

Zur natürlichen Habitatausformung und Habitatausstattung der Wälder für Fledermäuse

Von BODO STRATMANN, Naumburg

Mit 6 Abbildungen

1 Zur ökologischen Bedeutung der Fledermaus-Habitatbäume

Anders als beim überwiegenden Teil der heimischen Landsäugetiere, die in der Lage sind, sich ihre Lebensstätten selbst zu bauen, sind die baumbewohnenden Fledermäuse als Nachnutzer auf das Vorhandensein geeigneter Habitate angewiesen. Dazu gehören einerseits die Sommerhabitatbäume mit Fäulnis-, Aufriß- oder Spechtbruthöhlen mit fortgeschritten sekundärer Ausformung, die als Tagesruhe-, Paarungs-, Geburts- und Aufzuchtplätze in Anspruch genommen werden. Andererseits benötigen sie für die ganzjährige Integration und das Überleben der Population im Einstandsgebiet der Winterhabitatbäume mit apikal weit fortgeschrittenen, sekundär ausgeformten Hohlräumen, die über alle Frostperioden hinweg mittels sozialer Wärmeregulation temperierbar sind.

In einem Integrationsbestand ist nicht die quantitative Habitatausstattung, sondern die qualitative mit dem darin verfügbaren Hangplatzpotential dafür ausschlaggebend, wie viel Stammpopulationen sich in welcher Stärke wie lange integrieren können. Defizite im qualitativen Spektrum der Sommerhabitatbäume führen bereits in den warmen Monaten zu häufigeren, teils auch raumgreifenden Habitatwechseln. In Kälteperioden während der Übergangszeit würden sie bei den im Einstandsgebiet vorkommenden Sommerpopulationen den Impuls für einen frühzeitigen Wechsel in die temperierbaren Winterhabitatbäume auslösen.

Defizite im qualitativen Spektrum dieser Habitatbäume wirken sich bereits zu Beginn der Frostperiode gravierend aus, weil sie die

im Einstandsgebiet lebenden Stammpopulationen, teilweise oder vollständig, zu einem mehr oder minder weiträumigem Gebietswechsel zwingen, für die es sonst aus thermophysikalischer Sicht keine Veranlassung gäbe. Für die in nördlicheren und nordöstlicheren Sommereinstandsgebieten vorkommenden Populationen können solche Wechsel zu weiten Migrationen führen.

Genau diese in den Wirtschaftswäldern durch menschliches Tun verursachten Migrationen sind es, die alljährlich mit einer bis zu 90%igen Mortalität verbunden sind, weil die Migranten schon zu Beginn der Frostperiode vielfach in energieuneffizient temperierbare Habitate wechseln müssen, was ihre Reserven beizeiten hoch beansprucht. Bei einem frühzeitigen Starkfrosteinbruch verenden sie in einer solchen Frostfalle, in der sie infolge der schnellen Erschöpfung ihrer Reserven erfrieren. Dieses flächendeckende Defizit an temperierbaren Starkfrost-Habitatbäumen ist die Ursache für gravierende Mittwinterverluste, welche die seit Jahrzehnten anhaltenden Rückgänge verursachen.

Solange diese Ursachen nicht behoben sind, bleiben alle Absichtserklärungen zum Schutz der Fledermäuse und zur Bewahrung ihrer Bestände einschließlich der Lebensstätten reine Illusion. Wem ernsthaft an der Erhaltung der Fledermäuse gelegen ist, der muß sich tiefergründiger als bisher mit der Problematik der temperierbaren Starkfrost-Habitatbäume befassen.

Es ist hinlänglich bekannt, daß die für die Existenz der Fledermäuse unverzichtbaren Baumhöhlen zunächst als potentielle Habitate

auf abiotische oder biotische Art und Weise entstehen. Die wichtigsten Ursachen für die abiotische Entstehung sind:

- **Totäste.** Damit werden Äste bezeichnet, die gegenüber den Grünästen nicht mehr fest mit dem umgebenden Schaftholz verwachsen sind und deshalb als Ausfall- oder Durchfalläste zu einer ersten Öffnung im Schaft führen. Schwarzäste sind demgegenüber Äste, die in die Rinde eingewachsen sind und in der Regel wie ein Fremdkörper überwallt werden.
- **Blitzrisse.** Dabei handelt es sich um Risse, die insbesondere in Schäften mit borkiger, schwer benetzbarer Rinde als tiefe Radialrisse entstehen.
- **Radialrisse.** So bezeichnet man Risse, die während der Frostperiode durch Spannungsunterschiede in den verschiedenen Stammabschnitten als tiefe, teils von der Rinde bis ins Mark reichende radiale Kernrisse entstehen.
- **Spannungsrisse.** Darunter sind Risse im Schaft zu verstehen, die bei starker Frosteinwirkung entweder als Frostrisse oder bei starker solarer Einstrahlung als Hitzerrisse entstehen und häufig von der Borke bis tief in das Mark hineinreichen.
- **Ring- und Kernschäle.** Primär als Ring- oder Kernriß entstanden, hat sie ihre Ursache in Wuchsspannungen im unteren Stammteil überalterter Bäume, die, sofern sie dem Jahresring folgend, die Zuwachszonen auf längere Strecke voneinander trennt als Ringschäle oder, sofern sie den Kern selbst tief spaltet, als Kernschäle bezeichnet wird.
- **Borkemantelhöhlen.** Sie entstehen ausschließlich am Totholz stark borkiger Schäfte, bei denen sich infolge des Holzschwundes des austrocknenden Schaftes der Borkemantel abgelöst hat, diesen für einige Jahre formstabil umhüllt, bevor sie durch Witterungseinflüsse aufreißt, partiell ausbricht und letztlich zusammen- oder abfällt.

Die wichtigsten biotischen Ausformungen sind:

- **Fäulnis- und Aufrißhöhlen.** Ihr Ursprung liegt in einer der vorab genannten primären Ausformungen, die sich, abhängig von den Standortbedingungen, der Holzdichte, Holzbeschaffenheit und Standzeit des betreffenden Baumes, unter dem Einfluß holzerzeugender oder holzerstörender Pilze sekundär weiter ausgebildet haben.
- **Spechthöhlen.** Es handelt sich um im Rahmen des Balzverhaltens oder der Nahrungssuche in Schäfte oder Starkäste eingezimmerte primäre Ausformungen, die der Specht einschlägt, wenn er am Klang des Holzes beim Abklopfen eines Schaftes eine Vorschädigung durch Weißfäule, Rotfäule oder Schwammbefall wahrnimmt oder auf einen durch Schwarzastigkeit verursachten Holzschaden trifft. In Weichhölzern bedarf es dieser Vorschädigung nicht.

2 Potentielle und definitive Fledermaus-Habitatbäume

Durch das Einzimmern ihrer Bruthöhlen sind die mittelgroßen und großen Spechte, der Schwarzspecht (*Dryocopus martius*) ausgenommen, die maßgeblichen Baumeister der späteren Lebensstätten der Fledermäuse. Abgesehen vom Buntspecht (*Dryobates major*), der seine Bruthöhlen mitunter über mehrere Jahre nutzt, werden sie von anderen Specharten nur für eine Brutsaison in Anspruch genommen. Das schließt jedoch nicht aus, daß auch sie ihre ehemaligen Bruthöhlen noch sporadisch zum Schlafen aufsuchen.

Die Bruthöhlen der kleinen Specharten finden meist schon nach der Brutperiode die Akzeptanz von Nachnutzern, zu denen neben Schläfern und Waldmäusen auch kleinere Vogelarten zählen. Für die Bruthöhle von Buntspecht und Grünspecht (*Picus viridis*) stellt sich als erster Nachnutzer meist der Star (*Sturnus vulgaris*) ein. Auch wenn Fledermäuse für diese primär ausgeformten Habitate vorerst nur als potentielle Nachnutzer infrage kom-

men, bestätigt die Ausnahme, daß sie bei erheblichen Defiziten an fortgeschritten sekundär ausgeformten Habitaten auch eine primär ausgeformte Bruthöhle kurzzeitig als Rückzugsraum akzeptieren. Diese Akzeptanz hört aber spätestens dann auf, wenn es zum Körperkontakt mit den sich in der Bruthöhle halb-konsistent akkumulierenden Exkrementen und / oder den koprophilen Parasiten kommt.

Für die großvolumigen Schwarzspechthöhlen kommen als Nachnutzer die Hohltaube (*Columba oenas*), der Rauhfußkauz (*Aegolius funereus*), das Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*) und der Baumarder (*Martes martes*) in Frage. Insbesondere wegen ihrer Zugänglichkeit für Prädatoren werden sie von Fledermäusen in der Regel gemieden. Habitatdefizite können die Ausnahme bestätigen.

3 Zur besonderen Bedeutung der Bruthöhlen des Buntspechtes für die Fledermäuse und über Schwächen der gegenwärtigen Waldbewirtschaftung

Da der Buntspecht gegenüber allen anderen Spechten sowohl in Laub- als auch in Nadelwäldern vorkommt, wo er, auch gegenüber den anderen Spechten, in einer Brutsaison mehrere Höhlen einzuzimmern beginnt, letztendlich aber nur die spätere Bruthöhle vollendet, hat er in den Wirtschaftswäldern für die nachnutzenden Fledermäuse die größte Bedeutung.

Das ist damit zu begründen, daß er die größte Siedlungsdichte aufweist und daß seine primär ausgeformten Bruthöhlen, gegenüber denen aller anderen Spechthöhlen, bereits den Querschnitt aufweisen, der im weiteren sekundären Ausformungsprozeß zum Fledermaushabitat das günstigste Körper-Raum-Verhältnis mit dem größten temperierbaren Hangplatzpotential vorhalten wird. Aus diesem Grunde werden sich die nachfolgenden Ausführungen ausschließlich auf diese Habitate konzentrieren.

