

Stor museøre er en af Europas største flagermusarter. Den vejer typisk omtrent 30 gram og lever længere end noget andet dyr med samme kropsstørrelse. Foto: Kaloyana Kosseff

PÅ NATTEJAGT MED VILDE FLAGERMUS

Flagermus udgør en fjerdedel af klodens pattedyrsarter og spiller vigtige roller for verdens økosystemer. Ved hjælp af mikrocomputere bliver vi nu klogere på disse fascinerende dyrs adfærd, hvilket kan hjælpe os med at bevare dem i fremtiden.

Om forfatterne



Laura Stidsholt er Villum International postdoc ved Freie Universität Berlin. Hun arbejder med ekkolokalisering i flagermus, og hvordan menneskeskabt lys- og lydforurening påvirker deres levevilkår. laura.stidsholt@bio.au.dk



Peter Teglberg Madsen er professor på Biologisk Institut, Aarhus Universitet og forsker i ekkolokalisering og sansefysiologi i hvaler og flagermus. peter.madsen@bio.au.dk

Flagermus er blandt de mest artsrige og talrige pattedyr på jorden. De holder insektbestande i skak, bestøver træer og blomster og sørger for at sprede frø over store afstande. Deres store geografiske udbredelse og alsidighed skyldes deres evne til både at kunne flyve og at kunne bruge deres højfrekvente stemmer og ører til at finde vej og at jage i en proces, vi kalder ekkolokalisering. Når de jager, udsender de meget kraftige ultralydskald og lytter bagefter til de svage ekkoer, der sendes tilbage fra et insekt nogle få millisekunder senere. Ekkoerne fortæller flagermusen, hvor deres bytte er, og hvor stort det er. Ved at ændre på sine kald kan en flagermus skaffe informationer fra vidt forskellige omgivelser, og de har over flere milli-

oner år derfor kunnet tilpasse sig en bred vifte af forskellige økologiske nicher fra skov til ørken til steppe.

Fordi flagermus er små, hurtigt-flyvende og aktive om natten, er de meget svære at studere i det fri, og vi ved derfor meget lidt om deres liv i mørket. I mange år har forskere prøvet at forstå deres adfærd i naturen ved at sætte kameraer eller mikrofoner op ved deres levesteder og optage nogle få sekunder af deres adfærd, når de hurtigt flakser forbi. Men sådanne metoder giver kun et øjebliksbillede af, hvad flagermusen foretager sig på lige det sted, hvor vi biologer optager dem.

Den teknologiske udvikling har dog nu gjort det muligt at udvikle små mikrocomputere kombineret med

en mikrofon, et accelerometer og et magnetometer, som vi kan sætte på ryggen af frit-flyvende flagermus. På den måde har vi populært sagt sensorisk kunnet sætte os til rette på ryggen af en vild flagermus og direkte måle, hvordan den ekkolokaliserer, mens den finder vej og jager byttedyr i mørket over en hel nats jagt. Det har givet os en unik mulighed for at svare på vigtige biologiske spørgsmål om en så talrig og udbredt gruppe af små rovdyr, der i stigende grad er under pres fra menneskelig aktivitet.

Flagermus synkroniserer lyd med udånding

For at være effektive jægere skal flagermus kalde meget kraftigt for at maksimere størrelsen af det luftvolumen, hvori de kan høre ekkoer

