort

Während meine Tochter draußen in der Hitze ihren ersten Schulklimastreik erlebt, sitze ich in der kühlen Bibliothek und frage mich, wie Wildtiere in einer Welt im Wandel zurechtkommen. Neben einem Temperaturanstieg erfolgt eine Zunahme von Wetterextremen. Jahr für Jahr flimmern die Nachrichten von Hitzewellen, Dürren und Waldbränden über die Bildschirme. Welche Auswirkungen hat das auf unsere Wildtiere, wie gut können sie sich an die neuen Bedingungen anpassen?

In diesem Buch erkläre ich physiologische Vorgänge und ökologische Zusammenhänge auf der Suche nach Antworten auf Fragen wie: Welche Reaktionen zeigen Tiere auf Wetterextreme wie Hitzewellen und Feuer? Warum dreht sich alles um Energie und Wasser? Welche Anpassungen an heiße Lebensräume finden wir im Tierreich? Wie verschieben sich Verbreitungsgebiete? Wie hängt der Klimawandel mit dem Artensterben zusammen? Dabei gewähre ich Einblicke in den Alltag der Wildtierforschung durch Beschreibungen der Arbeit von Kolleg:innen weltweit und meiner eigenen Untersuchungen.

Mein Interesse gilt dem Gebiet, wo Ökologie und Physiologie aufeinandertreffen. Um der Frage nachzugehen, wie Tiere unter extremen Bedingungen überleben, habe ich an den unterschiedlichsten Orten geforscht. Für meine Dissertation untersuchte ich in Australien die Überlebensstrategien kleiner Beuteltiere in Trockengebieten. Darauf folgte Kanada, wo ich Fledermäuse in der bitterkalten Prärie unter die Lupe nahm. Hamburg war die nächste Station, dort beschäftigte ich mich mit dem Winterschlaf von Igel in Großstadtdschungel. Seit einigen Jahren lebe ich nun mit meiner Familie im australischen Albury, wo der Sommer gefühlt acht Monate dauert und Hitzewellen im Januar zum Alltag gehören. Hier bekomme ich die Folgen des anthropogenen Klimawandels direkt vor meiner Haustür zu spüren und bin der Frage nachgegangen, wie Tiere mit dem wütenden Wetter umgehen.

Nur wenn wir verstehen, wie ein Tier in seinem derzeitigen Lebensraum zurechtkommt und welche Rolle Energie, Wasser und Temperatur für sein Überleben spielen, können wir Vorhersagen für die Zukunft wagen. Keiner weiß genau, welche Arten sich erfolgreich anpassen werden können, zu komplex sind die Interaktionen in einem Ökosystem – jedoch gibt es eine Menge Menschen, die tierische Reaktionen auf Umweltveränderungen untersuchen.

Anhand aktueller Beispiele für entsprechende Forschungsprojekte möchte ich Sie einladen zu einer gemeinsamen Suche nach den Antworten der Wildtiere auf die Klimakrise.

# Kapitel 1

## Extreme - Antworten auf wütendes Wetter

Mächtige Bäume heben sich als schwarze Silhouetten vom Nachthimmel ab. Es knirscht und knackt im Wald. Forsche Schritte bahnen sich einen Weg durch die Dunkelheit. Der Lichtstrahl einer Taschenlampe läuft an jedem Baum auf und ab. Gebannte Augen folgen ihm erwartungsvoll. Seit zwei Stunden sind die Forscher auf der Suche nach einem Baumbewohner mit Ringelschwanz. Ohne Erfolg. Ein Kauz fliegt auf, einige Kängurus springen eilig davon, und hochfrequente Klickrufe verraten die Anwesenheit von Fledermäusen. Sonst ist es ruhig. Zu ruhig. Da! Endlich verrät die Reflektion von Augen aus der Dunkelheit, dass dort ein Tier ist. Es ist die gewünschte Art, wie an der Form des Schwanzes eindeutig zu bestimmen ist. Nun muss es schnell gehen. Das Tier wird per Hand gefangen und in einen Beutel gesetzt, wo es sofort ruhig wird. Zufrieden macht sich das Team auf den Rückweg zum Fahrzeug, querfeldein und durch den Wald.

