



> Retouradres Postbus 43006 3540 AA Utrecht

Aan de inspecteur-generaal van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit

Advies van de directeur bureau Risicobeoordeling & onderzoek over

Advies over toepassing sensortechnologie dierenwelzijn slachthuizen

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Catharijnesingel 59
3511 GG Utrecht
Postbus 43006
3540 AA Utrecht
www.nvwa.nl

Contact

T 088 223 33 33
risicobeoordeling@nvwa.nl

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Datum
20-10-2022

Aanleiding

De NVWA houdt op slachthuizen toezicht op de wettelijke eisen voor de publieke waarden dierenwelzijn en voedselveiligheid. Op dit moment werken de circa 90 (middel)grote slachthuizen in Nederland op vrijwillige basis mee aan cameratoezicht door de NVWA, waarbij de handelingen met levende dieren in beeld zijn. De camerabeelden van slachthuizen kunnen door de NVWA ter plekke bekeken worden en worden gebruikt als ondersteuning in de handhaving. Beeldmateriaal is eigendom van het slachthuis. Mede naar aanleiding van de evaluatie Cameratoezicht dierenwelzijn slachthuizen van de NVWA bereidt de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) wetgeving rond cameratoezicht voor. Een onderdeel daarvan is een wetsvoorstel voor een wettelijke verplichting tot cameratoezicht en de mogelijkheid tot het stellen van regels met betrekking tot 'slim' cameratoezicht. Door middel van pilots op slachthuizen in samenwerking met de NVWA zal onderzocht worden hoe slim cameratoezicht bij kan dragen in toezicht op naleving van de normen voor dierenwelzijn en welke rol van de overheid nodig is om de kwaliteit en betrouwbaarheid van dergelijke systemen te borgen^{1,2}. Commerciële partijen zijn al actief in het ontwikkelen van toepassingen van sensortechnologie voor het meten van dierenwelzijn op het slachthuis en er zijn al toepassingen in gebruik op slachthuizen in Nederland.

Slimme inzet van sensortechnologie³ zoals cameratoezicht kan mogelijk bijdragen aan het beter beschermen van het publieke belang dierenwelzijn. Ook Bureau Risicobeoordeling & onderzoek (BuRO) van de NVWA benadrukt in de risicobrief 2021 dat niet alleen efficiëntie, maar vooral effectiviteit en verrijking van het

¹ Kamerstuk, Tweede Kamer, vergaderjaar 2020–2021, 28 286, nr. 12171, Brief regering; Openstaande moties en toezeggingen n.a.v. het tweeminutendebat voortgang verbeteren slachtsysteem

² Kamerbrief, 22-04-2022, Kamerbrief uitkomsten onderzoek slachtsnelheid en voortgang verbeteren slachtsysteem, DGA-DAD / 22027151

³ Sensortechnologie is de techniek waarbij een sensor de omgeving waarneemt en informatie verzameld. Een sensor is een kunstmatige uitvoering van een zintuig. Met behulp van kunstmatige intelligentie (artificial intelligence (AI)) kan verzamelde informatie worden geanalyseerd. In dit advies wordt onder sensortechnologie het meten met sensoren in algemene zin bedoeld. Als het specifiek over de "slimme" toepassing in combinatie met AI gaat, wordt gesproken over sensortechnologie in combinatie met AI.

toezicht de drijfveren zouden kunnen en moeten zijn voor camera- en sensor-ondersteuning. Daarbij moeten de mogelijkheden van cameratoezicht en sensortechnologie in combinatie met kunstmatige intelligentie (AI) worden onderzocht. Het gaat niet om het selectief terug kijken van camerabeelden voor het constateren van misstanden, maar het gaat vooral om de ontwikkeling van nieuwe technieken en methoden op basis van moderne camera-en sensortechnologie in combinatie met AI die het toezicht op dierenwelzijn kunnen aanvullen, vernieuwen en verbeteren. Vanuit dit oogpunt heeft de Inspecteur Generaal (IG) van de NVWA aan BuRO gevraagd te adviseren over de introductie en optimale benutting van cameratoezicht op slachthuizen.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Aanpak

BuRO heeft de vraag van de IG breder opgepakt en zal de komende jaren een meerjarenprogramma met het thema Sensordata & AI uitvoeren. Als onderdeel van dit programma heeft BuRO in dit advies een eerste verkenning uitgevoerd over de mogelijkheden van sensortechnologie voor dierenwelzijn in slachthuizen. Hierbij is niet alleen verkend naar camera's maar ook naar het gebruik van andere sensoren en de mogelijkheden voor gebruik van AI en wordt breder gekeken dan enkel mogelijkheden voor gebruik in de handhaving door de NVWA. Andere vormen van sensortechnologie zijn bijvoorbeeld microfoons, snelheidsmeters en thermografische camera's.

Voor deze verkenning is de volgende vraag door BuRO opgesteld:

Wat zijn de mogelijkheden van sensortechnologie op slachthuizen voor de publieke waarde dierenwelzijn voor de korte en middellange termijn?

Voor het beantwoorden van deze vraag is stapsgewijs nagegaan:

1. Welke dierindicatoren bekend zijn om dierenwelzijn te meten op het slachthuis en met welke vormen van sensortechnologie deze dierindicatoren gemonitord kunnen worden
2. Welke initiatieven met betrekking tot sensortechnologie in combinatie met AI en het meten van dierenwelzijn er al zijn toegepast in onderzoek en in de praktijk op het slachthuis
3. Wat de kansen en beperkingen zijn van sensortechnologie in slachthuizen
4. Wat de randvoorwaarden zijn voor toepassing van sensortechnologie ten behoeve van gebruik door de NVWA

Om deze vragen te beantwoorden heeft BuRO wetenschappelijk literatuuronderzoek gedaan naar de toepassing van sensortechnologie voor het meten van dierindicatoren in relatie tot dierenwelzijn (zie bijlage 1 voor de zoekstrategie). Daarnaast heeft BuRO eerder gepubliceerde BuRO publicaties over dierenwelzijn gebruikt en interne NVWA documenten zoals werkinstructies en factsheets. Ten slotte is een concept versie gedeeld met enkele externe onderzoekers met ervaring op gebied van AI en dierenwelzijn voor een feitencheck en de vraag of het overzicht van bestaande systemen volledig is.

Het antwoord op de vraag is verwerkt in de onderbouwing van dit advies.

Afbakening

Dit advies gaat over het gebruik van sensortechnologie in combinatie met AI op het slachthuis voor het beoordelen van dierenwelzijn. In de huidige verkenning wordt geen aandacht besteed aan de toepassing van sensortechnologie met betrekking tot voedselveiligheid. Daar zal in een later stadium op in worden gegaan. Diergezondheid wordt meegenomen als onderdeel van dierenwelzijn. Commerciële toepassingen van sensortechnologie op het slachthuis richten zich tot dusver veelal op voedselveiligheid en productkwaliteit, veel minder op dierenwelzijn. Het gaat hierbij in dit advies om metingen of beoordelingen die op het slachthuis worden uitgevoerd, maar zowel betrekking kunnen hebben op het dierenwelzijn op het slachthuis zelf als in eerdere levensfasen van het dier zoals op de boerderij. In het onderzoek hebben we ons beperkt tot de meeste geslachte diersoorten: kippen, varkens en rundvee.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

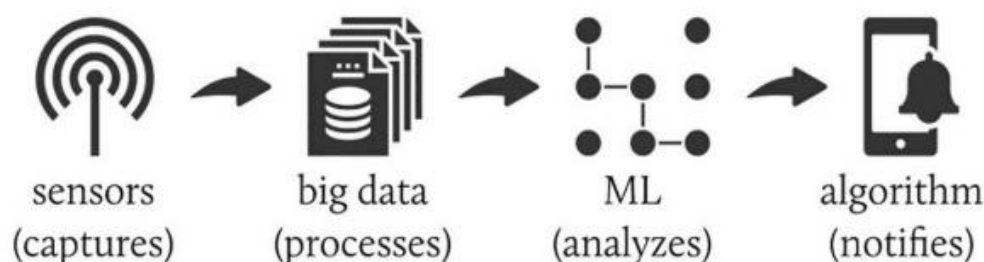
Bevindingen

Dierindicatoren

- Het effect van een situatie kan het beste gemeten worden aan het dier zelf door middel van diergerichte welzijnsindicatoren (hierna afgekort tot 'dierindicator').
- Deze dierindicatoren kunnen op het slachthuis op verschillende plekken gemeten worden. Bij het uitladen en lossen van de dieren, in de wachtruimte, tijdens het opdrijven, verdoven en doden van het dier en post mortem (PM) aan het karkas.
- De meetbare dierindicatoren op het slachthuis kunnen worden ingedeeld in drie categorieën:
 - Stilstaand beeld, bijvoorbeeld voetzoollaesies of blauwe plekken
 - Bewegend beeld: beweging van het dier, bijvoorbeeld bij kreupelheid, vallen of beweging na verdoven
 - Geluid, bijvoorbeeld vocalisaties

Sensortechnologie en AI

- Dankzij de technologische ontwikkelingen van de afgelopen jaren is het mogelijk om data in de veehouderij te genereren door middel van sensoren, zoals camera's, microfoons, snelheidsmeters en thermometers.
- Met behulp van computers en algoritmes kunnen deze data worden verwerkt en geanalyseerd (=AI). Zie figuur 1 voor een grafische weergave:



Figuur 1 Grafische weergave van het principe van sensortechnologie in combinatie met AI en precision livestock farming uit Neethirajan (2020). Door middel van sensoren wordt veel data geproduceerd. Deze data wordt geanalyseerd door middel van geavanceerde machine learning (ML) algoritmen en informeert de gebruiker, bijvoorbeeld veehouder, als er iets is abnormaals is.

- Automatische beeldanalyse (bewegend en stilstaand beeld opgenomen door een camera) en geluidsanalyse (geluid opgenomen met een microfoon) zijn vormen van sensortechnologie welke gebruikt kunnen worden om dierindicatoren te meten op het slachthuis.

Toepassingen sensortechnologie en AI voor meten dierenwelzijn slachthuis

- Op basis van literatuuronderzoek zijn verschillende voorbeelden gevonden met betrekking tot de toepassing van sensortechnologie in combinatie met AI om dierenwelzijn te meten op het slachthuis. Zie tabel 1 voor een overzicht.
- Er is een onderscheid te maken in toepassing in wetenschappelijk onderzoek en in systemen welke al commercieel worden toegepast.
- De toegepaste technologieën op het slachthuis zijn onder te verdelen in metingen aan het karkas tijdens de PM-keuring en metingen bij levende dieren bij aanvoer op het slachthuis.

Tabel 1 Overzicht voorbeelden van initiatieven in onderzoek en in de praktijk met betrekking tot sensortechnologie in combinatie met AI en het meten van dierenwelzijn toegepast op het slachthuis. 'x' is toegepast, '-' is geen onderzoek of commerciële toepassing bekend bij BuRO.

Diersoort	Wat is gemeten	Wetenschappelijk Onderzoek	Commercieel beschikbaar
Metingen aan levende dieren			
Varkens	Afwijkende beweging	X	Vion en Dierenbescherming ism Deloitte ⁴ .
Metingen aan het karkas			
Varkens	Verbloeden	X	VisStick systeem (DK), CLK GmbH (DE) en Vion
	Beweging als teken van bewustzijn	-	Deloitte AI4 Animals
	Staartlengte	-	Vion en CLK GmbH (DE)
	Staartlaesies	X	CLK GmbH (DE)
	Oorlaesies	X	CLK GmbH (DE)
	Hartafwijkingen	X	-
	Leverafwijkingen	X	-
	Longafwijkingen	X	Italiaanse startup ⁵
Vleeskalveren	Vleeskleur (relatie met Hb-gehalte)	X	Spectrometers classificateurs van Kiwa CBS (Kiwa, 2021)

⁴ Voornemen Dierenbescherming om dit verplicht te stellen voor Beter Leven keurmerk en ook te ontwikkelen voor rundvee en pluimvee.

