

# Gennemgang af bioakustiske værktøjs potentiale til at vurdere landbrugsdyrs sundhed og velfærd

---

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Mathilde Coutant

Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab

# Datablad

---

Titel:	Gennemgang af bioakustiske værktøjers potentiale til at vurdere landbrugsdyrs sundhed og velfærd
Forfatter:	Postdoc Mathilde Coutant, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU
Fagfællebedømmelse:	Seniorforsker Jens Malmkvist, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Akademisk medarbejder Leslie Freya Hoeft, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Fødevarestyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Dato for bestilling/levering:	09.02.2023/ 22.12.2023
Journalnummer:	2023-0492158
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. 2.33 i "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2023-2026".
Ekstern kommentering:	Nej
Eksterne bidrag:	Rapporten er skrevet uden eksterne bidrag.
Kommentarer til besvarelse:	<p>Besvarelsen er udarbejdet som del af et ViD-projekt underlagt styregruppen for Videncenter for Dyrevelfærd. Den var oprindelig målrettet grise, men er blevet udvidet til også at inkludere andre husdyr.</p> <p>Besvarelsen består af et dansk sammendrag (dette notat) og et Manuskript til en artikel til et videnskabeligt tidsskrift (Bilag 1). Manuskriptet er vedhæftet denne levering, men må ikke offentliggøres.</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:	Coutant M. 2023. Gennemgang af bioakustiske værktøjers potentiale til at vurdere landbrugsdyrs sundhed og velfærd. 14 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 22.12.2023.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>

# Skema til afrapportering af ViD-projekter

Videncenter for Dyrevelfærd

## 1. Projekttitle:

Gennemgang af bioakustiske værktøjers potentiale til at vurdere landbrugsdyrs sundhed og velfærd

## 2. Projektstart og afslutning:

09/02/2023 – 22/12/2023

## 3. Projektleder og projektdeltagere

Postdoc Mathilde Coutant

Blichers Alle 20, 8830 Tjele

Tlf. +45 8715 0000

[mathilde.coutant@anivet.au.dk](mailto:mathilde.coutant@anivet.au.dk)

## 4. Baggrund for projektet

Vurdering og overvågning af dyrs sundhed og velfærd er en essentiel del af håndteringen af husdyr. Mens traditionelle metoder til overvågning af disse parametre er baseret på visuelle observationer og kliniske undersøgelser, har behovet for ikke-invasive automatiserede metoder til at overvåge store grupper af dyr i de seneste år skabt interesse for nye teknikker, bl.a. indenfor bioakustik. Bioakustik er et tværfagligt område, der involverer studiet af dyrekommunikation (produktion, transmission og opfattelse) og brugen af dyreløyd som indikatorer.

Lydbaserede indikatorer (og sensorer som opfatter disse) har den fordel, at de kan være en ikke-invasiv, omkostningseffektiv og pålidelig alternativ metode til overvågning af husdyr. Elementer af dyrs sundhed, adfærd og dermed velfærd kan registreres eksternt, kontinuerligt og automatisk, hvilket kan bidrage til realtidsinformation om dyrenes tilstand (Manteuffel et al., 2004). Derudover har bioakustiske analyser, ligesom andre værktøjer inden for præcisionshusdyrbrug, potentiale til at reducere veterinære omkostninger og forbedre dyrevelfærden ved at opdage tidlige tegn på sygdom eller skader (Banhazi & Black, 2009).

Bioakustikkens område har udviklet sig markant i de seneste årtier, især gennem udviklingen af maskinlæring. Den hurtige udvikling kan dog samtidig have den konsekvens, at forskere og industri har svært ved at følge med, og derfor ikke fuldt anerkender og gør brug af disse værktøjers potentiale ifm. vurdering af dyrevelfærd (McLoughlin et al., 2019).

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

Ved gennemgang af den nuværende litteratur bestræber dette projekt sig på at give et overblik over de forskellige aspekter af husdyrs velfærd, som kan registreres ved hjælp af vokalanalyser, med særligt fokus på de fysiologiske, sundhedsmæssige, adfærds- og affektive indikatorer.

Den inkluderede litteratur blev indsamlet ved hjælp af søgemaskiner som Google Scholar og Web of Science ved brug af følgende nøgleord (i det følgende oversat fra engelsk): bioakustik; vokaliseringer; kald; husdyrnavne på engelsk og latin (inklusive gris, pattegrise, so, ko, kalv, tyr, kylling, slagtekylling, høns, ged, får); lydtektion; lydklassifikation. Der blev lagt vægt på artikler offentliggjort efter 2010, med undtagelse givet til studier, der illustrerer et aspekt af vokalanalyse, som ikke nyligt er blevet undersøgt.

## **6. Oversigt over projektets samlede resultater:**

Gennemgangen af projektets resultater (reviewet) er struktureret efter typen af den undersøgte indikator: (1) 'statisk information' indeholder dyrets fysiske karakteristika og (2) 'dynamisk information', der vedrører dyrets tilstand på et bestemt øjeblik (sundhed, adfærd og følelsesmæssig tilstand). Inden for hvert aspekt drøftes forskellige elementer, f.eks. infektioner, reproduktiv status eller alder, med eksempler fra en eller flere arter.

### **1. Statisk information**

Dyrenes fysiske egenskaber påvirker strukturen og størrelsen af stemmeorganerne samt vokalproduktionen og dermed de resulterende akustiktræk. Akustiske parametre kan derfor muliggøre påvisning af fysiske egenskaber, der almindeligvis har værdi for landmænd, selv når denne vurdering ikke er ligetil (f.eks. grisevægt, kyllingekøn). Denne detektering ved hjælp af vokale indikatorer ville fjerne behovet for stressende, gentagne håndtering af dyr, såsom vejning. Hermed både forbedres dyrenes velfærd og reduceres arbejdsbyrden for passeren.

#### **1.1. Køn**

Vokale parametre har eksempelvis været anvendt til påvisning af kyllingers køn. Ved hjælp af maskinlæring har forskere skabt en algoritme, der er i stand til at klassificere kønnet på 240 kyllinger med en nøjagtighed tæt på 90 % (Cuan et al. 2022). Selvom metoden er lovende, kræver den dog, at kyllingerne placeres individuelt i en boks for at indsamle vokaliseringer, hvilket kræver tid, bemanding og skaber formentlig et vist niveau af stress hos dyrene. Udover kyllinger har undersøgelser vist en forskel i akustiske parametre blandt hanner og hunner hos grise (Cordeiro et al., 2018) og gedekid (Briefer & McElligott, 2011), men ingen metode til automatisk at klassificere disse arters køn er udviklet endnu.