Bei dem Tier handelt es sich um einen Östlichen Ringelschwanzbeutler. Dieses katzen große Beuteltier gehört zu den Possums, die nicht zu verwechseln sind mit den Opossums, die auf dem amerikanischen Kontinent leben. Das Possum wird für 24 Stunden zu Gast an der Universität sein, um dann wieder am gleichen Baum freigelassen zu werden. Projektführer ist mein Mann Jamie Turner, Wildtierbiologe an der Charles Sturt University im australischen Albury. Unterstützung bei der Feldarbeit bekommt er von Freunden, Unikolleg:innen oder anderen naturbegeisterten Menschen, die sich nachts gerne im Wald tummeln. So auch heute, wo ein Vater und sein jugendlicher Sohn mithelfen. Sie sind einfach gerne draußen, um Wildtierforschung live mitzuerleben. Es ist fast Mitternacht, als das Possum-Team nach einer kurzen Fahrt das Universitätsgelände erreicht. Dort setzt Jamie seine Helfer mit einem Dankeschön an deren Auto ab und fährt mit dem Possum auf der Rückbank zum Ökologiegebäude. Dort wird er die Anpassung des Tieres an seinen Lebensraum untersuchen.

# Hitze Welle

Wie jede Tierart zeigt der Ringelschwanzbeutel bestimmte Merkmale, die ihm helfen, mit den Bedingungen in seinem Lebensraum zurechtzukommen. Damit sind Anpassungen im Verhalten, in der Physiologie oder in der Morphologie gemeint. Die Physiologie beschreibt die Abläufe im Körperinneren und die Morphologie die Gestalt und Form. Durch entsprechende Änderungen können sich Tiere prinzipiell auf kurzfristige Wetterverhältnisse, jahreszeitliche Variationen und langfristige klimatische Veränderungen einstellen. Der Umgang mit hohen Temperaturen ist dabei die größte Herausforderung. Wenn es heiß ist, müssen Tiere Wärme an die Umgebung abgeben, um eine Überhitzung abzuwenden. Schwierig wird es, wenn die Umgebungstemperatur die Körpertemperatur des Tieres übersteigt. Und noch schwieriger wird es, wenn dieser Zustand über Stunden oder Tage anhält. Und die Extremwetterform, die Tiere genau vor diese Aufgabe stellt, sind Hitzewellen.

Man könnte denken, dass so ein paar heiße Tage im Jahr wenig anrichten in einem Ökosystem. Tatsächlich hat sich die Forschung lange vor allem mit den Auswirkungen langsamer, gradueller Temperaturveränderungen auf Ökosysteme beschäftigt. Wetterextreme wurden eher als

Ausnahme mit geringem Langzeiteffekt behandelt. Jedoch können solche Ereignisse trotz ihrer kurzen Dauer einen großen, dauerhaften Einfluss auf Ökosysteme haben<sup>1</sup>. An langsame Änderungen in Temperatur und Niederschlag in ihrem Lebensraum können Tiere sich bis zu einem gewissen Grad anpassen. Auf eine kurze Phase sehr hoher Temperaturen hingegen kann man sich kaum vorbereiten, und die Auswirkungen können fatal sein.