Bei der Beurteilung und Bewertung der na-

türlichen Habitatausstattung für die Fledermäuse in den Wäldern und Forsten (s. Bundesforschungsbericht „Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern“) bezog man sich, mangels Erkenntnissen über fortgeschritten sekundär ausgeformte Bruthöhlen – abgesehen von mosaikartigen Einzeluntersuchungen – im wesentlichen auf ornithologische Höhlenkartierungen. Das führte offensichtlich auch zu dem Bewertungsansatz, der davon ausgeht (Zitat): „Für den Fledermausschutz wichtig zu wissen ist jedoch, wie viele natürliche Höhlen in den verschiedenen Wäldern auftreten, wie und wie schnell sie entstehen und wieder vergehen, um diese Zahlen mit den tatsächlich von Fledermäusen besetzten Quartieren vergleichen und daraus Bewirtschaftungsempfehlungen ableiten zu können.“

Für die Bewahrung der Fledermäuse ist nicht die Quantität, sondern die Qualität, d. h. der sekundäre Ausformungsgrad der Höhlen und der Schaftdurchmesser der Bäume maßgebend. Diese Kriterien, ohne die eine solche Bewertung gar nicht möglich ist, sind dem Forschungsbericht nicht zu entnehmen. Das betrifft ebenso Aussagen zum vorhandenen Integrationsbestand, zur Altersstruktur und Bonität, in dem die Voraussetzungen für das Einzimmern der Bruthöhlen gegeben sind.

Darauf ausdrücklich hinzuweisen ist auch deshalb geboten, weil sowohl im Bundesnaturschutzgesetz als auch im Bundeswaldgesetz bis heute nur undifferenziert von Höhlenbrüterbäumen die Rede ist. Soll es den Verfassern einerseits nicht bewußt gewesen sein, daß Fledermäuse keine Höhlenbrüter (sprich Vögel), sondern lebendgebärende Säugetiere sind und daß sich andererseits die Habitatraumstrukturen der ersteren elementar von denen der letzteren unterscheiden? Wäre zumindest dieser Unterschied bewußt gewesen, wäre man bei der Formulierung dieser Gesetzestexte gar nicht umhin gekommen, zwischen diesen Habitaten zu differenzieren.

Offenbar bestehen über die Habitatansprüche der Fledermäuse und deren Jahresrhythmik keine klaren Vorstellungen. Wie ist sonst

zu erklären, daß man den Schutz der Höhlenbrüterbäume für die Zeitspanne des Winterholzeinschlages aussetzt? Das kann man zwar im Hinblick auf die primär ausgeformten Habitate der Höhlenbrüter tun, ohne diesen unmittelbaren Schaden zuzufügen, auf keinen Fall aber im Hinblick auf die fortgeschritten sekundär ausgeformten Habitate der Fledermäuse, die diese überlebenswichtigen Starkfrost-Habitatbäume mit Beginn der Frostperiode aufgesucht haben, um darin in tiefer Lethargie die lebensfeindlichen Wintermonate zu überdauern.

Nur mangels dieser Sachkenntnis ist zu erklären, warum der Gesetzgeber so elementar gegen die eigene Artenschutzverordnung und die europäischen Abkommen zum Schutz der heimischen und wandernden Fledermausarten, zur Bewahrung ihrer Populationen und Erhaltung ihrer Wohnstätten verstößt. Bis heute war er weder in der Lage noch Willens, den ganzjährigen Schutz und die Kennzeichnung der für das Überleben der waldbewohnenden Fledermäuse unverzichtbaren Starkfrost-Habitatbäume vorzuschreiben und Handlungs- und Bewirtschaftungsrichtlinien auszureichen, die verbindlich vorgeben, wie und in welchem Umfang dies in der forstwirtschaftlichen Praxis umzusetzen ist. Hier besteht, wenn wir international nicht unglaublich werden wollen, zwingender Handlungsbedarf, diesen Schutz sowohl im Bundesnaturschutzgesetz als auch im Bundeswaldgesetz habitatspezifisch aufzunehmen.

4 Möglichkeiten realitätsnaher Beurteilung der Habitatausstattung für Fledermäuse

Eine erste Vorstellung von der Gesamtgröße der Waldflächen, in denen frühestens mit natürlichen Habitatausformungen gerechnet werden kann, erhält man, wenn von den 10.700.000 ha Gesamtwaldbestand in Deutschland die 7.383.000 ha subtrahiert werden, deren Bestockung jünger als 80 Jahre ist, da in diesen Beständen die erforderlichen Stammstärken, die die entscheidende Voraussetzung für die primäre Habitatausformung durch den

Buntspecht ist, nur vereinzelt in höheren Bonitäten präsent sind. Daraus folgert, daß überhaupt nur auf 3.317.000 ha waldbestockter Fläche in bestimmten Altersstrukturen und Bonitäten mit primär ausgeformten Spechtbruthöhlen gerechnet werden kann.

Der Buntspecht, der gegenüber anderen Spechtarten sowohl in reinen Nadel- und Laubwäldern als auch in allen Mischbeständen vorkommt, beansprucht je nach Nahrungsangebot und abhängig von jahreszeitlichen Unterschieden Brut- und Wohnreviere zwischen 20 und 80 ha je Brutpaar. Setzt man dies ins Verhältnis zur Gesamtfläche, die zur Verfügung steht, und geht von dem nicht erreichbaren Idealfall einer homogenen Verbreitung aus, dann kämen in Deutschland – theoretisch! – zwischen ca. 41.500 und 166.000 Buntspecht-Brutpaare vor.

Mit der primären Habitatausformung beginnt der Buntspecht aber erst ab 240 mm Schaftstärke, was infolge des sich nach oben apikal verjüngenden Stammes ab einer Höhe von 1,3 m einen mittleren Durchmesser des Baumes von mindestens 270 mm voraussetzt. Ein Blick in die Bonitätstabellen und -systeme der Fichte, Kiefer, Rotbuche und Eiche verdeutlicht, daß dieser Wert nur näherungsweise ausgewiesen ist. Bei der Orientierung auf die nächstgelegenen Näherungswerte kommt man zur Erkenntnis, daß der Buntspecht je nach Bonität die Voraussetzungen für das Einzimmer seiner Bruthöhle

bei der Fichte frühestens im Alter von 50, spätestens 120 Jahren,
 bei der Kiefer frühestens im Alter von 50, spätestens 135 Jahren,
 bei der Buche frühestens im Alter von 70, spätestens 115 Jahren,
 bei der Eiche frühestens im Alter von 85, spätestens 150 Jahren

vorfindet.

Das heißt, von den rund 3,3 Mill. ha möglicher Besiedlungsfläche kommt allein von der Altersstruktur und Bonität her nur ein ver-

schwindend geringer Prozentsatz überhaupt in Betracht. Dieser verringert sich im Fichten- und Kiefernbestand allerdings nicht weiter, weil das Einzimmern bei Weichhölzern auch in gesunden Schäften erfolgen kann, beschränkt sich aber bei den Harthölzern (Buche, Eiche) ausschließlich auf die vorgeschädigten Stämme.

Im Rahmen der Futtersuche oder des Balzverhaltens beginnt der Buntspecht in einer Saison mehrere Höhlen zu zimmern („Anschläge“), vollendet letztlich aber nur seine spätere Bruthöhle. Welcher Ausformungsgrad sich tatsächlich hinter einem aus der Bodensperspektive erkennbaren Spechtloch befindet, kann man von unten nicht bestimmen. Hinsichtlich der Beurteilung des sekundären Ausformungsgrades setzt dies voraus, daß zumindest alle erkannten Fledermaus-Habitatbäume erstiegen und die Raumparameter vermessen werden.

Anhand der Untersuchungen zur Temperierbarkeit von Großraumhöhlen als Starkfrost-Ersatzhabitate ist mir bekannt, daß eine fortgeschritten sekundär ausgeformte Fichten-Höhlung, die von einem 60 mm starken Holzmantel umgeben ist, energieeffizient temperierbar ist. Eine volle Inanspruchnahme des temperierbaren Hangplatzpotentials vorausgesetzt, ist dies bei strengem Dauerfrost von -10°C über 90 Tage möglich, ohne daß es zur Erschöpfung der Energiereserven kommt. Diese energiereich idealen Habitatraumstrukturen kommen wahrscheinlich nur unter besonders günstigen Standortbedingungen als absolute Ausnahme vor. Um hinsichtlich Kiefer, Buche und Eiche zu entsprechend vergleichbaren Erkenntnissen zu kommen, fehlte mir leider als Voraussetzung die Finanzierung.

Im Hinblick auf die Bewertung der Temperierbarkeit einer natürlichen ausgeformten Buntspechthöhle besteht das Problem darin, daß der Habitatraum, der in den thermophysikalisch optimalen Stammquerschnitten ab 240 mm eingezimmert worden ist, erst primär ausgeformt präsent ist. Mit anderen Worten: ener-

gieeffizient temperierbare Fledermaushabitate gibt es im qualitativen Spektrum der fortgeschritten sekundär ausgeformten Buntspechthöhlen in den unsere Wälder prägenden vier Hauptbaumarten, wenn man von der Ausnahme im Fichtenforst absieht, überhaupt nicht. Wird Jahre nach dem Einzimmern der Primärhabitate der erforderliche sekundäre Ausformungsgrad erreicht, welcher die Qualität eines temperierbaren Starkfrosthabitats anzunehmen beginnt, ist dieser Habitatraum infolge des zwischenzeitlichen Stammstärkenzuwachses nur noch mit einem wesentlich höheren Energieaufwand zu temperieren.

Aber selbst dieser Zeitraum der energieeffizientesten Temperierbarkeit ist bei den natürlichen Habitaten der Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, ungeachtet des durch die unterschiedlichen Holzdichten etwas variierenden realen Energiebedarfs, lediglich auf die geringe Zeitspanne von 5 Jahren begrenzt, weil sich mit jedem weiteren Stammdickenzuwachs der reale Energiebedarf weiter erhöht. Wenn sich außer der apikalwärts gerichteten Ausformung auch die Körper-Raum-Relation innerhalb des Habitatraumes noch zunehmend ungünstiger verändert, ohne daß dabei ein adäquates temperierbares Hangplatzpotential entsteht, wird der Habitatraum früher oder später untemperierbar.