## 1.2. Alder

Fjerndetektering af et dyrs alder kan også være interessant, for eksempel i tilfælde af stor-skala eller intensiv produktion. Hyppigheden af kyllingekald har vist sig at være omvendt proportional med deres alder (Fontana et al., 2015), mens markører for kalvealder blev påvist hos fritgående individer (Padilla de la Torre et al., 2015). Tilsvarende kan specifikke akustiske parametre være et pålideligt estimat for pattegrisealderen (Cordeiro et al., 2018). Det er vigtigt at notere, at selvom disse undersøgelser fremhæver, at vokaliseringer kan bruges som et værktøj til at bestemme alderen på de fleste husdyr, er der endnu ikke oprettet sensorbaserede metoder til automatisk aldersdetektering for disse arter.

## 1.3. Kropsvægt og vækst

Automatisk og fjernovervågning af kropsvægt og tilhørende vækstmønstre har potentialet til at lette landmændenes arbejde indenfor forskellige typer af husdyrproduktion, give realtids information om flokkens status og fjerne behovet for stressende og tidskrævende vejningssessioner. Undersøgelser har vist en negativ sammenhæng mellem kropsvægt og akustiske parametre hos kyllinger, hvilket førte til udviklingen af en model til at forudsige vægten af en flok kyllinger opstaldet på en kommerciel slagtekyllingefarm. Denne model viste lovende resultater for at overvåge store grupper af slagtekyllinger (Fontana et al., 2015, 2017). Nyligt arbejde viste også, at parametre i tidlige nødkald hos kyllinger kunne forudsige både nuværende og fremtidig lav vægtøgning og dødelighed, hvorved denne indikator blev fremhævet som en lovende måde at måle kyllingers velfærd på (Herborn et al. 2020). Hos grise er brugen af akustiske signaler til vægtmåling fortsat kun i ringe grad undersøgt, selvom en undersøgelse viste, at gryntfrekvensen kunne være en relevant indikator for kropstørrelse (Garcia et al., 2016).

## 1.4. Individualitet

Det er værd at notere, at individuel identitet kan påvises i vokaliseringer af mange arter, hvilket potentielt muliggør en mere individuel overvågning og mere skræddersyet pleje af dyrene. Modeller baseret på analyse af specifikke akustiske egenskaber har været i stand til at klassificere vokaliseringer efter det individ, der producerede dem for eksempel hos gedekid (Favaro et al., 2014), moderfår og lam (Laliotis et al., 2023) samt køer og kalve (Green et al., 2019). Selvom vokal individualitet ikke er blevet undersøgt i detaljer hos grise, har tidlig forskning ligeledes vist tegn på individuelle markører i vokaliseringer af søer under diegivning (Blackshaw et al., 1996). Individualiteten af dyrevokaliseringer indebærer, at selvom vokal overvågning af husdyr sandsynligvis vil blive anvendt på besætningsniveau i praksis, kan information vedrørende sundhed, velfærd eller adfærd potentielt yderligere kortlægges på individuelt niveau, hvilket gør det muligt at identificere f.eks. syge dyr i en gruppe. Ikke desto mindre, selvom

specifikke modeller i teorien kunne skelne mellem forskellige individer, ville modellerne stadig skulle læres, hvilke vokaliseringer der tilhører hvilket specifikt individ. Hvert dyr ville derfor skulle isoleres og deres vokaliseringer registreres - en metode, der forbliver teoretisk og indtil videre er urealistisk at implementere på en gård.

## 2. Dynamisk information

### 2.1. Sundhed

Fordi luftvejssygdomme, infektioner og andre sundhedsrelaterede lidelser påvirker luftvejssystemets funktion, kan deres forekomst påvises i dyrs vokaliseringer. Denne påvisning kunne mindske behovet for sandsynlig belastende fysisk evaluering af dyrene, samtidig med at det muliggør en mere målrettet og potentielt tidligere start af intervention såsom behandling.

Hoste, et af de kliniske symptomer på Bovin Respiratory Disease (BRD), er blevet registreret automatisk i grupper af kalve i bedriften (Carpentier et al., 2018; Vandermeulen et al., 2016). Undersøgelserne viste, at i 80 % af tilfældene var der sammenfald mellem stigning i hoste, som kunne påvises via algoritmen, og udviklingen af BRD, hvilket indikerer, at denne type overvågning har potentialet til at identificere tidlig forekomst af BRD hos kalve. Ikke desto mindre kræves yderligere forbedring for at opnå en tilfredsstillende detektion.

Flere undersøgelser har fokuseret på at udvikle automatisk detektion af klinisk hoste hos grise på staldniveau. Allerede i 2008 blev der udviklet en algoritme til realtidsdetektion af sygdomsrelaterede hostelyde i grupper af grise (Exadaktylos et al., 2008). En opfølgende undersøgelse, der undersøgte de samme mønstre under feltforhold, opnåede 85 % nøjagtighed i detektionen af hostelyde (Guarino et al., 2008). Samme år blev der produceret en algoritme til at detektere gentagen hoste og lokalisere den i stalden med det formål at identificere farezoner og begrænse de medicinske indgreb til enkelte stier frem for hele stalden (Silva et al., 2008). Fem år senere blev SoundTalks-systemet til overvågning af svinehoste kommercielt lanceret, og det er siden da blevet implementeret i over 20 lande (Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, 2022; Vandermeulen et al., 2013).

Andre sygdomme kan registreres i svinevokaliseringer. Postweaning Multisystemic Wasting Syndrome (PMWS), også kaldet pig wasting disease, er automatisk blevet opdaget ved hjælp af en maskinlæringsbaseret algoritme (Lee et al. 2015). For nylig har forskere udviklet et 'lydbaseret anomali-detektionssystem', der er i stand til automatisk at detektere grisevokalisering og klassificere den som normal grynten, sund hoste, tegn på Mycoplasma Hyopneumoniae (MH), tegn på Porcin Reproductivt og Respiratorisk Syndrom (PRRS), eller tegn på PMWS (Hong

et al. 2020). Algoritmen viste god ydeevne, når den blev testet på mindre dyrehold, selv i støjende staldmiljøer, og kunne bruges i realtid, hvilket indebærer et stort potentiale for fremtidig brug på gården.

