



BESTANDSOVERVÅGNING AF FLAGERMUS- ARTER I MØNSTED KALKGRUBER MED FOTOFÆLDER OG CITIZEN SCIENCE

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 604

2024



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

BESTANDSOVERVÅGNING AF FLAGERMUSARTER I MØNSTED KALKGRUBER MED FOTOFÆLDER OG CITIZEN SCIENCE

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 604

2024

Signe Marie Mygind Brinkløv¹
Simeon Quirinus Smeele¹
Esben Terp Fjederholt¹
Marie Rosenkjær Skalshøj²
Morten Elmeros¹

¹ Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

² Aarhus Universitet, Institut for Biologi



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 604
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Bestandsovervågning af flagermusarter i Mønsted Kalkgruber med fotofælder og citizen science
Forfatter(e):	Signe Marie Mygind Brinkløv ¹ , Simeon Quirinus Smeele ¹ , Esben Terp Fjederholt ¹ , Marie Rosenkjær Skalshøj ² , Morten Elmeros ¹
Institution(er):	¹ Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience ² Aarhus Universitet, Institut for Biologi
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	2024
Redaktion afsluttet:	Maj 2024
Faglig kommentering:	Julie Dahl Møller
Kvalitetssikring, DCE:	Jesper Reinholt Fredshavn
Ekstern kommentering:	Rapporten har været fremsendt til kommentering hos Mønsted Kalkgruber og Miljøstyrelsen, men der er ikke modtaget kommentarer
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Brinkløv SMM, Smeele SQ, Fjederholt ET, Skalshøj MR, Elmeros M. 2024. Bestandsovervågning af flagermusarter i Mønsted Kalkgruber med fotofælder og citizen science. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 27 s. - Videnskabelig rapport nr. 604
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	De to overvintringslokaliteter Mønsted og Daugbjerg Kalkgruber vurderes at have vigtig betydning for bevaringsstatus af dam- og vandflagermus i Jylland. Baseret på fangster hen over foråret i henholdsvis 2009 og 2022 vurderedes antallet af både dam- og vandflagermus i Mønsted Kalkgruber til at være halveret i perioden. Metoden er dog ikke velegnet til at følge antallet af rastende flagermus i gruberne på årsbasis og da fangst-tællemetoden er baseret på tal, der intrapoleres over en sammenhængende periode, hvor der fanges hver femte nat, introduceres der herved væsentlige usikkerheder i de resulterende bestandsestimater. I 2021 blev der i Mønsted Kalkgruber installeret et kamerasystem, der muliggør løbende tælling og artsidentifikation af de ind- og udflyvende flagermus. Denne rapport sammenfatter resultaterne af et pilotprojekt, der tester kamerametodens anvendelighed til langsigtet år-for-år bestandsovervågning af de flagermusarter, der overvintrer i Mønsted Kalkgruber.
Emneord:	Damflagermus, vandflagermus, Brandts flagermus, frynseflagermus, langøret flagermus, overvågning, bestandsudvikling, forvaltning, naturbeskyttelse, kamerafælde
Illustrationer:	Simeon Quirinus Smeele og Signe Marie Mygind Brinkløv
Foto forside:	Eksempel på flagermustrafik fotograferet med indflyvningskameraet i Mønsted Kalkgruber, Signe Marie Mygind Brinkløv
ISBN:	978-87-7156-871-4
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	27

Indhold

Sammenfatning	5
Summary	6
Forord	7
1 Introduktion	8
1.1 Formål	9
2 Metode	10
2.1 Kammersystem	10
2.2 Frivillige	11
2.3 Workflow til manuel flagermusidentifikation	11
2.4 Workflow til automatiseret flagermusidentifikation	12
2.5 BatNet - træning og validering	13
3 Resultater	14
3.1 Totale bestandsestimater	14
3.2 Estimer for artsbestande	16
4 Diskussion	23
5 Konklusion og perspektiver	25
6 Litteratur	26

Sammenfatning

Flagermus er beskyttede under international og dansk lovgivning i kraft af habitatdirektivet, der blandt andet forpligter os til at sikre en gunstig bevaringsstatus for vores flagermusarter. De små natlige og ekkolokaliserende flyvere er dog ikke helt ligetil at monitere, og der er ikke hidtil etableret metoder, der sikrer løbende, kvantitativ bestandsestimering af flagermusarterne i Danmark. Arternes geografiske udbredelse overvåges gennem NOVANA programmet i en afgrænset periode om sommeren ved hjælp af lydoptagelser understøttet af visuelle observationer for at sikre korrekt artsidentifikation. Mønsted og Daugbjerg Kalkgruber udgør vigtige overvintringssteder, hvor det antages, at en betydelig del af de jyske bestande af dam- og vandflagermus raster vinteren igennem. Det er ikke praktisk muligt at udføre visuelle tællinger af flagermusene inde i gruberne, idet de ofte sidder utilgængeligt, men der blev i foråret 2003, 2009 og 2022 gennemført fangster og tællinger af de udflyvende flagermus fra gruberne. Denne metode er arbejdstung og forholdsvis invasiv. Fangsterne udføres af samme årsager kun hver femte aften, hvorefter arternes bestandstal estimeres ud fra en intrapolering af tællellene til de mellemliggende aftener i udflyvningsperioden. Tallene er derfor forbundet med en større usikkerhed, idet aktiviteten kan variere betydeligt imellem aftener. I dette pilotprojekt testede vi en metode til løbende bestandsovervågning af flagermusarterne, der overvintrer i Mønsted Kalkgruber. Metoden er baseret på to kamerafælder, der er integreret med en lysdiode-tæller. Systemet er installeret i forbindelse med det primære gennemflyvningshul, der giver flagermusene adgang til gruberne. Kamerateamet har samlet data i efterår 2022 samt forår og efterår 2023 med enkelte udfaldsperioder. Der er sideløbende etableret en arbejdsgang til delvist automatiseret analyse af billedmaterialet ved hjælp af en machine learning algoritme baseret på et neuralt netværk. Projektets foreløbige resultater viser, at den løbende dataindsamling giver mulighed for at estimere og sammenligne bestandstallene på år-til-år basis, og at der med yderligere optimering af algoritmen til artsgenkendelse er etableret en baseline for et robust og langsigtet overvågningsprogram af flagermusbestandene i Mønsted Kalkgruber. På hardwarensiden kræver den etablerede metode et minimum af vedligehold, men af hensyn til ressourceforbruget, og for at mindske varigheden af eventuelle funktionsudfald, bør vedligehold håndteres lokalt. Det vurderes at præcisionen af den nuværende artsgenkendelsesalgoritme med yderligere runder af gentræning og manuel validering kan optimeres væsentligt, og konkrete forbedringsforslag gennemgås i rapporten. Yderligere konkluderes det, at den betydelige datamængde og sværhedsgraden af artsidentifikationen ikke umiddelbart muliggør brugen af citizen science i gennemgangen af billedmaterialet uden tillæg af betydelige ressourcer til kvalitetssikring og brugervejledning.

Summary

Bats are protected by international and Danish legislation, obligating us to ensure favorable conservation status of our bat species. These small, nocturnal, and echolocating flyers are, however, cryptic and challenge monitoring efforts. No well-established methods are currently available to provide continuous and quantitative population estimates of Danish bat species. Their geographical distribution patterns are monitored as part of the NOVANA program during the summer period using manual and passive acoustic monitoring aided by visual observations to establish reliable species identification and documentation. The man-made limestone pits (Kalkgruber) in Mønsted and Daugbjerg are important winter hibernacula for several bat species, including large fractions of the populations present in Jutland of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) and pond bats (*M. dasycneme*). It is not possible to conduct accurate visual counts of bats during hibernation as they are often hiding in crevices and inaccessible areas of the pits but in Spring 2003, 2009 and 2022, harp trap captures were carried out to facilitate manual counts of bats exiting the hibernacula at Mønsted and Daugbjerg. Due to the invasiveness of this method, the captures were limited to every fifth night, and the resulting species population estimates based on intrapolation of the capture numbers across the entire spring emergence. This introduces significant uncertainty in the population estimates as activity may vary considerably between consecutive nights. In this pilot project, we tested a method for continuous population monitoring of the bat species hibernating in Mønsted Kalkgruber. The method uses two camera traps, integrated with a light barrier counter installed around the frame of the primary site used by the bats to access and exit the hibernaculum. The camera system has collected photo data of bats entering and exiting the hibernaculum since August 2022, including a few non-operational periods. In parallel with the data collection, a pipeline for semi-automated image-based analyses has been established, based on a machine learning algorithm using a neural network for detection and species identification of bats. The preliminary results of the project indicate that the tested method offers data collection with a minimum of effort, which can be further streamlined by use of local resources for service and maintenance of the equipment. The substantial amount of data and complexity and subjectivity involved in the manual species identification task suggest that the use of citizen science to support the data analyses prerequisites considerable resources for quality assurance and user guidance. Overall, it is concluded that the project has successfully established a useful baseline for long-term monitoring and year-to-year comparison of the populations of bat species hibernating in Mønsted Kalkgruber but that further improvements and optimization of the automated species identification model are warranted.

Forord

Kalkgruberne i Mønsted er sammen med gruberne i Daugbjerg de største kendte overvintringssteder for damflagermus i Danmark, blandt de største kendte i Europa og vurderes at være af afgørende betydning for bevaringsstatus for de jyske bestande af damflagermus (*Myotis dasycneme*) og vandflagermus (*Myotis daubentonii*). Desuden overvintrer mindst tre andre flagermusarter i Mønsted Kalkgruber: Brandts flagermus (*Myotis brandtii*), frynseflagermus (*Myotis nattereri*) og brun langøre (*Plecotus auritus*).

Mønsted Kalkgruber modtog sammen med forskere fra Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet en bevilling fra Miljøstyrelsen i 2021 til at etablere og evaluere en metode til løbende overvågning af bestandsudviklingen for de arter, der overvintrer i Mønsted Kalkgruber, med særligt fokus på damflagermus og vandflagermus.