Was genau macht eigentlich eine Periode heißer Temperaturen zu einer Hitzewelle? International gibt es keine einheitliche Definition, generell muss es an drei Tagen in Folge heißer sein, als es normalerweise in diesem Zeitraum ist. Eine geläufige Methode bildet für jeden Tag des Jahres einen Mittelwert der Maximaltemperatur, und zwar basierend auf den zurückliegenden 30 Jahren als Referenzperiode. Steigt die Temperatur nun an drei oder mehr aufeinanderfolgenden Tagen über diesen Wert, so wird von einer Hitzewelle gesprochen. Definitionen können sich aber auch auf andere Faktoren wie die Minimaltemperatur beziehen. Die beste Aussagekraft hängt von der jeweiligen Fragestellung ab. Ingenieure könnten sich beispielsweise für die Höchsttemperaturen interessieren, um die Belastung auf Material abzuschätzen und Gebäude oder Transportwege entsprechend zu konstruieren. Für das Gesundheitswesen sind die

Minimaltemperaturen besonders wichtig, denn eine ausbleibende Linderung in der Nacht hat große Auswirkungen auf die Erholung von Patienten, vor allem für Ältere und Kranke stellt dies eine große Belastung dar<sup>2</sup>. Auch die Luftfeuchtigkeit während einer Hitzewelle ist entscheidend, denn sie kann die Wirkungen hoher Temperaturen zusätzlich verstärken.

Hitzewellen werden aufgrund des Klimawandels weiter zunehmen. Das heißt sowohl in der Häufigkeit als auch in der Intensität und Dauer<sup>3</sup>. Im Sinne des Leseflusses benutze ich in diesem Buch den Begriff »Klimawandel« als Synonym für die gegenwärtige menschenverursachte globale Erwärmung, auch wenn das nicht ganz korrekt ist, da Klimawandel sich auch auf andere erdgeschichtliche Änderungen beziehen kann. Die prognostizierten intensiveren, längeren und öfter auftretenden Hitzewellen werden Ökosysteme weltweit auf die Probe stellen.

Wie genau sieht der Einfluss von Hitzewellen auf Wildtiere aus, und wie gehen einzelne Arten damit um? Einige sehr schlecht. Wenn Kühlungsmechanismen nicht ausreichen und die Körpertemperatur über eine Toleranzgrenze hinweg ansteigt, hat das tödliche Folgen. Flughunde, Possums und Koalas beispielsweise fallen tot von den Bäumen. Sie sind Baumbewohner, die den vorherrschenden

Umgebungstemperaturen kaum entkommen können. Bewohner von Höhlen und unterirdischen Bauten suchen ein geschützteres Mikroklima auf. Baumbewohner hingegen sind starke tageszeitliche Schwankungen der Umgebungstemperatur gewohnt und können diese normalerweise gut ertragen. Doch wenn eine Hitzewelle ein Gebiet heimsucht, dann werden plötzlich sicher geglaubte Lebensräume und Gewohnheiten zur tödlichen Falle. Es kann zu starken Populationseinbrüchen kommen. Eine Population umfasst alle Tiere einer Art, die im gleichen Raum leben und sich miteinander fortpflanzen könnten.

Ein drastisches Beispiel hierfür sind Flughunde, worunter man größere, fruchtfressende Fledermäuse versteht. Unglaubliche 45 500 Individuen sind an einem einzigen Tag aufgrund einer Hitzewelle gestorben! Dokumentiert wurde das von drei Flughunde-Arten im australischen Bundesland Queensland im Januar 2014. Von den gestorbenen Tieren waren 96 Prozent Schwarze Flughunde, und der Verlust machte mehr als die Hälfte der Population in der Gegend aus<sup>4</sup>. Solche Nachrichten sind keine Einzelfälle und werden auch aus anderen Teilen der Welt berichtet.

Bedenklich ist das vermehrte Vorkommen solcher Massensterben nicht nur im Hinblick auf den Artenschutz, sondern auch für die Funktion von Ökosystemen.

Fledermäuse sind für die Pflanzenbestäubung und die Ausbreitung von Samen unentbehrlich. Neben den toten Tieren gibt es zusätzlich Tausende stark dehydrierte Individuen, deren Überleben und Fortpflanzungserfolg unsicher sind, wodurch die Population weiterhin geschwächt wird. Anhand von Szenarien-Rechnungen wurde eine kritische Temperatur für das Sterben von Flughunden ermittelt. Die Analyse von vier Temperaturstufen zeigt, dass 42 °C der Schwellenwert ist, bei dem ein Massensterben großflächig eintritt<sup>5</sup>.

