

Velfærdsvurdering af dyr på afstand

– vurdering af indikatorer og tekniske hjælpemidler

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Britt I. F. Henriksen og Janne Winther Christensen

Institut for husdyr og veterinærvidenskab

Datablad

Titel:	Velfærdsvurdering af dyr på afstand –vurdering af indikatorer og tekniske hjælpemidler
Forfattere:	Forsker Britt I. F. Henriksen og Lektor Janne Winther Christensen, Institut for husdyr og veterinærvidenskab, AU
Fagfællebedømmelse:	Adjunkt Vivi Mørkøre Thorup, Institut for husdyr og veterinærvidenskab, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Chefkonsulent Klaus Horsted, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Fødevarestyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Dato for bestilling/levering:	09.02.2023 / 31.01.2024
Journalnummer:	2023-0492154
Finansiering:	Notatet er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet under ID nr. 2.30 i "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2023-2026".
Ekstern kommentering:	Nej
Eksterne bidrag:	Nej
Kommentarer til besvarelse:	<p>Besvarelsen er udarbejdet som del af et ViD-projekt underlagt styregruppen for Videncenter for Dyrevelfærd.</p> <p>Notatet præsenterer resultater, som ved notatets udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.</p>
Citeres som:	Henriksen, B.I.F. & Christensen, J.W., 2024. Velfærdsvurdering af dyr på afstand –vurdering af indikatorer og tekniske hjælpemidler. 26 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 31. januar 2024.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Skema til afrapportering af ViD-projekter

Videncenter for Dyrevelfærd

1. Projekttitle:

Velfærdsvurdering af dyr på afstand – vurdering af indikatorer og tekniske hjælpemidler

2. Projektstart og afslutning:

09-02-2023 - 31-01-2024

3. Projektleder og projektdeltagere (titel, navn, adresse, tlf., e-mail):

Forsker Britt I. F. Henriksen, Institut for husdyr og veterinærvidenskab, AU, tlf. +45 93522557, britt.henriksen@anivet.au.dk

Lektor Janne Winther Christensen, Institut for husdyr og veterinærvidenskab, AU, tlf. +45 61687466, jwc@anivet.au.dk

4. Baggrund for projektet (Kort beskrivelse af, hvorfor dette projekt blev i gang sat):

Får, kvæg og heste er en vigtig del af naturplejen af arealer med høj naturværdi. Desuden anvendes får til afgræsning i bl.a. solcelleparker og genåbning af tilgroede arealer. Der er krav om jævnligt tilsyn af fritgående dyr på græs, og dagligt tilsyn af heste (Lovbekendtgørelse 1597 a 8 juli 2021 og afledte bekendtgørelser). Både i solcelleparker og store naturområder kan det imidlertid være svært at komme tæt på dyrene, både pga. de fysiske forhold og fordi dyrene ikke er tilvænnet til mennesker. Det kan derfor være udfordrende og tidkrævende at lave tilsyn af dyrene i disse områder. Det forventes, at afgræsning med får, heste og kvæg vil være stigende i omfang, hvilket stiller krav til effektive systemer til sikring af dyrenes velfærd. Der er udviklet en række velfærdsvurderingssystemer med protokoller, som anvender såvel dyrebaserede (målt på det enkelte dyr, f.eks. sår, skader, adfærd og sygdom) som ressourcebaserede (omgivelser, f.eks. mulighed for fodring, hvile og læ) indikatorer, hvoraf nogle er relevante for udegående dyr. Disse protokoller kræver dog typisk tæt kontakt med dyrene eller længerevarende observation for at vurdere de forskellige indikatorer (Henriksen et al., 2022). En evaluering af dyrebaserede indikatorer til velfærdsvurdering af dyr på græs konkluderede blandt andet, at brug af forskellige sensorer vil blive mere udbredt i fremtiden (Spigarelli *et al.*, 2020). Der er derfor behov for en vurdering af, hvorvidt eksisterende sensorer og/eller tekniske hjælpemidler kan anvendes til velfærdsvurdering af dyr på græs, inkl. dyr med minimal menneskelig kontakt.

5. Beskrivelse af projektets formål og hypoteser samt materialer og metoder:

Formål med projektet:

At undersøge eksisterende tekniske hjælpemidler som kan bidrage til vurdering af dyrenes velfærd i områder som er svært tilgængelige, eller hvor dyrene er svære at komme tæt på.

Forskningsspørgsmål:

- I hvilket omfang kan droner være et hjælpemiddel ved vurdering af velfærdsindikatorer?
- Kan ændring i adfærd - målt som bevægelse og/eller afstand til andre individer via billeder og elektroniske øremærker eller GPS-halsbånd - indikere sygdom eller mistrivsel?

Materiale og metode:

Overblik over aktuel teknologi

For at evaluere hvilke tekniske hjælpemidler som kan være et supplement til fysisk opsyn med dyrene ved velfærdsvurdering, blev der indsamlet viden og erfaringer fra andre projekter via webinar og EAAP-konference (særligt projekter som TeckCare og Sm@rt), samt via review af videnskabelige publikationer. I reviewet er der taget udgangspunkt i nye review-artikler fra 2021 til 2023, og derigennem tilhørende artikler ("sneboldmetode"), da den teknologiske udvikling af sensorer o.l. for udegående dyr har været under kraftig udvikling de seneste år.

Med henblik på at undersøge potentialet for at anvende GPS-data via øremærker eller halsbånd til at indikere ændringer i dyrs bevægelse og/eller social afstand som følge af sygdom eller mistrivsel, blev der bl.a. taget kontakt til firmaet NoFence. Der blev også taget kontakt til Naturstyrelsen omkring GPS-data og velfærdsregistreringer og LIFE-projektet Natureman (<https://life-natureman.dk/>) via Innovationscenter for Økologisk Landbrug, som afprøver både GPS øremærker og droner for lettere at føre tilsyn med græssende dyr.

Endelig blev der gennemført et pilotprojekt vedr. huldvurdering af heste og overflyvning med drone med henblik på optagelse af fotomateriale til huldvurdering. En DJI Mavic 3 drone blev brugt til at tage billeder og video af 12 heste. Flyvehøjde var fra 50 til 15 meter, og der blev brugt zoom for at komme tæt på dyrene ovenfra og skråt fra siden. Formålet var at tage billeder og video til huldvurdering. Der blev derfor ikke fløjet systematisk ved bestemt højde eller anvendt en systematisk metode til tilnærmelse. De 12 heste var fra tre forskellige flokke: 1) to islandske heste, en dansk varmblodshest og en shetlandspany, 2) seks islandske heste, 3) to islandske heste. Flok 1 blev filmet og vurderet 28. marts og flok 2 og 3 den 1. maj. Flok 1 blev vurderet med palpering af en observatør (obs. 1). Flok 2 og 3 blev vurderet med palpering af tre observatører (obs 1, obs 2, obs 3), for at vurdere enighed mellem observatører (inter-observer reliability, via Spearman Rank Correlation).

6. Oversigt over projektets samlede resultater:

Oversigt over aktuel teknologi

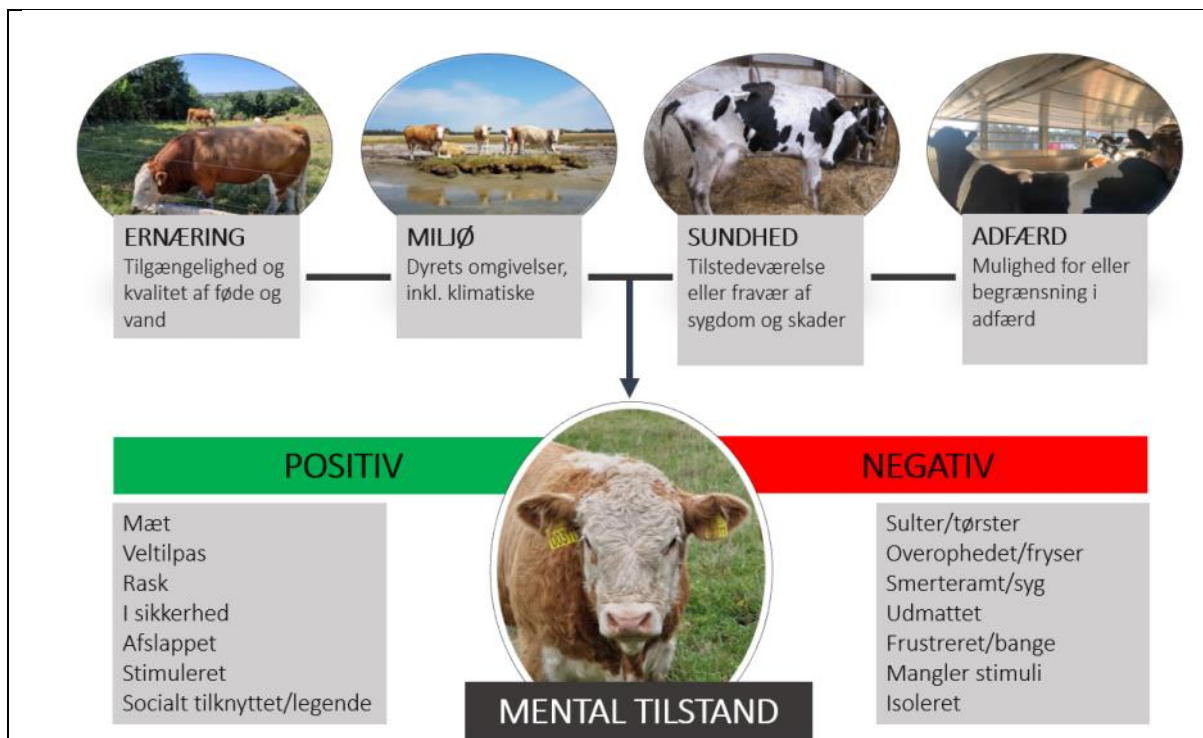
Brug af teknologi for at overvåge produktionsdyr er udbredt i de fleste produktionssystemer, og det såkaldte præcisionslandbrug (PLF), hvor man overvåger hvert enkelt dyr kontinuerligt (Berckmans, 2017) er under kraftig udvikling. De fleste teknologiske hjælpemidler til overvågning er udviklet til dyr i stalde eller systemer, hvor det er nemt at tilgå dyrene. Formålet med denne rapport er at vurdere, om eksisterende tekniske hjælpemidler kan bidrage til vurdering af dyrenes velfærd i områder som er svært tilgængelige, eller hvor dyrene er svære at komme tæt på.

Udviklingen af teknologiske hjælpemidler til overvågning af dyr, der opholder sig udendørs, har været størst indenfor kvæg og mælkeproduktion, men de senere år er der også arbejdet på

løsninger tilpasset små drøvtyggere som får og geder. Der er for nylig arbejdet på udvikling af en model til velfærdsvurdering af malkekvæg, udelukkende baseret på sensordata (Stygar et al., 2023). Forfatterne konkluderede dog, at en kombination af fysisk tilsyn og sensorbaseret velfærdsevaluering ville være at foretrække for at opnå en pålidelig velfærdsvurdering.

