

Boris Culik<sup>\*</sup>, Rory Wilson<sup>\*</sup>, Robert Dannfeld<sup>\*</sup>, Dieter Adelung<sup>\*</sup>, N. Coria<sup>\*\*</sup>,  
H. Spairani

<sup>\*</sup> Institut für Meereskunde

<sup>\*\*</sup> Instituto Antartico Argentino, Buenos Aires, Argentinien

## Der Energieverbrauch des Adéllepinguins: Ein Expeditionsbericht

Am 6. Dezember 1989 wurden wir von "Polarstern" auf der argentinischen Station Esperanza abgesetzt. Hauptziel unserer Expedition war es, die "Lebenshaltungskosten" der Pinguine in ihrem extremen Lebensraum zu ermitteln. Wir gingen zu diesem Zweck in zwei Richtungen vor und bestimmten 1) den Energieaufwand verschiedener Aktivitäten in Zusammenhang mit Intensität, Dauer und Umgebung und 2) die Zeitdauer, während der sich freilebende Pinguine den verschiedenen Aktivitäten widmen.

Der Energieverbrauch wurde mit den Methoden der Respirometrie im kontrollierten Laborversuch und mit doppelt markiertem Schweren Wasser im Freilandversuch ermittelt. Die Aktivitätsaufzeichnungen wurden im Freiland teils durch Video- und persönliche Beobachtung, teils durch den Einsatz von Fernerkundungsgeräten gewonnen.

### I. Bestimmung des Energieaufwandes

Acht implantierte Herzfrequenz/Körpertempersender wurden erfolgreich unter Mithilfe des Stationsarztes, Kinderchirurg Dr. Sanudo in adulte freilebende Adéllepinguine implantiert. Vier dieser Tiere brüteten, die anderen vier Tiere hatten keine Nester angelegt. Die vier brütenden Tiere wurden kurze Zeit nach der 30-50 min. dauernden Operation auf ihre Nester zurückgebracht. Die Eier waren zwischenzeitlich gewärmt worden. Alle vier Pinguine bebrüteten ihre Eier weiter und drei davon zogen mit Erfolg Küken auf. Die Körpertemperatur und Herzfrequenz dieser vier Tiere wurde im 4 Stundenrhythmus jeweils für 30 min. zusammen mit der Aktivität aufgezeichnet (28 Versuchstage). Am Ende des Experimentes wurde im Labor die Herzfrequenz mit Hilfe der Respirometrie dem Energieverbrauch zugeordnet und so geeicht. Anschließend wurden drei dieser Pinguine der Sender operativ entfernt, der vierte Sender verblieb im Tier, um Aufschluß über Langzeiteffekte zu erzielen. Beide Operationen wurden von den Pinguinen gut überstanden. Nach 2-3 Tagen Rekonvaleszenz gingen die Tiere bereits wieder in See.

Die vier nicht nistenden Adéllepinguine wurden nach der Operation im Käfig gehalten und die Tiere mit einer Fisch-Entenfutter-Öl (bzw. Fett)- Mischung entsprechend den früheren Experimenten ernährt. Diese Fütterung reichte zum Erhalt des Körpergewichts aus. Mit diesen Pinguinen wurde in verschiedenen Laborversuchen die Beziehung Herzfrequenz/Energieverbrauch hergestellt. Ferner benutzten wir die Tiere dazu, den Energieverbrauch während der Nahrungsaufnahme zu quantifizieren. So wurde den Tieren in einer Versuchsreihe eine bestimmte Menge kaltes (0°C) bzw. warmes Wasser eingeflößt (39°C), um den Energieaufwand zu ermitteln, der anfällt, wenn Nahrung erwärmt werden muß. Diese Versuche wurden dann mit kaltem bzw. warmem Krill wiederholt, wobei dann auch der Energieaufwand der Verdauung selbst gemessen werden konnte. Wie sich bereits aus der ersten Auswertung der Daten ergab, führt die Erwärmung kalter Nahrung zu einer massiven Erhöhung des Energieverbrauches der Tiere, die z. B. bei Gabe von 300 g über 45 Minuten anhält.

