

**Melanie Schwarzstein und Jan-Peter Hildebrandt**

**Thermoregulation bei Vertebraten und die evolutive Entstehung  
der Endothermie**

**Adresse der Autoren:**

Melanie Schwarzstein

Prof. Dr. Jan-Peter Hildebrandt

Lehrstuhl für Physiologie und Biochemie der Tiere

Zoologisches Institut und Museum

Ernst Moritz Arndt-Universität

Biotechnikum, Walther Rathenau-Straße 49 a

D – 17489 Greifswald

Tel 03834-864295

Fax 03834-864252

e-mail [jph@uni-greifswald.de](mailto:jph@uni-greifswald.de)

Berichte aus der Biologie

**Melanie Schwarzstein, Jan-Peter Hildebrandt**

**Thermoregulation bei Vertebraten und  
die evolutive Entstehung der Endothermie**

Shaker Verlag  
Aachen 2009

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8344-5

ISSN 0945-0688

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Obwohl andere Körperteile mager sind, haben sie (Murmeltiere) ein sehr fettes Rücken(gewebe), aber dieses kann weder Fett noch Fleisch genannt werden: Es ist etwas dazwischen, so ähnlich wie der Euter einer Kuh.

Freie Übersetzung aus dem Lateinischen der Erstbeschreibung des braunen Fettgewebes beim Murmeltier durch Konrad Gessner (1551)



## **Inhalt**

### **Teil I – Temperaturregulation bei Vertebraten**

<b>1</b>	Strategien der Temperaturregulation bei Vertebraten	9
<b>2</b>	Regulation der Körpertemperatur	12
<b>2.1</b>	Regelkreis der Temperaturregulation	12
<b>2.2</b>	Hormonelle Steuerung der Temperaturregulation	14
<b>3</b>	Die Ektothermie	16
<b>3.1</b>	Wärmeaustausch mit der Umwelt	16
<b>3.2</b>	Temperaturregulatorisches Verhalten	18
<b>3.3</b>	Physiologische Anpassungen	21
<b>3.3.1</b>	Toleranz gegenüber extrem hohen Temperaturen	24
<b>3.3.2</b>	Toleranz gegenüber extrem niedrigen Temperaturen	24
<b>3.3.2.1</b>	Gefrierschutz	25
<b>3.3.2.2</b>	Gefriertoleranz	27
<b>4</b>	Die Endothermie	30
<b>4.1</b>	Körpertemperatur und Grundumsatz der Säugetiere und Vögel	30
<b>4.2</b>	Wärmeaustausch mit der Umwelt und thermische Isolation	31
<b>4.3</b>	Bedeutung der Körpergröße für Energieumsatz und Körpertemperatur	34
<b>4.4</b>	Mechanismen der Temperaturregulation	38
<b>4.4.1</b>	Verhaltensgesteuerte Temperaturregulation	39
<b>4.4.2</b>	Isolation der Körperoberfläche	39
<b>4.4.3</b>	Anpassungen der Durchblutung	40
<b>4.4.4</b>	Schwitzen und Hecheln	43
<b>4.4.5</b>	Kältezittern und zitterfreie Wärmebildung	47
<b>5</b>	Zwischenformen der Temperaturregulation bei Vertebraten	49
<b>5.1</b>	Heterothermie bei endothermen Vertebraten	50
<b>5.1.1</b>	Winterschlaf-Saison und Winterschlaf-Episoden	50
<b>5.1.2</b>	Hypometabolismus während der Torporphase	53
<b>5.1.3</b>	Wärmeproduktion während der Wachphase	56
<b>5.1.4</b>	Winterschlaf im Vergleich mit anderen Lethargieformen	62
<b>5.2</b>	Heterothermie bei ektothermen Vertebraten	66
<b>5.2.1</b>	Temporäre Endothermie bei Reptilien	66
<b>5.2.2</b>	Regionale Homoiothermie bei Fischen	66

## **Teil II – Evolutionäre Entwicklung der Endothermie bei Vertebraten**

<b>6</b>	Kosten/Nutzen-Relation von ekto- oder endothermer Lebensweise	71
<b>7</b>	Evolution der Endothermie	73
<b>7.1</b>	Übergang vom Urzustand der Ektothermie zur Endothermie	73
<b>7.2</b>	Theoretische Überlegungen zur Evolution der Endothermie	76
<b>7.2.1</b>	Expansion der thermischen Nische	76
<b>7.2.2</b>	Steigerung der aeroben Kapazität	78
<b>7.2.3</b>	Elterliche Fürsorge	81
<b>7.2.4</b>	Endothermie via passive Homoiothermie	84
<b>7.3</b>	Gegenüberstellung der Evolutionsmodelle zur Endothermie	86
<b>8</b>	Bedeutung der Endothermie für die Evolution der Vertebraten	89
<b>9</b>	Glossar	91
<b>10</b>	Literaturverzeichnis	99
<b>11</b>	Abbildungsquellenverzeichnis	122