

(Aus dem Institut für Biologie III der Universität Tübingen, Lehrstuhl für Zoophysiologie)

Anz. orn. Ges. Bayern 14, 1975: 70—78

Untersuchungen über Körpertemperatur und Stoffwechsel beim Fichtenkreuzschnabel *Loxia c. curvirostra*

Von **Roland Prinzinger** und **Karl Hund**

Einleitung

Fichtenkreuzschnäbel brüten gehäuft im Winterhalbjahr (z. B. McCABE & McCABE 1933, CORTI 1965). Dennoch sollen ihre Jungen bereits wenige Tage nach dem Schlüpfen bei Umgebungstemperaturen (UT) um 0° C homoiotherm reagieren (NOLTE 1930). Sie müssen von diesem Zeitpunkt an nicht mehr dauernd von den Eltern gehudert werden. Diese Besonderheiten veranlaßten uns zu einer Untersuchung über Körpertemperatur (KT) und Stoffwechsel bei dieser Vogelart.

Material und Methode¹⁾

Die untersuchten Vögel (*Loxia c. curvirostra*) wurden 1973 im Pfrunger Ried (47°54'N/9°24'E), Baden-Württemberg, gefangen. Sie kommen hier ganzjährig vor. Das Durchschnittsgewicht von 216 Fänglingen betrug 38,0 g (106 ♂ wogen im Schnitt 39,0 g, 66 ♀ 37,9 g und 44 diesjährige Jungvögel 36,8 g; Variationsbreite: 29,0—46,4 g). In Gefangenschaft gehaltene Vögel nehmen in der Regel auf etwa 40 bis 45 g Gewicht zu. Die Ernährung erfolgte mit Fichten- und Kiefernzapfen, Waldvogelfutter, Sonnenblumenkernen, Obst und verschiedenen Nüssen.

Zur Bestimmung der KT wurden 5 Vögel einzeln in Lockkäfigen unter Naturtagbedingungen gehalten. Im 4-Stunden-Abstand, jeden Tag um 1 Stunde versetzt, wurde im Februar 1974 vier Tage lang mit einem elektronischen Temperaturmeßgerät (Ultrakust, Meßbereich +15 bis +46° C) der Tagesgang der Temperatur in der Kloake bestimmt (Meßtiefe etwa 1 cm). Die Bestimmung des Stoffwechsels erfolgte nachts nach dem offenen Prinzip mit einem Hartmann und

¹⁾ Alle Geräte standen uns von der Deutschen Forschungsgemeinschaft über Herrn Prof. Dr. E. KULZER zur Verfügung, dem an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Braun Oxytest S 2, wobei der zu untersuchende Vogel in einer Plexigasküvette ($7 \times 8 \times 16$ cm) schlief. Der Luftdurchsatz betrug 30 l/h. Die Umweltsimulation erfolgte in einem licht- und weitgehend schalldichten Vörsch-Temperaturschrank. In jedem UT-Bereich (außer bei $+30^\circ \text{C}$ und $+35^\circ \text{C}$) wurde mindestens eine Nacht zwischen 12 und 13 Stunden lang der Stoffwechsel gemessen. Die Versuchsserien wurden durch eine jeweils 5tägige Eingewöhnungszeit unter Versuchsbedingungen eingeleitet, da eingewöhnte Vögel einen um etwa 20 % niedrigeren Sauerstoffverbrauch aufwiesen als nichteingewöhnte. Die Kälteakklimatisation erfolgte 2 Monate in einer 16 m^3 großen Freivoliere unter Freilandbedingungen im Winter 1973/74 mit Tiefsttemperaturen bis -18°C . Zur Wärmeakklimatisation wurde ein Kreuzschnabel-♀ freifliegend einen Monat bei $+21$ bis $+23^\circ \text{C}$ in einer Wohnung gehalten. Die Änderungen im Stoffwechsel dieses Vogels werden dargestellt.

