



BRUG AF DRONE MED TERMISK KAMERA TIL OVERVÅGNING AF HJORTEVILDT

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 169

2020



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

BRUG AF DRONE MED TERMISK KAMERA TIL OVERVÅGNING AF HJORTEVILDT

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 169

2020

Thomas Eske Holm¹
Claus Lunde Pedersen¹
Henrik Jørgensen²

¹Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

²Miljø- og Fødevareministeriet, Naturstyrelsen Midtsjælland



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 169
Titel:	Brug af drone med termisk kamera til overvågning af hjortevildt
Forfattere:	Thomas Eske Holm ¹ , Claus Lunde Pedersen ¹ & Henrik Jørgensen ²
Institutioner:	¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience ² Miljø- og Fødevarerministeriet, Naturstyrelsen Midtjylland
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Maj 2020
Redaktion afsluttet:	April 2020
Faglig kommentering:	Hans Peter Hansen
Kvalitetssikring, DCE:	Jesper Fredshavn
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Holm, T.E., Pedersen, C.L. & Jørgensen, H. 2020. Brug af drone med termisk kamera til overvågning af hjortevildt. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 30 s. - Teknisk rapport nr. 169 http://dce2.au.dk/pub/TR169.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Bestandsopgørelser af konflikter som kron- og dåvildt har hidtil ofte været baseret på estimater foretaget på baggrund af lokale og regionale indberetninger, eller på baggrund af jagtudbyttestatistikkerne. Historisk har disse opgørelser været præget af en høj grad af usikkerhed. Gode populationsestimater er en forudsætning for en mere effektiv forvaltning, herunder en forebyggelse af hjortevildtets mark- og skovskader. Med fremkomsten af den termiske droneteknologi er der sket et teknisk jordskred, som kan forbedre mulighederne for at få mere præcise estimater. Med termisk kamera fra en drone kan man kortlægge større områder fra luften. Da man med kameraet kan spore varmeforskelle, kan man kortlægge større pattedyr som hjorte i skovområder eller i større mosaiklandskaber, hvor dyrene kan skjule sig og derfor være vanskelige at optælle på traditionel vis. Ved hjælp af informationerne i de termiske billeder, kan man få bedre estimater, herunder antal og fordeling af køn. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet rådgiver løbende Miljøstyrelsen om overvågningsmetoder. I dette projekt har DCE undersøgt metoder til overvågning af hjortevildt fra drone med påmonteret termisk kamera. Projektet er et samarbejde med Naturstyrelsen Midtjylland som har testet metoderne på større skala på den frie vildtbane.
Emneord:	Droner, termisk kamera, dådyr, krondyr, hjortevildt, overvågning
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Jacob Coleman Nielsen
ISBN:	978-87-7156-487-7
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	30
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/TR169.pdf

Indhold

Sammenfatning	5
1. Indledning	6
1.1 Opgavefordeling	7
1.2 Tak	7
2. Metoder	8
2.1 Drone og kamera	8
2.2 Indstillingsmuligheder	9
2.3 Filformater for DJI Zenmuse XT2	11
2.4 Videoformater for DJI Zenmuse XT2	13
2.5 Transektflyvning og manuel flyvning	13
2.6 Forsøgsområder	13
2.7 Optimalt vejr til termisk fotografering	13
2.8 Analyse af billeder	14
2.9 Tilladelser og dronebevis	15
3. Resultater og diskussioner	16
3.1 Flyvning	16
3.2 Billedanalyse	20
4. Konklusioner	29
5. Referencer	30

Sammenfatning

Bestandsopgørelser af konfliktarter som kron- og dåvildt har hidtil ofte været baseret på estimater foretaget på baggrund af lokale og regionale indberetninger, eller på baggrund af jagtudbyttestatistikkerne.

Historisk har disse opgørelser været præget af en høj grad af usikkerhed. Gode populationsestimater er en forudsætning for en mere effektiv forvaltning, herunder en forebyggelse af hjortevildtets mark- og skovskader. Med fremkomsten af den termiske droneteknologi er der sket et teknisk jordskred, som kan forbedre mulighederne for at få mere præcise estimater.

Med termisk kamera fra en drone kan man kortlægge større områder fra luften. Da man med kameraet kan spore varmemforskelle, kan man desuden registrere og kortlægge større pattedyr som hjortevildt i skovområder eller i større mosaiklandskaber, hvor dyrene kan skjule sig og derfor være vanskelige at optælle på traditionel vis. Ved hjælp af informationerne i de termiske billeder, kan man få bedre estimater på antallet af dyr fordelt på arter og køn.

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet rådgiver løbende Miljøstyrelsen om overvågningsmetoder. I dette projekt har DCE undersøgt metoder til overvågning af hjortevildt fra drone med påmonteret termisk kamera. Projektet er et samarbejde med Naturstyrelsen Midtjylland som har testet metoderne på større skala på den frie vildtbane. Projektet er finansieret med støtte fra Miljøstyrelsens jagttegnsmidler.

1. Indledning

Kendskab til bestandsstørrelsen er et vigtigt redskab, når arter som kron- og dåvildt skal forvaltes. Når antallet af dyr skal opgøres, tæller man ofte forårsbestanden, som er antallet af individer i et område efter jagtsæsonen, men før kalvesætning. De hidtidige bestandsopgørelser af kron- og dåvildt har været baseret på estimater foretaget på baggrund af lokale observatører og regionale indberetninger på baggrund af jagtudbyttestatistikkerne.

Fordi krondyr og dådyr bevæger sig over relativt store områder, også kaldet home range, kræver en bestandsopgørelse, at man kan tælle dyrene over store arealer. Den mest udbredte videnskabelige metode til bestandsopgørelse er optælling af fald (ekskrementer). Denne metode er dog primært velegnet til mindre områder og svær at benytte i stor skala. Til optælling af hjortevildt i et område, har den bedste metode været, at opgøre bestanden ved visuelt at iagttage og tælle individerne. Under forudsætning af, at man ikke tæller nogle af individerne to eller flere gange, har dette har givet et minimumsestimat for bestanden, da der ikke kan være færre dyr, end der er set.

Det anslås imidlertid, at man ved en visuel tælling kun ser 60-80 % af den samlede kron- eller dåvildtbestand i et område (Jacobsen 2017). Især dyr der står i skove eller bevoksninger kan være svære at registrere. Den visuelle tælling kan over tid tegne en tendens for bestandsudviklingen, men kan altså ikke vise en bestands samlede størrelse. Gode populationsestimater er en forudsætning for en mere effektiv forvaltning, herunder en forebyggelse af fx hjortevildtets mark- og skovskader, men historisk har disse opgørelser altså været præget af en høj grad af usikkerhed.

Med fremkomsten af den termiske droneteknologi er der sket et teknisk jordskred, som på to måder kan forbedre mulighederne for at få mere præcise bestandsestimater. Med termisk kamera fra en drone kan man kortlægge større områder fra luften. Desuden kan man spore varmemforskelle, og herved registrere større pattedyr i bl.a. skovområder, hvor dyrene ikke kan spores med almindelige kameraer og hvor dyrene heller ikke opdages ved en traditionel visuel optælling.

Hvert individ, der optages med et termisk kamera fra luften, kan optælles og ofte artsbestemmes ud fra dyrets størrelse, kombineret med lokalkendskabet til et områdes sammensætning af hjortearter. Ud fra dyrenes relative temperatur og størrelse er det også muligt at estimere kønnet for voksne dyr.

Denne rapport bygger videre på DCE's hidtidige erfaringer med naturovervågning fra droner (Holm m.fl. 2018; Holm m.fl. 2019; Holm & Bregnballe 2019) og præsenterer en metode til overvågning af hjortevildt ved hjælp af droner med termisk kamera. Projektet har taget afsæt i kendte bestande af kron- og dåvildt i lukkede enheder (dyrehaver) samt droneoverflyvning af større områder på den fri vildtbane. Vi beskriver først det tekniske udstyr til flyvning og optagelse. Herefter beskrives forskellige måder at flyve dronen på, alt efter hvad der er formålet med registreringen. Endelig beskrives analysen af video og billeder, heriblandt optælling, artsgenkendelse og kønsbestemmelse.

1.1 Opgavefordeling

Inden opgavens udførelse forelå en klar opgavefordeling mellem DCE og Naturstyrelsen Midtsjælland (NST). DCE har foretaget flyvninger i lukkede systemer som fx dyrehaver og har ud fra disse erfaringer udviklet en protokol for overvågning af hjortevildt med droner og termisk kamera. NST har testet og afprøvet metoden i praksis på den frie vildtbane i eget distrikt på Midtsjælland og givet vigtig feedback til forbedringer af metoden. DCE har stået for den faglige kvalitetssikring af rapporteringen.

1.2 Tak

Tak til Frank Vigh-Larsen og Skandinavisk Dyrepark for at stille parken til rådighed for forsøgene. Ligeledes tak til Jes Larsen ved Egens for at stille sin hjortefarm til rådighed for overflyvning og fotografering.

2. Metoder

2.1 Drone og kamera

I alle forsøg blev der benyttet en sort DJI Matrice 210 (Fig. 2.1.). Dronen er en multirotordroner med fire motorer (quadrocopter). Diameteren er 88 cm og vægten er 3,84 – 4,57 kg uden kamera, afhængigt af hvilke batterier der benyttes. Flyvetiden er ca. 27 min med to TB50 standardbatterier (4280 mAh) og 38 min med to TB55 batterier (7660 mAh).

Figur 2.1. DJI Matrice 210.