Die Ermittlung des Energieaufwandes beim Schwimmen war eine der Hauptaufgaben während der Expedition. Mit Hilfe des Stationspersonals wurde ein 21 m langer Schwimmkanal, im Baukastensystem in Kiel vorgefertigt, mit nur 4 cm Neigung zusammengesetzt. Nach der Befüllung mit 21 m<sup>3</sup> Wasser und Abdeckung mit Plexiglas wurden an den beiden Tankenden Respirationshauben installiert und mit Spezialschläuchen (Tygon) mit 2 Luftkompressoren/Pumpen verbunden, die die Kammerluft dem nahegelegenen Feldlabor zuführten. Im Laborzelt wurde die Luft auf O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> analysiert und die Daten kontinuierlich über Computer und Schreiber aufgezeichnet. Nach dem Einsetzen eines Pinguins in den Tank konnte von einer 4 m hohen Leiter aus die Aktivität der Tiere unter Wasser zwischen und in den beiden Endkammern beobachtet und mittels eines Tonbandgerätes (Walkman) über Kopfmikrofon simultan zu den Respirationdaten protokolliert werden.

Insgesamt wurden 35 Versuche mit den drei Pinguinarten *P. adeliae* (n=16), *P. antarctica* (n=16) (Zügelpinguine) und *P. papua* (n=4) (Eselspinguine) ausgeführt. Alle Pinguine schwammen wenige Minuten nach dem Einsetzen bereitwillig und ohne Fluchtversuche unter Wasser im Tank auf und ab, oder ruhten sich an der Wasseroberfläche in einer der beiden Kammern aus. Erstmals konnte so der Energiebedarf von Pinguinen im Wasser gemessen werden, ohne die Tiere turbulenten Strömungen auszusetzen oder sie zum Schwimmen zu zwingen. Die Schwimgeschwindigkeit der Tiere betrug 2-3 m/s, was der natürlichen Geschwindigkeit im Freiland entspricht. Die Tiere schwammen bis zu 4 mal (84 m) auf und ab, ohne in einer der Kammern zu atmen. Meistens schwammen sie jedoch nur 21 m, d. h. von der einen in die andere Kammer. Die Versuchsdauer betrug jeweils 90 min. In dieser Zeit wurde je nach Tier eine Strecke von 0 - 12 km durchschwommen. Nach dem Versuch wurden die Tiere auf das Schneefeld zurückgebracht, wo sie zuvor für den Versuch eingefangen werden.

In den Versuch wurden auch die mit implantierten Herzfrequenzsendern versehenen Pinguine einbezogen. Ein deutlicher Unterschied ergab sich zwischen den in der Kolonie lebenden und den im Käfig gehaltenen Versuchstieren, wobei letztere wesentlich mehr Energie im Wasser benötigten. Dies wird dadurch erklärt, daß das beim Füttern verwendete Pflanzenöl beim Putzen zu einer Verölung des Gefieders führte, das dadurch seine wasserabweisende Wirkung verlor und die Tiere deshalb hohen Wärmeverlusten ausgesetzt waren.

Der Energieumsatz über mehrere Tage wurde mit doppelt markiertem Schwerem Wasser in 13 Versuchen an adulten Adéliepinguinen gemessen. Das Schwere Wasser wurde von D. Massmann, Groningen erworben. Insgesamt wurden 5 Versuche (20 Proben) an nistenden Adéliepinguinen Ende Dezember und 8 Versuche (16 Proben) an Adéliepinguinen durchgeführt, die Mitte Januar nur noch zur Fütterung der Jungen in die Kolonie zurückkehrten. Die Blutproben wurden aus den Fußvenen gewonnen und in Kapillarröhrchen eingeschweißt. Sie sollen in Groningen analysiert werden.

Die in diesen Versuchen verwendeten Pinguine waren gleichzeitig mit Geräten ausgerüstet worden, die die Schwimmaktivität mit Hilfe eines Quecksilberschalters sowie die Gesamtdauer der Aktivitäten im Meer bei unterschiedlicher Helligkeit (>1.5 Lux und < 1.5 Lux) auf Film aufzeichnen. Diese Daten sollen nach densitometrischer Auswertung der Filme mit dem Energieverbrauch korreliert werden.

