

Masterarbeit

im Studiengang Forstwissenschaft



**Der Einfluss des Standorts auf den Ruheumsatz
von Steinkäuzen (*Athene noctua*) im Winter**

in Zusammenarbeit mit der
Schweizerischen Vogelwarte



eingereicht von	Ingrid Stützle, B.Sc. Matr.-Nr. 2527439
Erstkorrektor:	Dr. Gernot Segelbacher
Korreferent:	Prof. Dr. Carsten Dormann
Betreuung:	Dr. Beat Naef-Daenzer (Schweizerische Vogelwarte)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Methoden	8
2.1	Allgemeines zum Steinkauz	8
2.2	Untersuchungsgebiet	9
2.3	Energieverlustmessungen	9
2.3.1	Aufbau der heizbaren Kauzmodelle	9
2.3.2	Kalibrierung	13
2.3.3	Durchführung der Freilandversuche	14
2.4	Auswertung	16
2.4.1	Energieverluste der HTMs	16
2.4.2	Ruheumsatz eines Steinkauzes	16
2.4.3	Ruheumsatz an unterschiedlichen Standorten	17
2.5	Zusammenfassung aller verwendeten Daten und Abkürzungen	17
3	Ergebnisse	19
3.1	Wärmeverluste der Kauzmodelle	20
3.2	Ruheumsatz des Steinkauzes im Winter	22
3.2.1	Ruheumsatz unterhalb der Thermoneutralzone	22
3.2.2	Einfluss des Standortes	23
3.2.3	Ruheumsatz im Verlauf des Winters	26
4	Diskussion	29
4.1	Thermoregulationskosten	29

4.2 Standortabhängiger Ruheumsatz im Winter	30
4.3 Ökologische Aspekte	32
4.4 Methodisches	33
5 Zusammenfassung	35
6 Literatur	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Heizkauz-Modelle.	14
Abbildung 2: Die Wärmeabstrahlung des Steinkauz-Modells und eines lebendigen Steinkauzes	16
Abbildung 3: Temperaturbedingter Leistungsbedarf der drei Heated taxidermic mounts	18
Abbildung 4: Gemessene Leistungswerte und Verlauf der Witterungsparameter	27
Abbildung 5: Einfluss der einzelnen Parameter auf den Wärmeverlust eines Kupferkauzes	30
Abbildung 6: Der temperaturabhängige Ruheumsatz eines Steinkauzes unterhalb der unteren kritischen Temperatur	31
Abbildung 7: Witterungsparameter im Freiland und direkt an den HTM-Standorten	32
Abbildung 8: Einfluss von Wind und Strahlung auf den Ruheumsatz eines Steinkauzes...	35
Abbildung 9: Erwarteter Ruheumsatz für die Wintermonate der letzten drei Jahre.....	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datengrundlage und verwendete Abkürzungen als Übersicht.....	22
Tabelle 2: Einfluss der Witterungsparameter in direkter Umgebung des Steinkauz- Modells auf den Leistungsbedarf.....	29
Tabelle 3: Parametereinfluss des Ruheumsatzmodells für die untersuchten Standorte	34
Tabelle 4: Monatsmittelwerte der Witterungsparameter für die Wintermonate 2010 – 2013.....	36
Tabelle 5: durchschnittliche Einsparung durch die Nutzung eines geschützten Stand- ortes gegenüber einem Aufenthalt im Freiland	37

1 Einleitung

Der Ruheumsatz ist der aktuelle Energieverbrauch eines nüchternen Vogels im Ruhezustand. Dieser besteht einerseits aus dem Grundumsatz, der die laufenden Betriebskosten des Körpers abdeckt, und außerdem aus den Thermoregulationskosten, die Energieverluste des Körpers durch Wärmeabstrahlung an die Umgebung ausgleichen (Bezzel & Prinzinger, 1990). Neben der Umgebungstemperatur beeinflussen vor allem Wind, solare Einstrahlung und Feuchtigkeit die Höhe der Energieverluste (Bezzel & Prinzinger, 1990; D.J. McCafferty, Moncrieff, & Taylor, 1997; Walsberg, 1986; Wiersma & Piersma, 1994), wobei Wind und Feuchtigkeit die Verluste steigern und Strahlung diese eher verringert. Je kälter die Umgebungstemperatur, desto mehr thermoregulative Energie wird dazu benötigt. Da der Grundumsatz generell konstant ist (Bezzel & Prinzinger, 1990), folgt demnach auch der Ruheumsatz dem Jahresverlauf der Witterungsbedingungen.

Durch niedrige Temperaturen und häufigen Niederschlag muss im Winter deutlich mehr Energie aufgewendet werden als im Sommer, gleichzeitig ist das Nahrungsangebot für die meisten Arten stark eingeschränkt (Paclik & Weidinger, 2007). Während Zugvögel diesem energetischen Engpass durch vorübergehende Abwanderung in klimatisch günstigere Gebiete ausweichen, müssen Standvögel die Balance zwischen Energieverlusten und Energieaufnahme den lokalen Verhältnissen anpassen. Um Energie einzusparen reduzieren viele Arten im Winter ihre Aktivitätszeiten (Bezzel & Prinzinger, 1990) und halten sich während der Ruhephasen in geschlossenen Eständen auf, die Schutz vor Witterungseinflüssen und Extremtemperaturen bieten (Bock et al., 2013; Coombs, Bowman, & Garroway, 2010; Paclik & Weidinger, 2007; Walsberg, 1986). Noch gibt es aber keinen Anhaltspunkt, wie stark der Bedarf an thermoregulativer Energie im Lauf der Jahreszeiten schwankt.

Es wird vermutet, dass energetische Bedingungen in Lebensräumen starken Einfluss auf Bestandesveränderungen und räumliche Verbreitungsmuster von Vögeln haben (Fuller 2010) (Houston & McNamara, 1993). Für den Steinkauz (*Athene noctua*), eine Eulenart mit Verbreitungsschwerpunkt in warm-trockenen Zonen, könnte der erhöhte Thermoregulationsbe-

darf in Kombination mit verringerten Nahrungsangebot im Winter durchaus ein limitierender Faktor sein. In extrem kalten und schneereichen Wintern wurden für mitteleuropäische Steinkauzpopulationen mehrfach erhöhte Mortalitätsraten festgestellt (Exo, 1988; Gouar et al., 2011; Schönn, Scherzinger, Exo, & Ille, 1991; Thorup, Pedersen, Sunde, Jacobsen, & Rahbek, 2013). Aus Telemetriedaten geht hervor, dass die regelmäßige Nutzung ungeschützter Standorte bei kalten Temperaturen zu höheren Mortalitätsraten führt (Bock et al., 2013), zudem ist die Nutzungsfrequenz von geschlossenen Einständen in den Wintermonaten deutlich höher ist als im Sommer (Bock et al., 2013). Für die Schleiereule (*Tyto alba*) konnte bereits belegt werden, dass winterliche Bestandeseinbrüche auf extreme Witterungsbedingungen zurückzuführen sind (Altwegg, Roulin, Kestenholz, & Jenni, 2006). Gruebler, Widmer, Korner-Nievergelt, & Naef-Daenzer (2013) haben in diesem Zusammenhang die thermischen Eigenschaften von potentiellen Einständen für den Steinkauz untersucht und vermutet, dass das Mikroklima in geschlossenen Einständen den Thermoregulationsbedarf der kleinen Eule deutlich verringern müsste. Dabei scheinen Baumhöhlen nach bisherigen Ergebnissen deutlich bessere Isolationseigenschaften aufzuweisen als Nestboxen oder Holzstapel, was sowohl aus der Bestimmung der klimatischen Eigenschaften (Gruebler et al., 2013) als auch aus der temperaturbedingten Nutzungsfrequenz unterschiedlicher Einstandskategorien (Bock et al., 2013) hervorgeht.

Im Speziellen soll [1] der Ruheumsatzes eines Steinkauzes in Abhängigkeit von Witterungsbedingungen im Winter bestimmt werden, [2] gezeigt werden, dass die Nutzung eines geschlossenen Einstandes den Ruheumsatz verringert und [3] dass die Art des Einstandes die Höhe der Energieverluste beeinflusst.

Die Energieverluste eines Steinkauzes durch Konvektion, Wärmeleitung und Abstrahlung können mit Hilfe eines heizbaren Präparats, einem sog. Heated taxidermic mount (Bakken, Erskine, & Santee, 1983), direkt im Feld gemessen werden. Ein solches Modell hält seine Kerntemperatur unter Verwendung von elektrischer Energie konstant. Über den Stromverbrauch, der dazu benötigt wird, kann die Höhe der Energieverluste abgeschätzt werden. Energieverluste durch Atmung und physiologische Prozesse können damit nicht erfasst werden, dennoch erlauben solche Präparate realitätsnahe Schätzungen des thermoregulativen Aufwands unter verschiedenen Außenbedingungen, da spezifisch die von den Außenbedin-

gungen beeinflussten Komponenten gemessen werden (Bakken et al., 1983), während die nicht gemessenen Anteile kaum von Außenbedingungen abhängen. In Kombination mit kalorimetrisch bestimmten Grundumsatzwerten aus der Literatur (McNab, 2009; Hohtola, Pyörnilä, & Rintamäki, 1994; Wijnandts, 1984; Aschoff & Pohl, 1970; Lasiewski & Dawson, 1967) kann der Einfluss von Umweltparametern auf den Ruheumsatz von Vögeln mit hoher Genauigkeit geschätzt werden, da die benötigte elektrische Leistung dem Wärmeverlust des Präparates an die Umgebung entspricht.

Diese Arbeit leistet damit einen Beitrag zur Klärung der Einflüsse von Umweltfaktoren auf den längerfristigen Energiehaushalt von Steinkäuzen im Winter. Sie stellt damit Grundlagen zur Verfügung, die das Verständnis der ökologischen Zusammenhänge in der Bestandsdynamik der Art verbessern.

2 Methoden

2.1 Allgemeines zum Steinkauz

Der Steinkauz (*Athene noctua*) ist eine kleine Eule mit kompaktem Körperbau und einem breiten, flachen Kopf (Schönn et al., 1991). Das ursprüngliche Primärhabitat besteht aus Steppen und Halbwüsten in mediterranen und innerasiatischen Gebieten. In Mitteleuropa ist der Steinkauz als Kulturfolger vor allem in schneearmen Tieflagen zu finden, die einen hohen Anteil an Dauergrünlandflächen und Streuobst- oder Kopfbaumbeständen aufweisen (Schönn et al., 1991). Als überwiegender Bodenjäger bevorzugt der Steinkauz Flächen mit ganzjährig niedriger Vegetation und geeigneten Sitzwarten (Mebs & Scherzinger, 2000). Er ist vorwiegend nachtaktiv mit zwei Aktivitätsschwerpunkten zu Beginn und am Ende der Nacht (Exo, 1988). Gelegentlich wird er auch am Tag bei der Jagd angetroffen, insbesondere während der Brutperiode. In der Zwischenzeit ruht er bei gutem Wetter gut getarnt an übersichtlichen Standorten wie Baumkronen, Mauernischen oder unter Dachvorsprüngen, die bei potentieller Gefahr eine sofortige Flucht oder Deckung ermöglichen (Nieuwenhuyse, Génot, & Johnson, 2011). Bei kälteren Temperaturen bevorzugt der Steinkauz geschlossene Einstände wie Baumhöhlen, Brennholzstapel oder zugängliche Gebäude, die Schutz vor Witterung und Prädatoren bieten (Exo, 1988; Gruebler et al., 2013; Schönn et al., 1991). Natürliche Baumhöhlen sind heute nur noch selten zu finden, dabei stellen sie den wichtigsten Faktor bei der Habitatwahl dar (Exo, 1988). In vielen Gebieten mit Steinkauzvorkommen werden deshalb Niströhren als Ersatz angebracht, die regelmäßig als Brutplatz und Eistanand genutzt werden (Nieuwenhuyse et al., 2011).