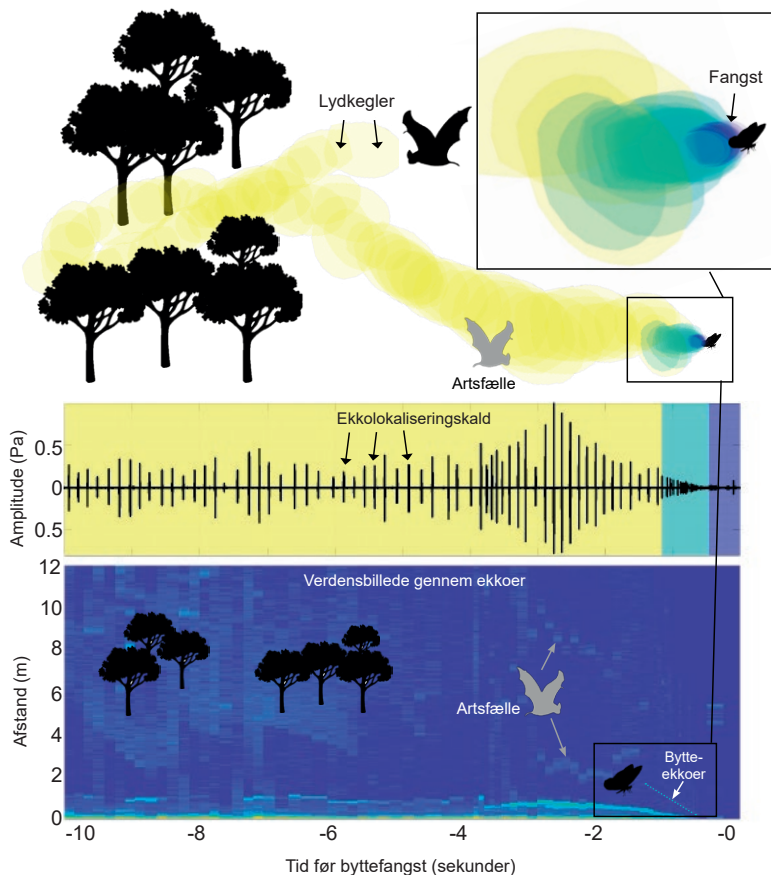
fra en flyvende natsværmer. Ved at kalde kraftigt kan de nemlig række længere ud i nattermørket med deres ekkolokalisering, fordi lydkeglerne foran flagermusen bliver store. Lydkeglerne kan derfor forstås som lygterne på en bil, som lyser vejen op i mørke: Jo kraftigere lygter, jo længere ud oplyses vejen.

I løbet af én nat gennemsøger de i alt et rumfang på 20.000 m³, som svarer til cirka otte olympiske svømmebassiner for at skaffe føde nok. Men produktionen af så høje lyde kan være svært og energetisk dyrt for så lille et dyr. Derfor kobler flagermus rytmisk deres kraftige kald til udåndingen, som samtidig er synkroniseret med deres vingeslag. På præcis samme måde, som vi mennesker kobler vores respiration til vores bevægelser under en løbetur. Det giver dem mulighed for at kalde meget kraftigt på en billig måde.

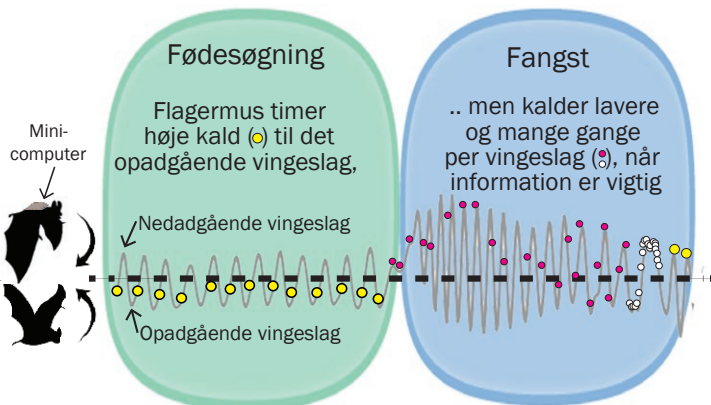
Til gengæld bryder de denne kobling mellem vingeslag, udånding og kald, når de efter at have opdaget et byttedyr skal jage det. For at holde styr på, hvor byttedyret er, kræves mange, men svagere kald per vingeslag. I vores studier har vi vist, at lige inden flagermus fanger deres bytte, kalder de så svagt, at de næsten hvisker. En strategi, som giver dem mulighed for at få en høj opdateringsrate på, hvor byttedyret er, og som gør den sansede verden meget lille ved, at volumen af den benyttede lydkegle bliver tusinde gange mindre end i søgefassen.