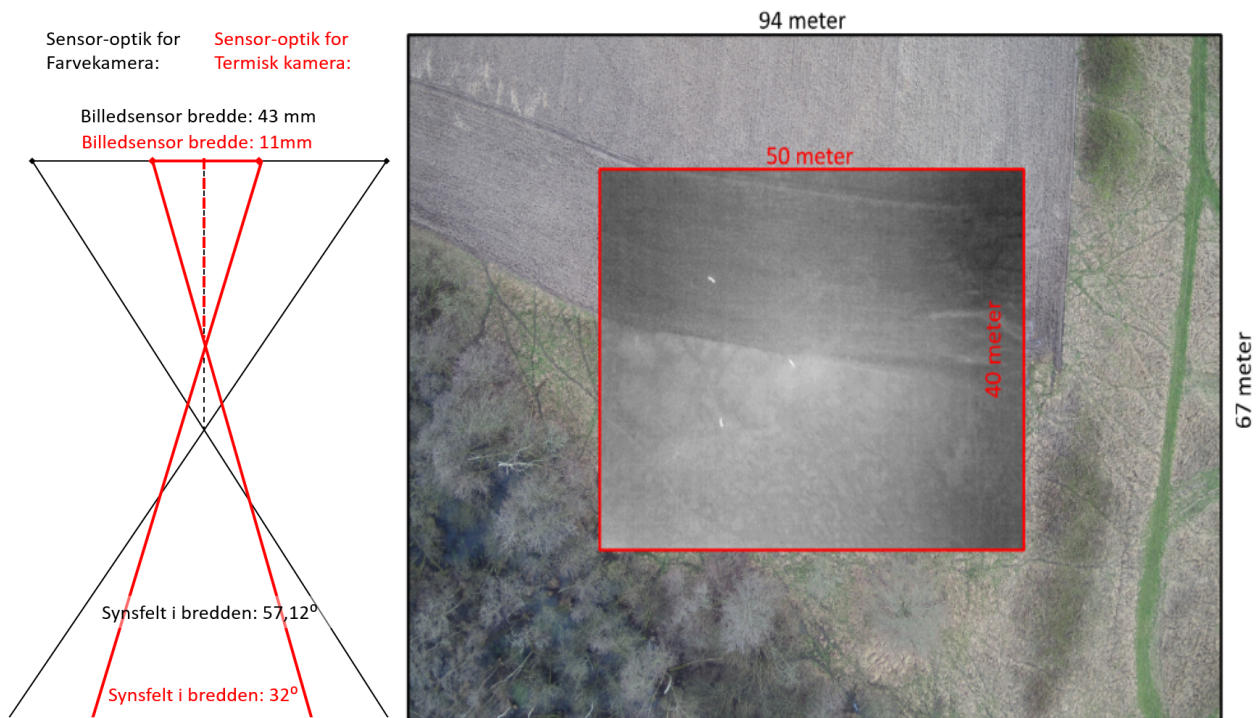


Det påmonterede termiske kamera var et DJI Zenmuse XT2 (Figur 2.2). Det er et dobbeltkamera til optagelse af enkeltbilleder eller video i farver (RGB-format) samtidig med optagelse af termografiske billeder eller video. Det termiske kamera har en opløsning på 640x512 pixels, en billedfrekvens på 30 Hz og et objektiv med brændvidde på 19 mm. Kameraet, der tager farvebilleder har en sensoropløsning på 3000x4000 pixels og en billedfrekvens på 30 Hz.

Figur 2.2. DJI Zenmuse XT2, 640 px, 19 mm, 30 hz.



Den fysiske størrelse på billedsensoren til termografiske billeder er: 10,90 x 8,77mm, hvilket er mindre end størrelsen på billedsensoren i farvekameraet: 43,18 x 25,4mm. Denne forskel gør, at farvekameraet har et større synsfelt end den termografiske og i praksis dækker farvebilledet mere end 3 gange arealet af de termografiske billeder (Figur 2.3).

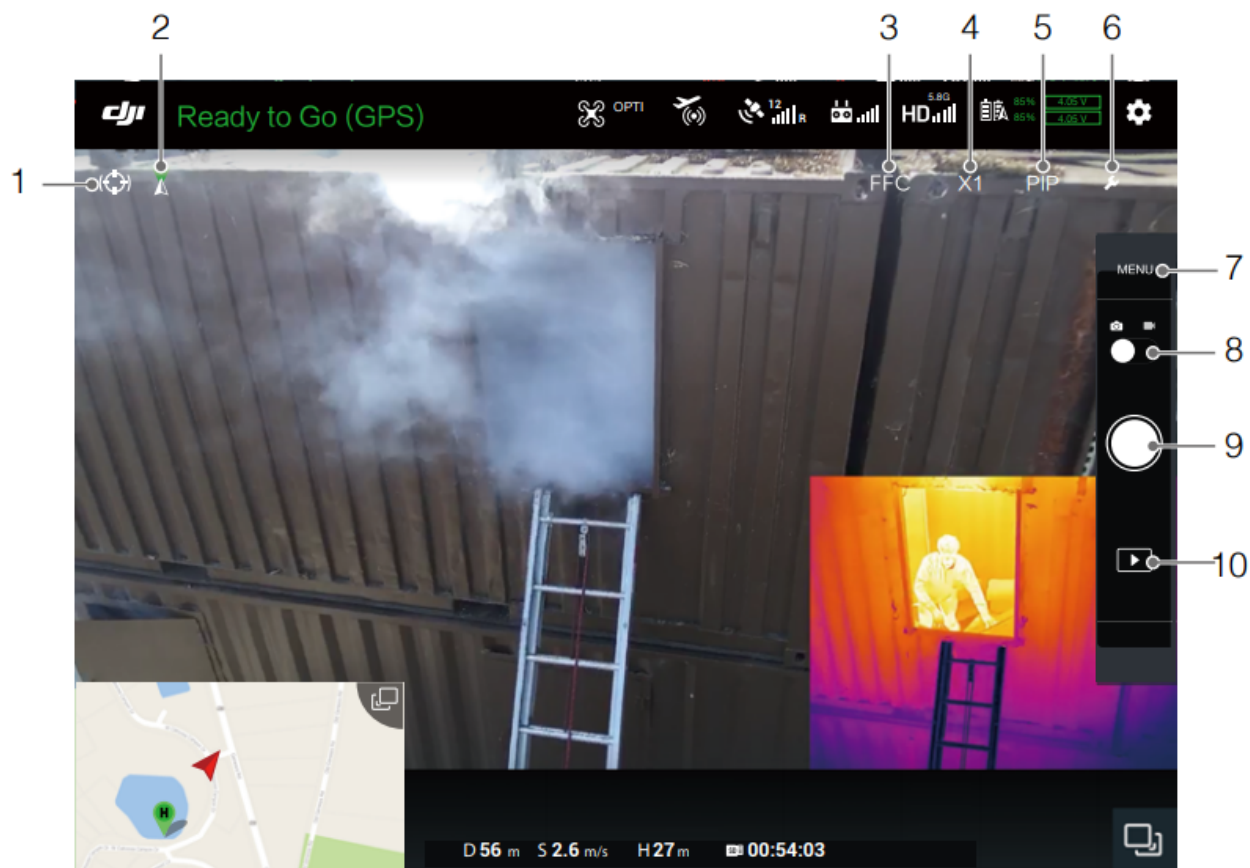


Figur 2.3. Til venstre ses en skematisk sammenligning af billedsensorstørrelse og synsfelt for henholdsvis farvebilleder (sort) og termografiske billeder (rødt) for Zenmuse xt2. Til højre ses et eksempel fra felten, hvor dronen har taget et billede af tre rådyr fra 87 meters højde. Rådyrene fremstår som hvide prikker på det sort/hvide billede. Det termiske kamera dækker et meget mindre areal end det almindelige RGB-farvekamera. Se afsnit 3.2.5 for analyse af billedet.

Kameraet er monteret på dronen i et stabiliserende ophæng (gimbal), der muliggør at rystelser og bevægelser fra dronen bliver dæmpet eller fjernet under flyvning. Ophængen muliggør også, at kameraet kan orienteres lodret ned mod jorden, svarende til -90° fra vandret og opad med $+30^\circ$ fra vandret. Kameraet kan desuden panorere $\pm 320^\circ$, så kameraet eksempelvis kan orienteres mod nord, uafhængigt af flyveretning.

2.2 Indstillingsmuligheder

Dronen har mange indstillingsmuligheder, hvoraf nogle har betydning for opnåelsen af de mest optimale billeder og videoer. De vigtigste muligheder gennemgås her ud fra Figur 2.4. (DJI 2018).



Figur 2.4. Screenshot af skærmen på dronens styreenhed. Fotoeksempel fra kameraets manual, hvor dronefører kan se farvebillede og termisk billede fra dronen samtidig (DJI 2018).

1. HeatTrack. Dette er en funktion hvor det koldeste og det varmeste objekt markeres på skærmen med en rød (varme) og en blå (kulde) cirkel. Ulempen ved HeatTrack kan være, at det ikke nødvendigvis er et dyr der udgør det varmeste punkt på billedet, men en genstand der er varmet op af solen, fx en sten. Det kan også hende, at den røde cirkel dækker for objektet, så dronepilotten har sværere ved at vurdere, om der er tale om et dyr. I dette projekt har vi ikke benyttet HeatTrack.
2. Gimbal Mode. Her benyttes "Follow" som sikrer, at billedet holdes i ro, selv om dronen bevæger sig. Hvis man er i tvivl om hvilken retning kameraet vender i forhold til dronens front, kan man benytte "Recenter" mode.
3. FFC. Der findes en lukker mellem kamerasensoren og objektivet som benyttes til at udføre en Flat-Field Correction eller FFC. Under FFC definerer lukkeren en ensartet temperaturkilde til hvert element, og FFC resulterer i et mere ensartet billede. FFC kan kalibreres under flyvningen, hvis man finder det nødvendigt. FFC kan sættes til AUTO i indstillingerne, hvilket vi har vurderet er det mest optimale.
4. Zoom. Med denne funktion kan billedet forstørres 1, 2, 4 eller 8 gange. Der er tale om en digital forstørrelse, så kvaliteten af billedet forringes når man zoomer. Når der flyves kan zoom dog være et værktøj til at verificere mulige fund af dyr, uden at flyve tættere mod dyret og dermed undgå risiko for at skræmme det.

5. Display Mode. Med funktionen kan man skifte mellem indstillingerne PIP, MSX og VISIBLE.

- PIP viser billedet fra RGB-kameraet med billede fra det termiske kamera indlejret (se Figur 2.4).
- VISIBLE viser kun billedet fra RGB-kameraet.
- MSX viser billedet fra begge kameraer. Man kan med værktøjsikonet (6 på Figur 2.4) indstille i hvor høj grad billedet fra RGB-kameraet skal overlape det termiske billede. Ved brug af begge kameraer er det nemmere at se konturerne i landskabet under flyvning, sammenlignet med kun at benytte det termiske kamera. Til billedanalysen vil man ofte kun være interesseret i data fra det termiske kamera, og i sådanne tilfælde skal RGB-kameraet være slået fra når der tages fotos eller video.