Das Nahrungsspektrum des Steinkauzes ist recht umfangreich. Je nach Verfügbarkeit erbeutet er Mäuse, Insekten (Käfer, Heuschrecken) und Regenwürmer, gelegentlich auch Kleinvögel oder Reptilien (Exo, 1988; Nieuwenhuyse et al., 2011; Schönn et al., 1991). Der Flächenbedarf kann bei ausreichender Ressourcenverfügbarkeit sehr gering (1-2 ha) sein, je nach Jahreszeit, Nahrungsverfügbarkeit und Alter des Kauzes werden auch deutlich größere Reviere genutzt (Finck, 1990; Mebs & Scherzinger, 2000).

2.2 Untersuchungsgebiet

Der Landkreis Ludwigsburg im Neckarbecken nördlich von Stuttgart gehört mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9,8°C und einem Jahresniederschlag von 710 mm zu den wärmeren und trockenen Regionen in Baden-Württemberg (LEL 2008). Etwa die Hälfte der Kreisfläche wird landwirtschaftlich genutzt, wobei der Ackerbau die größte Rolle spielt. Daneben prägen vor allem Grünlandflächen sowie relativ viele alte Streuobstbestände, struktureiche Kleingartenparzellen und Rebflächen das Landschaftsbild der Region.

Die regionale Steinkauz-Population umfasst etwa 220 Brutpaare (H. Keil, mündl. Mitteilung) und wird seit 1988 gefördert und dokumentiert (FOGE e.V. & Schweizerische Vogelwarte Sempach).

Die Feldversuche wurden von November 2012 bis März 2013 in alten Streuobstbeständen bei Vaihingen/Enz und Kleinsachsenheim durchgeführt. Die beiden Gebiete erstrecken sich über eine Höhe von etwa 220 – 280 m ü.NN.

2.3 Energieverlustmessungen

2.3.1 Aufbau der heizbaren Kauzmodelle

Um den Energieverluste eines Steinkauzes in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zu schätzen, standen zwei heizbare Steinkauzmodelle (HK1 und HK2; Aufbau s. Abbildung 1), sog. *Heated taxidermic Mounts* (HTM), zur Verfügung. Diese wurden nach Angaben von Wiersma & Piersma (1994) und Bakken (1981, 1983) gefertigt. Anders als bei Bakken (1981, 1983) beschrieben, wurde der Rumpf der Modelle nicht galvanisch geformt. Nach einem Schaumstoffmodell, das vom Präparator angefertigt wurde, wurden der Kopf und Rumpf zunächst mit Streifen aus Kupferblech (0,5 mm) gitterartig nachgeformt. Dieses Gerüst wurde anschliessend mit selbstklebender Kupferfolie überzogen (Würth® Elektronik, WE-CF). Vier Heizfolien (Minco® 15 x 56 mm) wurden zwischen die beiden Schichten von Kupferfolie eingelegt. Diese leisteten bei 12V Versorgungsspannung 3.4 W. Der nachgebaute Rumpf wurde anschliessend vom Präparator mit einem Steinkauzgefieder überzogen. Da der Wärmeverlust über die Füße vernachlässigbar ist (Wiersma & Piersma, 1994), hatten die

Modelle keine Beine. Ein im Zentrum des Rumpfs eingebauter Temperatursensor (Cal Controls Ltd. E-NTC-APP-1.5P7) und eine kommerzielle Regelelektronik (Cal Controls Ltd. EDT1411) regelten die Heizleistung. Um die Ansprechgeschwindigkeit zu erhöhen, wurde die Kunststoffhülle der Sensoren entfernt, die Schalthysterese der Thermostaten wurde auf 0.1 °C gesetzt. Damit konnte die Kerntemperatur der Präparate auf 39.5 ± 0.3 °C konstant gehalten werden. Für den Einsatz im Feld wurden die Modelle mit 12V Blei-Gel Akkumulatoren mit einer Kapazität von 17 Ah betrieben, was eine Betriebsdauer von rund 50 h pro Ladung erlaubte.

Die Wärmeleistung der Modelle wurde mittels eines Spannungs-Datenloggers (DATAQ[®] EL-USB-3) ermittelt, der die angelegte Spannung V in 10 s Intervallen aufzeichnete. Gleichzeitig erlaubte der Spannungsmesser auch eine Kontrolle der aktuellen Batterieladung. Über die Zeitanteile von Ein- und Aus-Zuständen konnte so der aktuelle Leistungsbedarf P_{mess} ermittelt werden:

$$P_{\text{mess}} = t_v \cdot V^2 / R_m \quad \text{in W,}$$

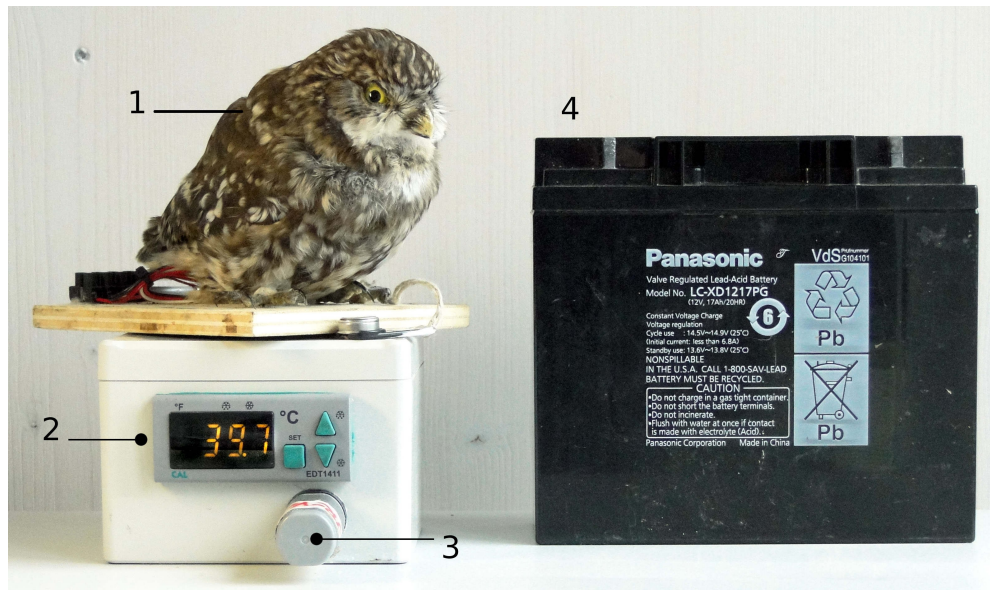


Abbildung 1: Aufbau der Heizkauz-Modelle.

1. präparierter Steinkauz, 2. Regelelektronik, 3. Spannungsmesser, 4. Stromversorgung.

Die Verbindungskabel der einzelnen Komponenten wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht abgebildet.

wobei t_v das Verhältnis zwischen Messwerten mit ($\sim 12V$, EIN) und ohne Leistungszufuhr ($0V$, AUS) und R_m den gesamten Widerstand des Modells darstellt. Die Verluste über das Speisungskabel liegen unter 1 % des gesamten Energieverbrauchs und wurden vernachlässigt. Ein vollständiger Schaltzyklus (je eine An- und Abschaltphase) im laufenden Betrieb dauert etwa 1,5 – 2 Minuten.

Bei konstanter Körpertemperatur entspricht die elektrische Leistung dem Wärmeverlust des Heizkauzes an die Umgebung. Als Maß für Wärmeverlust dient die Wärmedurchgangszahl t_c (engl. *thermal conductance*). Sie beschreibt die Höhe der Verluste in $W/^\circ C$ und lässt sich aus dem aktuellen Energiebedarf P und der Temperaturdifferenz zwischen Körperkern (T_b) und Umgebung (T_m) berechnen:

$$t_c = P / (T_b - T_m)$$

(Wiersma & Piersma, 1994). Je kleiner die Wärmedurchgangszahl, desto besser ist die Isolationswirkung des Gefieders (Bezzel & Prinzinger, 1990).

Generell kann die Wärmedurchgangszahl eines Vogels in Abhängigkeit vom Gewicht berechnet werden (Bezzel & Prinzinger, 1990; Herreid II & Kessel, 1967). Danach werden für einen Steinkauz mit 200g Körpergewicht Wärmedurchgangszahlen von 0,038 (Herreid II & Kessel, 1967) bzw. 0,047 W/°C (Bezzel & Prinzinger, 1990) erwartet.

Wiersma & Piersma (1994) stellten für ihre Arbeit fest, dass die Wärmedurchgangszahlen neuer Knutt-Modelle mit den tatsächlich gemessenen Werten weitgehend übereinstimmten, mit zunehmender Nutzungsdauer aber eine deutliche Abweichung vom realen Wert aufwiesen. Ein Korrelationstest zwischen der Wärmedurchgangszahl aus den kalibrierten Leistungswerten und dem Alter der Steinkauz-Modelle in Tagen konnte einen solchen Alterungseffekt ausschließen (K1: $n = 151$, $p = 0,53$; K2: $n = 166$, $p = 0,69$).

Zusätzlich wurde die Wärmeabstrahlung der Kauzmodelle optisch mit der eines lebenden Steinkauzes verglichen. Dazu wurden Infrarotaufnahmen (Fluke TI32®, Auflösung 240x320) der Modelle und eines lebenden Steinkauzes angefertigt (Abbildung 2). Ein Vergleich der Oberflächentemperaturen zeigt sehr ähnliche Abstrahlungswerte.

Während der ersten Aufnahmephasen in einem Holzstapel hat eine Spitzmaus das Gefieder eines Kauzmodells beschädigt. Das betroffene Modell (K1) wurde repariert und wieder eingesetzt, allerdings wurden die Messreihen vor und nach dem Gefiederschaden in der Analyse getrennt behandelt (Modelle K1a und K1). Um weitere Schäden zu vermeiden wurden die Modelle durch einen Drahtkäfig (Maschenweite 12mm) geschützt. Die Handmessgeräte lieferten innerhalb und außerhalb des Käfigs identische Werte für Temperatur, Windgeschwindigkeit und Strahlung. Der Energieverlust (0,0361 W/°C) des beschädigten Modells war vor und nach der Reparatur fast identisch, die weiteren Messwerte lagen jedoch konstant um 0,16 W höher als zuvor (vgl. Abbildung 3). Die durchschnittliche Wärmedurchgangszahl während der Feldversuche hat sich dadurch von 0,036 W/°C vor der Reparatur auf anschließend 0,041 W/°C erhöht.