Der bør skelnes mellem dagligt tilsyn af enkelt dyr og vurdering af dyrenes velfærd ved hjælp af en systematisk protokol, hvor målet er at få et overordnet billede af dyrenes velfærd på flokniveau (velfærdsvurdering). Dyrebaserede indikatorer i en velfærdsvurderingsprotokol udtrykkes ofte som forekomst (prævalens) i en vurdering på flokniveau, og nogle systemer inddrager en række indikatorer for velfærd, som aggregeres på tværs af dyr og indikatorer (Sørensen and Sandøe, 2001). Hvilke indikatorer der er inddraget i de enkelte protokoller, er baseret på den tilgængelige litteratur samt hvad der vægtes i forhold til dyrevelfærd (Fraser, 2003), og hvilke indikatorer som er valide, pålidelige og gennemførlige. En velfærdsvurdering er typisk et øjebliksbillede, hvor der indsamles data om det der observeres på den aktuelle dag. Nogle vurderingssystemer indsamler også historiske data, typisk for dødelighed.

Valg af indikatorer til en velfærdsvurderingsprotokol er afhængig af, om en indikator er valid for det man vil vurdere (altså at indikatoren reelt afspejler det forventede), pålidelig ved at den ikke er påvirket af f.eks. tid, vejr og vind, eller observatør, samt gennemførlig ved at den kan registreres i praksis. Den teknologiske udvikling kan give mulighed for nye indikatorer, som tidligere ikke har været praktisk anvendelige. I videnssynthesen "Systemer af relevans for vurdering af dyrevelfærden hos store græssere i de kommende naturnationalparker – videnssynthese" (Henriksen et al., 2022) blev det anbefalet at tage udgangspunkt i "Five Domains Model" for dyrevelfærd og ti specifikke trin til udvikling af velfærdsprotokoller (Harvey et al., 2020), for at sikre en systematisk og transparent tilgang, hvor det også vil fremgå, hvilke indikatorer man eventuelt har valgt ikke at inkludere pga. praktiske hensyn eller mangel på viden. Et af de 10 trin inkluderer udarbejdelse af en udtømmende liste over potentielle målbare/observerbare indikatorer for hvert domæne. Vi præsenterer derfor de forskellige teknologiske hjælpemidler ud fra hvilket domæne de potentielt kan bidrage til. "Five Domains Model" omfatter fire fysiske/funktionelle domæner (ernæring, miljø, sundhed og adfærd), og de mentale tilstande som disse forhold fører til (affektiv tilstand: Domæne 5; Mellor, 2017. Se figur 1).



Figur 1. Skematisk oversigt over dyrevelfærdsmodellen 'De 5 domæner', som ved hjælp af mål for fire forskellige aspekter af dyrs indre og ydre forhold (ernæring, miljø, sundhed og adfærd) søger at sammenfatte relevante mentale tilstande – positive såvel som negative. Modellen er udviklet af professor David J. Mellor (Mellor, 2017), og benyttes i dag i diskussion af dyrs velfærd i en lang række sammenhænge – også for velfærden hos fritlevende dyr (Harvey et al., 2020). (Fra Christensen et al., 2023).

Reviewet er afgrænset til at omhandle teknologi tilpasset udendørs husdyrhold (eks. naturpleje samt områder som store græsmarker eller solcelleparker), som kan sende information om dyret på afstand. Der er først og fremmest fokus på drøvtyggere og heste, men reviewet indeholder også eksempler på studier med fjerkræ og grise.

Identifikation af dyrene

Ved en velfærdsvurdering vil der være behov for at identificere enkelt dyr, for at sikre at man ikke vurderer samme dyr to gange, og at man har vurderet alle dyrene i en flok eller i en stikprøve.

RFID (Radio frekvens identifikationstags) og eID (elektroniske identifikationsmærker)

Både RFID og eID er elektroniske mærker eller tags som overfører information fra et mærke til en modtager/læser eller gateways (netværkspunkt, der fungerer som bro mellem to netværk). De kan være fæstnet på/i dyret, evt via øremærker, bolus som sluges, eller chip som injiceres under huden. Forskellen mellem de to typer er, at RFID sender via radiofrekvenser til en læser og kan indeholde flere typer af data, mens eID kun sender et identifikationsnummer, når den kommer i nærheden af en læser. RFID kan deles ind i lavfrekvens (125-134,2 kHz) og højfrekvens (13.56 MHz) mærker, ud fra hvilken frekvens informationen til/fra øremærket sendes på. International standard (ISO 11784 og 11785) for radiofrekvens ved identifikation af dyr er 134,2 kHz

(lavfrekvens) (Voulodimos et al., 2010), og derfor vil de fleste kommercielle RFID-mærker have denne frekvens. RFID kan være både aktive og passive tags, hvor aktiv RFID har et batteri i taggen og overfører aktivt data via radiobølger (højfrekvens på 455 MHz, 2.45 GHz og 5.8 GHz), og kan opnå en længere læseafstand (20-100 m) end passiv RFID (3 m) som er uden batteri og får energi tilført fra læseren til at overføre data (Ruiz-Garcia et al., 2009; Tzanidakis et al., 2023). Højfrekvente radiobølger tåler derimod dårligere vand, og aktiv RFID er derfor ikke aktuell i f.eks. bolus (bolus er en kapsel eller lignende, der nemt kan sluges, og kan indeholde en dosis af et lægemiddel eller et supplement, men også sensorer). Mærker som eID eller passiv RFID er mest relevante ved håndtering af dyr som man kommer tæt på, og ikke for at identificere dyr på afstand. De kan dog være relevante i kombination med andre redskaber, hvor dyrene kan komme forbi en læser, som f.eks. i automatiske vejesystemer eller drikke- eller fodringsautomater. Der findes også injicerbare RFID mærker eller bolus som er både pålidelige og sikre (Carné et al., 2009; Hentz et al., 2014), men kan være en udfordring i forhold til størrelse på bolus, så dyrene både kan synke bolusen, og data kan sendes i god kvalitet (Caja et al., 2014). Det kan også være en udfordring at få rigtige data i situationer hvor dyrene står tæt (Stokovic et al., 2009). Elektroniske mærker til at sætte på dyrets ben kan være et alternativ til øremærker (electronic leg tap eller eID leg-band) (Kandemir et al., 2023). De største udfordringer med RFID er, at de er tidskrævende i forhold til konfiguration og installation af udstyr, og høje driftsomkostninger. Droner er brugt til at modtage data fra RFID øremærker, og kan på den måde reducere antal RFID-Repeaters som er nødvendige til at videresende RFID information til en RFID-læser (Freed et al., 2020; Webb et al., 2017). En udfordring kan være en relativt kort flyvetid pga. dronens begrænsede batteri-kapacitet, og en god planlægning af flyvemønstre vil være nødvendig for at sikre at alle øremærker bliver læst. Nogle af afprøvningsne har brugt passive UHF (Ultrahøj frekvens)-RFID mærker og flyvehøjde på 2, 3 og 6 m. (Freed et al., 2020), hvor en afprøvning med 3 og 6 m over en gruppe kvæg fungerede tilfredsstillende (Olson, 2022). Andre har afprøvet aktive UHF-RFID øremærker, og fandt at optimal flyvehøjde, både for billedkvalitet og modtagelse af data fra RFID, var 150 fod (ca. 45 m) (Webb et al., 2017). Dermed vil man potentielt kunne bruge informationen fra RFID øremærker til automatisk at identificere hvilke dyr man tager billeder eller video af via dronen, da øremærker kan være svære at identificere visuelt. Webb et al. (2017) foreslår også at kombinere LED lys i RFID øremærker, så dronen kan aktivere lys i øremærker for nemmere at identificere dyr, der har tegn på sygdom eller lignende.

Registrering af dyr via GPS-halsbånd eller øremærker er også et alternativ, som samtidig kan give data på hvordan dyrene bevæger sig i området og i terrænet (Tzanidakis et al., 2023). Dette er relativt kostbare systemer, og udfordrende i forhold til batterilevetid, mangel på trådløs dataforbindelse, og nøjagtighed i målingerne. Kombination af accelerometer og GPS giver mulighed for at spare batteri, da accelerometeret har et lavt energibehov, og kan sørge for at GPS'en først aktiveres, når accelerometeret måler en vis fart (Terrasson et al., 2015). Udviklingen af nye batterityper, dataforbindelse og løsninger for at forbedre præcision går hurtigt, og der forventes derfor nye systemer på markedet indenfor de kommende år.

En begrænsning ved disse metoder til identifikation af dyr er dog, at de kræver påsætning af udstyr på dyrene, hvilket ikke altid er ønskeligt/muligt i de mere ekstensive projekter. Der arbejdes med ansigtsgenkendelse kombineret med fysiske øremærker ved måling af fårs vandoptag, så man ikke er afhængige af elektroniske øremærker. Dette er et eksempel på hvordan ansigtsgenkendelse kan bruges for at identificere dyr (Alon et al., 2023).

Optælling af dyr

Droner med termiske kameraer kan bruges til at registrere og tælle dyr i mørke, da de opfanger infrarød stråling eller varmestråler fra et dyrs overflade. En fordel med termiske kameraer er, at de også kan identificere dyr, der ikke er let synlige for det blotte øje. Termiske kameraer er mindre påvirkede af lysforhold, skygge eller tæt vegetation, men er derimod afhængige af, at der er temperaturforskel mellem dyr og omgivelser. En kombination af termiske og visuelle billeder kan forbedre registreringen af dyr som er i skygge og/eller er svære at se (Krishnan et al., 2023), men der er dog stadig en risiko for dobbeltregistrering af enkelt dyr. Der sker en betydelig udvikling inden for maskinlæringsalgoritmer til automatisk detektion af objekter på både visuelle og termiske billeder (Schad and Fischer, 2023). Den største begrænsning i udbredelsen af automatiske tællesystemer af forskellige dyrearter er genkendelse af den aktuelle art i dens habitat, samt i hvor høj grad uigennemskuet habitat dækker dele af populationen. Der er dog udviklet programmer (software) som visuelt kan spore dyr og hvilken retning dyrene står i (kropsorientering; Schad and Fischer, 2023).

Udfordringer ved brug af droner er, at de typisk er vejrafhængige, ved at de tåler meget lidt regn/sne eller hård blæst. Kvaliteten af data fra dronen er også afhængig af flyvehøjde og kameraets billedopløsning. Billedkvaliteten er endvidere afhængig af sollys og kontrast mellem objekt og omgivelser. Der arbejdes med forskellige Deep learning modeller, for at kunne identificere dyr fra dronebilleder taget under ikke-ideelle miljøforhold, såsom lav belysning, overdreven lysstyrke, sløret eller lav synlighed (Yousefi et al., 2022). En mulighed er at bruge information fra lyd sammen med billeder fra droner, og udtrække information ved hjælp af audiovisuelle læringsteknikker. Man har blandt andet kunnet identificere personer med Covid-19 ud fra deres vejrtrækning (Islam et al., 2020).

Domæne 1, Ernæring/hydrering

Automatiske vægte - Walk over weigh platforms (WOW)

Information om dyrets vægt kan give en indikation på dyrets energireserver, og information over tid kan give et billede af om dyrene er i positiv eller negativ energibalance. Manuel vejning er arbejdskrævende og vil være stressende for dyr, der sjældent bliver håndteret. Automatiske vejesystemer, såkaldte Walk over weigh platforms (WOW), hvor dyrene vejes automatisk når de går over en vægt, blev i første omgang udviklet i mælkeindustrien (Filby and Turner 1975 ref. af Brown et al., 2015) for at følge dyrenes ernæringsstatus. Reduceret vægt eller hurtig vægtændring kan også være en indikator for sygdom eller infektion af parasitter.