6. Værktøjsikon. Benyttes sammen med 5. Display Mode.

7. Kameraindstillinger.

- Photo Mode. Her er tre muligheder:
 - Single Shot. Vælg dette hvis der skal tages ét billede ad gangen.
 - Burst Mode. Tager 3 eller 5 billeder i en hurtig sekvens.
 - Interval. Tager automatisk billeder med 2-30 sekunders mellemrum.

Ved manuel flyvning vil de mest benyttede funktioner være Single Shot (enkeltbilleder) og Interval. Hvis man gerne vil koncentrere sig om at flyve, uden at skulle tage billeder manuelt, kan interval med fx 5 sekunders mellemrum være en god løsning.

- Farvepaletter. Man kan vælge forskellige farvepaletter til at vise forskelle i temperaturer på billederne og på skærmen. I dette projekt har vi især benyttet WhiteHot som viser det mest varme område på billedet som hvidt og resten i grå eller sorte toner. Andre farvepaletter kan vise billedet i fx gule og orange toner (se eksempel på Figur 2.5). Det er vigtigt at gøre opmærksom på, at den farvepalette man ser på skærmen når man flyver også er den man får med på de billeder og videoer man tager. Se de forskellige paletter på Figur 2.5.

Under kameraindstillingerne kan man også indstille fil- og videoformat. Se afsnit 2.3 og 2.4.

2.3 Filformater for DJI Zenmuse XT23

Alt efter behov og flyvningens formål er det vigtigt at benytte det rigtige filformat. Kameraet kan indstilles til at gemme de termiske billeder i tre forskellige filformater, TIFF, JPEG og R-JPEG som alle har fordele og ulemper.

2.3.1 TIFF

TIFF (Tagged Image File Format) formatet er ukomprimerede og uprocessede værdier fra den termiske sensor. Råværdierne gemmes i ét lag af 640 x 512 pixels, svarende til et Sort/hvidt billede. Pixelværdier gemmes i 16 bit, hvor minimum er 0 og maksimum er 65535. De rå pixelværdier kan omregnes til Celsius ved følgende formel:

$$^{\circ}\text{C} = (\text{råværdi} * 0,04) - 273,15$$

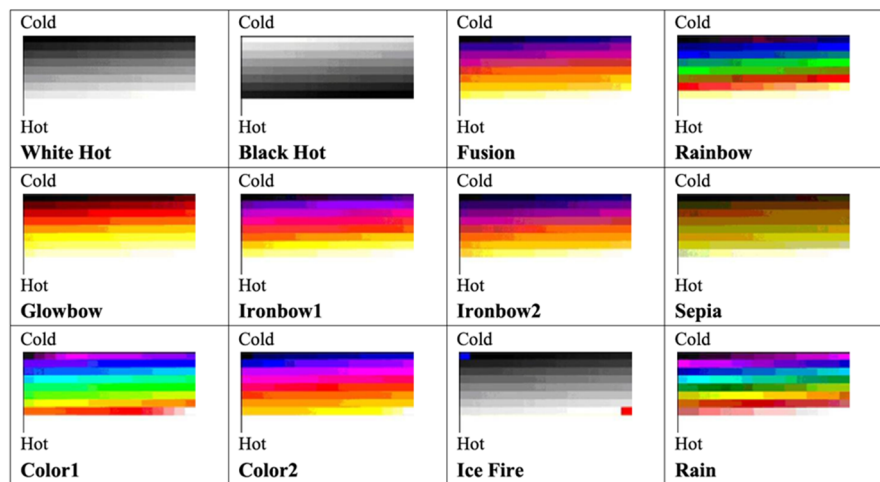
Usikkerheden på den enkelte pixelværdi svarer til $\pm 0,04^{\circ}\text{C}$. I et normalt billedbehandlingsprogram vises billederne som helt sorte, hvilket vil sige, at man ikke kan se noget på dem. Der skal derfor benyttes særlige softwareprogrammer til at aflæse filerne. I dette projekt har vi benyttet programmet ImageJ til at læse filerne med (ImageJ 2020).

Fordelen ved billedformatet TIFF er, at det ud fra pixelværdierne er muligt at bestemme den målte temperatur med en meget lille usikkerhed. Ulempen er, at billeder efterfølgende kræver efterbehandling med specifik software for at kunne bruges.

2.3.2 JPEG

JPEG (Joint Photographic Experts Group) er et filformat, hvor temperaturværdierne omregnes til forskellige farveværdier, afhængig af hvilket filter der vælges under opsætning.

Figur 2.5. Tilgængelige filtre/farvepaletter på Zenmuse XT2 til at omregne temperaturværdier til farver (DJI 2018).



Billeder i JPEG gemmes i 3 lag: Rød, Grøn og Blå (RGB) og komprimeres til 8 bit. Temperaturværdierne omregnes til en værdi mellem 0 og 255 for hvert af de tre farvelag. For hvert billede vil minimumstemperaturen i det pågældende billede blive sat til 0 og maksimumværdien til 255. Zenmuse XT2 kan vise forskellige filtre til at omregne temperaturværdier til farver (Figur 2.5)

Fordelen ved JPEG er, at formatet ikke kræver videre behandling for at aflæse og temperaturforskellene fremstår tydeligt. Ulempen er, at det efterfølgende ikke er muligt, at beregne de målte temperaturværdier ud fra pixelværdierne.

2.3.3 R-JPEG

R står for radiometri og fungerer ellers som beskrevet i JPEG. Den eneste forskel fra JPEG er, at det er muligt at bestemme temperaturen ud fra de enkelte pixelværdier. Dette kræver dog speciel software, som eksempelvis FLIR-Tools (FLIR 2020).

Fordelene ved R-JPEG er, at billedet kan bruges som det er, og at temperaturværdier kan beregnes på baggrund af pixelinformationen. Ulempen ved formatet er, at usikkerheden på de beregnede temperaturværdier er høj som følge af komprimeringen.

Hvis man blot skal registrere dyrene og eventuelt måle størrelser på dem, er JPEG eller R-JPEG tilstrækkeligt og nemt at bruge efterfølgende. Hvis temperaturen er vigtig, så bør TIFF-formatet vælges. Dronen måler relative temperaturværdier, hvilket ikke nødvendigvis modsvarer de faktiske værdier, da der måles på afstand.

2.4 Videoformater for DJI Zenmuse XT2

2.4.1 MP4

MPEG-4 formatet er en mediefil, der kan rumme billeder og lyd. MPEG-4 kan komprimere billedinformation fra RGB- og det termiske kamera.

2.4.2 MOV

MOV-formatet er lavet til QuickTime-medieafspilleren (Apple 2014), men med samme funktion og mulighed som med MP4 beskrevet ovenfor.

2.4.3 TIFF Seq

Dette format gør det muligt at gemme en sekvens af TIFF-billeder i én fil. Hvis dette vælges, da vil kameraet optage 30 TIFF-billeder per sekund og gemme dem i én fil. Efterfølgende er det da muligt at konvertere og udvælge enkelte billeder fra sekvensen.

2.4.4 SEQ

SEQ-formatet kan ligesom TIFF Seq gemme en sekvens af TIFF-billeder i én fil.

2.5 Transektflyvning og manuel flyvning

Dronen kan flyves enten manuelt eller automatisk i transekter. Der kan være fordele og ulemper ved de to metoder alt efter hvilke data der skal indsamles og i forhold til hvor godt et område bliver dækket. I dette forsøg har vi testet begge metoder og beskriver hvornår den ene metode med fordel kan vælges frem for den anden.

2.6 Forsøgsområder

Forsøgsflyvninger blev foretaget henholdsvis over Skandinavisk Dyrepark og over en hjortefarm ved Egens. Disse to områder blev valgt, da der er tale om lukkede områder med kendte bestande af kron- og dåvildt. Der blev desuden lavet testflyvninger i forbindelse med kontrol af udstyr ved Kalø Gods. Alle tre områder er beliggende i Syddjurs Kommune. Droneoverflyvning af større områder på den fri vildtbane blev foretaget i Boserup Skov og Bidstrup Skovene, der forvaltes af Naturstyrelsen på Midtjylland.

2.7 Optimalt vejr til termisk fotografering

I projektet er der blevet fløjet under forskellige vejrforhold i forhold til fx skydække, temperatur og luftfugtighed. I projektet har vi analyseret hvordan vejrforholdene kan påvirke kvaliteten af de termiske billedet og kommer med anbefalinger til optimalt flyvevejr.

2.8 Analyse af billeder

2.8.1 EXIF-data

Analysen af billeder fra dronen er gjort i to trin. Hver billedfil indeholder metadata, der beskriver, hvor og hvornår billedet blev taget. Denne information omtales for billeder som EXIF-data (Exchangeable Image File Format). EXIF-data kan tilgås på flere måder, men i dette projekt er der benyttet open source programmet, ExifTool (Harvey 2020). I kombination med open source programmet R (The R Foundation 2020) er EXIF-data hentet for samtlige billeder der er taget under hver flyvning. I dette projekt er følgende information hentet fra hvert billede, der er taget med det termiske kamera:

- Dato og tid (hvornår billedet er taget)
- GimbalPitchDegree (kameraets vertikale orientering fra 30° over vandret til lodret -90°)
- GimbalYawDegree (kameraets vandrette orientering i forhold til Nord: 180 - 180°)
- RelativeAltitude (flyvehøjde relativt til det sted hvor dronen startede)
- GPSLongitude (længdegrad)
- GPSLatitude (breddegrad).

I projektet har vi benyttet EXIF-data til at positionere hjortevildtet på billederne, samt til at udvikle en metode til at vise de enkelte billeders geografiske udbredelse i forhold til kameraets hældning.

Med kendskab til kameraets synsfelt og kameraets orientering og faktiske flyvehøjde, er billedopløsning og billedets orientering på landjorden beregnet for hvert enkelt billede. EXIF-data gemmer den relative flyvehøjde fra det sted dronen startede fra. Hvis dronen efterfølgende overflyver et område, der ligger lavere end dronens startsted, så vil den faktiske flyvehøjde være forskellen i terrænhøjde plus den relative flyvehøjde. Den faktiske flyvehøjde er vigtig for at kunne beregne billedernes opløsning og geografiske udbredelse, og i dette projekt hentes højdedata på terræn fra Danmarks højdemodel for hver lokalitet hvor et billede er taget. Højdemodellen kan hentes på Kortforsyningen (Styrelsen for Dataforsyning og effektivisering 2020).

