

Vorschläge zur thermophysikalischen Beurteilung von Fledermaus-Habitatbäumen und zur Bewertung der Temperierbarkeit sekundär ausgeformter Baumhöhlen

Von BODO STRATMANN, Naumburg

Mit 8 Abbildungen

1 Vorbemerkungen

Im „Nationalen Forstprogramm Deutschland“, herausgegeben im Sept. 2000 vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), ist unter *Ziffer 4.3.6 Naturschutzmaßnahmen* zu lesen: „Arten- und Biotopschutzmaßnahmen sind Bestandteile regulärer forstlicher Tätigkeit.“ Neu ist, daß erstmals die Formulierung „z. B. Einrichten von Fledermausquartieren“ zu finden ist. Aber natürliche Baumhabitats (= Baumhöhlen) braucht man nicht zu schaffen, weil das u. a. die Spechte tun. Der Begriff ‚Einrichten‘ bezieht sich demnach vor allem auf das Integrieren adäquater Ersatzhabitats.

Unter *Ziffer 4.3.8 Forschung* wird als *Handlungsbedarf* die „Verstärkte Durchführung von Forschungsvorhaben zur biologischen Vielfalt unter anderem zum Thema ‚Untersuchungen zu sogenannten Schlüsselarten, deren Funktion innerhalb des Ökosystems nicht von anderen Arten übernommen werden kann“, ausgewiesen. Das trifft auch auf alle heimischen (vorwiegend) im Wald lebenden oder den Wald (wenigstens teilweise) als Nahrungsbiotop frequentierenden Fledermausarten zu. Dem Ansinnen folgt allerdings gleich die Einschränkung: „Der im Bundesnaturschutzgesetz aufgenommene Vertragsnaturschutz hat in der Forstwirtschaft noch keine breite Anwendung gefunden, da bislang die finanziellen Mittel noch sehr beschränkt bereitgestellt werden.“ Als *Handlungsbedarf* wird zwar die „Ausweitung der Anwendung des Vertragsnaturschutzes in der Forstwirtschaft“ in Aussicht

gestellt, im Nachsatz aber an die Aufstockung der entsprechenden Mittel gekoppelt.

Die Empfehlung, Fledermäuse zu schützen, geht bereits auf den Begründer der deutschen Forstwissenschaften, Forstrat Dr. JOHANN MATTHÄUS BECHSTEIN (1792), zurück. Und auch danach wurde der Fledermausschutz immer wieder von bedeutenden Forstzoologen, wie Prof. BERNARD ALTUM (1872), angemahnt. Auf die seit mehr als 7 Jahrzehnte permanent anhaltende rezessive Bestandsentwicklung machte bereits der Nestor der deutschen Fledermausforschung, Prof. Dr. MARTIN EISEN-TRAUT (1937), mit folgendem Text aufmerksam: „Für den Rückgang der Fledermäuse dürfte in erster Linie die Beseitigung geeigneter Schlupfwinkel verantwortlich zu machen sein, und hier im besonderen die Zerstörung der geschützten Winterquartiere. Durch Abschlagen der alten, hohlen Bäume werden den Baumfledermäusen die Baumhöhlen als Winterschlafraum genommen. Geschieht das Fällen der Bäume im Winter, so werden nicht nur die Schlupfwinkel für immer vernichtet, sondern es werden nicht selten auch die in den Baumhöhlen überwinternden Fledermäuse dem Untergange preisgegeben.“

Höhlenbäume sind nach § 42 Abs. 1 BNatSchG geschützte Lebensstätten, und zwar für die im § 10 Abs. 2 Nr. 11 genannten Arten und aller nach Anhang IV der FFH-Richtlinie geschützten heimischen Fledermäuse. Das bis heute ungelöste Problem sind aber nicht die Höhlenbäume schlechthin, sondern die Fledermaus-Habitatbäume im allgemeinen

und die temperierbaren Starkfrosthabitate im besonderen. Hierüber fehlen die elementarsten Erkenntnisse wie z. B. über die sekundären Ausformungsgeschwindigkeiten der 19 forstlich relevanten Baumarten, die Habitatraumstrukturen der Sommer- und Überwinterungshabitate, die thermophysikalischen Eigenschaften der Habitatbäume und -räume, die thermodynamischen Vorgänge in den Baumhöhlen, die Korrelation zwischen den Hangplatz- und Energiepotentialen, die Temperierbarkeit und die Dauer derselben in den überlebenswichtigen Überwinterungshabitaten. Selbst beim Surfen im Internet durch rund 11.700 Links zum Stichwort „Höhlenbäume“ findet man zwar eine Vielzahl von Aktivitäten zum quantitativen Erfassen von Höhlenbäumen, aber keine gründlichen Untersuchungen zu den vorgenannten Erkenntnisdefiziten.

Umso mehr verwundert es, daß selbst im Bundesforschungsbericht zum Thema „Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern“ von 2000 zwar auf die drastisch verschlechterte Bestandssituationen der Fledermäuse in Deutschland hingewiesen wird, aber auf Untersuchungen zur strukturellen Differenzierung der Habitatbäume (über die quantitative Erfassung hinausgehend) verzichtet wurde (s. MESCHÉDE et al. 2000, 2002). Das ist ein Widerspruch, denn man kann hinsichtlich der Bedeutung des Waldes für Fledermäuse (H. 66, p. 263) nachlesen: „Er (der Wald, d. A.) erfüllt ganzjährig eine eigene Funktion im Leben einer Fledermaus“ und (H. 66, p. 280) „Maßnahmen zur Unterstützung der Fledermauspopulationen müssen sich auf alle Lebensphasen erstrecken, also sowohl die Sommer- als auch die Paarungs- und Winterschlafphase berücksichtigen“ oder „Die Funktion, die er (der Wald, d. A.) übernimmt, kann räumlich und/oder zeitlich und/oder ökologisch definiert sein.“

Nach dreijährigen Untersuchungen heißt es im Abschlußbericht lediglich: „Bei der Waldbestandserfassung stand die Erfassung von Parametern, die einen Fledermauslebensraum Wald beschreiben können, im Vordergrund.

Parameter waren nicht das Quartier oder die Nahrung, sondern Faktoren, die in erster Linie die Ressource Nahrung bedingen.“ Und weiter: Es besteht immer noch Forschungsbedarf zu der Frage „Welche Ressource ist der limitierende Faktor, das Quartier oder die Nahrung?“ Es ist nicht nachvollziehbar, daß man sich im Rahmen eines so wichtigen Vorhabens mit der quantitativen Erfassung der Baumhöhlen begnügte und sich in 24 Waldgebieten bei der „Inspektion der Baumhöhlen auf die mit Fledermausbesatz beschränkte.

Haben die Erfahrungen derer, die sich in den letzten 215 Jahren mit dieser Problematik befaßten und ihr Wissen niedergeschrieben haben, nicht ausgereicht, um zu erkennen, daß es das flächendeckende Defizit an Überwinterungshabitaten ist, denen die anhaltende regressive Populationsentwicklung geschuldet ist? Allein unter dem Gesichtswinkel ökologisch und zeitlich kommt man doch eigentlich gar nicht umhin, differenziert den Unterschied der Habitatraumstrukturen darzustellen. Daß es sich bei einer primär ausgeformten Spechtbruthöhle erst um ein potentiell Fledermaushabitat handelt, das seine Eignung als definitives Fledermaushöhle erst mit einer bestimmten sekundären Ausformungshöhe annimmt, ist all denen bekannt, die sich mit dem Abfangen von Baumfledermäusen befassen. Ebenso ist bekannt, daß die Akzeptanz der Fledermäuse für Spechtbruthöhlen erst dann einsetzt, wenn diese sich wipfelwärts zumindest soweit sekundär ausgeformt haben, daß eine ersterkundende Fledermaus oberhalb der Einschlupföffnung einen geschützten Hangplatz vorfindet, in den sie sich bei Bedarf auch längere Zeit zurückziehen kann.

Ebenso ist bekannt, daß die sekundäre Ausformung im Zuge einer Nutzung durch eingezogene Fledermäuse wesentlich beschleunigt wird. Logisch ist, daß sich Höhlen in einem gesunden Baum, wenn überhaupt, dann sehr langsam sekundär ausformen, während dies bei Höhlen in einem durch holzzersetzende und –zerstörende Pilze vorgeschädigter Schaft, abhängig von den konkreten Standortbedingungen, mehr oder minder schnell erfolgt.

Trotz der Vielzahl wissenschaftlicher Untersuchungen, die in erster Linie dem Schutz der Fledermäuse dienen sollten, findet man bis heute keine Erkenntnisse darüber, wie lange es dauert, bis eine sich sekundär ausformende Baumhöhle die Qualität eines Wärme-Kälte-Habitats annimmt, wann die Eignung als temperierbares Starkfrosthabitat einsetzt und wie lange sie als solches existenzbewahrend temperierbar bleibt. M. W. gibt es diesbezüglich bis heute nur einzelne Publikationen zu Detailfragen (KNEITZ 1961, STRATMANN 1978).

Das Fehlen solcher Analysen ist der Grund dafür, daß es bisher weder einen Leitfaden für eine effiziente Ermittlung von Habitatbäumen gibt noch eine Orientierung über deren thermophysikalische Bewertung, von einer Bewertung der Temperierbarkeit ganz zu schweigen. Habitatbäume und Baumhöhlen werden aus diesem Grund bis heute rein nach Gefühl beurteilt. Dies zu ändern, ist u. a. das Ziel dieser Arbeit.

2 Möglichkeit zur Beurteilung der thermischen Qualität eines Habitatbaumes und zur Bewertung der Temperierbarkeit von sekundär ausgeformten Habitaträumen

Die thermophysikalische Beurteilung von Habitatbäumen ist weniger schwierig, weil man sich an der Rohdichte und Feuchtigkeit des frischen Holzes orientieren kann. Da sich nur ein Feuchtigkeitsgehalt zwischen 18 und 35 % thermophysikalisch auf die Wärmeleitfähigkeit des Holzes auswirkt, kann dieser Faktor vernachlässigt werden. Maßgebend für die Beurteilung bleibt demgegenüber die Dichte des Holzes, da sie den Wärmedämmwert bestimmt. Schwieriger ist es, die Temperierbarkeit einer sich in einem bestimmten sekundären Ausformungszustand befindlichen Baumhöhle zu berechnen. Das liegt maßgeblich daran, daß es sich um einen offenen Raum in lebender Substanz handelt, dessen thermophysikalische Eigenschaften und thermodynamischen Vorgänge anders als in einem geschlossenen Raum eines Bauwerkes zu beurteilen sind. Außerdem verändern sich die

Parameter saisonal ständig durch den radialen Schaftzuwachs.