Akustisk tunnelsyn

Det kan umiddelbart virke som en dristig strategi at flyve 10 km/t og kun kunne sanse en halv meter frem. For at forstå årsagen bag denne akustiske adfærd rekonstruerede vi hele flagermusens sensoriske verden ved at omdanne alle ekkøerne til et billede, som vi kalder et ekkogram. På et ekkogram kan vi spore de strømme af ekkøer, der returneres fra byttet og fra omgivelserne. Det svarer til at filme alt det, som forlygterne på en bil lyser op – direkte fra førersædet.



Vi kan rekonstruere flagermusens bevægelsesmønstre og sensoriske verden, mens den fanger byttedyr i luften. Det giver os mulighed for at forstå, hvordan de bruger ekkolokalisering til at jage. Her kan det ses, at flagermusens sensoriske verden bliver meget mindre og simplere lige inden fangsten (sort firkant), fordi alle andre ekkøer end byttedyrs-ekkoerne forsvinder. Flagermus har altså udviklet en form for akustisk tunnelsyn, som gør dem til effektive jægere i forskellige omgivelser.



Flagermus timer deres kald til vingeslagene for at kalde kraftigt, når de skal lytte langt med deres sonar for at maksimere chancen for at finde et byttedyr. Det koster dem ikke noget at kalde så kraftigt, fordi lydproduktionen drives af deres udånding timet med vingeslagene. Under fangsten kalder de derimod hurtigt og ineffektivt for at få flest mulige opdateringer om, hvor byttedyret befinder sig. Men fordi disse hurtige fangstkald er svage og kun udgør 2 % af det samlede antal kald udsendt på en nat, er ekkolokalisering derfor energimæssigt relativt billigt.

Til vores overraskelse fandt vi ud af, at flagermusen modtager ekstremt svage ekkøer fra byttet.

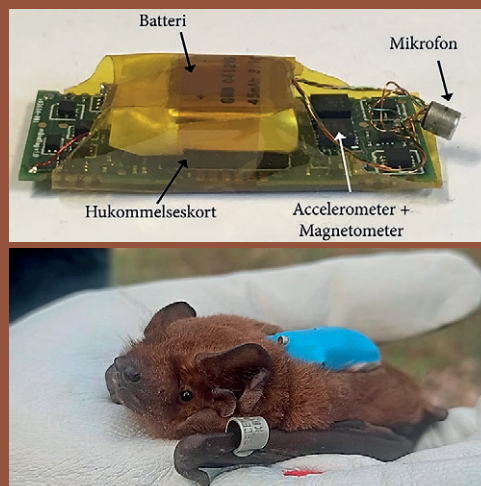
Men hvorfor skruer flagermus så

meget ned for deres kald, når de kunne få tydeligere ekkøer ved at kalde højere? Det viser sig, at denne strategi kortvarigt gør deres verden meget enklere ved at