I starten af hver flyvning tog dronen et billede fra dens opsendelsessted og terrænhøjden for startstedet fungerede som reference for de resterende billeder, der tages under den pågældende flyvning. Under antagelse af at terrænet under dronen er plant, og at kameraet på dronen peger lodret nedad, udregnes det termiske billedes bredde som:

$$Billedbredde = \tan\left(\frac{\text{synsfelt_bredde}}{2}\right) * \text{faktiske flyvehøjde} * 2$$

Divideres billedbredden med billedopløsningen i bredden, så kendes afstanden for det enkelte pixel. I dette tilfælde er billederne på 640x512 pixels og synsfeltet: 57,12°x42,44°.

Billedudbredelsen på landjorden, dvs. hvilken arealstørrelse de enkelte billeder dækker, beregnes som skæringen mellem et plan (landjorden) og en fire-sidede pyramide, hvor kamera / drone sidder på toppen af pyramiden (Se Figur 3.6).

Selve billedinformationen kan betragtes som en matrice med temperaturmålinger i et gitter med 640 kolonner og 512 rækker. Hver celle i matricen rummer en værdi svarende til den af kameraet målte temperatur eller en relativ temperatur (se afsnit 2.3 om filformater).

2.8.2 Opmåling af hjortevildt på billeder

For at kunne artsbestemme dyrene på billederne er der foretaget en kalibrering med udgangspunkt i dronebilleder fra dyreparker, hvor det har været kendt om det var krondyr eller dådyr. Sekundært har køn og alder også været kendte. Dyrenes længde, bredde, omkreds og areal er målt manuelt op ved brug af ImageJ (ImageJ 2020). De målte pixelværdier er omregnet til meter ved at gange med længde/breddeforhold for de enkelte pixels, som beskrevet i foregående afsnit. Der er kun målt på billeder, hvor kameraet har peget lodret ned. Opmålingerne er testet statistisk med en t-test.

2.9 Tilladelser og dronebevis

Før forsøgets start blev der indhentet tilladelse til overflyvning hos alle relevante lodsejere, herunder Naturstyrelsen. Alle droner blev fløjet af dronepiloter med dronebevis.

3. Resultater og diskussioner

3.1 Flyvning

Dronen kan flyves enten manuelt eller automatisk i transekter. Vi giver her en oversigt over de erfaringer vi har gjort i projektet, i forhold til at benytte de to metoder til overvågning af hjortevildt.

3.1.1 Manuel flyvning

Forsøgene har vist, at manuel flyvning, hvor dronepiloten under hele flyvningen selv styrer drone og kamera, er velegnet til åbne områder, samt til landskaber med en mosaik af åbne områder, levende hegn og mindre bevoksninger. Det skyldes, at man i områder der primært er åbne kan se langt og dermed se dyrene på afstand med termisk kamera. På denne måde kan man effektivt dække et område uden at bruge tid og batterier på steder hvor dyrene ikke er.

Det er også vores erfaring, at det før en overvågning kan være en god ide at planlægge flyvningen. Det kan gøres ved at afgrænse det valgte område på et kort og planlægge flyveruten, så man i felten er sikker på at have dækket området, når den valgte rute følges. For at planlægge mest optimalt, kan det være en fordel at kende området der skal overflyves eller rådføre sig med en lokal-kendt.

Selve flyvningen foretages mest optimalt ved at gå op i 100 m højde (det maksimalt tilladte) og bevæge dronen eller kameraet for at scanne de åbne områder for dyr. Hvis man på skærmen ser potentielle hjorte, flyver man direkte hen over dem og tager billeder og/eller film efter behov. Når man er over dyrene, kan man gå en smule ned i højde hvis man skal have dyrene optaget i en højere opløsning. GPS-data findes i billedernes EXIF-data, så man vil altid kunne positionere dem (se afsnit 2.8.1). Når dyrene er dokumenterede, vender man tilbage til ruten og følger den. Levende hegn og bevoksninger opsøges aktivt, da de undersøges mest optimalt ved at flyve lige over dem, så der er mindst muligt der skygger for eventuelle dyr, der befinder sig under eller ved siden af træer og buske.

Forsøg på den frie vildtbane viste, at hjortevildt ikke reagerede på dronen i 90-100 m højde over skov. Ved 70 meter lodret over kronvildt, blev disse tydeligt påvirkede, og ved 60 meter var flugt indledt. På åbne arealer kan dyrene i nogle tilfælde godt påvirkes ved 100 m, hvis man står direkte over dem. Vær derfor opmærksom på dyrenes reaktioner og flyv væk, hvis det ser ud til at dyrene skræmmes af dronen. Hvis dronen flytter dyrene, fordi de skræmmes, kan man risikere at tælle de samme dyr flere gange.

Ud over DJI Zenmuse XT2-kameraet har dronen et mindre indbygget kamera som permanent peger ligeud. Dette kamera kan bruges til horisontal navigation ved at finde fikspunkter i horisonten og flyve efter disse. På skærmen kan man under flyvningen også få hjælp til navigering fra DJI's Map Box hvor flyruten indtegnes (se nederste venstre hjørne af Figur 2.4). Kortet har som udgangspunkt, kun meget få detaljer om landskabet, men kan hjælpe fx i situationer hvor man ønsker at flyve manuelt i parallelle linjer. Telefonens Netværksforbindelse og dronens styreenhed kan opsættes, så Map Box vinduet

viser Google Maps satellitkort, hvilket forbedrer navigationen væsentligt. Map Box vinduet kan maximeres til fuld skærm, hvilket giver et markant bedre overblik. Ved større flyvninger med batteriskifte kan det dog give problemer, da skal man huske hvor man kom til.

Ved manuel flyvning kan der både tages video og billeder samtidig. Video kan have den fordel, at man kan se dyrenes adfærd, hvilket efterfølgende kan være en hjælp til arts- og aldersbestemmelse. Samtidig kan video sikre, at dyr der er gemt bag en bevoksning bliver synlige, når de kommer i bevægelse. Det er dog med DJI Zenmuse XT2 ikke muligt at tage video samtidig med TIFF-billeder. Når der optages video vil kameraet slå om på JPEG-billeder, så det vil være en vurdering i den enkelte opgave, om det er video eller TIFF-billeder der er vigtigst.

3.1.2 Transektflyvning

Når man skal overvåge hjorte i skovområder eller større bevoksninger, har forsøgene vist, at transektflyvning kan være det mest optimale. Når man flyver over et skovområde, kan dyrene være skjult af mange rækker af træer hvis kameraet filmer skråt, fx i en vinkel på 45° . For at få mindst mulig skygge fra træer, skal kameraets vinkel være i 90° , altså pege direkte ned. Ulempen er, at det kan være svært at navigere på samme tid.

Ved et forsøg på Midsjtjylland, hvor et skovområde skulle dækkes manuelt, kunne vi efterfølgende se, ved at sætte billederne sammen i programmet DroneDeploy, at der var betydelige områder inden for forsøgsområder der ikke var blevet fotograferet og hvor der kunne have stået dyr som ikke var blevet fotograferet (Figur 3.1). Beregning af billedudbredelsen på Figur 3.6 viser ligeledes, at der på denne flyvning var områder der ikke blev dækket.

Figur 3.1. Forsøg på dækning af skovområde ved manuel flyvning. Billedet til venstre viser positionen for hvert billede der blev taget under kortlægningen. Til højre er billederne sat sammen og afslører områder der ikke er blevet dækket. Bemærk at DroneDeploy ikke har kunne sætte alle billederne sammen og der derfor mangler nogle områder på højre billede.



Det kan altså være svært at foretage en manuel flyvning på en måde, der sikrer et vis overlap mellem billederne og som er tidsmæssigt effektivt. For at løse dette, kan man benytte programmer der kan styre dronen automatisk efter en forudindstillet rute og automatisk tager billeder.

I dette studie foretog vi automatiske transektflyvninger ved hjælp af programmet DroneDeploy (DroneDeploy 2020) samt DJI Pilot Mission Flight, hvor man hjemmefra kan planlægge flyvningerne (DJI Pilot Mission Flight er en del af softwaren i styresystemet til den anvendte drone, se Figur 2.1). I planlægningen blev flyvehøjden og det procentvise overlap på de billeder, der skal tages fra dronen valgt, hvorefter antallet og tætheden af transekter blev udregnet automatisk. For flyvning med DroneDeploy blev der koblet en mobiltelefon på dronens fjernkontrol og en App fra DroneDeploy styrede autonomt flyvningen.

Jo lavere højde der flyves i, desto mindre areal dækker det enkelte billede. Det betyder, at en flyvning i lav højde kræver flere transekter og dermed længere flyvetid, end en flyvning i stor højde. Når der skal dækkes større områder er det derfor mest optimalt at gå op til de maksimale 100 m højde.

En anden fordel ved at flyve i 100 m er, at man minimerer risikoen for at skræmme dyrene.

Det procentvise overlap mellem billederne har også betydning for antallet af transekter. Et stort overlap giver flere transekter og dermed længere flyvetid og større risiko for at tælle de samme dyr flere gange, fordi de kan nå at flytte sig under flyvningen. I DroneDeploy kan overlappet sættes til minimalt 30%, hvilket både sikrer at området dækkes fuldstændigt og at flyvningen tager så kort tid som muligt. I 100 m højde og med 30% overlap mellem billederne kan 10 ha kortlægges på 6 min, svarende til 100 ha i timen (Figur 3.2 og 3.3).

Figur 3.2. Transekter udlagt af programmet DroneDeploy. Det valgte område er på 10 ha og tog 6 minutter at overvåge i 100m højde og med 30% overlap mellem billederne. Flyvehastigheden var 12 m/s



Ulempen ved at sætte overlappet mellem billederne til 30% kan være, at overlappet er for lille til at billederne automatisk kan sættes sammen (stitches) til én stor billedfil. Man kan dog ofte ikke sætte termiske billeder sammen, da konturerne i landskabet står meget svagt på termiske billeder, og der derfor mangler kendetegn, der kan flette billederne sammen. Desuden vil man ved

registrering af hjortevildt oftest kun være interesseret i dyrenes positioner og antal, hvilket overlappet på 30% sikrer fint.

Figur 3.3. Punkter der viser dronens position ved hvert billede taget under transektflyvningen.