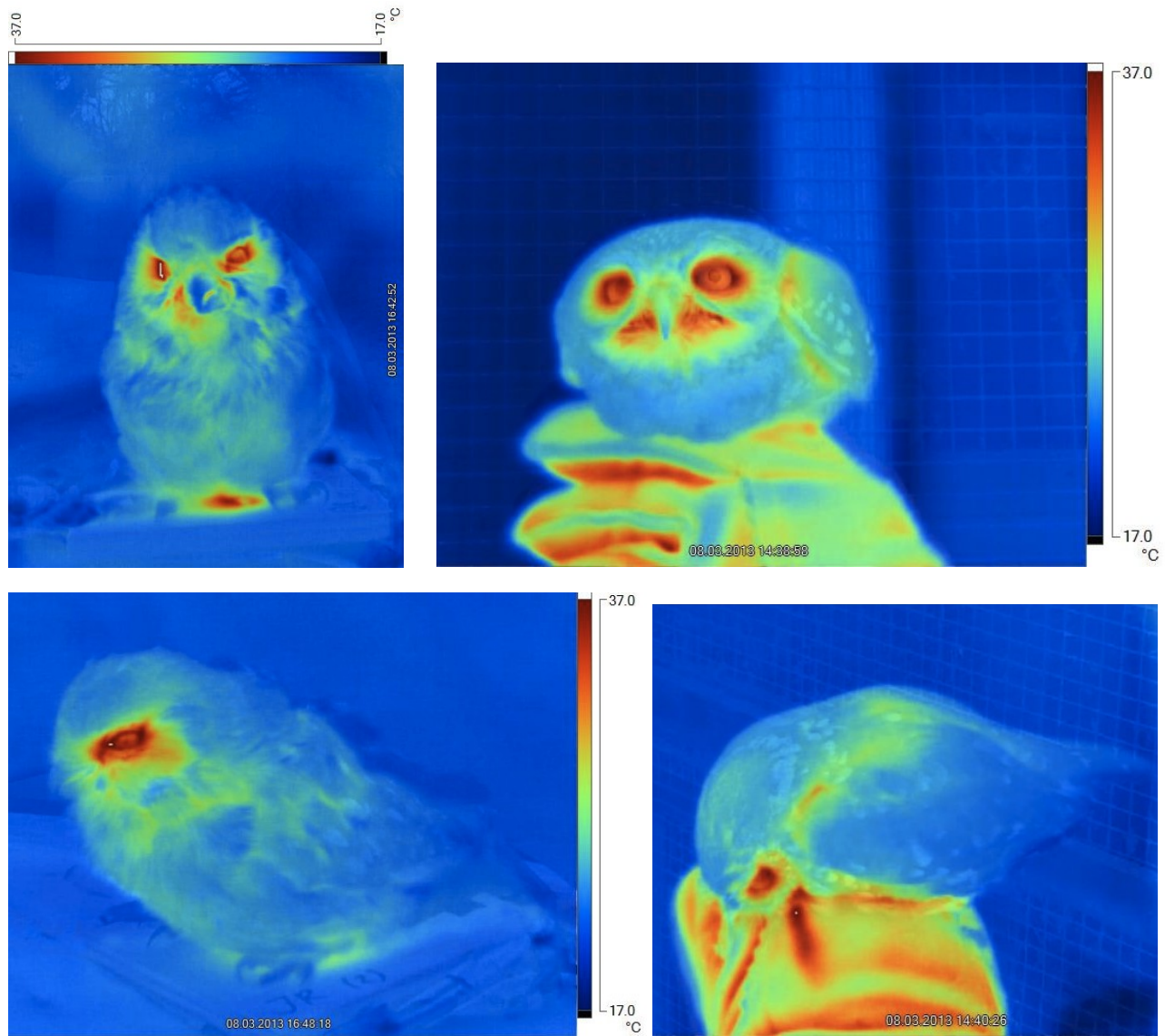


Abbildung 2: Die Wärmeabstrahlung des Steinkauz-Modells und eines lebendigen Steinkauzes. Die Abstrahlungswerte des Präparates (links) unterscheiden sich kaum von denen eines lebendigen Exemplares (rechts).

2.3.2 Kalibrierung

Die Heizkauzmodelle sind individuelle Anfertigungen und weisen daher nicht die selben Grundeinstellungen auf. Während wir davon ausgehen, dass die Wärmeverluste für alle Modelle gleichermaßen von Witterungsbedingungen abhängen, kann die Grundleistung der

einzelnen Modelle baubedingt sehr unterschiedlich sein. Dadurch weichen die Messwerte der Modelle um konstante Werte voneinander ab. Die Kalibrierung der einzelnen HTMs auf ein einheitliches Niveau erfolgte deshalb über die jeweiligen Regression der Leistung über der Umgebungstemperatur ($P_{\text{mess}} = b + a \cdot T_m$). Die resultierende Wärmeverlustrate war für alle drei Modelle (K1, K1a, K2) fast identisch ($0,036 \pm 0,0002 \text{ W/}^\circ\text{C}$). Die Differenz der Regressionskonstanten b von K1a und K1 zu K2 diente als Korrekturwert für die jeweiligen Messreihen, um sämtliche Werte auf die Grundleistung von K2 anzupassen.

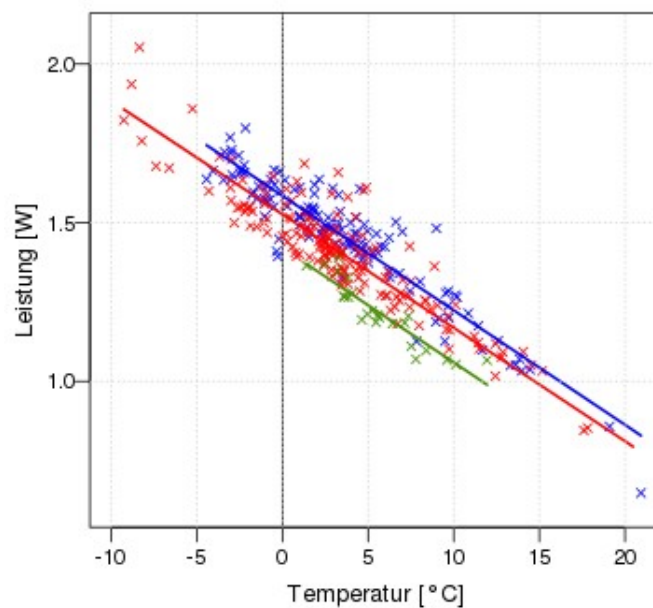


Abbildung 3: Temperaturbedingter Leistungsbedarf der drei Heated taxidermic mounts (blau: K1, grün: K1a, rot: K2) im Freiland. Die Kalibrierung erfolgte durch die Anpassung der y-Achsen-Schnittpunkte von K1a und K1 auf K2.

2.3.3 Durchführung der Freilandversuche

Die Leistungsmessungen der Heizkauzmodelle wurden für die drei Kategorien geschlossener Einstände (Baumhöhle, Nisthilfe und Holzstapel) durchgeführt, außerdem für offene Einstände und als Vergleich an völlig ungeschützten Standorte im Freiland, wie unten ausgeführt. Um zeitliche Autokorrelationen der Messungen zu vermeiden wurden aufeinanderfolgende Messreihen am selben Ort mit einem Mindestabstand drei Stunden zueinander aufgezeichnet.

Die Auswahl der natürlichen Baumhöhlen erfolgte anhand der Vorliebe der Steinkäuze für trockene und gut belüftete Höhlen (Mebs & Scherzinger, 2000). Da die Abhängigkeit des Höhlenklimas von den einzelnen Höhlenparametern bereits gut beschrieben ist (Coombs et al., 2010; Gruebler et al., 2013; Paclik & Weidinger, 2007), wurden keine beschreibenden Daten zu den Höhlen aufgenommen.

In Holzstapeln dienten Zwischenräume zwischen den einzelnen Scheiten als Standort für den Heizkauz. Um Störungen der Steinkauzpopulation zu vermeiden wurde eine transportable Steinkauz-Niströhre aus Holz eingesetzt, welche für die Versuchsreihen an potentiellen Nistplätzen auf den unteren Ästen von Obstbäumen angebracht wurde, sowie zwei fest installierte Steinkauz-Röhren im Untersuchungsgebiet, die gut zugänglich und unbewohnt waren.

Als offene Einstände dienten möglichst witterungsgeschützte Orte wie Baumkronen, Höhleneingänge und diverse Sitzmöglichkeiten in Kleingartenstrukturen. Diese bieten einen gewissen Schutz vor Wind und Strahlung, aber keine Isolation gegenüber der Umgebungstemperatur. Als exponierte Standorte dienten Sitzwarten wie Zaunpfähle oder blattlose Baumkronen, die keinen Schutz vor Witterungseinflüssen bieten.

Die Kauzmodelle wurden mindestens 30 Minuten vor Beginn der Messungen eingeschaltet, damit sich die Kerntemperatur einpendeln konnte. Für jede Versuchsreihe in geschlossenen Einständen wurde der Heizkauz so weit wie möglich im Innenraum positioniert. Zwischen Kauz-Modell und Außenwand wurde ein Datenlogger angebracht, der Lufttemperatur (T_m) und relative Luftfeuchtigkeit (rF_m) innerhalb des Einstandes im 10-Sekunden-Takt aufzeichnet (DATAQ® EL-USB-2, Genauigkeit: Temperatur $\pm 0,5$ °C, rel. Luftfeuchtigkeit ± 3 %). Außerhalb des Einstandes maß ein weiterer Logger (Maxim integrated iButton®, Genauigkeit $\pm 0,5$ °C) im selben Rhythmus und auf selber Höhe die Lufttemperatur (T_a) der Umgebung.

Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit während 30 Sekunden und die solare Einstrahlung wurden direkt am Standort des Modells (G_m , v_m) sowie im angrenzenden Offenland erfasst (G_a , v_a). Beide Messungen wurden zu Beginn und am Ende jeder Versuchsreihe manuell durchgeführt (Solarmessgerät PCE-SPM1®, Genauigkeit $\pm 10\text{W/m}^2$ / $\pm 5\%$; Windmesser Kestrel 3000 Pocket®, Genauigkeit $\pm 3\%$).

Standardisierte Wetterdaten für die nächstgelegene Wetterstation (Besigheim, Luftlinie etwa 10 km von Kleinsachsenheim entfernt) wurden vom Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) bereitgestellt. Daraus wurden die Messwerte zur relativen Luftfeuchtigkeit im Freiland verwendet.

2.4 Auswertung

2.4.1 *Energieverluste der HTMs*

Aus den aufgenommenen Messreihen wurden Stichproben-Intervalle mit der Dauer von drei Stunden als statistische Einheit gewählt. Für jede Messreihe werden die Mittelwerte sämtlicher Parameter als Grundlage für die statistische Analyse verwendet.

Um den Einfluss der Witterungsparameter auf den Wärmeverlust der heizbaren Steinkäuze zu berechnen wurde ein allgemeines lineares Modell verwendet, das den Leistungsbedarf durch die relevanten Parametern Temperatur, Windgeschwindigkeit, Sonneneinstrahlung und relative Luftfeuchtigkeit beschreibt. Als Temperaturwert wird dabei die Differenz der lokalen Temperatur zur unteren kritischen Temperatur der Thermoneutralzone (25°C für Strigiformes; Bezzel & Prinzinger, 1990) angegeben (ΔT_m). Das resultierende Leistungsmodell dient zur Überprüfung der Funktionsweise der HTMs sowie zur Prognose des Leistungsbedarfs unter standardisierten Bedingungen. Der Leistungswert unter thermoneutralen Bedingungen ohne Einfluss von Wind und Strahlung und bei konstanter Luftfeuchtigkeit kann als Grundleistung eines HTMs betrachtet werden. Der Leistungsbedarf abzüglich der Grundleistung entspricht dann den Thermoregulationskosten, die zum Ausgleich der Wärmeverluste erforderlich sind.

Für die erklärenden Variablen wurde der Varianzinflationsfaktor (VIF) und die Toleranz berechnet. Um Korrelationen der Parameter untereinander auszuschließen sollten beide Werte möglichst nah bei 1 liegen.

2.4.2 *Ruheumsatz eines Steinkauzes*

Um den Ruheumsatz eines Steinkauzes zu schätzen muss zusätzlich zu den Thermoregulationskosten der Grundumsatz ermittelt werden. Dieser kann über das Körpergewicht berechnet werden (Lasiewski & Dawson, 1967; Aschoff & Pohl, 1970; Wijnandts, 1984; Hohtola et al., 1994; McNab, 2009). Für einen Vogel von 200g lassen sich allgemeine Grundumsatzwerte für Non-Passerer von 1,02 (Lasiewski & Dawson, 1967), 0,94 (Aschoff & Pohl, 1970 [5]) und 0,99 kcal/h (McNab, 2009 [3]) berechnen. Der Grundumsatz aus spezifischen Formeln für Strigiformes liegt mit 0,8 (Wijnandts, 1984), 0,9 (Hohtola et al., 1994) und 0,85 kcal/h (McNab, 2009 [5]) in allen Fällen unterhalb des Grundbedarfs anderer Nonpasseres. Für die folgenden Berechnungen wird deshalb der durchschnittliche Grundumsatz für eine Eule von 200g mit 0,85 kcal/h verwendet.

Ohne Einfluss von Wind und Strahlung und bei konstanter Luftfeuchtigkeit sollten die Ruheumsatzwerte bei 25 °C dem Grundumsatz entsprechen. Für Temperaturen unterhalb des kritischen Wertes von 25 °C kann der Ruheumsatz aus der Summe des Grundumsatzes und der witterungsbedingten Thermoregulationskosten, die uns aus dem Leistungsmodell vorliegen, gebildet werden. Dazu muss die Umsatzfunktion für den unteren kritischen Punkt der Thermoneutralzone auf 0,85 kcal/h angepasst werden mit

$$U = (P_u + (0,85 - P_{25})),$$

wobei für P_u die gemessenen Leistungswerte in kcal/h und für U_{25} der berechnete Energieumsatz in kcal/h bei 25 °C ohne Wind und Strahlung verwendet werden.