⁵ Werkt aan ontwikkeling tot een commercieel beschikbaar systeem en aan het herkennen van andere ziektes bij varkens <https://www.f4tlab.com/ada/>

Pluimvee	Voetzoollaesies	X	Meyn en CLK GmbH
	Gebroken vleugels	-	Meerdere systemen
	Rode en blauwe plekken	-	Meerdere systemen
	Huidbeschadigingen	-	Meerdere systemen
	Karkasgewicht	-	Meerdere systemen

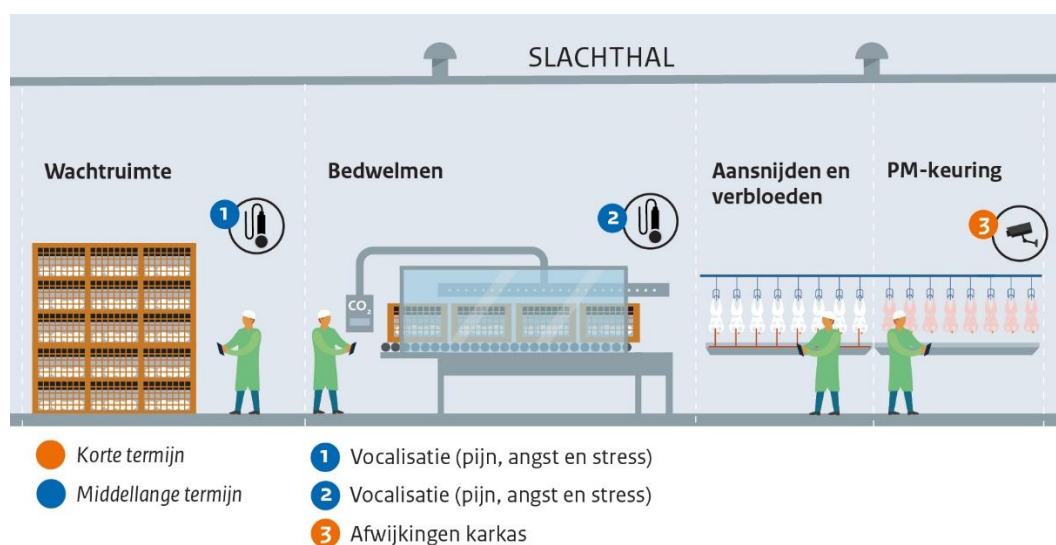
Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

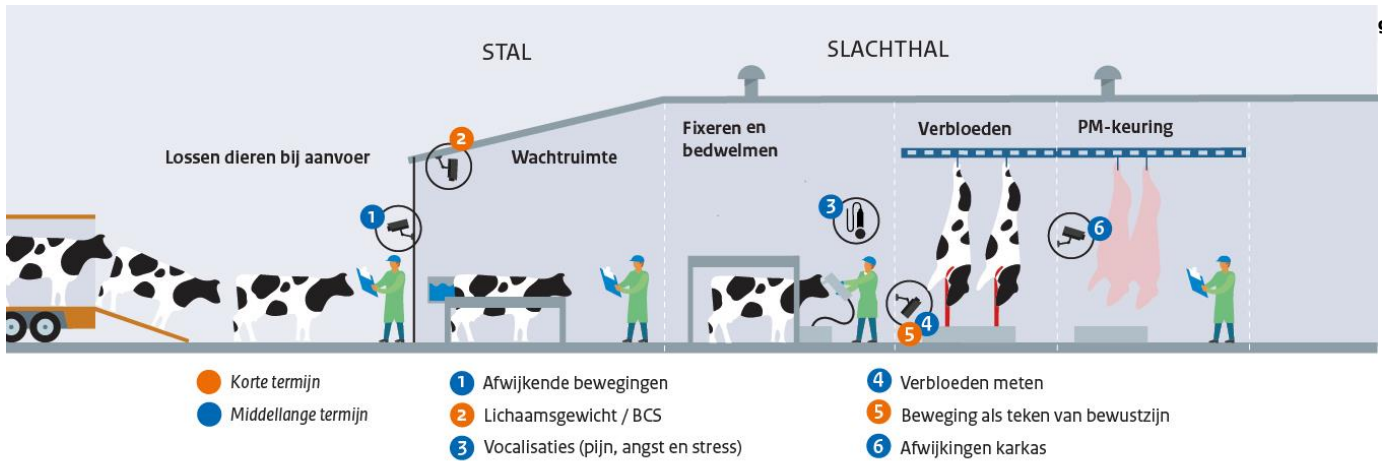
Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Mogelijkheden van sensortechnologie voor het meten van dierenwelzijn op slachthuizen

- Op basis van gepubliceerde onderzoeken lijken de mogelijkheden voor het automatisch vastleggen van dierindicatoren op het slachthuis op dit moment vooral te liggen bij:
 - beeldanalyse ten behoeve van afwijkingen aan het karkas op individueel dierniveau
 - beeldanalyse bij metingen aan groepen dieren zoals afwijkende bewegingen tijdens het lossen, agressief gedrag of verspreiding van dieren over de ruimte in relatie tot hittestress.
 - Geluidsanalyse zoals het meten van vocalisaties als teken van stress in bijvoorbeeld de wachtruimte, tijdens het opdrijven of het verdoven.
- Een overzicht van de mogelijkheden op de korte (komende 1-2 jaar) en middellange (2-5 jaar) termijn op pluimvee-, rundvee- en varkensslachthuizen staat weergegeven in de figuren 2, 3 en 4.
 - Korte termijn: systemen welke uit onderzoek als toepasbaar zijn gebleken op het slachthuis en/of commercieel beschikbaar zijn.
 - Middellange termijn: systemen waarvan uit onderzoek naar voren komt dat een of meer dierindicatoren gemeten kunnen worden met sensortechnologie, maar nog niet is toegepast op het slachthuis (bij deze diersoort). Meer onderzoek is nodig naar daadwerkelijke toepassing in commerciële slachthuizen.



Figuur 2 Mogelijkheden op het pluimveeslachthuis voor sensortechnologie voor het meten van indicatoren voor dierenwelzijn, op korte termijn en middellange termijn .



Figuur 3 Mogelijkheden op het rundveeslachthuis voor sensortechnologie voor het meten van indicatoren voor dierenwelzijn, op korte termijn en middellange termijn.



Figuur 4 Mogelijkheden op het varkensslachthuis voor sensortechnologie voor het meten van indicatoren voor dierenwelzijn, op korte termijn en middellange termijn.

- Op de korte termijn liggen de mogelijkheden met name bij toepassingen met betrekking welzijn van pluimvee en varkens. Sensortechnologie in combinatie met AI kan door het slachthuis gebruikt worden om dierenwelzijn te monitoren en waar nodig verbeteringen door te voeren of een terugkoppeling te geven aan de veehouder.
- Op de middellange termijn liggen de mogelijkheden met name in het automatisch meten van vocalisaties als tekenen van pijn, angst en stress tijdens het slachtproces. Daarnaast bieden toepassingen met betrekking tot het welzijn van rundvee op het slachthuis mogelijkheden.

Kansen

- Een sensor meet constant en nauwkeuriger dan een mens
- Sensoren zijn relatief goedkoop en simpel
- Een sensor meet gestandaardiseerd en objectief
- Combinatie van sensoren of metingen mogelijk
- Vastgelegde data kunnen (automatisch) geanalyseerd worden
- Geen direct contact met dieren of karkas nodig
- Dierindicatoren van groepen dieren kunnen gemeten worden
- Geen extra stressor
- Mogelijk positief effect op gedrag personeel slachthuis

Datum

20-10-2022

Onze referentie

TRCVWA/2022/8645

Beperkingen

- Software kan duur zijn
- Innovatieve oplossingen data opslag en verwerking noodzakelijk
- Ontwikkeling (trainen algoritme) vereist ruime voorbereiding
- Maatwerk per locatie is nodig
- Nog geen afspraken over validatie in de wetenschap of binnen de overheid
- Kwaliteit van de gouden standaard (validatie gebruikte dierindicatoren)
- Locatie van de sensor, niet alles kan geregistreerd worden
- Verstoring van opnames door wisselende lichtomstandigheden, vuil of stof
- Een toepassing van sensortechnologie in combinatie met AI meet maar een aspect
- Sensortechnologie in combinatie met AI vult geen normen in, grenswaarden en indeling moeten separaat bepaald worden
- Regels (AVG) over privacy medewerkers slachthuis

Mogelijkheden en randvoorwaarden gebruik sensortechnologie en AI door de NVWA

- Sensortechnologie in combinatie met AI biedt mogelijkheden in ondersteuning van het werk van de NVWA:
 - Voor de verzameling en geautomatiseerde analyse van data (monitoren dierenwelzijnsrisico's).
 - Bij het richten van het toezicht.
 - De toezichthouder (mens) kan zich focussen op de zaken die niet door het systeem van sensortechnologie in combinatie met AI worden gemeten of op de door het systeem geconstateerde afwijkingen.
 - Data van de al commercieel beschikbare en aanwezige systemen in de slachthuizen zouden (anoniem) gebruikt kunnen worden voor het in beeld brengen van de prevalentie van verschillende welzijnsconsequenties zoals gebroken vleugels, blauwe plekken en huidbeschadigingen bij pluimvee.
 - Indien voldaan aan de criteria zou sensortechnologie in combinatie met AI bijvoorbeeld onderdeel van tweedelijns toezicht door de NVWA en/of onderdeel van een erkend kwaliteitssysteem kunnen zijn.
- Sensortechnologie in combinatie met AI kan bijdragen aan het effectiever en efficiënter maken van het toezicht door de NVWA. Op korte termijn wordt dat lastig gemaakt om verschillende redenen:

- Controles op het slachthuis moeten volgens de Europese controleverordening (CoVo) (Verordening (EU) 2017/625)⁶ worden uitgevoerd door een officiële dierenarts of onder toezicht van de officiële dierenarts
- Een systeem van sensortechnologie in combinatie met AI meet vaak maar één of enkele afwijkingen, voor constateren van overige afwijkingen zal nog steeds een toezichthouder aanwezig moeten zijn
- Op dit moment is er nog geen wettelijke basis voor de inzet van cameratoezicht en sensortechnologie in combinatie met AI op slachthuizen en is regulier cameratoezicht op vrijwillige basis ingevoerd bij de (middel)grote slachthuizen.
- Voor het gebruik van sensortechnologie met AI in de handhaving moet deze wettelijke norm meetbaar zijn, een gesloten norm, ook wel kwantitatief doelvoorschrift. Veel wet- en regelgeving met betrekking tot dierenwelzijn bestaat echter uit kwalitatieve doelvoorschriften, ook wel open normen genoemd.
- Bestaande systemen en data zijn geen eigendom van de NVWA. Voor het gebruik van de data is de NVWA op dit moment afhankelijk van medewerking van de slachthuizen (een uitzondering zijn de wettelijk verplichte data over voetzoollaesiescores).
- Het ontwikkelen van een getraind en goed functionerend systeem in combinatie met AI en daarbij het opstellen en controleren van algoritmen en externe validatie kost veel tijd.
- De meeste toegepaste commerciële systemen zijn (nog) niet extern gevalideerd⁷.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Sensortechnologie en BuRO

- Sensortechnologie in combinatie met AI is één van de speerpunten van BuRO voor de komende jaren en richt zich op, zowel het vergroten van het kennisnetwerk en de kennis over relevante AI en machine learning toepassingen en het (laten) ontwikkelen en valideren van algoritmes. In samenwerking met andere NVWA-afdelingen zullen ook concrete experimenten of POC's (Proof of Concept) in gang worden gezet op het gebied van sensordata, AI en dierenwelzijn met als doel kennis te ontwikkelen om structureel data van slachthuizen te kunnen benutten voor bijvoorbeeld benchmarking en/of het in beeld brengen van risico's op het slachthuis, tijdens transport of op het primaire bedrijf.

⁶ VERORDENING (EU) 2017/625 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 15 maart 2017 betreffende officiële controles en andere officiële activiteiten die worden uitgevoerd om de toepassing van de levensmiddelen- en diervoederwetgeving en van de voorschriften inzake diergezondheid, dierenwelzijn, plantgezondheid en gewasbeschermingsmiddelen te waarborgen, tot wijziging van de Verordeningen (EG) nr. 999/2001, (EG) nr. 396/2005, (EG) nr. 1069/2009, (EG) nr. 1107/2009, (EU) nr. 1151/2012, (EU) nr. 652/2014, (EU) 2016/429 en (EU) 2016/2031 van het Europees Parlement en de Raad, de Verordeningen (EG) nr. 1/2005 en (EG) nr. 1099/2009 van de Raad en de Richtlijnen 98/58/EG, 1999/74/EG, 2007/43/EG, 2008/119/EG en 2008/120/EG van de Raad, en tot intrekking van de Verordeningen (EG) nr. 854/2004 en (EG) nr. 882/2004 van het Europees Parlement en de Raad, de Richtlijnen 89/608/EEG, 89/662/EEG, 90/425/EEG, 91/496/EEG, 96/23/EG, 96/93/EG en 97/78/EG van de Raad en Besluit 92/438/EEG van de Raad (verordening officiële controles), OJ L95, 7.4.2017, p. 1–142

⁷ Meyn Footpad Inspection System en het Duitse systeem voor oor- en staartlaesies bij varkens van CLK GmbH bijvoorbeeld wel

Conclusie

Sensortechnologie op het slachthuis voor het meten van dierenwelzijn biedt veel kansen. Technologisch is er al veel mogelijk. Er zijn al verschillende toepassingen op het slachthuis commercieel beschikbaar of toegepast in onderzoek. Op basis van gepubliceerde onderzoeken lijken de mogelijkheden voor het automatisch vastleggen van dierindicatoren op het slachthuis op dit moment vooral te liggen bij beeldanalyse ten behoeve van afwijkingen aan het karkas of bij metingen aan groepen dieren zoals afwijkende bewegingen tijdens het lossen, agressief gedrag of verspreiding van dieren over de ruimte in relatie tot hittestress. Ook het meten van vocalisaties als teken van stress in bijvoorbeeld de wachtruimte, tijdens het opdrijven of het verdoven biedt mogelijkheden. Dit sluit aan bij de grootst geschatte risico's voor dierenwelzijn.