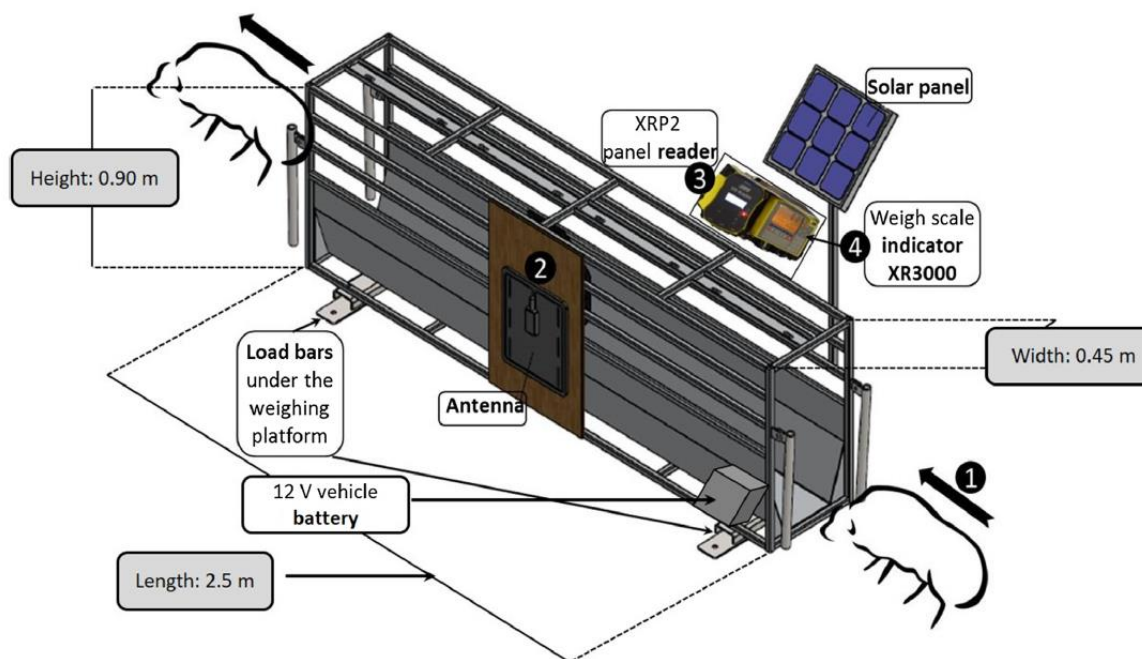
En udfordring med WOW er at der kræves gentagne målinger per dyr, for at kunne estimere dyrets vægt, med mindst 5-10 individuelle målinger (Brown et al., 2015; González-García et al., 2018). Derefter vil man kunne måle vægtændringer ved jævnlige målinger og dermed kunne opfange unormale ændringer. Unormale enkeltvægte, ud fra race og/eller laktationsstadiet vil også kunne indikere at noget er galt i forhold til dyrets energireserver. Det er derfor nødvendigt med en god placering af vægten, så alle dyrene vil passere vægten, gerne hver dag. Adgang til vand, salt og mineraler kan være motiverende faktorer, men var ikke attraktive nok i et forsøg med kalve, hvor der allerede var naturlig adgang til vand flere steder på deres areal (Segerkvist et al., 2020). Det er også vigtigt, at dyret går og ikke løber på platformen, for at kunne registrere en vægt, hvilket kan være et problem med får. González-García et al. (2018) har vist, at et s-formet slusesystem til får kan være en løsning (Figur 2 og 3). En anden fejlkilde kan være, hvis mere end

et dyr står på vægten, eller dyret kun står med to ben på vægten. Det er derfor nødvendigt med software, som fjerner ekstremværdier. Et alternativ kan være at vurdere gennemsnitlig flokvægt via WOW-vægte. Dette kræver ikke ID læser og vil være et billigere alternativ. Denne type vægte vil ikke være aktuel i naturplejeprojekter hvor man ønsker at dyrene skal bruge hele arealet, og ikke passere igennem bestemte steder for ofte. Der vil også kunne være udfordringer med vedligehold af vægte, der står ude, særlig i frostvejr og sne. González-García et al. (2018) testede en prototype lavet af korrosionsbeskyttende materialer for at sikre "lang levetid" i udendørs systemer og forskellige klimatiske forhold, og nævner ikke noget om tekniske problemer.

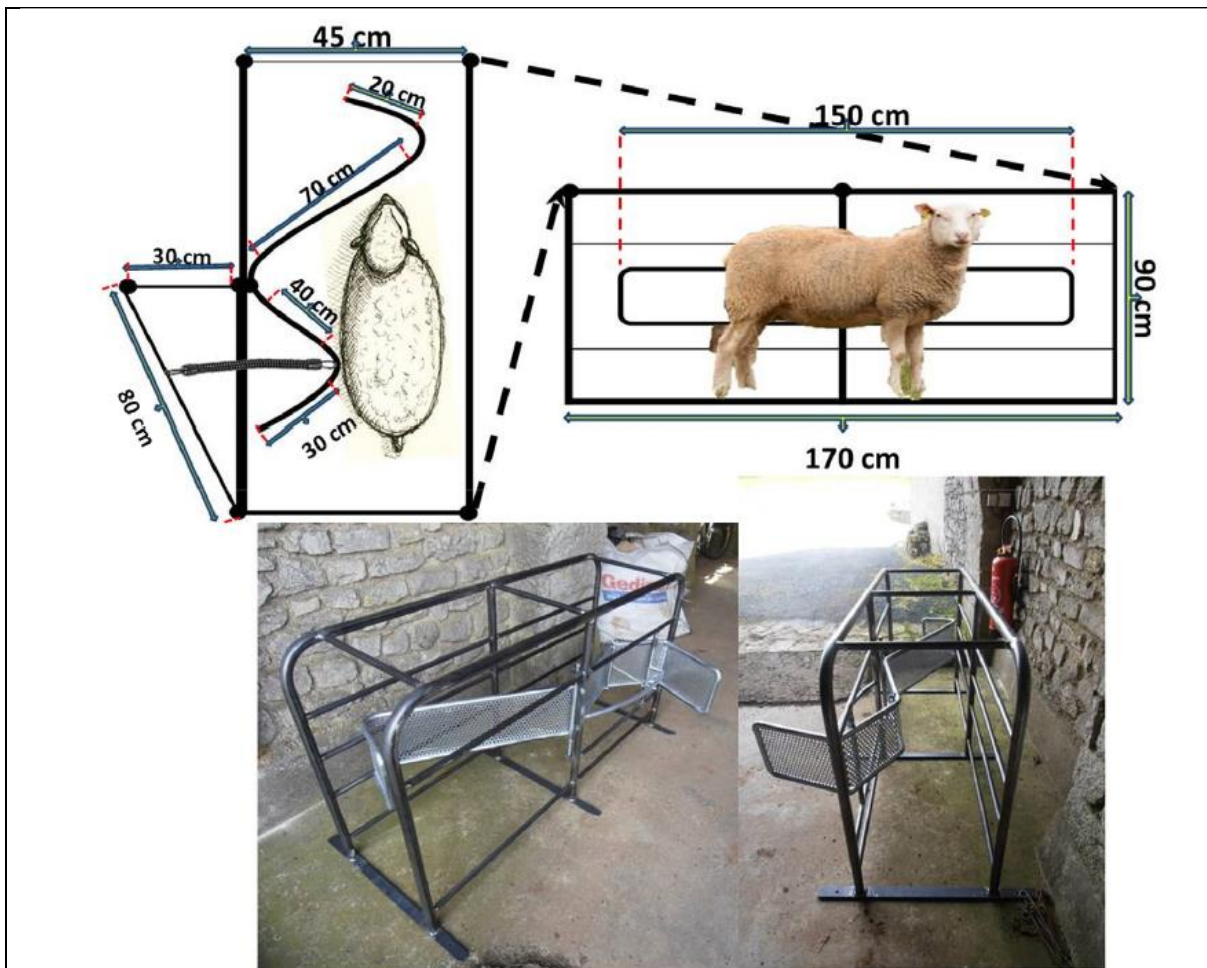
Dyrets vægt er påvirket af både vomfylde, våd eller tør pels, laktationsstadiet, race (kropsstørrelse) og mængde pels (eks. får). Ved manuel vejning, hvor dyrene samles og vejes, kan påvirkning af vomfylde minimeres ved at veje dyrene på samme tidspunkt på dagen, og/eller efter nogle timers faste (Filby and Turner 1975 ref. af Brown et al., 2015). Man bør også undgå at veje dyrene, når de er våde under eller efter regnvejr. For at kunne bruge den enkeltes vægt til at vurdere dyrenes ernæringsstatus, eller for at kunne sammenligne vægte mellem besætninger, er det vigtigt, at man vurderer vægten op mod gennemsnitlig vægt for den aktuelle race og/eller op mod en referencevægt for dyret fra et tidligere tidspunkt (Brown et al. 2015). Der er løbende forbedringer i vejningssystemer, som soldrevne batterier og data transmissionssystemer, samt software som kan behandle data fra vægte hvor ekstremværdierne er fjernet (González-García et al., 2018; González-García et al., 2021).

E. González-García et al.

Computers and Electronics in Agriculture 153 (2018) 22



Figur 2. Illustration af Walk-Over-Weighing (WoW) platform til får. 1) Dyret passerer frivilligt vejningplatformen (2) antennen læser dyrets eID-mærke og sender det til XRP2-panellæseren, som registrerer EID-tags i en sessionsfil og (3) sender det direkte til vejevægtindikatoren XR3000 for at registrere individuelle dyrevægte og andre oplysninger, f.eks. dato, tidspunkt for vejningshændelsen. Derefter downloader operatøren de lagrede filer til videre behandling og fortolkning. Fra González-García et al., 2018.



Figur 3. En "flow-control"-anordning tilpasset får (en såkaldt S-struktur), der er placeret ved indgangen til WoW-enheden. Fra González-García et al., 2018.

Automatiske vejesystemer kan også være et hjælpemiddel til at afdække reduceret tilvækst på grund af parasitangreb (Segerkvist et al., 2020). Dette er vejesystemer, der kan bruges til kvæg og får på græs via et slusesystem eller låger som dyrene skal tilvænnenes. Når systemet fungerer, kan det give en alarm, når et dyr viser unormale vægtkurver.

Vurdering af dyrets huld

Vurdering af dyrets huld er en vigtig velfærdsindikator og et vigtigt styringsredskab i forhold til både dyrets ernæringsmæssige status, men også i forhold til sygdom og parasitter. Skalaerne der bruges, er typisk udviklet og valideret i en udgave, hvor man skal røre ved dyret (palpering) (Henneke et al., 1983). Fysisk vurdering af dyrs huld er tidkrævende og kan være stressende for dyr, der sjældent bliver håndteret, da det kræver indfangning og håndtering. Ved jævnligt tilsyn er det derfor almindeligt med visuel vurdering af dyrets huld. Særligt i vinterperioden, hvor dyrenes pels er kraftig, savnes der en validering af visuel huldvurdering i forhold til vurdering med palpering (Harvey et al., 2021). Der er også behov for viden om, hvor hyppigt det er nødvendigt at foretage huldvurdering hos fritlevende dyr (Henriksen et al., 2022). Fysisk huldvurdering er tidskrævende, og en automatiseret vurdering via billeder vil kunne øge vurderingsfrekvensen.