Nachfolgend versuche ich mich an einer ersten Orientierung für die Erarbeitung solcher Bewertungskriterien. Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, sei betont, daß die ausgewiesenen Berechnungen derzeit weder vollständig vorliegen noch fehlerfrei sein können. Das liegt daran, daß sie nur z. T. das Ergebnis eigener thermophysikalischer Untersuchungen sind. Andere Berechnungen sind demgegenüber Ableitungen von diesen Ergebnissen. Ich mache deshalb an den betreffenden Stellen darauf aufmerksam, wenn es weiterer Untersuchungen bedarf. Diese Hinweise sind nicht zuletzt als Anregungen gedacht, die aufgegriffen werden sollten, um durch weitere Analysen zur Vervollkommnung der präsentierten Erkenntnisse beizutragen.

3 Möglichkeiten zur effektiven Ermittlung des Bestandes an Habitatbäumen

3.1 Allgemeines

Der Buntspecht (*Dendrocopos major*) beschränkt sich bei Harthölzern, wie Buchen und Eichen, auf vorgeschädigte Schäfte, wenn er seine Bruthöhle einzimmert. Bei Weichhölzern, wie Fichten und Kiefern, wird er bereits bei gesunden Schäften aktiv. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß in letzteren mit mehr primär und sekundär ausgeformten Höhlen pro Hektar als in ersteren zu rechnen ist. Der Buntspecht ist, bedingt durch seine weite Verbreitung und relativ große Häufigkeit, die für das Ausformen der späteren Fledermaushöhlen wichtigste Spechtart. Das Einschlagen von Spechthöhlen beginnt er aber erst bei einem Durchmesser der Schäfte von 240 mm. Wie erlangt man eine Übersicht über die dafür geeigneten Bestände?

Als Arbeitsgrundlage benötigt man eine Forstamts-Übersichtskarte (Maßstab 1 : 50.000), in die die Reviere und Abteilungen eingetragen werden, die vom Alter und der Bonität her dafür in Betracht kommen. Um

solche Ermittlungen zeitlich effizient realisieren zu können, bedarf es der Einsichtnahme in die Bonitierungssysteme, was bei einer mit dem zuständigen Forstamt abgestimmten und wissenschaftlich begründbaren Untersuchung gewährt wird. Die Bonitierung eines Bestandes orientiert sich an der absoluten Mittelhöhe, auch die Oberhöhe ist möglich, im Alter von 100 Jahren.

3.2 Altersstruktur und Bonitäten der vier Hauptholzarten - Allgemeines

Um gezielt die Bäume mit 240 mm Stammdurchmesser in Habitathöhe herauszufinden, muß man sich auf den in 1,3 m Höhe festgestellten Grundmittelstamm- (dg) oder Brusthöhendurchmesser (BHD) von 264 mm orientieren. Das ist deshalb erforderlich, weil von dem sich zopfwärts verjüngenden Schaft-

durchmesser (dg bzw. BHD) 10 % abgezogen werden müssen, um in Mittelschafthöhe – wo die meisten Spechthöhlen eingeschlagen werden – auf 240 mm zu kommen. Aber schon beim ersten Blick in die Systeme erkennt man, daß dieser ideale dg in den einzelnen Bonitäten nur näherungsweise ausgewiesen ist.

3.3 Bonitierung und Bonitätssystem der Fichtenbestände

Bei der Fichte unterscheidet man hinsichtlich des relativen Höhenwachstums, das im zeitlichen Abstand von 10 Jahren ermittelt wurde, zwischen einem langsamen, mittleren und schnellen System. Die analytische Betrachtung dieser drei Systeme führt zu der Erkenntnis, daß im langsamen System in der Bonität L 38 frühestens im 55jährigen, in der Bonität L 20 frühestens im 120jährigen Bestand mit dem Einzimmern von Spechtbrut-

Tabelle 1. Fichtenbonitierung - A: langsames System

Alter	L 20 dg / N	L 22 dg / N	L 24 dg / N	L 26 dg / N	L 28 dg / N	L 30 dg / N	L 32 dg / N	L 34 dg / N	L 36 dg / N	L 38 dg / N
50										24,1 N 863
60								23,7 N 880	26,5 N 763	29,4 N 666
70							25,4 N 792	28,2 N 693	31,2 N 603	34,3 N 529
80					23,7 N 847	26,7 N 731	29,7 N 633	32,6 N 558	35,7 N 489	38,9 N 432
90				24,7 N 785	27,7 N 679	30,7 N 591	33,8 N 517	6,6 N 460	39,8 N 407	43,0 N 363
100			25,4 N 730	28,6 N 633	31,6 N 553	34,7 N 487	37,6 N 431	40,5 N 388	43,5 N 347	46,6 N 313
110		25,8 N 688	29,4 N 590	32,5 N 518	35,6 N 458	38,4 N 409	41,3 N 367	43,9 N 335	46,8 N 303	49,8 N 276
120	26,7 N 622	29,9 N 555	33,5 N 482	36,5 N 430	39,3 N 386	42,0 N 350	44,6 N 319	47,0 N 295	49,8 N 270	52,5 N 249
130	31,0 N 500	34,1 N 452	37,5 N 400	40,3 N 363	42,3 N 331	45,2 N 305				
140	35,5 N 406	38,4 N 373	41,5 N 336	43,9 N 311						

Beginn der primären Ausformung

Sekundäre Ausformungszeit als Wärme-Kälte-Habitat

Beginn der Temperierbarkeit als Starkfrosthabitat

dg - Durchmesser des Grundmittelstammes

N - Stammzahl des verbleibenden Bestandes pro ha

Bei Beginn der Temperierbarkeit als Starkfrosthabitat haben die Habitatwände in der L 24 bereits einen Durchmesser von 127,5 mm, in der L 38 von 111,5 mm

Tabelle 2. Fichtenbonitierung - B: mittleres System

Alter	M 20 dg / N	M 22 dg / N	M 24 dg / N	M 26 dg / N	M 28 dg / N	M 30 dg / N	M 32 dg / N	M 34 dg / N	M 36 dg / N	M dg / N
50										
60								27,7 N 741	27,7 N 741	
70						25,6 N 816	28,6 N 702	31,9 N 597	31,9 N 597	
80					26,6 N 758	29,4 N 663	32,5 N 575	35,8 N 495	35,8 N 495	
90				27,5 N 705	30,3 N 621	33,1 N 550	36,1 N 483	39,2 N 422	39,2 N 422	
100		26,0 N 744	28,4 N 660	31,1 N 584	33,8 N 519	36,4 N 466	39,2 N 416	42,2 N 369	42,2 N 369	
110	26,9 N 701	29,4 N 614	31,9 N 550	34,4 N 492	37,0 N 443	39,5 N 403	42,1 N 366	44,7 N 330	44,7 N 330	
120	30,3 N 582	32,8 N 514	35,1 N 466	37,6 N 422	40,0 N 385	42,2 N 356	44,5 N 328	46,8 N 301	46,8 N 301	
130	33,7 N 490	36,1 N 437	38,3 N 401	40,5 N 368	42,7 N 341	Holz- ernte	Holz- ernte	Holz- ernte	Holz- ernte	
140	36,9 N 418	39,2 N 377	Holz- ernte	Holz- ernte	Holz- ernte					

Erläuterungen s. Tab. 1.

höhlen gerechnet werden kann (Tab. 1). Im mittleren System kann dies in der Bonität M 34 und M 36 frühestens im 55jährigen, in der Bonität M 20 frühestens im 110jährigen Be-

stand (Tab. 2), im schnellen System frühestens in der Bonität S 32 im 60jährigen, in der Bonität S 16 frühestens im 130jährigen Bestand erwartet werden (Tab. 3).

Tabelle 3. Fichtenbonitierung - C: schnelles System

Alter	S 16 dg / N	S 18 dg / N	S 20 dg / N	S 22 dg / N	S 24 dg / N	S 26 dg / N	S 28 dg / N	S 30 dg / N	S 32 dg / N	S dg / N
50										
60									26,8 746	
70							28,0 701	28,0 721	30,3 615	
80						26,0 787	31,4 581	31,4 600	33,3 523	
90					27,4 715	29,3 651	34,7 492	34,4 512	35,9 457	
100				28,0 676	30,5 602	32,5 550	37,6 426	37,0 448	38,0 410	
110			28,1 646	30,8 578	33,3 517	35,4 474	40,2 376	39,3 400	39,8 375	
120		27,7 620	30,5 560	33,2 503	35,9 452	38,0 416	42,5 338	41,3 364	41,3 349	
130	26,1 611	29,8 545	32,7 494	35,6 445	38,2 402	40,3 372	Holz- ernte	Holz- ernte	Holz- ernte	
140	27,9 543	31,8 486	34,8 442	Holz- ernte	Holz- ernte	Holz- ernte				

Erläuterungen s. Tab. 1.

3.4 Bonitierung der Kiefer nach Ertragsniveaustufen

Gegenüber der Fichte unterscheidet man bei der Kiefer zwischen einem unteren, mittleren und oberen Ertragsniveau, welches, anders als bei der Fichte, im Abstand von 5 Jahren ermittelt worden ist (Tab. 4-6)*.

Die Analyse dieser Ertragssysteme führt zur Erkenntnis, daß in allen Systemen in der jeweils höchsten Bonität frühestens im 55jährigen, in den niedrigsten Bonitäten frühestens im 135jährigen Bestand mit dem Einzimmern von primär ausgeformten Spechtbruthöhlen gerechnet werden kann.

3.5 Höhenbonitierung der Buche

Die Analyse der Bonitierungssysteme der Buche verdeutlicht, daß in der Höhenbonität (HB 36) im 65jährigen, in der Höhenbonität (HB 20) hingegen erst im 110jährigen Bestand in vorgeschädigten Schäften das Einzimmern der ersten Spechtbruthöhlen erwartet werden kann (Tab. 7)*.

3.6 Ertragsklassenbonitierung der Eiche bei Hochdurchforstung

Die Analysen bei der Eiche verdeutlichen, daß in der Ertragsklasse I frühestens im 80jährigen, in der Ertragsklasse IV hingegen erst im 150jährigen Bestand mit ersten Spechtbruthöhlen gerechnet werden kann (Tab. 8)*.