Sensortechnologie in combinatie met AI zal naar verwachting op de korte en middellange termijn voor de NVWA **nog niet** als vervanging gebruikt kunnen worden in de handhaving. Dit komt door het ontbreken van een wettelijke verplichting, het feit dat nog niet alle data van de slachthuizen kunnen worden benut en de bestaande systemen nog niet extern zijn gevalideerd. Bovendien is er voor dierenwelzijn vaak sprake van een open norm en dus geen vastgestelde doelwaarde beschikbaar.

Binnen enkele jaren kan sensortechnologie wel indirect een bijdrage leveren aan effectiever toezicht door de verzameling van data te benutten voor risicogericht toezicht. Door constante informatie- en dataverzameling kan een beter beeld worden verkregen over het voorkomen van bepaalde welzijnsconsequenties en worden zo de welzijnsrisico's beter in beeld gebracht. Deze informatie kan gebruikt worden bij het richten van het toezicht. Echter moet de verzamelde data dan wel beschikbaar zijn voor de NVWA.

Advies

- 1 Inventariseer hoe slachthuizen die reeds dierenwelzijn meten of monitoren met behulp van sensortechnologie en/of AI, hoe zij met behulp van deze systemen de dierenwelzijnsrisico's bepalen en hoe het dierenwelzijn geborgd wordt.
- 2 Zet in op het verder stimuleren van de slachthuizen voor het gebruik van extern en onafhankelijke gevalideerde sensortechnologie en AI om de borging van dierenwelzijn te meten en te verbeteren.
- 3 Zet bij de samenwerking met slachthuizen in op de in dit advies genoemde mogelijkheden voor de inzet van sensortechnologie en AI en andere kansrijke initiatieven voor het verbeteren van dierenwelzijn.
- 4 Communiceer in het kader van verwachtingsmanagement dat de inzet van sensortechnologie in combinatie met AI op het slachthuis voor dierenwelzijn op korte termijn niet tot grotere effectiviteit en efficiëntie in de handhaving zal zorgen, maar dat het vooral zal draaien om het opdoen van ervaring en beter inzicht krijgen in de haalbaarheid, kansen en beperkingen van deze systemen.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- 5 Investeer in internationale samenwerking met toezichthouders, risicobeoordelingsautoriteiten op het gebied van dierenwelzijn en de European Food Safety Authority, om criteria te ontwikkelen voor het gebruik van sensortechnologie en AI bij het keuren en in het toezicht op dierenwelzijn.
- 6 Zet, samen met beleid, de ontwikkelde kennis in om benchmarks en mogelijk normen te ontwikkelen voor dierenwelzijn, op basis van sensortechnologie in combinatie met AI. Onderzoek daarbij ook de mogelijke aanpassing van wet- en regelgeving met betrekking tot dit onderwerp.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum

20-10-2022

Onze referentie

TRCVWA/2022/8645

Hoogachtend,

*Bureau Risicobeoordeling & onderzoek
Prof. Dr. Antoon Opperhuizen*

Onderbouwing

1. Dierenwelzijn en de NVWA

1.1. Welzijn in de keten

Met betrekking tot het beoordelen van dierenwelzijn zijn er drie fases te onderscheiden: 1) Primair bedrijf, 2) Transport en 3) Slachthuis. Binnen deze fases zijn er verschillende onderdelen waarbij het dierenwelzijn te beoordelen is.

De veehouder, transporteur en slachthuismedewerkers zijn primair verantwoordelijk voor het welzijn van de dieren. De NVWA houdt toezicht op het welzijn op basis van de geldende wet- en regelgeving. Onderdelen zijn huisvesting, water en voer, gezondheid van de dieren op het primaire bedrijf, welzijn tijdens transport, bij aankomst op het slachthuis, in de wachtruimte, tijdens het fixeren en bedwelmen en tijdens het verbloeden van de dieren. Een schematische weergave hiervan is te zien in de onderstaande figuren.

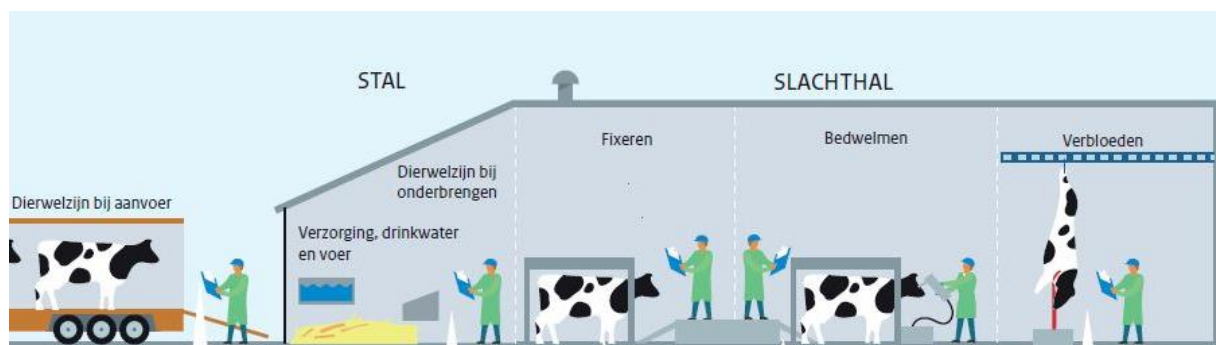
Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum

20-10-2022

Onze referentie

TRCVWA/2022/8645



Figuur 5 Toezicht NVWA op dierenwelzijn op het slachthuis in de roodvleesketen



Figuur 6 Toezicht NVWA in de pluimveeketen (primair bedrijf, transport en slachthuis)

1.2. Toezicht en keuren NVWA op het slachthuis

In 2019 waren er in Nederland 199 slachthuizen (NVWA, 2020a). Op deze slachthuizen worden per jaar rond de 624,7 miljoen dieren geslacht, waarvan pluimvee verreweg de grootste groep dieren is (606 miljoen dieren in 2020), gevolgd door varkens (15,9 miljoen dieren in 2020) en vleeskalveren (1,5 miljoen dieren in 2020)⁸. In 2020 waren er 20 roodvleesslachthuizen met permanent toezicht (90% van geslachte varkens, runderen, kalveren, schapen, geiten en paarden) en 18 grote pluimveeslachthuizen (99% van geslacht pluimvee) (NVWA, 2021a).

Bij aankomst op het slachthuis worden alle dieren (individueel of op koppelniveau) door een NVWA-dierenarts AM (ante mortem) gekeurd. Het verdere toezicht op het slachthuis is mede afhankelijk van het aantal geslachte dieren per week, het aantal geslachte dieren per uur en de diergroep. Er kan sprake zijn van permanent toezicht, maandelijks of wekelijks toezicht. Zie bijlage 2 voor een verdere toelichting. De post mortem (PM) keuring wordt door Kwaliteitskeuring Dierlijke Sector (KDS) gedaan onder toezicht van de NVWA. Door de hoge snelheid van het slachtproces is er tijdens de keuring met name bij pluimvee zeer weinig tijd per dier/karkas beschikbaar. Bij vleeskuikens komen er aan de slachtlijn voor de PM-keuring meer dan 3 kuikens per seconde voorbij (Jørgensen, 2018). Belangrijke onderdelen voor voedselveiligheid zijn onder andere hygiëne, afwijkingen aan het

⁸ Beantwoording schriftelijke vragen bij de Slotwet van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Diergezondheidsfonds (35830-XIV, nr. 4).

karkas en zieke dieren. Dit wordt beoordeeld tijdens de AM- en PM-keuring en tijdens het verdere toezicht op het slachthuis. Voor dierenwelzijn zijn de omgang met de dieren, het dodingsproces en de conditie van de dieren relevante parameters. Deze worden met name gezien tijdens de AM-keuring en tijdens het verdere toezicht op het slachthuis (NVWA, 2021b). Een volledig overzicht van het toezicht door de NVWA op pluimveeslachthuizen is bijlage 3.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Voor de NVWA is het moeilijk om voldoende toezichthoudende dierenartsen in dienst te krijgen. Er staan doorlopend vacatures open en er wordt gebruikt gemaakt van practitioners (praktiserende dierenartsen die in een gezagsverhouding officiële taken uitvoeren). Ook worden er dierenartsen vanuit andere EU-landen geworven (Bergevoet et al., 2020). De beschikbare dierenartsen moeten dus zo efficiënt mogelijk worden ingezet. Daarnaast is uniformiteit in handhaving en toezicht belangrijk.

1.3. Risico's dierenwelzijn

Voor de meest effectieve inzet van sensortechnologie is het van belang te kijken naar de grootste risico's voor dierenwelzijn welke meetbaar zijn op het slachthuis.

1.3.1. Risicobeoordelingen door BuRO

BuRO heeft in de afgelopen jaren verschillende risicobeoordelingen van productieketens gedaan, waarbij landbouwhuisdieren onderdeel van de keten waren. In deze ketenbeoordelingen worden de risico's beoordeeld in de vele schakels van de productieketen vanaf het dier op de boerderij tot het product op het bord van de consument. De internationale wetenschappelijke literatuur over voedselveiligheid en dierenwelzijn is hiervoor verzameld, de relevantie ervan voor de Nederlandse productieketen afgewogen en de risico's – tot zover mogelijk – beoordeeld. In 2015 is als eerste de risicobeoordeling van de roodvleesketen uitgebracht (BuRO, 2015), gevolgd door die van de zuivelketen in 2017 (BuRO, 2017), die van de pluimveevleesketen en de eierketen in 2018 (BuRO, 2018a;2018b). In 2022 wordt aan de roodvleesketen 2.0 gewerkt.

1.3.2. Risicobeoordelingsmethodiek

De risicobeoordelingen uitgevoerd door BuRO⁹ zijn gebaseerd op de beoordelingsmethodiek van EFSA (EFSA, 2009;2012a;2012e). EFSA's methodiek is in lijn met de "Food Code" (Codex Alimentarius) (FAO/WHO, 1995) en Verordening (EG) 178/2002¹⁰. De risicobeoordeling bestaat uit de volgende stappen:

1. Gevareninventarisatie: de bedreigingen voor het dierenwelzijn die door experts uit wetenschap en praktijk zijn benoemd en in de internationale wetenschappelijke literatuur zijn beschreven,

⁹ De methodiek rondom het beoordelen van risico's is in ontwikkeling. De verschillende risicobeoordelingen zijn niet op eenzelfde manier uitgevoerd. In de beoordelingen zijn de risico's meegenomen die op dat moment met de toegepaste werkwijze als hoogste zijn aangemerkt. Door de verschillende aanpak kunnen de verschillende risicobeoordelingen niet volledig onderling vergeleken worden.

¹⁰ Verordening (EG) nr. 178/2002 van het Europees Parlement en de Raad van 28 januari 2002 tot vaststelling van de algemene beginselen en voorschriften van de levensmiddelenwetgeving, tot oprichting van een Europese Autoriteit voor voedselveiligheid en tot vaststelling van procedures voor voedselveiligheidsaangelegenheden. PB L 31, 1.2.2002, p. 1-24.

2. Gevarenkarakterisatie: de relevantie (welzijnsimpact) bestaande uit ernst en duur van welzijnsconsequenties, die ontstaan als gevolg van de bedreiging en de prevalentie ervan (1)
3. Blootstellingsschatting: de kans op de bedreigingen, inclusief het aantal dieren dat er hinder van ondervindt. Voor dierenwelzijn omvat dit ook het zich voordoen van omstandigheden, situaties en praktijken die het welzijn van dieren aantasten.
4. Risicokarakterisering: de totale beoordeling van aard en ernst per gevaar samen met de kans/prevalentie ervan in Nederland.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

1.3.3. Bevindingen risico's dierenwelzijn BuRO

Voor een gedetailleerdere beschrijving van de risico's van dierenwelzijn wordt verwezen naar de eerder door BuRO uitgevoerde risicobeoordelingen in de roodvlees-, pluimveevlees-, eier- en zuivelketen. Samengevat liggen op basis van deze risicobeoordelingen, het advies over de evaluatie van de Wet dieren en de risicobrief 2021 (BuRO, 2015;2017;2018a;2018b;2020a;2021) de grootste risico's voor dierenwelzijn op het gebied van voeding, huisvesting en gezondheid. Waarbij welzijnsconsequenties variëren van ziekten en aandoeningen tot beperkte of ongewenste gedragingen door dieren. Terwijl (intensief) gehouden pluimvee vooral hinder lijkt te hebben van aandoeningen en ongewenste gedragingen, lijken zuiveldieren veelal hinder van stofwisselingsproblematiek (bijvoorbeeld pensverzuring, diarree, (slepde) melkziekte) te ondervinden (BuRO, 2021). De meeste welzijnsconsequenties in de primaire fase hebben betrekking op 'goede gezondheid' en dan met name op aanwezigheid van ziekte. Ook wordt een aanzienlijk gedeelte van de welzijnsconsequenties veroorzaakt door 'pijn door management ingrepen'. Welzijnsconsequenties ten aanzien van 'normaal gedrag' komen ook veel voor, met name een beperking in de uitvoering van soortspecifiek gedrag (BuRO, 2020a).