Både fysisk og visuel huldvurdering er subjektiv og kræver træning og kalibrering for at opnå god enighed mellem observatører (Zielke et al., 2018). Der er derfor brug for objektive metoder til måling af huld, og flere har forsøgt via 3D kamera og maskinlæring (Caja et al., 2020). Los et al. (2023) har undersøgt metoder til at estimere dimensioner og vægt af kvæg på græs med 3D-modeller fra dronebilleder. De fandt, at der var udfordringer med at få præcise 3D-modeller, bl.a. pga. bevægelse hos dyret, og foreslog brug af flere droner samtidig eller automatiseret behandling af billeder i 3W-modeller. Christiansen et al. (2019) har brugt billeder fra droner til at estimere hvalers kropsmasse. De brugte arealfotogrammetri for at beregne kropsvolumen, ved at måle kropslængde, bredde og højde (mave til ryg). Volumen blev derefter brugt til at beregne vægt hos hval fra historiske fangstdata, for dermed at udvikle en omregningsfaktor og en model til at beregne kropsmasse til fritlevende hvaler ud fra dronebilleder. Brandt (2023) forsøgte at udvikle tilsvarende for kvæg, men fandt ikke tilfredsstillende sammenhænge mellem indekset baseret på dyrets areal og selve vægten af dyret. Brandt foreslog at bruge flere kameravinkler end kun billede fra oven (areal), eller inkludere flere struktur-variable end længde for at få et bedre estimat. Der er udviklet metoder for automatisk vurdering af kvægs huld via billeder fra 3D kamera, hvor man bruger sensorer bestående af laser og infrarødt kamera for at måle dybde (Martins et al., 2020). Dette er indendørssystemer med fastmonterede kameraer og kort afstand til dyret for at sikre en høj billedopløsning. I de aktuelle systemer måles ryggens længde, kropsbredde og højde, samt evt. brystvidde via billeder fra undersiden af dyret og diverse vinkler (fod/klove, lænd/kryds, halestykket). Stephansen et al. (2023) testede forskellige modeller, samt muligheden for at inkludere kontur-egenskaber i beregningen af huld. De testede også automatisk huldvurdering over tid og i forskellige stalde, og konkluderede at det er muligt at etablere pålidelig estimering af huld hos Jersey køer via kontur-egenskaber fra 3D-billeder. Der er imidlertid svært at overføre huldvurdering via fastmonterede kameraer i en stald til vurdering via billeder fra droner. For det første er 3D kameraer generelt sensitive over for lys. I tillæg er det umuligt at få billeder fra undersiden af dyret med en drone, og også svært at få billeder fra siden og bagfra. Det kan dog være muligt at få billeder af dyret på skrå fra siden og bagfra, hvis det kan bruges. Der er dog ingen systemer for automatisk vurdering af huld via droner i dag, og hvis fastmonterede 3D kamera skal bruges, er man afhængig af, at dyrene går igennem en smal passage, gerne med tag, for at undgå kraftig belysning.

Måling af dyrets vandoptag

Der er udviklet sensorer der bruger termometer eller termografi til at vurdere vandoptag hos kvæg. Dette er boluser (se næste afsnit) i vom, som kan måle foder- og vandindtag, samt ændringer i vommikrofloraen (Herlin et al., 2021). Deres daglige vandindtag kan beregnes ud fra temperaturændringer, der opstår, når dyret drikker. Sensoren kan også bruges til at beregne om dyret ikke har drukket i en periode. Der er også udviklet systemer som vurderer drikkeadfærd ud fra accelerometer kombineret med tryksensorer som måler om dyret tygger eller ej (Zehner et al., 2017), eller andre sensorer som bliver nævnt under kapitlet om adfærd (domæne 4).

Domæne 2, Miljø, og domæne 3, Sundhed

Der er udviklet en række sensorer som placeres i dyrets vom, eller implanteres under huden på dyret, for at måle dyrs sundhed. Bolus-sensorer er udviklet først og fremmest for at måle variation i vomtemperatur hos kvæg, som kan indikere ændring i dyrets fysiologiske tilstand. Temperaturen ændrer sig også, når dyret drikker og æder, men ved samtidig at måle aktivitet via accelerometer, evt. i samme bolus, kan man afdække tidlig sygdom og afvigende adfærd. Sensorer placeret under huden på dyret kan måle hjerterytme og kropstemperatur, som er indikatorer, der potentielt kan

bruges til at afdække sygdom og stress på et tidligt stadie (Fuchs et al., 2019). Der er også udviklet øremærker, som kan følge kropstemperaturen ud fra subkutan øretemperatur, og dermed varsle varme- eller kuldestress hos dyr. Chung et al. (2023) har udviklet et øremærke, som kan sende information om kropstemperatur hos en malkeko, målt via en passiv RFID-temperatur biosensor injiceret på bagsiden af koens øre. Øremærket kan sende data til en server trådløst via en kombination af LoRa og Wi-Fi kommunikation, samt har trådløs batteriopladning for at holde lav vægt og størrelse på øremærket. Trådløs batteriopladning kræver dog at dyrene kommer forholdsvis tæt på en oplader, f.eks. ved et fodertrug eller i en malkestald, og er mindre relevant for dyr i naturprojekter, hvor man ikke må tilskuds fodre og ikke har læskure. Chung et al. (2023) refererer også til at en forøget respiration kan måles ved hjælp af en fysisk tryksensor monteret på dyrets bug eller ved at bruge en akustisk sensor eller et bølgeradarbaseret system til at tælle vejrtrækninger.

Der er udviklet flere systemer for automatisk registrering af halthed. Eksempelvis har Barney et al. (2023) udviklet et fuldautomatisk system til detektering af halthed hos køer ved hjælp af kamera og deep learning, og der er flere systemer der registrerer ved brug af accelerometer (O'Leary et al., 2020).

Aube et al (2022) påpegede, at vurdering af indtag af giftige planter er noget der mangler i eksisterende velfærdsprotokoller. Et kamera monteret på halsbånd kan muligvis udvikles til at sende information om indtag af giftige planter, og der er igangværende undersøgelser vedr. brug af kamera på GPS-halsbånd til monitorering af hestes fødevalg (Naturstyrelsen, 2023).

Domæne 4, Adfærd

Ændringer i dyrs adfærd kan være en tidlig indikator for sygdom eller mistrivsel hos dyr (Harvey et al., 2023; Jensen og Christensen, 2024). Eksempelvis fandt Högberg et al. (2021) at liggetid og bevægelse for lam omkring fravæning blev påvirket af moderate nematodeinfektioner. I forsøg på at automatisere registreringen af adfærd og eventuelle adfærdsændringer er der brugt forskellige teknologier.

Accelerometer

Accelerometre er sensorer, der måler accelerationen af et legeme, og kan bruges til at registrere bevægelse og ændringer i hastighed. De kan være placeret og udviklet til forskellige dele af dyret, som i øremærke, halsbånd, grime eller remme som er fæstnet på dyrets ben (Riaboff et al., 2022). Accelerometre er typisk brugt i mælkeproduktionssystemer for at påvise brunst eller velfærdsrelaterede problemer som mastitis og halthed, men er også testet for andre sammenhænge, til både kvæg, grise, får og geder (Chapa et al., 2020; Riaboff et al., 2022). De fleste sensorer som påsættes på dyr i dag, bruger tredimensionelle (3D) accelerometre som kontinuerligt logger data i forskellige frekvenser. Der er flere kommercielt tilgængelige sensorer, som bruger 3D accelerometre til automatisk at kvantificere husdyrs adfærd, som CowManager (Agis, Harmelen, the Netherlands), HOB0 Data Logger (HOB0 Pendant G Acceleration Data Logger, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA), MooMonitor + collar (Dairymaster, Tralee, Ireland), AfiAct Pedometer Plus (Afimilk, S.A.E. Afikim, Kibbutz Afikim, Israel) og IceTag (IceRobotics Ltd., Edinburgh, Scotland) (Riaboff et al., 2022). De fleste er systemer som fokuserer på fodringsadfærd, såsom græsning eller drøvtygning (f.eks. CowManager), eller på liggeadfærd (f.eks. HOB0 Data Logger). De dækker ikke et bredt spektrum af adfærd. Alternativt findes systemer som kombinerer flere sensorer, på forskellige steder på dyret, hvilket giver mulighed for

at måle flere aspekter af dyrets adfærd (RumiWatchSystem, Itin + Hoch GmbH, Liestal, Schweiz). Disse har derimod både høje omkostninger og krævende datastyring. IMU (Inertial Measurement Unit) systemer kombinerer et accelerometer og en gyroskopsensor. De bruges til at registrere bevægelser og måle intensiteten af bevægelser med hensyn til acceleration og rotationshastigheder og bliver blandt andet brugt i øremærker og diverse halsbånd. IMU kan også indeholde magnetometer, som gør det muligt at detektere ændringer i magnetfeltet på et bestemt sted og måle rotationsvinkel (Mao et al., 2023). En sensor, som kan fæstnes på dyrets ryg, er under udvikling, for at kunne måle flere typer af bevægelse, end det man kan ved aktivitetssensorer, som er fæstnet til hovedet eller ben (Achour et al., 2022). Denne kombinerer IMU systemer med RFID for at koble adfærd op til identitet, og vil potentielt kunne videreudvikles til at kunne injiceres subkutant. Ingen af de nævnte systemer giver oplysninger om adfærd, der sjældnere udtrykkes hos dyr, såsom hud/pelspleje eller drikkeadfærd, som også er relevante for dyrs velfærd. Accelerometre (3D) kombineret med RFID har derimod vist at kunne identificere drikkeadfærd hos kvæg ved hjælp af hoved-nakke position (Williams et al., 2020). Versluijs et al. (2023) brugte data fra et 3D accelerometer, som er i det virtuelle hegnssystem NoFence, til at identificere aktivitet hos kvæg på græs. De sammenlignede resultaterne med adfærdsobservationer og kunne vha. accelerometer-data identificere forskellige typer adfærd, såsom at drøvtygge stående eller liggende, fouragere på høj eller lav vegetation, men også mindre frekvent adfærd som at "strække sig" eller "kaste med hovedet". Versluijs undersøgte ikke adfærdsændringer i forhold til sygdom eller mistrivsel, men konkluderer, at deres resultater kan overføres til indbyggede algoritmer i sensorer som NoFence, som omdanner accelerometer-data til adfærdsdata. Dermed kan landmænd/dyreholdere få en oversigt over dyrenes normale tidsbudget, og dermed afdække unormal adfærd forårsaget af f.eks. sygdom eller rovdyrangreb.

Et alternativ til accelerometre kan være sensorer, der registrerer kinetisk energi. Øremærker, der registrerer kinetisk energi, kan vise om dyret bevæger sig eller ej, og hvor hurtigt det bevæger sig (Blazevic et al., 2022). Teknologien kræver dog videre afprøvning under varierende forhold og med forskellige dyrearter (Tzanidakis et al., 2023).

Virtual fence/virtuel indhegning

Et virtuelt indhegningssystem består af et halsbånd med mulighed for at give lydsignal og/eller strømstød, hvis dyret nærmer sig en GPS-baseret virtuel grænse. Selve indhegningssystemet er ikke relevant ved en velfærdsvurdering, ud over at det evt. kan være relevant at indhente information om, hvor mange gange et dyr har fået stød i løbet af en given periode. Ved brug af virtuel indhegning er det derimod vigtigt, at alle dyrene i en flok har halsbånd, noget der giver mulighed for registreringer på enkelt dyr, hvis det inkluderes i dataindsamlingen via halsbåndet. Halsbåndene indeholder allerede et accelerometer, der registrerer retning og fart, for at kunne give det rigtige signal i forhold til indhegningen. NoFence anvender desuden data fra accelerometret til at tolke om et dyr ligger ned. Dette kan også bruges til at vurdere, om et dyr bevæger sig unormalt lidt, hvilket kan være et tegn på sygdom eller skade. GPS-funktionen slås derimod fra hvis der er meget lidt bevægelse i over 10 minutter, for at spare strøm.