Letztendlich können anhand dieser Ergebnisse nachvollziehbare Aussagen darüber gemacht werden, welcher Ausformungsgrad das erforderliche Hangplatzpotential vorhält, in dem sich ein Cluster integrieren kann, dessen Energiepotential ausreicht, diesen sekundär ausgeformten Raum über eine längere Dauerfrostperiode von -10°C temperieren zu können. Anhand dieser Erkenntnisse ist es möglich, die natürlichen Habitatbäume zu klassifizieren und, nachvollziehbar für den Waldbesitzer und Forstmann, von einem temperierbaren Starkfrost-Habitatbaum sprechen zu können, der es rechtfertigt, solange er temperierbar bleibt, als „Geschützter Habitatbaum“ kartiert, gekennzeichnet und bewußt bewahrt zu werden.

5 Akzeptanzbeginn und Akzeptanzverlust sekundär ausgeformter Spechthöhlen seitens der Fledermäuse

Die Akzeptanz einer sich sekundär ausformenden Buntspechthöhle setzt seitens der Fledermäuse dann ein, wenn die Ausformung oberhalb der Einschluflöffnung so weit fortgeschritten ist, daß der geschützte Hangplatzraum zumindest die Körperlänge der betreffenden Fledermausart aufweist (Abb. 1). Von einer Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) würden bereits 33 mm, von einem Abendsegler (*Nyctalus noctula*) hingegen erst 60 mm Höhe akzeptiert. Hat es diese erste Akzeptanz gegeben, verliert sie ein Wärme-Kälte-Habitat erst dann wieder, wenn die in der primären Ausformung akkumulierten halbkonsistenten Exkremente über den unteren Rand der Ein-

schluflöffnung auszulaufen beginnen. Dann kommt es beim Hinein- und Heraus kriechen der Fledermäuse zur Verschmutzung der Bauchhaare, Flug- und Schwanzhäute. Eine weitere Ursache für die Aufgabe der Höhle können die koprophagen und weitere Fledermausparasiten sein.

In günstigen Fällen kann es durch Einbeziehung eines Aus- oder Durchfallastes im weiteren sekundären Ausformungsprozeß zur Verbindung mit einer oberhalb im Schaft inserierten Baumhöhle oder durch das erneute Einzimmern eines weiteren Spechtloches dazu kommen, daß eine zweite Ein- und Auschluflöffnung entsteht, die genutzt werden kann, während die primäre Ein- und Auschluflöffnung gewährleistet, daß es zu keiner weiteren Kontaktierung kommt. Sowohl als Wärme-Kälte- als auch als Starkfrosthabitat

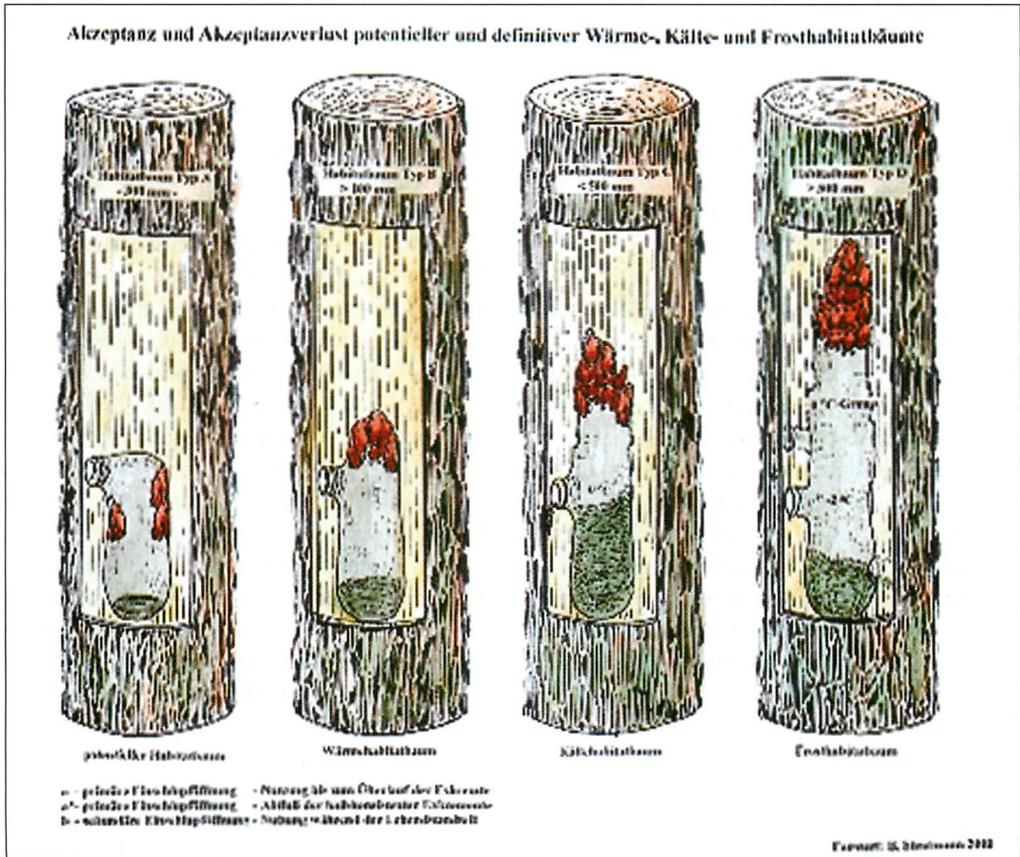


Abb. 1. Akzeptanz und Akzeptanzverlust sich sekundär ausformender Spechthöhlen. Alle Entwürfe von Bodo STRATMANN

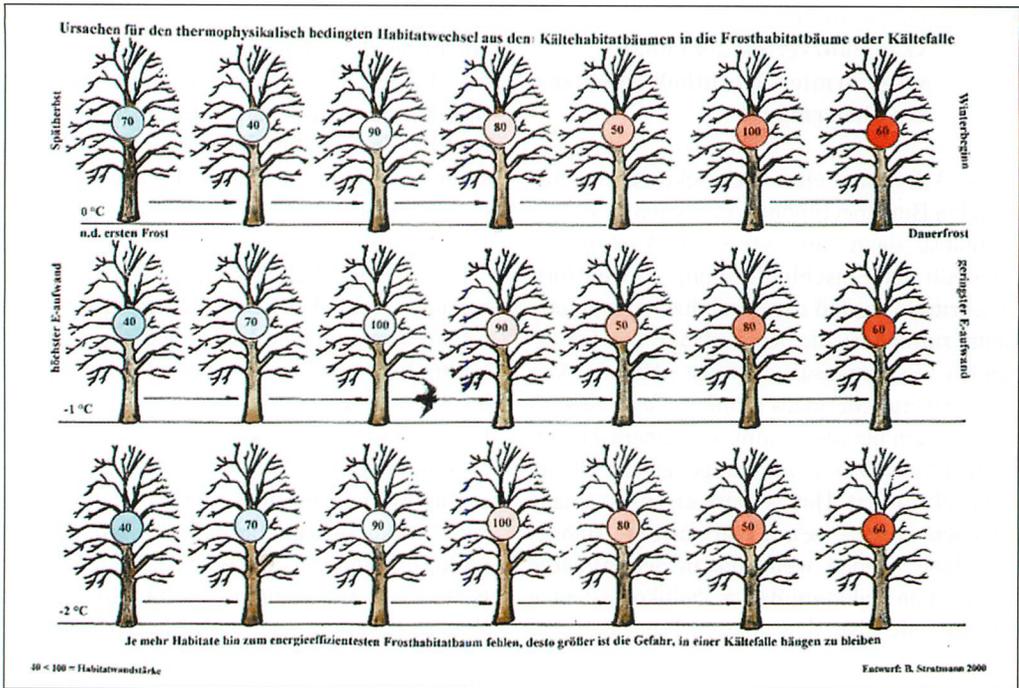


Abb. 2. Thermophysikalische Ursachen für den innersaisonalen Habitatwechsel

können diese Räume, sofern sie sich nicht durch einen Starkastausbruch oder Schaftabbruch kaminartig öffnen, die Akzeptanz der Fledermäuse über die gesamte Lebenszeit des Habitatbaumes behalten.

Ob und wann eine sich fortgeschritten sekundär ausformende Baumhöhle bei rückläufigen Außentemperaturen verlassen wird, hängt von deren Temperierbarkeit ab. Solche thermophysikalisch bedingten Quartierwechsel vollziehen sich innersaisonal durch die unterschiedlichen Einstrahlungsverhältnisse, erreichen ihren Höhepunkt aber erst mit Beginn der Kältephasen in der Übergangszeit. Aus diesem Grunde werden diese Habitaträume, die in der frostfreien Zeit in Anspruch genommen werden, von mir als Wärme-Kälte-Habitate bezeichnet. Rückläufige Temperaturen bis nahe dem Gefrierpunkt lösen den Impuls für den beginnenden saisonalen Habitatwechsel aus, der seinen Höhepunkt nach den ersten Nächten mit leichten Frösten erreicht.

Weil die Temperaturen der Wärme-Kälte-Habitate sich der Außentemperatur nur mit ge-

ringer zeitlicher Verzögerung anpassen, kühlen sie bei -2°C Außentemperatur ausnahmslos bis nahe dem Gefrierpunkt aus. Mit dem Erreichen des unteren Schwellenwertes, der bei $0,5^{\circ}\text{C}$ liegt, beginnen die Fledermäuse am Anfang der Frostperiode mit der sozialen Thermoregulation. Bereits die ersten Amplitudenfrequenzen vermitteln ihnen instinktiv, ob dieser Raum energieeffizient zu temperieren ist. Trifft dies nicht zu, wird die Amplitudenfrequenz der Temperierungsintervalle zum Impulsgeber für den Beginn des sozialen Quartierwechsels in frosttaugliche Räume. Abhängig davon, ob diese nur bei leichtem Frost zwischen $-0,1$ und $-2,0^{\circ}\text{C}$ oder bei mäßigem zwischen $-2,1$ und $-4,0^{\circ}\text{C}$ zu temperieren sind, kommt es zu Beginn der Frostperiode meist noch zu weiteren Wechseln, die spätestens mit Beginn der Starkfrostphase, unterhalb von $-4,1^{\circ}\text{C}$, eingestellt werden (Abb. 2).