Anhand dieser Tabellen kann man sich gezielt auf die Bestände und Bonitäten konzentrieren, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit primär ausgeformte Spechtbruthöhlen (potentielle Fledermaushabitate) ermittelt werden können. Um fortgeschritten sekundär ausgeformte Habitate ermitteln zu können, muß man für die sekundäre Ausformungszeit bis zum temperierbaren Starkfrosthabitat beim vorgeschädigten Stamm eine Zeitspanne von 20, beim gesunden Stamm von 30 Jahren hin-

zurechnen. Hier wird man den augenblicklichen Ausformungsgrad der betreffenden Baumhöhlen antreffen. Um die weitere Ausformungsgeschwindigkeit vorhersagen zu können, bedarf es noch vieler baumarten- und standortspezifischer Erfahrungswerte, die nur über Langzeitbeobachtungen an demselben Baum zu erlangen sind. In Revierkarten (M 1 : 10.000) sollten die dafür infrage kommenden Abteilungen farblich gekennzeichnet werden.

Die ermittelten Habitatbäume wären mittels ihrer GPS-Daten in Forstgrundkarten (M 1 : 5.000) einzuzeichnen. Diese GPS-genaue Einzeichnung ist insbesondere für die als temperierbar ermittelten Starkfrost-Habitatbäume unabdingbar, um ihre Standorte exakt zu dokumentieren. Damit sollten die Voraussetzungen geschaffen sein, sie vor einem vorzeitigen Abtrieb zu bewahren. Um Versehen oder Irrtümer auszuschließen, halte ich es für erforderlich, sie wegen ihrer Bedeutung bundeseinheitlich als „Geschützter Fledermaus-Habitatbaum“ zu kennzeichnen (STRATMANN 2007). Das ist deshalb unabdingbar, weil sich das Fällen von Überwinterungsbäumen alljährlich des öfteren wiederholt. In der Fachliteratur finden sich darüber viele dokumentierte Beispiele (z. B. TRAPPMANN & RÖPLING 1996).

4 Beurteilung der Temperierbarkeit einer sekundär ausgeformten Baumhöhle

Die Temperierbarkeit einer Baumhöhle wird durch die Holzdichte und die Habitatwandstärke bestimmt. Anhand der unterschiedlichen Holzdichten, die mit dem realen Energieaufwand zur Temperierung des Habitatraumvolumens korrelieren, läßt sich der qualitative Stellenwert eines Habitatbaumes innerhalb des Spektrums der wichtigsten Baumarten bestimmen. Weil es mir im Rahmen meiner selbstfinanzierten mehrjährigen thermophysikalischen Untersuchungen nicht möglich war, von allen forstlich relevanten Baumarten ein raumidentisches Großraumha-

* Aufgrund des erheblichen Manuskriptumfangs mußten die Tab. 4-10 sowie die Tab. 23-25 weggelassen werden. Sie können gegen Erstattung der Unkosten beim Autor angefordert werden.

bitat zu bauen, um mittels Amplitudentemperierung den jeweils realen Energiebedarf zu ermitteln, habe ich mich auf das Fichtenholz konzentriert. Diese Herangehensweise bot sich an, da frisches Fichtenholz mit $0,64 \text{ kg/dm}^3$ die geringste Dichte von allen 19 forstlich relevanten Baumarten hat.

Der reale Energiebedarfswert zur Temperierung meiner SFH-GRH (s. STRATMANN 2007), die in den Abmessungen fortgeschritten sekundär ausgeformten Buntspechthöhlen entsprechen, betrug bei -9°C Außentemperatur 58.590 Joule/Tag . Um als Rechenfaktor den Basiswert für die Dichte $0,01 \text{ kg/dm}^3$ zu erhalten, habe ich diesen Energiebedarfswert durch 64 dividiert. Den auf diese Weise errechneten Basiswert von $915,46 \text{ Joule/Tag}$ verwende ich als Multiplikator mit den Dichtewerten des frischen Holzes von 12 der 19 forstlich relevanten Baumarten, um eine erste Orientierung für den wahrscheinlichen Energiebedarfswert zur Raumtemperierung eines vergleichbaren Habitats in der betreffenden Baumart zu erhalten. In dem Umfang, in dem es gelingt, die realen Energiebedarfswerte mittels Amplitudentemperierung an raumidentischen Starkfrosthabitat-Großraumhöhlen zu ermitteln, muß Tab. 9* präzisiert ggf. auch korrigiert werden.

Der qualitative Stellenwert eines Habitatbaumes ist ausschlaggebend für den Zeitpunkt und die Abfolge des innersaisonalen Habitatwechsels in Kälteperioden. Als Impulsgeber dient offenbar der reale Energieaufwand für die abendliche Aktivierung bis zur Flugfähigkeit. Zu Beginn der Frostperiode wird die energieeffiziente Temperierbarkeit des aufgesuchten Quartiers zum Impulsgeber für notwendige Quartierwechsel. Diese thermophysikalisch bedingte Quartierwechselabfolge vollzieht sich innerhalb eines Reinbestandes (Alterklassenwald) nur dann, wenn sich vor Ort Teilbestände mit den entsprechenden Altersstrukturen und Bonitäten befinden. In einem Mischbestand sind die Voraussetzungen, bedingt durch die unterschiedlichen Holzdichten, günstiger, da hier die Habitatwechselabfolge innerhalb einer Altersklasse eher möglich ist.

5 Defizite bezüglich der Kenntnisse zur sekundären Ausformungsgeschwindigkeit

Über die vier Hauptholzarten – Fichte, Kiefer, Buche und Eiche – liegen bislang keine Untersuchungen über sekundäre Ausformungsgeschwindigkeiten von Baumhöhlen vor. Das gilt auch für alle weiteren Baumarten. Deswegen kann gegenwärtig nur davon ausgegangen werden, daß der sekundäre Ausformungsprozeß in den durch holzzerstörende Pilze vorgeschädigten Schäften noch im Jahr der primären Ausformung beginnt, während er bei gesunden Bäumen verzögert einsetzt. Daß die Ausformungsgeschwindigkeit maßgeblich von der Vitalität des Baumes, dem Harz- oder Gerbstoffgehalt seines Holzes und den konkreten Standortbedingungen abhängt, ist allgemein bekannt, muß aber noch durch entsprechende Langzeitbeobachtungen artspezifisch besser determiniert werden.

Denen, die Fledermäuse über mehrere Jahre aus Baumhöhlen abgefangen haben, ist vertraut, daß der sekundäre Ausformungsprozeß nach der Akzeptanz durch die Tiere zügiger voranschreitet. Das liegt daran, weil alle in Zersetzung befindlichen Holzteile durch das Herumklettern und Ankrallen der Fledermäuse schneller abgegriffen werden. Das ist jedoch auch die Ursache dafür, daß sich diese Höhlen, insbesondere solche in Buchen und Fichten, innerhalb weniger Jahre im Querschnitt relativ schnell in eine thermophysikalisch zunehmend ungünstigere Körper-Raum-Relation entwickeln.

Da hierüber die Erkenntnisse weitgehend fehlen, kann man nur mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, daß der sekundäre Ausformungsprozeß in einer Buche, bedingt durch den fehlenden Gerbstoffgehalt und die Vorschädigung durch holzzersetzende Pilze, am zügigsten geschieht. An zweiter Stelle dürfte, trotz des hohen Harzgehaltes, aber wegen der geringen Holzdichte, die Fichte folgen. Wenn aber der Schaft noch zusätzlich durch Pilze vorgeschädigt ist, dürfte dies die Fichte dann an die erste Stelle bringen. An

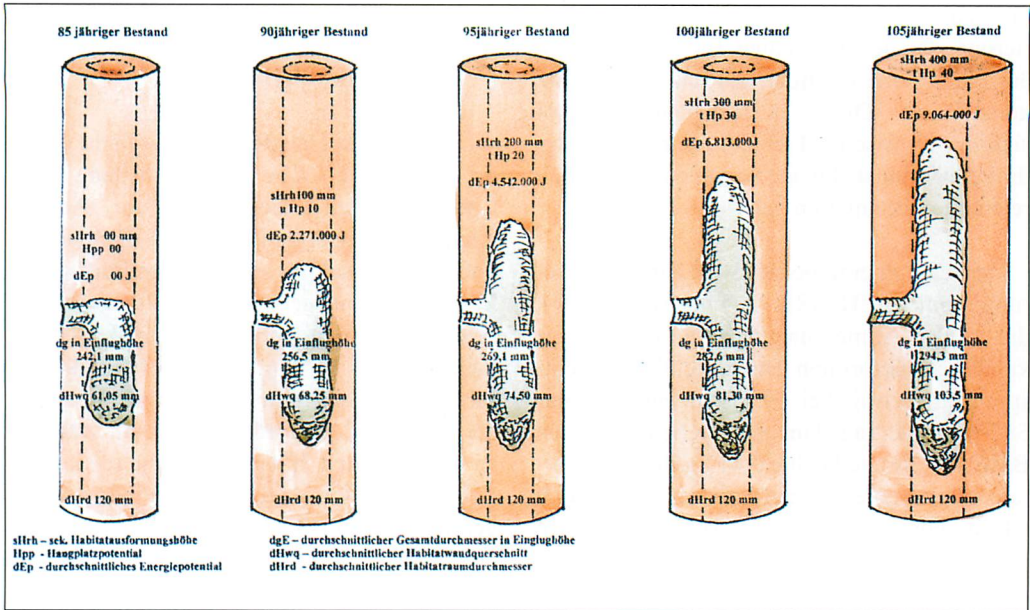


Abb. 1. Beispiel der sekundären Habitatausformung im mittleren Ertragsniveau (M 22) der Waldkiefer (*Pinus silvestris*)

dritter Position würde, bedingt durch den höheren Harzgehalt, die Kiefer folgen. Demgegenüber dürfte der Ausformungsprozeß bei der Eiche infolge der Holzdichte und des hohen Gerbstoffgehaltes unter den vier Hauptholzarten die längste Zeit in Anspruch nehmen.

Um die Eignung als temperierbares Überwinterungshabitat anzunehmen, bedarf es einer weit fortgeschrittenen sekundären Ausformungshöhe, da selbst bei einer optimalen Körper-Raum-Relation bei strengem Starkfrost nur die obere Hälfte der Baumhöhle positiv temperierbar ist.

Was die Beurteilung und Bewertung der Temperierbarkeitsdauer des wipfelwärts ausgeformten Höhlenraums erschwert, ist der weitere radiale Zuwachs des Schaftes. Bei Buchen und Fichten kommt noch der sich in zunehmend ungünstigerer Körper-Raum-Relation ausformende Höhlenquerschnitt hinzu. Wie beide Faktoren sich auf den realen Energiebedarf und damit auch auf die mögliche Dauer der Temperierbarkeit auswirken, vermitteln Abb. 1 u. 2 und Tab. 10* am Beispiel einer Kiefer.