Forskellige typer luftvejssygdomme kan også påvises vha. fjerkræets akustiske signaler. Baseret på gurglende lyde klassificerede en undersøgelse lydoptagelser som produceret af sund kylling versus kylling inficeret med infektiøs bronkitis, med en nøjagtighed tæt på 98 % (Whitaker et al., 2014). Tilsvarende udviklede andre undersøgelser modeller til at registrere infektioner med Clostridium Perfringens, Newcastle disease, bronkitisvirus og fugleinfluenza ved at sammenligne vokaliseringer af sunde og inficerede kyllinger placeret i separate bure (Sadeghi et al. 2015; Banakar et al. 2016; Huang et al. 2019; Cuan et al. 2020). Nysen, et klinisk tegn på mange luftvejssygdomme, er også blevet registreret automatisk hos slagtekyllinger i en lignende forsøgsopstilling (Carpentier et al., 2019). Selvom det er lovende, er det vigtigt at bemærke, at disse typer eksperimentelle undersøgelser forbliver første skridt i retning af automatisk overvågning af fjerkræsundhed i praksis. Yderligere undersøgelser er nødvendige for at teste og forfine disse algoritmer i praksis, dvs. i større flokke med baggrundsstøj og potentielt forstyrrende faktorer. Et godt eksempel på en sådan undersøgelse er Liu et al. (2020), som udviklede en metode til automatisk at opdage unormale lyde fra slagtekyllinger, herunder hoste og snorken, i en slagtekyllingestald med 20.000 dyr, med en nøjagtighed på over 93 %.

Foruden infektion og andre åndedrætsforstyrrelser, kan visse fysiske eller miljømæssige forhold der påvirker individers anspændthed, respiration og savlen, også påvirke et kalds akustiske egenskaber. Der er for eksempel vist en klar forskel mellem kald fra smågrise udsat for varme-stress sammenlignet med kald fra deres jævnaldrende opholdt under konventionelle temperaturer (Ferrari et al. 2013). Omvendt ser højfrekvente vokaliseringer ud til at være relateret til adfærdsmæssig termoregulering ved lave temperaturer hos medium- til tungtvæjende grise (Hillmann et al. 2004). Varmestress er også blevet undersøgt hos fjerkræ. Der er vist en sammenhæng mellem den termiske komfort og karakteristikkene af kald produceret af flokken, både hos kyllinger og kalkuner (Moura et al., 2008; Liu et al. 2018; Lee et al. 2015).

Mens andre forhold kan registreres ved hjælp af bioakustikanalyse, er det værd at bemærke, at ikke alle sundhedsparametre muligvis kan påvises i dyrevokaliseringer. I en kort undersøgelse har Risi et al. (2008) for eksempel ikke kunne påvise en klar forskel i skrigene fra smågrise med versus uden traumatisk gigt.

## 2.2. Adfærd

Fordi bestemt adfærd kan være relateret til bestemte vokaliseringer hos husdyr eller være forbundet med produktionen af karakteristiske ikke-vokale lyde (f.eks. tygning, bevægelse), kan

bioakustikværktøjer bruges til at opdage adfærd, der er af interesse for husdyrs velfærd, såsom fodring og drikke eller utilpasset adfærd.

Overvågning af fodringsadfærd kan bidrage til at sikre sundheden og velfærden for landbrugsdyr, der holdes under særlige opdrætsforhold, såsom udendørs produktion. Hos græssende drøvtyggere, herunder kvæg, får og geder, er indtagelsesadfærd blevet registreret baseret på bid og tygning ved at sætte en mikrofon på hovedet af dyrene (Clapham et al., 2011; Galli et al., 2006; Ungar & Rutter, 2006). Ved at anvende en lignende metode viste en undersøgelse endda, at et nøjagtigt estimat af individuelt tørstofindtag hos geder kan opnås ved hjælp af akustisk overvågning, uanset hvilken type foder der er tilvejebragt eller strukturen af græsset (Galli et al. 2011). Disse undersøgelser registrerede individuel fodringsadfærd ved at placere mikrofoner på hovedet af dyret - en tilgang, der ville være vanskelig særligt i gårdmiljøer. En praktisk løsning kan være at integrere en mikrofon i halsbåndet på drøvtyggere eller i øremærket på individuelt identificerede husdyr.

Overvågning af fouragerings-adfærd kan også være af interesse for at kontrollere foderoptagelsen i store flokke af dyr. Undersøgelser har for nylig udviklet metoder til at detektere fjerkræs ædeadfærd baseret på de specifikke vokaliseringer produceret af kyllinger, mens de spiser (Huang et al. 2021), herunder hakkelyde (Aydin et al. 2014). En undersøgelse viste en 99% korrelation mellem det detekterede antal hak og gruppens foderoptagelse og var endda i stand til at bestemme måltidets størrelse, måltidets varighed, antallet af måltider pr. dag og fodringshastigheden for kyllingerne baseret på deres lyde, med skøn på 90 % nøjagtighed i gennemsnit, i laboratoriemiljø med ad libitum foder (Aydin & Berckmans, 2016). Disse undersøgelser viser et stort potentiale for et sådant værktøj til automatisk at overvåge slagtekyllingers foderoptagelse og fodringsadfærd på afstand og i realtid, selvom metoden skal valideres i et landbrugsmiljø, der involverer et stort antal fugle og miljøstøj (Li et. al., 2020).

Vokaliseringer hos æglæggende høns er også blevet undersøgt, selvom det er sket i mindre omfang. Du et al. (2018) testede en metode til at overvåge æglæggende høner om natten i et eksperimentelt set-up, der involverede lydkildelokaliserings. Modellen registrerede unormal status om natten for specifikke områder af indhegningen ved at overvåge antallet af vokaliseringer og akustiske elementer. Modellen kunne f.eks. registrere et øget antal vokaliseringer om natten i ellers relativt tavse flokke, hvilket, ifølge forfatterne, kan indikere manglende foder- eller vandtilgængelighed. Selvom denne tilgang er lovende, kræver metoden opfølgende undersøgelser, herunder undersøgelser af de underliggende årsager til disse 'unormale' lydlandskaber og fastlæggelse af deres betydning for æglæggende høners sundhed og velfærd.

