

Zur Entwicklung temperierbarer Großraumhöhlen als Starkfrost-Ersatzhabitate für Fledermäuse

Von BODO STRATMANN, Naumburg

Mit 4 Abbildungen

1 Vorbetrachtungen

ALTUM (1872) schrieb vor mehr als 130 Jahren zur Überwinterungsstrategie der Fledermäuse: „Nach besonders passenden Winterquartieren ziehen sich die Individuen eines großen Umkreises zusammen, machen dazu wohl kleine oder größere Wanderungen, begeben sich von den Wäldern, in denen ihnen hohle Bäume fehlen, zu entfernten Städten (*noctula*), steigen aus den Gebirgen in die Täler (*discolor*); der anderweitig gemachte Vorschlag, für sie den Vogelnistkästen ähnliche Vorrichtungen im Walde anzubringen, zeugt von sehr mangelhafter Kenntnis ihres Lebens; höchstens wird sich das ein oder andere im Sommer umherstreifende männliche Individuum dergleichen Konstruktion zu einem Tagesverstecke wählen.“

Zum gleichen Themenkomplex unter Berücksichtigung des Fledermausschutzes äußerte sich EISENTRAUT (1937) dahingehend: „Ein praktischer Fledermausschutz wird sich stets in zwei Richtungen bewegen und zwei Aufgaben zu erfüllen haben. Die eine besteht in einem Schutz der Fledermäuse selbst. Weit wichtiger aber ist der zweite Punkt: Erhaltung und Schaffung der notwendigen Lebensbedingungen. Wie schon erwähnt, bezieht sich dies in erster Linie auf die Quartiere, insbesondere auf die Winterquartiere.“

Daß hinsichtlich der Winterhege auch 20 Jahre später noch keine verwertbaren Erkenntnisse vorlagen, reflektierten die Schlußfolgerungen von KRZANOWSKI (1959): „Wenn sogar

in der Zukunft Winterkästen für die Fledermäuse hergestellt werden sollen, so werden diese Tiere eine gewisse Zuflucht vor strengen Frösten finden können, nicht aber vor allzu langen Wintern.“

Kurz danach schrieb WEINZIERL (1961): „Ungelöst aber ist im Fledermausschutz heute noch die Frage der Beschaffenheit brauchbarer Überwinterungsquartiere für Waldfledermäuse.“ Im gleichen Beitrag wird erstmals über den Einsatz von wärmeisolierten Fledermaus-Versuchskästen (Abb. 1 oben) als Beispiel für eine Fledermausansiedlung im Vogelschutzgebiet Buschletten bei Ingolstadt informiert. Im Rahmen meiner Recherchen im Jahre 2003 daraufhin angesprochen, teilte er mir telefonisch mit, daß diesem Versuch kein Erfolg beschieden war und es deshalb auch keine publizierte Auswertung gegeben hat.

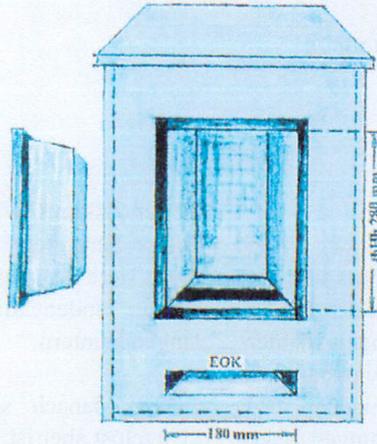
30 Jahre später stellte A. NAGEL* einen von ihm entwickelten „Fledermaus-Winterkasten“ aus Holzbeton vor (Abb. 1 Mitte rechts), über dessen Einsatz und Überwinterungsergebnisse m. W. bisher keine Veröffentlichungen vorliegen. Die Parameter dieses Winterschlafkastens deuten allerdings darauf hin, daß sowohl konstruktionsseitig als auch thermophysikalisch noch Defizite vorlagen.

Bereits ein Jahr später (1991) wird von der Fa. Schwegler eine weitere „Fledermaus-Winterschlafhöhle“ (Abb. 1 Mitte links) aus Holzbeton auf den Markt gebracht, für die ich ähnliche Defizite vermutete. Obwohl bereits mehrfach Vermutungen über die Ursachen von

* Vgl. Reklame der Fa. G. Strobel auf der Rückseite der Fledermaus-Fachzeitschrift *Myotis* Bd. 28 (1990).

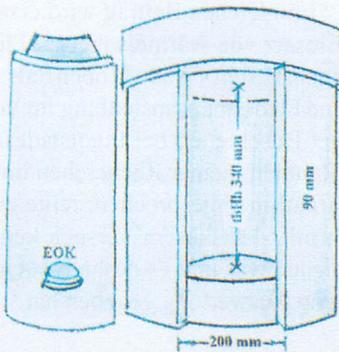
Erste Versuche zur Schaffung von Überwinterungshabitaten für baumbewohnende Fledermäuse

A. Thermoisolierter Fledermauskasten
nach H. Weinzierl (1961)



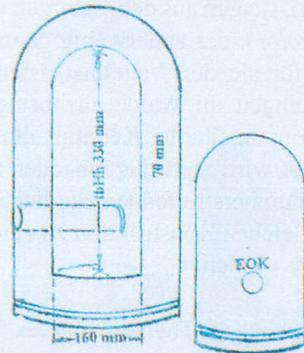
- Kältehabitat -

B. Großraum-Winterschlafhöhle I FW
nach Schwegler (1991)



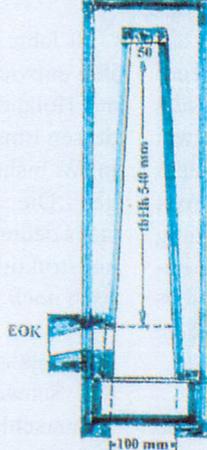
- Kältehabitat -

C. Fledermaus-Winterschlafkasten
nach Dr. A. Nagel (1990)



- Kältehabitat -

- Leichtfrosthabitat -



D. Überwinterungs-Kastenquartier
nach M. Sieweke (1998)

thHh - thermophysikalisch bedeutsame
Habitatraumhöhe
thWs - thermophysikalisch bedeutsame
Wandungsstärke

Entwurf: B. Stratmann 2000

Abb. 1. Zwischen 1961 und 1991 entwickelte Fledermaus-„Winterschlafhöhlen“. Zeichnung: B. STRATMANN

Mittwinterverlusten geäußert wurden, war die offizielle Anfrage von HARRJE (1998), in der er darlegte: „Leider ist es in den letzten Jahren verschiedentlich dazu gekommen, daß dabei größere Mengen an Fledermausleichen gefunden wurden“, eine Bestätigung dafür, daß es offenkundig sowohl konstruktionsseitig als auch thermophysikalisch erhebliche Defizite gegeben hat. Diese Verluste hätten sich, ohne Fledermäuse aufs Spiel setzen zu müssen, im Rahmen von thermophysikalischen Voruntersuchungen erkennen und vermeiden lassen.

Einen weiteren kommerziell entwickelten „Fledermaus-Winterschlafkasten“ aus Holzbeton brachte die Fa. Strobel 1997 auf den Markt, über dessen feldbiologische Eignung nach den Worten des Herstellers bisher noch keine Erfahrungen vorliegen. Aber auch hier deutet schon allein der Hinweis auf „eine zusätzliche Kontrollklappe oben“ auf ein für mein Dafürhalten konstruktionsseitiges Defizit hin, welches sich thermophysikalisch negativ auswirkt. Voruntersuchungen, die dies hätten beheben können, hat es offenkundig auch in diesem Fall nicht gegeben.

Ein auf den ersten Eindruck hin als recht gelungen anzusehendes „Winterersatzhabitat“ stellte SIEWECKE (1998) vor (Abb. 1 unten). Hinsichtlich des Wartungsaufwandes halte ich den Einschub für die anfallenden Defäkate für einen konstruktionsseitigen Nachteil. Auch wenn der Autor von einer gelungenen Überwinterung von Abendseglern (*Nyctalus noctula*) berichtet, vermissem ich, um Schlußfolgerungen auf die thermische Qualität ziehen zu können, den Hinweis auf die innerhalb des Untersuchungszeitraums herrschende Frosthärte und -dauer. Umso mehr verwundert es, daß der Autor zur Schlußfolgerung kommt: „Eine Naturhöhle kann man nicht durch ein künstliches Quartier ersetzen.“ Hätte er dies im Ergebnis von im Vorfeld vorgenommenen Untersuchungen zur Temperierbarkeit und zu den Temperierbarkeitsgrenzen postuliert, wäre dem nichts hinzuzufügen. So aber muß man davon ausgehen, daß es solche Untersuchungen auch hier nicht gegeben hat.

Als konstruktionsseitige wie auch thermophysikalische Defizite sehe ich bei den genannten Holzbetonhöhlen die zu geringe Habitatraumhöhe, die teils unzureichende Habitatwandstärke, die Kontrollöffnungen an der Vorderseite bzw. oben und das fehlende Selbstreinigungsprinzip an. Es liegt mir fern, diese Entwicklungen nur kritisch zu beurteilen, ohne die Bemühungen derjenigen zu würdigen, die sich an dieses Neuland heranwagten. Das schließt aber nicht aus, auf erkannte Unzulänglichkeiten hinzuweisen, die das Überleben der in diesen Ersatzhabitaten überwinternden Fledermäuse bei der durchschnittlich zu erwartenden Frosthärte in Frage stellen.

Ob ein Überwinterungshabitat, in dem das weitgehend gefahrlose Überwintern unter unseren klimatischen Bedingungen auch bei strengem Frost von -10°C über eine gewisse Zeit gewährleistet sein muß, von den Fledermäusen überhaupt noch temperierbar ist, muß unbedingt vorab geprüft werden. Es darf und kann nicht sein, daß ein solcher Ersatzhabitat nach dem Versuch-Irrtum-Prinzip eingesetzt wird und die fehlenden Erkenntnisse erst nach einem strengen Winter gesammelt werden, wenn ein großer Teil der Tiere vernäßt, durchnäßt, erfroren oder erstickt vorgefunden wurde.

Wer aus kommerziellen Motiven ungeprüfte Überwinterungshabitate auf den Markt bringt, handelt nach meiner Überzeugung nicht nur verantwortungslos, er verstößt auch vorsätzlich gegen alle zum Schutz der Fledermäuse erlassenen gesetzlichen Bestimmungen. Da der Gesetzgeber diese thermophysikalischen Vorprüfungen bisher nicht vorschreibt, entscheidet derzeit einzig und allein die Verantwortung des in der Praxis tätigen Artenschützers, ob er einen ungetesteten Winterschlafkasten einsetzt oder nicht.

Auch auf die Gefahr hin, daß mir diese Offenheit verübelt wird, halte ich es für geboten, auf die Fragen der Verantwortlichkeit ausdrücklich hinzuweisen. Wenn dies dazu führt, daß von den Herstellern künftig keine thermo-

physikalisch ungeprüften Überwinterungshabitats mehr vermarktet bzw. von den Artenschützern unbedacht eingesetzt werden, dann ist der eine Zweck meines Beitrages erfüllt. Der andere besteht darin, neue, nachvollziehbare Lösungen aufzuzeigen. Deshalb publiziere ich nachfolgend die Ergebnisse meiner mehrjährigen Untersuchungen.

2 Untersuchungsziele

Zu finden war eine konstruktionsseitige wie thermophysikalische Lösung für die Herstellung von Überwinterungsersatzhabitats, die unter unseren klimatischen Bedingungen zumindest bis zur durchschnittlichen Starkfrosthärte von -10°C mittels der gespeicherten Energiereserven über eine ganze Frostperiode energieeffizient zu temperieren sind. Das schließt ein, daß sich die Fledermäuse anschließend noch mit einer so ausreichenden Energiereserve reaktivieren können, daß sie über eine zeitlich begrenzte Schlechtwetterperiode energieseitig noch abgesichert sind.