Mikrocomputere til flagermusforskning

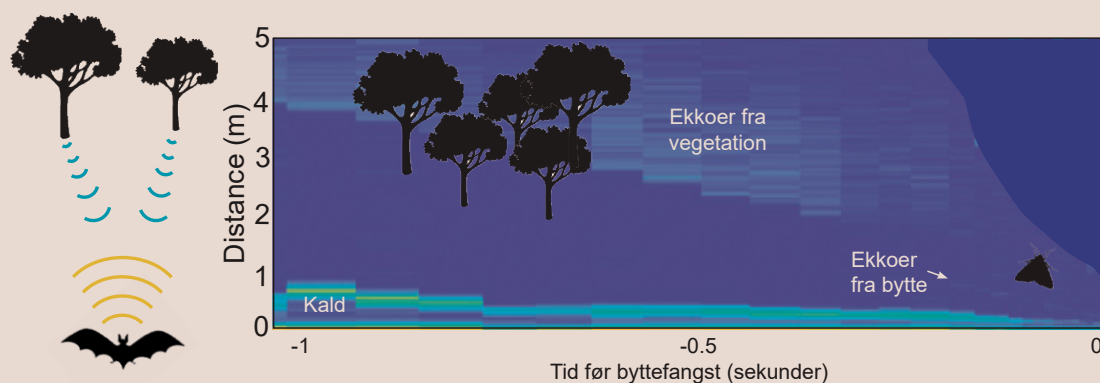
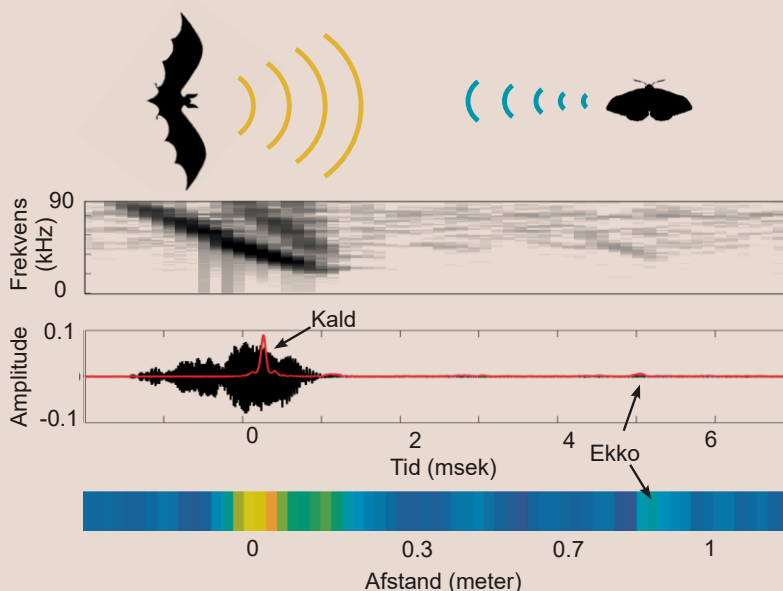
Vi har med støtte fra en Semper Ardens bevilling fra Carlsberg Fonden udviklet en miniaturecomputer, som kan optage dyrenes lyde med en mikrofon og deres bevægelser med et accelerometer og et magnetometer. Mikrofonen optager ultralyd og er meget følsom. Den kan derfor optage både de kald, flagermusen udsender, og samtidig de ekkoer, den får tilbage fra dens omgivelser eller byttedyr. Mikrocomputeren vejer cirka 2 gram og kan optage en hel nats aktivitet. Disse computere har været udsat på fire forskellige arter af flagermus i Bulgarien, Tyskland og Spanien. Resultaterne i denne artikel er baseret på et studie fra Bulgarien på en af Europas største flagermus, Stor museøre (*Myotis myotis*).

Stor brunflagermus sættes fri med en mikrocomputer på ryggen. Efter få dage i det fri fanges flagermusen igen ved hjælp af radiosignaler udsendt fra computeren. Foto: Laura Stidsholt