Da unter unseren klimatischen Bedingungen im östlichen Teil des atlantischen Übergangsklimas durchschnittlich Starkfröste zwischen -5 und -10°C zu erwarten sind, würde der

saisonale Quartierwechsel unter normalen Voraussetzungen in solchen Habitaten enden, die bei ähnlichen Außentemperaturen über einen längeren Zeitraum mit einer entsprechend niedrigen Amplitudenfrequenz zu temperieren sind. Weil er letztendlich in temperierbaren Habitaten endet, werden die betreffenden Überwinterungsbäume von mir als Starkfrost-Habitatbäume und deren Hohlräume als Starkfrosthabitate bezeichnet.

6 Temperierbarkeit und Temperierungsgrenzen von Fledermaus-Baumhöhlen

Weil keine nachvollziehbaren Erkenntnisse über die Temperierbarkeit und Temperierungsgrenzen der sich fortgeschritten sekundär ausformenden natürlichen Habitate vorliegen, stützte man sich bisher auf Vermutungen. Eine sich hartnäckig haltende Mutmaßung geht davon aus, daß sich die besten Überwinterungshabitate in den alten, starken Buchen und Eichen befänden. Zutreffend ist, daß sich in diesen Habitatbäumen, die wegen ihrer Starkastigkeit oder ihrer abholzigen Schäfte vom Einschlag verschont blieben, infolge der langen Standzeiten weit fortgeschrittene sekundäre Habitatausformungen befinden können.

Ebenso zutreffend ist aber auch, daß speziell diese Habitatbäume in der Regel große Schaftquerschnitte aufweisen. Bedingt durch die Mächtigkeit des stehenden Holzes und die zunehmend ungünstigeren Körper-Raum-Relationen der sich auch radial weiter ausformenden Habitaträume, sind letztere, wenn überhaupt noch, dann nur noch mit einem extrem hohen Energieaufwand zu temperieren. Sofern nicht ausreichend Hangplatzpotential vorhanden ist, welches zumindest die Integration energieadäquater Cluster ermöglicht, müßten diese Habitate, um nicht zu einer tödlichen Frostfalle zu werden, von den Fledermäusen rechtzeitig verlassen werden, um noch in einen temperierbaren Starkfrost-Habitatraum wechseln zu können. Da sich die Innentemperatur in diesen Räumen wegen des „Kühlschrankeffektes“ aber nur mit erheblicher zeitlicher Verzögerung der milderen Außentemperatur angleicht,

kommen kurzzeitige Temperaturanstiege dafür nicht in Betracht.

Andererseits kann unter diesen Bedingungen auch aus einem temperierten Habitatraum, sofern er sich im Aktionsradius befindet, keine soziale Kontaktautorientierung erwartet werden, weil dazu deutlich höhere Raumtemperaturen als die der Intervalltemperierung erforderlich wären. Das heißt, daß solche verspätet notwendig werdenden Wechsel nur während einer mehrere Tage anhaltenden, deutlich milderen Witterungsperiode möglich sind. Stellt sich diese milde Witterung nicht ein, oder sind die Außentemperaturen unter diesen Voraussetzungen weiter rückläufig, würden diese Baumhöhlen, abhängig vom verbliebenen Energiepotential der Überwinterungsgesellschaft und der Dauer der strengen Frostperiode, früher oder später zur tödlichen Frostfalle.

Bisher liegen über derartige Mittwinterverluste noch keine Untersuchungen vor, weshalb über deren Ausmaß noch keine konkreten Vorstellungen bestehen. Daß sie bei strengeren Frostperioden erheblich sein müssen, bestätigen insbesondere die hohen Mortalitätsraten unter den Nachgeborenen während der ersten Überwinterung, die anhand der Beringungs- und Wiederfundraten ermittelt wurden, sofern es dafür nicht eine völlig andere Erklärung gibt. Zusammenfassend muß gesagt werden, daß es nur über die Erfassung der Habitatraumstrukturen (Ausformungshöhe und -querschnitt, Wandstärke des stehenden Holzes und Holzdichte) möglich ist, die Grenzen der Temperierbarkeit realitätsnah einzuschätzen.

Könnte man den bisher noch nicht zu definierenden Zeitfaktor für den sekundären Ausformungsprozeß in den forstlich relevanten Baumarten definieren und ihn der forstwirtschaftlichen Nutzungszeit gegenüberstellen, dann würden die langen Standzeitreserven für Habitatbäume über den Nutzungszeitraum hinaus ins Auge fallen. Ein weiterer Faktor, der bewußt werden lassen sollte, daß das derzeit flächendeckende Defizit an temperierbaren Starkfrost-Habitatbäumen in den Wirtschaftswäldern durch die bewußte Bewahrung

einer bestimmten Anzahl potentieller und definierter Starkfrosthabitate pro Hektar, wenn

schon nicht behoben, so doch maßgeblich minimiert werden kann, wenn man nur wollte.

Tabelle 1. Forstwirtschaftliche Nutzungs- und biologische Standzeiten der vier Hauptbaumarten

Baumart	forstwirtschaftliche Nutzungszeit des verbleibenden Bestandes abhängig von der Bonität in Jahren	biologische Standzeit in Jahren	Standzeitreserve als Habitatbaum über die Nutzungszeit hinaus in Jahren
Fichte	nach 80-120	bis zu 600	500-520
Waldkiefer	nach 100-120	bis zu 600	480-500
Rotbuche	nach 100-140	bis zu 250	110-150
Eiche	nach 140-150	bis zu 700	550-560

In den Fichten- und Kiefernbeständen beginnt die forstwirtschaftliche Nutzung des Starkholzes nach 80 bzw. 120 Jahren. Zu diesem Zeitpunkt sind, abgesehen von Überhältern (Plentern), sofern es sich dabei um Fledermaus-Habitatbäume handelt, nur Wärme-Kälte-Habitatbäume zu erwarten. In den günstigeren Bonitäten könnten sich zu Beginn der Nutzung die ersten Starkfrost-Habitatbäume auszuformen beginnen. Für deren fortgeschrittenere Ausformung reicht die verfügbare Zeit allerdings nicht mehr aus, sofern man nicht 1-2 dieser Bäume bewußt über ihre biologische Standzeit hinweg bewahrt. Sinnvoll ist das aber nur bei nicht vorgeschädigten Bäumen, die sich vorrangig wipfelwärts ausformen.

Bei der Buche liegt der Beginn der forstwirtschaftlichen Nutzungszeit bei 100-140 Jahren. Die ersten Starkfrost-Habitate wären aber frühestens nach 90, spätestens nach 130 Jahren zu erwarten. Bei den Rotbuchen kann es wegen der fehlenden Gerbstoffe zu zügigeren, aber auch voluminöseren Ausformungen kommen. Mittelschaftshabitate formen sich zwar mit einer etwas ungünstigeren Körper-Raum-Relation aus, sind aber mit einem etwas höheren Energieaufwand zu temperieren.

Auch hier sollten pro Hektar 1-2 dieser Habitatbäume mit Mittelschaftshöhlen bewußt bewahrt werden. Anders sieht es mit den am Stammfuß ausgeformten Habitaten aus, die in der Regel eine so ungünstige Körper-Raum-Relation aufweisen, daß sie nicht mehr zu tem-

perieren sind. Sie würden, sofern ein rechtzeitiger Habitatwechsel nicht mehr möglich war, unweigerlich zu tödlichen Frostfallen werden.

Die forstwirtschaftliche Nutzung der Eichen-Starkhölzer liegt bei 140-150 Jahren. Bedingt durch die Holzdichte und den hohen Gerbstoffgehalt formen sich die sekundären Hohlräume deutlich langsamer als bei anderen Holzarten aus. Die vergleichbaren Habitatbäume sind nur mit einem deutlich höheren Energieaufwand zu temperieren. Im Vergleich der forstlich relevanten Baumarten liegen Eichen im frischen Holz an 8., im lufttrockenen Holz an 4. Stelle. Letzteres ist für die baumbewohnenden Fledermäuse in der Regel ohne Bedeutung. Auch wenn das Eichentotholz vielen anderen Waldtieren als Rückzugs-, Brut- und Nahrungsraum dient, bieten die fortgeschritten ausgeformten, vielfach auch nach oben hin kaminartig offenen Schafthöhlen einerseits wegen der Zugänglichkeit für Prädatoren, andererseits wegen der Zugigkeit keinen ausreichenden Schutz.

Unrealistisch wäre es, wenn erwartet wird, daß in der forstwirtschaftlichen Praxis jeder Höhlenbrüterbaum als potentieller Fledermaus-Habitatbaum über die erforderliche Standzeit bewahrt werden kann. Angesichts des ständig steigenden Bedarfs am nachwachsenden Rohstoff Holz ist wahrscheinlicher, daß man selbst nach Vollendung des ökologischen Waldumbaus, der lediglich den Umbau standortfremder Bestände in standortgerechte und die Umwandlung der Rein- in Mischbestände zum Ziel hat, die gegenwärtige

intensive Waldbewirtschaftung mit industriellem Charakter fortsetzen, ja sogar noch intensivieren wird.

Angesichts dessen wäre es im ureigensten Sinne eines integrierten Forstschutzes, der den nachhaltig wirksamen biologisch-prophylaktischen gegenüber dem herkömmlichen chemisch-therapeutischen Forstschutz favorisieren will, geboten, je Hektar bestockter Fläche zumindest 2 definitive Fledermaus-Habitatbäume, einen Wärme-Kälte- und einen Starkfrost-Habitatbaum in den entsprechenden Bonitäten bewußt zu bewahren. Es muß und kann in diesem Zusammenhang nicht nachdrücklich und oft genug gesagt werden, daß diese Bäume für die Erhaltung der Fledermäuse unverzichtbar sind. Aus diesem Grunde sollten sie auch als „Geschützter Habitatbaum“ gekennzeichnet und als temperierbarer Starkfrost-Habitatbaum kartiert werden (Abb. 3). Nur so wäre gewährleistet, daß diese Bäume nicht, so wie es sich gegenwärtig alljährlich wiederholt, unerkannt oder aus Unachtsamkeit eingeschlagen werden.