Automatisk registrering via billeder, video og/eller termiske kameraer

Automatisk registrering via billeder og video fra stationære kameraer bliver typisk brugt indendørs, til at overvåge dyr eller registrere brug af ressourcer. De bliver også brugt til at vurdere adfærd og ændringer på flokniveau, særligt til fjerkræ, men er også testet på kvæg (Guzhva et al., 2016). Der er f.eks. udviklet sensor-baserede metoder til at måle ændringer i dyrs adfærd i en sti/boks eller lignende, som kan give en tidlig indikation på at noget er galt ved dyrene (Matthews et

al., 2017). Dette er sensorer som bruger computer vision på data fra 2D/3D kamera, for at estimere fart, afstand og tid, og beregner aktivitetsindekser. Ved at identificere dyr som oplever et niveau af sygdom, inden de er åbenlyst syge, eller har en uønsket adfærd, vil man kunne gribe ind tidligere og undgå større skade eller sygdomsudbrud. Systemerne kan dermed bidrage til målrettet behandling, lavere sygdomsniveau og bedre dyrevelfærd. Forskere ved Queen's university i Belfast har udviklet et system for at afdække tidlig ørebidsadfærd hos grise (Odo et al., 2023), og Matthews et al. (2017) har brugt kamera med dybdesensorer og "time-of-flight" kamera, som bruger infrarød laser for at måle afstand/dybde i motivet fra kameraet, for at være uafhængig af lysforhold ved måling af grises bevægelse.

Udviklingen af forskellige "deep learning"-tilgange til automatisk adfærdsgenkendelse sker hurtigt, og den mest anvendte deep learning algoritme er "Convolutional neural network" (CNN). Et CNN er generelt designet til automatisk at lære og udtrække hierarkiske funktioner fra rå inputdata (f.eks. sensorværdier) (Mao et al., 2023).

Billeder og video bliver også brugt udendørs, men i mindre grad, og først og fremmest til tælling af dyr via infrarødt kamera eller vildt-kamera som aktiveres ved bevægelse. Et infrarødt kamera eller termografisk kamera danner billeder ved hjælp af infrarød stråling (varmestraler), mens et normalt kamera danner billeder ved hjælp af synligt lys. Kameraer med infrarød stråling kan derfor bruges om natten. Harvey et al. (Harvey et al., 2021) anvendte billeder og video fra vildtkameraer (remote camera traps) til at identificere individuelle vilde heste og evaluere en række velfærdsindikatorer. Dette krævede dog mange kameraer (de brugte 47) og at de enkelte dyr kan identificeres ud fra forskelle i deres udseende (f.eks. farve på pels, størrelse). En begrænsning er også, at dyrene kun kan vurderes, hvis de har passeret foran et kamera.

Droner bliver brugt til at overvåge dyr på større arealer og kan bruge både almindeligt kamera og infrarødt kamera (Herlin et al., 2021). I princippet burde droner kunne bruges på samme måde som fastmonterede kameraer. Brug af droner er dog kostbart og tidskrævende, da det i dag kræver manuel styring. Herlin et al. (2021) påpeger derfor, at fremtidig udvikling af visionssystemer til automatisk billedbehandling og detektion/genkendelse af individer, adfærd og sundhed via droner vil kræve automatisering af både flyvning og datahåndtering. Selvom udviklingen af maskinlæringsalgoritmer for genkendelse af arter og position af individer er under hurtig udvikling, og i dag bliver droner særligt brugt til at identificere og tælle dyr på store områder, og til at følge dyrenes bevægelse i landskabet (Torney et al., 2018; Schad and Fischer, 2023). Droner er også brugt til at afdække sociale interaktioner i grupper af dyr (Torney et al., 2018; Ozogány et al., 2023). Dette er dog kun i forsøgssammenhæng, for at afdække henholdsvis sociale interaktioner hos migrerende arter som rensdyr (karibu), samt socialt netværk i en flok Przewalski heste. Teknologi knyttet til droner er særligt udviklet i marinbiologi til vurdering af morfologiske og fysiologiske parametre hos havpattedyr som hvaler og sæler (Schad and Fischer, 2023). Billeder fra droner kan vise en ret præcis position (nøjagtighed på 1-3 m), sammenlignet med Halsbånd med positionsmodtagere (nøjagtighed på 26 m, (Mulero-Pazmany et al, 2016)), men er afhængige af kontakt til specifikke satellitter. Præcisionen er under stadig udvikling og forbedring.

Kamerasystemer for monitorering af adfærd indendørs (som stå og liggeadfærd), kan også kombineres med dyrs identitet og lokation (Real Time Location Systems (RTLS) som bruger Ultra Wide Band (UWB) teknologi (UWB RTLS)), for at følge dyrets bevægelser (Porto et al., 2014). Kamerabilleder bliver her koblet til dyrs identitet og lokation via tidspunkt for billede og position.

Det bør afprøves om et lignende system kan fungere med billeder og video fra droner af dyr med UWB RTLS øremærker.

Der er en bekymring for, om droner vil forstyrre dyr i naturen. Herlin et al. (2021) refererer til flere forsøg, hvor man har undersøgt hvordan droneflyvning eventuelt påvirker dyrene. Flere dyr bliver tilsyneladende ikke påvirket af droneflyvning, så som næsehorn, kvæg og rensdyr (karibu) i små flokke. Schroeder et al. (Schroeder et al., 2020) og Schroeder and Panebianco (Schroeder and Panebianco, 2021) så derimod altid en flugtreaktion ved store flokke af dyr, men at lav fart og høj flyvehøjde reducerede forstyrrelsen af dyrene. Schad og Fisher (2022) diskuterer hvilke årsager der kan være til forskellig reaktion på droner blandt dyr, og pointerer at reaktionen er afhængig af tidligere erfaringer, samt både skygge, lyd og flyvehøjde. Flyveadfærd og flyvehastighed vil også påvirke hvor meget lyd der kommer fra dronen. Disse resultater er i tråd med erfaringer fra et bachelorprojekt, hvor en lille flok får nemt kunne tilvænnes til en drone i flyvehøjde på 10 meter, mens får, som gik samlet i en større flok, trak væk fra dronen. Fårene vil dog sandsynligvis kunne tilvænnes droneflyvning over tid, da forsøg med at drive får og kvæg med drone har vist, at dyrene efterhånden vænner sig til dronen (Yaxley et al., 2021; Anzai and Kumaishi, 2023). Schad og Fisher (2022) viser også, at alder og reproduktion/laktationsstadiet har betydning for, hvordan dyrene reagerer på en drone, og forfatterne pointerer, at det er vigtigt at forstå hvordan de forskellige teknologier kan påvirke dyrenes reaktion, for at undgå bias i tolkning af data.

Resultater fra pilotafprøvning

For at undersøge om droner kan være et hjælpemiddel til vurdering af hestes huld, blev der gennemført en pilotafprøvning med heste på græs. Hestene var meget opmærksomme på dronen, og der skulle holdes en relativ høj flyvehøjde (20-40 m), for at undgå at skræmme hestene. Det var dog muligt at skaffe gode billeder fra oven og skråt fra siden af heste, som potentielt ville kunne bruges til at vurdere huld. Det var nødvendigt at bruge zoom-funktionen i dronekameraet. Dette gjorde en del af billederne lidt slørede, hvilket kan forbedres med bedre kamera og/eller kameraindstilling og øvelse. Det var også svært at få skarpe billeder af hvide heste. Hestenes huld blev vurderet ved palpering, og lå mellem 2 til 5 på skalaen 1-5 (Fødevestyrelsen, 2023). De tre bedømmere var enige i deres huldvurdering af hestene, med en korrelation på $r=0,9$.

Vi valgte at vente med en eventuel videre vurdering af billederne, da der parallelt blev igangsat et master-projekt med vurdering af huld fra billeder af heste (Hvid, 2023). Projektet tog udgangspunkt i billeder af udegående heste i fuld eller delvis vinterpels og havde til formål at undersøge enigheden blandt grupper af dyrlæger ved huldscore af heste bedømt fra billedmateriale, samt hvorvidt bedømmelse fra billedmateriale afspejler bedømmelse med palpering.

En spørgeundersøgelse blev delt med folk med en kandidatgrad i veterinærmedicin og lagt op i 3 forskellige relevante grupper på Facebook. Spørgeskemaet blev ligeledes fremsendt direkte til medlemmer af en ad-hoc gruppe inde for rewilding/ naturpleje-dyr under Den Danske Dyrlægeforening (DDD), samt Fødevestyrelsens ansatte dyrlæger. Spørgeundersøgelsen bestod i at vurdere huld hos heste ud fra et foto fra siden samt et foto taget direkte bag fra hesten. Et udvalg af hestene var tidligere vurderet ved palpering.

Undersøgelsen blev besvaret af ca. 170 dyrlæger og resultaterne tyder på, at dyrlæger ikke er enige i huldvurdering ud fra billeder, samt at der ikke var overensstemmelse mellem vurdering fra billeder og palpering (foretaget af erfaren dyrlæge; Hvid, 2023).

Der er derfor behov for yderligere validering af huldscore ud fra fotomateriale, før det vil være relevant at benytte dronebilleder som hjælpemiddel ved vurdering af udegående dyrs huld.

7. Diskussion, konklusion og perspektivering (herunder forslag til opfølgende projekter):

Der er udviklet en række tekniske hjælpemidler, som kan bidrage til at måle dyrs velfærd. Disse hjælpemidler kan i grove træk deles ind i to kategorier ud fra, om de er afhængige af at være fæstnet til eller i dyret, eller om de kan bruges på afstand. I naturområder vil man typisk undgå at have udstyr fæstnet på dyret, på grund af de risici der er for skader, samt minimal håndtering af dyrene. Som udgangspunkt skal alle dyr være ID-mærket med øremærke eller chip. For dyr med øremærker er der potentiale for at kombinere aktive RFID øremærker med billeder og video fra droner eller stationære kameraer. Dette vil ikke være muligt med heste, som mærkes med en chip, som typisk skal aflæses på meget kort afstand. Individuel vurdering af heste, via video eller foto, er derfor afhængig af, at de kan identificeres på anden måde.

Dyr, der jævnligt håndteres, eller går i områder hvor der f.eks. kan tilskudsføres, kan monitoreres ved hjælp af flere typer af sensorer. Tabel 1 viser en oversigt over forskellige typer teknologi, som kan være aktuel ved vurdering af udegående dyrs velfærd, hvordan teknologien kan bidrage i en velfærdsvurdering, og hvilke udfordringer der er. Ved at inkludere data fra diverse teknologier i en velfærdsvurdering vil man kunne inkludere historiske data i vurderingen, og dermed få mere information end kun et øjebliksbillede.

Tabel 1. Oversigt over forskellige typer teknologi, som potentielt kan anvendes som hjælpemidler til vurdering af indikatorer med relevans for udegående dyrs velfærd.