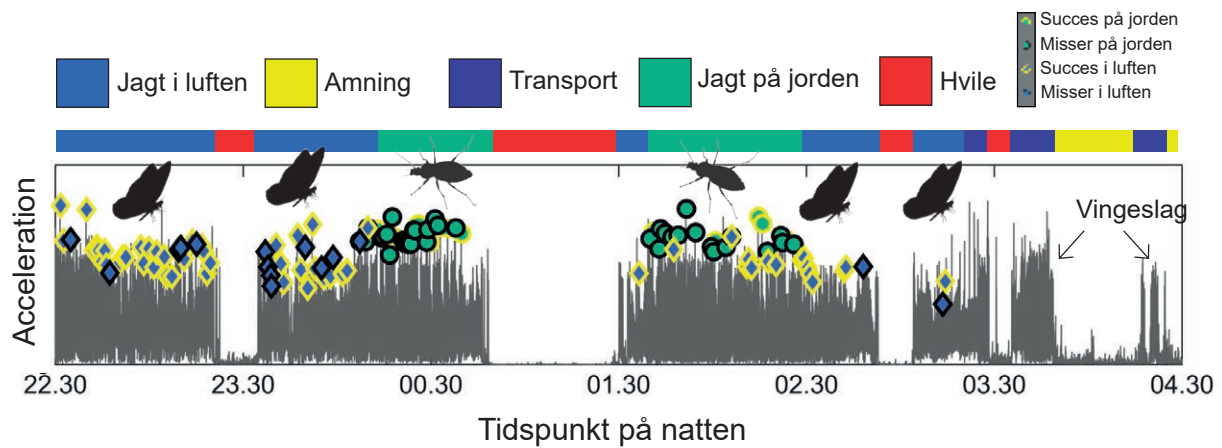


Ekkolokalisering

Flagermus udsender kraftige ultralydskald og lytter efter ekkoer fra vegetation eller fra et potentielt bytte. Ved at sammenligne forskellene mellem det udgående kald og det returnerede ekko kan flagermus få information om, hvor stort byttet er, og hvor det befinder sig. For at forstå denne eksotiske sans omsætter vi lydstrømmen fra kald til kald til en farvet bjælke (nederst), hvor de kraftigste lyde markeres i gul, mens de svageste ekkoer markeres i lyseblå. Ved at sætte alle bjælkerne sammen for hvert kald kan vi give et visuelt bud på flagermusens lydverden, mens den jager. Det billede kalder vi et ekkogram og minder om skærmen på et skibs ekkolod.



Ekkogrammet er en måde at visualisere et ekkolokaliserende dyrs sensoriske verden, mens det flyver (eller svømmer) rundt i det fri. Hver lodret bjælke i ekkogrammet svarer til et kald (gul) samt alle ekkoer, der returneres fra det kald (det blå område). Det gør os i stand til at følge ekkoerne fra de samme objekter i flagermusens omgivelser fra kald til kald. De kraftige ekkoer, der starter på fire meters afstand, er fra vegetation. Det fortæller os, at flagermusen leder efter sit byttedyr tæt på store træer. Vi kan også se den sensoriske strøm fra byttedyret, som detekteres af flagermusen på omkring en meters afstand og cirka 200 millisekunder, inden det er fanget.