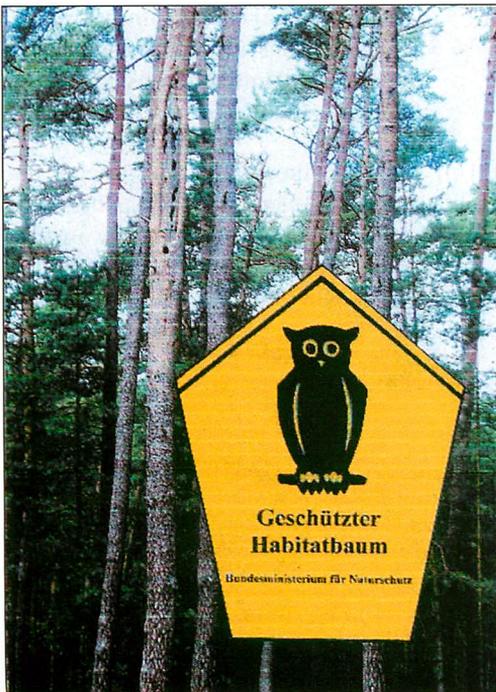


Abb. 3. Vorschlag zur Kennzeichnung temperierbarer Starkfrost-Habitatbäume

7 Zu den thermophysikalischen Eigenschaften des Baumholzes und der Habitats

Da Fichtenholz im lufttrockenen Zustand die geringste Dichte von $0,30 \text{ kg/dm}^3$ hat, beziehen sich die folgenden Ausführungen auf den realen Energiebedarfswert, den ich an meinen in den Abmessungen einer fortgeschritten sekundär ausgeformten Buntspecht-höhle entsprechenden Starkfrosthabitat-Großraumhöhlen (SFH-GRH) ermittelt habe. Bei -1°C bedurfte es zur energieeffizienten Temperierung in der $0 < \Delta > 0^\circ\text{C}$ -Amplitude 1128 Joule/Tag . Diesen Wert habe ich durch den Faktor 30 dividiert, um den Wert für die Dichte $0,01$ zu erhalten, der $40,93 \text{ Joule}$ entsprechen würde. Diesen Wert multiplizierte ich mit dem jeweiligen Dichtewert des frischen und lufttrockenen Holzes der in der Tab. 2 ausgewiesenen Baumarten zur Ermittlung des jeweiligen realen Energiebedarfs.

Der Vergleich der Energiebedarfswerte der frischen gegenüber den lufttrockenen Hölzern verdeutlicht, daß die Holzfeuchte den advektiven Wärmeleitwert modifiziert. In einem lebenden Baum befindet sich Wasser in unterschiedlicher Menge, sowohl als freies Wasser in den Zellhohlräumen als auch zu 27-33 % als gebundenes Wasser in den Zellwänden und Interzellularräumen, was dem jeweiligen Fasersättigungsgrad entsprechen würde. Da sich, korrelierend mit der Veränderung der Holzfeuchte im Winter auch die Wärmeleitfähigkeit des frischen Holzes verändert, war zu ermitteln, in welchem Rahmen sich diese Veränderungen auf den realen Energiebedarf zur Temperierung der Starkfrosthabitats auswirken.

Unterhalb des Fasersättigungspunktes bestehen zwischen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Holzfeuchte gesetzmäßige Zusammenhänge. Thermophysikalisch bedeutsam ist aber nur die Holzfeuchte von 5-33 %, weil sich in diesem Rahmen mit jedem Grad Feuchtigkeitszunahme die Wärmeleitfähigkeit des Holzes um 1,25 % erhöht. Jede weitere Feuchtigkeitszunahme ist thermophysikalisch ohne

Tabelle 2. Rohdichte und Energiebedarf zur Temperierung identischer Starkfrosthabitats bei -1°C

Baumart	Rohdichte frisch kg/dm ³	Energieäquivalenz J/Tag	Baumart	Rohdichte lufttrocken kg/dm ³	Energieäquivalenz J/Tag
Fichte	0,64	2619,52	Fichte	0,30	1228,00
Linde	0,73	3206,89	Kiefer	0,30	1228,00
Erle	0,84	3438,12	Linde	0,35	1432,55
Pappel	0,84	3438,12	Eiche	0,39	1596,27
Kiefer	0,86	3519,98	Tanne	0,43	1759,99
Rotbuche	0,88	3601,84	Pappel	0,45	1841,85
Esche	0,92	3765,56	Erle	0,48	1964,64
Eiche	0,93	3806,49	Rotbuche	0,49	2005,57
Tanne	0,94	3847,42	Birke	0,58	2373,94
Ahorn	0,94	3847,42	Esche	0,62	2537,66
Birke	0,95	3888,35	Ulme	0,64	2619,52
Ulme	0,96	3929,28	Ahorn	0,68	2783,24

Bedeutung. Eingendenk dessen ist nachvollziehbar, daß – bedingt durch die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit um bis zu 37,5 % – selbst der reale Energiebedarf zur Temperierung identischer ausgeformter Habitaträume erhebliche Unterschiede aufweisen kann, die bei der Bewertung der Temperierbarkeit zu berücksichtigen sind.

Selbst waldtrockenes Totholz hat, bedingt durch die höhere Luftfeuchte im Bestand, etwa 25 % Holzfeuchte. Gegenüber der Feuchte im lebenden Holz kann es damit 15-20 % unterhalb oder 10 % über dem Punkt der Fasersättigung liegen. Liegt es unterhalb, würde es ebenfalls den gesetzmäßigen physikalischen Zusammenhängen unterliegen. Da es aber gegenüber dem lebenden Holz auch eine mehr als 50 % geringere Dichte besitzt, wird die Temperierbarkeit der apikalen Ausformung durch die wesentlich geringere Holzdicke und den Fasersättigungsgrad modifiziert. Die relative Luftfeuchte schwankt im Wald in den Wintermonaten minimal zwischen 50 und 60 %, im Mittel zwischen 80 und 90 %. Daraus folgt, daß sie in einem temperierten Habitatraum immer höher ist als in der Außenluft. Insofern ist die Auffassung nicht nachvollziehbar, die Flughäute der Fledermäuse würden in diesen Räumen im Winter austrocknen.

Nachvollziehbar ist, daß sich die Abfolge und Richtung der innersaisonalen Habitatwechsel abhängig von der Baumartenzusam-

mensetzung und dem quantitativen Spektrum an Wärme-Kälte-Habitatbäumen, saisonal darüber hinaus vom qualitativen Spektrum temperierbarer Starkfrosthabitats vollzieht. Überall dort, wo diesbezüglich Defizite existieren, kommt es zu raumgreifenden Habitatwechseln, die innersaisonal habitat- und nahrungsbedingt, saisonal ausschließlich habitatbedingt ausgelöst werden.

8 Temperierbarkeit als Impulsgeber für den innersaisonalen und saisonalen Habitatwechsel der Fledermäuse

Um die Zusammenhänge insgesamt und realitätsnah beurteilen zu können, bedarf es eines Überblicks über die gegenwärtig in Mitteleuropa stockenden Reinbestände und Mischwaldformen (Tab. 3).

Tabelle 3. Gegenwärtig präsente Reinbestände und Mischwaldformen in Mitteleuropa

A	Fichten im Rein- oder Mischbestand mit Espe, Rotbuche, Eberesche, Birke, Moorbirke
B	Kiefern im Rein- oder Mischbestand mit Fichte, Erle, Hainbuche, Rotbuche, Eiche, Douglasie, Tanne, Birke
C	Rotbuchen im Rein- oder Mischbestand mit Fichte, Lärche, Weymouthskiefer, Kiefer, Douglasie
D	Traubeneichen im Rein- oder Mischbestand mit Linde, Roterle, Pappel, Hainbuche, Rotbuche, Espe, Ahorn, Birke

Die in Tab. 2 ausgewiesene abnehmende Holzdicke der Baumarten zugrunde legend, war es möglich, für die Abfolge und Richtung der innersaisonalen und saisonalen Habitatwechsel innerhalb einer Baumart und zwischen verschiedenen Baumarten thermophysikalisch eine nachvollziehbare Erklärung zu finden. Aus der analytischen Betrachtung dieser Übersicht lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten: Überall dort, wo in den Reinbeständen (Monokulturen) die Bonität fehlt, in denen sich die Habitate ausformen könnten, fehlen auch die Voraussetzungen für das Vorkommen der Fledermäuse.

Ist die Bonität vorhanden, wird in Wärmephasen der Grad der solaren Aufwärmung des Habitatraumes, in Kältephasen der Übergangszeiten der reale Energiebedarf zur Jagdflugaktivität zum Impulsgeber des innersaisonalen Habitatwechsels in optimaler temperierte Räume. Angesichts der Wahrnehmungsmöglichkeit einer Temperaturdifferenz von 1°C entscheiden die individuellen Toleranzbereiche, hinsichtlich des realen Energiebedarfs die gespeicherten Energiereserven über den Zeitpunkt, wann der Wechsel in ein thermophysikalisch günstigeres Wärme-Kälte-Habitat erfolgt.

Bei großflächigen Reinbeständen unterschiedlichen Alters kann das qualitative Spektrum an Habitaten ausreichen, daß sich diese Wechsel innerhalb des Gesamtbestandes vollziehen können. In den Mischwaldbeständen vollzieht sich der innersaisonale Habitatwechsel, auf eine Baumart bezogen, nicht anders. Auf alle Baumarten bezogen erweitern sich, bedingt durch die unterschiedlichen Holzdichten und Ausformungsgrade, die Möglichkeiten auch zwischen den Baumarten in ein thermophysikalisch günstigeres Wärme-Kälte-Habitat wechseln zu können. Raumgreifende Quartierwechsel sind aus thermophysikalischer Sicht die Ausnahme, können aber ernährungsbedingt ausgelöst werden.