Bij transport naar de slacht speelt een combinatie van onzorgvuldig handelen van (externe) medewerkers bij vangen en laden, onvoldoende voorzorg tijdens transport én ontoereikende uitrusting van transportmiddelen een grote rol. Daarnaast vormt hittestress tijdens transport van vleeskuikens en vleesvarkens een serieus risico gedurende zeer warme periodes (BuRO, 2021).

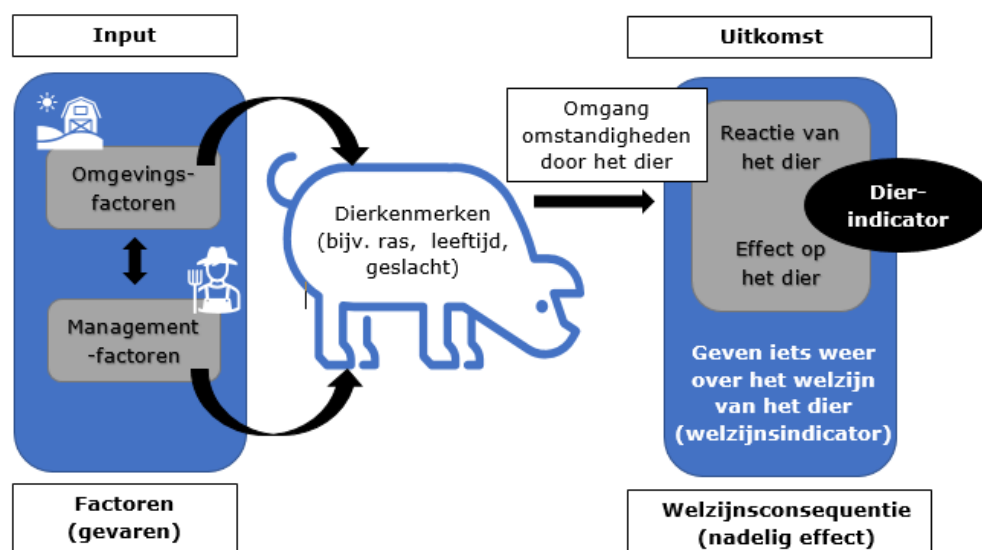
Met name bij pluimvee, inclusief de einde carrière legghen, ondervinden kleine percentages dieren ernstige welzijnsconsequenties als gevolg van het totale complex van "slachten". Het gaat hierbij bijvoorbeeld om inadequate slachtinstallaties, inadequate dodingsprocedures en het niet tijdig ingrijpen bij onjuist gebruik (BuRO, 2021).

2. (Dier)indicatoren op het slachthuis

2.1. Indicatoren van dierenwelzijn

Het welzijn van een dier wordt beïnvloed door de fysieke omgeving en beschikbare bronnen voor het dier zoals bijvoorbeeld de beschikbare ruimte, type huisvesting, bodembedekking, kwaliteit en kwantiteit voer enzovoort. Dit zijn 'resource-based measures' of ook wel de omgevingsfactoren. Ook het management van de veehouder, de management factoren spelen een rol ('management-based

measures’). Bijvoorbeeld hoe vaak het voer wordt verstrekt of het toepassen van pijnstilling. Naast deze factoren spelen kenmerken van het dier zelf zoals leeftijd, ras en geslacht een rol in hoe het dier omgaat met een stressor en hoe het welzijn van het dier wordt beïnvloed. De uitkomst kan zowel een positief als een negatief effect op het dier hebben. In een risicobeoordeling wordt gekeken naar de negatieve gevolgen van deze factoren en wordt ook wel gesproken over “gevaren”. Deze factoren zorgen voor een reactie en effect bij het dier, de welzijnsconsequentie. Dit effect kan aan het dier worden gemeten met een dierindicator (‘animal-based measures’) (EFSA, 2012d). Zie de onderstaande figuur voor een schematische weergave. Op de positieve effecten wordt verder in dit advies niet ingegaan.



Figuur 7 Overzicht van de relatie tussen verschillende factoren van invloed op het welzijn van het dier en de indicatoren. Gebaseerd op EFSA (2012d).

2.2. Dierindicatoren

Bij dierenwelzijn gaat het om de staat van welzijn van het individuele dier. Het effect van een situatie kan daarom het beste gemeten worden aan het dier zelf door middel van dierindicatoren (Velarde & Dalmau, 2012; Maisano et al., 2020). Een dierindicator is een reactie van een dier of een effect van een situatie op een dier dat wordt gebruikt om zijn welzijn te beoordelen. Het kan direct aan het dier worden afgelezen op het veehouderijbedrijf, ante mortem (AM) of post mortem (PM). Voorbeelden van directe indicatoren zijn gedrag, lichaamsconditie of bloedwaarden. Dierindicatoren kunnen ook indirect zijn en het gebruik van diergegevens omvatten zoals sterftepercentages. Een dierindicator kan het gevolg zijn van een specifieke gebeurtenis, bijvoorbeeld een verwonding, of het cumulatieve resultaat zijn van vele dagen, weken of maanden zoals bijvoorbeeld lichaamsconditie of ontwikkeling abnormaal gedrag (EFSA, 2012d;2012c).

De indicatoren kunnen fysiologisch zijn (bijvoorbeeld meten van hormoonspiegels, hartslag of bloedwaarden), morfometrisch (bijvoorbeeld lichaamsgewicht) of worden gemeten aan het gedrag (zoals vocalisaties of verschillende bewegingen) (Losada-Espinosa et al., 2018).

Daarbij moet er rekening worden gehouden dat er meerdere interacties tussen factoren, welzijnsconsequenties en dierindicatoren mogelijk zijn. Er is niet altijd een eenduidige link. Verschillende gevaren kunnen tot dezelfde welzijnsconsequentie leiden, de ene welzijnsindicator kan van invloed zijn op de andere welzijnsindicator (kreupele koeien liggen bijvoorbeeld meer, wat de kans op mastitis vergroot bij onvoldoende hygiëne) of een dierindicator kan een teken zijn van verschillende welzijnsconsequenties. Bij het selecteren van dierindicatoren is het daarom van belang om op de hoogte te zijn van deze interacties om de beste combinatie van indicatoren te selecteren. Dierindicatoren moeten daarom voldoen aan de criteria van validiteit, gevoeligheid, specificiteit en robuustheid. De dierindicator moet een specifieke welzijnsconsequentie kunnen identificeren, herhaalbaar en betrouwbaar zijn. Wanneer dit het geval is dan zijn een combinatie van verschillende dierindicatoren een goede en robuuste manier om dierenwelzijn te beoordelen (EFSA, 2012d;2012c).

Dierindicatoren kunnen gecombineerd worden met omgevings- en managementfactoren om betrouwbaarheid te versterken. Een voorbeeld bij hittestress: een hoge temperatuur en hoge luchtvochtigheid spelen een rol bij het ontstaan van hittestress. Hijgen is een dierindicator voor hittestress. Wanneer een dier hijgt en er is daarnaast sprake van een hoge temperatuur en luchtvochtigheid, dan is het aannemelijk dat het dier hittestress ervaart. Hijgt een dier, maar is de temperatuur en de luchtvochtigheid laag dan kan het hijgen bijvoorbeeld ook door inspanning of ziekte komen.

2.3. Dierindicatoren op het slachthuis

Dierindicatoren op het slachthuis kunnen op verschillende plekken gemeten worden. Bij het uitladen en lossen van de dieren, in de wachtruimte, tijdens het opdrijven, verdoven en doden van het dier en post mortem aan het karkas (Dalmau et al., 2009; Dalmau et al., 2016). Dierindicatoren die op het slachthuis gemeten kunnen worden zijn bijvoorbeeld laesies (zoals huid-, staart-, schouder- of voetzoollaesies), tekenen van ziekte (zoals hoesten, niezen, zware ademhaling, huidontstekingen), pathologie van long, hart, lever, blauwe plekken of locomotie- en bodyconditiescore (BCS) (EFSA, 2012c;2012b; Romero et al., 2020; De Luca et al., 2021). (Grandin, 2010; Losada-Espinosa et al., 2018)

Een dierindicator gemeten op het slachthuis kan iets zeggen over het welzijn van het dier op dat moment in het slachthuis, maar ook over het welzijn in het verleden van het dier op het primaire bedrijf, tijdens transport of een combinatie hiervan (EFSA, 2012d).

2.3.1. Dierenwelzijn primaire bedrijf gemeten op het slachthuis

Sommige indicatoren van dierenwelzijn op het primaire bedrijf zijn makkelijker te meten op het slachthuis dan op het primaire bedrijf. Ze zijn bijvoorbeeld pas zichtbaar tijdens een post mortem inspectie zoals longafwijkingen bij varkens of vleeskalveren. De post mortem inspectie op het slachthuis vormt een strategische plek binnen de keten. Inspectie van karkassen is vanwege voedselveiligheidsredenen wettelijk verplicht en op een slachthuis komen dieren in

grote aantallen van veel verschillende bedrijven samen. Op één plek kan dus het welzijn van dieren van meerdere bedrijven worden beoordeeld, dit kan terug worden gekoppeld naar de veehouder, maar ook gebruikt worden voor epidemiologische studies (Trachtman et al., 2020; De Luca et al., 2021).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Voorbeelden van dierindicatoren gemeten op het slachthuis welke iets zeggen over het welzijn op het primaire bedrijf zijn long-, hart- en leverafwijkingen bij varkens en vermagerde dieren, borstblaren, voetzoollaesies, abcessen, uitdroging of ontstekingen aan organen zoals hart of lever bij vleeskuikens (Welfare Quality®, 2009b; 2009a). Een belangrijk criterium is wel dat deze indicatoren in dit geval niet worden beïnvloed door de condities tijdens het vangen, transport en slachten van de dieren of acuut kunnen ontstaan. Zo worden voetzoollaesies bij vleeskuikens niet beïnvloed door transport, maar blauwe plekken en gebroken botten wel (EFSA, 2012b).

2.3.2. Dierenwelzijn transport gemeten op het slachthuis

Transport is een stressvolle gebeurtenis voor dieren. Deze stress in combinatie met de omgang van dieren door mensen tijdens het uitladen en lossen op het slachthuis kan voor welzijnsconsequenties zorgen. Dit maakt dit een belangrijke plek voor het meten van welzijn op het slachthuis (Dalmau et al., 2009; Dalmau et al., 2010).

2.3.3. Dierenwelzijn slachthuis

Dierenwelzijn gemeten op een plek zegt iets over het welzijn van het dier op dat moment. Om een totaal beeld te krijgen van het dierenwelzijn op het slachthuis moet dit op meerdere plekken in het slachthuis beoordeeld worden (Dalmau et al., 2010). Sommige indicatoren zijn te meten tijdens het lossen, in de wachtruimte, tijdens het opdrijven en/of tijdens het bedwelmings- en dodingsproces. Anderen pas aan het karkas. Per fase zijn verschillende dierindicatoren relevant. In Amerika worden dierindicatoren al sinds langere tijd gebruikt bij audits op dierenwelzijn in het slachthuis in opdracht van grote restaurantketens. Gekeken wordt bijvoorbeeld naar het percentage dieren dat valt tijdens het lossen of opdrijven, percentage dieren dat vocaliseert tijdens het opdrijven of in de verdovingsbox of het percentage dieren dat in een keer goed is verdoofd (Stocchi et al., 2014; Grandin, 2021). Ook in Nederland worden op slachthuizen audits gedaan in opdracht van grote restaurantketens zoals McDonalds om te controleren of de slachthuizen voldoen aan de dierenwelzijnseisen van de ketens (Vion, 2021).