Das setzt voraus, daß die Habitatraumparameter ein optimiertes Körper-Raum-Verhältnis aufweisen, die geschützte Habitatraumhöhe die volle Ausdifferenzierung der vertikalen thermischen Konvektion ermöglicht, das temperierbare Hangplatzpotential energieseitig abgedeckt ist und das Selbstreinigungsprinzip des Kastentyps FS1 gewährleistet bleibt.

3 Recherchen

Weil für die ursprünglich baumbewohnenden Fledermäuse der kalt-, kühl- und warmgemäßigten Klimazone die natürliche Ausstattung mit Habitatbäumen die Voraussetzung für ihre Integrationsmöglichkeit ist, ist nicht nachvollziehbar, warum über die thermophysikalischen Eigenschaften der Habitatbäume und die thermodynamischen Vorgänge in den Habitaträumen bis heute auf keine einschlägigen Untersuchungsergebnisse zurückgegriffen werden kann. Vor Beginn meiner Untersuchungen habe ich recherchiert, was hinsichtlich der angestrebten Zielstellung berücksichtigt werden mußte.

3.1 Erkenntnisse zum Zeitpunkt und zum Umfang der Energiespeicherung

Beobachtungen von SMALLEY & DRYER (1967) zufolge beginnen die insektivoren Fledermäuse erst Ende September/Anfang Oktober mit der Energiespeicherung, die spätestens in der 2. Novemberhälfte eingestellt wird. GEBHARD (1997) meint, daß die von ihm beobachteten Abendsegler in der Mehrzahl bereits in der 2. Oktoberhälfte ihr Überwinterungsgewicht erreichen und in der Folgezeit, trotz weiterer Flugaktivitäten und eines vorhandenen Angebots, keine weitere Nahrung mehr aufnehmen. Im Darm hibernierender Fledermäuse findet sich später bekanntlich nur noch ein gelber Schleim.

RULOT (zit. n. SUOMALAINEN 1944) ermittelte zu Beginn des Winterschlafs eine Speicherfettreserve von 19,4 %, die bis zum Ende der Winterschlafperiode bis auf 5,2 % aufgebraucht war. MANN (1936) stellte bei den von ihm untersuchten Mausohren (*Myotis myotis*) geschlechtsdifferenziert eine Speicherfettreserve von 18,85 % bei den Weibchen und von 20,72 % bei den Männchen fest. HOOPER & HOOPER (1956) beziffern die Speicherfettreserven für die Kleinhufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*) auf 21,7 %. BECK (zit. n. HOOPER & HOOPER 1956) ermittelte bei den Männchen der Großhufeisennasen (*Rhinolophus ferrumequinum*) 23 %, bei den Weibchen 28 % an Fettreserven. KRZANOWSKI (1961) nennt Fettreserven von 21-34 %, hält aber auch 40 % bei Fledermäusen für möglich. Auch SMALLEY & DRYER (1967) verweisen auf 25 %, halten es aber durchaus für möglich, daß die Speicherfettreserven insektivorer Fledermäuse bis zu 33 % betragen können. [Achtung: Bei allen zitierten Angaben handelt es sich um Mittelwerte.]

Weil das Nahrungsangebot zur Zeit der Energiespeicherung Schwankungen unterliegen kann, würden sich diese, sofern sie nicht durch eine längere Nahrungsaufnahme kompensiert werden können, zweifellos in der Speicherfettmenge niederschlagen. Da diese

aber die Grundlage für die Errechnung des Energiepotentials, Energieverbrauchs und der Energiereserve ist, bedarf es einer Ermittlung der Körpermasse zu Beginn und am Ende der Winterschlafperiode.

3.2 Erkenntnisse zum Zeitfenster für den saisonalen Habitatwechsel

EISENTRAUT (1934a, b) verwies darauf, daß wir über den Verlauf des Winterschlafs der einzelnen Arten in der freien Natur nur sehr wenig wissen, was auf die in Bäumen überwinternden Arten ganz besonders zutrifft. LÖHRL (1937) berichtete, daß der früheste saisonale Habitatwechsel des Abendseglers in das Sommerhabitat in der 1. Märzdekade zu beobachten war. GEBHARD (1997) nennt als Zeitpunkt für den Beginn des Habitatwechsels im Herbst bei den in der Station „Hofmatt“ beobachteten Abendseglern die ersten warmen Abende nach den ersten Nachtfrosten. Korrelierend mit dem Jahresgang der Temperatur kann dieser sich bis in die 2. Novemberdekade hinziehen.

3.3 Zur Bedeutung der chemischen Thermogenese

KAYSER (zit. n. EISENTRAUT 1956) stellte fest, daß oberhalb einer Körpertemperatur von 0°C unter Laborbedingungen noch keine chemische Thermogenese zu beobachten ist. Die geringste Wärmeproduktion stellte er bei Körpertemperaturen von 4-5°C fest. HOCK (1951) beobachtete hingegen, daß die geringste Wärmeproduktion bei einer Körpertemperatur von 2°C einsetzt und sich nahe dem Gefrierpunkt vervierfacht.

SMALLEY & DRYER (1967) ermittelten, daß die partielle Erwärmung zu Beginn der chemischen Thermogenese im Braunen Fettgewebe zwischen den Schulterblättern beginnt und daß dieser Bereich anfangs gegenüber allen anderen Körperpartien eine Aufwärmung um 3°C erkennen läßt. Bei gleichzeitigem Anstieg des Blutstroms um das Zwölfwache steigt die Erwärmung bis auf 15°C an und setzt sich über die Hals-, Brust- und Zwerchfelllappen

des Braunen Fettgewebes bis in die unbehaarten Ohren und Flughäute fort. Die beiden Autoren vertreten die Ansicht, daß rund 50 % der Aufwärmung allein über die chemische Thermogenese möglich ist.

BICKEL & RADEMACHER (1994) beobachteten, daß die chemische Thermogenese mit einem Temperaturanstieg von 0,5-1,5°C/min einsetzt und der Aufwachprozeß mehr als eine Stunde in Anspruch nimmt. KULZER (1981) meint, daß sich dieser langsame Anstieg der Körpertemperatur in der ersten Phase der chemischen Thermogenese bis auf 20°C fortsetzt, sich darüber hinaus rasch beschleunigt, bis die Wachttemperatur erreicht ist.

3.4 Erkenntnisse über Winterschlafdauer und Winterschlafunterbrechungen

KULZER (1981) beobachtete, daß die Schlafzeiten, die mit der Körpertemperatur korrelieren, umso länger werden, je tiefer die Körpertemperatur absinkt und je kälter das Winterquartier wird. Das würde erklären, warum überwinternde Fledermäuse zu Beginn und am Ende der Winterschlafperiode auch viel häufiger aufwachen. GEBHARD (1997) berichtete, daß eine Fledermaus unter Laborbedingungen bis zu 200 Tage ohne Unterbrechung schlief. In der Natur sollen hingegen maximal nur 80 Tage beobachtet worden sein. BICKEL & RADEMACHER (1994) stellten unter Laborbedingungen Schlafrythmen von 30-80 Tagen fest.

SUOMALAINEN (zit. n. EISENTRAUT 1956) verweist darauf, daß der Winterschläfer stets bei einer Temperatur erwacht, die oberhalb der kritischen Stufe liegt. EISENTRAUT (1956) macht äußere und innere Reizauslöser dafür verantwortlich. Bezüglich der äußeren Reizauslöser weist er auf die Vermutung von LINDEMANN (1952) hin, der den Luftdruck als Reizauslöser in Erwägung zieht. Als Beispiel für einen inneren Reizauslöser verweist er auf die Mutmaßung von SCHUA & SCHNORRENBERG (1954), die dafür den Miktionsdrang ansehen.

Eine interessante Mittwinterbeobachtung, deren thermophysikalische Bedeutung bisher zu einseitig, wenn nicht gar falsch interpretiert worden ist, verdanken wir GEBHARD (1988). Er beschreibt sie mit den Worten: „Immer wieder wachen einzelne Tiere (gemeint sind Abendsegler, d. A.) auf, wechseln ihre Position im Cluster und schlafen wieder ein. Mitunter werden dabei auch andere Tiere aufgeweckt oder gar alle, was eine Erwärmung der Raumtemperatur zur Folge hat; und es dauert dann längere Zeit bis wieder Ruhe einkehrt.“

3.5 Erkenntnisse zum Energieumsatz während des Winterschlafs

Nach EISENTRAUT (1956) verändert sich der Glykogengehalt des Blutes während des Winterschlafs nicht, steigt aber mit dem Aufwachprozeß permanent an. Zur gleichen Erkenntnis kam KAYSER (zit. n. EISENTRAUT 1956) bezüglich der Blutfettwerte. Beide Autoren verbindet die Schlußfolgerung, daß das auch ein Beweis dafür sei, daß der Energieverbrauch zu über 90 % aus dem Braunen Fettgewebe gedeckt wird. KULZER (1981) ermittelte, daß der Winterstoffwechsel zur Wärmeproduktion durchschnittlich einem 75stel des Wachstoffwechsels entspricht.

3.6 Zu den Masse- und Energiepotentialen

Da die Speicherung der Energiepotentiale in einem bestimmten prozentualen Verhältnis zur Körpermasse erfolgt, bedurfte es zuerst der Ermittlung eines realistischen Mittelwertes für die Körpermasse der heimischen Fledermäuse, der für alle weiteren thermophysikalischen Berechnungen als Bezugswert verwendet werden konnte. Grundlage dafür waren die Masseangaben von HACKETHAL (1972), SCHÖBER & GRIMMBERGER (1998) sowie RICHARZ & LIMBRUNNER (1992).

Aus der mittleren Masse der Arten waren die von MANN (1936) geschlechtsspezifisch beim Mausohr ermittelten prozentualen Anteile an Speicherfettreserven herauszurechnen, die er für die ♂♂ mit 18,85 %, für die ♀♀

mit 20,73 % ermittelt hatte. Diese Masseanteile waren mit dem Brennwert des Fettes (1 Mol = 39.774,6 Joule) zu multiplizieren, um die durchschnittlichen Energiepotentiale der Individuen zu erhalten, die in Tab. 1 ausgewiesen sind.

3.7 Zur Berechnung des Tagesenergiesatzes (TES) und Tagesenergieverbrauchs (TEV)

Aus der mir zur Verfügung stehenden Literatur konnte ich lediglich fünf Anhaltspunkte für den Energieverbrauch entnehmen, die es ermöglichen, die ausgewiesenen Werte sowohl in Tagesenergiesätzen (TES) als auch in Tagesenergieverbrauchswerte (TEV) umzurechnen, weil sich diese Werte entweder auf die Körpermasse, auf den Speicherfettanteil, den Energieverbrauch oder den Fettsäureverbrauch bezogen.