6 Wärme-Kälte-Habitate und Starkfrosthabitate - Allgemeines

Habitate, die entweder noch zu gering sekundär ausgeformt sind oder sich infolge der ungünstigen Körper-Raum-Relation frühzeitig bzw. infolge des Dickenwachstums später wieder als untemperierbar erweisen, bezeichne ich als Wärme-Kälte-Habitate. Da sich die letzteren insbesondere bei Hitzeperioden, bedingt durch ihren mehr oder weniger stark ausgeprägten Kühlstrankeffekt als wohltemperierte Baumhöhlen erweisen, werden sie unter diesen Bedingungen innersaisonal gezielt aufgesucht.

Wohl wissend, daß eigentlich auch alle Habitate, die sich bei Starkfrost ab $-4,1^{\circ}\text{C}$ temperieren lassen, zu den Starkfrosthabitaten gerechnet werden müßten, grenze ich diese Bezeichnung bewußt auf solche Habitate ein, die sich unter unseren klimatischen Bedingungen im östlichen Teil des atlantischen Übergangsklimas, wo mit Dauerfrostperioden von -10°C gerechnet werden kann, auch bei strengem Starkfrost über einen längeren Zeitraum temperieren lassen, ohne die Energiereserven der winterschlafenden Fledermäuse zu

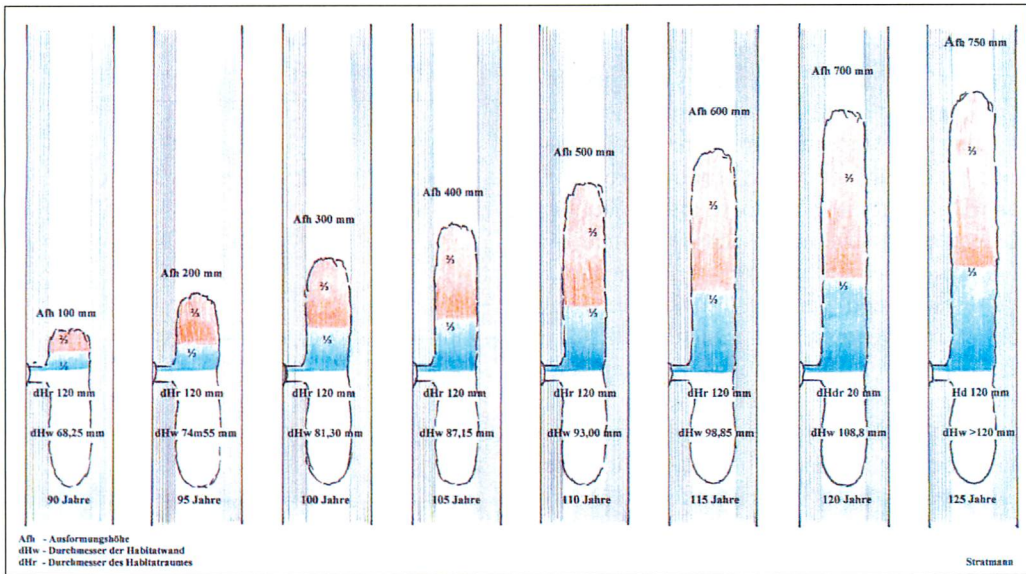


Abb. 2. Dauer des sekundären Ausformungsprozesses einer Waldkiefer in der Bonität 22 bis zur Temperierbarkeit als Starkfrosthabitat für die Dauer eines Winters

erschöpfen. Denn es sind genau solche Baumhöhlen, auf die zur Bewahrung der baumbewohnenden Populationen nicht verzichtet werden kann.

6.1 Zur Temperierung und Temperierbarkeit von Baumhöhlen

Um die Eignung als temperierbares Überwinterungshabitat anzunehmen, bedarf es – wie bereits erwähnt – einer weit fortgeschrittenen sekundären Ausformungshöhe, da selbst bei einer optimalen Körper-Raum-Relation bei strengem Starkfrost nur die obere Hälfte des sekundär ausgeformten Habitatraumes positiv temperierbar ist. Bei Auskühlung der Baumhöhlen bis auf den unteren Schwellenwert der Temperatur, der nach meinen Erfahrungen zumindest zu Beginn der Frostperiode bei 0,5°C liegt, werden zuerst die in den unteren Hangreihen des Clusters winterschlafenden Fledermäuse von der Kaltluft kontaktiert, die bei ihnen den Impuls zur sozialen Thermoregulation auslöst. Durch sie wird der freie Habitatraum in Clusterhöhe solange temperiert, bis in Höhe der unteren Clusterhangreihe die minimalste Lokomotionstemperatur von 28°C als Voraussetzung der Rotation im Cluster erreicht ist.

Durch die in den Habitatraum einfließende schwerere Frostluft wird die Warmluftblase, die den Habitatraum bei leichtem Frost (0,0 bis -2,1°C) positiv thermodifferenziert noch bis nahe der Einschlufoberkante temperiert, bei mäßigem Frost (-2,2 bis -4°C) bis auf 80 %, bei geringem Starkfrost (ab -4,1 bis -9°C) auf 60 % und bei strengem Starkfrost (um -10°C) bis auf 50 % ihrer ursprünglichen Ausdehnung komprimiert. Unmittelbar unterhalb des Clusters kommt es analog dazu zur Ausbildung einer sich zunehmend ausprägenden thermischen Differenzierungszone. Bei -10°C AT schließt sich an den temperierten Bereich unmittelbar unterhalb des Clusters eine diesen Raumanteil zu 20 % in Anspruch nehmende thermische Übergangszone im mäßigen Frostbereich an, die in eine zu gleichen Teilen thermodifferenzierte Starkfrostzone übergeht, welche sich oberhalb der Einschlufoberkante nur noch mit einer Temperaturdifferenz von 1°C der Außentemperatur angeglichen hat.

Aus diesen Erkenntnissen schlußfolgert, daß die sekundäre Ausformungshöhe eines bei strengem Starkfrost temperierbaren Habitats mit voll ausgeprägten thermischen Differenzierungszone die doppelte Clusterhöhe voraussetzt. Weil diese Relationen in den zu

Beginn der Forstperiode aufgesuchten Habitaträumen oftmals noch nicht gegeben sind, erweisen sich diese frühzeitig als energieuneffizient temperierbar. Fledermäuse registrieren das über die Amplitudenfrequenz der Temperierung, die für sie eine Art „Frühwarnsystem“ darstellt. Wird diese zu hoch, löst sie bei den Fledermäusen den Impuls zum nochmaligen Habitatwechsel aus diesem Zwischenquartier in eine energieeffizienter temperierbare Höhle aus. Diese Wechsel sind wahrscheinlich nur bei Wechselfrost mit positiven Tagestemperaturen zu realisieren. Ob sie in jedem Fall in eine Höhle führen, welche auch bei strengem Starkfrost noch temperierbar ist, erscheint bei dem gegenwärtigen flächendeckenden Defizit an temperierbaren Starkfrosthabitaten in den Wäldern eher als unwahrscheinlich.

Bei der Beurteilung sind deshalb unbedingt die geographische Breite, die Höhenlage im Relief und die sich daraus ergebenden regionalen klimatischen Verhältnisse zu berücksichtigen. Immerhin differiert die Anzahl der Frosttage in Deutschland zwischen 44 im Tiefland und 313 im Gebirge, und die Frosthärte nimmt bekanntlich mit zunehmender Kontinentalität und Höhe im Relief zu.

6.2 Grundlagen zur Ermittlung der Temperierbarkeit durch Fledermäuse

Voraussetzung, um die Temperierbarkeit beurteilen zu können, sind die Hangplatz- und die damit korrelierenden Energiepotentiale der Cluster. Um sie realitätsnah für ein optimales Körper-Raum-Verhältnis berechnen zu können, habe ich die heimischen Fledermäuse 5 bzw. 6 Größengruppen zugeordnet (Tab. 11), die sich in ihren Kopf-Rumpf-Längen (KRL) lediglich um 10 mm unterscheiden. Aus jeder Gruppe wurde, angesichts der erheblich differierenden Speicherfettreserven jeweils ein kleiner (Tab. 12-21 Blatt 1) und ein großer Artvertreter (Tab. 12-21 Blatt 2) ausgewählt, dessen Körperproportionen für die Ermittlung der Hangplatzpotentiale und dessen Speicherfettreserven für die Berechnung der Energiepotentiale verwendet worden sind. Als Körper-

Tabelle 11. Kopf-Rumpf-Längen der heimischen Fledermäuse und ihre Zuordnung in 6 Größen-

Artname	Größengruppe I KRL 32-42 mm	Größengruppe II KRL 43-52 mm	Größengruppe III KRL 53-62 mm	Größengruppe IV KRL 63-72 mm	Größengruppe V KRL 73-82 mm	Größengruppe VI KRL 83-92 mm	Ø Energiepotential ♂ 18% ♀ 20 % der Masse
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	32 *****	***** 51 *					42.956 Joule
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	32 *****	***** ?					? Joule
<i>Myotis mystacinus</i>	35 *****	***** 51 *					47.331 Joule
<i>Myotis brandtii</i>	35 *****	*****	53				52.502 Joule
<i>Plecotus auritus</i>	39***	*****	*** 55				58.468 Joule
<i>Myotis daubentonii</i>	40**	*****	*** 55				73.781 Joule
<i>Myotis nattereri</i>	40**	*****	*** 55				59.909 Joule
<i>Myotis emarginatus</i>	41*	*****	53				76.764 Joule
<i>Plecotus austriacus</i>	41*	*****	*** 58				63.838 Joule
<i>Barbastella barbastellus</i>		43*****	***** 58				67.616 Joule
<i>Pipistrellus nathusii</i>		45 *****	*** 55				71.793 Joule
<i>Myotis bechsteini</i>		45 *****	***** 55				73.781 Joule
<i>Eptesicus nilssonii</i>		45 *****	***** 55	***** 70			86.907 Joule
<i>Vesperugo murinus</i>		48 *****	***** 55	* 64			114.351 Joule
<i>Nyctalus leisleri</i>		48 *****	***** 55	***** 68			126.682 Joule
<i>Myotis dasycneme</i>			57 *****	***** 68			187.933 Joule
<i>Myotis myotis</i>			60 **	***** 68			245.758 Joule
<i>Nyctalus noctula</i>			60 **	***** 68			217.368 Joule
<i>Eptesicus serotinus</i>			62	***** 68			169.047 Joule