## II. Aktivitätsmessungen

Mehr als 120 Telemetriegeräte wurden an brütenden Adéliepinguinen eingesetzt. Aufgrund unserer Erfahrungen während der Expedition 1987/88 waren die Geräte wesentlich verkleinert und besser hydrodynamisch geformt worden. Die Größe der Geräte konnte derart verkleinert werden, daß wir in der Lage waren, verschiedene Geräte gleichzeitig an einem Tier anzuheften. Nur ein Gerät ging aufgrund schlechter Befestigung verloren. Die eingesetzten Geräte waren:

- a. Koppelnavigationsgeräte, die die Schwimmrichtung zusammen mit der Dauer in Intervallen abspeichern. Da die Schwimgeschwindigkeit der Pinguine konstant ist, kann über Vektorkalkulation die Wegstrecke der Pinguine rekonstruiert werden. Erste Ergebnisse zeigen, daß fast alle Adéliepinguine die Hope Bay zur Nahrungssuche verließen. Die zurückgelegte Strecke variierte dabei von 5 - 10 km, ohne daß eine Hauptrichtung erkennbar war.
- b. Kapillartiefenmesser, die die maximale Tauchtiefe anzeigen. Die Kapillaren wurden allen Pinguinen angeheftet, die auch mit anderen Geräten ausgerüstet waren, um festzustellen, ob die Größe der Geräte die maximal erzielte Tauchtiefe beeinflußt. Unsere früheren Untersuchungen hatten deutlich eine negative Korrelation zwischen Tauchtiefe und Gerätegröße bewiesen. Die inzwischen weiter getriebene Geräteverkleinerung hatte jedoch den Erfolg, daß selbst mit unserem größten für diesen Zweck eingesetzten Gerät ein Adéliepinguin bis auf 190 m Tiefe tauchte. - Dies ist wesentlich tiefer als bisher mit anderen, stets größeren Tiefenmessern gemessen wurde. - Generell lag die maximale Tauchtiefe zwischen 100 und 200 m.
- c. Tiefenmessgeräte, die die gesamte Verweildauer bei verschiedenen Tiefen aufzeichnen. Die Aufzeichnungen ergaben, daß die Tauchdauer exponentiell mit der Tiefe abnimmt.
- d. Tag/Nacht Aktivitätsrekorder, die die Gesamtdauer im Wasser bei Beleuchtungsstärken unter 1.5 Lux sowie bei über 1.5 Lux aufzeichnen. Diese Geräte wurden eingesetzt, um zu erkunden, ob Adéliepinguine bei Dunkelheit im Meer aktiv sind. Erste Ergebnisse bestätigen dies. Der genaue Anteil muß jedoch noch ermittelt werden.

Diese Untersuchungen werfen Fragen nach der Art der Erbeutung des Krills auf, d. h. ob neben optischem Erkennen auch noch andere sensitive Faktoren eine Rolle spielen.

Aufbauend auf einer Pilotstudie während unserer 1987/88 Expedition nach Esperanza setzten wir diesmal 2 Videosysteme und eine meteorologische Mini-Meßstation ein, um Pinguinaktivitäten in der Kolonie im Zusammenhang mit Umwelteinflüssen zu beobachten. Wir gehen davon aus, daß brütende Adéliepinguine sich entweder in der Kolonie, auf See oder an Land außerhalb der Kolonie aufhalten können. Um diese Parameter ohne Störung durch den Beobachter zu quantifizieren, benutzten wir eine fernsteuerbare und eine fest installierte Videokamera, die durch persönliche Beobachtungen unterstützt wurden.

Das Verhalten adulter Tiere in der Kolonie unmittelbar nach der Rückkehr von der Nahrungssuche, sowie die darauffolgenden Futterläufe mit den Küken wurden mit Husky Feldcomputern aufgezeichnet. Die Dauer der Futterläufe, die Dauer des Bettelns und die geschätzte Nahrungsmenge, die jedes Küken erhielt, wurden so aufgezeichnet. Aufgrund der gewonnenen Daten hoffen wir, den Energieverbrauch während dieser Aktivität, sowie den Erfolg dieses Verhaltens für die einzelnen Küken bzw. das adulte Tier quantifizieren zu können.

Vier frisch von Schlittenhunden getötete Pinguine wurden seziiert, um die Schichtung der Nahrung im Magen zu untersuchen. Wir fanden gut getrennte Strata, wobei die zuletzt aufgenommene Nahrung im oberen Magenbereich lag und wesentlich weniger verdaut war als die Nahrung weiter unten. Der Verdauungszustand und die Schichtung der Nahrung wurden untersucht, um die Anzahl und den Zeitpunkt einzelner Nahrungsaufnahmen der Pinguine zu untersuchen. Weiterhin pumpften wir 30 Pinguinen den Magen aus und gewannen den Mageninhalt so, daß die Schichtung nicht zerstört wurde. Wir hoffen, aus den gewonnenen Proben Informationen zu gewinnen, die bisher bei Mageninhaltsuntersuchungen nicht berücksichtigt wurden.