Denne rapport omhandler Aarhus Universitets udvikling af en kamerabaseret overvågningsmetode, herunder dataindsamling, analyser og perspektiver i fremtidig overvågning af flagermusbestande.

Der skal fra Aarhus Universitet lyde en stor tak til Den Selvejende Institution Mønsted Kalkgruber ved administrerende direktør Tina de Linde og særligt til grubeguide Søren Frandsen, for at sørge for adgang til gruberne i forbindelse med opsætning og servicering af kamerasystemet, samt bidrage til løbende vedligehold. Også tak til Karl Kugelschafter, ChiroTEC for opsætning af kamerasystemet og løbende sparring og til de frivillige fra Danmarks Naturfredningsforening, Viborg, som har prøvet kræfter med den fotobaserede artsbestemmelse af flagermusene.

1 Introduktion

Mønsted Kalkgruber er overvintringssted for over 10.000 flagermus fordelt på mindst fem arter: vandflagermus (*Myotis daubentonii*), damflagermus (*Myotis dasycneme*), Brandts flagermus (*Myotis brandtii*), frynseflagermus (*Myotis nattereri*) og brun langøre (*Plecotus auritus*) (Degn 1987, Baagø & Degn 2004, Baagø & Degn 2009). Alle flagermusarter er opført på habitatdirektivets bilag IV og strengt beskyttet. For damflagermusen, der også er opført på direktivets bilag II, er gruberne udpeget som Natura 2000-område. Gruberne i Mønsted og de nærliggende Daugbjerg Kalkgruber er blandt de største kendte overvintringssteder for damflagermus i Europa og vurderes af stor betydning for artens nationale og internationale status (Degn m.fl. 1995; Limpens m.fl. 2000, Elmeros m.fl. 2019). Damflagermus er rødlistet som Sårbar (VU) alene af den grund at bestanden er samlet på meget få lokaliteter i vinterperioden i Danmark (Elmeros m.fl. 2019). Damflagermusens bevaringsstatus er på baggrund af NOVANA overvågningen vurderet som gunstig ud fra artens udbredelse i sommerhalvåret (Søgaard m.fl. 2018, Elmeros m.fl. 2019), men der er i øjeblikket ingen systematisk overvågning af bestandens størrelse og udvikling. Det indebærer en reel risiko for, at en negativ påvirkning af damflagermusbestanden (samt bestande af de andre fire flagermusarter i gruberne) resulterer i ugunstig bevaringsstatus, inden det opdages. Den store koncentration af dam- og vandflagermus i kalkgruberne gør det dog muligt at overvåge væsentlige dele af de jyske bestande, idet størstedelen af disse, foruden repræsentanter fra andre nordeuropæiske bestande, formodes at overvintre i de to kalkgruber (Baagø 2007, Elmeros 2020).

Det er ikke praktisk muligt at lave repræsentative optællinger mens flagermusene overvintrer i Mønsted og Daugbjerg, da de ofte sidder utilgængeligt i gruberne (Møller m.fl. 2013). Ligeledes er der tale om en sammensætning af arter, primært af slægten *Myotis*, som kan være svære eller umulige at skelne akustisk under de snævre fysiske rammer de befinder sig i ifm. til- og fraflyvning fra gruberne (Ahlén & Baagø 1999, Rydell m.fl. 2017, Thomas & Davison 2022). Der blev i forårsperioden (marts til maj) i 2003, 2009 og 2022 udført fangster og manuelle optællinger og artsbestemmelser af udflyvende flagermus fra Mønsted og Daugbjerg Kalkgruber (Elmeros m.fl. 2022). På baggrund af de manuelle tællinger blev der estimeret bestandsstørrelser af damflagermus i Mønsted Kalkgruber på cirka 2.300 individer i 2022, cirka 4.600 individer i 2009 og cirka 2.100 individer i 2003, baseret på intrapolering af fangsttal fra i alt hhv. 14, 11 og 9 fangstnætter (Elmeros m.fl. 2022, tabel 1). De tilsvarende omtrentlige tal for vandflagermus var 4.800 individer i 2022, 10.000 individer i 2009 og 7.100 individer i 2003. På basis af fangsttallene, der indikerer at antallet af både dam- og vandflagermus er halveret mellem 2009 og 2022, konkluderes det, at bestandene af både dam- og vandflagermus i Mønsted Kalkgruber har været faldende i perioden 2009-2022 (Baagø & Degn 2009, Elmeros m.fl. 2022). I samme periode indikerer fangsttallene for Daugbjerg Kalkgruber at antallet af overvintrende damflagermus er fordoblet på denne lokalitet. Det kan derfor ikke udelukkes at den observerede nedgang i bestandene af dam- og vandflagermus i Mønsted Kalkgruber skyldes lokale faktorer, og der påpeges i Elmeros m.fl. (2022) en række forsigtighedstiltag for at sikre gunstige overvintringsforhold, og bevare grubernes vigtige betydning for flagermusene. Der blev ikke estimeret bestandsstørrelser af hverken Brandts flagermus (*Myotis brandtii*), frynseflagermus (*Myotis nattereri*) eller brun langøre (*Plecotus auritus*) grundet for lave fangsttal.

I forlængelse af resultaterne fra tællingerne i 2009 og 2022 er det relevant at sikre en systematisk, tættere overvågning af artsbestandene. Metoden med manuelle fangster er relativt invasiv, arbejdstung og forbundet med flere usikkerheder, herunder at der fra enkelte nætter med fangst ekstrapoleres over hele perioden uden hensyn til fx vejrforhold, selvom der kan forekomme betydelig variation i udflyvningsaktiviteten på hinanden følgende nætter (Baagøe m.fl. 1988, Baagøe & Degn 2004, 2009, Jansen m.fl. 2014). De uregelmæssige og årelange mellemrum imellem fangsterne bevirker, at det ikke er muligt med denne metode at følge bestandsforløbene tæt med henblik på hurtig implementering af forvaltningstiltag.

Mønsted Kalkgruber installerede i foråret 2013 en diodetæller, der ved hjælp af infrarøde (IR) lysdioder automatisk registrerer flagermus, der flyver ind og ud, når de bryder lysstrålerne (Matthäus m.fl. 2022). Diodetælleren registrerer retning og antal af de passerende flagermus, men skelner ikke mellem arterne og er derfor uegnet til at overvåge deres bestandsudvikling. På trods af kortere og to længerevarende funktionsudfald i 2016 og 2021 indikerer tælleren, at det samlede bestandstal har været faldende i en årrække (Elmeros m.fl. 2022).

1.1 Formål

Formålet med dette pilotprojekt har været at igangsætte en systematisk, kamerabaseret overvågning af flagermusene i Mønsted Kalkgruber, som gør det muligt år for år at følge bestandsudviklingen af de overvintrende flagermusarter. Som led i etableringen af et mere robust og løbende overvågningsprogram har projektet desuden dels haft til formål at teste brugen af citizen science gennem inddragelse af frivillige til artsidentifikationen af flagermusfotos, samt at etablere et delvist automatiseret workflow til effektiv analyse af den betragtelige fotomængde, der indsamles per ind- og udflyvning. Projektet har særligt fokus på damflagermus og overvågning af Natura 2000-områdets økologiske funktionalitet som overvintringssted for denne art.

2 Metode

2.1 Kammersystem

Kammersystemet er udviklet og blev installeret af ChiroTEC (www.chiro-tec.de, Lohra, Tyskland), i starten af august 2022. ChiroTEC står også bag Mønsted Kalkgrubers eksisterende diodetæller og har udviklet, etableret og testet fotobaserede tællere en række steder i Tyskland siden 2007 (Kugelschafter & Kreidler, 2021; Krivek m.fl. 2021).

Systemet består af to robuste, vejrbestandige kamerabokse (Fig. 1), der integreres med det eksisterende diodetællersystem i Mønsted Kalkgruber for at indsamle fotodokumentation hver gang flagermusene gennembryder dioderens infrarøde lysgitter. Når flagermusene er aktive, er hovedporten som regel lukket og flagermusenes adgang til gruberne sker via den lille rektangulære åbning over porten (Fig. 1, venstre). Indflyvningskameraet er placeret på indersiden af gennemflyvningshullet og fotograferer flagermus, der bryder diodetællerens lysbarriere på vej ind i gruberne, mens udflyvningskameraet fotograferer flagermus, der bryder diodetællerens lysbarriere på vej ud af gruberne. Diodesystemet består af en ramme med to sæt parallelle rækker af infrarøde dioder. Når lysstrålen i en given række afbrydes, af for eksempel en gennemflyvende flagermus, registreres dette af tælleren, mens rækkefølgen af, hvilket sæt af lysstråler, der afbrydes først, indikerer flyverretningen og dermed hvilket kamera, der trigges af diodetælleren.

Fig. 1. Indhold (midten) og placering af de to kamerabokse med udflyvningskameraet (tv.) og indflyvningskameraet (th.). På billedet til højre ses desuden over hovedporten til Mønsted Kalkgruber det gennemflyvningshul, der sikrer flagermusene adgang til gruberne. Lystællerens dioderamme er placeret langs yderkanten af gennemflyvningshullet.



Kameraboksene blev monteret 2.-3. august 2022 henholdsvis udenfor og indenfor hovedporten i en afstand af 140 cm fra grubernes primære gennemflyvningshul, med en kameravinkel på cirka 5° under gennemflyvningshullet og i en højde af 360 cm over jorden. For at optimere muligheden for den billedbaserede artsidentifikation bør kameravinklen fotografere dyrenes bugside, da dette perspektiv synliggør flest af de artskaraktistiske træk, sammenlignet med billeder af flagermusenes rygside. I Mønsted eksisterer der dog nogle praktiske begrænsninger for kameraplaceringen i form af højden på den varebil, der ugentligt transporterer ost til og fra gruberne, samt højden af hovedporten, der skal kunne gå under det ene kamera for at åbnes.