Handelingen door de slachthuismedewerkers, zoals het gebruik van elektrische prikkers zijn ook vaak onderdeel van deze audits (Grandin, 2010). Dit en andere vormen van omgang met de dieren door het slachthuispersoneel zijn factoren die het welzijn van het dier beïnvloeden en kunnen zorgen voor dierenwelzijnsconsequenties als pijn, angst en stress te meten met dierindicatoren zoals vallende dieren en vocalisaties (Losada-Espinosa et al., 2018). Vanwege de focus op dierindicatoren worden handelingen door het slachthuispersoneel niet als een apart onderdeel meegenomen in dit advies, de focus ligt op het dier.

2.3.4. Welfare Quality en te meten dierindicatoren op het slachthuis

Het Europese concept van Welfare Quality is ontwikkeld vanuit het oogpunt om dierenwelzijn in het houderijsysteem te beoordelen en is onderverdeeld in vier principes: voeding, huisvesting, gezondheid en gedrag met de volgende bijbehorende vragen (Botreau et al., 2007):

- Zijn de dieren voldoende gevoerd en voorzien van water?
- Zijn de dieren goed gehuisvest?
- Zijn de dieren gezond?
- Reflecteert het gedrag van de dieren geoptimaliseerde emotionele toestanden?

Deze principes en onderliggende criteria zijn voor verschillende diersoorten uitgewerkt in beoordelingsprotocollen, bijvoorbeeld voor runderen, varkens en pluimvee (Welfare Quality Network, 2019). In deze protocollen wordt het welzijn zoveel mogelijk beoordeeld met behulp van dierindicatoren. Deze dierindicatoren worden gemeten op het primaire bedrijf, maar ook op het slachthuis.

Op basis van recente EFSA rapporten over het welzijn van pluimvee, rundvee en varkens op het slachthuis (EFSA, 2019;2020a;2020b) en Welfare Quality protocollen (Welfare Quality®, 2009c;2009b;2009a) is een inventarisatie gemaakt van dierindicatoren die te meten zijn op het slachthuis en de bijbehorende welzijnsconsequenties. Zie de tabellen in bijlage 4 voor een overzicht.

Samenvattend kunnen de dierindicatoren ingedeeld worden in drie categorieën:

1. Afwijkend stilstaand beeld, bijvoorbeeld pathologie of blauwe plekken
2. Afwijkende bewegend beeld van het dier, bijvoorbeeld kreupelheid, vallen of beweging na verdoven
3. Geluid, bijvoorbeeld vocalisaties

Aspecten van het welzijn op het primaire bedrijf is op het slachthuis het beste te beoordelen aan de hand van verschillende pathologische afwijkingen. Bij pluimvee en varkens zijn deze benoemd door EFSA en Welfare Quality zoals bijvoorbeeld voetzollaesies en hepatitis bij pluimvee of long- en borstvliesontsteking bij varkens. Bij rundvee zijn zulke afwijkingen niet genoemd, maar is dit uiteraard ook mogelijk. Zo kunnen bij vleeskalveren ernstige luchtwegproblemen op het primaire bedrijf tot longschade lijden en is dit aan de slachtlijn te herkennen aan afwijkingen aan de longen en pleuritis (Brcsic et al., 2012; Leruste et al., 2012; Heeres-van der Tol et al., 2017; Wageningen University & Research, 2018). De genoemde dierindicatoren per diersoort in de tabellen in bijlage 4 moeten dus als voorbeelden worden gezien en niet als een uitputtende lijst.

3. Sensortechnologie in combinatie met AI en toepassing in de veehouderij

3.1. Hoe werkt sensortechnologie?

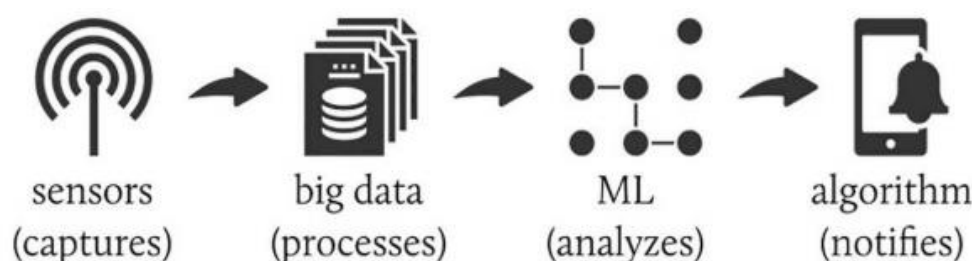
Dankzij de technologische ontwikkelingen van de afgelopen jaren is het mogelijk om data in de veehouderij te genereren door middel van sensoren, zoals camera's, microfoons, snelheidsmeters en thermometers (Rushen et al., 2012; Norton & Berckmans, 2018; Benjamin & Yik, 2019; Van Erp-van der Kooij & Rutter, 2020; Herlin et al., 2021).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

De sensor meet iets in de omgeving of aan het dier. De sensor kan aan het dier bevestigd zijn zoals een oormerk of in de omgeving van het dier zoals een camera. Met behulp van computers en algoritmes kunnen deze data worden verwerkt en geanalyseerd, waaruit waardevolle informatie kan worden gehaald. De data kan vergeleken worden met een doelwaarde en bijvoorbeeld een signaal geven wanneer deze afwijkt van de doelwaarde. Op basis van dit signaal kan er actie worden ondernomen. Dit is een onderdeel van precision livestock farming (PLF) (Rushen et al., 2012; Norton & Berckmans, 2018; Benjamin & Yik, 2019; Van Erp-van der Kooij & Rutter, 2020; Herlin et al., 2021). Zie de onderstaande figuur voor een grafische weergave:



Figuur 8 Grafische weergave van het principe van sensortechnologie in combinatie met AI en precision livestock farming uit Neethirajan (2020). Door middel van sensoren wordt veel data geproduceerd. Deze data wordt geanalyseerd door middel van geavanceerde machine learning (ML) algoritmen en informeert de gebruiker, bijvoorbeeld veehouder, als er iets is abnormaals is.

Voor het primaire bedrijf zijn al veel van deze technieken commercieel beschikbaar zoals stappentellers voor melkvee, een camera die de bodyconditiescore meet of automatische registratie van voeropname (Van Erp-van der Kooij & Rutter, 2020). Meetsystemen gekoppeld aan een individueel dier zoals stappentellers of sensoren in het oormerk zijn niet geschikt voor het meten van dierindicatoren op het slachthuis, onder andere vanwege de grote dieraantallen, het handmatig bevestigen van de sensor aan het dier en de hoge kosten per sensor.

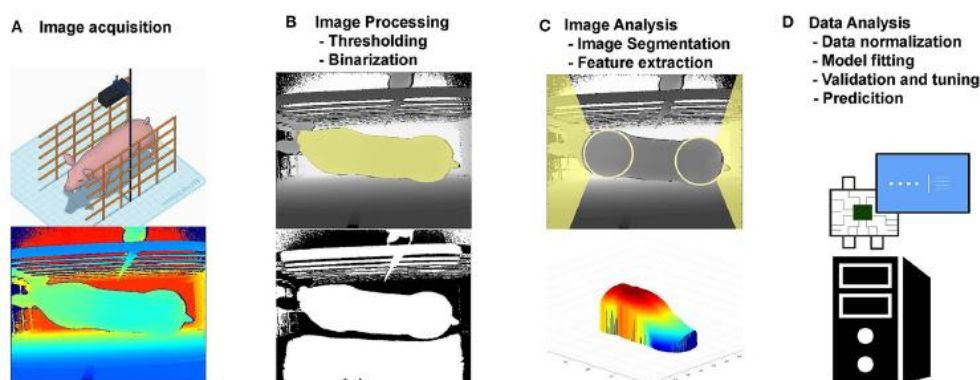
Het aantal publicaties over precision livestock farming is sterk toegenomen in de laatste 20 jaar en dan met name de laatste paar jaren (Rowe et al., 2019; Larsen et al., 2021). Van de wetenschappelijke publicaties over precision livestock en dierenwelzijn bij varkens is 63% bijvoorbeeld gepubliceerd in de afgelopen 5 jaar (Larsen et al., 2021). Bij varkens zijn camera's (49%) en microfoons (18%) de meest gebruikte technologie in het onderzoek naar dierenwelzijn. Het grootste gedeelte van het onderzoek is in de boerderijfase gedaan (Larsen et al., 2021). Ook in pluimvee onderzoek (niet specifiek welzijn) met betrekking tot PLF worden vaak camera's gebruikt (42%) (Rowe et al., 2019). Zowel bij varkens als bij pluimvee hebben de meeste onderzoeken een relatie tot de gezondheid van het dier (Rowe et al., 2019; Larsen et al., 2021). Uit de literatuurréview van Rowe et al. (2019) over precision livestock farming in de pluimveehouderij komt naar voren dat de meeste onderzoeken (96%) over prototypes gaan en slechts 10 papers (3,8%) over commercieel beschikbare systemen.

3.1.1. Automatische beeldanalyse

De inzet van camera's en de analyse ervan is een vorm van sensortechnologie in combinatie met AI. Camera's voor beeldanalyse kunnen verdeeld worden in vier categorieën: 1) Charge Coupled Device (CCD), 2) 2D camera's, 3) 3D ook wel diepte camera's en 4) Thermische infrarood camera's (Nasirahmadi et al., 2017; Benjamin & Yik, 2019; Fernandes et al., 2020; Arulmozhi et al., 2021; Kang et al., 2021).

Voor een computer bestaat een digitale afbeelding uit data die iets zeggen over het licht en de kleur van elk punt in de afbeelding. Dit kan simpel zwart – wit zijn (binaire afbeelding), verschillende tinten grijs (afbeelding in grijstinten), matrices en de intensiteit van rood, groen en blauw bij kleurafbeeldingen of meerdere matrices voor hyperspectraal. Op basis van deze data kunnen studies gedaan worden met wiskundige berekeningen en statistieken en kunnen (machine learning) algoritmen ontwikkeld worden (Fernandes et al., 2020; Arulmozhi et al., 2021).

De verschillende onderdelen van een computer vision systeem zijn uitgelegd in figuur 9.



Figuur 9: Voorbeeld van een computer vision framework uit Fernandes et al. (2020). A: verkrijgen van de beelden, B: Image processing door image thresholding en binarization, C: Image analysis, het identificeren van kop en staart van het varken, van de rug van het varken worden verschillende metingen gedaan. D: deze gegevens worden gebruikt om een voorspellend model te ontwikkelen wat bijvoorbeeld lichaamsgewicht van varkens voorspelt.

De eerste diergelateerde toepassingen van computer vision waren op het gebied van vleeskwiteit zoals vetgehalte of automatisch sorteren van vlees (Fernandes et al., 2020). In de laatste jaren zijn er ook systemen ontwikkeld toegepast op levende dieren en/of gerelateerd aan dierenwelzijn. Een aantal voorbeelden zijn omschreven in hoofdstuk 4. Beeldanalyse kan gebruikt worden om afwijkende beelden of afwijkende bewegingen te detecteren.

3.1.2. Automatische geluidsanalyse

Een microfoon zet geluid om in elektrische signalen die door een computer kunnen worden omgezet en geanalyseerd om akoestische gebeurtenissen te herkennen en in te delen naar indicatoren die bijvoorbeeld op ziekte of stress duiden (Benjamin & Yik, 2019).

Deze analyse bestaat uit meerdere onderdelen. 1) data transformatie, opknippen van de data blokken, 2) detectie van de gebeurtenis, 3) berekening van de kenmerken en 4) classificatie, het indelen van de eerder gelabelde gebeurtenissen op basis van de data. Bij deze analyse kan er worden gekeken naar bijvoorbeeld de frequentie (toonhoogte in Hz), het vermogen (in dB) en duur van het geluid. Een gedeelte van de gebeurtenissen (bijv. schreeuw van een varken of begin en einde van gekakel van hennen) moet eerst handmatig gelabeld worden door een onderzoeker om zo het model te trainen (Vandermeulen et al., 2015; Du et al., 2020).