2.4.3 *Ruheumsatz an unterschiedlichen Standorten*

Für jede Messreihe kann dementsprechend ein Ruheumsatzwert für die aktuelle Witterungssituation berechnet werden. Mit einem zweiten linearen Modell soll versucht werden, den Ruheumsatz durch die herrschenden Witterungsparameter im Offenland für die einzelnen Standorte zu beschreiben. Dazu wurden die im Freiland erhobenen Witterungsdaten (T_a , v_a , G_a) und die Feuchtwerte der Station Besigheim (rF_f) in den Einstandskategorien genestet um den erwarteten Ruheumsatzwerten aus dem ersten Modell zu beschreiben.

2.5 Zusammenfassung aller verwendeten Daten und Abkürzungen

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung aller vorliegenden Daten mit den verwendeten Abkürzungen.

Tabelle 1: Datengrundlage und verwendete Abkürzungen als Übersicht

Einstands-Kategorien		Anzahl Messungen	Heizkauz-Leistung		
BH	Baumhöhlen	109	V	[V]	Spannung der Stromversorgung
HZ	Zwischenräume in Holzstapeln	78			für Heizkauz-Betrieb auf 39,5°C
NB	Steinkauz-Niströhren	72	P	[W]	gemessene Leistung
oE	offene Einstände	32	P_k	[W]	kalibrierte Leistungswerte
0	Exponierte Standorte	25	U	[kcal/h]	geschätzter Ruheumsatz
		Σ 316			

eigene Klimadaten				Standardisierte Wetterdaten	
T_m	[°C]	Lufttemperatur	am Standort des Heizkauz- Modells	Station Besigheim	
rF_m	[%]	Luftfeuchtigkeit			
v_m	[m/s]	Windgeschwindigkeit			
G_m	[W/m ²]	Solarstrahlung		T_f	[°C] Temperatur 20cm über Boden
				v_f	[m/s] Windgeschwindigkeit
T_a	[°C]	Lufttemperatur	außerhalb des Einstandes	G_f	[W/m ²] Globalstrahlung
v_a	[m/s]	Windgeschwindigkeit		G_f	[%] relative Luftfeuchtigkeit
G_a	[W/m ²]	Strahlungswerte			

Sämtliche Analysen und Grafiken wurden mit der freien Statistiksoftware R, Version 2.15.2 (2012-10-26) für Linux erstellt.

3 Ergebnisse

Aus den Feldversuchen von Anfang November 2012 bis Ende März 2013 entstanden 316 Messreihen à 3h, die an insgesamt 69 Tagen mit drei verschiedenen Kauzmodellen aufgenommen wurden (K1a: $n = 24$ vor der Beschädigung, K1: $n = 127$ nach der Reparatur; K2: $n = 165$). Die durchschnittliche Außentemperatur während des Untersuchungszeitraums betrug $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (min. $-9,9$, max. $18,1$), die mittlere Windgeschwindigkeit $1,1\text{ m/s}$ (max. $8,0$), die mittlere Strahlungsintensität $0,13\text{ kW/m}^2$ (max. $1,26$) und die durchschnittliche Luftfeuchte 88% (min. 37 ; Abb 3). Die Leistungswerte der Kauzmodelle schwanken im gesamten Zeitraum zwischen rund $1,0$ und $1,8\text{ W}$ (min. $0,45$, max. $2,05$).

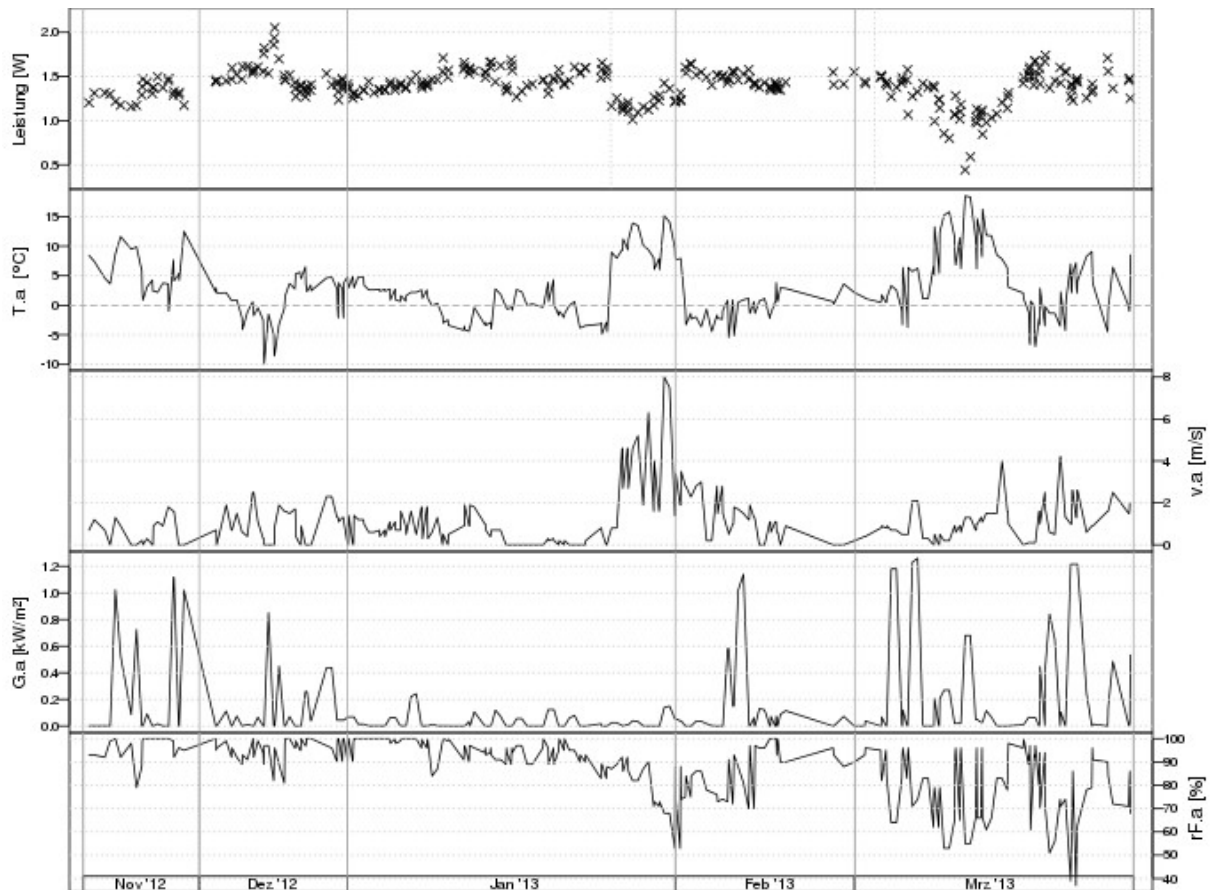


Abbildung 4: Gemessene Leistungswerte (x) und Verlauf der Witterungsparameter Temperatur, Wind, Strahlung und Luftfeuchtigkeit (v. o. n. u.) während des Untersuchungszeitraums.

3.1 Wärmeverluste der Kauzmodelle

Der Leistungsbedarf eines Heizkauzes lässt sich in einem multiplen linearen Modell durch die Temperaturdifferenz zur Thermoneutralzone, die Windgeschwindigkeit, die Solarstrahlung und die relative Luftfeuchtigkeit gut beschreiben ($R^2 = 0,87$, $SE = 0,067$, $n = 316$, $p < 0,001$; vgl. Tabelle 2). Die Umgebungstemperatur allein erklärt bereits 84% der Varianz des Leistungsbedarfs ($SE = 0,073$, $p < 0,001$). Durch die erfolgte Kalibrierung müssen die verwendeten Kauzmodelle nicht mehr als Faktor in die Analyse mit einbezogen werden (ANOVA, $F_{2,313} = 2,37$, $p = 0,1$). Die VIF- und Toleranzwerte lassen keine Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen erkennen.

Die Höhe des Leistungsbedarfs wird am stärksten durch die Umgebungstemperatur bestimmt, die mit zunehmender Differenz zur Thermoneutralzone eine Steigerung des Energiebedarfs von $0,038 \text{ W} / ^\circ\text{C}$ bewirkt. Ebenso verursacht die Windgeschwindigkeit eine deutliche Steigerung des Leistungsbedarfs ($0,044 \text{ W} / \text{m/s}$). Zunehmende Strahlungsintensität kann dagegen den Leistungsbedarf verringern ($- 0,09 \text{ W} / \text{kW/m}^2$), ebenso eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit ($0,023 \text{ W} / 10\%$).

Tabelle 2: Einfluss der Witterungsparameter in direkter Umgebung des Steinkauz-Modells auf den Leistungsbedarf ($R^2 = 0,874$, $SE = 0,067$, $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$).

*Signifikanz-Niveaus: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, +: $p < 0,1$.*

Grundleistung bei 25 °C [W]	ΔT	V	G	rF
0,76 *** (± 0,028)	0,038 *** (± 0,0009)	0,044 *** (± 0,0086)	- 0,089 ** (± 0,031)	- 0,002 *** (± 0,0004)
ANOVA $F_{2,313} =$	2087,5 ***	22,8 ***	3,5 +	41,9 ***
VIF	1,21	1,10	1,15	1,22
Toleranz	0,82	0,91	0,87	0,82

Die grafische Darstellung des Modells (Abbildung 5) zeigt die Wärmeverluste über jeweils einem Gradienten. Es ist deutlich zu erkennen, dass vor allem die Temperatur, aber auch die Windgeschwindigkeit großen Einfluss auf die Höhe der Wärmeverluste ausübt, während Strahlung und Feuchtigkeit eine geringere Rolle spielen. Entgegen der Erwartungen führt die relative Luftfeuchtigkeit zu keinem Anstieg der Leistungswerte.

Ohne Einfluss durch weitere Parameter verringert ein Temperaturanstieg um $2,6^{\circ}\text{C}$ den Leistungsbedarf um $0,1\text{ W}$. Eine Zunahme der Windgeschwindigkeit um $2,3\text{ m/s}$ hat den gegenteiligen Effekt erhöht die Wärmeleistung um $0,1\text{ W}$. Dagegen sind Strahlungswerte von $1,12\text{ kW/m}^2$ oder eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit um 42 Einheiten erforderlich, um die selbe Menge an Energie einzusparen.

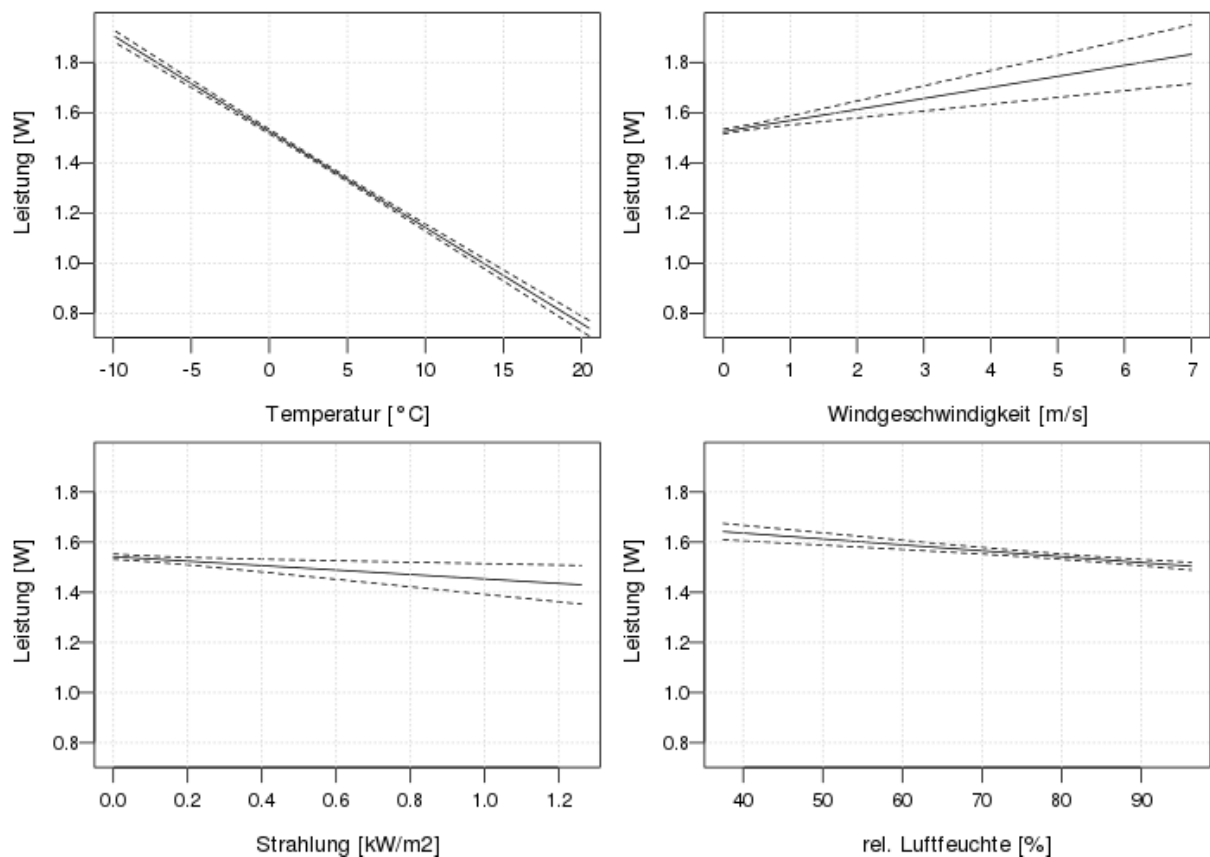


Abbildung 5: Einfluss der einzelnen Parameter auf den Wärmeverlust eines Kupferkautzes für ansonsten konstante Bedingungen von 0°C , 80% rel. Luftfeuchte, ohne Wind- und Strahlungseinfluss.