Hver kameraboks er modificeret med en plexiglasrude på forsiden og indeholder kamera (Panasonic model DMC-G5, objektivtype Lumix G Vario 14-42mm

f/3.5-5.6 ASPH Mega O.I.S.), blitz (Metz AF58), backup batterier i tilfælde af kortvarige strømudfald, blitzdetektor og fugtabsorberende silica. Kameratele-systemet er ligesom diodesystemet tilkoblet gruberne elnetværk. Strømkabler, datakabel og triggerkablet, der udløser blitz og fotos når de infrarøde diodestråler i tælleren brydes, forbinder til kassen via et fleksibelt kabelbeskyttelsesrør, der løber langs de metalskiner, der er monteret for at holde de to kamerakasser. Kassen og skinnerne, der holder udflyvningskameraet, er beklædt med fuglepigge af plast for at forhindre ugle i at tage ophold derpå. Blitzen udsender hvidt lys af ultrakort varighed, som i tyske undersøgelser ikke har påvist nogen effekt på flagermusenes adfærd (Krivek m.fl. 2022).

Parallelt med installationen blev den infrarøde tæller opgraderet til en nyere udgave (ChiroTEC, model Liba-16) og der blev kontrolleret/udskiftet temperatursensorer hhv. i gruberne og uden for grubeindgangen. Siden installationen har systemet været serviceret med 1-2 måneders interval, parallelt med dataindsamling og udskiftning af hukommelseskort (SD). Som en del af serviceproceduren tjekkes og justeres kameraernes fokus, eksponerings- og lukkerindstillinger og kassen rengøres ind- og udvendigt med en tør klud. Cirka hvert halve år er systemet desuden blevet tilset af ChiroTEC, der fortsat bidrager med levering af reservedele og fejlfinding, samt fremsendelse af en daglig statusrapport fra systemet, der opgiver antallet af ind- og udflyvninger registreret af diodetælleren i løbet af det forrige døgn, samt antallet af blitzudløsninger. Dette gør det muligt at opdage og udbedre funktionsudfald hurtigt.

Alle billeddata fra kamerasystemerne uploades og sikkerhedskopieres på interne servere på Aarhus Universitet og samles desuden på en ekstern harddisk, der opbevares hos Mønsted Kalkgruber.

2.2 Frivillige

I vinteren 2022 blev der i Mønsted Kalkgruber afholdt et informationsmøde, hvor projektet blev præsenteret for interesserede fra Danmarks Naturfredningsforening (DN) i lokalområdet Viborg, som herefter fik mulighed for at bidrage med som frivillige at gennemgå og artsbestemme fotos af flagermusene manuelt. DN Viborg havde på forhånd leveret en interessetilkendegivelse og der deltog 13 på mødet, inklusive deltagere fra DN, Mønsted og Aarhus Universitet.

På mødet fortalte flagermuseksperter fra Aarhus Universitet om projektet og infrastrukturen til manuel gennemgang, artsbestemmelse og annotering af billedmaterialet. Der blev præsenteret en guide til manuel genkendelse af flagermus med billedeksempler og beskrivelser af karakteristiske morfologiske træk for arterne i Mønsted Kalkgruber, open source, gratis software til den manuelle gennemgang af fotos og givet en introduktion til brug af dette. I alt ti frivillige fra henholdsvis DN Viborg, Mønsted Kalkgruber og biologistuderende fra AU meldte sig til at teste den manuelle arts-genkendelse

2.3 Workflow til manuel flagermusidentifikation

Til den manuelle artsbestemmelse sammensatte Aarhus Universitet en 'frivilligpakke' som blev omdelt til de deltagende frivillige via mail og den gratis version af fildelingstjenesten WeTransfer. Frivilligpakken indeholdt

- Open source, gratis software til gennemgang og annotering af billeder (VGG Image Annotator (VIA), v. 2.0.12, Dutta og Zisserman, 2019)
- Guide til brug af softwaren
- Fil (json-format) med relevante annoterings-indstillinger
- Pdf-guide til artsgenkendelse af flagermusene i Mønsted
- Zip-mappe med billeder i jpg-format
- Kontaktinformation ved behov for hjælp med opgaven

I løbet af projektet blev frivilligpakken revideret en enkelt gang med justeringer af vejledningen, samt en nedjustering af antallet af billeder til gennemgang fra 333 (medsendt i den oprindelige pakke) til 100 stk.

Bidrag modtaget fra de frivillige indgik i vurderingen af, hvor sikker den manuelle artsbestemmelse er.

2.4 Workflow til automatiseret flagermusidentifikation

Som et led i udviklingen af et delvist automatiseret workflow til analyse af fotodata fra kamerasystemet i Mønsted, valgte vi at anvende BatNet (Krivek m.fl., 2023) til detektion og artsbestemmelse af flagermus. BatNet er en open-source, deep learning algoritme til automatiseret foto-baseret artsgenkendelse af flagermus. Algoritmen er baseret på et sæt af neurale netværk, der finder og markerer flagermus på et billede, frasorterer baggrund uden flagermus og til sidst artsbestemmer de fundne flagermus. BatNet er trænet på fotodata fra 32 tyske lokaliteter, til at finde og artsbestemme 13 forskellige europæiske flagermusarter inklusive de fem arter, der er registreret i Mønsted Kalkgruber, enten på artsniveau eller ned til artskompleks. Vandflagermus, damflagermus og frynseflagermus bestemmes på artsniveau, men henholdsvis Brandts flagermus og brun langøre bestemmes til artskomplekserne nymfe-flagermus/skægflagermus/Brandts flagermus og brun langøre/grå langøre. Indenfor hvert af disse komplekser er det dog kun en af arterne, der erfaringsmæssigt forekommer i Mønsted Kalkgruber. BatNet er desuden opbygget på en måde, der gør det muligt at gentræne dens baseline detektions- og klassifikationsmodeller med data fra nye lokaliteter og dermed øge algoritmens præstation for hver lokalitet med lokalitetsspecifikke modeller. Det rapporteres, at BatNets baseline model efter gentræning på billeder fra i forvejen ukendte nordtyske sites, hvor kameravinklen og -placering svarer til de oprindeligt anvendte i træningsdata, kan klassificere flagermusarter med minimum 95 % nøjagtighed (Krivek m.fl. 2023).

Valget af BatNet er begrundet dels af algoritmens open source-status, tilgængelighed og operationalitet via en standard internetbrowser og dels af de lovende resultater baseret på data fra tyske lokaliteter, der anvender tilsvarende kamerasystemer. Dertil skal lægges et hensyn til at bidrage til et datagrundlag, der ikke blot muliggør overvågning af bestandsudvikling i Mønsted, men data, der i kraft af et ensartet metodevalg, kan sammenholdes med resultater fra andre vigtige overvintringssteder i Nordeuropa og derved sikre et bredere geografisk grundlag for fremadrettet datafortolkning ud fra et forvaltningsperspektiv.

2.5 BatNet - træning og validering

Da BatNets baseline model ikke i forvejen var trænet på billeder fra Mønsted Kalkgruber, gentrænede vi det neurale netværk ved at tilføje manuelt artsbestemte billeder fra henholdsvis ind- og udflyvningskameraet i Mønsted for at 'lære' BatNet at genkende og artsbestemme flagermus på billedmateriale taget med den kameravinkel, baggrund og belysning, der er karakteristisk for netop denne lokalitet. Den typiske kameraplacering, benyttet i Tyskland til at indsamle træningsdata til BatNets baseline model, var 30° under vandret i forhold til gennemflyvningsområdet, mens kameraerne i Mønsted er placeret i en vinkel ca. 5° under gennemflyvningshullet. Alle billeder brugt til gentræning af BatNet blev indsamlet i 2022.

Alle flagermus på billedet blev markeret med en afgrænsningsboks, men kun den flagermus, der udløste billedet blev artsbestemt. Alle afgrænsningsbokse blev brugt til at træne detektormodellen, og alle artsbestemte bokse blev brugt til at træne klassifikationsmodellen. Alle billeder blev artsbestemt af mindst to eksperter, og i tvivlstilfælde blev billeder udelukket fra datasættet brugt til gentræning.

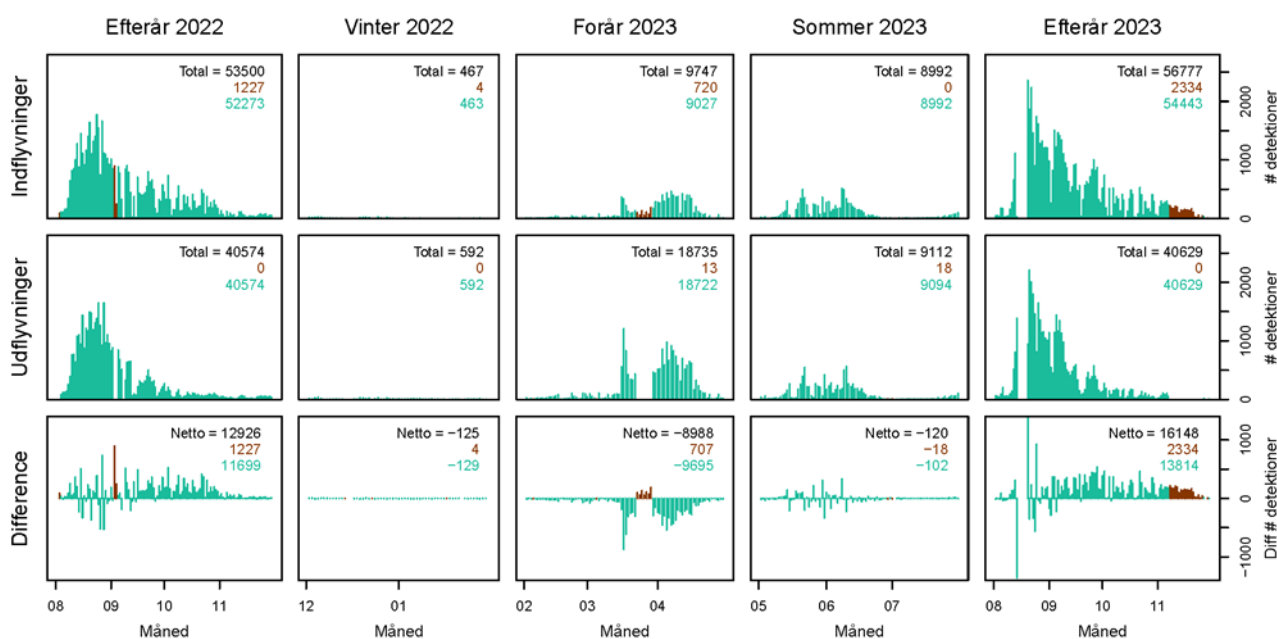
Til validering brugte vi hvert 100. billede for 2023. Alle billeder brugt til validering blev også uafhængigt artsbestemt af mindst to eksperter, men kun den ene eksperts vurdering er anvendt til sammenligning med BatNets klassifikationer med henholdsvis baseline modellerne og de gentrænede modeller.