Während unseres Aufenthaltes auf Esperanza wurden wir durch eine Reihe menschlicher Aktivitäten in der Ausübung unseres Vorhabens beträchtlich gestört bzw. daran gehindert. Wir nahmen dies zum Anlaß, den Einfluß dieser Aktivitäten auf Adéliepinguine zu studieren. Wir untersuchten die Wirkung eines einzelnen Menschen bzw. eines "Super Puma" Hubschraubers auf die Herzfrequenz implantierter wilder Adéliepinguine. Das Verhalten bzw. die Verhaltensänderung wilder Pinguine in der Kolonie während des Überflugs von Flugzeugen des Typs "Herkules" bzw. "Twin Otter", Hubschraubern der Typen "Super Puma" und "Wasp" und während der Annäherung von Touristen wurde mittels Videocamera aufgezeichnet. Langzeiteffekte von Hubschraubereinsätzen wurden während der Versorgung der Station vom 24.12. bis zum 26.12. in Zusammenhang mit der Entfernung von Hubschrauberlandeplatz untersucht. Zu diesem Zweck wurden Pinguine und Nester in 8 Kolonien gezählt. Die erste Zählung erfolgte unmittelbar vor dem 1. Hubschraubereinsatz und die letzte Zählung 24 Stunden danach, um die Flucht der Tiere aus dem Koloniebereich bzw. die Rückkehr der Tiere zu erfassen.

Diesem Bericht liegen folgende Arbeiten zugrunde:

- CULIK, B.; ADELUNG, D.; WOAKES, A.; Effects of stress on Adélie penguins during the breeding season. In KERRY K (ed) *Proceedings of the 5th SCAR symposium on Antarctic biology*, Hobart, Australia. (in press)
- CULIK, B.; WOAKES, A.; ADELUNG, D.; WILSON, R.; CORIA, N.; SPAIRANI, H. (1990) Energy requirements of Adélie penguin chicks. *J. Comp. Physiol. B* 160:61-70.
- CULIK, B.; WILSON, R. Energetics of under-water swimming in Adélie penguins. (submitted to *Ecology*).
- CULIK, B.; WILSON, R. Telemetry in birds: do devices affect penguin performance? (submitted to *J. Exp. Biol.*)
- WILSON, R.; CORIA, N.; SPAIRANI, H.; ADELUNG, D.; CULIK, B. (1989) Human induced behaviour in Adélie penguins. *Polar Biol.* 10:77-80.
- WILSON, R.; CULIK, B.; CORIA, N.; ADELUNG, D.; SPAIRANI, H.; (1989) Foraging rhythms in Adélie penguins at Hope Bay, Antarctica: Determination and control. *Polar Biol.* 10:161-165.

- WILSON, R.; CULIK, B.; ADELUNG, D.; CORIA, N.; SPAIRANI, H. To slide or stride; when should Adélie penguins toboggan? *Can. J. Zool.* (in press)
- WILSON, R.; SPAIRANI, H.; CORIA, N.; CULIK, B.; ADELUNG, D. (1990) Packages for attachment to seabirds: what colour do Adélie penguins dislike least? *J. Wildl. Manage* 54:447-451.
- WILSON, R.; CULIK, B. The cost of a hot meal; specific dynamic action may ensure temperature homeostasis in postingestive endotherms. (submitted to *J. Comp. Physiol. B.*)
- WILSON, R.; CULIK, B.; SPAIRANI, H.; CORIA, N.; ADELUNG, D. Depth utilization in penguins and activity patterns of Gentoo penguins. *J. Ornith.* (in press)
- WILSON, R.; CULIK, B.; ADELUNG, D.; CORIA, N.; SPAIRANI, H. Depth utilization of breeding Adélie penguins at Esperanza Bay Antarctica. (submitted to *Polar Biol.*)
- WILSON, R. (1989) Diving depths of Gentoo and Adélie penguins at Esperanza Bay, Antarctic Peninsula. *Cor-morant*. 17:1-8.
- WILSON, R.; WILSON, M-P.; LINK, R.; MEMPEL, H.; ADAMS, N. Dead reckoning may be an alternative to telemetry. (submitted to *J. Exp. Biol.*)
- WILSON, R.; HUSTLER, K.; RYAN, P.; BURGER, A.; NÖLDEKE, C. Diving birds in cold water: do Archimedes and Boyle determine energy costs? (submitted to *Am. Nat.*)