3.2 Ruheumsatz des Steinkauzes im Winter

3.2.1 Ruheumsatz unterhalb der Thermoneutralzone

Ohne Einfluss von Wind und Strahlung wird für ein HTM bei 25 °C und 75% rel. Luftfeuchtigkeit ein Leistungsbedarf von 0,58 W (0,67 kcal/h) erwartet. Für sämtliche Leistungswerte wurde dieser Grundumsatz um 0,27 kcal/h auf den gewünschten Grundumsatzwert von 0,85 kcal/h korrigiert. Die resultierende Energiemenge in kcal/h entspricht demnach dem Ruheumsatz eines Steinkauzes. Die so berechneten Ruheumsatzwerte unter den definierten Witterungsbedingungen sind in Abbildung 6 über der Umgebungstemperatur dargestellt und lassen sich durch

$$RU = 1,67 - 0,033 \times$$

beschreiben.

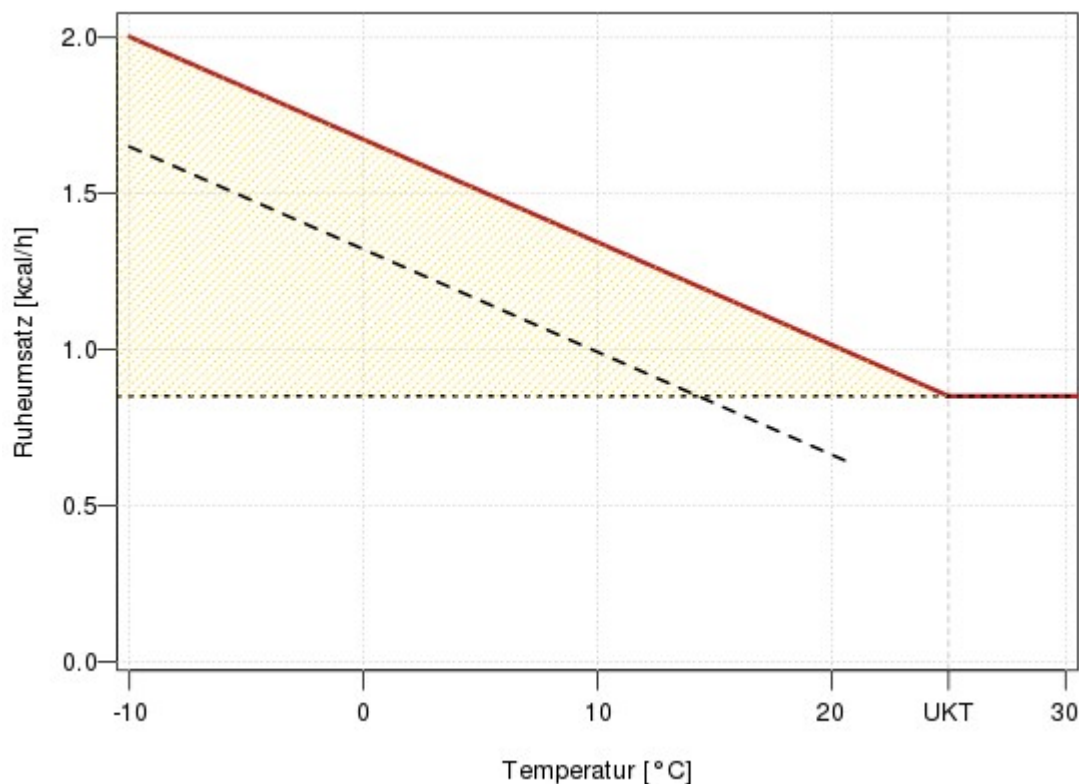


Abbildung 6: Der temperaturabhängige Ruheumsatz (rot) eines Steinkauzes unterhalb der unteren kritischen Temperatur (UKT) wurde aus dem erwarteten Ruheumsatz von 0,85 kcal/h (grau) und den ermittelten Thermoregulationskosten (orange) aus den Wärmeverlusten der Modelle (schwarz unterbrochen) berechnet.

Bei 0°C erreicht der Ruhestoffwechsel einen Umsatzwert von 1,67 kcal/h. Ab -1 °C übersteigt die Höhe der Thermoregulationskosten den Grundumsatz. Für -10 °C entspricht der Ruheumsatz mit 2,0 kcal/h dem 2,4-fachen des Grundumsatzes.

3.2.2 Einfluss des Standortes

Ein Vergleich der gemessenen Witterungsparameter für die 5 Standortskategorien (Abbildung 7) mit den entsprechenden Freilandwerten zeigt, dass innerhalb von geschlossenen Einständen (BH, HZ, NB) deutlich höhere Temperaturen ($t_{95} = 3,9$, $p < 0,001$), geringere Windgeschwindigkeiten ($t_{86} = -4,04$, $p < 0,001$) und weniger Strahlungseinfluss ($t_{168} = -3,41$, $p < 0,001$) herrschen als im Freiland. Temperaturunterschiede zum Freiland sind in Baumhöhlen deutlich größer als in Nestboxen ($t_{176} = 2,9$, $p < 0,01$) und Holzstapeln ($t_{182} = 2,45$, $p < 0,05$), während für Nestboxen und Holzstapel sich kaum unterscheiden ($t_{140} = 0,15$, $p = 0,89$). Die Feuchtigkeitsdifferenz zu allgemeinen Wetterdaten unterscheidet sich innerhalb eines geschlossenen Einstandes nicht signifikant von offenen oder exponierten Standorten ($t_{94} = -1,45$, $p = 0,15$).

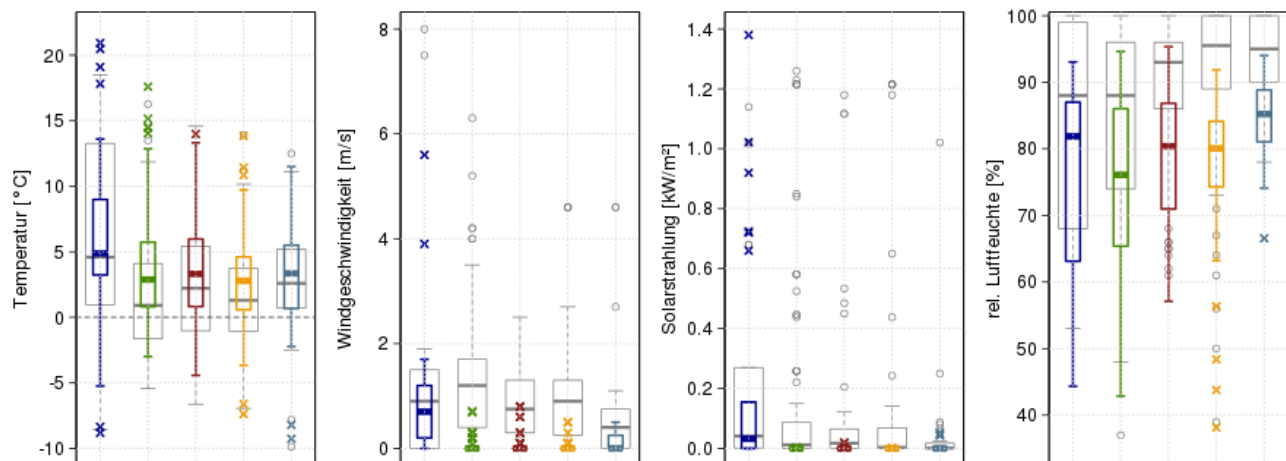


Abbildung 7: Witterungsparameter im Freiland (grau) und direkt an den HTM-Standorten (farbig).

Aus den Witterungsparametern der Umgebung in Kombination mit dem Aufenthaltsort und der Tageszeit (Tag oder Nacht) kann in einem multiplen linearen Modell 88% der Variation des ermittelten Ruheumsatzes erklärt werden ($R^2 = 0,88$, $p < 0,001$, $SE = 0,053$, $n = 316$). Die Aufenthaltsdauer innerhalb eines Einstandes war für die Erklärung der Zielvariablen

nicht relevant (Anova $F_{5,285} = 0,8$, $p = 0,55$) und wurde nicht ins Modell aufgenommen. Auch in diesem Modell (vgl. Tabelle 3) wird der Ruheumsatz am deutlichsten durch die Außentemperatur (erklärt 82 % der Varianz; $F_{5,310} = 305,6$, $SE = 0,063$, $p < 0,001$) bestimmt.

An exponierten Standorten wird der Ruheumsatz hauptsächlich durch die Witterungsparameter bestimmt, die geringfügig durch die Tageszeit beeinflusst (Faktor $f = 0,01$ - *n.s.*) in etwa den Mustern des Leistungsmodells aus Kap. 3.1 folgen (Tabelle 2, S.22). Für offene Einstände werden die selben Einflussgrößen für Temperatur und Tageszeit erwartet, Wind und Feuchte haben dagegen einen geringeren Einfluss als an exponierten Standorten. Solare Einstrahlung senkt den Ruheumsatz an exponierten Standorten (Faktor $d = - 0,12$) deutlich und in Nestboxen geringfügig, führt an allen anderen Standorten aber zu einem Anstieg des Ruheumsatzes, am stärksten ($d = + 0,1$) in offenen Einständen.

Die Umsatzsteigerung durch sinkende Temperaturen ist in Holzstapeln ($b = + 0,029$) und Baumhöhlen ($b = + 0,027$) weniger ausgeprägt als im Freiland ($b = + 0,033$), während Nestboxen ($b = + 0,034$) sich kaum vom temperaturbedingten Energieumsatz im Freiland unterscheiden. Die Windgeschwindigkeit hat den stärksten Einfluss auf den Ruheumsatz an exponierten Standorten ($c = + 0,05$) und führt dort zu deutlich erhöhtem Energiebedarf. In Baumhöhlen und Holzstapeln ($c = + 0,002$) ist der Einfluss des Windes deutlich geringer, während Nestboxen auch hier eher den Bedingungen in offenen Einständen entsprechen ($c = + 0,01$). Bei zunehmender Luftfeuchtigkeit sinkt der Ruheumsatz an fast allen Standorten, am geringsten in Holzstapeln ($e = - 0,0003$), lediglich für Baumhöhlen wird keine Verringerung des Ruheumsatzes erwartet ($e = + 0,00001$). Bei Nacht sind die möglichen Einsparungen innerhalb eines geschlossenen Einstandes höher ($f = - 0,03$) als in offenen Einständen ($f = - 0,01$).

Tabelle 3: Parametereinfluss des Ruheumsatzmodells ($U \sim a + b \cdot \Delta T + c \cdot v + d \cdot G + e \cdot rF + f \cdot d.n$; $R^2 = 0,889$; $SE = 0,053$; $p < 0,000001$) für die untersuchten Standorte.

Signifikanz-Niveaus: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, +: $p < 0,1$.