Brunst kan også påvises gennem lydanalyse. Reproduktionshormoner, der produceres under brunst, kan fremkalde hormonafhængige morfologiske ændringer i vokalorganerne, hvilket resulterer i karakteristiske auditive træk (Devi et al., 2019). Undersøgelser har været i stand til at

skelne mellem kald fra køer i brunst (som bestemt ved visuelle observationer, herunder slimhindeudflåd, rastløshed, stående brunst og accept af bedækning) og kald fra resten af besætningen med høj nøjagtighed (Chung et al. 2013), selvom en sådan metode berettiger yderligere validering. I dag fremstår akustisk overvågning derfor som et værdifuldt supplement til konventionelle metoder til brunstdetektion snarere end et værktøj, der kan stå alene.

Derudover kunne auditive signaler bruges til at opdage og informere om forekomsten af uønsket eller utilpasset adfærd i en flok eller besætning, hvilket ofte er et tegn på kompromitteret velfærd. Tidlige undersøgelser fandt f.eks. forskellige opkaldstyper og frekvens mellem fjerhakkende og ikke-fjerhakkende flokke af æglæggende høns, hvor sidstnævnte viste øget forekomst af vokalisering, herunder såkaldte 'squawks' (Bright, 2008). Det seneste igangværende arbejde fokuserer ligeledes på at registrere grises vokaliseringer, herunder skrig, som en tidlig detektion af halebid (Heseker, 2023). Alligevel er automatiske systemer til at overvåge social adfærd ved hjælp af vokale signaler, hvad enten de er positive eller negative, stadig sjældne både i forskningen og dermed også i besætninger.

### 2.3. Affektive tilstande

Affekt er en kritisk komponent i dyrevelfærd, især i forbindelse med husdyrholdet. Alligevel er det en udfordring at bestemme sådanne forbigående og komplekse mentale tilstande, især i praksis. Da et individs følelsesmæssige tilstand kan have en direkte indflydelse på de fysiske strukturer, der er involveret i lydproduktion og derfor på selve lydstrukturen, er vokale signaler længe blevet foreslået som lovende indikatorer for affekt (Briefer, 2012; Briefer, 2020).

Stress er en af de mest undersøgte affektive tilstande i forhold til vokaliseringer. Undersøgelser har for nylig haft til hensigt automatisk at detektere generelle stresskald, f.eks. hos slagtekylringer, der er udsat for høj varme eller håndtering (Jakovljevic et al. 2019). Kaldfrekvensen og andelen af individuelle typer af kald har også vist sig at korrelere med følelsesmæssig reaktivitet hos grise, dvs. et individs disposition til at reagere i en udfordrende eller stressende situation, målt ved hjertefrekvens og en række adfærdsparametre (Leliveld et al., 2017). En metode til automatisk at overvåge og registrere stressniveauet i grisekald er blevet udviklet og testet på tværs af forskellige stress-inducerende situationer. Systemet, kaldet 'STREMOD0' (stressmonitor og dokumentationsenhed), kan detektere stressvokalisering af grise med få genkendelsesfejl (<5%), selv i støjende omgivelser, og er blevet fremført som et pålideligt værktøj til at overvåge grisevelfærd, mens det potentielt kan anvendes på andre arter (Schön et al., 2004). Siden da er andre metoder blevet publiceret, der primært fokuserer på detektion af griseskrig som et mål for stress og negativ velfærd (Vandermeulen et al., 2015).

Selvom det er vigtigt at registrere en generel stresstilstand eller en disposition for at opleve stress, har mange undersøgelser haft til hensigt at overvåge specifikke typer af belastning. For-

skellige stressende situationer, såsom klemning og fastholdelse, kan føre til forskellige karakteristika af vokaliseringer hos smågrise (Chapel et al., 2018). Dette indikerer, at specifikke hændelser med negativ valens (associeret med en ubehagelig eller negativ tilstand) kunne identificeres med bioakustiske værktøjer, som foreslået af andre undersøgelser (Cordeiro et al., 2018; Da Silva et al., 2019). Tilsvarende kan man hos kyllinger i nød (der viser termoregulerende adfærd eller adfærds-asykronicitet de første levedage), der frembringer et specifikt kald, bruge parametrene for nødkald i det tidlige liv som en indikator for kyllingers velfærd (Herborn et al., 2020). En nyere undersøgelse udviklede endda en metode til automatisk at opdage og klassificere sammenhængen i produktionen af svinekald (isolation, kastration, fastholdelse m.v.), hvilket viser stort potentiale for automatisk detektion af specifikke hændelser (f.eks. klemning/ihjellægning af smågrise) i praksis (Briefer et al., 2022a).

Med fokus på specifikke negative følelser i stedet for situationer udviklede forskere en model til automatisk at detektere kald, der afspejler forskellige følelser hos pattegrise. Modellen havde en moderat effektivitet til at klassificere kulde/varme, sult eller tørst, men en relativt høj nøjagtighed til at opdage smerte (Da Silva et al., 2019). Dette resultat er i overensstemmelse med tidligere undersøgelser, der fremhæver potentialet ved vokaliseringer til at overvåge smerte hos unge pattegrise, især fordi smertefulde situationer synes at udløse skrig, en specifik type af vokalisering, som er væsentligt forskellig fra andre kaldetyper (Marx et al., 2003; Weary et al., 1998). Yderligere undersøgelser udviklede algoritmer, der var i stand til at detektere frygtfremkaldte vokaliseringer hos æglæggende høner, der er opstaldet i trådbure (Lee et al. 2015) og aggression før fodring hos smågrise (Špinka et al. 2009). Alt i alt ser det ud til, at affektive tilstande med høj grad af ophidselse (dvs. intens kropslig aktivering) såsom smerte, frygt eller frustration, kan føre til mere specifikke og derfor lettere sporbare lyde sammenlignet med relativt mildere tilstande såsom sult, tørst eller ubehag, selvom yderligere undersøgelser er nødvendige for at bekræfte denne hypotese.