Ernæring	Indikator	Udfordringer udendørs	Kilder
Walk-over-weight platforms (WOW)	Vægtændring	Kræver gentagne målinger per dyr, for at kunne estimere dyrets væg og vægtudvikling. Vedligehold og holdbarhed i varierende vejr. Kræver træning af dyrene og høj motivation til at passere vægten.	Brown et al., 2015 González-García et al., 2018 González-García et al., 2021 Segerkvist et al., 2020
Fastmonterede 3D kameraer	Huld	Kræver kort afstand til dyret for at sikre en høj billedopløsning. Sensitive for lys.	Martins et al., 2020 Stephansen et al., 2023
Accelerometer kombineret med tryksensorer (næsebånd, rygrem), RFID,	Vandoptag	Kræver grime, halsbånd, ryg- eller ben-rem, eller injektion af sensor.	Achour et al., 2022 Herlin et al., 2021 Zehner et al., 2017

gyroscopesnsor, magnetometer			Williams et al., 2020 Versluijs et al., 2023
Miljø og Sundhed			
Sensor til måling af hjerterytme og/eller kropstemperatur, indsat under huden, via bolus i vom eller øremærker.	Varmestress og ændring i dyrets fysiologiske tilstand.	Kræver at udstyr fæstnes på dyret, sluges eller injiceres under huden.	Fuchs et al., 2019 Chung et al., 2023
Kamera monteret på halsbånd.	Fødevalg/optag af giftige planter.	Er stadig under udvikling.	Pers. med.
Stationære kameraer eller kamera i droner	Halthed Sår og skader.	Der mangler validerede modeller for vurdering af dyr ude.	Matthews et al., 2017 (Barney et al., 2023)
Accelerometer	Halthed	Kræver at udstyret fæstnes på dyret	Riaboff et al., 2022
Adfærd			
3D Accelerometer kombineret med gyroscopesnsor, magnetometer e.l. og/eller RFID	Adfærd og adfærdsændringer relateret til f.eks. sygdom, mistrivsel eller rovdyrangreb.	Kræver at udstyret fæstnes på dyret, evt via øremærker, sluges eller injiceres under huden.	Chapa et al., 2020 Mao et al., 2023 Riaboff et al., 2022 Versluijs et al., 2023 Williams et al., 2020
Sensor der registrerer kinetisk energi	Kan vise om dyret bevæger sig eller ej, og hvor hurtigt. Kan indikere sygdom eller mistrivsel.	Kræver at udstyr fæstnes på dyret	Blazevic et al., 2022
Billeder og video fra stationære kameraer (infrarødt kamera, vildtkamera, termisk billedkamera, kamera til normalt lys)	Adfærd og adfærdsændringer relateret til sygdom eller mistrivsel. Registrering af brug af ressourcer, samt sociale interaktioner.	Dækker kun mindre områder, og kræver kamera som tåler forskellige vejrforhold og temperaturer. Levering af strøm og vedligehold kan være en udfordring.	Matthews et al., 2017 Harvey et al., 2021
Droner med almindeligt kamera eller infrarødt kamera, evt. kombineret med RTLS	Overvågning af dyr på større arealer. Adfærd og adfærdsændringer	Kostbare og tidskrævende så længe manuel styring er påkrævet.	Anzai and Kumaishi, 2023 Herlin et al., 2021 Torney et al., 2018

inkl. socialt netværk	Kan skabe flugtreaktion. Begrænset batterilevetid/flyvetid.	Ozogány et al., 2023 Schad og Fisher, 2022 Schroeder et al., 2020 Yaxley et al., 2021 Maeda et al., 2021 Los et al., 2023
-----------------------	---	--

I hvilket omfang kan droner være et hjælpemiddel ved vurdering af velfærdsindikatorer?

En vigtig fordel med droner i forhold til håndholdte eller stationære kameraer er, at de kan dække store områder på relativt kort tid. Ulemper er, at de skal flyves manuelt (per i dag), har begrænset batterilevetid, er vejrafhængige, og kan virke forstyrrende for dyr, der skal observeres. Erfaringer viser dog, at dyrene kan tilvænnes dronetrykning ved gentagne flyvninger, men at det kan være sværere ved store flokke end ved små (Andersen, 2022; Schroeder and Panebianco, 2021).

Ved at tilføje muligheden for at læse eller videresende data fra RFID-mærker på dyrene via droner, vil man kunne kombinere information fra RFID fra individuelle dyr med billeder eller video fra dronen. Man vil også lettere kunne identificere dyr der skal tilses, evt. via mærkning fra dronen. Dette er dog afhængig af en drone med god batterikapacitet, da den skal kunne bære en RFID-Repeater (og evt. noget til at mærke dyr med), samtidig med den typisk skal dække store områder. Ud fra litteratur om frygtrespons overfor droner, og særlig ved større flokke, vil det være en fordel med aktive UHF-RFID mærker, som kan læses på større afstand. Batterilevetid og størrelse på RFID-mærket er en udfordring, men udviklingen indenfor både batterikapacitet og øremærker er stor, og solcelledrevne øremærker vil måske være en praktisk mulighed.

Kamera-systemer er brugt til monitorering af dyrs adfærd og velfærd indendørs, og kombineret med dyrs identitet og lokation via UWB RTLS. UWB fungerer på tilsvarende måde som aktiv RFID, ved at en sensor kontinuerligt sender radiofrekvenssignaler som modtages af specifikke modtagere. UWB RTLS sender meget korte signaler, og er mest egnede indendørs eller i mindre zoner. Det bør afprøves om kamerabilleder fra droner kan kobles til dyrs identitet og lokation via tidspunkt for billede og position via UHF-RFID, tilsvarende som indendørs med UWB RTLS.

Resultaterne fra pilot- og masteropgaven viser, at det er svært at vurdere huld visuelt ud fra kun billedmateriale. Det er dog ikke undersøgt om videomateriale vil kunne give et bedre billede af dyrets huld, og dermed en bedre estimering. Reviewet af litteratur og andre projekter viser dog en kraftig udvikling af både droneteknologi og billedbehandling, og nye droner med laser til vurdering af afstand kan potentielt måle konturer på ryg og side af dyret, og dermed bruges til at estimere huld. Teknologi hvor man kombinerer billeder fra både et termisk kamera og almindeligt kamera, samt RFID mærker og evt. laser, vil forbedre muligheden for at bruge droner ved dårligt sigte/mørke, samt identificere dyr som opholder sig i tæt bevoksning. Samtidigt bliver der udviklet modeller via f.eks. Deep learning, for at kunne identificere dyr fra drone-billeder taget under ikke-ideelle miljøforhold, såsom lav belysning, overdreven lysstyrke, sløret eller lav synlighed. En mulighed som også udforskes, er at opfange lyd sammen med billeder fra droner, og udtrække funktioner ved hjælp af audiovisuelle læringsteknikker.

Det er vigtigt at undersøge, hvordan dyrene reagerer på den aktuelle drone, inden man vil registrere adfærd ud fra droneoptagelser, fordi der kan være forskel på hvor lang tid de enkelte dyr og flokke skal have for at tilvænnes droneflyvning, både i forhold til størrelse på dyreflok, dronens størrelse, flyvemønster og flyvehøjde. Dette er særlig aktuelt hvis man er afhængig af at komme tæt på dyrene i dataopsamlingen.

Kan ændring i social afstand til andre individer via billeder og elektroniske øremærker eller GPS-halsbånd indikere sygdom eller mistrivsel?

For at vurdere om ændring i social afstand til andre individer indikerer sygdom eller mistrivsel, er man afhængig af et ret stort datamateriale, både i forhold til antal individer og over tid. Dette for at opnå tilstrækkeligt datagrundlag til at omfatte den naturlige variation i adfærd ud fra vejr, årstid og tilgængelig føde, samt opnå data vedr. sygdom, skade eller mistrivsel som skal danne grundlag for vurderingen. I en igangværende undersøgelse med helårsgræssende heste (Exmoor og Konik) er det observeret, at der er stor forskel i individafstand mellem hesteflokke, særligt i græsningsperioder, hvor hestene i nogle flokke spreder sig over et større areal, mens hestene i andre flokke græsser tættere sammen (pers obs.). Der vil således skulle tages højde for normaladfærden i den enkelte flok samt variation i normaladfærden over forskellige årstider. Nyere undersøgelser har anvendt droneoptagelser til analyse af sociale netværk hos ferale (fritlevende) heste (Maeda et al., 2021; Ozogány et al., 2023). Det er sandsynligt, at lignende metoder på sigt vil kunne anvendes til at identificere ændringer i dyrenes normale bevægelsesadfærd og sociale afstand mellem individer, som kan relateres til sygdom, skader eller mistrivsel.

Udfordringer med teknologiske hjælpemidler

En udfordring ved brug af teknologiske hjælpemidler som droner eller elektroniske sensorer til udegående dyr er batterilevetid eller holdbarhed af andre energikilder. Alternative energikilder til batteri er under udvikling, som solcelledrevne batterier og at omgøre kinetisk energi fra dyrets bevægelse til elektrisk energi (Tzanidakis et al., 2023). Samtidig er det vigtigt at holde energiforbruget til modtage- og sendefrekvens til og fra sensorer nede på et minimum. Dette er en af årsagerne til, at f.eks. NoFence halsbånd ikke sender positionsdata, hvis ikke der registreres aktivitet i en periode. Siegford (2023) nævner, at der er flere udfordringer i forhold til teknologi til at registrere adfærd, da det er et relativt ungt forskningsområde og et lille marked. Teknologien er derfor ikke kommercielt tilgængelig. Der vil altid være en vis risiko knyttet til teknisk funktion af digitale teknologier, opkobling og energi, samt evne til at opfange vigtige udtryk for dyrevelfærd. Det vil derfor kun være et supplement til manuel vurdering af dyrenes velfærd, for at inkludere nye indikatorer, og skaffe objektive data for en mere korrekt vurdering af velfærdsindikatorer. Det er også en udfordring, hvis der skal fastsættes noget på dyrene, fordi det kræver indfangning og håndtering. Der er også en risiko for, at udstyr som GPS-halsbånd mv kan sætte sig fast i vegetation e.l. eller give sår på dyret. Ukorrekt flyvning af droner over dyr kan også forårsage stress hos dyrene.

Konklusion og perspektiver

Den teknologiske udvikling er stor indenfor det såkaldte præcisionslandbrug (PLF), og der vil sandsynligvis komme flere kommercielle produkter på markedet til overvågning af dyr, som vil kunne bruges i en velfærdsvurdering af udegående dyr. Det er vigtigt, at de aktuelle produkter bliver valideret i forhold til den indikator de forventes at måle, og under de forhold, de skal bruges. Sensorer med accelerometer, i kombination med teknologi som måler orientering og vinkler, er godt udviklet, og der findes aktuelle kommercielle produkter på markedet, som kan bruges på dyr. Der findes endvidere en række teknologier, som måler hjerterytme og/eller kropstemperatur via sensorer under huden, bolus i vom eller via øremærker. Det kræver dog at noget fæstnes på dyret, sluges eller injiceres under huden. For at indhente information på lang afstand vil der skulle anvendes halsbånd eller øremærker. Walk-over-weight platforms (WOW) vil kun være aktuelt på afgrænsningsområder, hvor dyrene har en naturlig passage, eller et område hvor de gerne må gå regelmæssigt, f.eks. i forbindelse med tilskudsfodring. Dette vil ikke være aktuelt på store naturområder, hvor det er vigtigt, at dyrene bruger hele arealet, og der ikke tilskudsfodres.