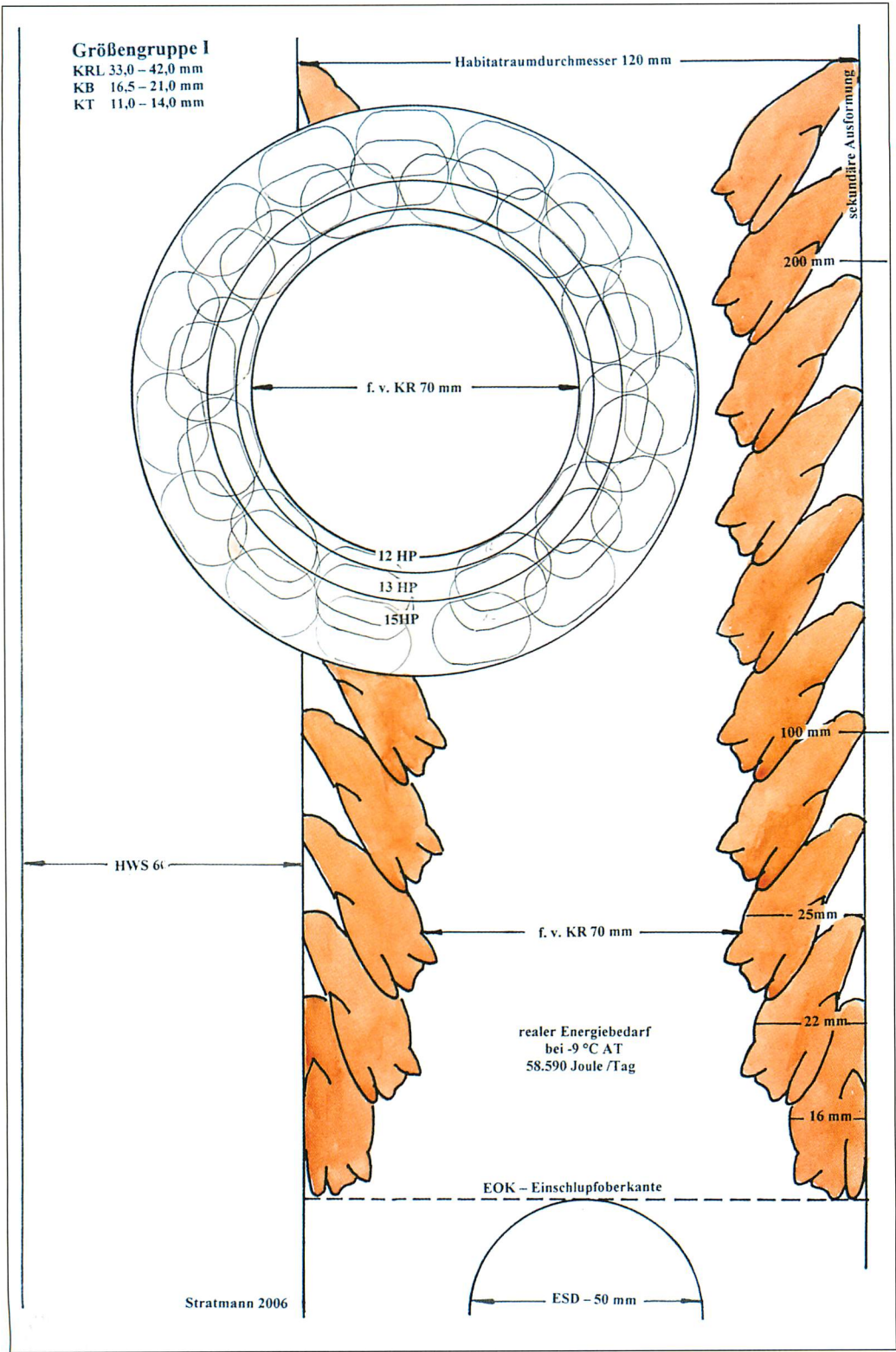


Abb. 3. Sicht auf die Clusterhangweise in der Größengruppe I

Tabelle 12. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe I (Blatt 1)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
355	15.249.380 Joule	= 394,89 Tage	500 mm
25. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
24. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
23. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
22. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
21. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
285	12.242.460 Joule	= 317,02 Tage	400 mm
20. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
19. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
18. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
17. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
16. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
215	9.235.540 Joule	= 239,15 Tage	300 mm
15. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
14. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
13. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
12. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
11. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
145	6.228.620 Joule	= 161,29 Tage	200 mm
10. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
09. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
08. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
07. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
06. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
75	3.221.700 Joule	= 83,42 Tage	100 mm
05. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
04. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
03. / 14	601.384 Joule	+ 15,57 Tage	
02. / 15	644.340 Joule	+ 16,68 Tage	
01. / 18	773.208 Joule	20,02 Tage	
Einschlupfoberkante	42.956	38.616,66	Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

Tabelle 13. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe I (Blatt 2)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
222	11.655.444 Joule	= 426,07 Tage	500 mm
20. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
19. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
18. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
17. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
178	9.345.356 Joule	= 341,62 Tage	400 mm
16. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
15. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
14. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
13. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
134	7.035.268 Joule	= 257,17 Tage	300 mm
12. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
11. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
10. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
09. / 11	577.521 Joule	+ 21,11 Tage	
90	4.725.180 Joule	= 173,73 Tage	200 mm
08. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
07. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
06. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
05. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
46	2.415.092 Joule	= 88,28 Tage	100 mm
04. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
03. / 11	577.522 Joule	+ 21,11 Tage	
02. / 12	630.024 Joule	+ 23,03 Tage	
01. / 14	735.028 Joule	26,86 Tage	
Einschlupfoberkante	52.502	27.355,67	Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

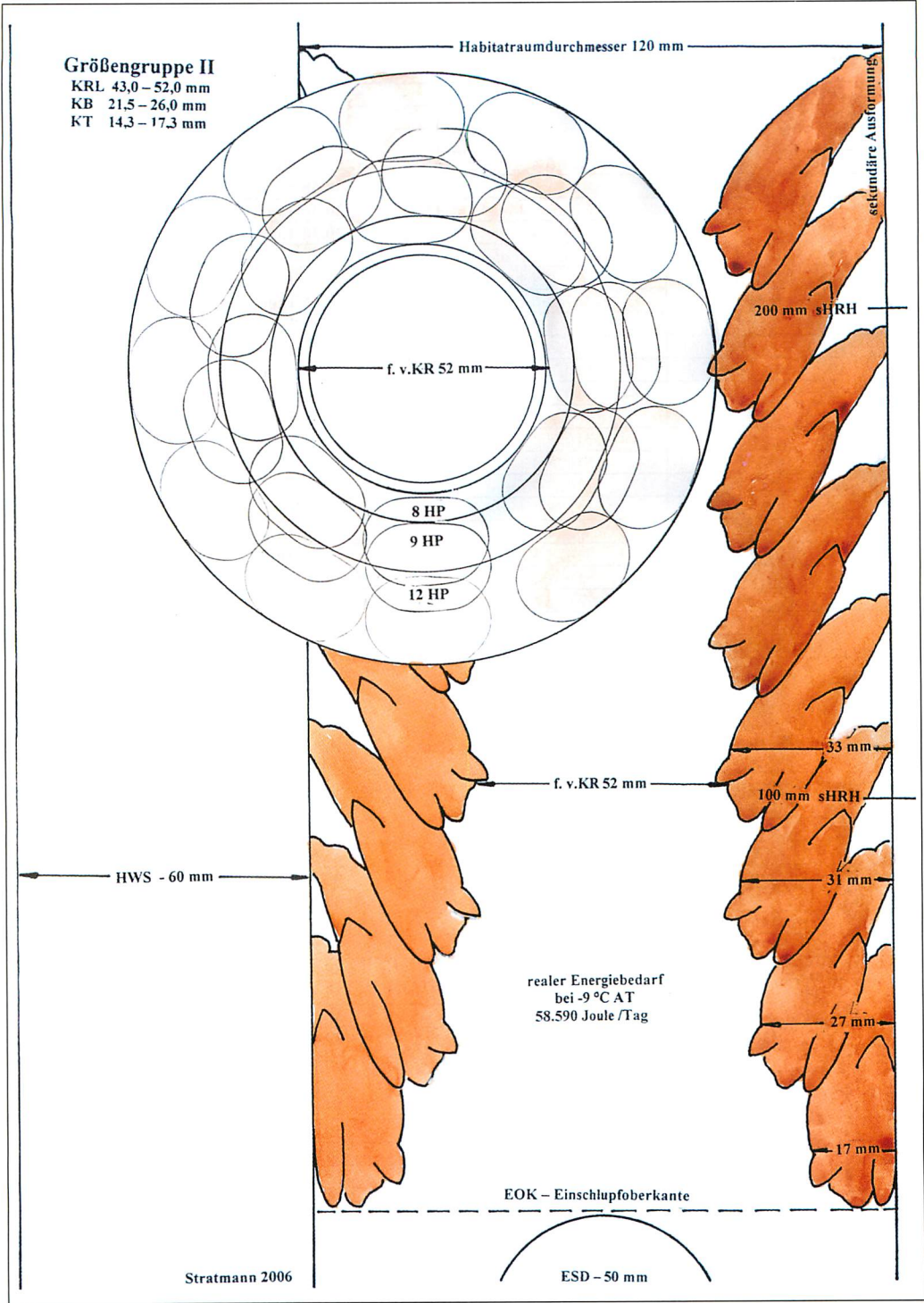


Abb. 4. Sicht auf die Clusterhangweise in der Größengruppe II

Tabelle 14. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe II (Blatt 1)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
165	10.533.270 Joule	= 420,04 Tage	500 mm
20. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
19. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
18. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
17. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
133	8.490.454 Joule	= 338,58 Tage	400 mm
16. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
15. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
14. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
13. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
101	6.447.638 Joule	= 257,11 Tage	300 mm
12. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
11. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
10. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
09. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
69	4.404.822 Joule	= 175,65 Tage	200 mm
08. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
07. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
06. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
05. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
37	2.362.006 Joule	= 94,19 Tage	100 mm
04. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
03. / 8	510.704 Joule	+ 20,36 Tage	
02. / 9	574.542 Joule	+ 22,91 Tage	
01. / 12	766.056 Joule	30,54 Tage	
Einschlupfoberkante	63.838	25.076,52	Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