3.1.3 Brug af flyvemetoderne i praksis

I praksis er det ikke nødvendigvis den ene eller den anden metode der er den bedste. Man kan med fordel kombinere metoderne, så man i et aktivitetsområde foretager en manuel flyvning over de åbne områder og transektflyvning over områdets skovarealer. Man kan også kombinere en traditionel overvågning med droneoverflyvninger, så man kan dække så store områder som muligt på så kort tid som muligt, så dyrene ikke når at flytte sig og dermed bliver optalt flere gange.

Overvågning med drone har den begrænsning, at dronepiloten altid skal have visuel kontakt med dronen. Afhængig af et områdes topografi og areal kan dette være en udfordring og metoden med fotografering med termisk kamera fra en drone kan derfor ikke benyttes alle steder. Dog kan natflyvning være en fordel, da dronens lamper er tydeligere i mørke og visuel kontakt derfor kan opretholdes på større afstand. Også terrænforhold bør udnyttes og kan have meget stor betydning mht. visuel kontakt med dronen. Dronepiloten kan evt. benytte sig af opsatte skydetårne for at komme højere op i niveau og dermed få mulighed for at kunne se længere over trætoppene. Endelig kan man benytte en lift, hvis ikke andet er muligt.

Der kan også være muligheder for dispensation ved Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen til en såkaldt BVLOS-flyvning (Beyond Visual Line of Sight), dvs. flyvning uden for synsvidde, eller EVLOS (Extended Visual Line Of Sight) hvor en kollega følger dronen i en kikkert eller teleskop.

3.1.4 Vej

Alle forsøgsflyvninger blev udført ved svag vind i vinterperioden december-februar. I denne periode er der en stor varmekontrast mellem dyrene og deres omgivelser, hvilket gør det nemmere at detektere hjortevildtet. Samtidig er der ikke blade på løvtræerne, hvilket gør det muligt at se eventuelle dyr der står under dem.

Skydække

Undersøgelserne viste, at man skal forsøge at undgå at flyve ved for meget sol, altså undgå dage med lidt eller intet skydække. Når der er sol opvarmes sten, træer o.l. i landskabet hvilket kan gøre det sværere at detektere dyrene. Opvarmede elementer i landskabet kan også skabe falske positive, dvs. opvarmede områder kan potentielt forveksles med hjortevildt eller andre dyr. Derfor anbefales det at foretage flyvningen når det er overskyet eller før solopgang, hvor landskabet har en så ensartet temperatur som muligt og hvor kontrasten til dyrene derfor er størst. Natflyvning er også en mulighed, såfremt man har taget et gyldigt natflyvningskursus sammen med sit dronebevis

Lufttemperatur og -fugtighed

Vinteren 2019/20, hvor forsøgene blev udført, var præget af meget få dage med frost, hvilket betød at kun enkelte flyvninger blev foretaget i frostvæjr, mens resten blev udført i plusgrader op til 8 graders varme. Hjortevildtet blev registreret lige godt ved alle temperaturer, så det må konkluderes at vinterperioden generelt er optimalt for registrering af hjortevildt med termiske kamera.

Anderledes var det med luftfugtigheden. Høj luftfugtighed, fx med dis eller tåge i luften, blokerede noget af varmeudstrålingen så dyrene ikke trådte så tydeligt frem og derved kunne være sværere at detektere. Dage med høj luftfugtighed bør derfor undgås hvis muligt, da det også forringer visuel kontakt til dronen under flyvning.

3.2 Billedanalyse

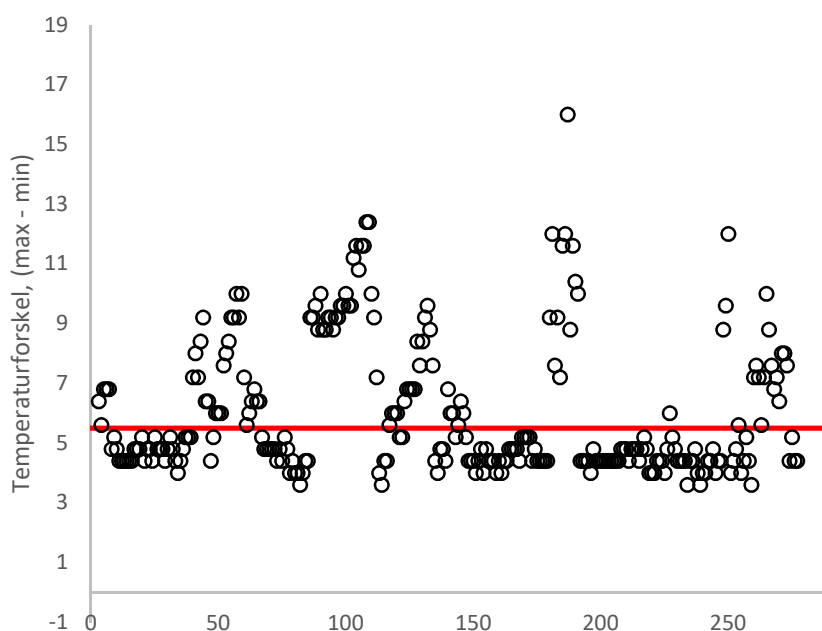
3.2.1 Gennemgang og udvælgelse af billeder

Når datamaterialet er indsamlet, skal billederne gennemgås og de relevante billeder med potentielt hjortevildt vælges fra til nøjere analyse. Der vil især ved transektflyvning blive taget mange billeder uden indikationer på hjortevildt og som ikke vil være relevante. Mindre områder med relativt få billeder, kan gennemgås manuelt ved at kigge alle billederne igennem på computeren.

For større områder med flere tusinde fotos vil det ofte være tidsbesparende at foretage en automatiseret udvælgelse af de billeder, der indeholder indikationer på dyr.

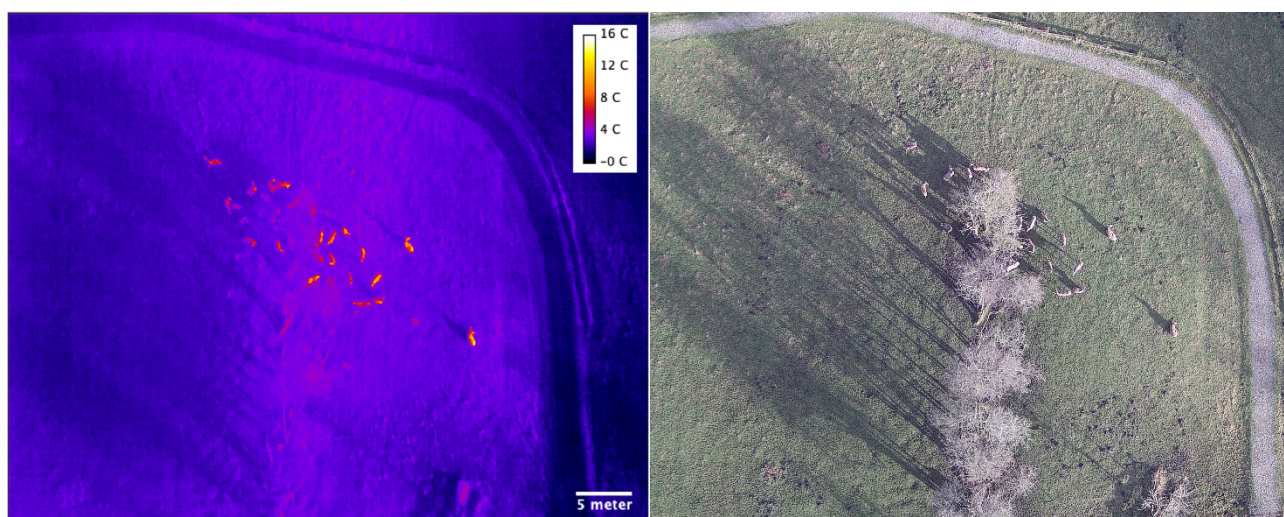
Det er ikke udviklet en automatisk udvælgelsesprocedure i dette projekt, men en sådan procedure vil kunne fungere ved at udvælge billeder med en stor variation i temperaturen. Når man tager termiske billeder i overskyet vejr, hvor solen ikke har opvarmet elementer i landskabet, vil de fleste objekter som jord, træer, græs og sten på et termisk billede have nogenlunde samme temperatur. Når der ikke er dyr på billedet, vil temperaturvariansen altså være lille. Omvendt vil billeder der både indeholder relativt varme dyr og det koldere landskab have en stor varians i temperaturen (Figur 3.4).

Figur 3.4. Temperaturforskellen (maksimumtemperatur fratrasket minimumtemperatur) for 277 billeder taget under samme flyvning. Ved forskelle over 5,5 grader, vist med rød linje, var der dyr på billederne.



Det termiske kamera måler de relative temperaturværdier og vil altid vise forskelle i temperaturen på billederne. De målte temperaturværdier er dog ikke nødvendigvis de faktiske og de kan variere en del med dronens flyvehøjde og afstanden til dyrene. Dette kan ses på Figur 3.13 hvor de to billeder er taget med få sekunders mellemrum, men i forskellige højder. Jordtemperaturen er målt til henholdsvis -2 °C og -8 °C på en dag, hvor lufttemperaturen var 6°C.

Kameraets måling af den relative temperaturforskel er dog bemærkelsesværdig god, hvilket fremgår af nedenstående billedet taget af en flok krondyr (Figur 3.5). Billedet er taget i solskin med en lufttemperatur omkring 6°C og der er tydelig temperaturforskel på de krondyr, der opholder sig i skyggen, sammenlignet med de krondyr der står i solen.