		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
		0,93 *** ($\pm 0,028$)					
	Exponiert		0,033 *** ($\pm 0,0022$)	+ 0,051 *** ($\pm 0,006$)	- 0,12 *** ($\pm 0,034$)	- 0,0014 * ($\pm 0,0007$)	- 0,01 ($\pm 0,029$)
	offene Einstände		0,033 *** ($\pm 0,0027$)	+ 0,0098 ($\pm 0,01$)	+ 0,096 ($\pm 0,063$)	- 0,0012 ($\pm 0,0007$)	- 0,01 ($\pm 0,024$)
Geschlossene Einstände	Baumhöhlen		0,027 *** ($\pm 0,0011$)	+ 0,0017 ($\pm 0,004$)	+ 0,036 * ($\pm 0,018$)	+ 0,00001 ($\pm 0,0003$)	- 0,03 * ($\pm 0,012$)
	Holzstapel		0,029 *** ($\pm 0,0014$)	+ 0,0026 ($\pm 0,009$)	+ 0,029 ($\pm 0,028$)	- 0,0003 ($\pm 0,0005$)	- 0,03 * ($\pm 0,014$)
	Nestboxen		0,034 *** ($\pm 0,0018$)	+ 0,0097 ($\pm 0,01$)	- 0,008 ($\pm 0,023$)	- 0,0015 ** ($\pm 0,0007$)	- 0,03 * ($\pm 0,015$)
			ΔT	v	G	rF	$d.n$
ANOVA	F 5, 290		434,9 ***	18,7 ***	6,1 ***	2,4 *	3,0 *

In Abbildung 8 sind die erwarteten Ruheumsatzwerte für die jeweiligen Standorte über der Temperatur, Wind und Strahlung dargestellt. Generell nimmt der Ruheumsatz über sinkenden Temperaturen zu.

Hohe Windgeschwindigkeiten (3,5 m/s) und geringe Strahlungsintensität (0,1 W/m²; a.) lassen für exponierte Standorte die mit Abstand höchsten Ruheumsätze erwarten. An allen windgeschützten Standorten ist der erforderliche Ruheumsatz deutlich geringer als im Freiland. Bei 10 °C Außentemperatur können in allen Einständen gleichermaßen rund 10 % der Energiekosten eingespart werden. Mit abnehmender Temperatur bieten Baumhöhlen und Holzstapel zunehmend geringere Energiekosten als Nestboxen, die sich im Energiebedarf kaum von offenen Einständen unterscheiden.

Bei mittlerer Strahlungsintensität (0,4 kW/m²) und mittlerer Windgeschwindigkeit (2,5 m/s; b.) unterscheidet sich der Ruheumsatz an den untersuchten Standorten weniger stark voneinander. Zwischen exponierten und teilweise geschützten Einständen sind nur geringfügige

Unterschiede zu erkennen. Während Baumhöhlen und Holzstapel unter 5 °C auch hier den geringsten Ruheumsatz erfordern ist bei 10 °C der Aufenthalt in einer Nestbox mit dem geringsten Energieumsatz verbunden.

An Tagen mit hoher Strahlungsintensität (0,6 kW/m²) und geringer Windgeschwindigkeit (0,2 m/s) dagegen bilden strahlungsexponierte Standorte bis zu Temperaturen von unter -5 °C die energetisch günstigsten Standorte. Offene Einstände, die meist strahlungsgeschützt sind, erfordern so den höchsten Ruheumsatz.

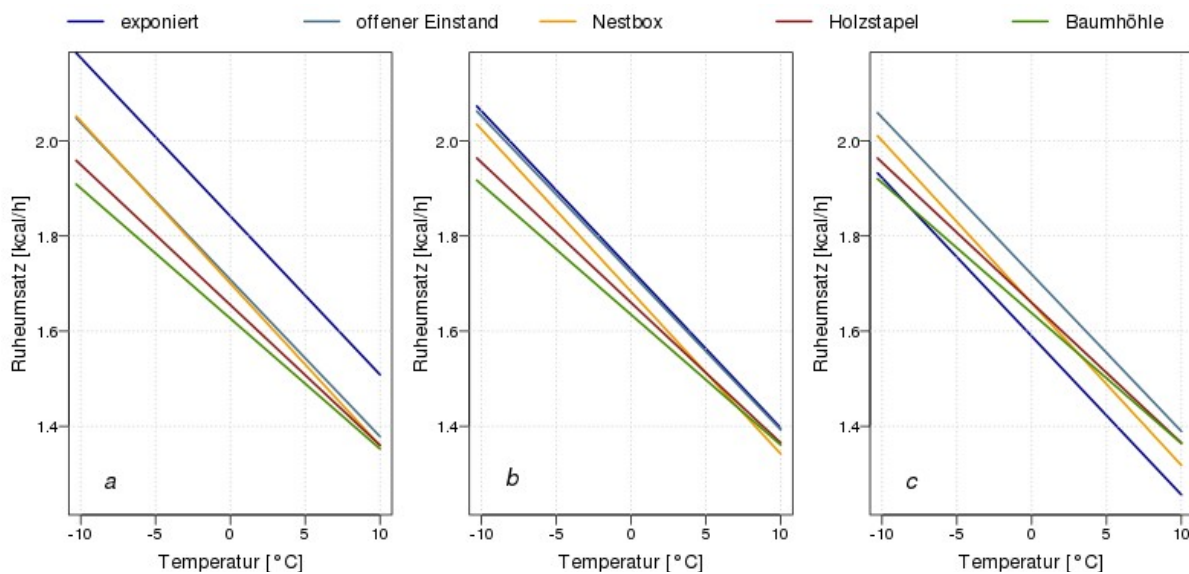


Abbildung 8: Einfluss von Wind und Strahlung auf den Ruheumsatz eines Steinkauzes. a. Hohe Windgeschwindigkeit (4 m/s), geringe Strahlungsintensität (0,1 kW/m²); b. Mäßiger Wind (2,5 m/s), mäßige Strahlung (0,4 kW/m²); c. hohe Strahlungsintensität (0,6 kW/m²), geringe Windgeschwindigkeit (0,2 m/s) bei konstanter Luftfeuchte von 80% und am Tag.

3.2.3 Ruheumsatz im Verlauf des Winters

Aus dem Ruheumsatzmodell und den Wetterdaten des LTZ (vgl. Tabelle 4) konnte der potentielle Energiebedarf eines Steinkauzes an verschiedenen Standorten für die letzten drei Winterhalbjahre berechnet werden (Abbildung 9; gemittelte Werte über alle drei Jahre in Tabelle 5). Die erwarteten Ruheumsätze folgen dem saisonalen Witterungsverlauf und sind dementsprechend im zentralen Winter besonders hoch, während im Herbst und Frühjahr deutlich

geringere Energieumsätze erforderlich sind. Dabei liegen die winterlichen Maximalwerte um 20 – 25 % über den für Oktober berechneten Werten.

Tabelle 4: Monatsmittelwerte der Witterungsparameter für die Wintermonate 2010 – 2013 aus dem Datensatz des LTZ, der als Grundlage für die Ruheumsatzberechnung verwendet wurde.

	2010			2011						2012						2013		
	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz
Temperatur [°C]	8,3	5,5	-2,0	1,2	2,6	6,7	10,2	4,8	4,1	2,5	-2,6	8,2	9,2	5,7	2,2	1,0	-0,3	2,7
Wind [m/s]	1,4	2,5	2,4	2,2	1,9	2,2	2,1	1,1	3,6	3,7	2,2	1,5	1,4	1,6	2,8	2,7	2,7	2,8
Strahlung [G/m²]	86	40	26	36	62	134	99	55	23	35	73	137	82	42	32	32	50	108
rel. Feuchte [%]	89	91	96	92	90	72	84	93	91	89	82	73	89	94	92	92	89	80

Generell ist im Winter an exponierten Standorten der höchste Energieumsatz erforderlich. Der Aufenthalt an geschützten Standorten ermöglicht eine deutliche Verringerung des Energiebedarfs, wobei sich die Höhe der Einsparungen im Verlauf des Winters zunehmend differenzieren. Für fast alle Monate bieten Baumhöhlen die höchsten Einsparungsmöglichkeiten. Vor allem im zentralen Winter kann der Umsatz in Baumhöhlen um bis zu 9,2 % geringer sein als im Freiland (Durchschnittswerte für Dezember/Januar; vgl. Tabelle 5), gefolgt von Holzstapeln (8 %) und Nestboxen (6,9 %). Für Januar 2012 werden die absolut höchsten Einsparungen in geschlossenen Einständen registriert, die sich für Baumhöhlen auf 0,20 kcal/h belaufen, in Holzstapeln werden maximal 0,18 kcal/h und in Nestboxen 0,15 kcal/h erreicht. Lediglich in den Oktobermonaten stellen Nestboxen mit einer Einsparung von 4,7 % den energetisch günstigeren Standort als Holzstapel und Baumhöhlen (~ 3,2 bzw. 3,4 %) dar. Auch offene Einstände unterscheiden sich bereits deutlich vom Ruheumsatz im Freiland und bieten Einsparungen in Höhe von 2,4 - 5,9 %, stellen damit aber die geringste Einsparungsmöglichkeit aller getesteten Einstände dar.

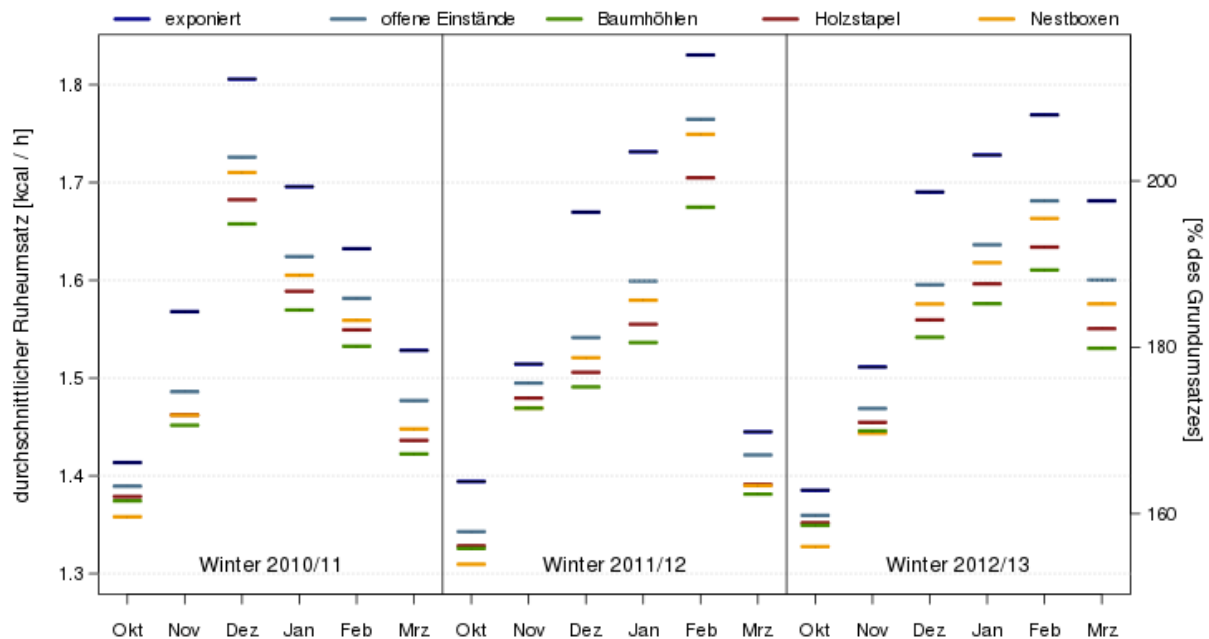


Abbildung 9: Erwarteter Ruheumsatz (kcal/Monat) für die Wintermonate der letzten drei Jahre.

Tabelle 5: durchschnittliche Einsparung durch die Nutzung eines geschützten Standortes gegenüber einem Aufenthalt im Freiland (gemittelt über die drei untersuchten Winterhalbjahre).