Innerhalb einer Bonität in ein optimaler temperierbares Starkfrosthabitat wechseln zu können, ist unwahrscheinlich. Wenn das Spek-

trum an temperierbaren Starkfrosthabitaten oder das verfügbare Hangplatzpotential innerhalb des Bestandes ausgeschöpft ist, kommt es zum bestandsübergreifenden Habitatwechsel in die jeweils jüngere Altersklasse der nächsthöheren Bonität (Abb. 4).

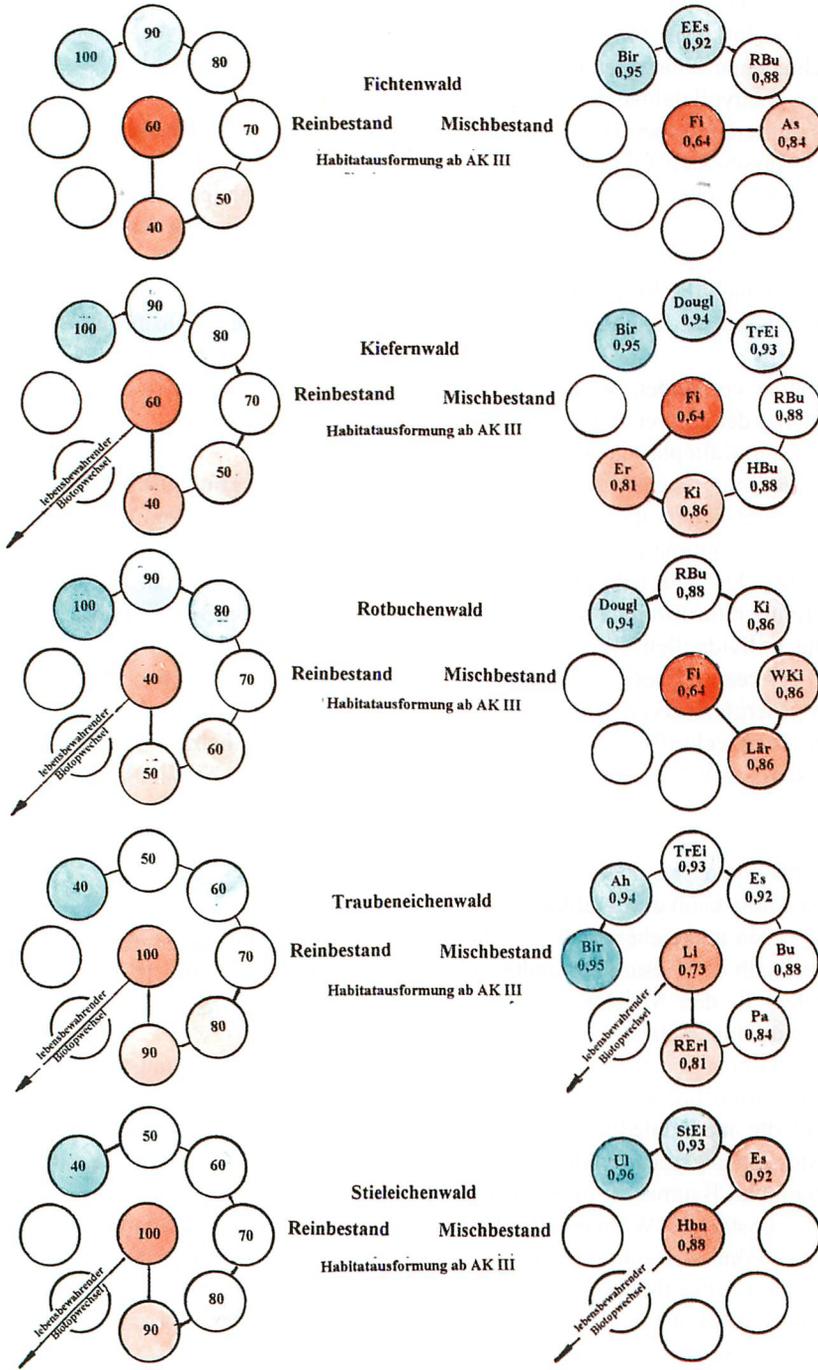
In den Wirtschaftswäldern, die 96 % des Gesamtwaldbestandes ausmachen, ist das Spektrum an temperierbaren Starkfrosthabitaten, bedingt durch Altersstruktur und Bonität, entweder gar nicht oder flächendeckend nur defizitär vorhanden. Je nach Ausstattungsgrad kommt es deshalb früher oder später zu mehr oder minder raumgreifenden Teil- oder Gesamtmigrationen der im Einstandsgebiet lebenden Fledermäuse.

Daß diese Migrationen nachweislich mit einer extrem hohen Mortalitätsrate, insbesondere unter dem nachgeborenen Jahrgang, verbunden sind, was durch die seit mehr als 70 Jahren erfolgten Beringungen und einschlägige Freilandbeobachtungen untersetzt ist, ist der größte Teil der hohen Mortalitätsrate diesem flächendeckenden Defizit an temperierbaren Starkfrosthabitaten zuzuschreiben. Die Ursache dafür ist, daß die Migranten in untemperierbaren Frostfallen enden, in denen sie nach der Erschöpfung ihrer Energiereserven erfrieren.

9 Thermische Eigenschaften der Wärme-Kälte-Habitatbäume für die Fledermäuse

Bedingt durch die unterschiedlichen Expositionen, Standort- und Einstrahlungsverhältnisse, Holzdichten, Wandstärken und sekundären Ausformungsgrade entwickeln sich thermophysikalisch erhebliche qualitative Unterschiede. Der Temperaturgang der Raumtemperatur folgt dem der Außentemperatur nur mit geringer zeitlicher Verzögerung, ohne allerdings dessen Maximum zu erreichen. Durch die unmittelbare solare Einstrahlung werden die westexponierten Habitaträume und die im jungen Baumholz befindlichen am stärksten aufgeheizt.

Thermophysikalisch bedingte Habitatwechselabfolge in Rein- und Mischbeständen
 - Eine vollständige quantitative und qualitative Habitatausstattung vorausgesetzt -



Stratmann 2000

Abb. 4. Thermophysikalisch bedingte Habitatwechselabfolge in Rein- und Mischbeständen

Mit jedem Zentimeter Wandstärkenzuwachs werden der Temperaturunterschied wie auch die Zeitspanne für die Temperaturangleichung größer. Da in älteren Schäften die primären Habitatausformungen zunehmend azentrischer erfolgen, haben auch die unterschiedlich starken Habitatwände einen Einfluß darauf. Andererseits werden weder die Spechtbruthöhlen noch die anderen abiotischen und biotischen Ausformungen ausschließlich auf der südexponierten Seite der Bäume erfolgen. So ergeben sich auch aus den unterschiedlichen Expositionen und Einstrahlungsverhältnissen differenzierte Aufwärmungsverhältnisse.

Wenn die Habitatraumtemperatur in den ost-, süd- oder westexponierten Habitaträumen bei anhaltender Einstrahlung über 28°C ansteigt, was umso eher erfolgt, je schwächer die Habitatwände sind, lockern sich die Cluster bereits in den frühen Morgenstunden bis hin zur distanzierten Einzelhangordnung auf. In den Fällen, in denen auch das nicht mehr ausreicht, um den Temperaturanstieg durch die größere Wärme abstrahlende Körperoberfläche unter 42°C zu halten, wird das Quartier gewechselt. Diese temperaturbedingten Quartierwechsel beobachtete auch GEBHARD (1997).

Die Auskühlung der solar temperierten Habitaträume erfolgt, unabhängig von der Wandstärke und der Höhe des sekundären Ausformungsgrades, nur mit einem geringfügigen zeitlichen Unterschied zum Tagesgang der Temperatur, ohne dessen Minimum zu erreichen. Wenn vier identische Baumhöhlen, die einflugseitig nach den vier Himmelsrichtungen ausgerichtet und der solaren Einstrahlung unbehindert ausgesetzt sind, kommt es bei Windstille im westexponierten Habitatraum zum höchsten Tagesmaximum, abnehmend gefolgt von den ost-, süd- und nordexponierten Quartieren.

Bei Raumtemperaturen unter 28°C müssen sich die Fledermäuse vor jedem abendlichen Jagdflug, in Wärmephasen mit weniger, in Kältephasen mit deutlich höherem Energieaufwand, bis zum Zeitpunkt des saisonalen Habitatwechsels, aufwärmen. In den westex-

ponierten Höhlen bedarf es dazu des geringsten Energieaufwandes.

Da die Quartiere nach dem Ausfliegen der Fledermäuse, auch wenn einige inaktive Tiere zurückbleiben, wieder zügig auskühlen, bestehen bei der Rückkehr von den Jagdflügen in allen Baumhöhlen nahezu die gleichen Bedingungen. Die Anzahl der Rückkehrer ist ausschlaggebend dafür, wie stark sich das Quartier kurzzeitig aufwärmt, bevor sich die Raumtemperatur, nach Einstellung aller Aktivitäten, wieder zügig der Außentemperatur annähernd angleicht. Sinkt die Temperatur unter 20°C ab, fallen die Tiere relativ schnell in Tagesschlaflethargie.

Bei diffuser Einstrahlung und Windstille schwächen sich expositionsbedingte Temperaturunterschiede ab. Ein zeitweilig bedeckter Himmel bewirkt, je nach Dauer und Häufigkeit der Sonneneinstrahlung, deutlichere Temperaturunterschiede, die durch Richtung und Intensität von Luftbewegungen (Wind) erheblich verstärkt werden können. Diese thermophysikalischen Unterschiede und Schwankungen, denen die Baumhöhlen im Sommer unterliegen, beeinflussen das Wohlbefinden der Fledermäuse, sind Impulsgeber der täglichen innersaisonalen Aktivitäten, nehmen aber zu keiner Zeit lebensbedrohliche Ausmaße an.