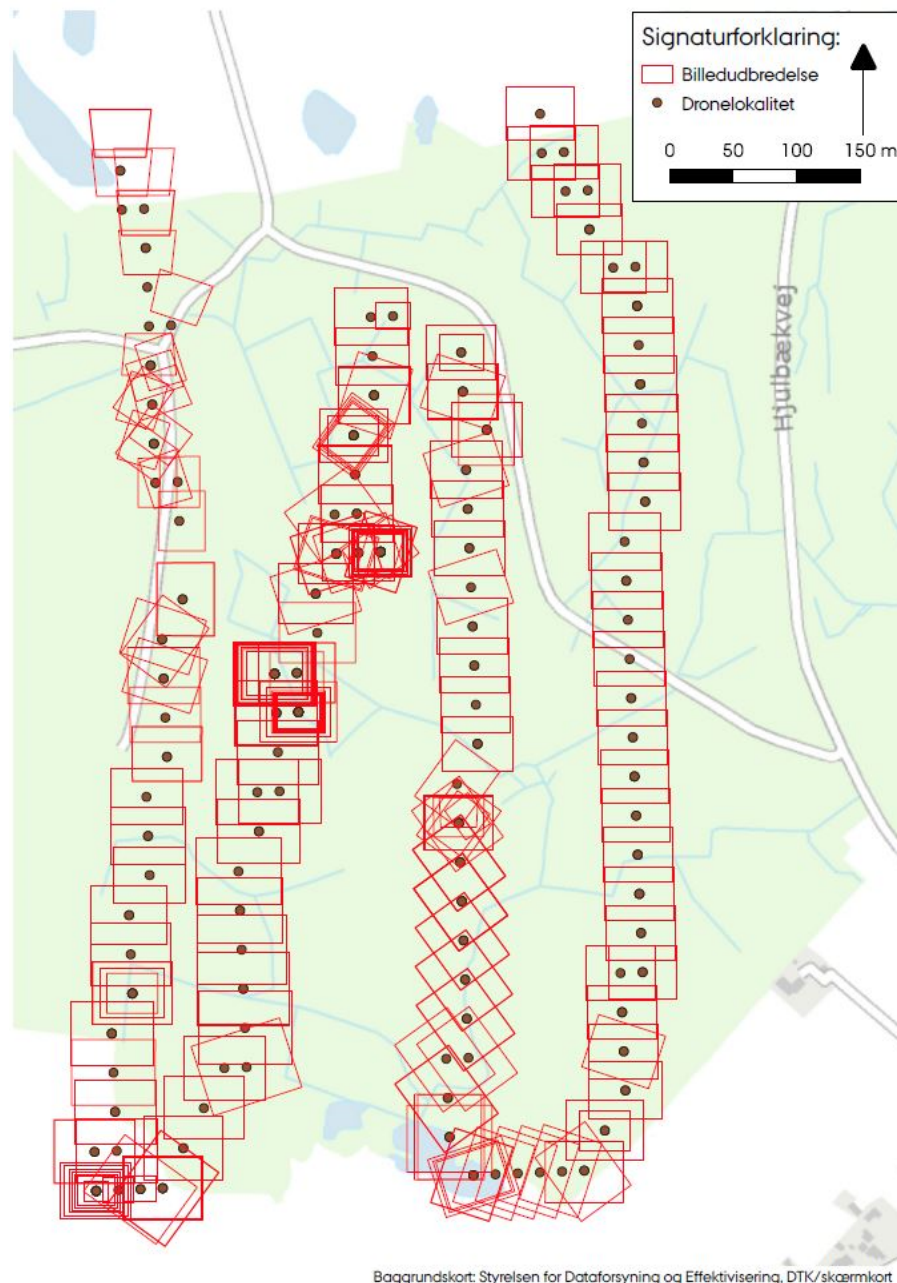


Figur 3.5. Termisk billede og tilsvarende farvebillede af krondyr taget i solskin fra 100 meters højde. Bemærk de lange skygger i venstre side fra dyr og det læhegn, som dyrene gemmer sig ved.

3.2.2 Visualisering af billedernes geografiske dækning

Som beskrevet i afsnit 2.8.1 kan man beregne hvor de enkelte billeder er taget samt hvilke geografiske områder billederne dækker. I figur 3.6 er en flyvning fra Avnstrup skov visualiseret. Koordinater for hvor billederne er taget, samt udbredelse af billeder er gemt i GIS-lag og visualiseret ved brug af QGIS (QGIS 2020).

Figur 3.6. Eksempel på billedudbredelse vist med røde polygoner samt dronens lokalitet (punkter), hvor det enkelte billede er taget.



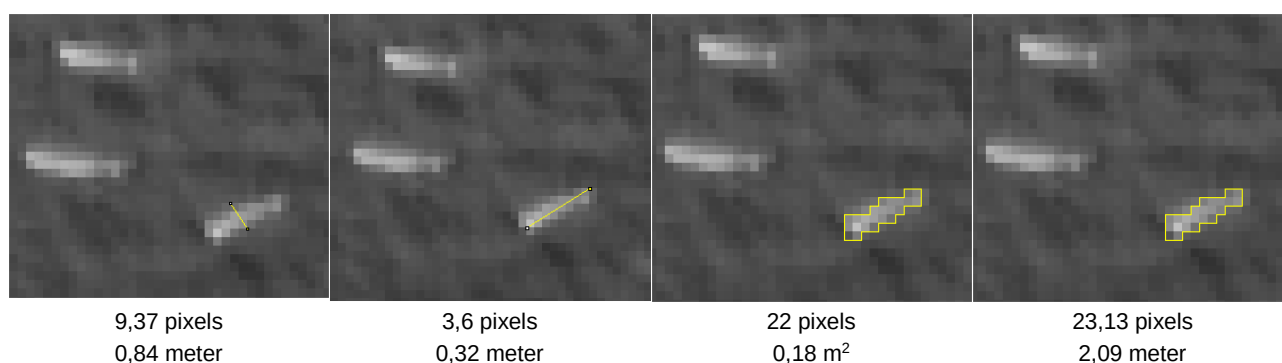
Som det ses på figur 3.6 er der forskel på hvilket geografisk område det enkelte billede dækker. Når kameraet peger direkte ned dækkes det mindst mulige område. Det er dog også ved lodret fotografering man opnår de bedste målinger af dyrenes størrelser jf. opmålingen af bl.a. længder og bredder beskrevet i afsnit 2.8.2. Omvendt, når optagelsen er vinklet i forhold til dyrene, dækkes et større område, hvilket forstærkes jo højere man flyver.

I praksis kan man benytte en sådan visualisering til at verificere, om flyvnin-
gen og det indhentede billedmateriale har dækket de områder man har været
interesseret i.

3.2.3 Arts- og aldersbestemmelse

På de termiske billeder taget i dyreparker blev længden, bredden, arealet og
omkredsen målt på alle individer af dådyr og krondyr. Voksne dyr blev køns-
bestemt, mens smaldyr (et års dyr) ikke kunne kønsbestemmes på baggrund
af dronebillederne.

Omregningen fra pixels til meter skete ved at beregne pixelbredde/højde,
som beskrevet i afsnit 2.8.1 under Metoder.



Figur 3.7. Målte længde, bredde, areal og omkreds på billede taget af dådyr fra 100 meters højde. Målte længder/områder er markerte med gult.

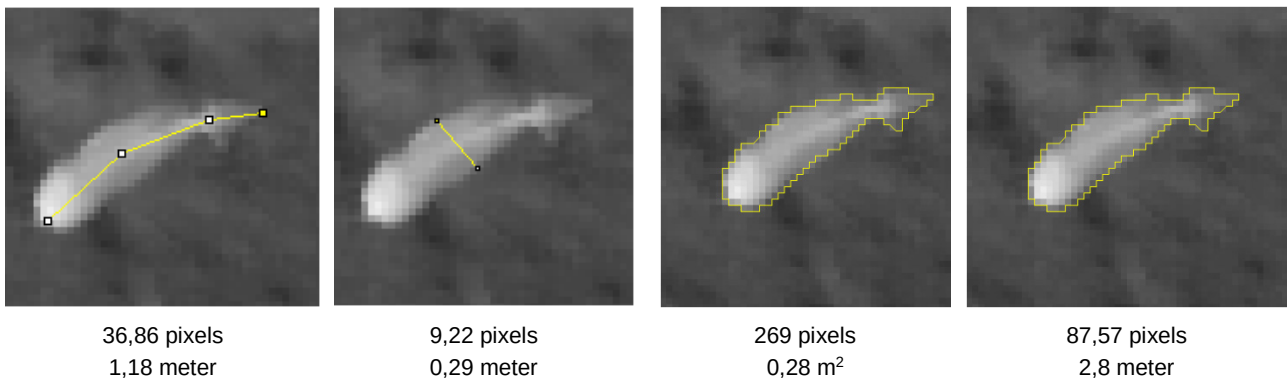
Som eksempel på opmålingen viser Figur 3.7 et billede taget i en flyvehøjde på 100 meter og hvor kameraets synsfelt i bredden er 32°. Pixelbredden er derfor udregnet som:

$$2 * \left(\tan \frac{32^\circ}{2} \right) * \frac{100 \text{ meter}}{640 \text{ pixel}} = 0,0902 \frac{\text{meter}}{\text{pixel}}$$

Med kendt antal pixels i længden og kendt måleforhold for hver pixel, kan vi udregne længden til 0,84 meter, hvilket ifølge Figur 3.9 viser at der er tale om en dåkalv eller en lille dåhind. Man skal dog regne med en usikkerhed på ca. en pixel i hver ende, svarende til to gange pixelbredden (ca. 18 cm).

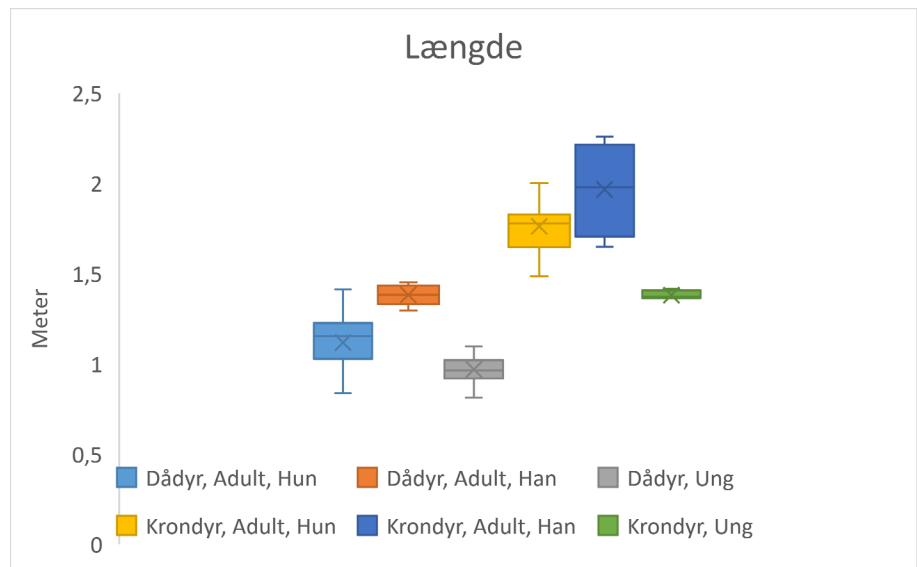
Figur 3.8 viser et billede af et andet dyr fra samme flok taget i 35 m højde og som det ses er billedet mere detaljeret og muliggør dermed en mere præcis opmåling.