	Tagesbedarf im Freiland (kcal)	offener Einstand	Nestbox	Holzstapel	Baumhöhle
Okt	33,5	-2,4 %	-4,7 %	-3,2 %	-3,4 %
Nov	36,7	-3,1 %	-4,7 %	-4,3 %	-4,9 %
Dez	41,3	-5,9 %	-7,0 %	-8,1 %	-9,2 %
Jan	41,2	-5,7 %	-6,8 %	-8,0 %	-9,2 %
Feb	41,9	-3,9 %	-5,0 %	-6,5 %	-7,9 %
Mrz	37,2	-3,3 %	-5,1 %	-5,8 %	-6,8 %

Die Ergebnisse zeigen, dass der Energieverbrauch zur Erhaltung der Körperwärme starken saisonalen Schwankungen unterliegt. Die Höhe des Ruheumsatzes wird maßgeblich durch die herrschenden Witterungsbedingungen bestimmt. Durch die Nutzung eines Einstandes kann die Höhe der Thermoregulationskosten beeinflusst und so Energie eingespart werden.

4 Diskussion

Zum Energiebedarf eines Steinkauzes liegen bisher nur wenige Daten vor, die mit unseren Erwartungen aber gut übereinstimmen. Wijnandts (1984) gibt für einen Steinkauz mit rund 200g einen Energieumsatz von 1,29 kcal/h bei 15°C im Ruhezustand an (Wijnandts unveröff. in: Wijnandts, 1984). Basierend auf einem Grundumsatz von 0,85 kcal/h liegt der entsprechend berechnete Ruheumsatz bei 1,18 kcal/h und weicht lediglich um 8,5% von dieser Angabe ab. Exo (1988) berechnete für drei Steinkäuze in Gefangenschaft einen durchschnittlichen Nahrungsbedarf von 36,3 kcal pro Tag für die Monate Dezember bis Januar. Dieser Wert stellt den Gesamtumsatz der Vögel dar und liegt etwa 30% über dem erwarteten Ruheumsatz für die entsprechenden Monate 2010-'13. Für weitere Eulenarten mit ähnlichem Gewicht sind Ruheumsatzwerte von 1,01 (*Asio otus*, 230g; Ceska, 1980), 0,82 (*Asio otus*, 252g; Wijnandts, 1984), 0,83 (*Tyto alba*, 151g; Gatehouse & Markham, 1970) und 0,52 kcal/h (*Otus asio*, 165g; Ligon, 1969) bekannt. Für eine Schleiereule *Tyto alba* übersteigt der Ruheumsatz den Grundumsatz bei 4°C um 70 % (Thouzeau, Duchamp, & Handrich, 1999), aus den vorliegenden Daten für den Steinkauz ergeben sich dementsprechend 81 %.

Der hier berechnete Ruheumsatz für einen Steinkauz weist keine bemerkenswerten Unterschiede zu den verfügbaren Vergleichswerten aus der Literatur auf und kann somit als durchaus realistische Grundlage für die vorliegenden Modelle angesehen werden.

4.1 Thermoregulationskosten

Der Wärmeverlust der Kauzmodelle in Abhängigkeit der Witterungsparameter aus direkter Umgebung folgt den vorab angenommenen Mustern für Temperatur, Wind und Strahlung.

Die durchschnittliche Wärmedurchgangszahl von 0,039 W/°C, die sich aus den kalibrierten Messwerten ergibt, entspricht sehr genau dem nach Herreid II & Kessel (1967) berechneten Erwartungswert. Da auch die Isolationswirkung der HTMs von Wiersma & Piersma (1994)

dem realen Vorbild sehr nahe kamen kann angenommen werden, dass der temperaturbedingte Wärmeverlust der Modelle in etwa realistischen Werten entspricht.

Der berechnete Einfluss der Windgeschwindigkeit ist geringer als in bisherigen Arbeiten. McCafferty et al. (1997) beschreiben eine Steigerung des Wärmeverlusts einer Schleiereule um 60 % für eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit von 0 auf 7 m/s. Dagegen entspricht der prognostizierte Wärmeverlust der verwendeten HTMs für exponierte Standorte bei 20 °C nur einer Erhöhung um 40 % von 0,77 auf 1,1 W und bei 0 °C um 20 % von 1,5 auf 1,8 W. Bei Wolf & Walsberg (1996) liegt der Windeinfluss für eine Beutelmeise bei 14 % von 0,4 auf 3 m/s, die selbe Windgeschwindigkeit erreicht eine Erhöhung um 12% im vorliegenden Modell. Wijnandts (1984) beschreibt sogar eine Umsatzsteigerung von 20% pro Geschwindigkeitszunahme des Windes um 1 m/s. Durch die vielen Messreihen an windgeschützten Standorten sind geringe Windgeschwindigkeiten im vorliegenden Datensatz vermutlich überrepräsentiert. Möglicherweise wurden der Effekt der Windgeschwindigkeit also unterschätzt.

Die Strahlungswirkung liegt mit einer Leistungsminderung von 20 % für 1000 W/m² im Rahmen der Erwartungswerte nach Wijnandts (1984) von 5 – 36%, aber unter vergleichbaren Werten von 46% von Wolf & Walsberg (1996). Auch hier kann der geringe Anteil an hohen Einstrahlungswerten zur Unterschätzung der Strahlungswirkung führen.

Im vorliegenden Modell führt zunehmende Feuchtigkeit zu einer Abnahme des Thermoregulationsbedarfs, obwohl der gegenteilige Effekt zu erwarten war (Bezzel & Prinzinger, 1990; D.J. McCafferty et al., 1997; Wiersma & Piersma, 1994). An Tagen mit sehr hoher Luftfeuchtigkeit (Niederschlag) ist es im Winter nur mäßig kalt. Dieser Nebeneffekt dürfte die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von feuchter Luft verschleiert haben.

4.2 Standortabhängiger Ruheumsatz im Winter

Geschlossene Einstände bieten günstigere Temperaturen und schützen vor Wind, aber auch vor Strahlungseinfluss. Je nach Witterungsbedingungen kann die Höhe der Thermoregulationskosten durch die Nutzung oder Vermeidung eines Witterungsschutzes beeinflusst werden. Das Energiesparpotential eines geschlossenen Einstandes gegenüber exponierten Einständen

lässt sich wie auch bei lässt sich auf Temperaturpufferung und reduzierte Windgeschwindigkeiten zurückführen. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede im Einsparpotential unterschiedlicher Einstandskategorien.

Der Aufenthalt innerhalb eines geschlossenen Einstandes kann im Winter etwa 4 - 9 % des erforderlichen Ruheumsatzes im Freiland (~ 40 kcal/d) einsparen. Der Maximalwert der berechneten Einsparungen von 11,3 % wird für Januar 2012 in einer Baumhöhle erreicht. Damit liegen die berechneten Einsparungen deutlich unter den Ergebnissen anderer Studien. Für eine Schleiereule ließen sich Einsparungen von 19 % in Gebäuden feststellen (Dominic J. McCafferty, Moncrieff, & Taylor, 2001). Cooper (1999) ermittelte für zwei Meisenarten in Baumhöhlen sogar nächtliche Einsparungsmöglichkeiten von 25 – 37 %. Wie in Kap. 4.1 bereits vermutet können die Auswirkungen der Witterungsparameter durch die häufig vorherrschenden Klimabedingungen verzerrt und somit unterschätzt werden. Die vorgestellten Einsparungen sind dann als minimale Energieeinsparungen anzusehen und können in der Praxis sogar noch deutlich höher liegen.

Für kalte Temperaturen erfordern Baumhöhlen und Holzstapel deutlich geringere Umsätze als Nestboxen. Das stimmt mit den Ergebnissen von Gruebler et al. (2013) überein, die für Baumhöhlen deutlich und für Holzstapel etwas bessere Pufferwirkungen nachweisen konnten als für Nestboxen. An Sonnentagen dagegen stellen Nestboxen einen energetisch günstigen Standort dar, da sie sich unter Einstrahlung deutlich schneller erwärmen als andere geschlossene Einstände (Gruebler et al., 2013).

Offene Standorte im Freiland, wie häufig genutzte Baumkronen, bieten keine Differenz zur Temperatur im Freiland, aber bereits ausreichenden Schutz vor Wind um Einsparungen von bis zu 6 % zu ermöglichen.

Wenn wir davon ausgehen, dass der sinkende Umsatz bei zunehmender Feuchte fälschlicherweise durch den Zusammenhang zur Temperatur entsteht, wären Baumhöhlen, für die dieser Effekt nicht eintritt (vgl. Tabelle 3), die einzigen Standorte, deren Feuchtegrad unabhängig von der Umgebung auf den Ruheumsatz wirkt. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Veľký, Kaňuch, & Krištín (2010) überein, die keinen Zusammenhang zwischen der Luftfeuchtigkeit der Umgebung und der Feuchte innerhalb einer künstlichen Baumhöhle feststellen konnten.

Während den Aktivitätsphasen außerhalb des Einstandes sind die Energieverluste unabhängig von der Art des Einstandes und können durch das vorliegende Modell nicht berechnet werden. Für die Abschätzung der möglichen Einsparungen wird also davon ausgegangen, dass ein Steinkauz sich abzüglich der Aktivitätsphasen während der Dämmerung etwa 16h / Tag im Inneren eines Einstandes aufhält. Für diese Zeitspanne berechnet das Modell für Oktober Ruheumsätze von 660 bis 670 kcal/Monat für geschlossene Einstände. Der Ruheumsatz für ungeschützte Standorte im Freiland beträgt etwa 690 kcal/Monat. Die Differenz von etwa 20 - 30 kcal entspricht einer Ersparnis von knapp einer Feldmaus (15g, ~33 kcal; nach Wijnandts, 1984) für den betreffenden Monat. Im Verlauf des Winters fallen die Unterschiede noch deutlich höher aus. Ohne Einstand werden im Januar etwa 855 kcal/Monat benötigt. Damit steigt die Umsatzhöhe im Vergleich zu Oktober um 24 %. Innerhalb einer Baumhöhle liegt der Ruheumsatz im Januar durchschnittlich 76 kcal / Monat unter dem Ruheumsatz im Freiland, was auf eine Einsparung von etwa 2,3 Feldmäusen schließen lässt. Die maximale festgestellte Einsparung für Baumhöhlen im Januar 2012 beträgt sogar 3,12 kcal / Tag, damit kann der Ruheumsatz für zwei weitere Stunden gedeckt werden. In einer Nestbox werden im Januar dagegen nur 1,7 Feldmäuse (57 kcal) weniger verbraucht als im Freiland. Zwischen Nestbox und Baumhöhle ergibt sich die höchste Differenz im Februar 2012 – hier ist der Energiebedarf in einer Baumhöhle um 1,2 kcal / Tag geringer als in einer Nestbox. Das entspricht dem Ruheumsatz, der für weitere 45 min erforderlich ist.

4.3 Ökologische Aspekte

Von besonderem Interesse ist die Höhe dieser Einsparungen vor dem Hintergrund, dass Steinkäuze als Standvögel den lokalen Witterungsbedingungen nicht ausweichen können. Während längerer Kälteperioden ziehen sie sich an geschützte Standorte zurück und schränken ihre Aktivität stark ein. Auch bei andauernden Nahrungsmangelsituationen wird in der Regel keine Energie auf Nahrungsbeschaffung investiert (Exo, 1988). Während einer Nahrungsknappheit kann also jede mögliche Energieeinsparung die Überlebensdauer bis zur Wiederverfügbarkeit von Nahrungsquellen (z.B. Schmelzen der Schneedecke) entscheidend verlängern.

Durch die masseabhängige Höhe des Grundumsatzes ist auch der Ruheumsatz vom Gewicht abhängig. Die Anlagerung von Fettdepots im Körper bedingt demnach per se höhere Energiekosten. Damit muss ein Vogel die richtige Balance zwischen Reservestoffen und Reduktion des Energiebedarfs finden. Vor diesem Hintergrund konnten Houston & McNamara (1993) belegen, dass selbst geringe Energieeinsparungen für die Überlebenswahrscheinlichkeit im Winter durchaus relevant sind.

Im Allgemeinen kann vor allem durch die Variabilität des Eistanangebotes innerhalb eines Habitats und die Möglichkeit zur Nutzung des jeweils attraktivsten Standortes für jede Witterung eine durchaus relevante Menge Energie eingespart werden. Das Fehlen geeigneter Eistanstände in einem Habitat kann demnach durchaus ein limitierender Faktor sein, wenn gleichzeitig auch der Nachschub an Energie begrenzt ist.