Det vil være muligt at identificere enkeltdyr via optagelser fra dronflyvning, og en kombination af forskellige typer kamera. Radiofrekvens identifikationstags og evt. laser vil også kunne anvendes til at identificere dyr under dårlige lysforhold. Det vil dermed også være muligt at observere adfærd på enkeltdyr via droner, men der findes endnu ikke validerede systemer til automatisk registrering af adfærd fra videooptagelser. Det er mere usikkert om droner kan bruges til at vurdere dyrs huld. Det bør derfor undersøges, om billeder fra drone kombineret med laser vil kunne måle konturer på ryg og side af dyret, og dermed bruges til at estimere huld.

For at vurdere om ændringer i bevægelsesadfærd og social afstand til andre individer kan anvendes til at indikere sygdom eller mistrivsel, er man afhængig af et ret stort datamateriale, til at omfatte den naturlige variation i adfærd ud fra vejr, årstid og tilgængelig føde. Man er også afhængig af manuelle registreringer (tidspunkt, type) for eventuel sygdom eller skade, som kan bruges som grundlag i de automatiske registreringer. Dersom ændring i social afstand indikerer sygdom eller mistrivsel, vil man kunne udvikle deep learning algoritmer, som kan varsle ændringer i normal bevægelsesadfærd og social afstand.

8. Populærvidenskabeligt dansk resumé (max 500 ord):

Får, kvæg og heste er en vigtig del af naturplejen af arealer med høj naturværdi, samt for at forhindre tilgroning af arealer, f.eks. i solcelleparker. I henhold til gældende lovgivning skal dyrene tilses dagligt (heste) eller jævnligt (får og kvæg). Det kan imidlertid være svært at komme tæt på dyrene, hvis de går på store områder, eller i områder hvor de er svære at se (f.eks. solcelleparker eller områder med tæt bevoksning). Det kan i nogle tilfælde være hensigtsmæssigt at gennemføre regelmæssige velfærdsvurderinger, og der er udviklet en række velfærdsvurderingssystemer med protokoller, som dog typisk kræver manuel registrering med kort afstand til dyrene. Den teknologiske udvikling kan give mulighed for anvendelse af nye indikatorer, som tidligere ikke har været praktisk anvendelige. Denne rapport giver en oversigt over hvilke tekniske hjælpemidler, som kan være et supplement til manuel registrering af dyr på græs ved velfærdsvurdering.

Der er udviklet en række tekniske hjælpemidler, som kan bidrage til at måle dyrs sundhed, ernæringstilstand og adfærd. De aktuelle hjælpemidler kan deles ind i to kategorier, ud fra om de

skal fæstnes til eller i dyret eller ej. Sensorer, som måler hjerterytme og/eller kropstemperatur under huden, via bolus i vom eller via øremærker, samt sensorer med 3D-accelerometer, evt. i kombination med anden teknologi, er godt udviklet, og der findes kommercielle produkter på markedet, som kan bruges på dyr. Det kræver dog, at udstyret fæstnes på dyret, sluges eller injiceres under huden. For at indhente information på lang afstand, vil man skulle påsætte halsbånd eller øremærke – sidstnævnte er dog ikke aktuelt for heste, da øremærker ikke anvendes. Automatiske vægtplatforme kan bidrage med data på afgræsningsområder, hvor dyrene har en naturlig passage, eller et område hvor de gerne må gå regelmæssigt, og hvor de kan motiveres til at gå igennem vægten. Dette vil ikke være aktuelt på store naturområder, hvor det er vigtigt, at dyrene bruger hele arealet, og hvor der ikke tilskudsføres.

Brug af billeder fra dronflyvning, enten med almindeligt kamera eller kamera med infrarødt lys, kombineret med Real-Time-Location-Systems (RTLS) og evt. laser har potentiale til at kunne identificere dyr under dårlige lysforhold samt identificere adfærd og adfærdsændringer, og evt. huld. Der findes dog ingen validerede automatiske systemer til registrering af adfærd i dag. For at vurdere om ændring i social afstand til andre individer indikerer sygdom eller mistrivsel, er man afhængig af et ret stort datamateriale, både i forhold til antal individer og over tid. Dette for at opnå tilstrækkeligt datagrundlag til at omfatte den naturlige variation i adfærd ud fra vejr, årstid og tilgængelig føde, som skal kombineres med manuelt indhentet data vedr. sygdom, skade eller mistrivsel.

Teknologiske produkter til registrering af velfærdsindikatorer vil kun være et supplement til manuel vurdering af dyrene, da teknologien kun måler enkelte indikatorer. Fordelen ved kombinationen med teknologiske hjælpemidler er, at de vil kunne indsamle objektivt data, samt potentielt øge muligheden for at inkludere indikatorer, som ikke kan inkluderes ved manuel registrering.

9. Populærvidenskabeligt engelsk resumé (max 500 ord):

Sheep, cattle and horses are important for nature conservation and to prevent overgrowth of areas, e.g. in solar parks. According to current legislation, animals must be inspected daily (horses) or regularly (sheep and cattle). However, it can be difficult to get close to the animals if they roam in large areas, or in areas where they are difficult to see. In some cases, it may be appropriate to carry out regular welfare assessments, and several protocols have been developed, which, however, typically require manual registration with a short distance to the animals. Technological developments may allow the use of new indicators that have not been practicable in the past. This report provides an overview of technical equipment that can be a supplement to manual registration of grazing animals during welfare assessment.

Technical equipment has been developed for measuring animal health, nutritional status and behaviour. The current equipment can be divided into two categories, depending on whether it should be attached to or in the animal, or not. Sensors that measure heart rate and/or body temperature under the skin, via a bolus or ear tags, as well as sensors with 3D-accelerometer, possibly in combination with other technologies, are well developed, and there are commercial products on the market that can be used on animals. However, this requires that the equipment is attached to the animal, swallowed, or injected under the skin. To obtain information from afar, it is necessary to attach a collar or ear tag – however, the latter is not relevant for horses, as ear

tags are not used. Automatic weight platforms can be useful in areas where the animals have a natural passage, or an area where they are allowed to walk regularly and can be motivated to pass the platform. This will not be the case in large nature areas where it is important that the animals use the entire area and where there is no supplementary feeding.

The use of images from drone flights, either with ordinary camera or camera with infrared light, combined with Real-Time-Location-Systems (RTLS) and possibly laser has the potential to identify animals in poor lighting conditions, identify behaviour and behavioural changes, and possibly the animals' body condition. However, there are currently no validated automated systems for recording behaviour. To assess whether changes in social distancing from other individuals may indicate welfare problems, a large amount of data is needed, both in relation to the number of individuals and over time. This is to obtain sufficient data to include the natural variation in behaviour based on weather, season, and available food, which must be combined with manually collected data on illness, injury, or malaise.

Technological products for animal welfare assessment will only supplement manual assessment, as the technology measures only a few indicators. The advantage of including technology is to collect objective data, as well as potentially increase the possibility of including indicators that cannot be included in manual registrations.

10. Redegørelse for hvordan projektet og projektets resultater har været eller forventes offentliggjort:

Resultaterne forventes at blive publiceret i en DCA-rapport.

Referencer

- Andersen, C. S. 2022. Dyrevelfærdsvurdering hos får ved hjælp af droner. Bachelorprojekt i Agrobiologi, Aarhus universitet. 37 s.
- Achour, B., Belkadi, M., Saddaoui, R., Filali, I., Aoudjit, R., Laghrouche, M., 2022. High-accuracy and energy-efficient wearable device for dairy cows' localization and activity detection using low-cost IMU/RFID sensors. *Microsystem Technologies-Micro-and Nanosystems-Information Storage and Processing Systems* 28, 1241-1251.
- Alon, A., Shimshoni, I., Godo, A., Berenstein, R., Lepar, J., Bergman, N., Halachmi, I., 2023. Machine vision-based automatic lamb identification and drinking activity in a commercial farm. *Animal* 17.
- Anzai, H., Kumaishi, M., 2023. Effects of continuous drone herding on behavioral response and spatial distribution of grazing cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 268.
- Barney, S., Dlay, S., Crowe, A., Kyriazakis, I., Leach, M., 2023. Deep learning pose estimation for multi-cattle lameness detection. *Scientific Reports* 13.
- Berckmans, D., 2017. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers* 7, 6-11.
- Blazevic, D., Philip, S., Ruuskanen, J., Dizdarevic, J., Niiranen, R., Rasilo, P., Jukan, A., 2022. A farm animal kinetic energy harvesting device for IoT applications, *Conference on Energy Harvesting and Storage - Materials, Devices, and Applications XII, Electr Network*.
- Brandt, E. H. 2023. Survival of the Fattest, A new method of large herbivore health observation using drone technology and aerial photogrammetry. MSc thesis, Department of biology, Aarhus University. 72 p.

- Brown, D.J., Savage, D.B., Hinch, G.N., Hatcher, S., 2015. Monitoring liveweight in sheep is a valuable management strategy: a review of available technologies. *Animal Production Science* 55, 427-436.
- Caja, G., Carné, S., Salama, A.A.K., Ait-Saidi, A., Rojas-Olivares, M.A., Rovai, M., Capote, J., Castro, N., Argüello, A., Ayadi, M., Aljumaah, R., Alshaikh, M.A., 2014. State-of-the-art of electronic identification techniques and applications in goats. *Small Ruminant Research* 121, 42-50.
- Caja, G., Castro-Costa, A., Salama, A.A.K., Oliver, J., Baratta, M., Ferrer, C., Knight, C.H., 2020. Sensing solutions for improving the performance, health and wellbeing of small ruminants. *Journal of Dairy Research* 87, 34-46.
- Carné, S., Gipson, T.A., Rovai, M., Merkel, R.C., Caja, G., 2009. Extended field test on the use of visual ear tags and electronic boluses for the identification of different goat breeds in the United States. *J. Anim. Sci.* 87, 2419-2427.
- Chapa, J.M., Maschat, K., Iwersen, M., Baumgartner, J., Drillich, M., 2020. Accelerometer systems as tools for health and welfare assessment in cattle and pigs – A review. *Behavioural Processes* 181, 104262.
- Christensen, J. W., Herskin, M. S., Sandøe, P. 2023. Rewilding: Er et naturligt liv lig med god dyrevelfærd? Videnskab.dk. <https://videnskab.dk/naturvidenskab/rewilding-er-et-naturligt-liv-lig-med-god-dyrevelfaerd/> (Set 10.01.2024)
- Christiansen, F., Sironi, M., Moore, M.J., Di Martino, M., Ricciardi, M., Warick, H.A., Irschick, D.J., Gutierrez, R., Uhart, M.M., 2019. Estimating body mass of free-living whales using aerial photogrammetry and 3D volumetrics. *Methods in Ecology and Evolution* 10, 2034-2044.
- Chung, H., Vu, H., Kim, Y., Choi, C.Y., 2023. Subcutaneous temperature monitoring through ear tag for heat stress detection in dairy cows. *Biosyst. Eng.* 235, 202-214.
- Fraser, D., 2003. Assessing animal welfare at the farm and group level: The interplay of science and values. *Animal Welfare* 12, 433-443.
- Freed, T., Carson, V.C., Doerr, K.H., 2020. Optimizing a RFID-UAV cattle search tour. *International Journal of Rf Technologies-Research and Applications* 11, 127-141.
- Fuchs, B., Sorheim, K.M., Chincarini, M., Brunberg, E., Stubbsjoen, S.M., Bratbergsengen, K., Hvasshovd, S.O., Zimmermann, B., Lande, U.S., Grova, L., 2019. Heart rate sensor validation and seasonal and diurnal variation of body temperature and heart rate in domestic sheep. *Veterinary and Animal Science* 8.
- Fødevarestyrelsen, 2023. Vejledning om velfærdskontrol i hestehold. www.fvst.dk. 38 s.
- González-García, E., Alhamada, M., Nascimento, H., Portes, D., Bonnafe, G., Allain, C., Llach, I., Hassoun, P., Gautier, J.M., Parisot, S., 2021. Measuring liveweight changes in lactating dairy ewes with an automated walk-over-weighing system. *Journal of Dairy Science* 104, 5675-5688.
- González-García, E., Alhamada, M., Pradel, J., Douls, S., Parisot, S., Bocquier, F., Menassol, J.B., Llach, I., González, L.A., 2018. A mobile and automated walk-over-weighing system for a close and remote monitoring of liveweight in sheep. *Computers and Electronics in Agriculture* 153, 226-238.
- Guzhva, O., Ardö, H., Herlin, A., Nilsson, M., Aström, K., Bergsten, C., 2016. Feasibility study for the implementation of an automatic system for the detection of social interactions in the waiting area of automatic milking stations by using a video surveillance system. *Computers and Electronics in Agriculture* 127, 506-509.
- Harvey, A.M., Beausoleil, N.J., Ramp, D., Mellor, D.J., 2020. A Ten-Stage Protocol for Assessing the Welfare of Individual Non-Captive Wild Animals: Free-Roaming Horses (*Equus Ferus Caballus*) as an Example. *Animals* 10.
- Harvey, A.M., Morton, J.M., Mellor, D.J., Russell, V., Chapple, R.S., Ramp, D., 2021. Use of Remote Camera Traps to Evaluate Animal-Based Welfare Indicators in Individual Free-Roaming Wild Horses. *Animals* 11.