Målene viste, at dyrenes længde er det bedste mål til artsbestemmelse mellem dådyr og krondyr, idet længden var det mål hvor der var mindst overlap mellem arterne. Samlet set er forskellen på arternes længde statistisk signifikant ($p < 0,001$), dog med et overlap mellem voksne dådyr hjorte (hanner) og unge krondyr (Figur 3.9).



Figur 3.8. Målte længde, bredde, areal og omkreds på billede taget af dåhind fra 35 meters højde. Målte længder/områder er markeret med gult.

Figur 3.9. Gennemsnitlige længder af krondyr og dådyr målt på termiske dronebilleder og fordelt på alder og køn, angivet med kryds. De enkelte rektangler angiver 25- og 75-percentilen, mens den vandrette streg igennem angiver medianen. De tynde lodrette streger angiver minimum og maksimum.



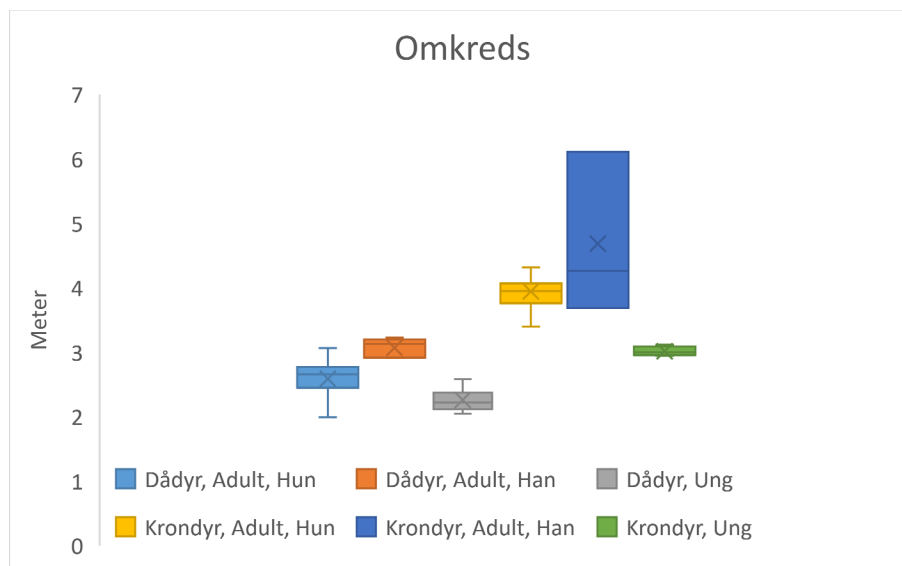
Der var ligeledes statistisk forskel på længderne af dådyr hinde og hjorte ($p < 0,001$), men ikke på længderne af de to køn hos krondyr. Hos begge arter var længderne signifikant forskellige mellem voksne dyr og kalve ($p < 0,001$).

Det samme mønster gjorde sig gældende for omkreds, hvilket også gjorde dette mål egnet til korrekt artsbestemmelse (Figur 3.10).

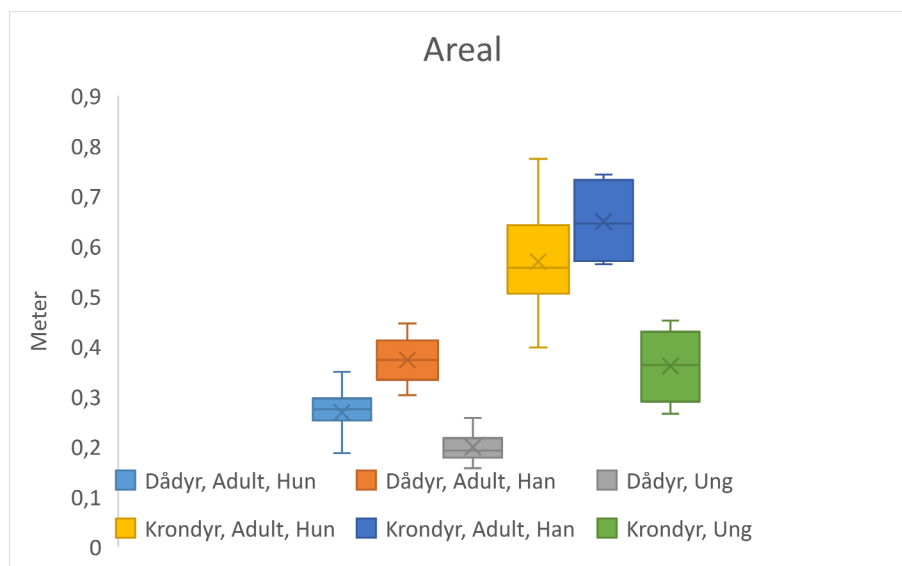
Ligesom for længderne var omkredsen af de to dyrearter samlet set signifikant forskellige ($p < 0,001$). Det var statistisk forskel på omkredsen af dådyr hinde og hjorte ($p < 0,001$), men ikke på omkredsen af de to køn hos krondyr. Hos begge arter var omkredsen signifikant forskellige mellem voksne dyr og kalve ($p < 0,001$).

Dyrenes areal kan ligeledes benyttes som mål for en korrekt bestemmelse af voksne hjorte, da der også her er signifikant forskel mellem arealet på krondyr og dådyr på termiske billeder ($p < 0,01$) (Figur 3.11).

Figur 3.10. Gennemsnitlig omkreds af krondyr og dådyr målt på termiske dronebilleder og fordelt på alder og køn, angivet med kryds. " De enkelte rektangler angiver 25- og 75-percentilen, mens den vandrette streg igennem angiver medianen. De tynde lodrette streger angiver minimum og maksimum.



Figur 3.11. Gennemsnitligt areal af krondyr og dådyr målt på termiske dronebilleder og fordelt på alder og køn, angivet med kryds. De enkelte rektangler angiver 25- og 75-percentilen, mens den vandrette streg igennem angiver medianen. De tynde lodrette streger angiver minimum og maksimum.

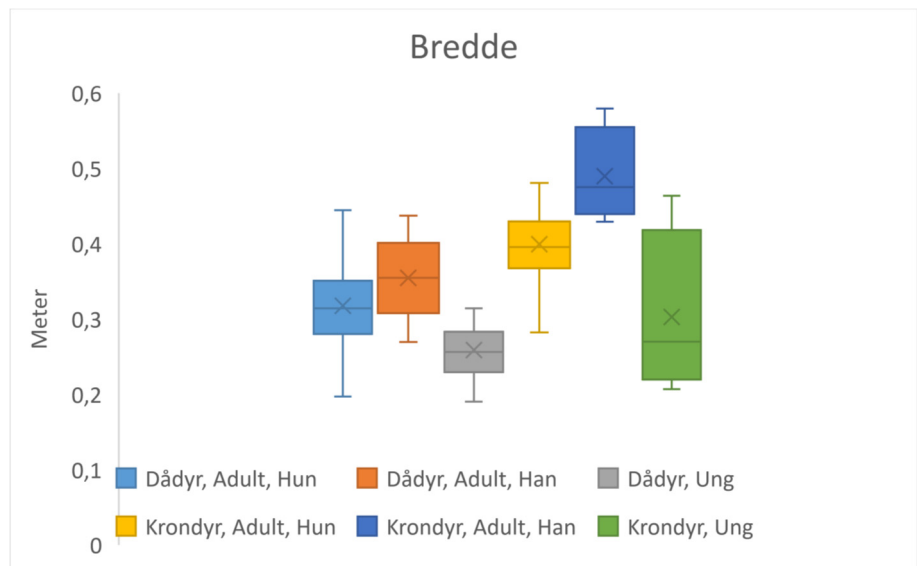


Det var ligeledes statistisk forskel på arealet af dådyr hunner og hanner ($p < 0,001$), men ikke på arealet af de to køn hos krondyr. Hos begge arter var omkredsen signifikant forskellige mellem de voksne dyr og kalvene ($p < 0,001$).

Der var til gengæld et stort overlap i dyrenes maksimale bredde, hvorfor denne parameter isoleret set er dårlig til adskillelse af art, køn eller alder (Figur 3.12). Hvis man sammenligner alle de registrerede dådyr med de registrerede krondyr er der samlet set forskel ($p < 0,001$), ligesom der er forskel på voksne dådyr og deres kalve ($p < 0,001$). På andre parametre var der ingen signifikant forskel, hvilket Figur 3.12 også illustrerer.

Bredden kan dog være en vigtig parameter ved analyse af dronebilleder hvor der kan være tvivl om artsbestemmelsen. Vi har i dette studie taget billeder af hjorte i skovområder, hvor dyrenes hoved eller bagparti var dækket af grene og hvor vi derfor kun har den maksimale bredde til artsbestemmelsen. Hvis et af dyrene i en flok har en bredde på ca. 0,45 m, vil det ifølge vores målinger være krondyr.

Figur 3.12. Gennemsnitlig bredde af krondyr og dådyr målt på termiske dronebilleder og fordelt på alder og køn, angivet med kryds. De enkelte rektangler angiver 25- og 75-percentilen, mens den vandrette streg igennem angiver medianen. De tynde lodrette streger angiver minimum og maksimum.