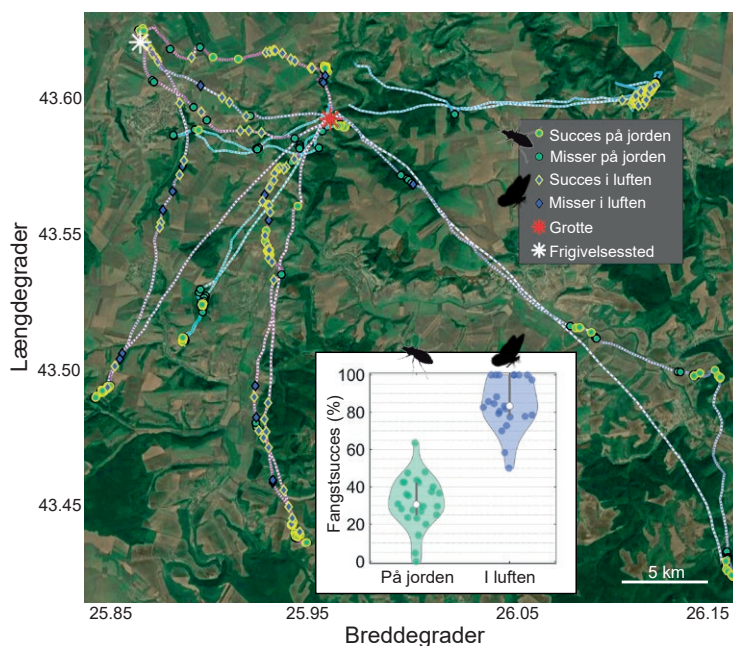


En nats aktivitet for en flagermus af arten Stor museøre (*Myotis myotis*). Når de ikke fanger mad i luften (lyseblå) eller på jorden (grøn), bruger de resten af tiden på at transportere sig frem og tilbage (mørkeblå), hvile i grotten med deres unger (gule) eller fordøje deres måltider og slappe af uden for grotten (orange).

begrænse støjende ekkoer fra omgivelserne, og derfor fungerer som en akustisk udgave af et tunnelsyn. De sørger altså derfor for kun at bruge deres opmærksomhed på det vigtigste – byttedyrsekkoerne – også selvom de som en konsekvens bliver utroligt svage. Denne strategi med at snævre deres sensoriske verden ind under fangsten kan derfor ses som en tilpasning til at jage tæt på vegetation, hvor der ofte er større koncentrationer af byttedyr end ude i de frie luftmasser.

Imponerende træfsikkerhed

Men næsten mere imponerende er det, at flagermusene i mørke udfører hele dette jagtmønster fra detektion til fangst på under et halvt sekund! De skal altså være lynhurtige til både at kalde og at koordinere deres bevægelser, og der er derfor meget lidt tid til at træffe beslutninger: de kører efter devisen “Skyd først, spørg bagefter”. Det er årsagen til, at nogle læsere måske har oplevet at kunne få en flagermus til at angribe en sten kastet op i luften. De har altså så kort tid til at reagere på et ekko fra et potentielt byttedyr, at de ikke er gode til at kende forskel på små ting i luften, som kaster ekkoer tilbage. Fordi de skal være så lynhurtige til at fange bytte, kom det derfor bag på os, at flagermusene generelt kun missede et insekt én ud af hver fem fangstforsøg. Det betyder, at de har en træfsikkerhed på omkring 80 % i luften, langt højere end dyr, som vi ellers forbinder med



Syv flagermus jager efter føde i luften eller på jorden. Deres fødeindtag og fangstsucces kan bestemmes ud fra data indsamlet fra mikrocomputeren ombord på flagermusene. De flyver op til 40 km i løbet af natten for at nå ud til specifikke fødeområder, som typisk er marker eller skovområder.

at være dygtige jægere såsom en gepard (60 %), en vandrefalk (50%), en løve (25 %), eller en tiger (5 %). Flagermus er faktisk kun overgået af ekkolokaliserende marsvin, som et tidligere studie fra Aarhus Universitet har vist sig at fange fisk i op til 90 % af tilfældene. Flagermus er altså blandt nogle af verdens mest effektive jægere. Det viser, at ekkolokalisering er en sans, som evolutionært har givet rovdyr en stor fordel: byttedyrene ved i de fleste tilfælde ikke, at et rovdyr er på vej i mørket, fordi byttet oftest ikke kan høre de ultralyde, som rovdyrerne

bruger, eller bliver advaret for sent til at kunne nå at komme i sikkerhed. I Danmark kan vi derfor bryste os af at have to af verdens mest effektive jægere enten i baghaven eller ude til havs.

Cirka 60 insekter per nat

Som små og flyvende pattedyr har flagermus – når de er aktive – et meget højt stofskifte per kropsvægt. Udover at betale for en nats flyvning på ofte over 20 km skal jagten også være så succesfuld, at den over en sommersæson skal kunne spare fedt nok sammen til en lang vinter i

Fødetyper og økologiske roller hos flagermus

Nektar og pollen:

Mange arter af flagermus lever udelukkende af at drikke nektar eller spise pollen specielt i troperne. Her står de får at bestøve mere end 500 arter af træer og blomster; hvoraf mange er vigtige for os som afgrøder eller som træ til tømmer. Flagermusene drikker nektaren ligesom kolibrier ved at stå næsten stille i luften ved hjælp af super-hurtige vingeslag og en lang, tynd tunge, som for en enkelt art er op til halvanden gang længere end kroppen. Faktisk har nogle tropiske blomster igennem evolutionen udviklet sig til ligefrem at lokke flagermus til sig ved at tilbagekaste specielle ekkoe, som flagermusene kan genkende og bruge som ledestjerne.