Obwohl künstliche Nisthilfen sich nachweislich sehr positiv auf die Bestandesentwicklung auswirken bieten sie im Winter die geringste Effizienz in der Einsparung von limitierter Energie. Um die Habitate des Steinkauzes nachhaltig zu verbessern und den Bestandesentwicklung zu unterstützen sollten neben geeigneten Brutmöglichkeiten unbedingt auch ausreichend energetisch günstigere Eistanstände zur Verfügung stehen. Die geringe Reproduktionsrate der kleinen Eule (Exo, 1988) kann die in sehr harten Wintern entstehende Bestandeslücken nur langsam wieder ausgleichen. Der Erhalt von alten Baumhöhlen sowie die Förderung der Höhlenentstehung spielt demnach eine bedeutende Rolle im Steinkauzschutz und sollte unbedingt bei den Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden, um witterungsbedingten Bestandeseinbrüchen entgegenzuwirken.

4.4 Methodisches

Bei der Bestimmung der Wärmeverluste innerhalb der Tageseistanstände entsteht durch die Unflexibilität des Heiz-Kauz-Modells wahrscheinlich einen systematischen Fehler. In der Kategorie Baumhöhle konnten nur Hohlräume mit einem ausreichenden Eingangsdurchmesser von mindestens 18 cm Durchmesser getestet werden. In der Realität bevorzugen Steinkäuze allerdings möglichst kleine Eingangsdurchmesser (Schönn et al., 1991). Weitere Quellen belegen bereits, dass ein kleinerer Eingangsdurchmesser bessere Wärmeeigenschaften

bedingen (Grüebler et al., 2013; Paalik & Weidinger, 2007), daher können Baumhöhlen mit kleineren Eingangsdurchmessern durchaus eine noch höhere Pufferwirkung aufweisen.

Auch die Vermutung, dass geringe Wind- und Strahlungswerte überrepräsentiert sind, weist darauf hin, dass die möglichen Einsparungen eher unterschätzt als überschätzt werden. Die hier vorgestellten Werte sind also als minimale Einsparungen anzusehen und können in der Realität durchaus noch höher ausfallen.

5 Zusammenfassung

Die thermoregulative Energie, die Vögel benötigen, um die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten, verändert sich hauptsächlich mit der Güte der Isolation durch das Gefieder und mit den Aussenbedingungen. Je grösser der Temperaturunterschied zur kühlen Umgebung und je höher die Windgeschwindigkeit ist, desto höher ist der Energieverlust pro Zeiteinheit. Umgekehrt kann solare Einstrahlung einen erheblichen Gewinn an Wärmeleistung bewirken. Für den Steinkauz, eine Eulenart mit Verbreitungsschwerpunkt in warm-trockenen Zonen könnte der erhöhte Thermoregulationsaufwand im Winter bei gleichzeitig verringertem Nahrungsangebot ein Faktor sein, der die winterlichen Überlebensraten beeinflusst. Wie stark die Vögel ihre Energiebilanz durch das Aufsuchen geeigneter Aufenthaltsorte beeinflussen können, ist noch weitgehend unbekannt.

Wir schätzten die Energieverluste von Steinkäuzen durch Konvektion, Wärmeleitung und Abstrahlung mit einem heizbaren Präparat direkt im Feld an verschiedenen realitätsnahen Standorten. Im Lauf der Jahreszeiten veränderte sich der thermoregulative Energieaufwand stark. Verglichen mit Oktober und März war er in Dezember und Januar rund ein Fünftel höher. Die Messungen in verschiedenen Tageseinständen wie Baumhöhlen, Holzstapeln oder Baumkronen ergaben, dass in Dezember und Januar der Energieverlust bei Aufenthalt in Baumhöhlen 9-13% geringer ist als an ungeschützten Standorten. Da Ruhe in Tageseinständen einen großen Teil des Tagesablaufs einnimmt, können Steinkäuze ihren thermoregulativen Energieaufwand mit ihrer Standortwahl stark beeinflussen und die Wirkung der saisonalen Schwankung der Temperatur dämpfen. Die Verfügbarkeit geeigneter Ruheplätze im Lebensraum ist deshalb ein wichtiger Faktor in der Winterökologie des Steinkauzes. Es sind dies Baumhöhlen mit optimalem Schutz gegen Wind und Niederschlag. Baumhöhlen hatten die beste Pufferwirkung gegen kurzzeitige Temperaturstürze und boten in diesen Situationen geradezu gemütliche Unterkunft.

6 Literatur

- Altwegg, R., Roulin, A., Kestenholz, M., & Jenni, L. (2006). Demographic effects of extreme winter weather in the barn owl. *Oecologia*, 149(1), 44–51. doi:10.1007/s00442-006-0430-3
- Aschoff, J., & Pohl, H. (1970). Der ruheumsatz von Vögeln als Funktion der Tageszeit und der Körpergröße. *Journal für Ornithologie*, 111(1), 38–47. doi:10.1007/BF01668180
- Bakken, G. S., Erskine, D. J., & Santee, W. R. (1983). Construction and Operation of Heated Taxidermic Mounts Used to Measure Standard Operative Temperature. *Ecology*, 64(6), 1658–1662. doi:10.2307/1937520
- Bezzel, E., & Prinzinger, R. (1990). *Ornithologie* (2., völlig Neubearb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Ulmer.
- Bock, A., Naef-Daenzer, B., Keil, H., Korner-Nievergelt, F., Perrig, M., & Gruebler, M. U. (2013). Roost site selection by Little Owls *Athene noctua* in relation to environmental conditions and life-history stages. *Ibis*, 155(4), 847–856. doi:10.1111/ibi.12081
- Ceska, V. (1980). Untersuchungen zu Nahrungsverbrauch, Nahrungsnutzung und Energiehaushalt bei Eulen. *Journal für Ornithologie*, 121(2), 186–199. doi:10.1007/BF01642932
- Coombs, A. B., Bowman, J., & Garroway, C. J. (2010). Thermal Properties of Tree Cavities During Winter in a Northern Hardwood Forest. *The Journal of Wildlife Management*, 74(8), 1875–1881. doi:10.2193/2009-560
- Cooper, S. J. (1999). The Thermal and Energetic Significance of Cavity Roosting in Mountain Chickadees and Juniper Titmice. *The Condor*, 101(4), 863–866.
- Exo, K.-M. (1988). Jahreszeitliche ökologische Anpassungen des Steinkauzes (*Athene noctua*).

- tua). *Journal für Ornithologie*, 129(4), 393–415. doi:10.1007/BF01644484
- Finck, P. (1990). Seasonal variation of territory size with the Little Owl (*Athene noctua*). *Oecologia*, 83(1), 68–75. doi:10.1007/BF00324636
- Gatehouse, S. N., & Markham, B. J. (1970). Respiratory Metabolism of Three Species of Raptors. *The Auk*, 87(4), 738–741. doi:10.2307/4083707
- Gouar, P. J. L., Schekkerman, H., Jeugd, H. P. van der, Boele, A., Harxen, R. van, Fuchs, P., ... Noordwijk, A. J. van. (2011). Long-term trends in survival of a declining population: the case of the little owl (*Athene noctua*) in the Netherlands. *Oecologia*, 166(2), 369–379. doi:10.1007/s00442-010-1868-x
- Grüebler, M. U., Widmer, S., Korner-Nievergelt, F., & Naef-Daenzer, B. (2013). Temperature characteristics of winter roost-sites for birds and mammals: tree cavities and anthropogenic alternatives. *International Journal of Biometeorology*, 1–9. doi:10.1007/s00484-013-0643-1
- Herreid II, C. F., & Kessel, B. (1967). Thermal conductance in birds and mammals. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 21(2), 405–414. doi:10.1016/0010-406X(67)90802-X
- Hohtola, E., Pyörnilä, A., & Rintamäki, H. (1994). Fasting endurance and cold resistance without hypothermia in a small predatory bird: the metabolic strategy of Tengmalm's owl, *Aegolius funereus*. *Journal of Comparative Physiology B*, 164(6), 430–437. doi:10.1007/BF00714579
- Houston, A. I., & McNamara, J. M. (1993). A Theoretical Investigation of the Fat Reserves and Mortality Levels of Small Birds in Winter. *Ornis Scandinavica*, 24(3), 205. doi:10.2307/3676736
- Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume - LEL (Hrsg.; 2008): Natürliche Grundlagen: Dienstbezirksbeschreibung Ludwigsburg. Online unter <http://ludwigsburg.landwirtschaftsverwaltung-bw.de/pb/site/lel/get/>

- documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/pdf/n/Nat%C3%BCrliche20Grundlagen_Ludwigsburg_2008.pdf [13.06.2013]
- Lasiewski, R. C., & Dawson, W. R. (1967). A Re-Examination of the Relation between Standard Metabolic Rate and Body Weight in Birds. *The Condor*, 69(1), 13–23.
doi:10.2307/1366368
- Ligon, J. D. (1969). Some Aspects of Temperature Relations in Small Owls. *The Auk*, 86(3), 458–472. doi:10.2307/4083408
- McCafferty, D. J., Moncrieff, J. B., & Taylor, I. R. (1997). The effect of wind speed and wetting on thermal resistance of the barn owl (*Tyto alba*). I: Total heat loss, boundary layer and total resistance. *Journal of Thermal Biology*, 22(4–5), 253–264.
doi:10.1016/S0306-4565(97)00020-X
- McCafferty, D. J., Moncrieff, J. B., & Taylor, I. R. (2001). How much energy do barn owls (*Tyto alba*) save by roosting? *Journal of Thermal Biology*, 26(3), 193–203.
doi:10.1016/S0306-4565(00)00042-5
- McNab, B. K. (2009). Ecological factors affect the level and scaling of avian BMR. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 152(1), 22–45. doi:10.1016/j.cbpa.2008.08.021
- Mebs, T., & Scherzinger, W. (2000). *Die Eulen Europas: Biologie, Kennzeichen, Bestände*. Kosmos.
- Nieuwenhuys, D. V., Génot, J.-C., & Johnson, D. H. (2011). *The Little Owl: Conservation, Ecology and Behavior of Athene Noctua*. Cambridge University Press.
- Paclik, M., & Weidinger, K. (2007). Microclimate of tree cavities during winter nights - implications for roost site selection in birds. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 287–293.
- Schönn, S., Scherzinger, W., Exo, K.-M., & Ille, R. (1991). *Der Steinkauz* (1. Auflage.). Wittenberg Lutherstadt: Ziemsen.

- Thorup, K., Pedersen, D., Sunde, P., Jacobsen, L. B., & Rahbek, C. (2013). Seasonal survival rates and causes of mortality of Little Owls in Denmark. *Journal of Ornithology*, 154(1), 183–190. doi:10.1007/s10336-012-0885-4
- Thouzeau, C., Duchamp, Claude, & Handrich, Y. (1999). Energy Metabolism and Body Temperature of Barn Owls Fasting in the Cold. *Physiological and Biochemical Zoology*, 72(2), 170–178. doi:10.1086/316659
- Veľký, M., Kaňuch, P., & Krištín, A. (2010). Selection of winter roosts in the Great Tit *Parus major*: influence of microclimate. *Journal of Ornithology*, 151(1), 147–153. doi:10.1007/s10336-009-0436-9
- Walsberg, G. E. (1986). Thermal consequences of roost-site selection: the relative importance of three modes of heat conservation. *The Auk*, 103(1), 1–7.
- Wiersma, P., & Piersma, T. (1994). Effects of Microhabitat, Flocking, Climate and Migratory Goal on Energy Expenditure in the Annual Cycle of Red Knots. *The Condor*, 96(2), 257–279. doi:10.2307/1369313
- Wijnandts, H. (1984). Ecological energetics of the Long-eared Owl (*Asio otus*). *Ardea*, 72(1), 1–92.
- Wolf, B. O., & Walsberg, G. E. (1996). Thermal Effects of Radiation and Wind on a Small Bird and Implications for Microsite Selection. *Ecology*, 77(7), 2228–2236. doi:10.2307/2265716
- Keil, H. Projektleiter FOG – Forschungsgemeinschaft zur Erhaltung einheimischer Eulen e.V.: persönliche Mitteilungen im Dezember 2012.