Solche theoretischen Berechnungen helfen, Tierverluste durch Wetterbedingungen abzuschätzen und vorherzusagen. Flughunde sind relativ große, vegetarisch lebende Fledertiere mit einer Spannweite von häufig über einem Meter, die oft in riesigen Kolonien leben, deren Standort den lokalen Umweltbehörden bekannt ist. Daher kann ihr Massensterben vergleichsweise gut dokumentiert werden. Das macht sie zu idealen »Bioindikatoren« für andere Arten, bei denen solche Ereignisse aufgrund der solitären Lebensweise oder der kleinen Körpergröße sehr schwer nachzuweisen sind. Dazu gehören beispielsweise Hummeln, Schmetterlinge oder Vögel. Auch beim Koala sind Massensterben meist schwer zu belegen, aber Studien berichten von Populationseinbrüchen von über 60 Prozent nach Hitzewelle und Dürre<sup>6</sup>. Eine weitere Tiergruppe, die

unter sehr hohen Temperaturen leidet, sind Possums. Hunderte von ihnen fallen bei großer Hitze tot aus den Bäumen. Und Jamie möchte herausfinden, warum das so ist. Da der Bedarf an Energie und Wasser direkt von der Umgebungstemperatur abhängig sind, eignen sich diese Parameter hervorragend zur Untersuchung der physiologischen Antwort eines Tieres auf eine simulierte Hitzewelle.

# Sauer Stoff

Kalibrieren und eichen, überprüfen und kontrollieren. Alles muss exakt eingestellt sein und genau funktionieren. Den gesamten Tag hatte Jamie damit zugebracht, die verschiedenen Messgeräte der Stoffwechselanlage für seinen nächtlichen Gast vorzubereiten. Nun hat er das frisch gefangene Possum mitgebracht, und die erste Messung kann losgehen. Das Tier verbringt die Nacht in einem kastenförmigen Gefäß, in dem es sich nach Belieben bewegen kann. Ringelschwanzbeutel sind ausgesprochen gelassene Tiere. Nach einer kurzen Inspektion der neuen Umgebung putzt sich das Possum ausgiebig und legt sich dann ruhig hin. Und nur so ist eine Messung sinnvoll, schließlich soll der Ruhestoffwechsel gemessen werden. Das Messgefäß hat zwei kleine Öffnungen, an die Luftschläuche angeschlossen sind. An einer Seite wird mithilfe einer Pumpe Luft zugeführt, die an der anderen Seite ausströmt. Diese Atemluft wird dann von speziellen Messgeräten analysiert, um Veränderungen in Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid oder Luftfeuchtigkeit zu berechnen. Jamie rollt seine Isomatte auf dem harten Boden aus. Die ganze Nacht über hat er das Wohl des Tieres per Infrarot-Kamera im Blick und überprüft die Funktion der Geräte.

Die Messung läuft über Nacht bei einer angenehmen Temperatur von 20 °C. Am folgenden Morgen beginnt die Wärmebelastung. Dazu erhöht Jamie die Temperatur langsam, in 2 °C-Schritten, bis zu einem Maximalwert von 39 °C am frühen Nachmittag. Diese Temperatur wurde als Maximum gewählt, da es selbst bei größter Hitze unwahrscheinlich ist, dass das Mikroklima in einem Possum-Nest diesen Wert überschreitet. Falls das Tier Anzeichen von Stress zeigen sollte, würde die Messung sofort abgebrochen. Doch Possums in dieser Gegend sind die Hitze gewöhnt, denn Hitzewellen gehören hier im Sommer dazu. In der Tat war es im Untersuchungsgebiet nur wenige Wochen vor Jamies Projektbeginn tierisch heiß: Über fünf Tage hinweg überstieg die Maximaltemperatur 43 °C, und für mehr als zehn Stunden pro Tag war es über 35 °C! Entsprechend lässt sich das Tier von der Untersuchung nicht aus der Ruhe bringen. Nachdem die Messungen bei 39 °C abgeschlossen sind, reduziert Jamie die Temperatur langsam wieder bis auf 20 °C und lässt das Possum kurz nach Sonnenuntergang wieder wohlbehalten an seinem Baum frei. Und es wundert sich wohl, ob das alles nur ein merkwürdiger Traum war!