Ergebnisse

1. Die Körpertemperatur

Die KT zeigt einen ausgeprägten diurnalen Rhythmus. Nachts liegen die Werte nahe 40°C , in der Aktivitätsperiode steigen sie auf über 43°C an (Abb. 1 oben). Anstieg und Abfall der KT eilen dem Aktivitätsbeginn bzw. -ende voraus. Beide Werte sind eng mit dem Hell-Dunkel-Wechsel korreliert.

Erhöhte Aktivität, z. B. Flug, Flattern nach dem Flug oder Erregung läßt die KT oft bedeutend ansteigen. Frisch gefangene Kreuzschnäbel zeigten häufig Temperaturen noch über 44°C (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Körpertemperaturen ($^\circ \text{C}$) von frisch gefangenen Fichtenkreuzschnäbeln (dj. = diesjährig; ad. = adult)

Versuchstier	Mittelwert	Maximalwert
10 dj.	43,8	44,3
2 dj. ♀	44,2	44,3
12 dj. ♂	44,1	44,9
1 ad. ♀	44,1	—
7 ad. ♂	44,1	44,3
32 Ex.	44,0	44,9

Bei Hitzestress kann die KT auf über 46°C ansteigen: Während der Stoffwechselmessung bei einer UT von $+35^\circ \text{C}$ zeigte ein Kreuzschnabel nach etwa 1 Stunde deutliche Kollapserscheinungen. Er lag heftig hechelnd am Boden der Küvette und war nach dem Herausnehmen

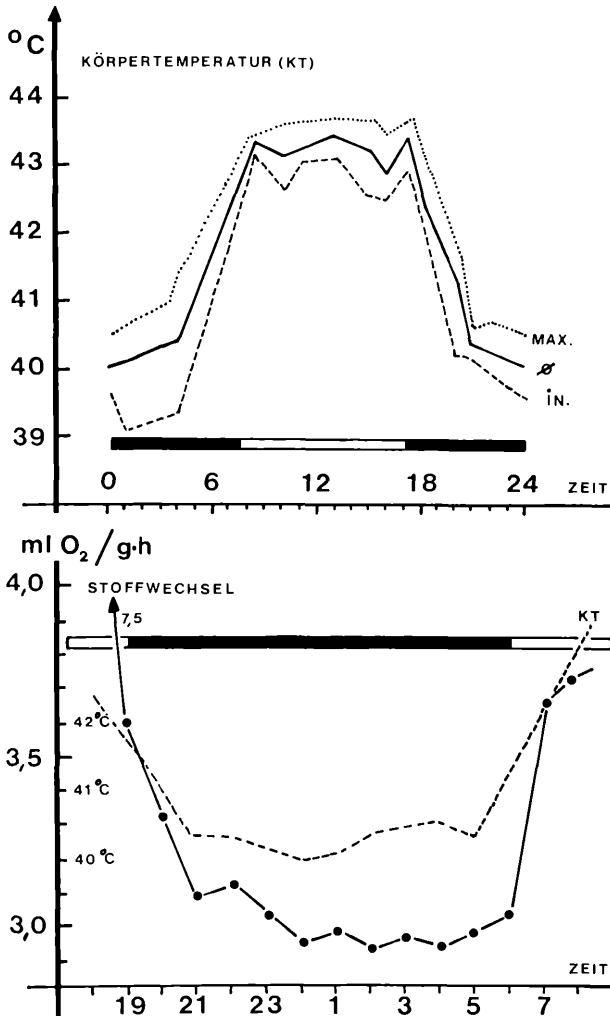


Abb. 1:

Oben: Tageszeitlicher Rhythmus der Körpertemperatur beim Fichtenkreuzschnabel. Der schwarz-weiße Balken gibt den Licht-Dunkel-Wechsel wieder. Unten: Nächtlicher Verlauf von Körpertemperatur (---) und Stoffwechsel (-·-·-) beim Fichtenkreuzschnabel.

etwa eine halbe Stunde bewegungsunfähig (Wärmestarre). Das Temperaturmeßgerät zeigte die genaue KT, die mit über $+46^{\circ}\text{C}$ oberhalb des Meßbereiches lag, nicht mehr an.