MANN (1936) ermittelte den täglichen Energieverbrauch der ♂♂ vom Mausohr mit 0,153 %, den der ♀♀ mit 0,125 % des E.-Pot. Diese Werte dem von ihm ermittelten prozentualen Energiepotentialanteil zugrunde legend, ergibt das folgende TES-Berechnungen:

Berechnungsformel:

$$\text{E.-Pot. \% TEV} = \text{J/TEV}$$

$$\text{E.-Pot. : J/TV} = \text{TES}$$

$$\text{♂♂ : } 239.822 - 0,153 \% = 366,92 \text{ J/TEV}$$

$$239.822 : 366,92 = 653,61 \text{ TES}$$

$$\text{♀♀ : } 266.569 - 0,125 \% = 333,21 \text{ J/TEV}$$

$$266.569 : 333,21 = 800,00 \text{ TES}$$

HARI (1909) ermittelte geschlechtsunspezifisch den täglichen Energieverbrauch mit 0,08 % des Körpergewichts. Da dieser Energieverbrauch zu mehr als 99 % vom Speicherfett gedeckt wird, war es möglich, diesen Masseverbrauch dem Energieverbrauch gleichzusetzen. Bezogen auf die geschlechtsdifferenziert ermittelten Energiepotentiale von MANN (1936) würde das folgende TES-Berechnungen ergeben:

Berechnungsformel:

$$(\text{Masse} - 0,08 \%) \times \text{Brennwert} = \text{J/TEV}$$

$$(32,33 - 0,08 \%) \times 39.774,6 = 1.028,73 \text{ J/TEV}$$

$$\text{E.-Pot. : TEV} = \text{TES}$$

$$\text{♂♂ : } 239.822 : 1028,60 = \text{TES}$$

$$\text{♀♀ : } 266.569 : 1028,60 = 259 \text{ TES}$$

Tabelle 1. Mittlere Massewerte, Speicherfettanteile und Energiepotentiale einheimischer Fledermäuse aus der Familie der *Vespertilionidae*

Artname	mittl. Masse	Speicherfett	Energiepotentiale
<i>Myotis myotis</i>	32,33 Gramm	♂ 6,029 Gramm / ♀ 6,702 Gramm	♂ 239 801 Joule / ♀ 266 569 Joule
<i>Myotis dasycneme</i>	13,76 Gramm	♂ 2,566 Gramm / ♀ 2,852 Gramm	♂ 102 061 Joule / ♀ 113 437 Joule
<i>Myotis daubentonii</i>	9,73 Gramm	♂ 1,814 Gramm / ♀ 2,017 Gramm	♂ 72 151 Joule / ♀ 80 225 Joule
<i>Myotis emarginatus</i>	10,17 Gramm	♂ 1,896 Gramm / ♀ 2,108 Gramm	♂ 75 413 Joule / ♀ 83 845 Joule
<i>Myotis bechsteinii</i>	9,77 Gramm	♂ 1,822 Gramm / ♀ 2,025 Gramm	♂ 72 469 Joule / ♀ 80 544 Joule
<i>Myotis nattereri</i>	7,93 Gramm	♂ 1,478 Gramm / ♀ 1,643 Gramm	♂ 58 787 Joule / ♀ 65 350 Joule
<i>Myotis brandtii</i>	6,90 Gramm	♂ 1,286 Gramm / ♀ 1,430 Gramm	♂ 51 150 Joule / ♀ 56 878 Joule
<i>Myotis mystacinus</i>	6,40 Gramm	♂ 1,193 Gramm / ♀ 1,326 Gramm	♂ 47 451 Joule / ♀ 52 741 Joule
<i>Nyctalus noctula</i>	29,00 Gramm	♂ 5,408 Gramm / ♀ 6,011 Gramm	♂ 215 101 Joule / ♀ 239 085 Joule
<i>Nyctalus leisleri</i>	16,73 Gramm	♂ 3,120 Gramm / ♀ 3,468 Gramm	♂ 124 097 Joule / ♀ 137 938 Joule
<i>Eptesicus serotinus</i>	23,10 Gramm	♂ 4,308 Gramm / ♀ 4,788 Gramm	♂ 171 349 Joule / ♀ 190 441 Joule
<i>Eptesicus nilssonii</i>	11,40 Gramm	♂ 2,126 Gramm / ♀ 2,363 Gramm	♂ 84 561 Joule / ♀ 93 987 Joule
<i>Vespertilio murinus</i>	15,28 Gramm	♂ 2,849 Gramm / ♀ 3,167 Gramm	♂ 113 318 Joule / ♀ 125 966 Joule
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	5,98 Gramm	♂ 1,116 Gramm / ♀ 1,239 Gramm	♂ 44 388 Joule / ♀ 49 281 Joule
<i>Pipistrellus nathusii</i>	9,62 Gramm	♂ 1,794 Gramm / ♀ 1,994 Gramm	♂ 71 356 Joule / ♀ 79 311 Joule
<i>Plecotus auritus</i>	7,88 Gramm	♂ 1,469 Gramm / ♀ 1,633 Gramm	♂ 58 429 Joule / ♀ 64 952 Joule
<i>Plecotus austriacus</i>	9,80 Gramm	♂ 1,827 Gramm / ♀ 2,031 Gramm	♂ 72 668 Joule / ♀ 80 782 Joule
<i>Barbastella barbastellus</i>	9,05 Gramm	♂ 1,687 Gramm / ♀ 1,876 Gramm	♂ 67 100 Joule / ♀ 74 617 Joule
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	57,50 Gramm	♂ 10,723 Gramm / ♀ 11,919 Gramm	♂ 426 503 Joule / ♀ 474 073 Joule

REACH (1910) ermittelte einen täglichen Fettsäureverbrauch von 0,014827 g/l g Masse. Da der energetische Wirkungsgrad der Fettsäure gegenüber dem Fett nur etwa 40 % beträgt, waren 60 % vom errechneten TEV abzuziehen. Bezogen auf die geschlechtsdifferenziert ermittelten Energiepotentiale nach MANN (1936) würde das folgende TES-Berechnungen ergeben:

Berechnungsformel:

Masse x Fettsäureverbrauch x Brennwert = J/TEV

$$32,33 \times 0,014827 \times 15.909,84 = 24.828,40$$

$$\text{♂♂: } 239.822 : 24.828,40 = 9,66 \text{ TES}$$

$$\text{♀♀: } 266.569 : 24.828,40 = 10,74 \text{ TES}$$

RULOT (zit. n. SOUMALAINEN 1944) errechnete einen täglichen Energieverbrauch von 0,087 % des Energiepotentials. Bezogen auf die geschlechtsdifferenziert ermittelten Energiepotentiale nach MANN (1936) würde das folgende TES-Berechnungen ergeben:

Berechnungsformel:

E.-Pot. - 0,087 % = J/TEV E.-Pot.: TEV = TESe

$$\text{♂♂: } 239.822 - 0,087 \% = 208,64 \text{ J/TEV}$$

$$239.822 : 208,64 = 1.149 \text{ TESe}$$

$$\text{♀♀: } 266.569 - 0,087 \% = 231,91 \text{ J/TEV}$$

$$266.569 : 231,91 = 1.149 \text{ TESe}$$

KAYSER (zit. n. EISENTRAUT 1956) ermittelte für die minimalste Wärmeproduktion einen Energieverbrauch von 0,094 cal/kg/h. Bezogen auf die von MANN (1936) geschlechtsspezifisch ermittelten Energiepotentiale würde dies folgende TES-Berechnungen ergeben:

Berechnungsformel:

cal/EVh : Gramm x h/Tag x J-Brennwert x Masse = J/TEV

$$0,094 : 1000 \times 24 \times 4,1848 \times 32,33 = 0,3052242 \text{ J/TEV}$$

E.-Pot. : TEV = TES

$$\text{♂♂: } 239.822 : 0,3053697 = 785.349 \text{ TES}$$

$$\text{♀♀: } 266.569 : 0,3053697 = 872.938 \text{ TES}$$

Auch wenn KAYSER (zit. n. EISENTRAUT 1956) von einem Energieverbrauch für die geringste Wärmeproduktion ausgeht, würden sich gegenüber den bisher ermittelten TES gravierende Abweichungen ergeben, die mir so nicht zu stimmen scheinen. Ich habe deshalb einen Druckfehler in Betracht gezogen, der sich bei der Ausweisung des TEV eingeschlichen haben könnte: statt cal/kg/h dürfte es ursprünglich womöglich cal/g/h geheißen haben. Das Ergebnis dieser Berechnung würde danach einen TEV von 305,37 J/h ergeben. Im Verhältnis zu den von MANN (1936) geschlechtsspezifisch ermittelten Energiepotentials würden sich dann für die ♂♂ 785,35 TESe und für die ♀♀ 872,94 TESe ergeben, was mit den bisherigen TES-Berechnungen vergleichbar wäre.

Wenn die von HARI (1909), RULOT und REACH (beide zit. n. SUOMALAINEN 1944), MANN (1936) und KAYSER (zit. n. EISENTRAUT 1956) ermittelten Energieverbrauchswerte auf den Tagesverbrauch umgerechnet und verglichen werden, treffen wir auf eine Schwankungsbreite, die zwischen 0,0048 und 0,08 % des Energiepotentials liegt. Ungeachtet dessen: Die Schwankungsbreite zwischen 9 TES für ♂♂ und 10 TES für ♀♀ nach REACH (1910) gegenüber 1.149 TES für ♂♂ wie ♀♀ nach RULOT (zit. n. SUOMALAINEN 1944) verdeutlicht, daß diese ohne einen konkreten Habitatbezug ermittelten Laborwerte ungeeignet für eine ökologisch relevante Aussage sind.

Sowohl die ausgewiesenen TEV als auch die TES sind deshalb nur als Orientierungswerte geeignet. Ob und inwieweit diese Werte von den habitat- und temperaturbezogenen, unter Freilandbedingungen ermittelten realen Energieverbrauchswerte abweichen, wird durch nachfolgende thermophysikalische Untersuchungen nachvollziehbar zu belegen sein.

4 Die schrittweise Entwicklung optimal temperierbarer Ersatzhabitat-Großraumböhlen

Die Erkenntnisse von EISENTRAUT (1956) und WEINZIERL (1961) nutzend, begann ich am

1.XI.1998 in einer eigens dafür angemieteten und von mir eingerichteten Werkstatt mit der konstruktionsseitigen Entwicklung, dem Bau und der thermophysikalischen Prüfung von Ersatzhabitat-Großraumböhlen. Gewissermaßen als Vorleistung mußte die Materialauswahl getroffen werden. Da in den heimischen Wäldern die Bestände von vier Hauptbaumarten, Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, geprägt sind, hatte ich mich zwischen diesen zu entscheiden.

Da Holz durch den porigen Aufbau korrelierend mit der Dichte eine mehr oder weniger gute Wärmeleitfähigkeit und gutes Wärmedämmvermögen besitzt, entschied ich mich für die Fichte. Lufttrockenes Fichtenholz besitzt infolge geringer Dichte und Wärmeleitfähigkeit die besten isolierenden Eigenschaften (Tab. 2).

Tabelle 2. Rohdichten und Wärmeleitwerte der vier Hauptholzarten in Deutschland

Baumart	Dichte frisch kg / cm ³	Dichte lufttr. kg / cm ³	Wärmeleitwert W / mK
Fichte	0,64	0,30	0,14
Kiefer	0,86	0,30	0,14
Buche	0,88	0,49	0,17
Eiche	0,93	0,39	0,21

4.1 Ersatzstammrollen-Großraumböhlen (ESR-GRH) der 1. Versuchsreihe

Um erste Erkenntnisse zu den thermophysikalischen Eigenschaften von Fichtenschaftböhlen von unterschiedlichem Durchmesser zu erhalten, fertigte ich für die erste Versuchsreihe vier Ersatz-Stammrollen-Großraumböhlen (ESR-GRH) in unterschiedlichen Abmessungen an (Abb. 2, Tab. 3).

Der Habitatraumdurchmesser entsprach in Anlehnung an die Relationen einer Buntspechthöhle jeweils einem Drittel des Stammrollendurchmessers. Ausgehend davon, daß die Höhe der sekundären Ausformung oberhalb der Einschlupfoberkante von maßgeblicher Bedeutung für die volle Ausprägung der

vertikalen thermischen Differenzierung sein wird, entschied ich mich für 800 mm lichte Habitatraumhöhe.