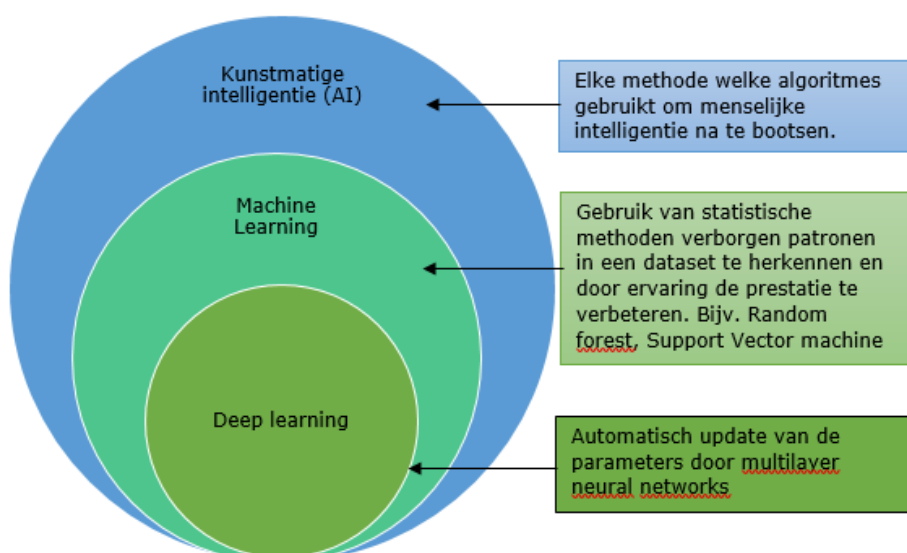
Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

3.1.3. Achterliggende technologie

Met behulp van AI, zoals machine learning en deep learning wordt software ontwikkeld welke menselijke intelligentie simuleren (zie figuur 10 voor een schematische weergave). Menselijke input is nog wel nodig. De mens moet op basis van kennis en ervaring de grenswaarden stellen of de eerste data handmatig labelen. Met behulp van grote datasets met deze voorbeelden kan een algoritme zichzelf programmeren en leert zo van deze voorbeelden. Dit is bijvoorbeeld toegepast in het veld van diagnostische beeldvorming in de humane geneeskunde en wordt in onderzoek ook al gebruikt om afwijkingen bij varkens te constateren. Met behulp van convolutional neural networks (CNNs) worden pathologische aandoeningen toegewezen aan afbeeldingen en verder geclassificeerd met behulp van statistische methoden. Op deze manier wordt het systeem getraind (Benjamin & Yik, 2019; Shimizu & Nakayama, 2020; Trachtman et al., 2020; De Luca et al., 2021).



Figuur 10 Deep learning en machine learning als onderdeel van kunstmatige intelligentie. Gebaseerd op Shimizu & Nakayama (2020).

Er zijn verschillende analysemethoden welke gebruikt worden bij deep learning zoals de eerder genoemde Convolutional neural network (CNN), maar ook Optical Flow (OF), Support vector machine (SVM), Motion History Image (MHI), Linear Discriminant Analysis (LDA), Multilayer feed forward neural network, Modified

angular histogram analysis (MAH), Linear prediction coding (LPC) en Self-organizing feature maps (SOFM). Op de technische details van deze analysemethoden wordt in dit advies niet verder ingegaan.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

3.1.4. Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid

Validatie van een systeem is belangrijk. Hoe goed meet het systeem ten opzichte van de gouden standaard, bijvoorbeeld hoe goed meet een thermische camera de temperatuur in vergelijking met een thermometer (Gómez et al., 2021). Om dit te beoordelen kan er gekeken worden naar de nauwkeurigheid of naar de correlatie, met andere woorden: meet het systeem wat het moet meten (Herlin et al., 2021). De nauwkeurigheid (accuracy) bestaat uit 1) sensitiviteit: de kans dat een positieve uitkomst van het systeem overeenkomt met de daadwerkelijke gebeurtenis en 2) specificiteit: de kans dat bij de afwezigheid van de gebeurtenis geen positieve uitkomst wordt gegeven. Dit wordt vaak in een percentage weergegeven (Rushen et al., 2012; Nasirahmadi et al., 2017; Blömke et al., 2020). Een andere statistische methode om de kwaliteit te meten is het berekenen van de correlatiecoëfficiënt (r) en de determinatiecoëfficiënt (r^2) tussen de werkelijke waarde en de met de sensor gemeten waarde. R^2 laat zien wat het aandeel is van variatie van een bestudeerde grootte (de werkelijke toestand) die kan worden verklaard door een of meer andere variabelen (de sensorsignalen) (Herlin et al., 2021). De r ligt tussen -1 en 1. En de r^2 tussen 0 en 1. Hoe dichter bij 1 (of -1) de r of r^2 des te sterker het verband en des te beter de meetresultaten.

Ook wordt er vaak vergelijking gemaakt tussen de beoordeling van de humane onderzoeker en de toegepaste technologie, de mate van overeenstemming ook wel de betrouwbaarheid (reliability) van het ontwikkelde systeem (Blömke et al., 2020). Er zijn dus meerdere statistische methoden om de kwaliteit van een systeem te bepalen. Echter zijn er tot op heden in de wetenschap geen vaste afspraken of geaccepteerde methode om deze systemen te valideren (Herlin et al., 2021). In Nederland heeft de Algemene Rekenkamer (2021) aanbevolen om rijksbrede afspraken te maken over de kwaliteit en validatie van algoritmes.

Er zijn drie vormen van validatie (Gómez et al., 2021; Stygar et al., 2021):

- 1 Externe zelfvalidatie: het systeem wordt geëvalueerd met behulp van een volledig onafhankelijke dataset met gegevens van dieren die niet gebruikt zijn bij de systeemontwikkeling. Validatie wordt uitgevoerd door een onderzoeker of medewerker betrokken bij de ontwikkeling van het systeem.
- 2 Externe onafhankelijke validatie: het systeem wordt geëvalueerd met behulp van een volledig onafhankelijke dataset met gegevens van dieren die niet gebruikt zijn bij de systeemontwikkeling. Validatie wordt uitgevoerd door een onafhankelijke onderzoeker die niet betrokken is bij de ontwikkeling van het systeem of een relatie heeft met de bedrijf wat eigenaar is van de technologie.
- 3 Interne validatie: het systeem wordt geëvalueerd met behulp van dezelfde dataset als voor technologiebouw. De dataset wordt gesplitst in een test-, training- en validatie dataset.

Van de commercieel beschikbare en gevalideerde PLF-systemen voor varkens was slechts 7% extern gevalideerd en de overige 93% intern gevalideerd (Gómez et al.,

2021). Ook bij melkvee was slechts 14% van commercieel beschikbare en gevalideerde PLF-systemen extern gevalideerd (Stygar et al., 2021).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

4. Voorbeelden sensortechnologie in combinatie met AI en meten van dierindicatoren

Datum
20-10-2022

Op basis van literatuuronderzoek zijn verschillende voorbeelden gevonden met betrekking tot de toepassing van sensortechnologie in combinatie met AI om dierenwelzijn te meten. Daarbij zijn alleen voorbeelden genoemd welke direct zijn toegepast op het slachthuis en/of welke betrekking hebben tot de eerder genoemde dierindicatoren, maar zijn onderzocht in de primaire fase (zie hoofdstuk 2) die te meten zijn op het slachthuis. Het gaat om voorbeelden en is geen volledig overzicht van alle toepassingen van sensortechnologie in combinatie met AI op het slachthuis om dierenwelzijn te meten gebaseerd, er is geen volledig systematisch literatuuronderzoek gedaan.

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

4.1. Sensortechnologie in combinatie met AI en levende dieren op het slachthuis

4.1.1. Bodyconditiescore en afwijkende gewichten

Een lage bodyconditiescore of een afwijkende gewichten in een koppel dieren kunnen een teken zijn van verminderd welzijn op het primaire bedrijf (Welfare Quality®, 2009b; Grandin, 2010; Losada-Espinosa et al., 2018; Maisano et al., 2020). Niet uniforme koppels zijn een relevante parameter voor dieren gehouden voor vlees zoals vleeskuikens, vleesvarkens en vleeskalveren. Een lage bodyconditiescore is met name voor einde carrière dieren zoals melkkoeien en zeugen relevant.

Met name bij varkens maar ook bij runderen zijn veel onderzoeken gedaan naar het automatisch schatten van het gewicht met behulp van een camera en AI (Gómez et al., 2021; Larsen et al., 2021; Silva et al., 2021).

Voor varkens zijn er commercieel ook verschillende systemen beschikbaar (Pezzuolo et al., 2018), zoals apps en een handscanner. Door het maken van een foto met de app wordt aan de hand van een algoritme het gewicht van het varken bepaald (Ymaging, 2015; H+L, 2022; WUGGL, 2022). Andere toepassingen zoals GroStat en eYeGrow bestaan uit een camera die boven het hok hangt en foto's van de varkens maakt om zo het gewicht te bepalen (Fancorn BV, 2022; GroStat, 2022). Ook voor melkvee is er een commercieel systeem beschikbaar om de body conditiescore te bepalen met behulp van een 3D camera (DeLaval, 2015; Stygar et al., 2021). Dit systeem is gevalideerd door Mullins et al. (2019). Het systeem is betrouwbaar voor koeien met een gemiddelde bodyconditiescore (3-3,75), maar minder nauwkeurig voor koeien met een lage of hoge bodyconditiescore. De verwachting van de onderzoekers is wel dat de betrouwbaarheid in de toekomst wordt verbeterd met ontwikkeling van het algoritme en software updates.

Technologisch is het mogelijk om het gewicht van een dier te schatten met behulp van camera's en AI. De vraag is de slachthuizen zullen investeren in deze technieken. Het karkas wordt namelijk al gewogen na het slachten van het dier. Echter is dit wel het karkasgewicht en zijn bijvoorbeeld de organen al verwijderd en

bij runderen ook de kop, huid en is een gedeelte van het vet verwijderd¹¹. Het wegen van de karkassen wordt echter niet gedaan op basis van AI, maar gaat wel automatisch. Een voorbeeld is het systeem ChickSort, individuele pluimveekarkassen worden gewogen en per koppel wordt een overzicht van de gewichten gegeven. Deze informatie kan gekoppeld worden met informatie over andere afwijkingen aan de karkassen zoals gebroken vleugels en blauwe plekken (Foodmate B.V, 2021). Een voordeel van het beoordelen van het gewicht aan het levende dier is dat de toestand, welzijn en gezondheid van het levende dier beoordeeld kan worden en niet achteraf enkel het gewicht.

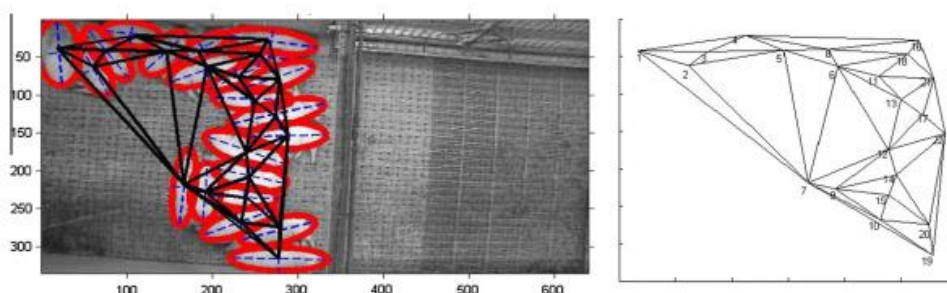
Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

4.1.2. Thermische stress en liggedrag varkens

Het liggedrag van varkens is een dierindicator voor thermische stress. Wanneer de dieren dicht op elkaar liggen is dit een teken van koudestress, wanneer de dieren ver uit elkaar liggen is dit een teken van hittestress (Dalmau et al., 2009; Welfare Quality®, 2009a; EFSA, 2012c; Dalmau et al., 2016; EFSA, 2020a). Shao & Xin (2008) hebben een real-time image processing system gebruikt om beweging en thermisch comfort op basis van rustgedrag bij varkens in groepshuisvesting te identificeren. Het systeem kon in het onderzoek meer dan 90% van de afbeeldingen in de juiste categorie van koud, comfort zone of warm indelen. Ook Nasirahmadi et al. (2015) hebben met behulp van machine vision het liggedrag van varkens bestudeerd. Vanaf de bovenkant van het hok werden beeldopnames gemaakt. Een varken werd geïdentificeerd als een ellipsvorm met een x- en y-as en door middel van gebruik te maken van de The Delaunay Triangulation kan berekend worden hoe dicht de varkens op elkaar liggen, de Mean Value of Perimeters (MVP) (zie Figuur 11). De temperatuur in de ruimte werd gemeten met meerdere temperatuursensoren. De MVP neemt toe met de temperaturen en bij hogere temperaturen lagen de varkens verder bij elkaar vandaan.



Figuur 11: Berekening van de Delaunay triangulation door middel van varkens te identificeren ellipsen uit Nasirahmadi et al. (2015).

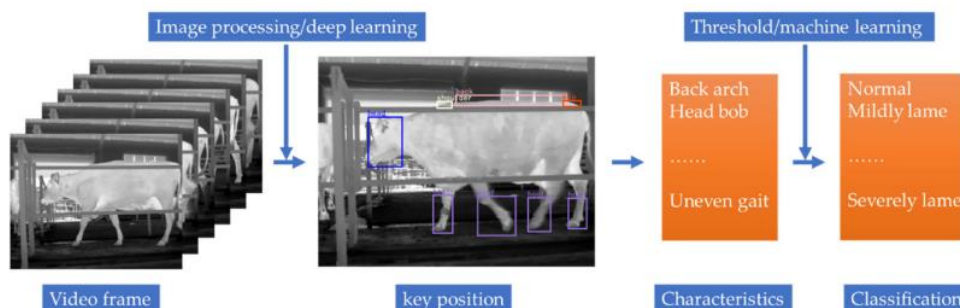
Deze voorbeelden laten zien dat deze technieken mogelijkheden bieden voor het registreren van hitte- of koudestress bij varkens in de wachtruimte op het slachthuis. Deze metingen kunnen versterkt worden door het vastleggen van andere (dier)indicatoren als hijgen en de omgevingstemperatuur.