2. Körpertemperatur und Stoffwechsel

Beide Größen korrelieren miteinander. Abb. 1 unten zeigt die Verhältnisse zwischen 18 und 8 Uhr. Der nächtliche Minimalstoffwechsel (gemittelt wurde über alle Versuche) wird von 21—6 Uhr unterhalten; er liegt bei etwa $3\text{ ml O}_2/\text{g h}$. Die KT beträgt dabei im Durchschnitt 40°C . Diese Ruhepause wurde vom Versuchstier in der Regel gegen 6—7 Uhr spontan aufgegeben. Der Stoffwechsel stieg an, ohne daß äußere Weckreize durch die Versuchseinrichtung gelangen konnten bzw. durch diese gegeben wurden. Fast zur gleichen Zeit setzte bei den Kontrolltieren in der Voliere die Aktivität ein. Bei mehrfach unmittelbar aufeinanderfolgenden Versuchen war diese Weckphase weniger ausgeprägt und verschob sich zudem allmählich auf einen späteren Zeitpunkt. Die Steigerung des Stoffwechsels und die Erhöhung der KT sind im Versuch nicht mit dem Beginn motorischer Aktivität verbunden gewesen. Während der Weckphase hielten die Kreuzschnäbel den Kopf auch weiterhin in Schlafstellung zwischen den Flügeln.

3. Stoffwechsel und Umgebungstemperatur

Kälte- und wärmeakklimatisierte Kreuzschnäbel zeigen verschiedene Stoffwechselreaktionen auf unterschiedliche UT. Bei kälteakklimatisierten Kreuzschnäbeln (Abb. 2 A) umfaßt die thermische Neutralzone einen Bereich von $+10$ bis $+25^{\circ}\text{C}$; der Grundumsatz liegt zwischen 3 und $3,3\text{ ml O}_2/\text{g h}$. Die Reaktion auf hohe UT ist besonders ausgeprägt: Über $+25^{\circ}\text{C}$ beträgt der Anstieg des Stoffwechsels $0,2\text{ ml O}_2/\text{g h }^{\circ}\text{C}$, unter $+10^{\circ}\text{C}$ erhöht sich der Sauerstoffverbrauch dagegen nur um $0,1\text{ ml O}_2/\text{g h }^{\circ}\text{C}$. Bei wärmeakklimatisierten Fichtenkreuzschnäbeln (Abb. 2 B) liegt der Grundumsatz deutlich niedriger. Er beträgt nur $2,6\text{ ml O}_2/\text{g h}$. Die untere kritische UT liegt bei ca. $+15^{\circ}\text{C}$. Die Steigerung des Stoffwechsels bei UT über $+25^{\circ}\text{C}$ liegt bei $0,08\text{ ml O}_2/\text{g h }^{\circ}\text{C}$, bei UT unter $+15^{\circ}\text{C}$ bei $0,06\text{ ml O}_2/\text{g h }^{\circ}\text{C}$. Bestimmt man die Durchschnittswerte bei kälte- und wärmeakklimatisierten Vögeln, so erhält man die folgenden Werte (Abb. 2 C): Die thermische Neutralzone reicht von $+15^{\circ}\text{C}$ bis $+25^{\circ}\text{C}$, die Stoffwechselsteigerung auf Wärme beträgt $0,14\text{ ml O}_2/\text{g h }^{\circ}\text{C}$, diejenige auf Kälte $0,085\text{ ml O}_2/\text{g h }^{\circ}\text{C}$. Der Grundumsatz liegt bei rund $2,8\text{ ml O}_2/\text{g h}$.