Da diese und alle weiteren Untersuchungen unter gleichen Standortbedingungen vorzunehmen waren, erhielt ich, bedingt durch eine langjährig abgestimmte Zusammenarbeit mit dem hiesigen Forstamt, die Genehmigung, meine Versuchsstation(en) auf dem Grundstück des Forstamtes zu etablieren (Abb. 3).

Tabelle 3. Überblick auf die Stationen meiner Versuchsreihen (Stand 2005)

Stammrollen-Höhe in mm	Stammrollen-durchmesser	Habitatraum-Durchmesser	sekundäre Ausformungshöhe
1000 mm	120 mm	40 mm	800 mm
1000 mm	180 mm	60 mm	800 mm
1000 mm	240 mm	80 mm	800 mm
1000 mm	300 mm	100 mm	800 mm

Diese ESR-GRH wurden in der Kältephase untemperiert und mit Beginn der Frostperiode temperiert vergleichend beobachtet, um zu ermitteln, bis zu welchem Temperaturrückgang die Habitaträume untemperiert frostfrei bleiben und bis zu welcher Frosthärte sie in Frostperioden frostfrei zu temperieren waren. Diese Untersuchungen über die gesamte Frostperiode führten zu folgenden Ergebnissen:

Untemperiert kühlten alle vier Habitaträume erstmals bei leichtem Frost von $-1,2^{\circ}\text{C}$ bis unter den Gefrierpunkt aus. Diese nächtlich erfolgte Auskühlung wurde am Tage trotz uneingeschränkter solarer Einstrahlung nicht wieder kompensiert. Da selbst der untere Schwellenwert von $0,5^{\circ}\text{C}$ nicht mehr erreicht wurde, wäre das in adäquaten Baumhabitaten bereits der Zeitpunkt, von dem an in temperierbaren Baumhabitaten die soziale Wärmeregulierung einsetzt, während energieineffizient temperierbare Habitaträume einen saisonalen Habi-



Abb. 2. Ersatzstammrollen-Großraumhöhlen (ESR-GRH) der 1. Versuchsreihe. Aufn.: B. STRATMANN



Abb. 3. Blick auf meine thermophysikalische Versuchsstation – Stand 2006. Aufn.: B. STRATMANN

tatwechsel auslösen. Dies bestätigen auch die Beobachtungen von GEBHARD (1997), der die ersten Habitatwechsel nach den ersten beiden Nächten mit leichtem Frost registrierte.

Für die Temperierung der ESR-GRH wählte ich Wärmequellen, die nach meinem Dafürhalten vom Energieverbrauch her einerseits ein realistisches Verhältnis zum Energiepotential der Fledermäuse aufwiesen, andererseits aber auch einen günstigen Rechenfaktor abgeben. Unter diesen Umständen entschied ich mich für Skalenlämpchen, deren Stromverbrauch 1 Watt bzw 3.600 Joule/h betrug. Da es bei der Umwandlung von Strom- in Wärmeenergie zu einem Energieverlust von 10 % kommt, hatte ich einen Rechenwert von 3.240 J/h an Wärmeenergie.

Da es keinerlei Erfahrungswerte gab, ob dieser Energieeinsatz auch bei strengem Frost

von -10°C noch ausreichend sein würde, die Habitaträume zu temperieren, installierte ich in jeder ESR zwei getrennte 1 Watt-Schaltkreise. Die erste Wärmequelle integrierte ich 100 mm, die zweite 200 mm oberhalb der Einschlupfoberkante. Diese ersten vergleichenden Untersuchungen führten zu folgenden Erkenntnissen:

Bei Wechselfrost mit einem nächtlichen Minimum von $-6,6^{\circ}\text{C}$ war die 40er ESR-GRH nicht mehr positiv zu temperieren. Bei einem nächtlichen Minimum von $-10,4^{\circ}\text{C}$ würde sie trotz des Tagesmaximums von $5,8^{\circ}\text{C}$ folglich zur Kältefalle. Demgegenüber war die 60er ESR mit $0,8^{\circ}\text{C}$, die 80er ESR mit $0,7^{\circ}\text{C}$ und die 100er ESR mit $0,1^{\circ}\text{C}$ noch positiv zu temperieren. Erst bei strengem Dauerfrost von $-5,5^{\circ}\text{C}$ am Tage und -10°C in der Nacht waren nur noch die 100er ESR positiv zu temperieren (Tab. 4).

Tabelle 4. Temperierbarkeitswerte und Temperierbarkeitsgrenzen der ESR-GRH

AT Max./min.	40 / 120 IT min. °C	60 / 180 IT min. °C	80 / 240 IT min. °C	100 / 300 IT min. °C
0,4 °C / - 6,6 °C	0,0 °C	3,3 °C	2,6 °C	4,9 °C
5,8 °C / -10,4 °C	- 3,2 °C	0,8 °C	0,7 °C	0,1 °C
- 5,5 °C / -10,0 °C	- 0,5 °C	- 1,2 °C	- 2,2 °C	0,2 °C

Diese ersten Temperierungsergebnisse sind allerdings nur bedingt aussagefähig, weil sie mittels Dauer temperierung des gesamten Habitatraumvolumens ermittelt worden waren. Da wir es unter unseren klimatischen Bedingungen aber überwiegend mit Wechselfrost zu tun haben, waren die Wandungsstärken der unter diesen Bedingungen am günstigsten zu temperierenden 60er und 80er ESR für die zweite Versuchsreihe zu berücksichtigen.

4.2 Ersatzhabitat-Großraumhöhlen (EH-GRH) der 2. Versuchsreihe

Für diese Versuchsreihe fertigte ich diesmal vier habitatraumidentische rechteckige GRH mit 70 mm Wandstärke an. Orientiert an der Grundfläche einer Buntspechthöhle mit 120 mm Durchmesser ($U = 376,8$ mm). Kon-

struktionseitig entstand unter diesem Gesichtswinkel je eine GRH mit der Habitatraum-Grundfläche von 125 x 42 mm ($U = 334$ mm), 125 x 54 mm ($U = 358$ mm) und zwei mit 125 x 66 mm ($U = 382$ mm). Hinsichtlich der geschützten Habitatraumhöhe oberhalb der Einschlupfoberkante entschied ich mich für 750 mm, in Anlehnung an die Höhe der Quecksilbersäule bei Normaldruck.

Da Vollholzhöhlen in diesen Abmessungen einerseits zu materialaufwendig und andererseits im Hinblick auf eine spätere Einordnung in die Bestände auch zu schwer geworden wären, entschied ich mich für eine doppelwandige Ausführung mit isolierten Zwischenräumen. Die Innen- und Außenwände wurden aus 20 mm kammergetrocknetem und doppelseitig plan gehobeltem Fichtenschnittholz gefertigt.

tigt. Beim Zusammenbau wurden die Teile wetterfest verleimt und verschraubt. Die Isolierung der 30 mm tiefen Zwischenräume wurde als Luftkammer-Reflektionsisolierung (LKRI) mittels hochglanzverspiegelter Feingewebeschichten eingebracht.

Durch diese variable Anordnung sollte einerseits die advective Kälte durchdringung, andererseits aber auch der advective Wärmedurchgang reflektiert werden. Absicht war, den advectiven Wärmeverlust auf ein Minimum zu reduzieren, wenn nicht gar zu unterbinden. Integriert wurde deshalb eine die advective Kälte durchdringung und zwei den advectiven Wärmedurchgang reflektierende Schichten. In sich geschlossen umgeben sie jeweils eine 10 mm tiefe Luftkammer. Um eine nachvollziehbare Vorstellung über den thermophysikalischen Wert der Kältereaktionschicht zu erhalten, wurden in eine zweite 66er GRH mit nur drei den advectiven Wärmedurchgang reflektierende Schichten integriert.

Die Habitatwände, Reflektionsflächen und Luftkammern ergaben insgesamt eine 9-schichtige Isolierung. Auch diese GRH wurden wieder durchgängig mit 3.240 J/h über eine ganze Frostperiode hinweg temperiert. Um mir einen optischen Eindruck von der vertikalen thermischen Differenzierung innerhalb des Habitatraumes zu verschaffen, hatte ich die 0 : 3 isolierte 66er GRH mit insgesamt 8 Thermosensoren ausgestattet, von denen der untere unmittelbar hinter der Einschlupfoberkante,

jeder weitere jeweils 100 mm höher und der oberste 50 mm unterhalb der Habitatraumdecke inseriert wurde.

Vergleicht man die bei -7.0°C Außentemperatur temperierte 66er GRH mit der 1 : 2 Isolierung gegenüber der mit der 0 : 3 Isolierung, stellt man fest, daß die die Kälte durchdringung minimierende Reflektionsschicht einen Wärmebilanzgewinn von 137,5 % bewirkt (Tab. 5). Weil auch in dieser Versuchsreihe wieder das gesamte Habitatraumvolumen durchgehend temperiert wurde, spreche ich bewußt noch nicht von Starkfrost-Ersatzhabitat-Großraumhöhlen.

Ungeachtet dessen war aber zu vermuten, daß mit weiteren Kombinationen in der Isolierung offenbar noch weitere Wärmebilanzgewinne zu erzielen waren. Bestätigt hatte sich aber bereits jetzt, daß es offenkundig Sinn macht, zu temperierende EH-GRH in optimierter Körper-Raum-Relation vorzuhalten. Um eine weitgehend gefahrlose Überwinterung zu gewährleisten, sind solche Ersatzhabitate sogar unerlässlich.

4.3 Ersatzhabitat-Großraumhöhlen der 3. Versuchsreihe

Um mögliche Reserven in der Kombination der Reflektionsflächen herauszufinden, die sich in der 2. Versuchsreihe abzeichneten, baute ich für die 3. Versuchsreihe vier der in der 2. Versuchsreihe am besten temperierbaren 54er GRH, die ich nunmehr mit einer 1 : 5,

Tabelle 5. Temperierbarkeit und vertikale Differenzierung der 42er, 54er und der beiden 66er EH-GRH

AT °C	IT °C 42er EH-GRH	IT °C 54er EH-GRH	IT °C 66er EH-GRH	IT °C 66er EHH-GRH*
- 1,0 °C	8,3 °C	8,2 °C	7,7 °C	7,2 °C
- 2,0 °C	7,5 °C	7,5 °C	6,8 °C	5,6 °C
- 3,0 °C	7,1 °C	7,3 °C	6,7 °C	5,5 °C
- 4,0 °C	6,7 °C	6,8 °C	6,3 °C	5,2 °C
- 5,0 °C	6,0 °C	6,2 °C	5,6 °C	4,7 °C
- 6,0 °C	5,4 °C	5,6 °C	5,5 °C	4,1 °C
- 7,0 °C	3,0 °C	3,2 °C	2,5 °C	1,9 °C

Tabelle 6. Maximale Temperierungswerte der Habitaträume bei zunehmender Frosthärte

AT °C	IT °C 42er EH-GRH	IT °C 54er EH-GRH	IT °C 66er EH-GRH	IT °C 66er EHH-GRH*
- 1,0 °C	8,3 °C	8,2 °C	7,7 °C	7,2 °C
- 2,0 °C	7,5 °C	7,5 °C	6,8 °C	5,6 °C
- 3,0 °C	7,1 °C	7,3 °C	6,7 °C	5,5 °C
- 4,0 °C	6,7 °C	6,8 °C	6,3 °C	5,2 °C
- 5,0 °C	6,0 °C	6,2 °C	5,6 °C	4,7 °C
- 6,0 °C	5,4 °C	5,6 °C	5,5 °C	4,1 °C
- 7,0 °C	3,0 °C	3,2 °C	2,5 °C	1,9 °C

2 : 3, 2 : 4 und 3 : 3 LKRI ausstattete. Über eine ganze Frostperiode hinweg durchgängig mit 3.240 J/h Wärmeenergie temperiert, ergaben sich die in Tab. 6 dargestellten Ergebnisse.