Glossophaga soricina. Foto: Ryan Somma/CC by-SA 2.0

Blod:

Kun 0,2 % af flagermusarterne drikker blod, men de har alligevel taget langt den største opmærksomhed i populærkulturen. De lever kun i Syd- og Mellemamerika og drikker typisk blod fra sovende husdyr, som de finder frem til ved hjælp af varmesensorer omkring næsen. De kan blive op til 12 år gamle og indgår i livslange relationer selv med individer, som de ikke er genetisk relaterede til.



Vampyrflagermusen *Desmodus rotundus*. CC by-SA 4.0

Frugt:

Frugtspisende flagermus spiser mange forskellige slags frugter og spiller derfor vigtige økologiske roller både til at vedligeholde bestande af træer, men også til at sprede frø til nye områder eller efter skovbrande. De bruger typisk synet til at finde modne frugter og ekkolokalisering til at finde vej. De største flagermus tilhører denne gruppe og kan have et vingefang på op til 1,7 meter. Nogle arter kan migrere op til flere tusind kilometer, og faktisk er klodens største pattedyrsmigration en flagermusart (*Eidolon helvum*), som lever på det afrikanske kontinent.



Eidolon helvum. Foto: Konrad Bidziński/CC by-SA 4.0

Insekter:

Hovedparten af flagermus spiser insekter, som de enten fanger i luften med ekkolokalisering eller ved at samle dem op fra jorden eller fra vandoverfladen. De fungerer derfor også som glimrende skadedyrsbekæmpelse i områder med landbrug, hvor de årligt er estimeret til at spare landmænd for omtrent 1 milliard dollars og mange tons pesticider. 1/4 af Danmarks pattedyrsarter er flagermus (17 arter), som alle er insektædere og totalt fredede.

Hvirveldyr:

I løbet af omtrent 65 millioner års udvikling har nogle få flagermusarter udviklet smag for andre hvirveldyr såsom fugle, fisk, andre flagermus, frøer og firben. Disse flagermus har udviklet specielle kæbemuskler til at kunne slå deres bytte ihjel med deres tænder. Men tænderne minder ikke om andre kødspisende rovdyrs spidse tænder, idet de ikke tygger deres bytte, men sluger dem med skind og ben.



Brunflagermusen (*Nyctalus noctula*) er Danmarks største flagermuseart. Foto: Ján Svetlík/ CC BY-NC-ND 2.0)



Man kan finde Stor museøre i kolonier i kalkstensgrotter i Sydeuropa blandt tusindvis af andre artsfæller. De spiser insekter og har meget få naturlige fjender. Til gengæld er de truet af menneskelige aktiviteter såsom lys- og støjforurening samt ødelæggelse af deres levesteder. Foto: Stefan Greif

hi uden fødeindtag. Så hvor mange og hvor store insekter fanger en flagermus så på en sommernat for at dække deres høje energiforbrug? For at svare på det spørgsmål har vi lyttet gennem samtlige natlige optagelser fra mikrocomputerne for at detektere tyggelyde, fordi det fortæller os, hvorvidt en jagt er succesfuld, og hvor stort et bytte, der er fanget. Målinger på trænede flagermus viser, at jo længere tid, flagermusene tygger, jo større et byttedyr har de fanget.