3 Resultater

I projektperioden fra 3. august 2022 til 31. december 2023 er der i alt indsamlet 248.185 billeder fra kamerasystemet, fordelt på 134.824 billeder fra indflyvningskameraet og 113.361 fra udflyvningskameraet. Begge kameraer har haft enkelte funktionsudfald, heraf et længerevarende på udflyvningskameraet i efteråret 2023 (Tabel 1.1.). For at minimere indflydelsen af driftsforstyrrelserne på de tal, der indgår i bestandsestimeringen, er fotos fra begge kameraer i udfaldsperioder ikke medtaget i det samlede bestandsestimat, uanset om udfaldet kun gjaldt for et enkelt kamera i en given periode.

3.1 Totale bestandsestimater

Figur 1.1. viser en oversigt over antallet af det samlede antal billeder, fordelt på henholdsvis ind- og udflyvningskamera, differencen imellem disse, samt deres fordeling på sæson. Sæsonerne er defineret ud fra en vurdering af den samlede aktivitet, målt som differencen (numerisk) mellem antal ind- og udflyvningsbilleder per måned.



Figur 3.1. Oversigt over antallet af billeder taget per døgn fra 12:00 til 11:59 næste dag i perioden 3/8-2022 til 31/12-2023. Øverst: billeder fra indflyvningskameraet, midt: billeder fra udflyvningskameraet, nederst: forskellen per dag mellem antallet af ind- og udflyvningsbilleder. Den samlede overvågningsperiode er inddelt i efterår (1/8-30/11), vinter (1/12-31/1), forår (1/2-30/4) og sommer (1/5-31/7). Sorte tal: det samlede antal billeder eller (nederst) nettoforskellen mellem indflyvning og udflyvning for hver periode. Grønne søjler og tal inkluderer dage hvor begge kameraer fungerede, mens brune søjler og tal er for dage, hvor mindst et kamera var ude af drift. Under difference angiver positive fortegn at netto flyveretningen var ind i gruberne, mens negative fortegn angiver netto flyveretning ud af gruberne. I efterår 2022 har indflyvningskameraet således taget 1227 billeder i perioder hvor udflyvningskameraet ikke virkede. Billeder uden flagermusdetektioner er så vidt muligt sorteret fra og ikke medtaget i figuren.

I efteråret 2022 er der taget 11.699 billeder mere af indflyvningskameraet end af udflyvningskameraet. Det tilsvarende tal for efterår 2023 er 13.814. Disse tal er konservative mål for det antal af flagermus, der er fløjet ind i gruberne for at overvintre, idet der ofte er flere individer, der gennemflyver lysbarrieren i samme retning og på næsten samme tid. Disse registreres kun som et enkelt billede og indgår ikke i tallene ovenfor, der er baseret på antal billeder.

I foråret 2023 er der en netto udflyvning på 9.695 billeder. Af dette fremgår, at der forud for overvintringsperioden 2022 fløj mindst 11.699 flagermus ind i gruberne, og at der i foråret 2023 efter samme overvintringsperiode fløj mindst 9.695 flagermus ud. Den observerede forskel på cirka 2.000 mellem efterår 2022 og forår 2023 kan for en stor del forklares af de udfaldsperioder, kamerasystemet har haft. F.eks. var der i foråret 2023 et udfald på udflyvningskameraet over syv dage i marts (23-29/3, Tabel 3.1), som er en periode med høj udflyvningsaktivitet generelt. Estimeret ud fra udflyvningstallene over en periode på syv dage umiddelbart før (n=4.345 billeder) og efter (n=4.471 billeder) udfaldet, vurderes udflyvningstallet for udfaldsperioden til at være lignende. Fratrukket det antal indflyvningsbilleder (n=720), der blev taget i udfaldsperioden, vurderes det korrigerede udflyvningstal for forår 2023 at være cirka 13.000. Tilsvarende justeringer baseret på udfaldsdage fører til en lille opjustering af det samlede indflyvningstal for efterår 2022, så nettoantallet af indflyvningsbilleder mellem efterår og udflyvningsbilleder det følgende forår stemmer nogenlunde overens, og estimeres til mellem 12.000 og 13.000, baseret på den ene, fulde overvintringsperiode, der blev indhentet data over, indenfor pilotprojektets tidsramme.

Fig. 1.3 viser desuden, at der forekommer betydelig natlig variation i aktiviteten, baseret på antallet af ind- og udflyvningsdøgn, f.eks. 15/3, hvor der baseret på antal billeder var en netto udflyvning på 52, mens det tilsvarende tal to dage senere 17/3 var 894. Dette er sandsynligvis en væsentlig fejlkilde i forbindelse med manuelle fangst- og optællinger, hvis disse foretages med et vist interval i løbet af en samlet periode, og der ikke statistisk tages højde for variationen.

Der ses en gradvis stigning i aktiviteten ved grubeåbningen fra starten af august, gældende for både ind- og udflyvning. Aktiviteten er mest udtalt hen imod slutningen af august og falder derefter langsomt frem til november. I december og januar er der nærmest ingen aktivitet. Som det ses i Fig. 1.3 og af de natlige eksempler for ind- og udflyvningstal herover, startede udflyvningsperioden i foråret 2023 ganske brat omkring 15/3, med en sekundær peak i starten af april, og fortsætter frem til slut april.

Tabel 3.1. Oversigt over perioder og antal dage i projektperioden, hvor et eller begge kameraer var ude af drift.

	Udfald start	Udfald slut	Antal dage 2022	Antal dage 2023	Dage i alt
Indflyvningskamera	31-01-2023	31-01-2023	-	1	9
	05-03-2023	05-03-2023	-	1	-
	01-07-2023	02-07-2023	-	3	-
	15-08-2023	18-08-2023	-	4	-
Udflyvningskamera	03-08-2022	03-08-2022	1	-	37
	03-09-2022	03-09-2022	1	-	-
	17-01-2023	17-01-2023	-	1	-
	22-01-2023	22-01-2023	-	1	-
	31-01-2023	31-01-2023	-	1	-
	23-03-2023	29-03-2023	-	7	-
	02-07-2023	02-07-2023	-	1	-
	15-08-2023	19-08-2023	-	5	-
	08-11-2023	25-11-2023	-	18	-
	29-11-2023	29-11-2023	-	1	-

3.2 Estimerer for artsbestande

Figur 3.2 viser fotoeksempler af hver af de fem kendte arter, der overvintrer i Mønsted Kalkgruber. Forudsat at fokus og kamerainstillingerne testes ved hver servicering og plexiglasruderne i kamerakassen holdes fri for guano og kondens, så påvirkes kvaliteten af billedmaterialet minimalt, men artsbestemmelsen påvirkes i høj grad af hvilken vinkel de passerende flagermus har relativt til kameraets placering. På de viste fotos er arterne fotograferet fra vinkler, der afslører deres arts karakteristika, og de er derfor tydeligt genkendelige.

Figur 3.2. Eksempler på flagermusfotos fra indflyvningskameraet i Mønsted Kalkgruber. Der er vist to billeder per art for hver af de fem arter, der overvintrer i gruberne. Øverste række: damflagermus (*Myotis dasycneme*), anden række: vandflagermus (*M. daubentonii*), tredje række: Brandts flagermus (*M. brandtii*), fjerde række: brun langøre (*Plecotus auritus*) og nederst: frynseflagermus (*M. nattereri*)



Omfanget af det indsamlede datamateriale gør det ikke praktisk muligt at gennemgå manuelt, selv på frivillig basis. Vi lavede dels en sammenligning af, hvor god overensstemmelse, der var mellem artsbestemmelsen af en lille delmængde af datasættet, udført af den samme frivillig, men af to forskellige omgange, adskilt i tid, og dels, hvor god overensstemmelse, der var imellem artsbestemmelser gennemført på et større datasæt af to forskellige flagermuseksperter. Ud af 91 billeder gennemgået og artsbestemt to gange af den samme frivillig, var der overensstemmelse imellem cirka halvdelen (53 %) af artsbestemmelserne. De to eksperter gennemgik en udvidet delmængde af data (768 fotos) og var enige i 73 % af artsidentifikationerne. Den ene var væsentligt mere konservativ end den anden i forhold til at kategorisere detektioner som bestemte flagermusarter, eller i kategorien 'usikker på artsbestemmelsen'. De to eksperter var mest uenige om skelnen mellem hhv. vand- og frynseflagermus, vand- og Brandts flagermus og mellem vand- og damflagermus.

BatNet arbejder i flere skridt. Først fokuserer algoritmen på detektion (flagermus eller ej), hvor potentielle flagermus automatisk markeres på hvert billede med afgrænsningsbokse. Efterfølgende kommer klassifikationen hvor det neurale netværk forsøger at artsbestemme objektet i hver afgrænsningsboks. Vi testede først BatNets baseline model for hhv. detektion og klassifikation på datasættet fra Mønsted og gentrænede derefter detektions- og klassifikationsmodellen på fotos fra denne lokalitet. Vi brugte billeder fra 2022 til træning og testede både baseline og de gentrænede modeller på data fra hele 2023.