Die GRH mit der 2 : 4 Kombination ließ sich am besten temperieren. Der beste Wärmebilanzgewinn der 2. Versuchsreihe wird mit der 1 : 5 und der 3 : 3 Kombination nochmals um 15,6 %, mit der 2 : 3 Kombination um 25 % und mit der 2 : 4 Kombination um 32,5 % verbessert. Da alle vier GRH bei -10,4°C AT durchweg noch deutlich über den unteren Schwellenwert von 0,5°C zu temperieren waren, war es erstmals gelungen, thermophysikalisch geprüfte Starkfrosthabitat-Großraumhöhlen (SFH-GRH) zu bauen.

Wie sich die vertikale thermische Differenzierung bei zunehmender Frosthärte verändert und in welchem Ausmaß der temperierte Habitatraum komprimiert wird, stellt sich am Beispiel der am besten temperierten SFH-GRH mit der 2 : 4 TRI dar (Tab. 7).

Der bei 0°C noch vollständig ausdifferenziert temperierte Habitatraum wird schon bei geringem Starkfrost von -5,8°C auf 400 mm komprimiert. Die Kraft der absteigenden Schleife der vertikalen thermischen Konvektion reicht aber noch aus, die ersten 100 mm unterhalb der Temperierungsgrenze, die real der Clusterunterkante entspricht, noch positiv zu temperieren. Ihr schließt sich gegenüber der Außentemperatur noch eine 250 mm tiefe Pufferzone mit leichtem und mäßigem Frost an. Die Starkfrostgrenze liegt hier noch unmittel-

bar an der Einschlupfunterkante. Bei -10,4°C wird der temperierte Habitatraum nun auch oberhalb 500 mm Habitatraumhöhe von bisher 400 auf 200 mm komprimiert. Und auch die sich nach unten anschließende „Pufferzone“ mit leichtem und mäßigem Frost wird durch den in den Habitatraum eindringenden Starkfrost von bisher 300 auf 200 mm komprimiert.

Ungeachtet dessen ist diese SFH-GRH dem qualitativen Spektrum von Baumhabitaten nicht nur adäquat, sie ist sogar besser als diese, weil es in den stockenden Beständen, wenn überhaupt, dann nur als Ausnahmefall, in einem mittleren Fichtenaltbestand einen thermophysikalisch vergleichbaren Habitatbaum geben könnte, in dem sich bei 60 mm Habitatwandstärke sekundär ein 750 mm hoher Habitatraum hat ausformen können, der zudem noch über eine optimierte Körper-Raum-Relation verfügt.

Tabelle 7. Vertikale thermische Differenzierung in der SFH-GRH mit der TRI 2 : 4 bei zunehmender Frosthärte

Höhe ü. d. EOK	AT 0,0 °C	AT -5,8 °C	AT -10,4 °C
700 mm	10,2 °C	6,7 °C	2,9 °C
600 mm	8,7 °C	6,5 °C	3,1 °C
500 mm	7,0 °C	3,2 °C	- 0,3 °C
400 mm	4,7 °C	0,6 °C	- 3,2 °C
300 mm	2,0 °C	- 2,5 °C	- 6,4 °C
200 mm	3,0 °C	- 1,3 °C	- 7,1 °C
100 mm	1,6 °C	- 3,1 °C	- 7,1 °C
EOK*	0,8 °C	- 4,1 °C	- 8,2 °C

Bereits mit diesen SFH-GRH könnte das derzeit noch flächendeckend vorhandene Defizit an temperierbaren Fledermaushabitatbäumen der Vergangenheit angehören. Damit könnte aber nicht nur die Unvollkommenheit in der ökologischen Hege waldbewohnender Fledermäuse geschlossen werden, es sind damit auch erstmals in der modernen Forstgeschichte die Voraussetzungen für einen nachhaltig wirksamen biologisch-prophylaktischen Bestandsschutz vorhanden, den es ohne die bewußte Integration der Fledermäuse bisher zu keiner Zeit gegeben hat. Selbst in jungen und mittleren Beständen, wo sich noch gar keine temperierbaren Habitate ausformen können, wäre in Kombination mit den Wärme-Kälte-Habitat-Großraumböhlen (WKH-GRH) fortan die ökologisch komplexe Hege der Fledermäuse möglich.

4.4 Starkfrosthabitat-Großraumböhlen der 4. Versuchsreihe

Von den Erfahrungen her war nunmehr der Zeitpunkt herangereift, die thermische Qualität, die mit der unterschiedlichen Isolierung erreicht worden ist, auch mit der von Vollholzhöhlen zu vergleichen. Zu diesem Zweck fertigte ich außer einer GRH aus massivem Fichtenholz, welches mit $0,30 \text{ kg/dm}^3$ die geringste Dichte hat, auch eine aus Rotbuche an, welche mit $0,40 \text{ kg/dm}^3$ die höchste Dichte besitzt. Ergänzt wurde diese Versuchsreihe durch eine mit der 2 : 4 Luftkammer-Reflektionsisolierung (LKRI) und eine GRH mit einer Luftnoppen-Reflektions-Isolierung (LNRI).

In der LNRI-GRH wurde in die Luftkammern jeweils eine Luftnoppfolie eingeordnet, welche einerseits die vertikale thermische Konvektion ausschließen und andererseits den advektiven Wärmedurchgang weiter minimieren sollte. Auf diese Weise wurde aus der 9fachen Isolierung der 2:4 LKRI-GRH unter Beibehaltung der Isolationsraumtiefe eine 15fache Isolierung in der LNRI-GRH. Auch bei dieser Versuchsreihe wurden noch mittels Dauertemperierung über die gesamte Frostperiode hinweg die Temperierungsunterschiede ermittelt, die in Tab. 8 beispielhaft ausgewiesen sind.

Die ermittelten Werte belegen nachvollziehbar, daß die Vollholz-GRH bei gleichem Energieeinsatz deutlich ungünstiger zu temperieren sind als die mit der Thermoreflektionsisolierung ausgestattete GRH. Die geringste Temperierung wies die Rbu-GRH, die beste die LNRI-GRH auf, die den höchsten Energiebilanzgewinn erzielte. Gegenüber der LKRI-GRH betrug er 60 %, gegenüber der Fichten-Vollholzhöhle 122,2 % und der Rbu-Vollholzhöhle sogar 370 %.

Um auch hier eine nachvollziehbare Vorstellung von den Energieströmen innerhalb der vertikalen thermischen Konvektion zu bekommen, fertigte ich zusätzlich eine 2 : 4 LNRI-GRH mit einer geschützten Habitatraumhöhe von 1000 mm an, in die 10 Thermosensoren inseriert wurden. Der unterste wurde wiederum hinter der Einschlupfoberkante, jeder weitere 100 mm höher und der oberste 100 mm unterhalb der Habitatraumdecke eingebaut.

Die vergleichende Betrachtung der Temperaturwerte führte zu der Erkenntnis, daß der thermische Konvektionssog, bedingt durch den geringen Temperaturunterschied, so schwach war, daß die Konvektionsschleife auf 1000 mm Habitatraumhöhe dreimal abriß. Im Ergebnis dessen bildeten sich vier gegenläufig ineinander überfließende Konvektionsschleifen aus, die sich durch zunehmenden Wärmeenergieverlust darstellten.

4.5 Starkfrosthabitat-Großraumböhlen der 5. Versuchsreihe

Die bisherigen Versuchsreihen hatten das Ziel, jeweils die am besten zu temperierende GRH zu ermitteln, um deren Werte als Bezugsgröße für die nächste Versuchsreihe zu verwenden. Mit dieser Versuchsreihe, bei der 7 material- und habitatraumidentische Ersatzhabitate mit unterschiedlicher Wandstärke eingesetzt worden sind, sollte qualitativ ermittelt werden, welches die energieeffizienteste Temperierungsamplitude in den einzelnen GRH ist und wo deren Temperierbarkeitsgrenzen liegen. Die auf diese Weise ermittelten Werte des

Tabelle 8. Temperierungswerte der Massivholz-, LKRI- und LNRI-GRH

AT °C Min. / Max.	SFH – GRH Fichte	SFH – GRH Rotbuche	SFH –GRH LKRI	SFH – GRH LNRI
-0,5 °C / 1,1 °C	9,1 °C	7,7 °C	11,0 °C	11,8 °C
-0,5 °C / 0,3 °C	8,2 °C	6,9 °C	10,1 °C	10,8 °C
-1,7 °C / 2,6 °C	10,3 °C	8,3 °C	14,4 °C	11,7 °C
-1,9 °C / 8,3 °C	11,6 °C	9,6 °C	13,3 °C	15,9 °C
-1,9 °C / 1,5 °C	8,1 °C	6,3 °C	9,7 °C	12,4 °C
-2,8 °C / 0,7 °C	7,8 °C	6,8 °C	9,6 °C	10,4 °C
-3,4 °C / -1,4 °C	6,6 °C	5,3 °C	8,5 °C	9,4 °C
-4,0 °C / -5,8 °C	3,6 °C	2,0 °C	5,3 °C	6,2 °C
-4,6 °C / -2,9 °C	5,5 °C	3,3 °C	7,0 °C	9,5 °C
-5,6 °C / 0,1 °C	7,3 °C	6,1 °C	9,2 °C	10,1 °C
-6,6 °C / -2,7 °C	3,6 °C	2,1 °C	5,1 °C	8,1 °C
-6,6 °C / -3,7 °C	3,6 °C	1,7 °C	5,0 °C	8,0 °C

realen Energiebedarfs waren ins Verhältnis zu den Energiepotentialen der Fledermäuse zu setzen, um nachvollziehbare Aussagen über deren Überlebenschancen im Grenzbereich der Temperierbarkeit definieren zu können.

Es ist unschwer vorstellbar, was in absehbarer Zeit mit den Populationen waldbewohnender Fledermäuse geschieht, wenn weiterhin bis zu 95 % des nachgeborenen Jahrgangs während der ersten Überwinterung mit einer durchschnittlichen Starkfrostperiode verloren gehen, weil das zu Frostbeginn noch temperierbare Hangplatzpotential bei zunehmender Frosthärte infolge der Komprimierung partiell zunehmend untemperierbar geworden ist.

Selbst wenn die betroffenen Fledermäuse bei kurzzeitig milderer Außentemperaturen den unvermeidbaren Mittwinterhabitatwechsel unternehmen, würden sie, einerseits wegen der fehlenden Sozialkontaktautorientierung, andererseits wegen des flächendeckenden Defizits an temperierbaren Starkfrosthabitatbäumen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit in kürzester Zeit infolge der Erschöpfung ihrer Energiereserven erfrieren. Würde sich der gesamte Habitatraum unter diesen Voraussetzungen als untemperierbar erweisen und ein Habitatwechsel wegen der niedrigen

Außentemperaturen nicht möglich sein, würde er zur Kältefalle mit den entsprechenden Konsequenzen.

Daraus schlußfolgert, daß es durchaus von elementarer Bedeutung ist, darüber informiert zu sein, ob und bis zu welcher Frosthärte ein Ersatzhabitat energieeffizient zu temperieren ist. Um mir eine möglichst umfassende Vorstellung zu verschaffen, baute ich diese sieben vorerwähnten habitatraumidentischen GRH. Die geringste Wandstärke betrug 40 mm und erhöhte sich bei jeder weiteren GRH um 10 mm bis hin zu 100 mm. Dieses qualitative Spektrum war vergleichend zu untersuchen. Aus Kostengründen verwendete ich für diese Versuchsreihe anstelle des luftgetrockneten Fichtenholzes PUR-Hartschaum, der die gleiche Dichte von 0,30 kg/dm³ hatte.