På trods af et markant større fokus på påvisning af affektive tilstande af negativ valens, så er potentialet af vokaliseringer til at indikere positive følelser også blevet undersøgt (Briefer, 2012, 2020; Laurijs et al. 2021). For eksempel, fører positive situationer til vokaliseringer af lavere frekvens (Hz) og varighed hos grise, med undtagelse af grynten, hvor tonehøjden stiger ved både positive og negative situationer (Briefer et al., 2019; Briefer et al., 2022a). Specifikke følelser har også vist sig at blive indikeret af forskellige vokaliseringstyper. Forventningen om en positiv belønning (foder eller et støvbadende substrat) hos høns har for eksempel været specifikt knyttet til ytring af hurtige kluk og madkald, som er kortvarige vokaliseringer produceret i rækkefølge (McGrath et al., 2017). Hos grise var forventning om social genforening forbundet med korte og højere grynt, sammenlignet med frustration over ikke at blive genforenet som forventet (Villain et al., 2020). For nylig viste en undersøgelse med over 7400 kald fra mere end 400 grise, at valensen automatisk kan klassificeres nøjagtigt baseret på grisekald (Briefer

et al., 2022a). Selvom der er behov for yderligere forskning for at udvikle værktøjer, der kan bruges på bedriften af landmænd og dyrlæger, er denne type forskning lovende for den fremtidige vurdering af velfærd i praksis.

## **7. Diskussion, konklusion og perspektivering**

Denne gennemgang præsenterede en bred vifte af undersøgelser, der anvender bioakustiske analyser til at registrere elementer, der – ved forskellige grader af automatisering – kan blive brugt til at vurdere husdyrs velfærd. Selvom denne samling af forskning illustrerer bioakustikkens potentiale til at blive et almindeligt værktøj til at overvåge husdyr på afstand med en ikke-invasiv og dermed velfærdsvenlig måde, fremhæver den også forskelle i de anvendte metoder og den generelle mangel på anvendelser af metoder i praksis. Faktisk er der, på trods af den potentielle fordel ved bioakustik til at registrere en bred vifte af fysiologiske, sundhedsmæssige og adfærdsmæssige parametre, indtil videre kun ét specifikt forskningsfelt (overvågning af svinenehoste), der har ført til udviklingen af et produkt, der i dag er tilgængeligt for landmænd.

Denne observation kan forklares med vanskeligheder ved at anvende algoritmer udviklet eksperimentelt i praksis, især på grund af høje niveauer af baggrundsstøj og variation mellem individer. En anden mulig årsag til vanskeligheder er den relative mangel på gentagelighed og deling af metoderne. Forfattere bruger en række komplekse analysemetoder og tilgange til at udvikle bioakustikdetektion. Mens den generelle analysemetode ofte forklares i detaljer, forbliver mange aspekter af analysen utilgængelige. Omvendt er det i artikler med et stærkt teknisk fokus, nogle gange komplekst for læseren at vurdere af en model eller en metode, når afgørende elementer (som f.eks. antallet af dyr, der indgår i dataprøvetagningen) udelades. Som et resultat, frem for at have til hensigt at reproducere og forfine publicerede metoder, synes mange forfattere at prioritere at skabe deres egen metodologi. Denne relative mangel på metodisk konsistens på tværs af bioakustikstudier kan også kædes sammen med manglen på åbne databaser. Oprettelsen af et sådant redskab ville forbedre studiet af dyrelyde til velfærdsvurdering betydeligt. Database tilgangen vil bibringe tilstrækkelig variation af input til at udvikle mere robuste, dyb-læringsbaserede algoritmer. Selvom der findes databaser for vilde arter, er dette ikke tilfældet for husdyr, med den nylige undtagelse af Soundwel-databasen, der består af et stort antal mærkede grisekald, koblet med negativ eller positiv følelsesmæssig valens (Briefer et al., 2022b).

Endelig er det vigtigt at huske på den biologiske værdi af akustiske analyser. Som illustreret i denne undersøgelse, er der i øjeblikket stor fokus på udvikling af metoder til at optage lyd, men det er vigtigt at sikre, at vores fortolkning af sådanne lyde er korrekt, eller med andre ord, at vi optager, hvad vi tror, vi optager. I denne forbindelse er det afgørende yderligere at forstå, hvordan dyr kommunikerer, og hvor ærlige/pålidelige disse signaler er. Dette er indtil videre

et emne, som er sparsomt udforsket ifm. husdyr, men som fortjener ydeligere opmærksomhed.

Eksempelvis er 'publikumseffekten' en faktor, hvor tilstedeværelsen af andre individer, såsom for eksempel moderen, omkring producerende individer, ændrer forekomsten eller specifikke træk ved de producerede vokaliseringer. Dette fænomen er blevet dokumenteret hos flere arter, herunder kyllinger (Karakashian et al., 1988). Disse publikumseffekter betyder, at dyr, der lider af smerte eller oplever en bestemt følelse, måske ikke kommer til udtryk, hvis der ikke er gruppemedlemmer eller gårdspersonale til stede. Hvis vi derfor bruger nogle af de metoder, der er udviklet i tidligere undersøgelser, til at evaluere f.eks. isolerede individers affektive tilstand, kan disse derfor resultere i misvisende konklusioner. Hvordan vokal kommunikation har udviklet sig for husdyr versus vilde dyr er et emne som har modtaget meget lidt opmærksomhed, men som fortjener at blive undersøgt yderligere. Det er muligt, at husdyr har tilpasset deres kommunikation til det store antal dyr, der er omkring dem, støjen i stalden eller det faktum, at mennesker passer dem. Derfor mangler der grundlæggende viden om husdyrs vokale kommunikation. Mens de fleste undersøgelser for eksempel har undersøgt vokalkommunikation af grise, der optager stemmesignaler op til 22 kHz (maksimal frekvens, der kan høres for mennesker), har igangværende arbejde antydnet, at pattegrise kan vokalisere med en frekvens på op til 46 kHz (Mott, 2023). Så ældre data – baseret på begrænset teknisk kapacitet – kan udgøre en begrænsning for hvad vi reelt ved om husdyrs vokalisering i dag.

Samlet set fortjener feltet for forståelse af dyrekommunikation, og mere præcist husdyrkommunikation, at vokse og blive undersøgt sammen med akustisk-baseret præcisionshusdyrbrug for at sikre en valid brug af disse værktøjer til overvågning af husdyr.

Opfølgende undersøgelser kunne derfor fokusere på yderligere forståelse af de grundlæggende principper for vokal kommunikation hos forskellige husdyrarter. Sideløbende er der behov for flere undersøgelser for at udvikle robuste algoritmer, der kan bruges i praksis til at opdage forskellige aspekter af dyresundhed, -velfærd og -adfærd.