Der findes en række mål for at beskrive hvor effektivt machine learning algoritmer virker til blandt andet billedgenkendelse. Disse er ofte baseret på opdelingen af observationer på kategorierne *sand positiv*, *sandt negativ*, *falsk positiv* og *falsk negativ*. I de to sande kategorier er algoritmens vurdering korrekt, *sand positiv* betyder f.eks. en flagermus bestemmes korrekt af en detektionsalgoritme til at være en flagermus, mens *sandt negativ* betyder at algoritmen korrekt har vurderet en observation til ikke at være en flagermus. De to falske kategorier afspejler hvor algoritmen fejlagtigt bestemmer observationer til henholdsvis at være flagermus, når de ikke er det (*falsk positiv*) eller bestemmer flagermus til ikke at være det (*falsk negativ*). Den sandt negative kategori kan dog ikke defineres i vores tilfælde, da et billede indeholder et næsten uendeligt antal områder uden flagermus og der kun tages meget få billeder uden flagermus overhovedet.

I vores evaluering af BatNet anvender vi samlet nøjagtighed, beregnet som andelen af korrekt bestemte observationer (sand positive) ud af den totale mængde vurderede observationer. I vurderingen af klassifikationsmodellen angives desuden den gennemsnitlige nøjagtighed, udregnet som gennemsnittet af nøjagtigheden på tværs af forskellige klasser, hvor hver flagermusart eller artskompleks betragtes som en klasse.

Desuden angives præcision og genkaldelsesrate (recall). Præcisionsmålet udregnes som andelen af sandt positive observationer ud af alle positive observationer (sande som falske). Med andre ord, ud af alle observationer bestemt til flagermus, hvor mange var da korrekte? Recall er derimod mål for andelen af sandt positive observationer ud af den samlede mængde af observationer, der burde have været bestemt til flagermus (sand positiv + falsk negativ). Recall beskriver derfor hvor mange ud af det totale antal flagermusobservationer, algoritmen finder og bestemmer korrekt.

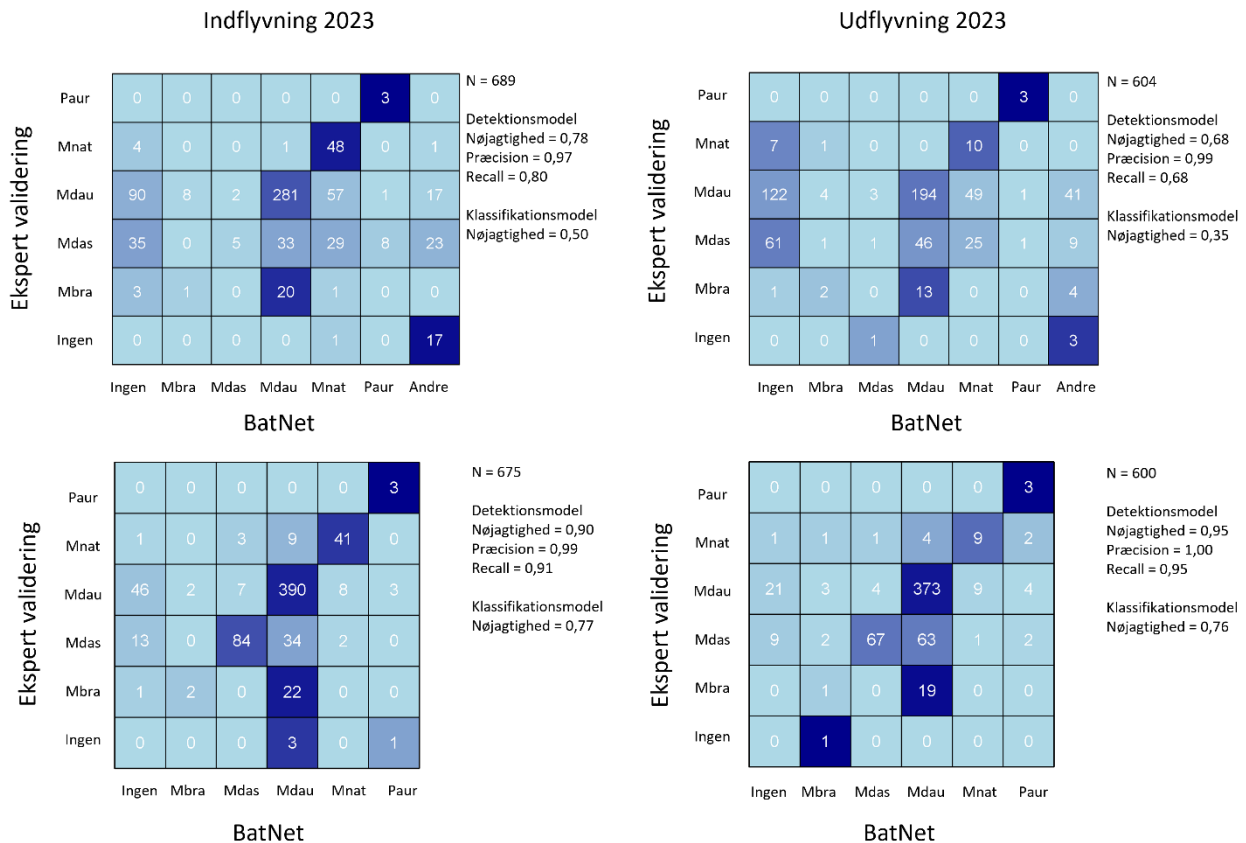
Resultatet af BatNets klassifikationer er opsummeret i forvekslingsmatricer, der sammenligner algoritmens formåen med manuelle artsbestemmelser af de samme billeder udført af en ekspert. BatNets baseline modeller var ikke ret gode til at finde og klassificere flagermus på billederne fra kamerasystemet i Mønsted (Fig. 3.3 øverst).

Den samlede nøjagtighed af baseline modellen anvendt til automatisk detektion og artsbestemmelse af indflyvningsbilleder fra 2023 (hvert 100. billede ud af det totale datasæt) var kun 50 %, mens den for udflyvningsbillederne var 35 %, noget lavere. Detektionsmodellen alene havde højere nøjagtighed, 78 % for indflyvningsbilleder og 68 % for udflyvningsbilleder, men givet den relativt simple opgave at detektere flagermus på en statisk baggrund var dette heller ikke imponerende og afspejler at billedmaterialet og baggrunden fra kamerasystemet i Mønsted er ukendt for BatNets baseline modeller. Den relativt lave detektionsnøjagtighed skyldes især falsk negative, altså tilfælde hvor BatNet overså flagermus.

Baseline modellen er trænet på billeder af 13 forskellige flagermusarter fra tyske overvintringssteder, mens kun fem af disse med sikkerhed er repræsenteret i Mønsted Kalkgruber. Kolonnen yderst til højre med benævnelsen 'Andre' i forvekslingsmatricerne med baseline modellen (Fig. 3.3 øverst) indeholder summen af de arter BatNet klassificerede som andre flagermusarter end dem kendt fra Mønsted Kalkgruber.

Modellerne viste en klar forbedring i nøjagtighed, præcision og recall efter gentræning på fotoinput fra Mønsted (Fig. 3.3. nederst). Nøjagtigheden steg fra 50 % eller derunder med baselinemodellen til hhv. 76 % (på indflyvningsbilleder) og 77 % (på udflyvningsbilleder) med den gentrænede model. Ligeledes steg præcisionen af detektioner til hhv. 99 % og 100 %, hvilket betyder at modellen stort set er optimeret i forhold til korrekt bestemmelse af sin vurdering af om billederne indeholder flagermus eller ej. Recall af detektionsmodellen for indflyvningsbilleder steg fra 80 % (baseline) til 91 % (gentrænede) og for udflyvningsbilleder fra 68 % (baseline) til 95 %, så de gentrænede modeller blev også væsentlig bedre til at medtage flagermus, som baselinemodellen overså.

Der er dog behov for yderligere forbedring før metoden er operationel til arts-overvågning, idet forvekslingsmatricerne over BatNets formåen viser, at selv de gentrænede modeller ofte forveksler dam- og vandflagermus, særligt for udflyvningsbilleder, hvor størstedelen af de i alt 144 billeder identificeret af eksperten som damflagermus bestemmes af BatNet med stort set ligelig fordeling på dam- og vandflagermus med hhv. 67 og 63 observationer. Modellen identificerer ingen arter, som ikke forventes i Mønsted Kalkgruber, da disse kategorier er blevet fjernet som mulighed i modellen. Det er selvfølgelig vigtigt at verificere modellen hvert år, for at sikre at modellen forsat fungerer, og at der ikke er kommet nye arter til gruberne.



Figur 3.3. Forvekslingsmatrice med sammenligning af BatNets artsbestemmelser med dem udført manuelt af en ekspert. Til venstre ses data fra indflyvningskameraet for året 2023 og til højre data fra udflyvningskameraet i samme periode. Validering er udført på hver 100. billede ud af det totale datasæt. I øverste række vises resultaterne ved brug af BatNets baseline model og nederst resultater efter gentræning af baseline modellen med billeder lokalitetsspecifikke for Mønsted Kalkgruber. 'Andre' kategorien indeholder følgende arter, som antagelig ikke findes i Mønsted Kalkgruber: bredøret flagermus (*Barbastellus barbastellus*), brunflagermus (*Nyctalus noctula*), Geoffroys flagermus (*Myotis emarginatus*), Bechsteins flagermus (*Myotis bechsteini*), stor museøre (*Myotis myotis*), sydflagermus (*Eptesicus serotinus*) samt artskomplekserne hestekonæser (*Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*) og dværg-/pipistrelflagermus (*Pipistrellus pipistrellus* + *P. pygmaeus*)

Grundet problemer med at finde lokalitetsspecifikke billeder med overensstemmende artsbestemmelse fra begge eksperter af de mere sjældent forekommende arter i Mønsted (Brandts flagermus, frynseflagermus og brun langøre), blev der ikke anvendt et symmetrisk antal billeder per art til at gentræne henholdsvis ind- og udflyvningsmodellerne. Tabel 3.2 viser en oversigt over antallet af billeder anvendt per art og per retning til gentræningen af BatNet.