Tabelle 15. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe II (Blatt 2)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
162	14.094.789 Joule	= 760,17 Tage	500 mm
20. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
19. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
18. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
17. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
146	11.352.021 Joule	= 612,25 Tage	400 mm
16. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
15. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
14. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
13. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
110	8.225.910 Joule	= 443,65 Tage	300 mm
12. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
11. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
10. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
9. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
77	5.681.137 Joule	= 306,40 Tage	200 mm
8. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
7. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
6. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
5. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
41	3.025.021 Joule	= 163,14 Tage	100 mm
4. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
3. / 9	664.029 Joule	+ 35,81 Tage	
2. / 10	737.810 Joule	+ 39,79 Tage	
1. / 13	959.153 Joule	47,65 Tage	
Einschlupfoberkante	73.781	18.541,44	Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

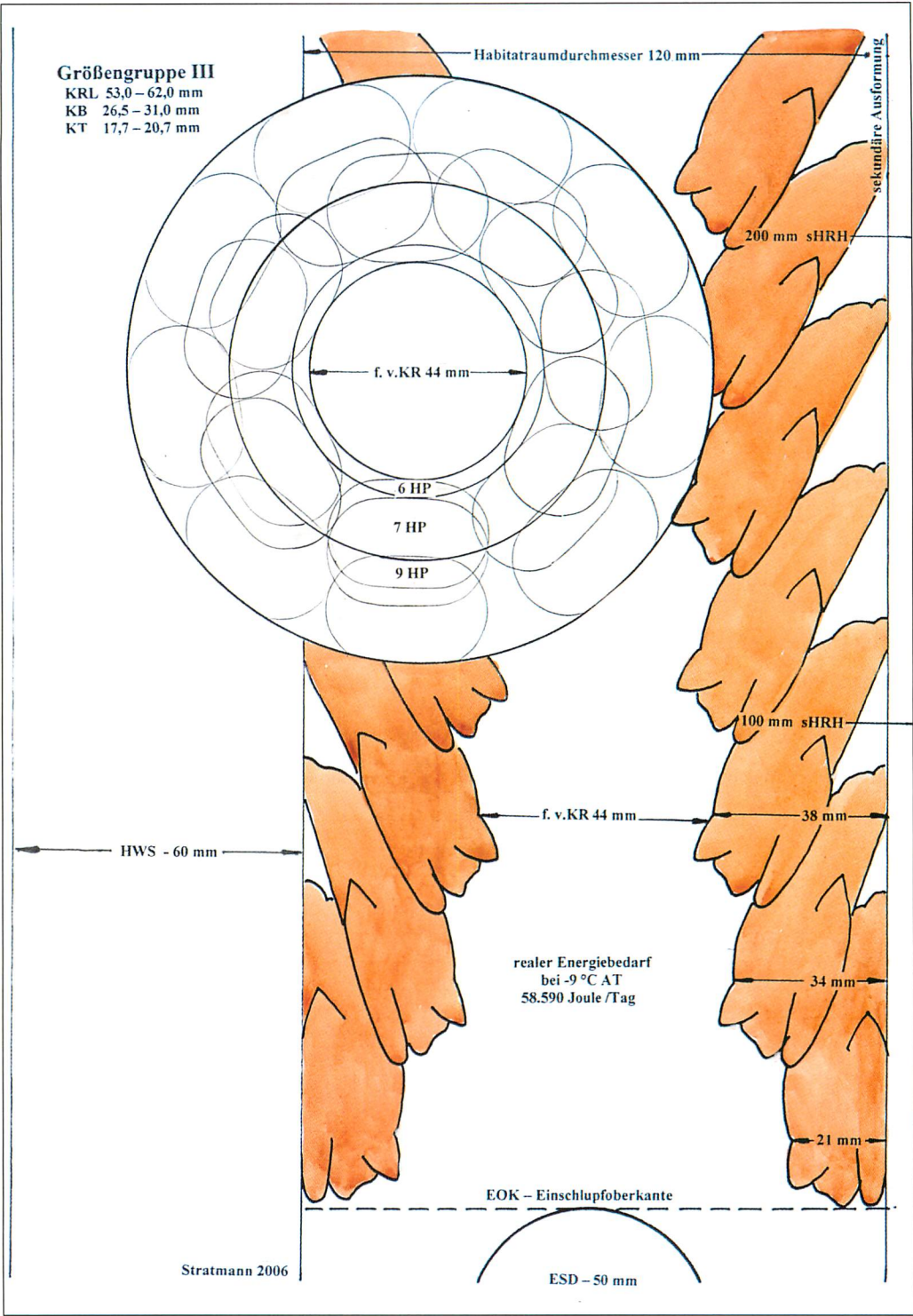


Abb. 5. Sicht auf die Clusterhangweise in der Größengruppe III

Tabelle 16. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe III (Blatt 1)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
124	15.669.632 Joule	= 969,35 Tage	500 mm
15. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
14. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
13. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
100	12.636.800 Joule	= 781,73 Tage	400 mm
12. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
11. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
10. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
76	9.603.968 Joule	= 594,12 Tage	300 mm
9. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
8. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
7. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
52	6.571.136 Joule	= 406,50 Tage	200 mm
6. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
5. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
4. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
28	3.538.304 Joule	= 218,88 Tage	100 mm
3. / 8	1.010.944 Joule	+ 62,53 Tage	
2. / 9	1.137.312 Joule	+ 70,35 Tage	
1. / 11	1.396.967 Joule	86,41 Tage	
Einschlupfoberkante			Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

Tabelle 17. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe III (Blatt 2)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
94	16.432.610 Joule	= 825,85 Tage	500 mm
15 / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
14. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
13. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
76	13.285.940 Joule	= 667,71 Tage	400 mm
12. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
11. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
10. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
58	10.139.270 Joule	= 509,57 Tage	300 mm
9. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
8. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
7. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
40	6.992.600 Joule	= 351,42 Tage	200 mm
6. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
5. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
4. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
22	3.845.930 Joule	= 193,28 Tage	100 mm
3. / 6	1.048.890 Joule	+ 52,71 Tage	
2. / 7	1.223.705 Joule	+ 61,50 Tage	
1. / 9	1.573.335 Joule	79,07 Tage	
Einschlupfoberkante			Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

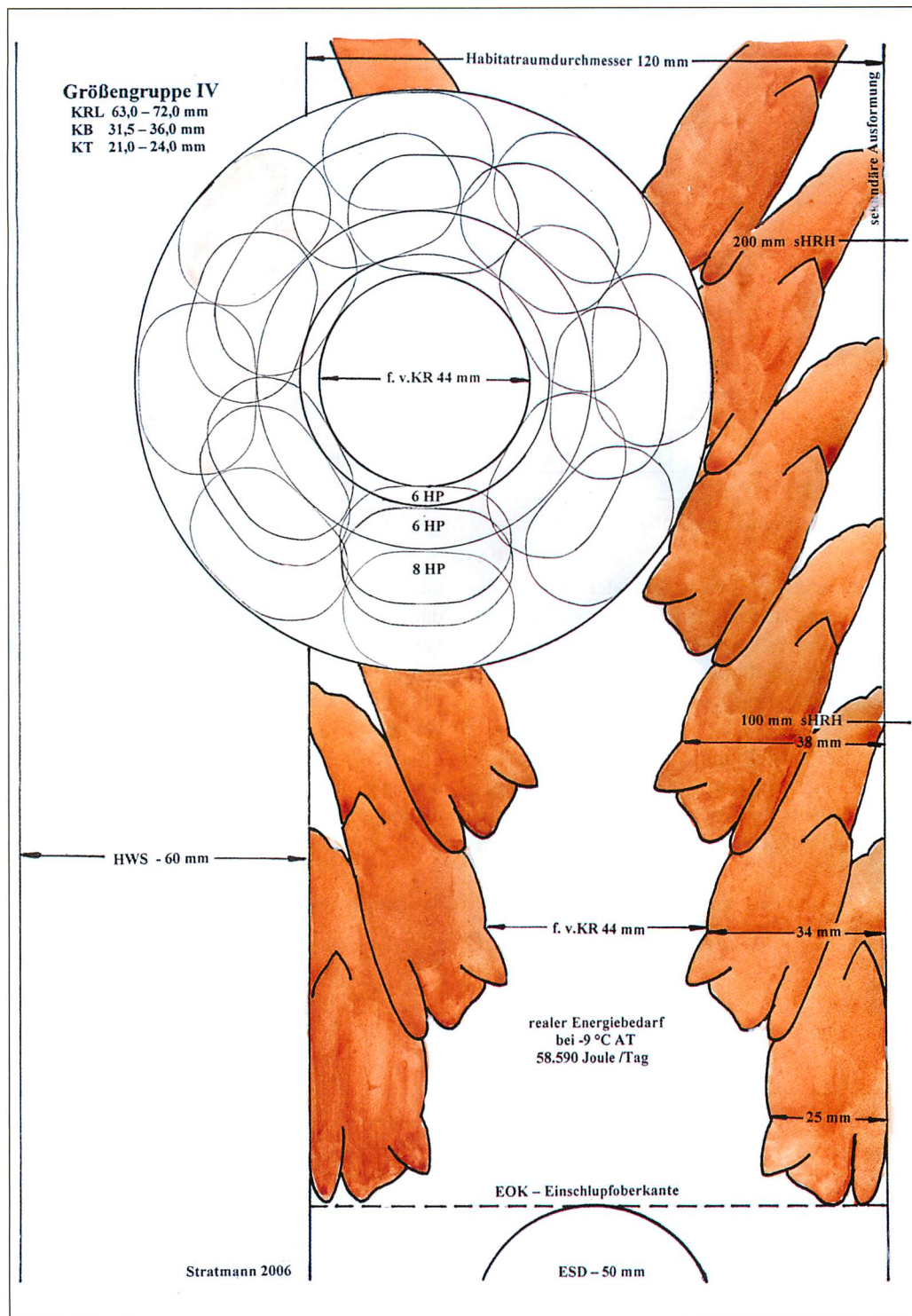


Abb. 6. Sicht auf die Clusterhangweise in der Größengruppe IV

Tabelle 18. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe IV (Blatt 1)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
73	15.887.574 Joule	= 883,27 Tage	500 mm
10. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
9. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
59	12.840.642 Joule	= 713,87 Tage	400 mm
8. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
7. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
45	9.793.710 Joule	= 544,48 Tage	300 mm
6. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
5. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
31	6.746.778 Joule	= 450,17 Tage	200 mm
4. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
3. / 7	1.523.466 Joule	+ 84,69 Tage	
17	3.699.846 Joule	= 205,69 Tage	100 mm
2. / 8	1.741.104 Joule	+ 96,79 Tage	
1. / 9	1.958.742 Joule	108,89 Tage	
Einschlupfoberkante			Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

proportionsregel wurde $\frac{1}{2}$ der KRL als Körperbreite und $\frac{1}{3}$ als Körpertiefe zugrunde gelegt. Für die Clusterhangordnung wurde die anatomisch gestützte $\frac{1}{2}$ KRL-Überdeckung gewählt bzw. vorausgesetzt.