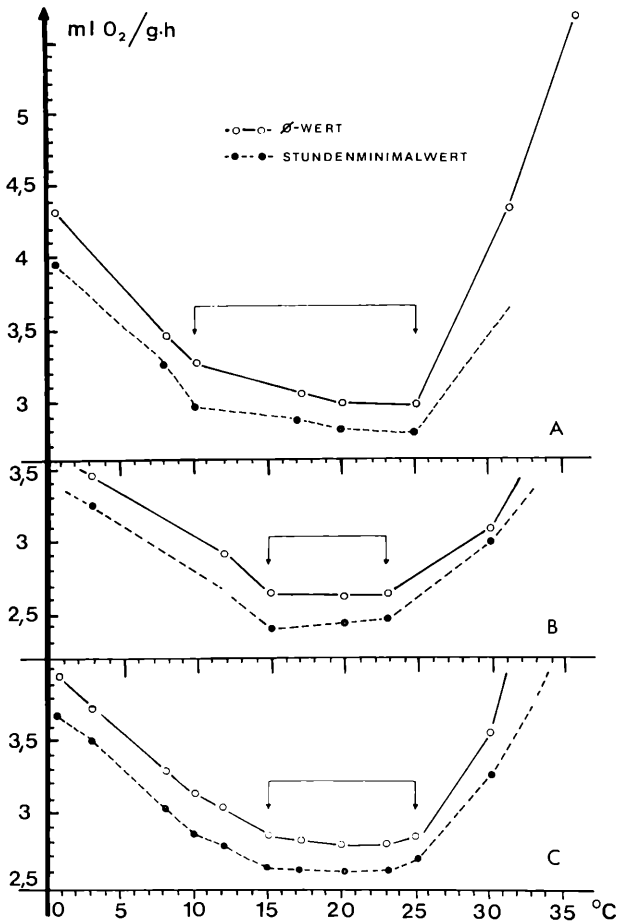


Abb. 2:

Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauches von der Umgebungstemperatur beim Fichtenkreuzschnabel. Die Pfeile markieren die Grenze der thermischen Neutralität. Nähere Erläuterung siehe Text. Der Stundenminimalwert ist der niedrigste, über mindestens eine Stunde gehaltene Stoffwechselwert, der bei der jeweiligen Umgebungstemperatur gemessen wurde. — A: Kälteakklimatisiert. B: Wärmeakklimatisiert. C: Mittelwerte aus A und B.

Diskussion

Fichtenkreuzschnäbel haben im Vergleich zu anderen Vögeln eine sehr hohe Körpertemperatur. Nur wenige andere Arten erreichen Werte über 43°C (eine Auswahl bei BERNARD, CAYOUILLE & BRASSARD 1944, WETMORE 1921, MORRISON 1962 u. a.). In Anbetracht ihrer Winterbrut und der damit verbundenen hohen Belastung des Wärmehaushaltes scheint diese hohe KT geradezu paradox — vorausgesetzt, daß keine besonderen physiologischen und/oder andere Mechanismen das Halten dieser KT unproblematisch gestalten. Kreuzschnäbel sind in ihrem Verbreitungsgebiet zwischen Sommer und Winter oft einer Temperaturdifferenz zwischen KT und UT von teilweise bis zu 70°C und darüber ausgesetzt. Um hohe KT dennoch aufrecht zu erhalten, hat der Organismus vor allem zwei Möglichkeiten: erhöhter Stoffwechsel und/oder besonders gute Körperisolation. Mit einem durchschnittlichen Grundumsatz von $2,8\text{ ml O}_2/\text{g h}$ liegt der Fichtenkreuzschnabel durchaus in dem Bereich, in welchem vergleichbare Arten zu finden sind. Unter Kältebedingungen (nach Kälteakklimatisation) steigern die Kreuzschnäbel bereits innerhalb der thermischen Neutralzone den Stoffwechsel um ca. 20 % auf rund $3,3\text{ ml O}_2/\text{g h}$.

DAWSON & TORDOFF (1944) fanden für die um rund 9 g leichtere amerikanische Fichtenkreuzschnabelrasse *L. c. sitkensis* $3,1\text{ ml O}_2/\text{g h}$ (ebenfalls für kälteakklimatisierte Vögel). Der Stoffwechsel wird bei UT unterhalb der thermischen Neutralzone über die Grundumsatzwerte hinaus vervielfacht und so der verstärkte Wärmeverlust ausgeglichen. Bereits bei 0°C beträgt die Stoffwechselsteigerung rund $1,2\text{ ml O}_2/\text{g h}$. Unter -10°C liegen die Stoffwechselwerte von *L. c. sitkensis* nach Messungen von DAWSON & TORDOFF l. c. zwischen 7 und $8\text{ ml O}_2/\text{g h}$. Eine derartige Steigerung kann nur durch die kalorienreiche Nahrung der Kreuzschnäbel ohne besondere Anstrengungen erreicht und auch aufrecht erhalten werden. Diese Nahrung besteht bekanntlich aus den stark fett- und damit energiereichen Koniferensamen. Bereits die frisch geschlüpften Jungen werden damit gefüttert, was ihre (vermutlich vorhandene) erhöhte Wärmeproduktion sehr günstig beeinflusst.