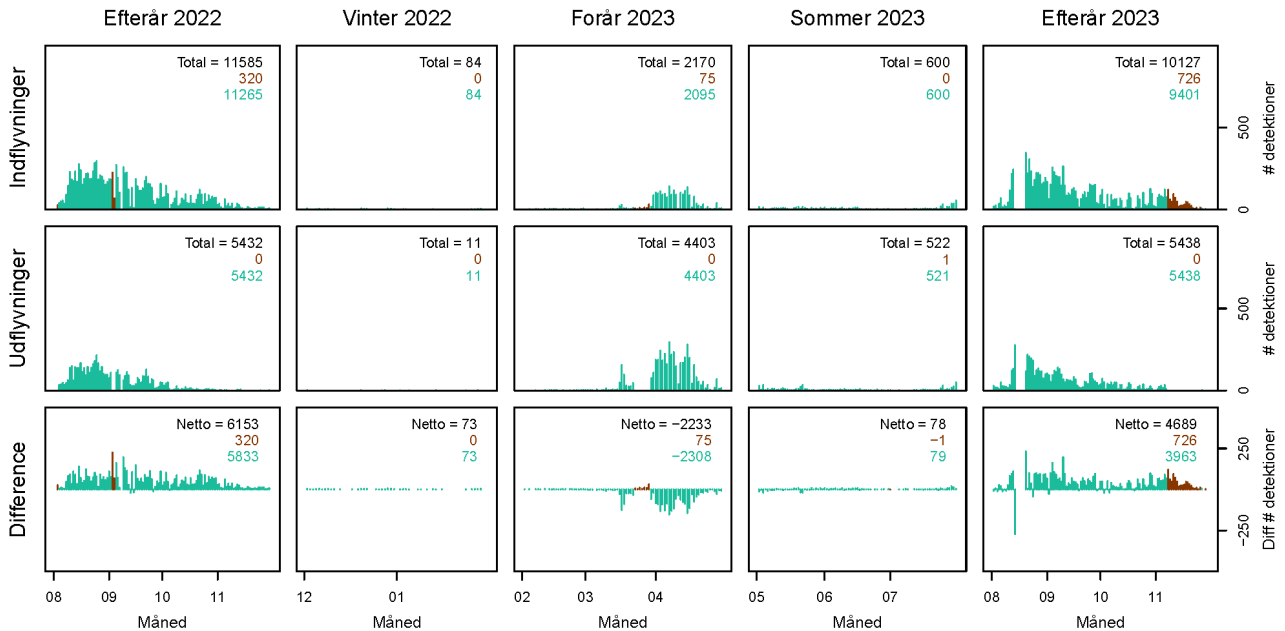
Tabel 3.2. Oversigt over antal detektioner per art og per kamera anvendt til gentræning af BatNet. Artskategorierne er angivet som antal detektioner/afgrænsningsboks fordelt på arterne: Mdas = damflagermus, Mdau = vandflagermus, Mbra = Brandts flagermus, Mnat = frynseflagermus, Paur = brun langøre. Desuden indgik kategorierne flagermus og ikke flagermus. Antal billeder angiver hvor mange billeder detektionerne/afgrænsningsboksene er taget fra.

	Mdas	Mdau	Mbra	Mnat	Paur	Flagermus	Ikke flagermus	Antal billeder
Indflyvning	60	85	26	116	66	215	36	416
Udflyvning	55	81	15	14	37	155	22	335

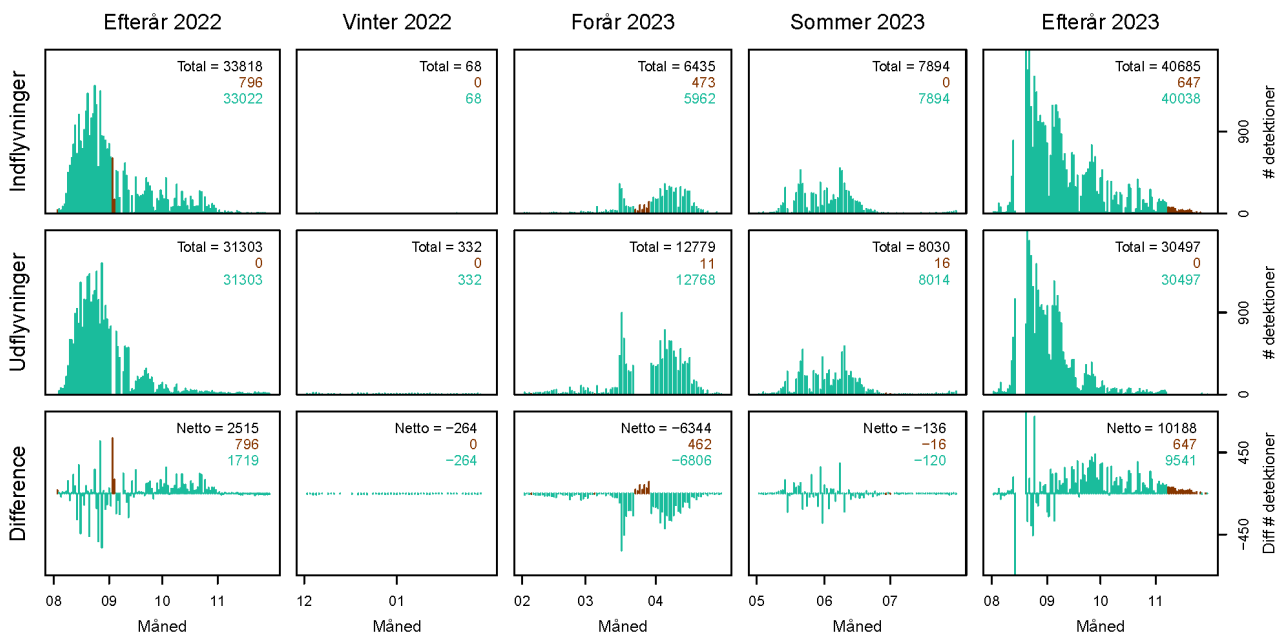
Efter gentræning af BatNet brugte vi de nye lokalitetsspecifikke modeller til en automatiseret gennemgang af hele datasættet indsamlet i løbet af 2023. De fem figurer herunder viser en oversigt over antal ind- og udflyvninger per art for de fem arter registreret i Mønsted Kalkgruber, henholdsvis damflagermus

(Fig. 3.4), vandflagermus (Fig. 3.5), Brandts flagermus (figur 3.6), frynseflagermus (Fig. 3.7) og brun langøre (Fig. 3.8).

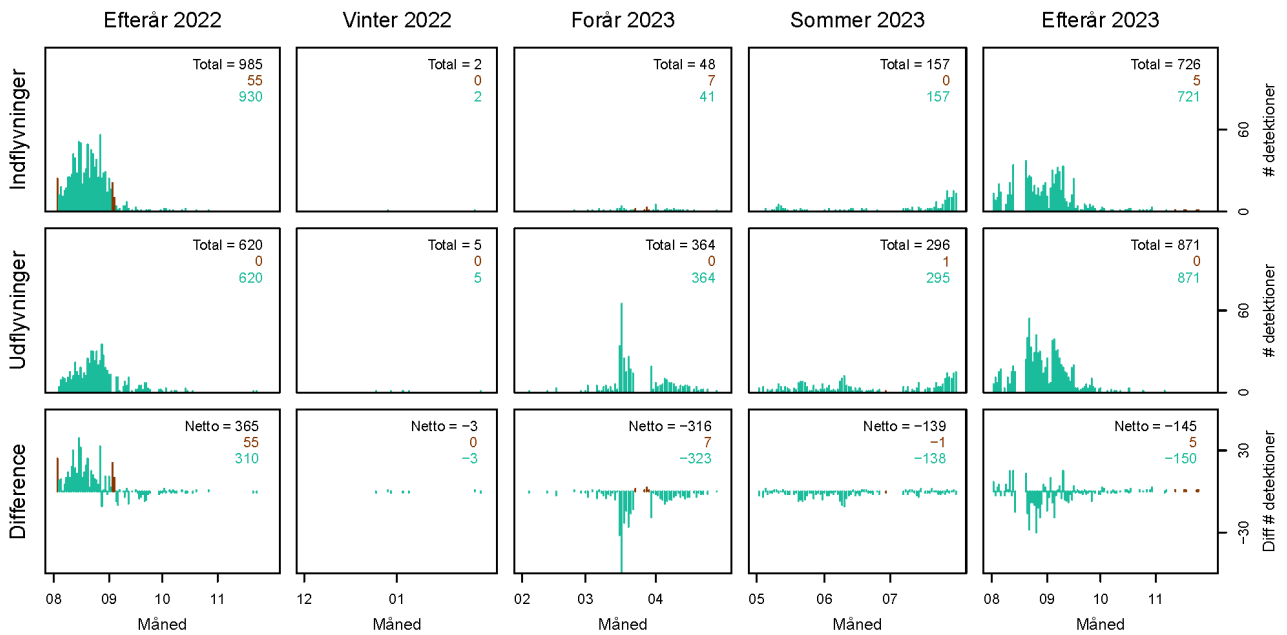
Figureerne og bestandsestimater for arterne er baseret på artsbestemmelserne fra BatNet og illustrerer proof-of-concept. Givet de eksisterende usikkerheder i artsbestemmelsen, både manuelt og automatiseret, bør tallene ikke på nuværende tidspunkt anvendes som pålidelige bestandsestimater for arterne.