Um für diese Ersatzhabitate den realen Wärmeenergiebedarf errechnen zu können, mußte anstelle der bisherigen Dauertemperierung diesmal die Amplitudentemperierung genutzt werden. Dies setzte voraus, daß sekundengenau die Aufwärm-, Auskühlungs- und Amplitudenzeiten bei zunehmender Frosthärte als Rechenfaktoren ermittelt werden. Davon ausgehend, daß die Hangplatzkapazität, die im WKH bis zur EOK reicht, im SFH bei 1/2

KRLÜ auf 50 % reduziert ist, wurden die Wärmequellen einheitlich 500 mm oberhalb der Einschlupfoberkante integriert.

Temperiert wurde, ebenso wie in den vorangegangenen Versuchsreihen, mit 3.240 J/h. Da die Intervalle der lebenserhaltenden Temperierung einerseits mit der Außentemperatur korrelieren, andererseits bisher nicht bekannt war, welche Temperierungsamplitude bis zu welcher Frosthärte die energieeffizientere ist und wo deren Schwellenwerte liegen, habe ich der Vergleichbarkeit halber die Energieverbrauchswerte für die $0 < 4 > 0$ und die $0 < 5 > 0$ Amplituden ermittelt. Die jeweils energieeffizientere Temperierungsamplitude und die Grenzen der Temperierbarkeit können Tab. 10 entnommen werden.

Angedacht war ursprünglich, die Ergebnisse dieser Untersuchungen erst dann zu publizieren, wenn alle Werte zwischen 0 und -10°C vorliegen. Dies zu erreichen war unter den klimatischen Bedingungen am Untersuchungsstandort auch nach drei Frostperioden noch nicht möglich. Ausschlaggebend dafür war, daß der Vergleichbarkeit halber nur die Energieverbrauchswerte berücksichtigt werden konnten, die bei vollen Gradzahlen zu ermitteln waren. Das wiederum war am ehesten ab 2.00 Uhr nachts möglich, weil die Temperaturwerte erst danach bis zum Sonnenaufgang in der Regel weitgehend konstant bleiben.

Weil es mir unter diesen Einschränkungen nicht möglich war, innerhalb des Untersuchungszeitraums die Werte für -4 bis -6°C festzustellen, habe ich hier zumindest den Näherungswert, den ich bei $-6,5^{\circ}\text{C}$ ermittelte, mit

einbeziehen können. Um nachvollziehen zu können, wie die Berechnung des realen Energieverbrauchs möglich ist, stelle ich der tabellarischen Übersicht ein erläuterndes Beispiel voran:

Um den realen Energieverbrauch der lebenserhaltenden Habitatraumtemperierungen berechnen zu können, bedurfte es zuerst der sekundengenauen Ermittlung der Aufwärmungs- und Auskühlungszeiten, um die Amplitudenzeiten und die Anzahl der Amplituden und der Aufwärmungszeiten innerhalb von 24 Std. errechnen zu können. Die übrigen Berechnungsfaktoren waren die Sekunden eines Tages, die Anzahl der Aufwärmungszeiten und der reale Wärmeenergieeinsatz in Joule. Damit ließ sich die nachfolgende Berechnungsformel aufstellen:

$$\frac{\text{sec/24h}}{86.400} : \frac{\text{Amplituden}}{13.417} \times \frac{\text{Af}}{217} : \frac{\text{sec/h}}{3.600} \times \frac{\text{realer EE}}{3.240} = \frac{\text{realer E-Bedarf/Tag}}{1.257 \text{ J/Tag}}$$

Dazu je ein Berechnungsbeispiel für die SFH-GRH mit 40-100 mm Habitatwandstärken (Tab. 9).

Die sich danach ergebenden Ergebnisse sagen aus, daß bis $-3,0^{\circ}\text{C}$ AT noch alle GRH sowohl in der $0 < 4 > 0$ als auch in der $0 < 5 > 0$ Amplitude temperierbar sind. Bei $-6,5^{\circ}\text{C}$ war die GRH mit einer Wandstärke von 40 mm in der $0 < 5 > 0$ Amplitude nicht mehr zu temperieren. Bei $-7,0^{\circ}\text{C}$ war nur noch die GRH mit 50, 60 und 100 m Wandstärke in beiden Amplituden temperierbar. Die bis dahin noch in der $0 < 4 > 0$ Amplitude temperierbaren GRH mit Wandstärken von 40, 70, 80 und 90 mm würden bei weiter rückläufigen Temperaturen als erste zur Kältefalle werden.

Tabelle 9. Berechnungsbeispiele für den realen Tagesenergieverbrauch der GRH mit 40-100 mm Habitatwandstärken

Amplitudenzeit $0^{\circ}\text{C} < 5^{\circ}\text{C} > 0^{\circ}\text{C}$	SFH-GRH 40 mm Hs.	SFH-GRH 50 mm Hw.	SFH-GRH 60 mm Hw.	SFH-GRH 70 mm Hw.	SFH-GRH 80 mm Hw.	SFH-GRH 90 mm Hw.	SFH-GRH 100 mmHw.
Aufwärmungszeit	482''	342''	217''	572''	397''	390''	388''
Auskühlungszeit	8 400''	10 800''	13 200''	10 800''	13 200''	10 800''	8 400''
Amplitudenzeit	8 882''	11 142''	13 417''	11 372''	17 253''	11 190''	8 788''
Tagesenergieverbr..	4 219 J	2 386 J	1 257 J	3 911 J	2 041 J	2 710 J	3 422 J

Tabelle 10. Zur Temperierbarkeit der habitatraumidentischen GRH mit 40-100 mm Habitatwandstärken

AT °C	Amplitude	SFH-GRH 40 mm Hw. J / TRV	SFH-GRH 50 mm Hw. J / TEV	SFH-GRH 60 mm Hw. J / TEV	SFH-GRK 70 mm Hw. J / TEV	SFH-GRH 80 mm Hw. J / TEV	SFH-GRH 90 mm Hw. J / TEV	SFH-GRH 100 mm Hw. J / TEV.
0,0 °C	0<4>0 0<5>0	> 0 °C > 0 °C						
-1,0 °C	0<4>0 0<5>0	3 197 J 4 219 J	1 961 J 2 386 J	1 128 J 1 237 J	2 638 J 3 911 J	2 163 J 2 041 J	2 172 J 2 710 J	2 764 J 3 433 J
-2,0 °C	0<4>0 0<5>0	16 495 J 20 872 J	9 756 J 12 113 J	6 794 J 8 452 J	13 258 J 16 798 J	9 508 J 12 449 J	12 053 J 15 654 J	12 858 J 14 029 J
-3,0 °C	0<4>0 0<5>0	34 046 J 39 971 J	18 539 J 21 882 J	16 488 J 18 823 J	27 656 J 31 103 J	20 830 J 25 808 J	26 574 J 30 758 J	23 242 J 27 345 J
-6,5 °C	0<4>0 0<5>0	64 885 J *****	45 034 J 50 737 J	35 407 J 41 170 J	51 824 J 60 128 J	53 888 J 63 937 J	52 595 J 60 158 J	49 329 J 56 204 J
-7,0 °C	0<4>0 0<5>0	65 411 J *****	49 408 J 67 105 J	51 002 J 50 167 J	57 000 J *****	58 364 j *****	56 135 J *****	64 482 J 70 779 J
-8,0 °C	0<4>0 0<5>0	***** *****	60 638 J 76 700 J	55 583 J 56 888 J	***** *****	***** *****	***** *****	***** *****
-9,0 °C	0<4>0 0<5>0	***** *****	***** *****	58 590 J 69 108 J	***** *****	***** *****	***** *****	***** *****

Bei -8,0°C reduzierte sich die Temperierbarkeit in beiden Amplituden auf die beiden GRH mit Wandstärken von 50 und 60 mm. Bei weiter rückläufigen Temperaturen würde die GRH mit 50 mm Wandstärke untemperierbar zur Kältefall werden. Beachtenswert war, daß die 0<4>0 Amplitude in beiden Habitaträumen die energieeffizientere war. Bei -9°C ließ sich schließlich nur noch die GRH mit einer Wandstärke von 60 mm sowohl in der 0<5>0 als auch in der 0<4>0 Amplitude temperieren, wobei sich letztere weiterhin als deutlich energieeffizienter erwies.

Auf diese Weise war es möglich, den realen Energiebedarf für die lebenserhaltenden Habitatraumtemperierungen in jedem Temperaturbereich nachprüfbar zu berechnen. Fortan ist es ebenso möglich, in Vorversuchen, ohne Risiko für die Fledermäuse, die Temperierbarkeit und die Temperierungsgrenzen der neu konstruierten Winterschlafhöhlen zu ermitteln und auszuweisen. Hinsichtlich der Zweittemperierung, die zwischen 30 und 35 % energieeffizienter ausfiel, lag weder die vollständige Übersicht bis -10°C noch die Erkenntnis vor, ob sich diese Verringerung im Energiever-

brauch in anschließenden Amplituden in gewissen Grenzen noch weiter fortsetzt.

4.6 Zur Ermittlung des Hangplatzpotentials nach dem realen Energiebedarf

Für die energieeffizientere Temperierung des 3.600 ccm umfassenden Habitatraumvolumens oberhalb der Wärmequelle waren bei -9°C real 58.590 Joule erforderlich. Geht man von einer Dauerfrostperiode von 90 Tagen aus, wäre bei dieser AT insgesamt eine Energiereserve von 5.273.100 Joule erforderlich. Dividiert durch das durchschnittliche Energiepotential der betreffenden Art würde man die energieadäquate Anzahl der Fledermäuse erhalten.

Integriert man die ermittelte Anzahl auf die 125 mm breiten Hangrillen, erhält man die erforderliche Anzahl an Hangrillen, die für diese Fledermäuse vorgehalten werden müssen. Für jede Art einen artspezifischen Habitatraum vorhalten zu wollen, ist ökologisch sicher wünschenswert und technisch machbar, ökonomisch bisher aber ebenso unrealistisch wie

das Andenken, ein temperierbares Universalhabitat für alle Arten vorhalten zu können.

Unter diesen Gesichtspunkten habe ich die für diese Ersatzhabitate potentiellen Arten drei Größengruppen zugeordnet. Der Größengruppe I wurden die kleinen Fledermäuse mit KRL 55 mm, der Größengruppe II die mittelgroßen Arten mit KRL von 56-68 mm und der Größengruppe III die großen Arten mit KRL von 69-82 mm zugeordnet.

Die gruppenspezifischen Habitatraumparameter ergaben sich aus der von mir bevorzugten, anatomisch gestützten $\frac{1}{2}$ Kopf-Rumpf-Längen-Überdeckung (KRLÜ) für die Clusterhangordnung (zum Prinzip s. Abb. 4). Um die kleinste gegenüber der größten Art vom Körper-Raum-Verhältnis nicht übermäßig zu benachteiligen, wurde für diese Ermittlungen jeweils der Mittelwert der KR-L zugrundegelegt. Die konsequente Einhaltung dieser Überdeckung war die Voraussetzung für die Ermittlung der gruppenspezifischen Hangrillenabstände.

Bei voller Inanspruchnahme dieses Hangplatzpotentials konnten über die damit korrelierenden Clusteranstiegswinkel die gruppenspezifischen Clustertiefen ermittelt werden. Diesen wurde konstruktionsseitig noch ein vertikaler thermischer Konvektionsraum von 10 mm Tiefe hinzugerechnet. Unter Beachtung dieser Kriterien entstand eine SFH-GRH mit 45, 50 und 60 mm Habitatraumtiefe. Damit wurde gewährleistet, daß auch in der Clusterhangordnung stets ein freier Raum für die ungehinderte vertikale thermische Konvektion, ein uneingeschränktes Dampfdruckgefälle und den uneingeschränkten Gasaustausch vorhanden war. Das setzte andererseits voraus, für die Hangplätze nur die Habitatraumrückwand vorzusehen.