Bei Habitaten mit der Rohdichte von 0,64 kg/dm³ (Fi), wird bei über 60 mm Wandstärke das Tagesmaximum der Außentemperatur nicht mehr erreicht. In diesen Baumhöhlen ist erstmals ein geringer Kühschrankeffekt zu beobachten, der mit zunehmender Wandstärke größer wird. Liegen die Temperaturen deutlich unter 28°C, veranlassen sie die Fledermäuse bei hohen Außentemperaturen die kühleren Wärme-Kältehabitate aufzusuchen. In Zeiten, in denen die Energiereserven nicht mehr durch die Nahrungsaufnahme ersetzt werden können, schon dies die Kondition der Fledermäuse.

Diese Beispiele unterstreichen, daß es hinsichtlich der Ausstattung mit Wärme-Kälte-

Habitatbäumen eines qualitativen Spektrums bedarf, um die Fledermäuse innersaisonal nicht vorzeitig zu bestandsübergreifenden Habitatwechseln zu veranlassen. Bestände, in denen dieses qualitative Spektrum fehlt, werden, vorausgesetzt sie liegen im artspezifischen Jagdaktionsradius benachbarter Populationen, nur dann frequentiert, wenn ein entsprechendes Nahrungsangebot vorhanden ist.

Gegen Ende der Vegetationsperiode, wenn die Temperaturen generell rückläufig sind, ist zuerst ein reger Wechsel aus den Wärme-Kälte-Habitaten zu beobachten, die in den Vormonaten wegen ihres geringen Kühschrankeffekts bei extrem warmen Temperaturen aufgesucht worden sind, in die solar günstiger temperierten. Mit Beginn der Kälteperiode (10 bis 0,1°C) verlagern sich diese Wechsel aus den bisher solar zügig temperierbaren Quartiere generell in die mit sommerlichem Kühschrankeffekt, weil dieser sich jetzt ins Gegenteil verkehrt. Geht die Temperatur außen bis auf einen Wert von 0°C zurück, sinkt sie auch innen auf 2 bis 1°C ab. In Baumhöhlen mit Wandstärken unter 60 mm, die tagsüber solar aufgewärmt werden, sind es noch 1-2°C darüber. Solche Bäume bezeichne ich als Wärme-Kälte-Habitatbäume.

10 Thermodynamische Vorgänge in Starkfrosthabitaten der Fledermäuse

Beim weiteren Temperaturrückgang auf Werte zwischen -1 und -2°C kühlen alle unbesetzten Baumhöhlen bis unter den Gefrierpunkt aus. Bei 0,5°C ist der untere Schwellenwert für die Fledermäuse erreicht, der bei ihnen den Impuls zur Thermogenese auslöst. Die Amplitudenfrequenz der ersten Temperierungen vermittelt ihnen, daß sie die Wärme-Kälte-Habitate, in denen sie sich bisher noch mit relativ geringem Energieaufwand für den Jagdflug aufwärmen konnten, nicht mehr energieeffizient temperieren können. Dies löst bei ihnen instinktiv den Impuls zum saisonalen Habitatwechsel in die fortgeschritten sekundär ausgeformten, temperierbaren und daher auch frosttauglichen Habitate aus.

Da verbrauchte Energiereserven nach Einstellung der Nahrungsaufnahme nicht wieder ersetzt werden und demzufolge auch nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, wird der Energieverbrauch in der Zeiteinheit nun zum Impulsgeber für weitere Habitatwechsel. Ausgelöst wird der Impuls durch die Intervallfrequenz der Thermogenese. Ob das aufgesuchte Frosthabitat von den Fledermäusen energieeffizient temperiert werden kann, hängt nicht von der Clusterstärke und dessen Energiepotential, sondern von der thermophysikalischen Qualität des Habitats ab.

Deshalb kann es durchaus auch nach den ersten Nächten mit mäßigem Frost und positiven Tagestemperaturen immer noch zu weiteren, wenn auch zunehmend selteneren Quartierwechseln kommen, bis sie mit Beginn der Eistage ganz eingestellt werden. Offenbar erwerben die Fledermäuse bereits in dieser Phase eine gewisse Frostresistenz, da der Impuls für die soziale Thermoregulation, der zu Beginn der Frostperiode bei 0,5°C ausgelöst wurde, sich im Mitwinter, artspezifisch differenziert, bis auf -5°C zurückverlagern kann. Da der Temperaturrückgang mit dem Ansteigen des geostatischen Luftdrucks korreliert, wird das temperierbare Volumen zunehmend stärker komprimiert.

Durch die dichter werdenden Cluster kann in der Kältephase die wärmeabstrahlende Oberfläche verringert werden. Mit Beginn der Frostperiode kann dieser Wärmeverlust nur noch durch die soziale Wärmeregulation in Grenzen gehalten werden. Da die schwerere Kaltluft von unten her in den Habitatraum eindringt, werden die unteren Hangreihen zuerst damit konfrontiert. Bei Erreichen des unteren Schwellenwertes der KT setzt deshalb auch bei diesen Individuen die soziale Wärmeregulation ein. Ob auch die darüber befindlichen Hangreihen mit einbezogen werden, ist noch ungeklärt. Zu bemerken ist, daß die untere Hangreihe gegenüber den überdeckenden, ventral vollflächig auf der Habitatwand aufliegt, während die darüber angeordneten sich nur mit ihren Füßen festkrallen.

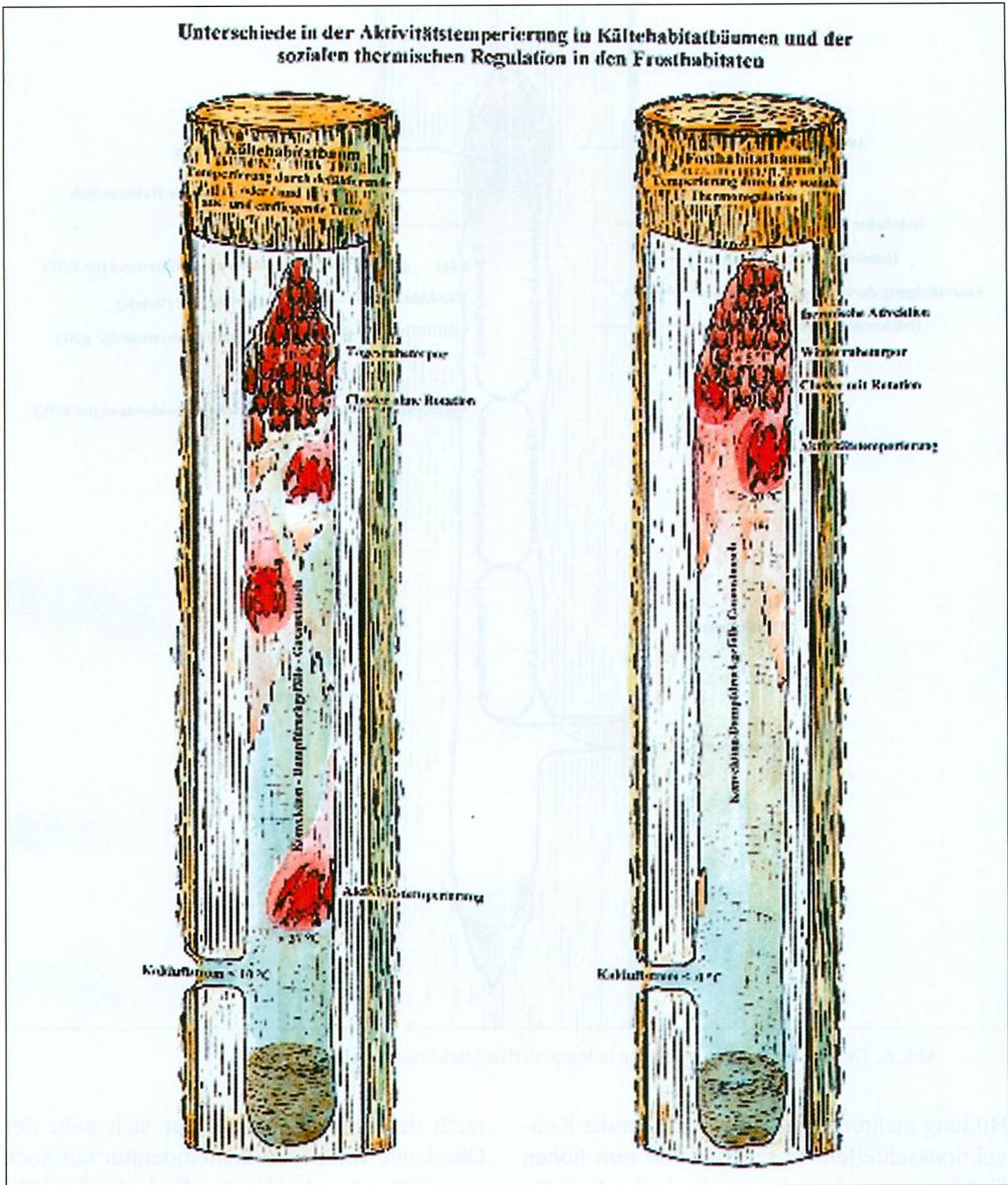


Abb. 5. Aktivierungstemperierung und soziale Thermoregulation

Daß alle Fledermäuse an der sozialen Wärmeregulation beteiligt werden, ist durch die Rotation im Cluster gewährleistet. Zu einem bestimmten Zeitpunkt verlassen die Individuen der unteren Hangreihe(n) ihren Platz, um sich weiter oben wieder einzuordnen. Ob dies bereits nach der ersten oder während einer späteren Aufwärmphase erfolgt, bedarf noch der Beobachtung. Thermophysikalisch ist dieses Prinzip nachvollziehbar, da durch die

aufsteigende Wärme die vertikale Konvektion in Gang gesetzt wird, über die außer der Raumtemperierung in Clusterhöhe auch die Sauerstoffversorgung der oberen Hangreihen gewährleistet und das Dampfdruckgefälle reguliert wird (Abb. 5).

