

1 Einleitung und Zielstellung

Entgegen der lange Zeit vertretenen Lehrmeinung, daß Vogelembryonen ektotherm sind, konnten in den letzten Jahren einige Autoren bei verschiedenen praecocialen Vogelarten Anzeichen für Endothermie bereits vor dem Schlupf nachweisen (TAZAWA *et al.*, 1988; KURODA *et al.*, 1990; WHITTOW und TAZAWA, 1991).

Im *Glossary of terms for thermal physiology* (IUPS THERMAL COMMISSION, 2001) wird Endothermie als „*The pattern of thermoregulation in which the body temperature depends on a high (tachymetabolic) and controlled rate of heat production*“ definiert. Homoiothermie bedeutet darüber hinaus: „*The pattern of temperature regulation in a tachymetabolic species in which the cyclic variation in core temperature, either nyctemerally or seasonally, is maintained within arbitrarily defined limits despite much larger variations in ambient temperature, i.e., homoiotherms regulate their body temperature within a narrow set-range*“. Als Ektothermie bezeichnet man im Gegensatz dazu: „*The pattern of temperature regulation of animals in which body temperature depends mainly on the behaviorally controlled exchange of heat with the environment*“. Unter Poikilothermie versteht man: „*Large variability of body temperature as a function of ambient temperature in organisms without effective autonomic temperature regulation*“.

Endothermie, ein herausragendes Merkmal heutiger Säugetiere und Vögel, trat etwa vor 190 (Trias) bzw. 130 (Jura) Mio Jahren erstmals auf. Dabei entwickelte sie sich bei beiden Taxa unabhängig voneinander und ist seit ca. 60 Mio Jahren beim Vogel voll entwickelt (RUBEN, 1995). Der Urvogel *Archaeopteryx lithographica* zeigt deutliche Skelettähnlichkeiten mit einigen karnivoren Dinosauriern. Bei diesen, aus den Thekodontiern hervorgegangenen Archosauriern, ist der Beweis der Endothermie nicht lückenlos erbracht; viele an Fossilien gefundene Merkmale, besonders ihr Skelettaufbau und die Knochenstruktur, sowie das aus der quantitativen Auswertung der Fossilienfunde einer bestimmten Region geschätzte Raubtier-Beutetier-Verhältnis, sprechen jedoch dafür (BAKKER, 1972; RUBEN, 1995). Im Gegensatz zur bisherigen Taxonomie sieht BAKKER (1986) die Dinosaurier nicht als eine Gruppe, die sich parallel zu den Vögeln entwickelte, sondern die Vögel als direkte Nachfahren der Dinosaurier.

Am Beginn des Überganges zur Endothermie stand bei den Ahnen der Säuger und Vögel die Erhöhung der aeroben Kapazität des Bewegungsapparates. Sie ging mit skelettalen

(biomechanischen) Veränderungen, wie Stellung der Gliedmaßen unter dem Rumpf und Verlängerung der Extremitätenknochen einher. Dabei nahm der Anteil der dünnen roten aeroben Muskelfasern allmählich zu, doch nur die gleichzeitige Entwicklung und Integration wichtiger Organsysteme konnte ihren hohen Stoffwechsel gewährleisten. Die Transportkapazität des kardiovaskulären Systems erhöhte sich beträchtlich durch vergrößertes Blutvolumen, Steigerung von Anzahl und Hämoglobingehalt der Erythrozyten und Erhöhung der Pumpleistung des Herzens bei vollständiger Septierung. Die Lungen der Säuger und Vögel besitzen im Vergleich zu heutigen Reptilien eine zehnmal größere Gasaustauschoberfläche und -kapazität (DUNCKER, 1991). Den Reptilien war es noch nicht möglich, Atmung und Lokomotion gleichzeitig durchzuführen. Die o.g. Veränderungen führten insgesamt zu einer Steigerung des Leistungsumsatzes der Säugetiere auf das Zehnfache gegenüber den Reptilien, bei Vögeln sogar noch darüber. Dieser wird auf zellulärer Ebene von einer Zunahme der Anzahl der Mitochondrien und ihrer Membranoberfläche repräsentiert (RUBEN, 1995). Der Gehalt der Zell- und Mitochondrienmembranen an vielfach ungesättigten Phospholipiden stieg deutlich. Somit erhöhte sich ihre Ionentransportkapazität auf das Zehnfache (DUNCKER, 1991).