Um das energieadäquat erforderliche Hangplatzpotential vorhalten zu können, mußte vorab die Anzahl der Fledermäuse ermittelt werden, deren durchschnittliches Energiepotential dem realen Energiebedarf adäquat war. Tab. 11 informiert darüber, wie viele Fleder-

mäuse von der kleinsten bis zur größten Art innerhalb der drei Größengruppen diesem Energiepotential entsprechen. In das Hangplatzpotential integriert, erhält man, unter Berücksichtigung der jeweiligen Clusterhöhe zuzüglich der thermodifferenzierten Habitatraumhöhe bis zur EOK, die Habitatraumgesamthöhen, die für eine energieeffiziente Temperierung unabdingbar sind.

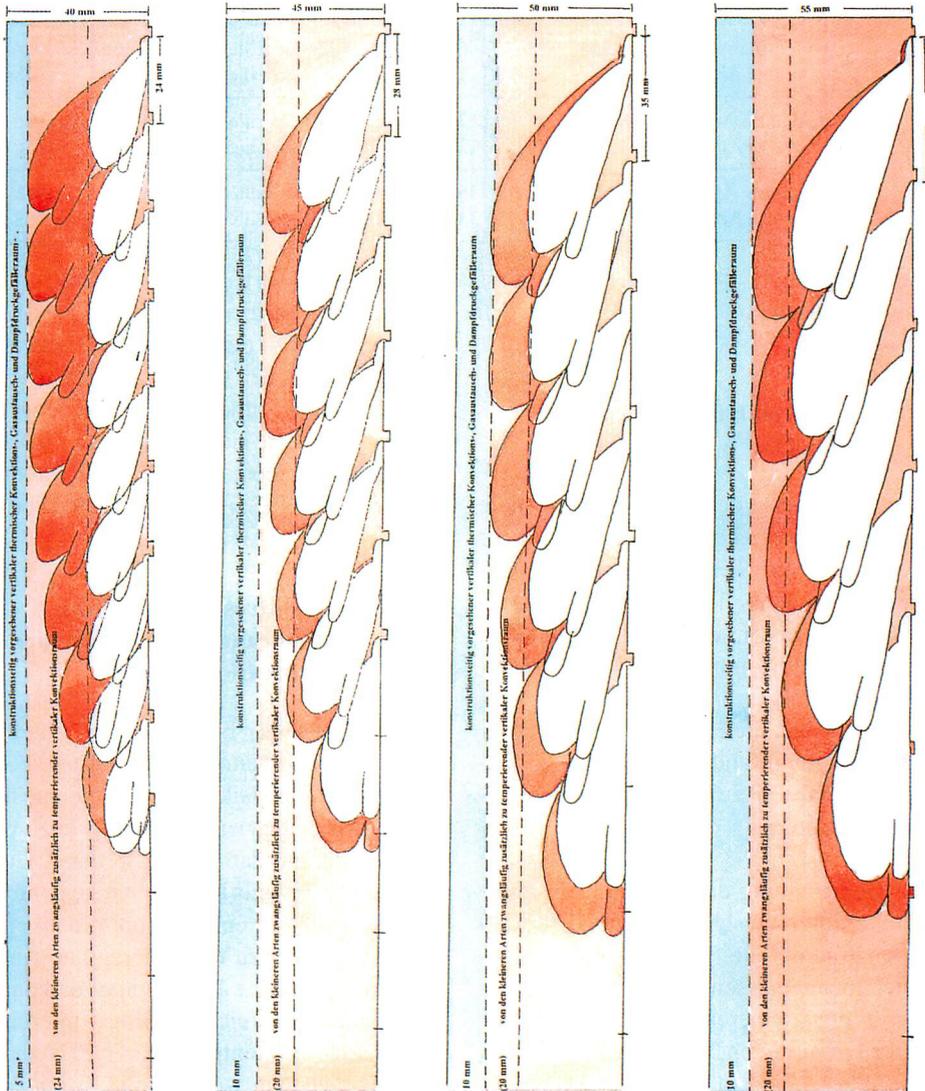
Da das temperierbare Hangplatzpotential bei -9°C AT am vollen Habitativolumen in Clusterhöhe ermittelt wurde, real aber nur der freie, nicht vom Clustervolumen ausgefüllte Habitatraumanteil zu temperieren ist, minimiert sich der reale Energiebedarf prozentual um das Clustervolumen. Dadurch würde sich der Energiebedarf für die kleinste Art innerhalb der Gruppe im Mittel um 35, für die größte Art im Mittel um 54 % verringern.

Subtrahiert man diese prozentualen Anteile, würde sich der reale Energiebedarf bei den kleinen Arten auf 3.427.515, bei den großen auf 2.425.626 Joule reduzieren. Abgesehen von den erheblichen Energiereserven für Starkfrost- oder Schlechtwetterperioden im Anschluß an die Überwinterung, lassen sich mit diesen Parametern auch die Cluster- und thermisch ausdifferenzierten Habitatraumhöhen neu definieren (Tab. 12).

Daß ich mit dieser Auffassung richtig lag, wurde mir anläßlich eines Besuchs des inzwischen verstorbenen C. KUTHE (früher Kleinmachnow) im Juni 2003 bestätigt. KUTHE hatte neben anderen Winterschlafkästen auch eine meiner SFH-GRH untersucht. Anhand von Aufzeichnungen konnte er mir belegen, daß in vorausgegangenen Starkfrostperioden 127 Abendsegler bei -20°C AT ohne Mittwinterverluste in diesem Starkfrost-Ersatzhabitat überwintert hatten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß diese für die drei Größengruppen in einem optimierten Körper-Raum-Verhältnis entwickelten Starkfrosthabitat-Großraumhöhlen so energieeffizient zu temperieren sind, daß man dergleichen unter den natürlichen Fledermaus-

Hang- und Habitatraumtiefen bei 1/2 Kopf-Rumpf-Längen-Überdeckung (KRLÜ) innerhalb der vier Größengruppen unter Berücksichtigung des jeweils kleinsten und durchschnittlich größten Artvertreters



* unter Berücksichtigung der beiden kleinsten Arten Pipistrellus pipistrellus und Myotis mystacinus

Größengruppe I
KRLÜ 33 - 43 mm
Pipist. pipistrellus
KRLÜ min. 33 mm
Plec. auritus
KRLÜ d. max. 50 mm

Größengruppe II
KRLÜ 41 - 51 mm
Myotis emarginatus
KRLÜ min. 41 mm
Plec. auritus
KRLÜ d. max. 53 mm

Größengruppe III
KRLÜ 55 - 65 mm
Nyctalus leoides
KRLÜ min. 55 mm
Ept. serotinus
KRLÜ d. max. 65 mm

Größengruppe IV
KRLÜ 66 - 76 mm
Myotis daubentonii
KRLÜ min. 66 mm
Ept. serotinus
KRLÜ d. max. 76 mm

Die definitiven Maximalgrößen der Größengruppe IV, die lediglich die Art Myotis mystacinus, Nyctalus noctula und Eptesicus serotinus betreffen würde, würden die Größengruppe V bilden, deren Integration als Einzelreihe aber ebenso in der Größengruppe IV möglich wäre. Aus diesem Grunde wurde kein spezielles Habitat für die Größengruppe V berücksichtigt.

Entwurf und Gestaltung:
B. Stratmann, 2002

Abb. 4. Hang- und Habitatraumtiefen bei 1/2 Kopf-Rumpf-Längen-Überdeckung (KRLÜ) innerhalb von vier* Größengruppen unter Berücksichtigung des jeweils durchschnittlich kleinsten und größten Artvertreters. Zeichnung: B. STRATMANN

* Anfangs wurden drei Größengruppen, später vier und zuletzt fünf Größengruppen (Starkfrostersatzhabitat-Großraumhöhlen der neuen Generation; s. Pkt. 4.8 sowie Tab. 14) zugrunde gelegt.

Tabelle 11. Energieäquivalente Hangplatzpotentiale und Habitatraumgesamthöhen

realer E-bedarf bei -9 °C AT	Größengruppe I / II / III	energieadäquate Anzahl Individuen	durchschnittl. E-potenzial	adäquate Anzahl von Hanggrillen	Clusterhöhe bei ½ KRLÜ	lichte Habitatraumhöhe
5.273.100Joule	kleinster Art	M. nattereri 85 ♂♀	62.086 Joule	15 Hanggrillen	445 mm	990 mm
	größte Art	P. nathusii 70 ♂♀	75.333 Joule	12 Hanggrillen	385 mm	678 mm
5.273.100 Joule	kleinste Art	B. barbastellus 75 ♂♀	70.858 Joule	13 Hanggrillen	473 mm	946 mm
	größte Art	N. leisleri 44 ♂♀	121.017 Joule	7 Hanggrillen	270 mm	540 mm
5.273.100 Joule	kleinste Art	M. myotis 21 ♂♀	253.185 Joule	5 Hanggrillen	271 mm	542 mm
	größte Art	N. noctula 16 ♂♀	334.643 Joule	3 Hanggrillen	179 mm	358 mm

habitatbäumen nur, wenn überhaupt, ausnahmsweise in einem Fichtenbestand finden könnte.

4.7 Starkfrosthabitat-Großraumböhlen der 6. Versuchsreihe

Es war einerseits der unangemessen tiefe Habitatraum für die energieadäquaten Cluster der kleinen Arten in den Größengruppen, andererseits aber auch die zu geringe Individuenzahl der Cluster, die mich veranlaßten, nunmehr über eine günstigere Habitatraumbreite nachzudenken. So könnte erreicht werden, daß einerseits die Habitatraumtiefe minimiert werden kann, andererseits einer größeren Individuenanzahl zu ermöglichen, gemeinsam zu überwintern.

Unter Beibehaltung der Hanggrillenabstände und Habitattiefen entschied ich mich für 200 mm Habitatraumbreite. Damit würde es möglich, die unangemessene Tiefe der Habitaträume für die kleineren Arten der Größengruppen zu minimieren, gleichzeitig aber auch die Individuenzahlen in allen Clustern erheblich zu vergrößern.

Die Ersttemperierung bei -9°C erfordert einen realen Energieeinsatz von 85.940 Joule. Ins Verhältnis zu den durchschnittlichen Energiepotentialen der Cluster der kleinsten und der größten Art innerhalb der Größengruppen gesetzt, ergaben sich die in Tab. 13 ausgewiesenen Energiereserven, welche Dauerfrostperioden bei -9°C energieseitig absichern würden.

4.8 Starkfrostersatzhabitat-Großraumböhlen der neuen Generation

Ungeachtet des bis dahin Erreichten habe ich, stets um weitere Optimierung bemüht, meine thermophysikalischen Untersuchungen fortgesetzt. Motiviert hatte mich dazu primär die Erkenntnis, daß innerhalb der 3 Größengruppen die jeweils kleinste Art gegenüber der jeweils größten ein unproportional großes Habitatvolumen zu temperieren hat. Andererseits motivierte die Überlegung, daß auch für noch individuenreichere Überwinterungsgesellschaften ein temperierbarer Ersatzhabitatraum vorgehalten werden muß, wenn die Populationen der waldbewohnenden Fledermäuse als die unverzichtbare Säule eines biolo-

Tabelle 12. Hangplatzpotentiale des zu temperierenden Habitatraumvolumens und dessen Gesamthöhen

energieadäquate Anzahl von Individuen	durchschnittliches Energiepotenzial	adäquate Anzahl von Hanggrillen	Clusterhöhe bei ½ KRLÜ	lichte Habitatraumgesamthöhe
<i>M. nattereri</i> 55 ♂♀	62.086 Joule	8 Hanggrillen	320,0 mm	740,0 mm
<i>P. nathusii</i> 48 ♂♀	75.333 Joule	8 Hanggrillen	320,0 mm	740,0 mm
<i>B. barbastellus</i> 48 ♂♀	70.858 Joule	8 Hanggrillen	388,0 mm	876,0 mm
<i>N. leisleri</i> 20 ♂♀	121.017 Joule	4 Hanggrillen	213,0 mm	526,0 mm
<i>M. myotis</i> 14 ♂♀	253.185 Joule	3 Hanggrillen	180,0 mm	460,0 mm
<i>N. noctula</i> 8 ♂♀	334.643 Joule	2 Hanggrillen	132,0 mm	364,0 mm

gisch-prophylaktischen Forstschutzes dauerhaft integriert und bewahrt werden sollen.