Bedingt durch die geringe Sogwirkung der aufsteigenden Wärme reißt der Konvektionsstrom mehrfach ab. Dadurch kommt es zur

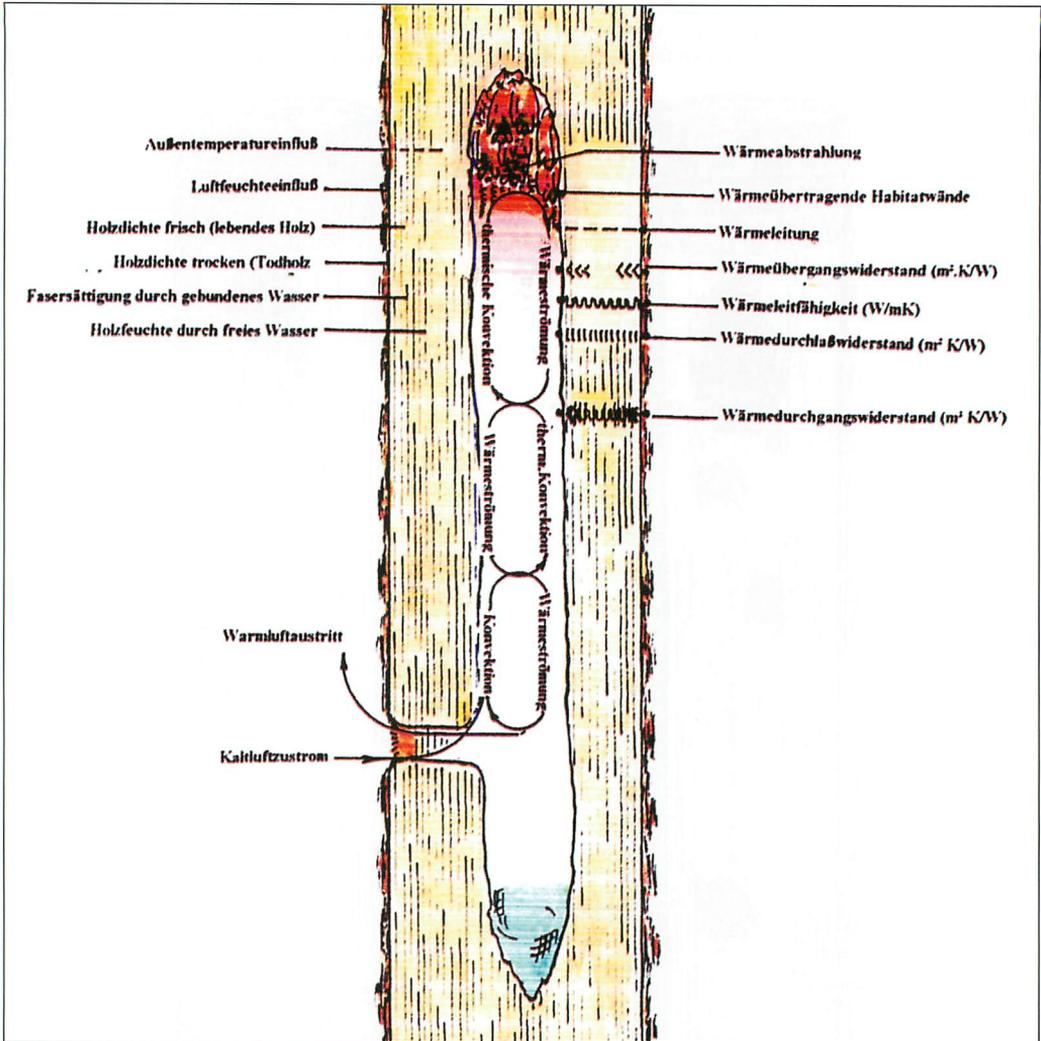


Abb. 6. Thermodynamische Vorgänge in temperierten Starkfrosthabitaten

Bildung mehrerer ineinander strömender Konvektionsschleifen. In einem 1000 mm hohen Habitatraum haben sich am Ende der Aufwärmphase vier solcher Schleifen ausgebildet, durch die es zur thermischen Differenzierung der Baumhöhle kommt. Während sich das freie Raumvolumen in Clusterhöhe bei einer energieeffizienten Temperierung maximal bis zu $4,5^\circ\text{C}$ aufwärmt, reicht die Energie der absteigenden Konvektionsschleife gerade aus, um die Höhle bis wenige Millimeter unterhalb des Clusters positiv zu temperieren. Unmittelbar darunter fällt die Temperatur innerhalb von 100 mm sofort in den Bereich mäßigen Frostes und innerhalb von 300 mm in den Be-

reich des Starkfrostes ab, der sich nahe der Oberkante von der Außentemperatur nur noch um -1°C unterscheidet. Am Ende der Auskühlungsphase, die gegenüber der Aufwärmphase in etwa nur die halbe Zeit in Anspruch nimmt, wird der untere Schwellenwert zuerst wieder in Höhe der unteren Hangreihe erreicht.

Daraus folgert: Nur wenn zur Höhe des temperierbaren Raumvolumens in Clusterhöhe die doppelte Höhe zur thermischen Ausdifferenzierung unterhalb des Clusters vorhanden ist, kommt es bei Starkfrost über die vertikale thermische Konvektion zu keinen nennenswerten Energieverlusten (Abb. 6).

11 Mittwinterverluste an Fledermäusen durch menschliches Zutun

Neben der Untemperierbarkeit eines Habitatraumes wird auch durch menschliches Tun für die Fledermäuse immer dann eine lebensbedrohliche Situation herbeigeführt, wenn während des Winterholzeinschlages, unachtsam oder leichtfertig, ein Starkfrost-Habitatbaum, weil er nicht als solcher erfaßt, gekennzeichnet und kartiert war, eingeschlagen wird. Sofern sich die winterschlafenden Fledermäuse durch die akustischen Störungen nicht bis zum Augenblick des Fallens ihres Baumes soweit erwärmt haben, daß sie vorher abfliegen konnten, droht ihnen in aller Regel der Erfrierungstod. Denn selbst wenn man im Nachhinein erst durch die abfliegenden Fledermäuse auf ihre Anwesenheit aufmerksam wurde und die noch bewegungs- und flugunfähigen Tiere retten will, fehlt an den Holzeinschlagstellen ein geeigneter thermoisolierter Rettungsbehälter mit Adresse und Telefonnummer des zuständigen, fachlich kompetenten Ansprechpartners, der die geborgenen Tiere übernimmt. Auch eine solche Gewährleistung sollte zum praxisrelevanten forstlichen Artenschutz gehören. In einzelnen Fällen hat dies, aber wohl eher zufällig, auch geklappt.

Das wiederholt geäußerte Ansinnen, die Fledermäuse in einen nahegelegenen Höhlenbaum umzusetzen, ist schon deswegen ein unkalkulierbares Risiko, weil man, sofern ein nahegelegener und geeigneter Höhlenbaum tatsächlich bekannt ist, dessen thermophysikalische Qualität nicht beurteilen kann. Fledermäuse bei Frost gleich vor Ort freizulassen und anzunehmen, daß sie zielgerichtet einen unbesetzten, aber temperierbaren Höhlenbaum anfliegen würden, ist – abgesehen von den eintretenden Energieverlusten – höchst unwahrscheinlich.

In einem temperierten Höhlenbaum noch Hangplatzreserven vorzufinden, wäre denkbar, würde aber entweder voraussetzen, daß dieses Quartier im Raumbild der Fledermäuse gespeichert ist, oder daß sie von sozialen Ruf-

kontakten auf den Höhlenbaum aufmerksam gemacht und angelockt werden. Da sich Fledermäuse aber bereits bei 10°C in einer tiefen Lethargie befinden und bei 0°C sogar die Grenze der Rigidität erreichen (EISENTRAUT 1956), kann man aus einem zwischen 0,5 und 4,5°C temperierten Habitatraum keine sozialen Rufe erwarten; diese setzen erst langsam wieder ein, wenn die Körpertemperatur über 10°C gestiegen ist. Das einzige, worauf winterschlafende Fledermäuse mit einem relativ schnellen Erwachen reagieren würden, wäre ein plötzlicher lebensbedrohlicher Temperaturabfall im Quartier. Freilassungen vor Ort wären unter solchen Voraussetzungen einer vorsätzlichen Tötung der Fledermäuse gleichzusetzen.

Zusammenfassung

Ausgehend von der Bedeutung der Spechtbruthöhlen werden deren wichtigste abiotische und biotische Entstehungs- und Ausformungsursachen beschrieben. Der strukturelle Unterschied zwischen einer primär gegenüber einer sekundär ausgeformten Baumbrütheröhle wird hervorgehoben. Im Hinblick auf die Größe des Integrationsbestandes für die Spechte werden die Altersstrukturen und Bonitäten herausgearbeitet, in denen die Voraussetzungen für eine primäre Habitatausformung durch den Buntspecht gegeben sind. Es wird darauf hingewiesen, daß nicht die Quantität, sondern die Qualität der präsenten Baumhöhlen ausschlaggebend für das Vorkommen der Fledermäuse sind. Die maßgeblichen Habitatraumstrukturen für eine energieeffiziente Temperierbarkeit der Starkfrosthabitate werden aufgezeigt und die Ampliturenfrequenz als Impulsgeber für den saisonalen Habitatwechsel herausgestellt. Saisonale Migrationen werden als Folge eines flächendeckenden Defizits an temperierbaren Habitatbäumen beschrieben. Um den Schutz der Fledermäuse und das Überleben ihrer Populationen zu gewährleisten, wird auf den unabdingbaren gesetzlichen Schutz und die Kennzeichnung der temperierbaren Starkfrost-Habitatbäume aufmerksam gemacht.

Schrifttum

- BFH (1998): Waldzustand in Europa – Kurzbericht. Bundesforschungsanstalt f. Forst- u. Holzwirtschaft. Hamburg (37 pp.).
- EISENTRAUT, M. (1956): Der Winterschlaf mit seinen ökologischen und physiologischen Begleiterscheinungen. Gustav Fischer Verlag, Jena (160 pp.).
- GEBHARD, J. (1997): Fledermäuse. Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Berlin (381 pp.).