Die gestiegene Leistung der Organsysteme zog auch eine Erhöhung des Grundumsatzes der Säuger und Vögel im Vergleich zu den Reptilien nach sich. Neben den neuralen Mechanismen der Thermoregulation (hoher Sollwert) und den sich entwickelnden Isolationsstrukturen wie Haarkleid oder Gefieder war das eine Voraussetzung für eine hohe Körperkerntemperatur. Dabei verfügen alle rezenten Wirbeltiere über die prinzipiell gleichen neuralen Thermoregulationsmechanismen, unterscheiden sich jedoch in Art und Anzahl thermoregulatorischer Stellglieder. Während die meisten Fische lediglich durch ihr Verhalten die Körpertemperatur (KT) beeinflussen können und Reptilien darüber hinaus über Wärmeabgabemechanismen verfügen, sind Vögel und Säuger in der Lage, auf Kältereize mit aktiver Wärmeproduktion (WP) wie Muskelzittern sowie bei einigen Spezies mittels zitterfreier Thermogenese zu reagieren.

Die Endothermie bildete sich schrittweise bei der koordinierten Evolution des Atmungs-, Kreislauf-, Stoffwechsel- und Thermoregulationssystems (TRS) sowie des Bewegungsapparates (DUNCKER, 1991) heraus.

In den institutsübergreifenden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojekten „Entwicklung der *Endothermie* beim Vogelembryo“ und „Einfluß

pränataler Temperaturerfahrungen auf die postnatale *Thermosensitivität* zentralnervaler Neurone beim Vogelembryo“ wurden sowohl die Entwicklung der zentralen Mechanismen des TRS als auch die der thermoregulatorischen Stellglieder im perinatalen Zeitraum untersucht. Ziel des Projektes „Thermosensitivität“ war es, am Beispiel juveniler Moschusenten festzustellen, ob es beim Vogel nach pränatalen Temperaturerfahrungen postnatal zu Änderungen in der Funktionsweise zentralnervaler Mechanismen kommt. Das Projekt „Endothermie“ hatte zum Ziel, durch Messung des Energieumsatzes, der Körpertemperatur, der Atem- und Herzfrequenz, der Chorioallantoisdurchblutung sowie endokrinologischer Parameter des Energiestoffwechsels beispielhaft bei der Moschusente und dem Haushuhn zu untersuchen, welche Voraussetzungen für die pränatale Herausbildung einer Endothermie bei praecocialen Vögeln vorliegen.

Diese Arbeit beschäftigt sich im Rahmen des Projektes „Endothermie“ mit der Frage des Einflusses verschiedener Umgebungstemperaturen (UT) auf die WP der Moschusente (*Cairina moschata f. domestica*) und des Haushuhnes (*Gallus gallus f. domestica*). Beide Arten eignen sich besonders zur Untersuchung der genannten Fragestellung, da sie postnatal eine relativ hohe WP besitzen.

Ziel war es, in einem offenen System durch systematische und kontinuierliche Messung des Sauerstoffverbrauches der Embryonen, welcher sich äquivalent zur WP verhält, zu ergründen, ob, ab wann und bei welchen UT Anzeichen endothermer Reaktionen auftreten. Bisherige Veröffentlichungen zu diesem Thema widersprechen sich zum Teil, meist fehlt die systematische Untersuchung des Einflusses von Alter und UT auf die WP. Weiterhin mußte eine Methode entwickelt werden, mit deren Hilfe es möglich war, die vom TRS aktiv gesteuerte WP von der Wärme zu unterscheiden, die im Rahmen des Stoffwechsels für Selbsterhaltung und Wachstum des Embryos entsprechend der van't Hoff'schen Regel produziert wird.