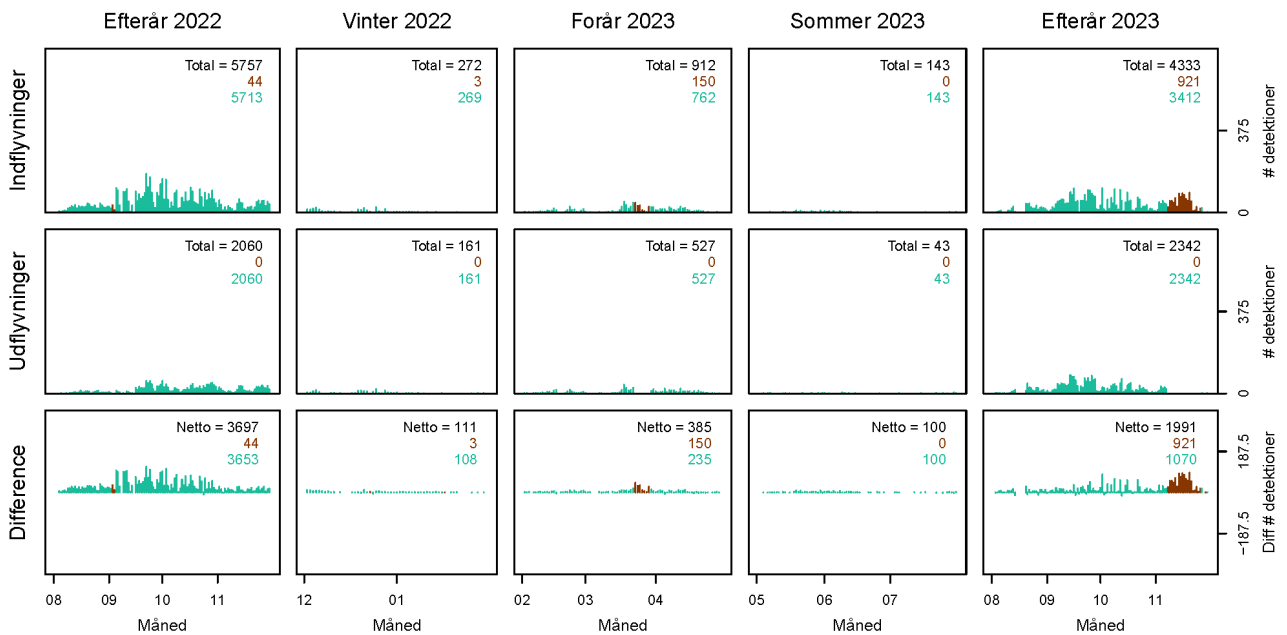
Figur 3.4. Oversigt over ind- og udflyvningsaktivitet for damflagermus (*Myotis dasycneme*) i Mønsted Kalkgruber i forsøgsperioden. Artsbestemmelserne er foretaget automatisk baseret på gentræning af BatNets detektions- og klassifikationsmodel og brug af et neuralt netværk på pilotstadiet. De bør derfor ikke anvendes som pålidelige bestandsestimater for arterne.



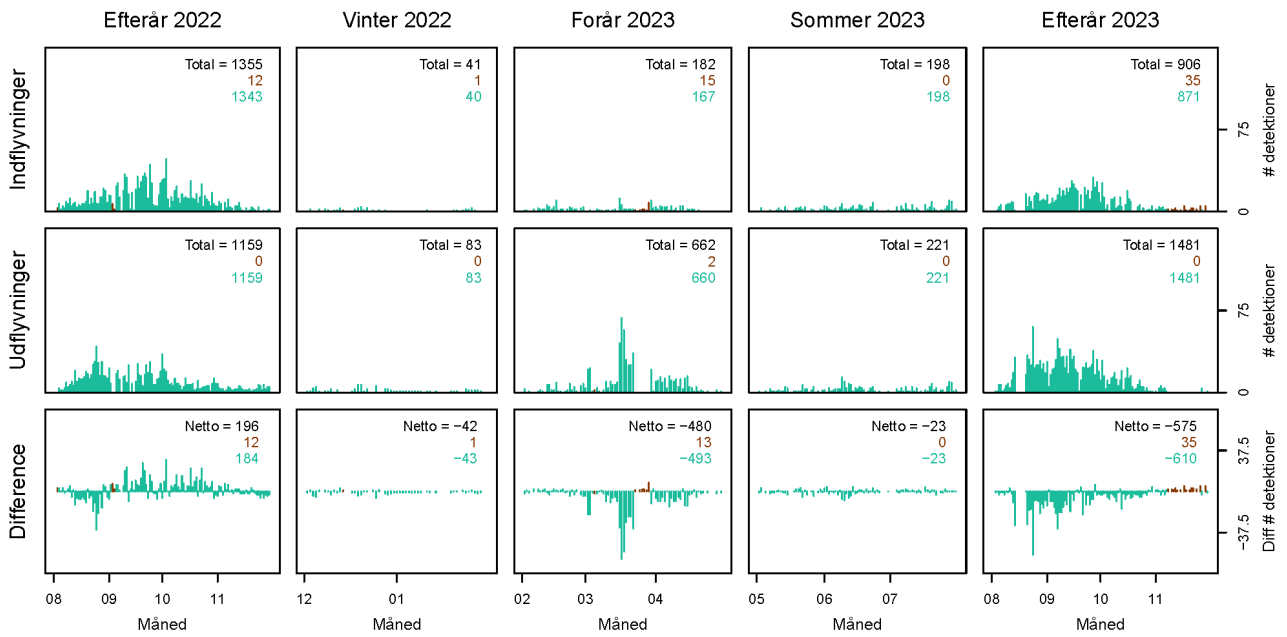
Figur 3.5. Oversigt over ind- og udflyvningsaktivitet for vandflagermus (*Myotis daubentonii*) i Mønsted Kalkgruber i forsøgsperioden. Artsbestemmelserne er foretaget automatisk baseret på gentræning af BatNets detektions- og klassifikationsmodel og brug af et neuralt netværk på pilotstadiet. De bør derfor ikke anvendes som pålidelige bestandsestimater for arterne.



Figur 3.6. Oversigt over ind- og udflyvningsaktivitet for Brandts flagermus (*Myotis Brandtii*) i Mønsted Kalkgruber i forsøgsperioden. Artsbestemmelserne er foretaget automatisk baseret på gentræning af BatNets detektions- og klassifikationsmodel og brug af et neuralt netværk på pilotstadiet. De bør derfor ikke anvendes som pålidelige bestandsestimater for arterne.



Figur 3.7. Oversigt over ind- og udflyvningsaktivitet for frynseflagermus (*Myotis Nattereri*) i Mønsted Kalkgruber i forsøgsperioden. Artsbestemmelserne er foretaget automatisk baseret på gentræning af BatNets detektions- og klassifikationsmodel og brug af et neuralt netværk på pilotstadiet. De bør derfor ikke anvendes som pålidelige bestandsestimater for arterne.



Figur 3.8. Oversigt over ind- og udflyvningsaktivitet for brun langøre (*Plecotus auritus*) i Mønsted Kalkgruber i forsøgsperioden. Artsbestemmelserne er foretaget automatisk baseret på gentræning af BatNets detektions- og klassifikationsmodel og brug af et neuralt netværk på pilotstadiet. De bør derfor ikke anvendes som pålidelige bestandsestimater for arterne.

4 Diskussion

Projektets formål var at etablere, teste og evaluere kameraovervågning som metode til en løbende, delvist automatiseret overvågning af bestandsudvikling for de flagermusarter, der overvintrer i Mønsted Kalkgruber: vandflagermus, damflagermus, Brandts flagermus, frynseflagermus og brun langøre.

Pilotprojektet har vist at metoden kan anvendes til at sikre et robust datagrundlag over tid for de enkelte arter, såvel som sæsonbaserede estimater af det samlede antal flagermus, der overvintrer i gruberne.

Indenfor projektets tidsramme har det været muligt på baggrund af fotodata at estimere og sammenligne samlede bestandsestimater baseret på henholdsvis netto indflyvning i efteråret 2022 og netto udflyvning i foråret 2023. Yderligere er der etableret proof-of-concept for et automatiseret analyseworkflow, der på sigt kan anvendes til at fremskaffe artsspecifikke bestandsestimater, herunder af damflagermus, der er af særlig interesse grundet deres status som både bilag II og bilag IV art, og fordi størstedelen af den jyske bestand vurderes at overvintrer i kalkgruberne i Mønsted og Daugbjerg (Baagøe 2007, Elmeros 2020).

De foreløbige resultater viser – som forventet – at der er plads til forbedring af klassifikationsalgoritmen. De viste bestandstal for arterne (Fig. 3.4-3.8) bør derfor ikke på det nuværende stadie anses for repræsentative.

F.eks. er tallene for netto indflyvning af frynseflagermus (Fig. 3.7) både i efterår 2022 og 2023 meget højere end netto udflyvning i forår 2023. Dette skyldes sandsynligvis at vi, ved at have trænet ind- og udflyvningsmodellen på et umage antal billeder (116 fra indflyvningskameraet, 14 fra udflyvningskameraet, Tabel 3.2) har introduceret bias i klassifikationsmodellen for indflyvningskameraet. Der var i en del af perioden ringere lysforhold på billeder fra udflyvningskameraet. Det udfordrede artsbestemmelsen af frynseflagermus, og resulterede i det ubalancerede datasæt brugt til træning af BatNet. Som konsekvens heraf ses også en stor forskel mellem netto ind- og udflyvning for vandflagermus, der som resultat af modellernes bias er blevet klassificeret som frynseflagermus under indflyvning, men ikke under udflyvning.

For Brandts flagermus og brun langøre, to af de sjældnere forekommende arter i Mønsted (fig. 3.6 og 3.8) ses en negativ netto difference i efterår 2023, men ikke i efterår 2022. Forklaringen på dette er formodentlig, at modellen kun er trænet med billeder fra 2022. Hvis der ændres en smule på kameraindstillingerne eller lysforhold uden at der tages højde for dette med supplerende træningsdata opstår der nemt en større eller mindre bias i algoritmens klassifikationer. For arter, der kun er repræsenteret med få hundrede individer, kan det have store konsekvenser for pålideligheden af artens bestandsestimat (f.eks. hvis 1 % af 10.000 flagermus bliver fejlbestemt som Brandts flagermus, overvurderes bestanden potentielt med 100 individer).