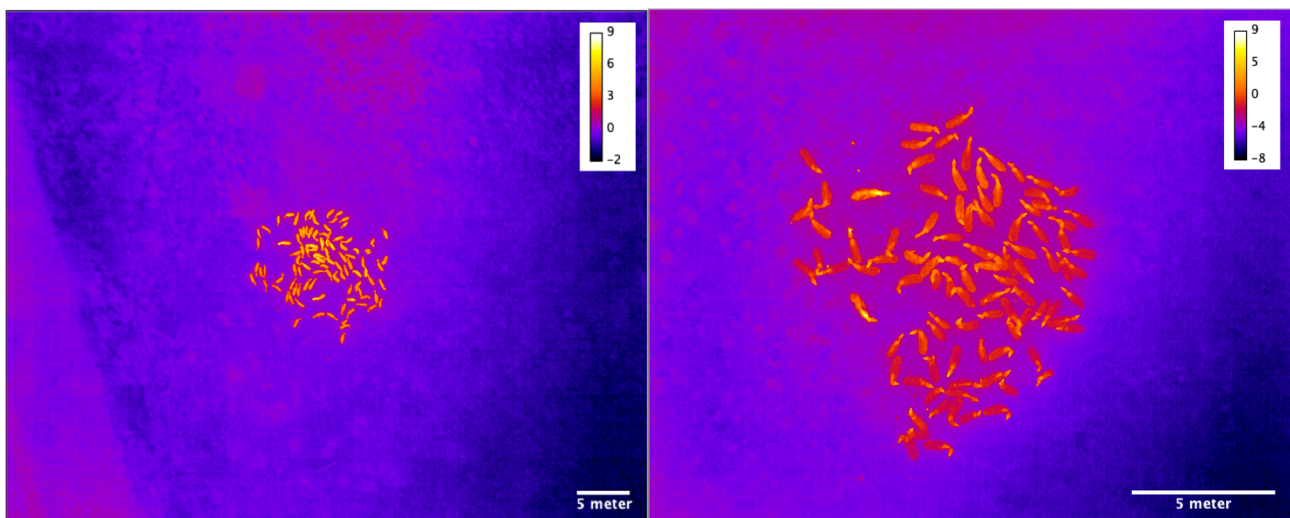
En kombination af målene fra termiske dronebilleder med lokalkendskab til et områdes sammensætning af hjortearter må antages at give det mest optimale estimat.

3.2.4 Kønsbestemmelse

Som det fremgår af figurerne i forrige afsnit var der kønsspecifik forskel i kropslængde, areal og omkreds for dådyr, mens variationen for krondyr ikke var signifikant.

Ved flyvning i lav højde var der forskel i de målte temperaturer imellem hanner og hunner af dådyr (Figur 3.13). Hanner af dådyr havde varmere nakke/hals end hunner, hvilket måske kan skyldes den øgede vægt fra hannerens gevir. Ved dådyr kan man således både benytte størrelser og temperaturer til kønsbestemmelse. En kombination af de to metoder må regnes for at være en relativ sikker metode.

Der blev ikke observeret samme temperaturforskel mellem kønnene ved krondyr.



Figur 3.13. To termiske billeder af den samme flok dådyr fra en dyrepark. Billedet til venstre er taget 100 meter over flokken mens billedet til højre er taget i 39 meters højde. Bemærk de to hanner på højre billede med øget varmeudstråling fra nakken.

3.2.5 Analyse af billeder fra felten

Forskellen på RGB-fotos og termiske billeder

Hjortevildt er i praksis næsten umuligt at detektere på almindelige RGB-billeder taget fra drone. Dyrenes brune farve går i ét med landskabet og når der er individer der står helt eller halvt under trædækket, kan de være helt skjulte for det blotte øje.



Figur 3.14. Billede optaget med RGB- kamera i Avnstrup Skov i Nordvestsjælland. Der er otte dyr i landskabet, men på grund af deres farve og træernes dække er de svære eller umulige at se. Billedet er skåret til, at det dækker samme landskab som Figur 3.4.2.2.

Som eksempel viser Figur 3.14 et udsnit af landskabet i Avnstrup Skov på Midsjælland, hvor dyrene er svære at detektere. Når samme landskab optages med termisk kamera kan man se, at der er i alt står op til otte dyr i landskabet (Figur 3.15). Det termiske billede viser både dyr der står i den åbne del af området og dyr der står under trædækket. Det er altså i mange tilfælde muligt at se varmeudstrålingen fra dyrene, selv når de står skjult. To af dyrene på det termiske billede virker meget brede, da de ligger ned. De stående dyr er målt til ca. 1,2 meter, hvilket stemmer overens med voksne dådyr hinder.

De tre dyr på Figur 2.3 har længderne (9,4; 10; 11,33 pixels), svarende til 81 cm, 86 cm og 98 cm). Dyrene kan på baggrund af længde, bredde og RGB-billede identificeres til rådyr, dog uden at kunne køns- eller aldersbestemme dem.

Der blev ikke taget billeder af krondyr direkte fra oven i felten, så samme analyse er ikke lavet for denne art.



Figur 3.15. Dåvildt optaget med termisk kamera i Avnstrup Skov på Midsjælland.

4. Konklusioner

Forsøgene i dette studie har vist, at hjortevildt kan overvåges ved hjælp af drone med påmonteret termisk kamera, hvilket dermed potentielt kan bidrage til bedre populationsestimater lokalt. Ved fotografering kan dyrene være svære eller umulige at detektere på almindelige RGB-farvebilleder, mens de træder tydeligt frem på termiske billeder, fordi de er varmere end baggrunden.

Flyvningen og overvågningen bør foregå i vinterperioden på dage uden sol, så kontrasten mellem de varme dyr og landskabet er så stor som muligt. Endvidere skal man undgå dage med høj luftfugtighed, da dette kan blokere noget af varmeudstrålingen, så dyrene ikke træder så tydeligt frem og derved kan være sværere at detektere. Det anbefales at flyve i 100 m højde, hvilket er det maksimalt tilladte og samtidig minimerer risikoen for forstyrrelser. Hvis påkrævet kan man dog flyve lavere, så længe man er opmærksom på om dyrene reagerer på dronen.

Forsøgene har vist, at manuel flyvning, hvor dronepiloten under hele flyvningen selv styrer drone og kamera, er velegnet til åbne områder, samt til landskaber med en mosaikstruktur bestående af åbne områder, levende hegn og mindre bevoksninger. Her kan man se langt og opdage dyrene på afstand med termisk kamera. På denne måde kan man effektivt dække et område uden at bruge tid og batterier på steder hvor dyrene ikke er.

I skovområder, hvor dyrene er sværere at detektere, kan automatiseret flyvning i transekter være den bedste løsning. Der er muligt at dække 100 ha i timen når der flyves i transekter.

I praksis kan man med fordel kombinere metoderne, så man i et aktivitetsområde med hjortevildt foretager en manuel flyvning over de åbne områder og transektflyvning over områdets skovarealer. Man kan også kombinere en traditionel overvågning med droneoverflyvninger, så man kan dække så store områder som muligt på så kort tid som muligt, så dyrene ikke når at flytte sig og dermed bliver optalt flere gange.

Overvågning med drone har den begrænsning, at dronepiloten altid skal have visuel kontakt med dronen. Afhængig af områdets topografi og areal kan dette være en udfordring og metoden med fotografering med termisk kamera fra en drone kan derfor ikke benyttes alle steder.

Ud fra termiske overflyvninger af hjortevildt i dyreparker, hvor alders- og kønsfordelingen var kendt, viser studiet, at dådyr og krondyr kan skelnes fra hinanden ved måling af dyrets længde. Erfaringen er benyttet til bestemmelse af dyr på termiske billeder taget på den frie vildtbane. Der er dog for ungdyr af kronvildt et overlap med voksne dådyrhanner, så ved artsbestemmelsen kan det være en fordel at kombinere målene fra termiske dronebilleder med et lokalkendskab til områdets sammensætning af hjortearter.

Ligeledes har forsøget vist, at det under de rette forudsætninger kan lade sig gøre at kønsbestemme dyrene ud fra termiske billeder.

5. Referencer

- Apple 2014. QuickTime vers. 7.7.9. til Windows
https://support.apple.com/da_DK/downloads/quicktime
- DJI 2018. User Manual v1.0. <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/zenmuse-xt2-user-manual.pdf>
- DroneDeploy 2020. Flight App. <https://www.dronedeploy.com/>
- FLIR 2020. FLIR Tools. <https://www.flir.com/products/flir-tools/>
- Harvey 2020. Exiftool. <https://exiftool.org/>
- Holm, T.E., Kanstrup, N., Riddervold, M., Jensen, L.Ø. & Bregnballe, T. 2018. Brug af droner til overvågning af ynglende vandfugles reaktioner på menneskelig færdsel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 32 s. - Teknisk rapport nr. 129. <http://dce2.au.dk/pub/TR129.pdf>
- Holm, T.E. & Bregnballe, T. (red.) 2019. Overvågning af ynglefugle ved brug af droner. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. – Videnskabelig rapport nr. 311. <http://dce2.au.dk/pub/SR311.pdf>
- Holm, T.E., Clausen, K.K., Pedersen, C.L., Jacobsen, E.M. & Bregnballe, T. 2019. Undersøgelse af kajakkers forstyrrende effekter på fældende knopsvaner i Roskilde Fjord. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 30 s. - Videnskabelig rapport nr. 350.
<http://dce2.au.dk/pub/SR350.pdf>
- ImageJ 2020. Java image processing program vers. 1.52t. <https://imagej.nih.gov/ij/>
- Jacobsen, C. 2017. Arealers bæreevnen i forhold til kronvildtet i det tidligere Oksbøl Kronvildtreservat. Bachelorafhandling. Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet.
- QGIS Development Team (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Styrelsen for Dataforsyning og effektivisering 2020. Kortforsyningen. <https://kortforsyningen.dk/>
- The R Foundation. The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

BRUG AF DRONE MED TERMISK KAMERA TIL OVERVÅGNING AF HJORTEVILDT

Bestandsopgørelser af konfliktarter som kron- og dåvildt har hidtil ofte været baseret på estimater foretaget på baggrund af lokale og regionale indberetninger, eller på baggrund af jagtudbyttestatistikkerne. Historisk har disse opgørelser været præget af en høj grad af usikkerhed. Gode populationsestimater er en forudsætning for en mere effektiv forvaltning, herunder en forebyggelse af hjortevildts mark- og skovskader. Med fremkomsten af den termiske droneteknologi er der sket et teknisk jordskred, som kan forbedre mulighederne for at få mere præcise estimater. Med termisk kamera fra en drone kan man kortlægge større områder fra luften. Da man med kameraet kan spore varmemforskelle, kan man kortlægge større pattedyr som hjorte i skovområder eller i større mosaiklandskaber, hvor dyrene kan skjule sig og derfor være vanskelige at optælle på traditionel vis. Ved hjælp af informationerne i de termiske billeder, kan man få bedre estimater, herunder antal og fordelingen af køn. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet rådgiver løbende Miljøstyrelsen om overvågningsmetoder. I dette projekt har DCE undersøgt metoder til overvågning af hjortevildt fra drone med påmonteret termisk kamera. Projektet er et samarbejde med Naturstyrelsen Midtsjælland som har testet metoderne på større skala på den frie vildtbane.