Die ersten paar Nächte bleibt Jamie vor Ort, um alles im Blick zu behalten. Mehr als zehn Jahre Erfahrung mit solchen Untersuchungen zahlen sich aus, die Messungen

laufen nach Plan. Kamera und Geräte können auch per Internet überprüft werden, so dass Jamie sich in den kommenden Wochen zumindest ab und an mal zu Hause blicken lassen kann. Gegen 1 Uhr nachts fällt er nach mehreren Stunden Possum-Suche müde ins Bett und flitzt um 7 Uhr früh schon wieder los zur Uni. Zum Abendessen kommt er kurz nach Hause, liest unseren Kindern noch etwas vor, um dann wieder in der Finsternis zu verschwinden. So geht das Tag für Tag, Nacht für Nacht. Nach drei Wochen sind erst mal genug Daten gesammelt. Gut, denn alle Beteiligten sind erschöpft! Aber solche Phasen gehören eben dazu zum Biologendasein. Dafür sind die Arbeitszeiten außerhalb der Feldarbeit relativ frei zu gestalten, was für den Familienalltag Gold wert ist. Außerdem ist zumindest unsere Tochter mit ihren sechs Jahren schon alt genug, um abends manchmal mit ins Feld zu gehen, um ein Possum wieder freizulassen. So werden Kindheitserinnerungen geschaffen!

# Haus Halt

Tiere sind stets bemüht, ihre Körpertemperatur genau zu regulieren. Die damit verbundenen Mechanismen und Vorgänge werden als Thermoregulation bezeichnet. Säugetiere und Vögel unterscheiden sich vom Rest der Tierwelt darin, dass sie eine innere Wärmeproduktion haben. Dadurch können sie ihre Körpertemperatur unabhängig von der Umwelt regulieren und werden als endotherm bezeichnet. Alle anderen Tiere sind ektotherm, ihre Körpertemperatur hängt ab von ihrer Umgebung. Oft werden endotherme Tiere als gleichwarm, homoiotherm oder warmblütig bezeichnet. Ektotherme Tiere hingegen werden wechselwarm, poikilotherm oder kaltblütig genannt. In der Tierphysiologie werden die Begriffe endotherm und ektotherm gebraucht, da sie zutreffend den Ursprung der Wärme beschreiben, mit den griechischen Präfixen »ekto« für außen und »endo« für innen. Einige ektotherme Tiere wie Fluginsekten oder Thunfische können jedoch bestimmte Körperregionen erwärmen.

Säugetiere und Vögel müssen ein Gleichgewicht schaffen zwischen ihrer inneren Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe nach außen. Genannt wird dies der Wärmehaushalt: Die durch den Stoffwechsel produzierte Wärme muss ausbalanciert werden mit der

Wärmeaufnahme von externen Wärmequellen und mit der Wärmeabgabe an die Umwelt. Das hierfür verantwortliche Steuerzentrum der Temperaturregulation ist der Hypothalamus. Er ist Teil des Zwischenhirns und erhält ständig Informationen über die aktuelle Temperatur in verschiedenen Teilen des Körpers. Übersteigt ein Wert den Sollwert, so werden Kühlungsmechanismen aktiviert. Eng verwoben ist der Wärmehaushalt mit dem Wasserhaushalt und dem Elektrolythaushalt. Tiere müssen all das regulieren, wenn die Umgebungstemperatur steigt. Bei diesen Überlegungen ist es wichtig, Temperatur und Wärme nicht durcheinanderzubringen. Temperatur wird in Grad gemessen, Wärme dagegen in Joule. Im Alltag ist die Einheit Kalorie geläufiger, dabei entspricht 1 Kalorie 4,2 Joule. Wärme fließt immer von einer Stelle mit höherer Temperatur zu einer Stelle mit niedrigerer Temperatur, sie folgt dem Temperaturgefälle.