Die thermische Isolation des Gefieders ist bei Kreuzschnäbeln im Vergleich zu anderen Arten sehr gut. Sie erreicht Werte von ca. $0,6$ bis $0,7^{\circ}\text{C/kcal h m}^2$ und ist damit deutlich höher als bei gewichtsmäßig vergleichbaren Arten (Tab. 2). Nur größere Vögel haben noch bessere thermische Isolationswerte.

Die thermische Gefiederisolation läßt sich aus dem Anstieg des Stoffwechsels bei Kälte und der Körperfläche des Vogels berechnen. Für die Körperoberfläche gilt die Gleichung $\text{Fläche (dm}^2) = \text{Körpergewicht (kg)}^{0,67}$. Der Isolationswert gibt an, welche UT-Absenkung durch eine definierte Stoffwechselsteigerung pro Zeit- und Flächeneinheit ausgeglichen werden kann.

Bei solch guter Gefiederisolation ist also das Halten einer hohen KT auch bei tiefen UT gewährleistet.

Tab. 2: Thermische Isolationswerte des Gefieders bei einigen Vogelarten

Art	Isolationswert (°C/kcal h m ²)	Autor
versch. Passeres (12—37 g)	Maximalwert 0,39	MISCH 1960
<i>Plectrophenax nivalis</i> (40 g)	0,48	DAWSON & TORDOFF 1959
<i>Richmondia cardinalis</i> (40 g)	0,52	DAWSON 1958
<i>Hesperiphona vespertina</i> (56 g)	0,55	DAWSON l. c.
<i>Loxia c. sitkensis</i> (29 g)	0,56	DAWSON & TORDOFF 1964
<i>Loxia leucoptera</i> (38 g)	0,62	DAWSON & TORDOFF l. c.
<i>Loxia c. curvirostra</i> (38 g)	0,6—0,7	eig. Untersuchung
<i>Cyanocitta cristata</i> (81 g)	0,57	MISCH l. c.
<i>Perisoreus canadensis</i> (64 g)	0,84	DAWSON & TORDOFF l. c.
<i>Lagopus spec.</i>	0,84	DAWSON & TORDOFF l. c.

Kälte- und auch wärmeakklimatisierte Fichtenkreuzschnäbel haben zudem einen relativ niedrig liegenden unteren kritischen Temperaturpunkt. Erst bei einer UT unter +10° C (bzw. +15° C) beginnt der Stoffwechselanstieg. Ein Vergleich mit anderen Vogelarten, die in unserer Klimazone überwintern, zeigt die günstige Lage der Kreuzschnabelwerte. STEEN (1958) erhielt für eine Auswahl Kleinvögel (*Parus major*, *Carduelis chloris*, *Fringilla montifringilla*, *Passer domesticus*, *Passer montanus* und *Carduelis flammea*), die er auf -10° C adaptiert hatte, als untere kritische Temperaturpunkte +18 bis +13° C; Werte also, die der Fichtenkreuzschnabel bereits bei wesentlich höheren Akklimatisationstemperaturen unterschritt. Er zeigt also große Bereitschaft, tiefe Außentemperaturen mit einer Leichtigkeit zu meistern, die anderen Kleinvögeln nicht im gleichen Maße eigen ist. Temperaturregulation und Wärmehaushalt des Fichtenkreuzschnabels sind somit besonders gut an kalte Klimabedingungen angepaßt.

Recht gering ist dagegen die Fähigkeit, hohe UT auszuhalten. $+35^{\circ}\text{C}$ UT, ein Wert, der für viele Vogelarten der gemäßigten bis heißen Klimaräume noch innerhalb der Temperaturneutralzone liegt, stellt beim Fichtenkreuzschnabel eindeutig eine Streßsituation dar.