Vores målinger viser, at stor museøre fanger omtrent 60 insekter per nat: Den ene halvdel er små natsværmere i luften, mens den anden er store biller på jorden, som de fanger ved at lytte efter billernes puslen under blade, præcis som når en ugle fanger mus. Ved at kigge på GPS-positioner undervejs i jagten kan vi undersøge, hvornår og hvorfor flagermusen vælger en af de to strategier: jagt i luften med ekkolokalisering eller på jorden ved at lytte passivt.

Stor museøre fanger primært biller fra jorden på helt specifikke jagtmarker, som de ikke deler med an-

dre flagermus i løbet af natten. Men de er rigtig dårlige til at fange billerne på jorden sammenlignet med i luften: Deres træfsikkerhed falder til omtrent 30 %. Det skyldes, at biller på jorden kan gemme sig under kviste eller i sprækker i jorden, hvor flagermus ikke har en chance for at fiske dem ud. Lige så akrobatiske flagermus er i luften, ligeså meget på udebane er de som rovdyr på jorden. Til gengæld får flagermusene et stort måltid, når de endelig fanger en bille på jorden. Men fordi deres træfsikkerhed er så lav, skal der ikke meget til, før det bedre kan betale sig for flagermusen at skifte strategi og lede efter natsværmere i luften i stedet for. Vi kan vise, at hvis det har regnet eller miljøet ændrer sig markant i løbet af en nat, så skifter alle flagermusene pludselig til at fange bytte i luften. Denne strategi er nemlig mere modstandsdygtig over for ændringer i miljøet, og de bruger den derfor som en alsidig og mere træfsikker jagtstrategi.

Fremtiden for flagermus

I takt med, at vi som mennesker spreder os over større områder, betaler dyrene og vores øvrige natur

prisen for vores aktiviteter. På trods af, at flagermus lever over hele kloden og udgør omtrent 25 % af alle pattedyrsarter i hele verden, optræder omtrent en femtedel af dem i dag på IUCN's rødliste og er derfor truede. Flagermus er blandt andet under pres, fordi deres levesteder indskrænkes, insektbestande falder, og fordi de slås ihjel af mennesker, som frygter dem eller anser dem for skadedyr. Her kan data om vilde flagermus være nøglen til at beskytte dem i fremtiden. Hvis vi ved, hvor tit og hvor højt flagermus kalder, kan vi tælle dem ved at sætte lydoptagere ud i naturen. Hvis vi ved, hvor de søger føde, kan vi bedre beskytte vigtige habitater. Hvis vi ved, hvad og hvor meget de spiser, kan vi estimere deres rolle i økosystemerne og sørge for at beskytte de nødvendige ressourcer i deres levesteder. Vi håber derfor, at vores forskning med mikrocomputerne på længere sigt kan bidrage til at beskytte disse fascinerende og økologisk betydningsfulde rovdyr, som lydløst skriger natten lang for at skaffe føde og derigennem sikrer stabilitet i mange økosystemer verden over. ■

Videre læsning

Artikler:
Stidsholt et al (2021): *Wild bats briefly decouple sound production from wingbeats to increase sensory flow during prey captures*, iScience 24, (8), doi.org/10.1016/j.isci.2021.102896

Stidsholt et al (2021): *Hunting bats adjust their echolocation to receive weak prey echoes for clutter reduction*, Sci. Adv., 7 science.org/doi/10.1126/sciadv.abf1367

Stidsholt L., et al (2018), *A 2.6 gram sound and movement recording tag for studying the auditory scene and kinematics of echolocating bats*, Methods in Ecology and Evolution 1-11, doi.org/10.1111/2041-210X.13108

Bøger:
Simmons and Fenton (2015): *A World of Science and Mystery*, The University of Chicago Press

Tuttle (2018): *The Secret Lives of Bats - My Adventures with the World's Most Misunderstood Mammals*, Houghton Mifflin

Se også siderne:
marinebioacoustics.com
Twitter: @BioacousticsAU
www.facebook.com/marinebioacoustics