- Henneke, D.R., Potter, G.D., Kreider, J.L., Yeates, B.F., 1983. RELATIONSHIP BETWEEN CONDITION SCORE, PHYSICAL MEASUREMENTS AND BODY-FAT PERCENTAGE IN MARES. *Equine Veterinary Journal* 15, 371-372.
- Henriksen, B.I.F., Christensen, J.W., Jensen, M.B., Thomsen, P.T., Sørensen, J.T. 2022. Systemer af relevans for vurdering af dyrevelfærden hos store græssere i de kommende naturnationalparker – vidensyntese. 24 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 30. juni 2022.
- Hentz, F., Umstätter, C., Gilaverte, S., Prado, O.R., Silva, C.J.A., Monteiro, A.L.G., 2014. Electronic bolus design impacts on administration. *J. Anim. Sci.* 92, 2686-2692.
- Herlin, A., Brunberg, E., Hultgren, J., Högberg, N., Rydberg, A., Skarin, A., 2021. Animal Welfare Implications of Digital Tools for Monitoring and Management of Cattle and Sheep on Pasture. *Animals* 11, 829.
- Högberg, N., Hessle, A., Lidfors, L., Enweji, N., Höglund, J., 2021. Nematode parasitism affects lying time and overall activity patterns in lambs following pasture exposure around weaning. *Veterinary Parasitology* 296.
- Hvid, J. 2023. Huldscore på fritgående heste vurderet via billeder. MSc-rapport. Aarhus universitet.
- Islam, S.M.M., Grado, C., Lubecke, V., Lubecke, L.C., 2020. UAV Radar Sensing of Respiratory Variations for COVID-Type Disorders, *IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Electr Network*, pp. 737-739.
- Kandemir, Ç., Baytöre, C., Taskin, T., Kosum, N., Tekin, B.A., 2023. Performance evaluation of leg and ear numbers in radio frequency identification systems (RFID) in sensitive livestock products in goat breeding. *Ciencia Rural* 53.
- Krishnan, B.S., Jones, L.R., Elmore, J.A., Samiappan, S., Evans, K.O., Pfeiffer, M.B., Blackwell, B.F., Iglay, R.B., 2023. Fusion of visible and thermal images improves automated detection and classification of animals for drone surveys. *Scientific Reports* 13.
- Los, S., Mücher, C.A., Kramer, H., Franke, G.J., Kamphuis, C., 2023. Estimating body dimensions and weight of cattle on pasture with 3D models from UAV imagery. *Smart Agricultural Technology* 4.
- Maeda, T., Ochi, S., Ringhofer, M., Sosa, S., Sueur, C., Hirata, S., Yamamoto, S., 2021. Aerial drone observations identified a multilevel society in feral horses. *Scientific Reports* 11.
- Mao, A.X., Huang, E.D., Wang, X.S., Liu, K., 2023. Deep learning-based animal activity recognition with wearable sensors: Overview, challenges, and future directions. *Computers and Electronics in Agriculture* 211.
- Martins, B.M., Mendes, A.L.C., Silva, L.F., Moreira, T.R., Costa, J.H.C., Rotta, P.P., Chizzotti, M.L., Marcondes, M.I., 2020. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. *Livestock Science* 236, 104054.
- Matthews, S.G., Miller, A.L., Plotz, T., Kyriazakis, I., 2017. Automated tracking to measure behavioural changes in pigs for health and welfare monitoring. *Scientific Reports* 7.
- Mellor, D.J., 2017. Operational Details of the Five Domains Model and Its Key Applications to the Assessment and Management of Animal Welfare. *Animals* 7.
- Mücher, C.A., Los, S., Franke, G.J., Kamphuis, C., 2022. Detection, identification and posture recognition of cattle with satellites, aerial photography and UAVs using deep learning techniques. *International Journal of Remote Sensing* 43, 2377-2392.
- Naturstyrelsen, 2023. Hestene i Husby får kamera på. www.naturstyrelsen.dk, 07.07.2023.
- O'Leary, N.W., Byrne, D.T., O'Connor, A.H., Shalloo, L., 2020. *<i>Invited review</i>*: Cattle lameness detection with accelerometers. *Journal of Dairy Science* 103, 3895-3911.
- Odo, A., Muns, R., Boyle, L., Kyriazakis, I., 2023. Video Analysis Using Deep Learning for Automated Quantification of Ear Biting in Pigs. *Ieee Access* 11, 59744-59757.

- Olson, S. 2022. Drones on the Farm: Tracking Livestock with RFID Equipped UAVs. RFID Journal Live, May 17 – 19, 2022. Mandalay Bay, Las Vegas, NV. <https://www.rfidjournal.com/rfid-video/drones-on-the-farm-tracking-livestock-with-rfid-equipped-uavs> (set 02.01.2024)
- Ozogány, K., Kerekes, V., Fülöp, A., Barta, Z., Nagy, M., 2023. Fine-scale collective movements reveal present, past and future dynamics of a multilevel society in Przewalski's horses. *Nature Communications* 14.
- Porto, S.M.C., Arcidiacono, C., Giummarra, A., Anguzza, U., Cascone, G., 2014. Localisation and identification performances of a real-time location system based on ultra wide band technology for monitoring and tracking dairy cow behaviour in a semi-open free-stall barn. *Computers and Electronics in Agriculture* 108, 221-229.
- Riaboff, L., Shaloo, L., Smeaton, A.F., Couvreur, S., Madouasse, A., Keane, M.T., 2022. Predicting livestock behaviour using accelerometers: A systematic review of processing techniques for ruminant behaviour prediction from raw accelerometer data. *Computers and Electronics in Agriculture* 192, 106610.
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., Robla, J.I., 2009. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors* 9, 4728-4750.
- Schad, L., Fischer, J., 2023. Opportunities and risks in the use of drones for studying animal behaviour. *Methods in Ecology and Evolution* 14, 1864-1872.
- Schroeder, N.M., Panebianco, A., 2021. Sociability strongly affects the behavioural responses of wild guanacos to drones. *Scientific Reports* 11.
- Schroeder, N.M., Panebianco, A., Musso, R.G., Carmanchahi, P., 2020. An experimental approach to evaluate the potential of drones in terrestrial mammal research: a gregarious ungulate as a study model. *Royal Society Open Science* 7.
- Segerkvist, K.A., Hoglund, J., Osterlund, H., Wik, C., Hogberg, N., Hesse, A., 2020. Automatic weighing as an animal health monitoring tool on pasture. *Livestock Science* 240.
- Stokovic, I., Susic, V., Karadjole, I., Kabalin, A.E., Mikulec, Z., Kostelic, A., 2009. Problems with readings of electronic tagged sheep in dairy flocks. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 157-159.
- Stygar, A.H., Frondelius, L., Berteselli, G.V., Gómez, Y., Canali, E., Niemi, J.K., Llonch, P., Pastell, M., 2023. Measuring dairy cow welfare with real-time sensor-based data and farm records: a concept study. *Animal* 17.
- Sørensen, J.T., Sandøe, P., 2001. Assessment of animal welfare at farm or group level. *Acta Agric. Scand., Section A, Animal Sci.* 30, 134-134.
- Terrasson, G., Llaría, A., Marra, A., Voaden, S., Iop, 2015. Accelerometer based solution for precision livestock farming: geolocation enhancement and animal activity identification, 2nd International Congress of Mechanical Engineering and Agricultural Science (CIIMCA), Univ Pontificia Bolivariana Bucaramanga, Floridablanca, COLOMBIA.
- Torney, C.J., Lamont, M., Debell, L., Angohiatok, R.J., Leclerc, L.M., Berdahl, A.M., 2018. Inferring the rules of social interaction in migrating caribou. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 373.
- Tzanidakis, C., Tzamaloukas, O., Simitzis, P., Panagakis, P., 2023. Precision Livestock Farming Applications (PLF) for Grazing Animals. *Agriculture-Basel* 13.
- Versluijs, E., Niccolai, L.J., Spedener, M., Zimmermann, B., Hesse, A., Tofastrud, M., Devineau, O., Evans, A.L., 2023. Classification of behaviors of free-ranging cattle using accelerometry signatures collected by virtual fence collars. *Frontiers in Animal Science* 4.
- Voulodimos, A.S., Patrikakis, C.Z., Sideridis, A.B., Ntafis, V.A., Xylouri, E.M., 2010. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. *Computers and Electronics in Agriculture* 70, 380-388.
- Webb, P., Mehlhorn, S., Smartt, P., 2017. Developing Protocols for Using a UAV to Monitor Herd Health. ASABE Annual International Meeting, Paper No. 1700865, pages 1-7 (doi: 10.13031/aim.201700865). St. Joseph, Mich.: ASABE.

- Williams, L.R., Moore, S.T., Bishop-Hurley, G.J., Swain, D.L., 2020. A sensor-based solution to monitor grazing cattle drinking behaviour and water intake. *Computers and Electronics in Agriculture* 168.
- Yaxley, K.J., Joiner, K.F., Abbass, H., 2021. Drone approach parameters leading to lower stress sheep flocking and movement: sky shepherding. *Scientific Reports* 11.
- Yousefi, D.B.M., Rafie, A.S.M., Al-Haddad, S.A.R., Azrad, S., 2022. A Systematic Literature Review on the Use of Deep Learning in Precision Livestock Detection and Localization Using Unmanned Aerial Vehicles. *Ieee Access* 10, 80071-80091.
- Zehner, N., Umstätter, C., Niederhauser, J.J., Schick, M., 2017. System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 136, 31-41.
- Zielke, L., Wrage-Mönnig, N., Müller, J., 2018. Development and Assessment of a Body Condition Score Scheme for European Bison (*Bison bonasus*). *Animals* 8.