## **8. Populærvidenskabeligt dansk resumé**

Optagelse og analyse af dyreløde, herunder vokaliseringer og ikke-vokale signaler, er et nyttigt værktøj til at opnå adgang til forskellige aspekter af dyrs fysiologi, adfærd og generelle velfærd på en ikke-invasiv og kontinuerlig måde. Dette felt, kendt som bioakustik, er i kraftig vækst takket være avanceret maskinlæringsteknologi. På trods af denne fremgang er brugen af disse metoder i husdyrlandbrug stadig begrænset, og deres fulde potentiale er måske ikke tydeligt forstået af dyrevelfærdsforskere eller landbrugsindustrien. I denne rapport ser vi nærmere på

de seneste fremskridt inden for anvendelsen af bioakustiske værktøjer til at monitorere forskellige aspekter af husdyrtrivsel. Ved at udvikle avancerede deep learning-algoritmer har forskere i de seneste år formået at bruge lyd til at overvåge ting som dyrenes køn, alder, vækst, kropsvægt, sundhed (herunder påvisning af luftvejssygdomme, infektioner og varmemstress), adfærd (spise- og drikkevaner, brunst og usædvanlig opførsel) samt følelsesmæssige tilstande (inklusive stress og negative følelser). Dog er de fleste af disse studier stadig i eksperimentelle stadier og er ikke blevet implementeret i praksis endnu. Faktisk er der, på trods af det store potentiale ved at bruge lydsensorer til at overvåge husdyr, kun få produkter til rådighed for anvendelse for landmænd i øjeblikket.. Dette skyldes delvist udfordringer med at anvende disse eksperimentelle algoritmer i den støjende og varierende miljø landbrugsdrift. Derudover er der mangel på reproducerbarhed og deling af de udviklede algoritmer fra akademiske forsøg. For at fremme brugen af bioakustik i landbruget bør fremtidigt arbejde fokusere på at gøre disse metoder mere praktisk anvendelige for landmænd. Der er også brug for forskning, der undersøger, hvordan forskellige husdyrarter kommunikerer vokalt under forskellige forhold, så vi kan bruge bioakustiske værktøjer mere pålideligt og effektivt.

## **9. Populærvidenskabeligt engelsk resumé**

Recording and analyzing animal sounds, including vocalizations and other signals, is a valuable tool for monitoring the health, behavior, and overall welfare of animals in a remote, non-invasive and continuous fashion. This field, known as bioacoustics, is growing considerably due to the development of machine learning techniques. Despite this progress, the use of these methods in livestock farming is still limited, and their full potential may not be well recognized by animal welfare researchers or the agricultural industry. This report takes a closer look at the latest advancements in the application of bioacoustics tools to monitor various aspects of livestock welfare. By developing advanced deep learning algorithms, researchers have been able to use sound to monitor aspects such as physical characteristics (sex, age, growth and body weight), health (detection of respiratory diseases, infections, or heat stress), behaviour (feeding and drinking behaviour, estrus, and maladaptive behaviour), and affective states (detection of e.g., stress and negative emotions) of animals. However, most of these studies are still in experimental stages and have not been implemented in practice yet. In fact, despite the large potential of using sound sensors to monitor livestock, only few products are currently available for farmers to use. This is partly due to challenges in applying these experimental algorithms in the noisy and variable environment of husbandry facilities. Additionally, there is a lack of reproducibility and sharing of the algorithms developed in academia. To promote the use of bioacoustics in agriculture, future work should therefore focus on making these methods more practically applicable for farmers. In parallel, there is a need for research investigating how livestock species communicate vocally under various husbandry conditions, so that bioacoustics tools can be used more reliably and effectively.

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

Hovedresultatet af projektet er en omfattende gennemgang i form af et review skrevet i samarbejde med Elodie F. Briefer og Avelyne S. Villain fra Biologisk Institut, Københavns Universitet. Reviewet er indsendt til Applied Animal Behavior Science.

De vigtigste resultater af gennemgangen er desuden blevet præsenteret i et foredrag på en adfærdskonference i Tyskland i august, med et offentligt tilgængeligt sammendrag online. Derudover vil et kort populært resumé af redegørelsen med fokus på overvågning af grise blive skrevet på dansk og sendt til offentliggørelse i et populært landbrugstidsskrift.

## 11. Referencer

Aydin, A., Bahr, C., Viazzi, S., Exadaktylos, V., Buyse, J., & Berckmans, D. 2014. A novel method to automatically measure the feed intake of broiler chickens by sound technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 101, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.012>

Aydin, A., & Berckmans, D. 2016. Using sound technology to automatically detect the short-term feeding behaviours of broiler chickens. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.11.010>

Banakar, A., Sadeghi, M., & Shushtari, A. 2016. An intelligent device for diagnosing avian diseases: Newcastle, infectious bronchitis, avian influenza. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 744–753. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.006>

Banhazi, T. M., & Black, J. L. 2009. Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>

Blackshaw, J. K., Jones, D. N., & Thomas, F. J. 1996. Vocal individuality during suckling in the intensively housed domestic pig. *Applied Animal Behaviour Science*, 50(1), 33–41. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(96\)01074-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(96)01074-X)

Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH. 2022. SoundTalks. <https://www.soundtalks.com/> (accessed 25 September 2023).

Briefer, E. F. 2012. Vocal expression of emotions in mammals: Mechanisms of production and evidence. *Journal of Zoology*, 288(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/j.1469->

7998.2012.00920.x

- Briefer, E. F., Vizieer E., Gyax, L., Hillmann, E. 2019. Expression of emotional valence in pig closed-mouth grunts: Involvement of both source-and filter-related parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 145(5). 2895–2908. <https://doi.org/10.1121/1.5100612>.
- Briefer, E. F. 2020. Coding for ‘Dynamic’ Information: Vocal Expression of Emotional Arousal and Valence in Non-human Animals. In: Aubin, T & Mathevon, N., *Coding strategies in vertebrate acoustic communication*. Springer Nature. pp. 137–162. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39200-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39200-0_6)
- Briefer, E. F, Sypherd, C. C. R., Linhart, P., Leliveld, L. M. C., Padilla, M., Torre, D., ... Deiss, V. 2022a. Classification of pig calls produced from birth to slaughter according to their emotional valence and context of production. *Scientific Reports*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07174-8>
- Briefer, E. F., Sypherd, C. C. R., Leliveld L. M. C., Padilla de la Torre, M, ... Tallet, C. 2022b. The Soundwel Database: a labeled pig vocalization repository [Data set]. *Scientific Reports* 12:3409. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07174-8>
- Briefer, E. F., & McElligott, A. G. 2011. Indicators of age, body size and sex in goat kid calls revealed using the source–filter theory. *Applied Animal Behaviour Science*, 133(3–4), 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.05.012>
- Bright, A. 2008. Vocalisations and acoustic parameters of flock noise from feather pecking and non-feather pecking laying flocks. *British Poultry Science*, 49(3), 241–249. <https://doi.org/10.1080/00071660802094172>
- Carpentier, L., Berckmans, D., Youssef, A., Berckmans, D., van Waterschoot, T., Johnston, D., ... Norton, T. 2018. Automatic cough detection for bovine respiratory disease in a calf house. *Biosystems Engineering*, 173, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.06.018>
- Carpentier, L., Vranken, E., Berckmans, D., Paeshuyse, J., & Norton, T. 2019. Development of sound-based poultry health monitoring tool for automated sneeze detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.013>
- Chapel, N., Lucas, J., Radcliffe, S., Stewart, K., & Lay, D. 2018. Comparison of Vocalization Patterns in Piglets Which Were Crushed to Those Which Underwent Human Restraint. *Animals*, 8(8), 138. <https://doi.org/10.3390/ani8080138>