Landtiere können Wärme auf vier verschiedenen Wegen abgeben und aufnehmen: Wärmeleitung, Wärmeübertragung, Wärmestrahlung und Verdunstung. Bei direktem Kontakt mit einem Gegenstand oder dem Boden kann ein Tier durch Wärmeleitung Wärme abgeben oder aufnehmen, was auch Konduktion genannt wird. Damit eng verbunden ist die Wärmeübertragung oder Konvektion, die die Wärmebewegung in der Luft beschreibt. An der

Körperoberfläche wird Wärme von der Luft weggetragen, und dieser Anteil nimmt zu, wenn es windiger wird oder wenn der Temperaturunterschied zwischen Haut und Luft größer wird. Bei der Wärmestrahlung oder Radiation wird Wärme über elektromagnetische Strahlung ausgetauscht, die keinen direkten Kontakt benötigt.

Nun zum vierten und effektivsten Weg der Wärmeabgabe: Verdunstung oder Evaporation. Hierbei wird Wasser an der Haut in Wasserdampf umgewandelt. Um 1 Gramm Wasser von der flüssigen Phase zu Dampf umzuwandeln, benötigt es mehr als fünfmal so viel Energie, wie es braucht, um die gleiche Wassermenge vom Gefrierpunkt zum Siedepunkt zu bringen! Durch Verdunstung wird überschüssige Körperwärme abgeführt, das Tier kühlt sich auf diese Weise ab. Verdunstung kann entweder durch Schwitzen, Hecheln oder Einspeicheln erzielt werden. Schwitzen können vor allem große Tiere. Dazu gehören Huftiere wie Rinder, Antilopen, Kamele oder Pferde und natürlich wir Menschen.

Bei manchen Arten sind die Schweißdrüsen auf eine bestimmte Körperregion beschränkt, bei anderen sind sie dagegen über den ganzen Körper verteilt. Auch die Anzahl der Schweißdrüsen variiert sehr stark. Ein Nachteil des Schwitzens ist, dass mit dem Wasser auch Salz verloren geht und starkes Schwitzen daher einen Salzverlust

hervorrufen kann. Viele Tiere hecheln anstatt zu schwitzen, wie etwa Ziegen, Schafe und Fleischfresser. Durch die schnelle und flache Atmung wird die Verdunstung im oberen Atmungstrakt stark erhöht, ohne dabei viel Muskelwärme zu produzieren. Vom Prinzip sind Schwitzen und Hecheln ähnlich, nur dass beim Hecheln die Wärme über die Atemwege abgegeben wird anstatt wie beim Schwitzen über die Haut.

Hunde besitzen zwar einige Schweißdrüsen, aber den Hauptanteil der Verdunstungskühlung erreichen sie über das Hecheln. Dafür steigern sie ihre Atemfrequenz von 30 auf 300 Atemzüge pro Minute. Für Hunde gibt es keine goldene Mitte, entweder atmen sie normal oder sie hecheln. Schafe und Kängurus zeigen dagegen einen graduellen Anstieg der Atemfrequenz. Auch Vögel sind ohne Schweißdrüsen auf das Hecheln angewiesen. An heißen Tagen kann man sie oft mit geöffnetem Schnabel beobachten. Zusätzlich können sie durch die Oszillation ihres Rachenbodens Verdunstungskühlung schaffen.

Manche Tiere nutzen den dritten Weg der Verdunstungskühlung: das Einspeicheln. Indem Tiere sich das Fell lecken, wird über Verdunstung Wärme abgegeben. Beispielsweise erhöhen Kängurus bei Hitze den Blutfluss zu ihren Vorderextremitäten, um dort durch Einspeicheln