¹¹ Regeling marktordening vlees, BWBR0034313

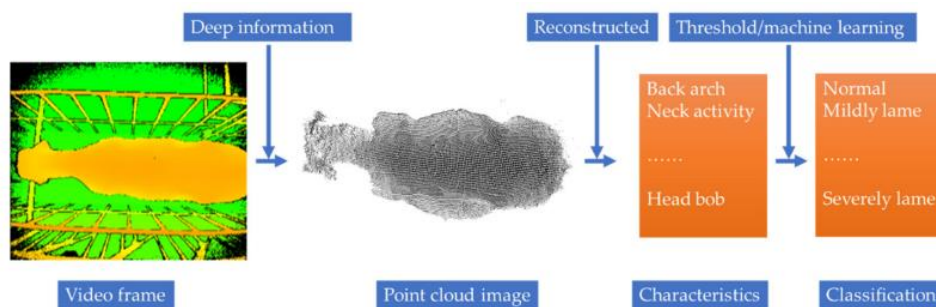
4.1.3. Kreupelheid

Er zijn verschillende krachtplaten en drukgevoelige matten ontwikkeld welke kreupelheid bij bijvoorbeeld varkens en runderen kunnen detecteren (Benjamin & Yik, 2019; Van Erp-van der Kooij & Rutter, 2020; Kang et al., 2021). Bij deze technieken moet het dier echter voor een langere tijd stil staan op de plaat of in een vast tempo over de mat lopen, het dier mag niet rennen, uitglijden of stoppen (Maertens et al., 2011; Meijer et al., 2014; Benjamin & Yik, 2019). Dit maakt deze techniek minder geschikt voor toepassing op het slachthuis.

Kreupelheid bij runderen kan ook vast gelegd worden door middel van computer vision, bijvoorbeeld met een 2D camera, een 3D camera of een thermische infrarood camera. Voorbeelden zijn het proces van computer vision en automatische kreupelheidsscore in de figuren 12 en 13. 2D camera's moeten een opname aan de zijkant van het dier maken en zijn gevoelig voor veranderingen in licht. Het voordeel van een 3D camera of thermische infrarood camera is dat deze camera's meer informatie geven zoals diepte en temperatuur en boven het dier geplaatst kunnen worden waardoor minder ruimte nodig is. Het grootste voordeel van automatische kreupelheidsdetectie met behulp van computer vision is het feit dat de methode relatief goedkoop is en er geen direct contact met de dieren nodig is (Kang et al., 2021).



Figuur 12: Het proces van computer vision en kreupelheidsscore met een 2D camera uit Kang et al. (2021)



Figuur 13: Het proces van computer vision en kreupelheidsscore met een 3D camera uit Kang et al. (2021)

Een voorbeeld van gebruik van camera's om kreupelheid te scoren is het meten van de curve van de rug (Van Hertem et al., 2014; Viazzi et al., 2014a; Van Hertem et

al., 2018; Kang et al., 2021). Van Hertem et al. (2018) hebben deze toepassing onderzocht in een praktijksituatie op een commercieel melkveebedrijf. Na vertrek uit de melkstal werd in een gang een video opname van de koe gemaakt met een 3D camera. De curve van de rug van de koe werd gemeten om kreupelheid te scoren. Slechts bij de helft van de beelden was dit automatisch mogelijk. Uit dit praktijkonderzoek kwam naar voren dat een constante rustige stroom van dieren noodzakelijk is voor een goed werkend systeem. Het implementeren van een uit onderzoek succesvol computer vision systeem onder commerciële omstandigheden zoals op de boerderij blijkt een uitdaging. Vaak worden problemen gezien met de snelle stroom van dieren, meerdere dieren tegelijkertijd, verkeerde positie van de dieren voor de camera, dieren die stoppen of rennen. In deze gevallen kunnen de beelden niet geanalyseerd worden (Van Hertem et al., 2018; Kang et al., 2021). In de proefopzet lopen de dieren rustig een voor een voor de camera. Dit is onder praktijkomstandigheden en ook op het slachthuis niet altijd het geval.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

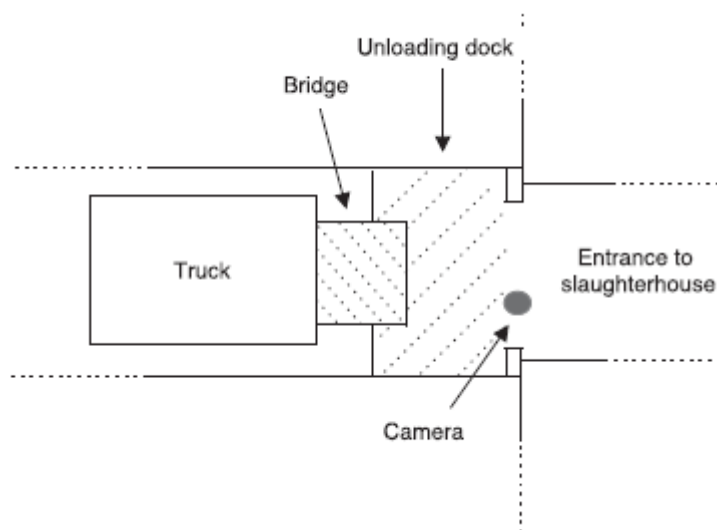
Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Een thermische infrarood camera kan de temperatuur van de klauwen meten, een ontstoken klauw heeft een hogere temperatuur. De opname moet echter van dichtbij worden gemaakt (Kang et al., 2021). Dichtbij opnames maken van de klauw van het dier is niet makkelijk praktisch uitvoerbaar op het slachthuis en daarnaast kan kreupelheid niet alleen veroorzaakt worden door klauwontstekingen, maar bijvoorbeeld ook door botbreuken of ontstekingen op andere plekken dan de klauw.

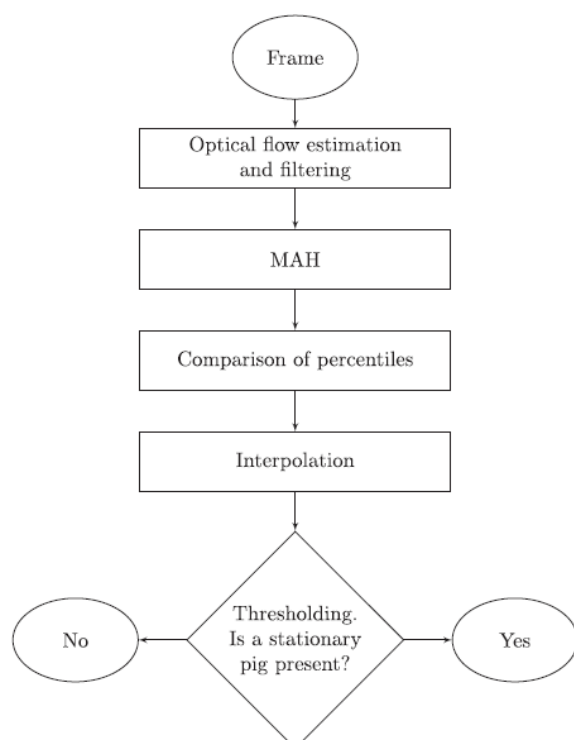
4.1.4. Beweging van varkens

Gronskyte et al. (2015;2016) hebben in Denemarken de bewegingen van varkens tijdens het lossen op een commercieel slachthuis vast gelegd met video en geanalyseerd met een statistische analyse of optical flow. Met de hypothese dat stilstaande dieren een teken zijn van een dier met een verwonding of een obstakel. Ook te snel bewegende dieren kunnen een indicator zijn van stress, de dieren zijn geagiteerd door externe factoren. Er is geen identificatie per dier nodig. In het onderzoek van Gronskyte et al. (2015) is het gebruik van een camera tijdens het lossen van de dieren onderzocht. Geprobeerd is om beweging van de varkens te classificeren. Correctie van de beelden op kleur was nodig in verband met vervuiling van de varkens en de donkere achtergrond. Uit het onderzoek kwam naar voren dat door middel van de zogenaamde "modified angular histogram analyse" (MAH) op de videobeelden het mogelijk is om beweging vast te stellen.

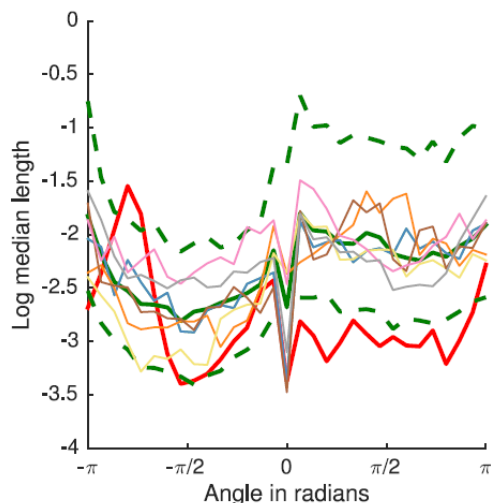


Figuur 14: Opstelling van de camera tijdens het lossen van de dieren op het slachthuis in het onderzoek van Gronskyte et al. (2015).

In het onderzoek van Gronskyte et al. (2016) is verder gekeken naar de mogelijkheden om in deze setting een stilstaand varken te identificeren met behulp van modified angular histograms (MAHs). Zie figuur 15 voor de gebruikte testprocedure. De MAH van een stilstaand varken ligt onder de 25 -75 percentiel van bewegende varkens, zie figuur 16. Deze methode kan ook gebruikt worden om te snel bewegende of te langzaam bewegende varkens te identificeren.



Figuur 15: Test procedure in het onderzoek van Gronskyte et al. (2016).



Figuur 16: Uit Gronskyte et al. (2016) MAH van bewegende varkens: blauwe, oranje, gele, bruine, roze en grijze lijn. De mediaan (groene lijn), 25 en 75 percentiel van bewegende varkens (groene gebroken lijn) en het stilstaande varken (rode lijn)

In Nederland is eind 2020 bij drie varkensslachthuizen van Vion een camerasysteem in combinatie met AI in gebruik genomen. Bij dit softwaresysteem wordt een attentielijst van de camerabeelden met afwijkende patronen, zoals stilstaande dieren, gemaakt. Deze attentielijst wordt dan door de Functionaris voor het Dierenwelzijn gebruikt in de evaluatie van de processen (BeterLeven, 2021a; Dierenbescherming, 2021; Deloitte, 2022). Dit systeem is nog niet extern gevalideerd.

De Dierenbescherming heeft het voornemen om op slachthuizen waar runderen, kalveren, varkens en pluimvee gehouden volgens Beter Leven concept worden geslacht dit softwaresysteem verplicht te stellen. Dit systeem moet nog ontwikkeld worden voor runderen en pluimvee (BeterLeven, 2021d;2021b;2021c). Ook Vion heeft aangegeven dit systeem te willen installeren in al hun slachthuizen voor varkens en rundvee (Vion, 2021).