- Chung, Y., Lee, J., Oh, S., Park, D., Chang, H. H., & Kim, S. 2013. Automatic Detection of Cow's Oestrus in Audio Surveillance System. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(7), 1030–1037. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12628>
- Clapham, W. M., Fedders, J. M., Beeman, K., & Neel, J. P. S. 2011. Acoustic monitoring system to quantify ingestive behavior of free-grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(1), 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.009>
- Cordeiro, A. F. da S., Nääs, I. de A., Leitão, F. da S., de Almeida, A. C. M., & Moura, D. J. de. 2018. Use of vocalisation to identify sex , age , and distress in pig production. *Biosystems Engineering*, 3(Engineering Advances in Precision Livestock Farming), 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.03.007>
- Cuan, K., Li, Z., Zhang, T., & Qu, H. 2022. Gender determination of domestic chicks based on vocalization signals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199, 107172. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107172>
- Cuan, K., Zhang, T., Huang, J., Fang, C., & Guan, Y. 2020. Detection of avian influenza-infected chickens based on a chicken sound convolutional neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105688. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105688>
- Da Silva, J. P., de Alencar Nääs, I., Abe, J. M., & da Silva Cordeiro, A. F. (2019). Classification of piglet (*Sus Scrofa*) stress conditions using vocalization pattern and applying paraconsistent logic Et. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166(March), 105020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105020>
- Devi, I., Singh, P., Lathwal, S. S., Dudi, K., Singh, Y., Ruhil, A. P., ... Malhotra, R. 2019. Threshold values of acoustic features to assess estrous cycle phases in water buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Applied Animal Behaviour Science*, 219, 104838. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104838>
- Du, X., Lao, F., & Teng, G. 2018. A Sound Source Localisation Analytical Method for Monitoring the Abnormal Night Vocalisations of Poultry. *Sensors*, 18(9), 2906. <https://doi.org/10.3390/s18092906>
- Exadaktylos, V., Silva, M., Aerts, J.-M., Taylor, C. J., & Berckmans, D. 2008. Real-time recognition of sick pig cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63(2), 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.02.010>
- Favaro, L., Briefer, E. F., & Mcelligott, A. G. 2014. Artificial Neural Network Approach for Revealing Individuality, Group Membership and Age Information in Goat Kid Contact Calls. *Acta Acustica United with Acustica* 100, 782–789. <https://doi.org/10.3813/AAA.918758>

- Ferrari, S., Costa, A., & Guarino, M. 2013. Heat stress assessment by swine related vocalizations. *Livestock Science*, 151(1), 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.10.013>
- Fontana, I., Tullo, E., Butterworth, A., & Guarino, M. 2015. An innovative approach to predict the growth in intensive poultry farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.001>
- Fontana, I., Tullo, E., Carpentier, L., Berckmans, D., Butterworth, A., Vranken, E., ... Guarino, M. 2017. Sound analysis to model weight of broiler chickens. *Poultry Science*, 96(11), 3938–3943. <https://doi.org/10.3382/ps/pex215>
- Galli, J. R., Cangiano, C. A., Demment, M. W., & Laca, E. A. 2006. Acoustic monitoring of chewing and intake of fresh and dry forages in steers. *Animal Feed Science and Technology*, 128(1–2), 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.09.013>
- Galli, J. R., Cangiano, C. A., Milone, D. H., & Laca, E. A. 2011. Acoustic monitoring of short-term ingestive behavior and intake in grazing sheep. *Livestock Science*, 140(1–3), 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.007>
- Garcia, M., Wondrak, M., Huber, L., & Fitch, W. T. 2016. Honest signaling in domestic piglets (*Sus scrofa domestica*): Vocal allometry and the information content of grunt calls. *Journal of Experimental Biology*, 219(12), 1913–1921. <https://doi.org/10.1242/jeb.138255>
- Green, A., Clark, C., Favaro, L., Lomax, S., & Reby, D. 2019. Vocal individuality of Holstein-Friesian cattle is maintained across putatively positive and negative farming contexts. *Scientific Reports*, 9(1), 18468. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54968-4>
- Guarino, M., Jans, P., Costa, A., Aerts, J.-M., & Berckmans, D. 2008. Field test of algorithm for automatic cough detection in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62(1), 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.08.016>
- Herborn, K. A., McElligott, A. G., Mitchell, M. A., Sandilands, V., Bradshaw, B., & Asher, L. 2020. Spectral entropy of early-life distress calls as an iceberg indicator of chicken welfare. *Journal of The Royal Society Interface*, 17(167), 20200086. <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0086>
- Heseker, P. 2023. Detecting pig screams - using animal vocalization for monitoring tail biting events. *Book of Abstract - Behavior 2023*, 91. Bielefeld, Germany.
- Hillmann, E., Mayer, C., Schön, P. C., Puppe, B., & Schrader, L. 2004. Vocalisation of domestic pigs (*Sus scrofa domestica*) as an indicator for their adaptation towards ambient temperatures. *Applied Animal Behaviour Science*, 89(3–4), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.06.008>