For at optimere yderligere på BatNets klassifikationsmodeller vil det kræve gentagne runder af træning og validering. Et vigtigt første skridt er at sikre maksimal overensstemmelse uden bias imellem de eksperter der foretager artsbestemmelserne der fungerer som træningsinput til BatNet. Dette kræver yderligere træning og kollegial sparring. Desuden kunne det overvejes om

anvendelsen af et klassifikationskema, f.eks. med en matrice over artskaraktéristiske træk, hvilken rækkefølge disse bør vurderes i, samt et scoringsystem, kan afhjælpe subjektiv bias. Yderligere er det for de sjældnere forekommende arter et spørgsmål om tid før der er indsamlet nok billeder med en troværdig, manuel artsbestemmelse til at træne algoritmen på. Der bør anvendes en robust delmængde af billeder for hver af arterne, balanceret med et tilsvarende antal billeder per art og per model til automatiseret gennemgang af henholdsvis ind- og udflyvningsbilleder. Det er også en mulighed manuelt at gennemgå samtlige af de klassifikationer BatNet leverer som Brandts eller brun langøre, og derfor målrettet træne modellen på disse arter.

Samtidig bør det sikres at kameraindstillinger og fokus justeres og fastholdes, så der ikke introduceres utilsigtede ændringer i disse når kameraerne serviceres, fx tages op af kasserne under udskiftning af hukommelseskortene, der sidder i kameraernes bund.

Det er i løbet af projektet blevet tydeligt at opgaven med artsbestemmelser indtil videre er for kompleks og omfattende til at den kan varetages af utrænede frivillige. Det kan ikke udelukkes at yderligere automatisering og forbedring af klassifikationsmodellerne i BatNet på sigt kan gøre opgaven mere overskuelig og tilgængelig i citizen science regi. Dog skal der i så fald stadig indtænkes ressourcer til træning og kvalitetssikring.

Der er opsat udstyr og udviklet en infrastruktur til fortsat dataindsamling. Servicering af udstyret har ikke været specielt krævende, men det tilrådes at kontrol og servicering af systemet, herunder kontakten til ChiroTEC, dag-til-dag rutiner med at tjekke blitzrapporter, der fungerer som indikator for systemets funktionalitet, vedligeholdelse og data backup, fremadrettet varetages lokalt i Mønsted for at sikre hurtig genopretning i tilfælde af udfald.

5 Konklusion og perspektiver

Kamerasystemet, der nu er opsat og aktivt i Mønsted Kalkgruber, har potentiale for at sikre et detaljeret og robust datagrundlag for forvaltningen af grubernes flagermusarter. Herunder årlige variationer i artsspecifikke bestandsestimater og aktivitetsmønstre i gruberne.

På trods af, at overvågningsmetoden kan forbedres og ikke kan fuld-automatiseres, vil den fra år til år og på sæsonbasis kunne indikere om der sker dramatiske ændringer i bestandssammensætningen i Mønsted Kalkgruber, så forvaltningsmæssige tiltag kan sættes i gang hurtigere.

Metoden er kun anvendelig hvis dataindsamlingen videreføres på langt sigt og der afsættes ressourcer til løbende gentræning og validering af den automatiserede artsgenkendelse.

Infrastrukturen til dataanalyse er oprettet og hvis den vedligeholdes og fortsat udvikles, kan der hurtigt tilføjes data fra yderligere lokaliteter i Danmark. Idet overvågningssystemet er i brug flere steder i Europa er der potentiale for på sigt også at undersøge sammenhænge og forskelle i flagermusenes sæsonbaserede aktivitetsmønstre og bestandstal på tværs af breddegrader, af international gavn for flagermusarternes forvaltning.

6 Litteratur

Ahlén I & Baagøe HJ 1999. Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe. Experiences from field identification, surveys and monitoring. *Acta Chiropterologica* 1: 137-150.

Baagøe HJ, Degn HJ, Nielsen P 1988. Departure dynamics of *Myotis daubentonii* (Chiroptera) leaving a large hibernaculum. *Videnskabelige meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening* 147: 7-24.

Baagøe, HJ (2007). Damflagermus *Myotis dasycneme* (Boie, 1825). - I: HJ Baagøe & Jensen TS. (red.): *Dansk Pattedyratlas*. - Gyldendal, København, s. 51-55.

Baagøe, HJ, Degn HJ 2004. Flagermusene i Daugbjerg og Mønsted Kalkgruber i udflyvningsperioden 2003. Notat udarbejdet for Danmarks Miljøundersøgelser.

Baagøe, HJ, Degn HJ 2009. Flagermusene i Daugbjerg og Mønsted Kalkgruber i udflyvningsperioden 2009. Notat udarbejdet for Skov- og Naturstyrelsen, Midtjylland.

Degn HJ 1987. Bat counts in Mønsted Limestone Cave during the year. *Myotis* 25: 85-90.

Degn HJ, Andersen BB & Baagøe HJ (1995). Automatic registration of bat activity through the year at Mønsted Limestone Mine, Denmark. - *Zeitschrift für Säugetierkunde* 60:129-135.

Abhishek Dutta and Andrew Zisserman. 2019. [The VIA Annotation Software for Images, Audio and Video](#). In Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia (MM '19), October 21–25, 2019, Nice, France. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. <https://doi.org/10.1145/3343031.3350535>.

Elmeros M 2020. Beskyttelse af flagermus og miljøvurderinger. Aarhus Universitet, Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 2020/55.

Elmeros M, Baagøe HJ, Sunde P, Theilmann J, Vedel-Smith C 2019. Pattedyr. I: Moeslund JE, Nygaard B (red.). *Den danske Rødliste 2019*. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. <http://redlist.au.dk>

Elmeros M, Brinkløv SMM, Fjederholt ET, Fjederholt S, Møller JD, Skalshøj MR, Uebel AS & Baagøe HJ 2022. Udflyvningen af flagermus fra Mønsted og Daugbjerg kalkgruber i foråret 2022. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 30 s. Videnskabelig rapport nr. 519. <http://dce2.au.dk/pub/SR519.pdf>

Jansen E.A., H.J.G.A. Limpens & M. Schillemans, 2014. Automatic Monitoring of Bats in Hibernacula - Methods, Strengths and Shortcomings. Rapport 2014.09. Bureau van de Zoogdierverseniging, Nijmegen

Krivek, G., Schulze, B., Poloskei, P.Z., Frankowski, K., Mathgen, X., Douwes, A. et al. 2021. Camera traps with white flash are a minimally invasive method for long-term bat monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(3), 284–296.

Krivek, G., Gillert, A., Harder, M., Fritze, M., Frankowski, K., Timm, L., Meyer-Olbersleben, L., von Lukas, U.F., Kerth, G. and van Schaik, J. 2023. Bat-Net: a deep learning-based tool for automated bat species identification from camera trap images. *Remote Sens Ecol Conserv*, 9: 759-774. <https://doi.org/10.1002/rse2.339>

Kugelschafter, K. & C. Kreidler (2021), Dynamics of Bechstein's bat at a hibernaculum through the year based on photo monitoring techniques, Book of Abstracts, ERBS21, Turku, Finland, 4-7 May 2021: 43

Limpens HJGA, Lina PHC, Hutson AM, 2000. Action plan for the conservation of the pond bat in Europe (*Myotis dasycneme*). Nature and Environment no. 108, Council of Europe.

Møller JD, Baagøe HJ, Degn HJ, Krabbe E 2013. Forvaltningsplan for flagermus. Beskyttelse og forvaltning af de 17 danske flagermus-arter og deres levesteder. Naturstyrelsen, Miljøministeriet.

Matthäus L, Kugelschafter K, Fietz J 2022. Evaluation of different monitoring methods at maternity roosts of greater mouse-eared bats (*Myotis myotis*). *Biodiversity and Conservation* 31, 1289–1312.

Rydell, J., Nyman, S., Eklöf, J., Jones, G. & Russo, D. (2017) Testing the performances of automated identification of bat echolocation calls: a request for prudence. *Ecological Indicators*, 78, 416–420.

Søgaard B, Elmeros M, Baagøe HJ 2018. Overvågning af flagermus *Chiroptera* sp., version 3. Teknisk Anvisning fra Fagdatacenter for Biodiversitet og Terrestrisk Natur, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.

Thomas RJ & Davison SP 2022. Seasonal swarming behavior of *Myotis* bats revealed by integrated monitoring, involving passive acoustic monitoring with automated analysis, trapping, and video monitoring. *Ecology and Evolution*, 12, e9344. <https://doi.org/10.1002/ece3.9344>

BESTANDSOVERVÅGNING AF FLAGER- MUSARTER I MØNSTED KALKGRUBER MED FOTOFÆLDER OG CITIZEN SCIENCE

De to overvintringslokaliteter Mønsted og Daugbjerg Kalkgruber vurderes at have vigtig betydning for bevaringsstatus af dam- og vandflagermus i Jylland. Baseret på fangster hen over foråret i henholdsvis 2009 og 2022 vurderedes antallet af både dam- og vandflagermus i Mønsted Kalkgruber til at være halveret i perioden. Metoden er dog ikke velegnet til at følge antallet af rastende flagermus i gruberne på årsbasis og da fangst-tællemetoden er baseret på tal, der intrapoleres over en sammenhængende periode, hvor der fanges hver femte nat, introduceres der herved væsentlige usikkerheder i de resulterende bestandsestimater. I 2021 blev der i Mønsted Kalkgruber installeret et kamerasystem, der muliggør løbende tælling og artsidentifikation af de ind- og udflyvende flagermus. Denne rapport sammenfatter resultaterne af et pilotprojekt, der tester kamerametodens anvendelighed til langsigtet år-for-år bestandsovervågning af de flagermusarter, der overvintrer i Mønsted Kalkgruber.