Zusammenfassung

1. Fichtenkreuzschnäbel zeigen einen Tagesgang der Körpertemperatur. Nachts liegt sie bei rund 40°C , in der Aktivitätsphase bei rund 43°C . Nach Flug, Erregung etc. steigt sie auf über 44°C an.
2. Körpertemperatur und Stoffwechsel korrelieren miteinander. Sie haben nachts zwischen 21 und 6 Uhr ihr Minimum: 40°C und $3\text{ ml O}_2/\text{g h}$.
3. Die thermische Neutralzone kalt akklimatisierter Vögel liegt zwischen $+10$ und $+25^{\circ}\text{C}$, diejenige warm akklimatisierter zwischen $+15$ und $+25^{\circ}\text{C}$. Kalt akklimatisierte Kreuzschnäbel haben einen um rund 20% erhöhten Grundumsatz: $3,3\text{ ml O}_2/\text{g h}$.
4. Die thermische Gefiederisolation ist mit $0,6$ bis $0,7^{\circ}\text{C/kcal h m}^2$ relativ hoch und zeigt zusammen mit den übrigen Werten eine gute Anpassung der Art an kalte Biotope.

Summary

Investigations of the body temperature and metabolism of the Red Crossbill (*Loxia c. curvirostra*)

1. Red Crossbills show a diurnal rhythm of body temperature between 40°C during the night and 43°C in daytime. After flight, temperature increase to more than 44°C .
2. Body temperature and metabolism are correlated. The minimums at night are between 21 and 6 h: 40°C and $3\text{ ml O}_2/\text{g h}$.
3. The zone of thermoneutrality of cold acclimatized Red Crossbills lies between $+10$ and $+25^{\circ}\text{C}$, those of warm acclimatized Crossbills between $+15$ and $+25^{\circ}\text{C}$. Cold acclimatized birds have an increased basal metabolic rate: $+20\%$; $3,3\text{ ml O}_2/\text{g h}$.
4. The insulation of Red Crossbills is relatively high: $0,6\text{--}0,7^{\circ}\text{C/kcal h m}^2$.

Literatur

- BERNARD, R., R. CAYOUILLE & J. A. BRASSARD (1944): Mésure de la température normale des oiseaux au moyen de thermomètres à mercure. Rev. can. biol. 3: 251—272.
- MCCABE, T., & E. MCCABE (1933): Notes on the anatomy and breeding habits of the Crossbills. Condor 35: 136—147.
- CORTI, U. A. (1965): Konstitution und Umwelt der Alpenvögel. Chur.
- DAWSON, W. R. (1958): Relation of oxygen consumption and evaporative water loss to temperature in the Cardinal. Physiol. Zoöl. 31: 37—48.
- — & H. B. TORDOFF (1959): Relation of oxygen consumption to temperature in the Evening Grosbeak. Condor 61: 388—396.

- — & — — (1964): Relation of oxygen consumption to temperature in the Red and White-winged Crossbills. *Auk* 81: 26—35.
- NOLTE, W. (1930): Brut des Fichtenkreuzschnabels in Schleswig-Holstein nebst biologischen Bemerkungen. *J. Orn.* 78: 1—19.
- MISCH, M. S. (1960): Heat regulation in the Northern Blue Jay, *Cyanocitta cristata bromia* Oberholser. *Physiol. Zoöl.* 33: 252—259.
- MORRISON, P. R. (1962): Modification of body temperature by activity in Brazilian hummingbirds. *Condor* 64: 215—223.
- STEEN, J. (1958): Climatic adaptation in some small northern birds. *Ecology* 39: 625—629.
- WETMORE, A. (1921): A study of the body temperature of birds. *Smith. Misc. Coll.* 72: 1—52.

Anschrift der Verfasser:

Roland P r i n z i n g e r , Institut für Biologie III,
Lehrstuhl Zoophysiologie, 74 Tübingen, Auf der Morgenstelle 28,
Karl H u n d , 7967 Bad Waldsee, Beethovenstr. 9.

(Eingegangen am 5. 12. 1974)