- Hong, M., Ahn, H., Atif, O., Lee, J., Park, D., & Chung, Y. 2020. Field-applicable pig anomaly detection system using vocalization for embedded board implementations. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(19), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app10196991>
- Huang, J., Wang, W., & Zhang, T. 2019. Method for detecting avian influenza disease of chickens based on sound analysis. *Biosystems Engineering*, 180, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.015>
- Huang, J., Zhang, T., Cuan, K., & Fang, C. 2021. An intelligent method for detecting poultry eating behaviour based on vocalization signals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105884. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105884>
- Jakovljevic, N., Maljkovic, N., Miskovic, D., Knezevic, P., & Delic, V. 2019. A Broiler Stress Detection System Based on Audio Signal Processing. 27th Telecommunications Forum (TELFOR), 1–4. <https://doi.org/10.1109/TELFOR48224.2019.8971336>
- Karakashian, S. J., Gyger, M., & Marler, P. 1988. Audience effects on alarm calling in chickens (*Gallus gallus*). *Journal of Comparative Psychology*, 102(2), 129–135. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.102.2.129>
- Laliotis, G. P., Papadaki, K., & Bizelis, I. 2023. Ovine vocal individuality expression by ewes and lambs at a late (40 days) post-partum time point. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 153(2), 751–760. <https://doi.org/10.1121/10.0017075>
- Lee, J., Noh, B., Jang, S., Park, D., Chung, Y., & Chang, H.-H. 2015. Stress Detection and Classification of Laying Hens by Sound Analysis. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 592–598. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0654>
- Leliveld, L. M. C., Döpjan, S., Tuchscherer, A., & Puppe, B. 2017. Vocal correlates of emotional reactivity within and across contexts in domestic pigs (*Sus scrofa*). *Physiology & Behavior*, 181, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.09.010>
- Li, N., Ren, Z., Li, D., & Zeng, L. 2020. Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: towards the goal of precision livestock farming. *Animal*, 14(3), 617–625. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002155>
- Liu, L., Li, B., Zhao, R., Yao, W., Shen, M., & Yang, J. 2020. A Novel Method for Broiler Abnormal Sound Detection Using WMFCC and HMM. *Journal of Sensors*, 2020, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/2985478>
- Liu, L., Ni, J.-Q., Li, Y., Erasmus, M., Stevenson, R., & Shen, M. (2018). Assessment of heat stress in turkeys using animal vocalization analysis. *ASABE Annual International Meeting*, 2018. <https://doi.org/10.13031/aim.201801743>

- Manteuffel, G., Puppe, B., & Schön, P. C. 2004. Vocalization of farm animals as a measure of welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 88(1–2), 163–182. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.012>
- Marx, G., Horn, T., Thielebein, J., Knubel, B., & Von Borell, E. 2003. Analysis of pain-related vocalization in young pigs. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3), 687–698. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00594-7)
- McGrath, N., Dunlop, R., Dwyer, C., Burman, O., & Phillips, C. J. C. 2017. Hens vary their vocal repertoire and structure when anticipating different types of reward. *Animal Behaviour*, 130, 79–96. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.05.025>
- Mcloughlin, M. P., Stewart, R., & McElligott, A. G. 2019. Automated bioacoustics: Methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring. *Journal of the Royal Society Interface*, 16(155). <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0225>
- Mott, R. 2023. The impact of the ultrasonic acoustic environment on the welfare of intensively farmed pigs. *Book of Abstract - Behavior 2023*, 113.
- Moura, D. J. de, Nääs, I. de A., Alves, E. C. de S., Carvalho, T. M. R. de, Vale, M. M. do, & Lima, K. A. O. de. 2008. Noise analysis to evaluate chick thermal comfort. *Scientia Agricola*, 65(4), 438–443. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000400018>
- Padilla de la Torre, M., Briefer, E. F., Reader, T., & Mcelligott, A. G. 2015. Acoustic analysis of cattle (*Bos taurus*) mother–offspring contact calls from a source–filter theory perspective. *Applied Animal Behaviour Science*, 163, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.11.017>
- Risi, N., Silva, K. O., Zulato, P. R. ., Guido, R. C., & Borges, G. 2008. Use of Artificial Intelligence to Identify Vocalizations Emitted by Sick and Healthy Piglets. *Livestock Environment VIII*, 31 August - 4 September 2008, Iguassu Falls, Brazil. <https://doi.org/10.13031/2013.25611>
- Sadeghi, M., Banakar, A., Khazaei, M., & Soleimani, M. 2015. An Intelligent Procedure for the Detection and Classification of Chickens Infected by *Clostridium Perfringens* Based on their Vocalization. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 17(4), 537–544. <https://doi.org/10.1590/1516-635X1704537-544>
- Schön, P. C., Puppe, B., & Manteuffel, G. 2004. Automated recording of stress vocalisations as a tool to document impaired welfare in pigs. *Animal Welfare*, 13(2), 105–110.
- Silva, M., Ferrari, S., Costa, A., Aerts, J.-M., Guarino, M., & Berckmans, D. 2008. Cough localization for the detection of respiratory diseases in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.024>

- Špinka, M., Illmann, G., Chaloupková, H., Náměstková, P., & Neuhauserová, K. 2009. Pig Vocalizations As a Measure of Hunger. *Animal Welfare Measures for Sows, Piglets and Fattening Pigs*, (January), 1–13.
- Ungar, E. D., & Rutter, S. M. 2006. Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science*, 98(1–2), 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.08.011>
- Vandermeulen, J., Bahr, C., Tullo, E., Fontana, I., Ott, S., Kashiha, M., ... Berckmans, D. 2015. Discerning Pig Screams in Production Environments. *PLoS ONE*, 10(4), e0123111. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123111>
- Vandermeulen, J., Decré, W., Berckmans, D., Exadaktylos, V., Bahr, C., & Berckmans, D. 2013. The pig cough monitor: From research topic to commercial product. *Precision Livestock Farming '13*, 717-723.
- Vandermeulen, J., Bahr, C., Johnston, D., Earley, B., Tullo, E., Fontana, I., ... Berckmans, D. 2016. Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 129, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.014>
- Villain, A. S., Lanthony, M., Guérin, C., & Tallet, C. 2020. Manipulable Object and Human Contact: Preference and Modulation of Emotional States in Weaned Pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.577433>
- Weary, D. M., Braithwaite, L. A., & Fraser, D. 1998. Vocal response to pain in piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 56(2–4), 161–172. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(97\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(97)00092-0)
- Whitaker, B. M., Carroll, B. T., Daley, W., & Anderson, D. V. 2014. Sparse decomposition of audio spectrograms for automated disease detection in chickens. *IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, 1122–1126. <https://doi.org/10.1109/GlobalSIP.2014.7032296>