Die Berücksichtigung der Körperproportionen allein im Rahmen des Höhlenlängsschnittes hätte zu falschen Schlußfolgerungen geführt. Erst wenn die Körperproportionen

auch in den Höhlenquerschnitt eingepaßt und dabei den sich durch die Clusterhangweise verändernden Anstiegswinkel der zweiten und dritten überdeckenden gegenüber der überdeckten untersten Hangreihe berücksichtigt werden, wird die Anzahl der integrierbaren Individuen je Hangreihe ebenso erkennbar wie der sich verjüngende freie vertikale Konvektionsraumquerschnitt.

Tabelle 19. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe IV (Blatt 2)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
62	15.227.696 Joule	= 818,33 Tage	500 mm
10. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
9. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
50	12.280.400 Joule	= 659,94 Tage	400 mm
8. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
7. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
38	9.333.104 Joule	= 501,55 Tage	300 mm
6. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
5. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
26	6.385.808 Joule	= 343,17 Tage	200 mm
4. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
3. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
14	3.438.512 Joule	= 184,78 Tage	100 mm
2. / 6	1.473.648 Joule	+ 79,19 Tage	
1. / 8	1.964.864 Joule	105,59 Tage	
Einschlupfoberkante			Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

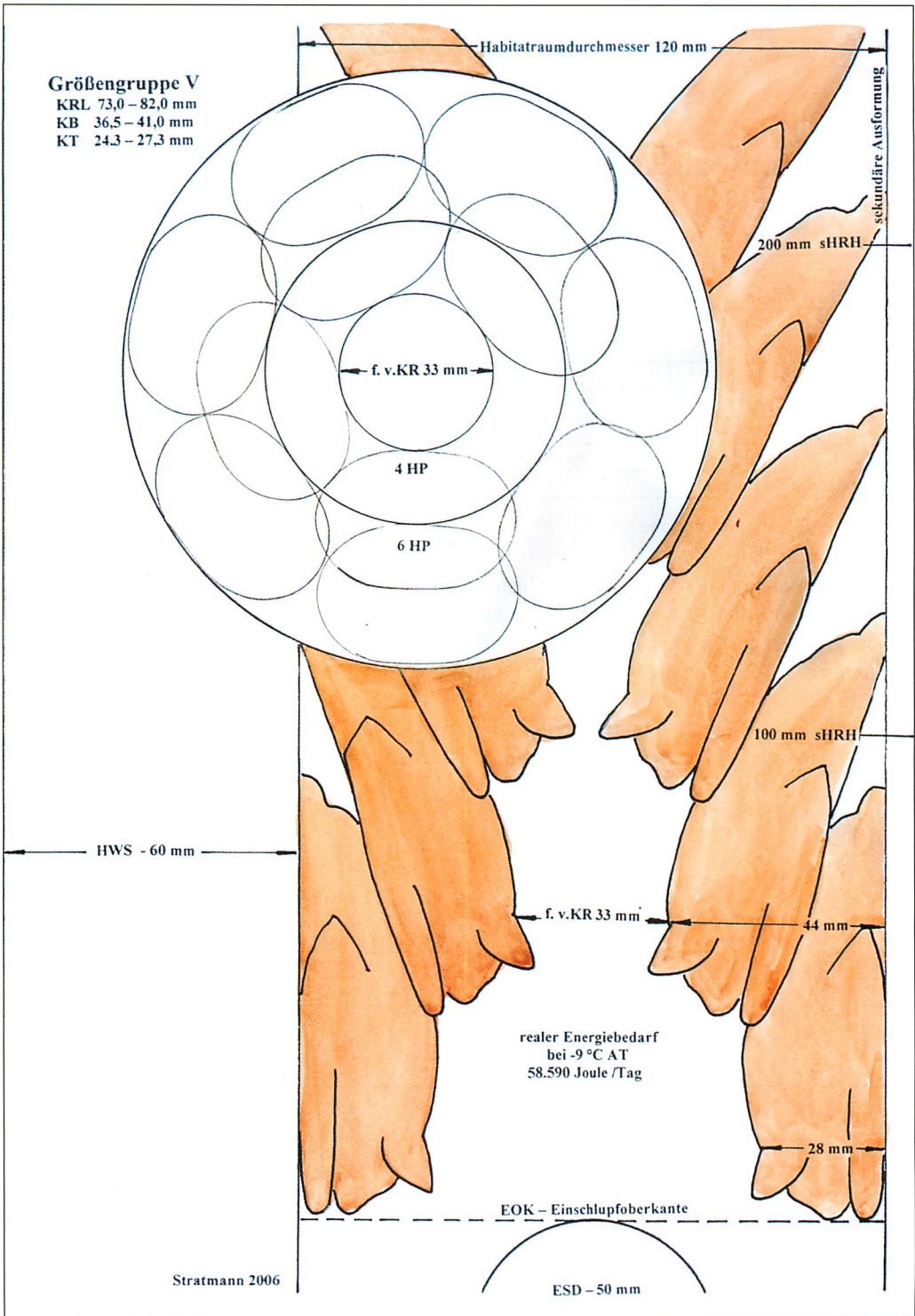


Abb. 7. Sicht auf die Clusterhangweise in der Größengruppe V

Tabelle 20. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe V (Blatt 1)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
44	12.889.448 Joule	= 761,34 Tage	500 mm
10. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
9. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
36	7.390.478 Joule	= 436,53 Tage	400 mm
8. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
7. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
28	5.651.542 Joule	= 333,82 Tage	300 mm
6. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
5. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
20	3.912.606 Joule	= 231,10 Tage	200 mm
4. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
3. / 4	1.171.768 Joule	+ 69,21 Tage	
12	3.515.304 Joule	= 207,63 Tage	100 mm
2. / 5	1.464.710 Joule	+ 86,51 Tage	
1. / 7	2.050.594 Joule	121,12 Tage	
Einschlupfoberkante			Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

Die Zusammenhänge zwischen den Clusterhangweisen in den einzelnen Fledermaus-Größengruppen ergeben sich aus den Abb. 3-7 und den Tab. 12-21. Anhand der Tabellen kann artspezifisch ermittelt und berechnet werden, wie viele Fledermäuse sich im temperierbaren Bereich einfinden können, wie groß deren durchschnittliches Energiepotential ist und wie lange es ausreicht, den realen Energiebe-

darf zur lebensbewahrenden Temperierung bei rückläufigen Außentemperaturen in den Starkfrostbereich abzusichern (Tab. 22, 23*, 24*, 25* und 26).

Deshalb ist es für in den Wäldern tätige Fledermausschützer, ob Spezialist, Förster, Waldbesitzer oder Waldbewirtschafter, wichtig, einen Bewertungsschlüssel für die Starkfrost-

Tabelle 21. Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung der Größengruppe V (Blatt 2)

Hangreihe / Hangplätze	Energiepotential	Energieäquivalent für	Habitatraumhöhe*
42	12.359.718 Joule	= 665,04Tage	500 mm
10. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
9. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
34	10.005.486 Joule	= 538,37 Tage	400 mm
8. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
7. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
26	7.651.254 Joule	= 411,69 Tage	300 mm
6. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
5. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
18	5.297.022 Joule	= 285,01 Tage	200 mm
4. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
3. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,33 Tage	
10	2.942.790 Joule	= 158,34 Tage	100 mm
2. / 4	1.177.116 Joule	+ 63,34 Tage	
1. / 6	1.765.674Joule	95,00 Tage	
Einschlupfoberkante	18.584,74		Einschlupfoberkante

* temperierte Habitatraumhöhe

habitate in die Hand zu bekommen. Dieser würde sie in die Lage versetzen, anhand von Baumart und Habitatraumstruktur vorausschauend sowohl die aussichtsreichsten potentiellen als auch die präsenten Überwinterungsbäume ermitteln, kartieren und kennzeichnen zu können.

Wirft man einen Blick in die Bonitätstabellen und auf die Höhe des verbleibenden Bestandes je Hektar, dürfte das Ansinnen, je Hektar waldbestockter Fläche jeweils einen potentiellen und zwei definitiv temperierbare Starkfrost-Habitatbäume zu erhalten, nicht vermessen sein. Das ist umso wichtiger, weil gegenwärtig nur beispielhafte Aussagen hinsichtlich des realen Energiebedarfs zu deren Temperierung artikuliert werden können. Diese Angaben ermittelte ich anhand von Modellen fortgeschritten sekundär ausgeformter Buntspechthöhlen. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um – wenn schon nicht für alle 19 forstlich relevanten Baumarten – zumindest für die vier bestandsprägenden Baumarten den realen Energiebedarf bei –10°C AT belegen zu können.

Bis dahin besteht nur die Möglichkeit, die für 12 Baumarten mathematisch ermittelten Energiebedarfswerte, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Temperierung einer adäquat fortgeschritten sekundär ausgeformten Buntspechthöhle erforderlich wären, zur Orientierung zu nutzen (Tab. 22-26).