Um diese Diskrepanz weitgehend zu beseitigen, habe ich zuerst eine Neugruppierung der Fledermäuse in letztendlich 5 Größengruppen vorgenommen (Tab. 14).

Bei dieser Zuordnung beträgt die Differenz zwischen der jeweils kleinsten gegenüber der jeweils größten Art innerhalb einer Größengruppe einheitlich 10 mm. Für jede dieser Größengruppen wurden, den jeweiligen Mit-

telwert zugrundelegend, die gruppenspezifischen Hangrillenabstände ermittelt.

Den bei ½ KRLÜ aus den Clustertiefen resultierenden Habitatraumtiefen wurde bereits konstruktionsseitig noch ein 10 mm tiefer, vertikaler thermischer Konvektionsraum zugeordnet. Er ermöglicht einen ungehinderten thermischen Konvektionsstrom, der wiederum die Gewähr für die uneingeschränkte Sauerstoffzufuhr, ein unbehindertes Dampfdruckgefälle und eine ausgeprägte thermische Differenzierung bietet.

Tabelle 13. Hangplatz- und Energiepotentiale sowie daraus resultierende Energiereserven

Größengruppe	Fledermausart	Hangplatz-Potenzial für	Energiepotenzial	Energiereserve/Dauerfrostage
I	<i>Myotis nattereri</i>	228 Individuen	13.981.188 Joule	162,6 Tage
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	133 Individuen	10.073.287 Joule	117,2 Tage
II	<i>Barbastella barbastellus</i>	105 Individuen	7.441.875 Joule	86,6 Tage
	<i>Nyctalus leisleri</i>	90 Individuen	11.791.890 Joule	137,2 Tage
III	<i>Myotis myotis</i>	84 Individuen	22.331.799 Joule	259,8 Tage
	<i>Nyctalus noctula</i>	70 Individuen	15.898.120 Joule	185,0 Tage

Resümierend kann man feststellen, daß künftig jedes Ersatzhabitat, welches als Winterschlafhöhle angedacht und entwickelt wird, mit der beschriebenen Methode vorab auf seine Temperierbarkeit und die Temperierungsgrenzen hin geprüft, bewertet und klassifiziert werden kann. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einen Fledermaushabitatbaum, den man als potentiellen Starkfrosthabitatbaum vorausschauend bewahren will bzw. bereits für einen Überwinterungsbaum hält, einer thermophysikalischen Untersuchung zu unterziehen, nachvollziehbar zu bewerten und zu klassifizieren. Bestätigt er sich als Starkfrosthabitatbaum, der bis -10°C temperierbar ist, sollte er bundeseinheitlich als solcher gekennzeichnet und kartiert werden. Wenn es zum Selbstverständnis der Forstwirtschaft gehört, daß man insbesondere die Arten bewahren

will, die weder durch andere vertreten noch zu ersetzen sind, dann trifft dies für alle heimischen insbesondere für Fledermausarten und deren Überwinterungshabitate zu.

Mit der Veröffentlichung dieser Untersuchungsergebnisse ist hoffentlich auch die Zeit vorbei, in der man emotionale Empfindungen und Mutmaßungen bemühte, um vorschnelle, generalisierende Bewertungen vorzunehmen, falsche Schlußfolgerungen zu ziehen oder haltlose Urteile zu postulieren. Fachlich Unkundige und Unwissende haben sich, insbesondere wenn sie in ihrer Entscheidungsebene ihre Unentbehrlichkeit unter Beweis zu stellen suchten, sich oft genug berufen gefühlt, die meist langjährige, fachkundige Arbeit engagierter Artenschützer zu diskreditieren oder abwertend zu beurteilen.

Tabelle 14. Kopf-Rumpf-Längen der 5 Größengruppen der Glattnasen (*Vespertilionidae*)

Größengruppe I	Größengruppe II	Größengruppe III	Größengruppe IV	Größengruppe V
KRL 33-42 mm	KRL 43-52 mm	KRL 53-62mm	KRL63-72 mm	KRL 73-82 mm

Zusammenfassung

Ausgehend von den wenigen zwischen 1872 und 1961 von kompetenten Fachleuten artikulierten Vorbehalten oder eingestandenen Fehlschlägen hinsichtlich der Schaffung geeigneter Ersatzhabitats für die Überwinterung der ursprünglich baumbewohnenden Fledermäuse, werden die ersten zwischen 1990 und 1998 entwickelten Überwinterungskästen vorgestellt. Die konstruktionsseitigen und thermophysikalischen Lösungen werden einer ersten Bewertung unterzogen. Es werden die recherchierten Erkenntnisse hinsichtlich der Energiespeicherung, des Energieumsatzes und der verbleibenden Energiereserven interpretiert, welche im Hinblick auf das angestrebte Untersuchungsziel, Ersatzhabitats für die Überwinterung zu konstruieren, die mittels der Energiereserven unter den mitteleuropäischen Klimabedingungen temperierbar sind. Nachfolgend werden die empirischen Versuchsreihen beschrieben, die konstruktionsseitig zu temperierbaren Starkfrost-Ersatzhabitats geführt haben. Die Ermittlung der Hangplatz- und Energiepotentiale und die Berechnung des realen Energiebedarfs für eine lebenserhaltende Habitatraumtemperierung bei rückläufigen Temperaturen im Starkfrostbereich werden nachvollziehbar beschrieben. Appelliert wird an die Hersteller, künftig vorab die Temperierbarkeitsgrenzen ihrer Ersatzhabitats für die Überwinterung zu prüfen, und an die Artenschützer, im Rahmen ihrer Verantwortung nur geprüfte Überwinterungshabitats auszubringen. Aus Erfahrung wird darauf hingewiesen, daß damit auch die Grundlagen geschaffen worden sind, in allen Entscheidungsebenen anstelle unbegründeter Vorurteile, emotionaler Beurteilungen und Mutmaßungen, welche die ökologisch komplexe Hege der Fledermäuse betreffen, künftig sachkundig beurteilen und bewerten zu können.

Schrifttum

- ALTUM, B. (1872): Forstzoologie. I. Säugethiere, II. Ordnung Handflatterer, *Chiroptera*. Verl. J. Springer Berlin, p. 11-38.
- BICKEL, H., & RADEMACHER, H. (1994): Thermographie einer erwachenden Fledermaus. *Biol. i. d. Zeit* **24**(3), 129-130.
- EISENTRAUT, M. (1934a): Der Winterschlaf der Fledermäuse mit besonderer Berücksichtigung der Wärmeregulation. *Z. Morph. Ökol. d. Tiere* **29**, 231-267.
- (1934b): Zur physiologischen Entwicklung der Wärmeregulation. *Sber. Ges. naturf. Freunde Berlin* **1934**, 289 ff.
- (1937): Die deutschen Fledermäuse - eine biologische Studie. Verl. Dr. Paul Schöps. Leipzig (184 pp.).
- (1956): Der Winterschlaf mit seinen ökologischen und physiologischen Begleiterscheinungen. Gustav Fischer Verlag. Jena (160 pp.).
- GEBHARD, J. (1988): Die Forschungsstation „Hofmatt“ – ein künstliches Fledermausquartier mit zahmen, in Gefangenschaft geborenen, frei fliegenden und wilden, zugeflogenen Abendseglern (*Nyctalus noctula*). *Myotis* **26**, 5-21.
- (1997): Fledermäuse. Birkhäuser Verlag. Basel – Boston – Berlin (381 pp.).
- HAARJE, C. (1998): Anfrage zur Gefahr durch Fledermaus-Winterhöhlen aus Holzbeton. *Mbl. NABU-BAG Fledermausschutz* **4/98**, p. 11.
- HACKETHAL, H. (1972): Fledermäuse – *Chiroptera*. In: STRESEMANN, E. (Hrsg.): Exkursionsfauna von Deutschland. Bd. **III**: Wirbeltiere, p. 293-306. Volk u. Wissen. Berlin.
- HARI, P. (1909): Beitrag zur Kenntnis der chemischen Wärmeregulation der Säugetiere. *Arch. Phys.* **130**, 90-111 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- HOCK, R. J. (1951): The metabolic rates and body temperature of bats. *Biol. Bull.* **101**, 289-299 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- HOOPER, W., & HOOPER, W. M. (1956): Habits and movements of cave dwelling bats in Devonshire. *Proc. Zool. Soc. Lond.* **127**, 1-26 (zit. n. KULZER 1981).
- KRZANOWSKI, A. (1959): Ergebnisse des Waldfledermausschutzes auf Grund fremder und eigener Erfahrungen. *Waldhygiene* **3**(3-4), 99-115.
- (1961): Weigh dynamics of bats wintering in the cave at Puławy. *Acta theriol.* **2**, 281-283.
- KULZER, E. (1981): Winterschlaf. *Stuttgarter Beitr. z. Naturkd. Ser. C, H.* **14** (46 pp.).
- LINDEMANN, W. (1952): Aus dem Leben des Igels. *Schweizer Naturschutz* **18**, 39-42 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- LÖHRL, H. (1937): Der Winterschlaf von *Nyctalus noctula* (Schreber) auf Grund von Beobachtungen am Winterschlafplatz. *Z. Morph. Ökol. d. Tiere* **32**, 47-66 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- MANN, H. (1936): Veränderungen im Fett winterschlafender Fledermäuse. *Fette u. Seifen N.F. d. Fettchemie. Umschau* **43**, p. 155-156 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- REACH, F. (1910): Beitrag zur Physiologie des Winterschlafes. *Biochem. Zeitschr.* **26**, 391-405 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- RICHARZ, K., & LIMBRUNNER, A. (1992): Fledermäuse – fliegende Koblode der Nacht. Franckh Kosmos Verlag. Stuttgart.
- SCHÖBER, W., & GRIMMBERGER, E. (1998): Fledermäuse – kennen – bestimmen – schützen. 2., akt. u. erw. Aufl. Stuttgart (265 pp.).
- SCHUA, L., & SCHNORRENBERG, B. (1954): Beobachtungen über das Auftreten von Winterschlaf bei Goldhamster, *Mesocricetus auratus* (Waterhouse 1889), und über gewisse Wetterabhängigkeit derselben. *Säugetierkd. Mitt.* **2**, 163-166.
- SIEWECKE, M. (1998): Fledermaus-Quartier „Modell Siewecke“ 2. *Mbl. NABU-BAG Fledermausschutz* **4/99**, p. 14-15.
- SMALLEY, R. L., & DRYER, R. L. (1967): Brown fat in hibernation. *Mammalia* **III**, p. 325-345. Oliver & Boyd. Edinburgh.
- SUOMALAINEN, P. (1944): Über die Physiologie des Winterschlafes. *S. B. d. Finn. Acad. d. Wiss.*, p. 163-179 (zit. n. EISENTRAUT 1956).
- WEINZIERL, H. (1961): Nächtliche Helfer im Forstschutz. *Presse-Inf.* (2 pp.).