7 Dokumentation, Auswertung der Bauparameter und Kennzeichnung der temperierbaren Starkfrost-Habitatbäume

- Übersichtskarte des Forstamtes (Maßstab 1 : 50.000) mit gekennzeichneten Revieren
- Revierkarte (Maßstab 1 : 10.000) mit zutreffenden Abteilungen, deren Alter und Bonität
- Forstgrundkarte (Maßstab 1 : 5.000) mit ermittelten Habitatbäumen einschließlich der GPS-Daten
- Baumkatasterkartei für jeden ermittelten Starkfrost-Habitatbaum

Tabelle 22. Ermittlung des temperierbaren Habitatraumvolumens in Clusterhöhe

Größengruppe	Kleiner Artvertreter/ großer Artvertreter	Hangplatzkapazität bei 500 mm Höhe	Ø individuelles E-Potential	E-Potential des Clusters	Habitatraum- volumen	Cluster- volumen	% des freien Habitatraum- Vol.	Energiebedarf zur Temperierung
I (1) (2)	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> <i>Myotis brandtii</i>	355 Hangplätze 244 Hangplätze	42.956 Joule	15.249.380 Joule	5.652 ccm	1.926,58 ccm	65,91 %	38.616,66 Joule
			52.502 Joule	12.810.488 Joule		3.012,91 ccm	46,69 %	27.355,67 Joule
II (1) (2)	<i>PLecotus auritus</i> <i>Myotis daubentonii</i>	244 Hangplätze 165 Hangplätze	63.838 Joule	15.576.472 Joule	5.652 ccm	3.232,51 ccm	42,80 %	25.076,52 Joule
			73.781 Joule	12.173.865 Joule		3.865,95 ccm	31,60 %	18.541,44 Joule
III (1) (2)	<i>Nyctalus leisleri</i> <i>Eptesicus nilssonii</i>	165 Hangplätze 94 Hangplätze	126.368 Joule	20.902.530 Joule	5.652 ccm	4.092,49 ccm	27,59 %	16.164,98 Joule
			174.815 Joule	16.432.610 Joule		3.732,55 ccm	33,96 %	19.897,64 Joule
IV (1) (2)	<i>Nyctalus noctula</i> <i>Myotis myotis</i>	94 Hangplätze 62 Hangplätze	217.368 Joule	20.432.592 Joule	5.652 ccm	3.917,35 ccm	30,70 %	17.987,13 Joule
			245.608 Joule	15.227.696 Joule		3.856,89 ccm	31,76 %	18.608,18 Joule
V (1) (2)	<i>Nyctalus noctula</i> <i>Myotis myotis</i>	62 Hangplätze 42 Hangplätze	292.942 Joule*	18.162.404 Joule	5.652 ccm	4.019,27 ccm	28,88 %	16.929,79 Joule
			294.729 Joule*	12.378.618 Joule		3.859,08 ccm	31,72 %	18.584,74 Joule

* maximale Energiereserve

Tabelle 26. Energiepotentiale der heimischen Fledermausarten - Bemessungsgrundlage: ♂♂ 18%, ♀♀ 20% der Masse

Species	minimales E -potential	Ø E-Potential	mittleres E-potential	Ø E-Potential	maximales E-potential	Ø E-potential
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	♂ 24.285 J ♀ 27.046 J	25.665 J	40.570 J 45.343 J	42.956 J	57.275 J 63.639 J	60.457 J
<i>Myotis mystacinus</i>	♂ 31.421 J ♀ 35.001 J	33.211 J	44.945 J 49.718 J	47.331 J	58.070 J 64.832 J	61.451 J
<i>Myotis brandtii</i>	♂ 32.217 J ♀ 35.797 J	34.007 J	49.718 J 55.286 J	52.502 J	66.821 J 74.378 J	70.599 J
<i>Plecotus auritus</i>	♂ 34.206 J ♀ 37.785 J	35.995 J	55.286 J 61.650 J	58.468 J	76.764 J 85.117 J	80.940 J
<i>Myotis nattereri</i>	♂ 35.797 J ♀ 38.774 J	37.285 J	56.577 J 63.241 J	59.909 J	77.958 J 86.706 J	82.333 J
<i>Plecotus austriacus</i>	♂ 37.785 J ♀ 41.763 J	39.774 J	60.457 J 67.219 J	63.838 J	83.526 J 93.072 J	88.299 J
<i>Barbastella barbastellus</i>	♂ 42.956 J ♀ 47.729 J	45.342 J	64.037 J 71.196 J	67.616 J	86.526 J 94.072 J	89.799 J
<i>Pipistrellus nathusii</i>	♂ 42.956 J ♀ 47.729 J	45.342 J	68.014 J 75.571 J	71.792 J	85.117 J 94.663 J	98.242 J
<i>Myotis daubentonii</i>	♂ 50.116 J ♀ 55.684 J	52.900 J	70.003 J 77.560 J	73.781 J	89.492 J 99.436 J	94.464 J
<i>Myotis bechsteinii</i>	♂ 55.684 J ♀ 61.650 J	58.667 J	70.003 J 77.560 J	73.781 J	84.322 J 93.470 J	88.896 J
<i>Myotis emarginatus</i>	♂ 50.116 J ♀ 56.584 J	53.350 J	72.378 J 80.742 J	76.560 J	96.459 J 106.198 J	101.328 J
<i>Eptesicus nilssonii</i>	♂ 57.275 J ♀ 63.639 J	60.457 J	82.333 J 91.481 J	86.907 J	107.391 J 119.323 J	113.357 J
<i>Vespertilio murinus</i>	♂ 85.913 J ♀ 95.459 J	90.686 J	108.186 J 120.517 J	114.351 J	130.858 J 145.177 J	137.017 J
<i>Myotis dasycneme</i>	♂ 103.811 J ♀ 115.346 J	109.578 J	120.914 J 134.438 J	127.676 J	138.017 J 153.132 J	145.574 J
<i>Nyctalus leisleri</i>	♂ 93.072 J ♀ 103.413 J	98.242 J	120.119 J 133.244 J	126.681 J	134.835 J 150.775 J	142.805 J
<i>Eptesicus serotinus</i>	♂ 113.357 J ♀ 116.937 J	115.147 J	159.098 J 176.996 J	168.047 J	213.191 J 236.658 J	224.924 J
<i>Nyctalus noctula</i>	♂ 127.278 J ♀ 141.199 J	134.238 J	206.032 J 228.703 J	217.367 J	277.626 J 308.253 J	292.939 J
<i>Myotis myotis</i>	♂ 186.145 J ♀ 206.827 J	196.486 J	232.681 J 258.534 J	245.607 J	279.217 J 310.241 J	294.729 J

Erläuterungen:
Die mittlere Masse wurde aus den Masseangaben von HACKETHAL (1987), SCHOBER & GRIMMBERGER (1998), Gebhard und RICHARZ & LIMBRUNNER (1999) ermittelt. Als Bemessungsgrundlage für die Speichfettreserven wurde ein prozentualer Anteil gewählt, der auch einem Mittelwert entspricht.

- In das Baumkataster sollten folgende Dokumente und Daten aufgenommen und ständig aktualisiert werden (Abb. 8):

 - a) von den Bezugsdienststellen und -personen
 - Name, Anschrift und Telefonnummer des Forstamtes und des Ansprechpartners
 - Name, Anschrift und Telefonnummer des zuständigen Revierförsters
 - Bezeichnung des Reviers, der Abteilungsnummer, ggf. mit Unterabteilung
 - Alter und Bonität des untersuchten Bestandes

Zusammenfassung

Es wird eingangs auf das Fehlen von Untersuchungen zur thermophysikalischen Beurteilung von Starkfrost-Habitatbäumen und zur Temperierbarkeit von Starkfrosthabitaten hingewiesen. Eine erste Möglichkeit zur Beurteilung der thermophysikalischen Eigenschaften forstlich relevanter Baumarten und der Bewertung der Temperierbarkeit wird vorgestellt.

Die Bonitierungssysteme der vier Hauptbaumarten – Fichte, Kiefer, Buche und Eiche – werden vorgestellt. Anhand der Altersstruktur und Bonität läßt sich erkennen, in welchen Beständen die strukturellen Voraussetzungen für das Einzimmern von Primärhöhlen durch den Buntspecht bzw. für das Vorhandensein fortgeschritten sekundär ausgeformter Bruthöhlen erwartet werden können. Die Hangplatz- und Energiepotentiale in der Clusterhangordnung von verschiedenen Größengruppen der Fledermäuse werden veranschaulicht.

Es wird versucht, den Zeitraum zu ermitteln, in dem ein Starkfrosthabitat temperierbar wird, über eine durchschnittlich strenge Starkfrostperiode temperierbar bleibt und später als untemperierbar wieder ausscheidet.

Abschließend werden die erforderlichen Arbeitsmittel benannt, die Notwendigkeit der Bilddokumentation betont und auf die Erfassung der Habitatbauparameter hingewiesen, die für die Ermittlung der Starkfrost-Habitatbäume und zur Berechnung der Temperierbarkeit des Starkfrosthabitats zu erfassen sind.

Dem Gesetzgeber wird erneut eine bundeseinheitliche Kennzeichnung der temperierbaren Starkfrost-Habitatbäume als „Geschützter Fledermaus-Habitatbaum“ empfohlen, die als erweiterte Rechtsvorschrift im BNatSchG, der BartSchVO und dem BWG integriert werden sollte.

Schrifttum

ALTUM, B. (1872): Forstzoologie I. Säugethiere II. Ordnung Handflatterer, *Chiroptera*. Verlag J. Springer. Berlin, p. 11-38.

BECHSTEIN, J. M. (1792): Kurze aber gründliche Musterrung aller bisher mit Recht oder Unrecht von den Jägern als schädlich geachteten oder getöteten Thiere. In: Gothaische gelehrte Zeitung bei C. W. S. Ettinger. Gotha.

EISENTRAUT, M. (1937): Die deutschen Fledermäuse – eine biologische Studie. Verlag Dr. Paul Schöps. Leipzig (184 pp.).

GEBHARD, J. (1997): Fledermäuse. Birkhäuser Verlag. Basel, Boston, Berlin (381 pp.).

HACKETHAL, H. (1987): Ordnung *Chiroptera* (Fledertiere). In: GÖRNER, M., & HACKETHAL, H.: Säugetiere Europas. Neumann Verlag. Leipzig, Radebeul (p. 72-129).

KNEITZ, - (1961): Zur Frage der Verteilung von Spechthöhlen und der Ausrichtung des Flugloches. *Waldhygiene* 4(3/4), 80-120.

MESCHEDE, A., & HELLER, K.-G. (2000): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern. Schr.R. Landschaftspf. Natursch. H. 66. Bonn-Bad Godesberg (374 pp.).

-, -, & BOYE, P. (2002): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern – Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz. Schr.R. Landschaftspf. Natursch. H. 71. Bonn-Bad Godesberg (288 pp.).

RICHARZ, K., & LIMBRUNNER, A. (1999): Fledermäuse – Fliegende Kobolde der Nacht. 2., überarb. u. akt. Aufl. Stuttgart (192 pp.).

SCHOBER, W., & GRIMMBERGER, E. (1998): Die Fledermäuse Europas, kennen, bestimmen, schützen. Kosmos-Naturführer. 2., akt. u. erw. Aufl. Stuttgart (265 pp.).

STRATMANN, B. (1978): Faunistisch-ökologische Beobachtungen an einer Population von *Nyctalus noctula* im Revier Ecktanen des StFB Waren (Müritz). *Nyctalus* (N.F.) 1, 2-22.

-(2007): Zur natürlichen Habitatausformung und Habitatausstattung der Wälder für Fledermäuse. *Ibid.* 12, 354-371.

TRAPPMANN, C., & RÖPLING, S. (1996): Bemerkenswerte Winterquartierfunde des Abendseglers, *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774). *Ibid.* 6, 114-120.