4.1.5. Agressief gedrag bij varkens

Er zijn meerdere voorbeelden van het gebruik van videobeelden om automatisch agressief gedrag bij varkens te detecteren. Zoals bijvoorbeeld door Viazzi et al. (2014b), Oczak et al. (2014), Nasirahmadi et al. (2016), Lee et al. (2016) en Chen et al. (2019). In alle vijf de onderzoeken worden video opnames gemaakt vanaf de bovenkant van het hok. De eerste drie onderzoeken maken gebruik van een 2D camera, terwijl in de onderzoek van Lee et al. (2016) en Chen et al. (2019) een 3D camera wordt gebruikt. In alle onderzoeken zijn beelden van agressief gedrag (zoals kopstoten, bijten of elkaar achterna zitten) handmatig gelabeld door experts om zo het algoritme te trainen. Nasirahmadi et al. (2016) identificeerden de varkens met behulp van een ellipse fitting algoritme en berekenden de verschillende assen van de ellips (de Euclidian distance tussen 2 punten). Wanneer een varken een ander varken bespringt wordt een afwijkende ellips gevormd en kan zo met behulp van

een algoritme springgedrag automatisch worden geïdentificeerd. Zie de onderstaande figuur voor voorbeelden.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek



Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

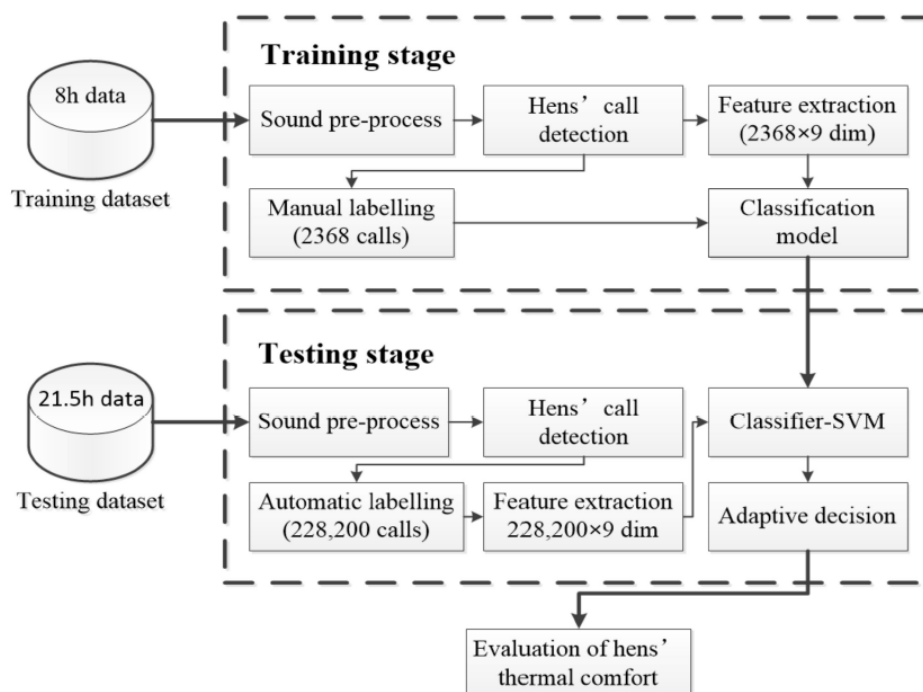
Figuur 17: Bespringen van elkaar (mounting) geeft een afwijkende ellips vorm. Bij bespringen van de achterkant wordt de ellips groter (linker afbeelding), bij bespringen van de zijkant wordt de ellips ook groter (rechter afbeelding) uit Nasirahmadi et al. (2016).

In al deze onderzoeken was sprake van een hoge nauwkeurigheid (89-99,2%), sensitiviteit (86,8-98,2%) en specificiteit (88,6- 96,7%) Deze resultaten bieden mogelijkheden voor het automatisch detecteren van agressief gedrag bij varkens in de wachtruimte op het slachthuis.

4.1.6. Geluidsanalyse en vocalisaties als teken van angst en stress

Relatief simpele microfoons kunnen gebruikt worden om geluid op te nemen en met behulp van een computer te analyseren. Het voordeel van geluidsanalyse is dat de dieren als het ware "voor zichzelf spreken" (Benjamin & Yik, 2019). De vocalisaties zijn gerelateerd aan verschillende emoties en kunnen zo iets zeggen over het welzijn van de het dier (Støier et al., 2011).

Kippen hebben verschillende soorten vocalisaties als tekenen van frustratie, angst en stress zoals gakelen alarmroepen of kreten (Engels: gakeel, alarm of squawk calls). Du et al. (2020) hebben deze vocalisaties gebruikt om hittestress bij leghennen te detecteren. Een sensor werd gebruikt om de temperatuur en de luchtvochtigheid te meten. Met een microfoon werd het geluid in de stal opgenomen. Een gedeelte van de data werd als trainingsset gebruikt en de vocalisaties werden handmatig gescoord. Vervolgens werd het algoritme getraind door middel van classificatie door support vector machines (SVM). Zie figuur 18 voor het proces. Met de toegepaste technologie was het mogelijk om op een automatische manier de verschillende vocalisaties te onderscheiden (sensitiviteit 95,1%). Daarnaast vonden de onderzoekers een significante correlatie squawk calls en de THI (temperature humidity index) ($r=0,60$). In de danger zone (THI 76-81) of emergency zone (THI > 81) maakten de dieren meer squawk calls.



Figuur 18 Stroomdiagram voor de automatische detectie van vocalisaties door leghennen in het onderzoek van Du et al. (2020).

Ook varkens uiten stress door vocalisaties, bijvoorbeeld gillen. In het onderzoek van Schön et al. (2001) was het mogelijk om een onderscheid te maken tussen stress vocalisaties (gillen) en ander geluid zoals achtergrondgeluid en andere vocalisaties. Dit is verder uitgewerkt in een later onderzoek door Schön et al. (2004) door toepassing van het STREMODO systeem (STRESS MONitor en DOcumentatie unit) op een commercieel varkensbedrijf. Vandermeulen et al. (2015) maken gebruik van een andere methode, namelijk classificatie, welke ook rekening houdt met de verschillende kenmerken van de schreeuwen zoals duur, frequentie en volume en het was mogelijk de drempelwaarde aan te passen aan de situatie. Schreeuwen vanwege competitie tijdens voedertijd is waarschijnlijk minder snel gerelateerd aan zeer stressvolle situatie dan op een ander moment. De sensitiviteit (71,8%) en specificiteit (91,4%) in dit onderzoek waren wel lager dan bij de STREMODO methode (sensitiviteit 99,3% en specificiteit 98,6%).

Støier et al. (2011) hebben in Denemarken vocalisaties gemeten in de wachtruimte op het slachthuis. De fragmenten zijn handmatig beluisterd en negen verschillende vocalisaties waren door de onderzoekers te onderscheiden zoals knorren of schreeuwen. Automatische detectie was echter nog geen onderdeel van het onderzoek.

Briefer et al. (2022) hebben vocalisaties van varkens opgenomen onder verschillende omstandigheden (primair bedrijf, tijdens castratie en op het slachthuis). Op het slachthuis is onder andere gemeten tijdens het opdrijven en bij binnenkomst in de restrainer. Het ontwikkelde AI model kan op basis van frequentie

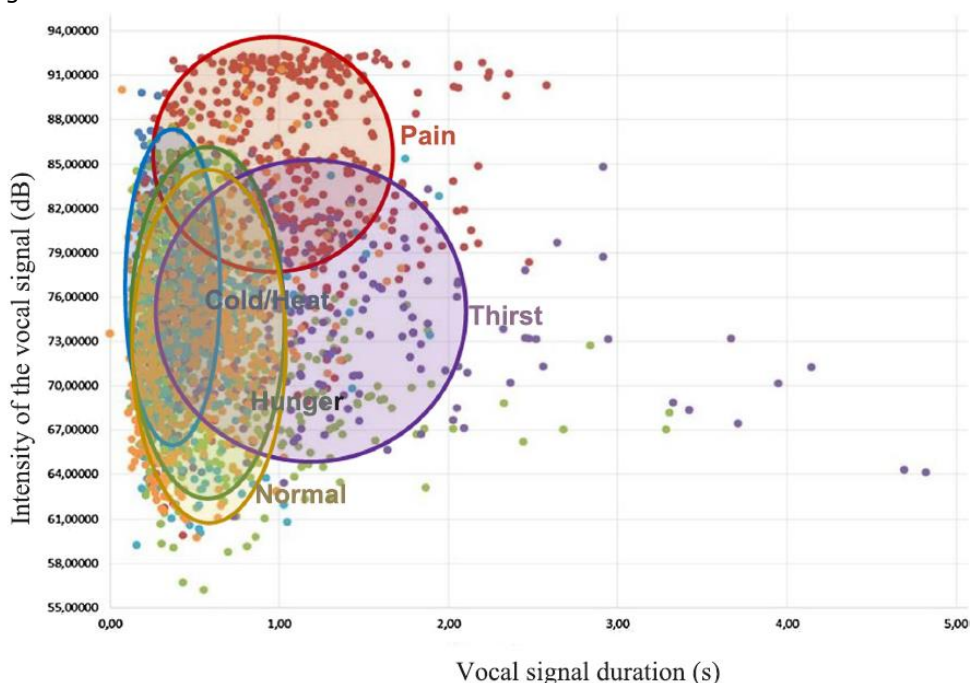
(Hz), amplitude en duur van de vocalisaties een onderscheid maken in vocalisaties gerelateerd aan positieve en negatieve emoties.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Door da Silva et al. (2019) zijn de vocalisaties van biggen onder stressvolle omstandigheden (koude, hitte, pijn, honger en dorst) gemeten met een microfoon en is door middel van algoritmes software ontwikkeld dat op basis van vocalisaties het type stress kan voorspellen. Er is gekeken naar zowel de intensiteit (decibel) als de duur van de vocalisatie. Voor pijn was er sprake van een hoge nauwkeurigheid (98%). Vocalisaties na pijn hebben een hogere intensiteit en een langere duur dan vocalisaties bij honger, dorst, hitte of kou. Zie de onderstaande figuur.

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645



Figuur 19 Intensiteit (dB) en duur (seconden) van vocalisaties na pijn, kou, hitte honger, dorst en onder normale omstandigheden bij biggen. Uit da Silva et al. (2019).

Uit deze onderzoeken komt naar voren dat op het veehouderijbedrijf achtergrondgeluiden geen probleem zijn bij het automatisch detecteren van vocalisaties. Ook op het slachthuis lijkt dit toepasbaar. Aan de hand van de intensiteit en duur kunnen vocalisaties veroorzaakt door pijn worden onderscheiden van andere vocalisaties (maar er blijft overlap met andere vocalisaties). De geluidsanalyse geeft aan dat er sprake is van stress en/of pijn, maar niet wat de oorzaak is van deze stress en/of pijn. Dit zal verder onderzocht moeten worden door bijvoorbeeld camerabeelden te bekijken.

In de verschillende onderzoeken zijn de vocalisaties gemeten in de stal of wachtruimte, maar vocalisaties zouden ook gemeten kunnen worden tijdens het verdoven en doden van de dieren. Op deze manier kunnen stress en tekenen van bewustzijn worden vast gelegd door het uiten van vocalisaties.

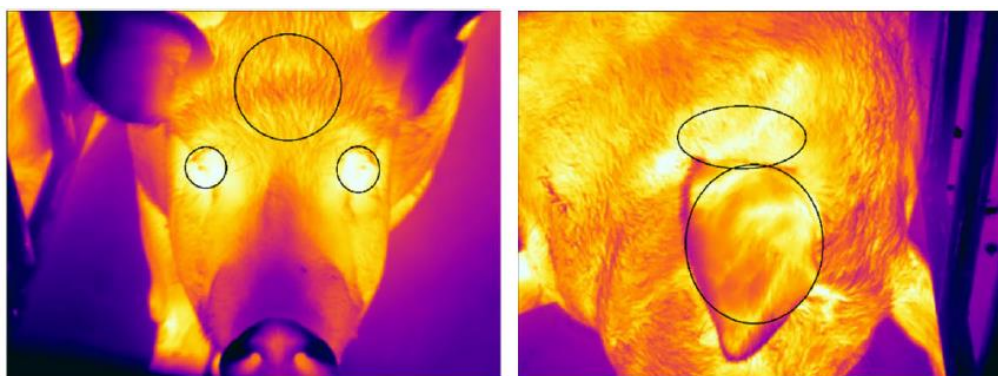
4.1.7. Temperatuur meten met behulp van infrarood

Met infraroodtechnologie kan de huidtemperatuur van een dier worden gemeten. De techniek is gebaseerd op het feit dat elk object op basis van de temperatuur infraroodstraling met een bepaalde golflengte uitzendt. Deze straling kan gemeten worden (Sellier et al., 2014; McManus et al., 2016; Benjamin & Yik, 2019). Er zijn twee type infrarood systemen om temperatuur bij dieren te meten commercieel beschikbaar: een infrarood thermometer en thermische camera's. Met een infrarood thermometer wordt de temperatuur van een bepaald punt gemeten. Bij een thermische camera worden veel punten over een groot oppervlakte gemeten om zo een thermogram te maken (Sellier et al., 2014). Door middel van thermische beeldvorming wordt de radiante warmte door de computer omgezet in een kleurenafbeelding (zie onderstaande afbeelding voor een voorbeeld) (Sellier et al., 2014; Benjamin & Yik, 2019). Het voordeel van deze techniek is dat er geen direct contact nodig is met de dieren, het minder stress oplevert en minder tijd kost (Petry et al., 2017; Zhang et al., 2019; Farrar et al., 2020). Dit biedt kansen voor een toepassing op het slachthuis.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645



Figuur 20 Infrarood thermische afbeeldingen van varkens uit het onderzoek van Feng et al. (2019). De cirkels geven het voorhoofd, ogen, oorbasis en oor aan van het varken.

Uit de reviews van Sellier et al. (2014) en McManus et al. (2016) komt naar voren dat er tientallen onderzoeken zijn gedaan waarbij infrarood camera's zijn gebruikt om de huidtemperatuur bij dieren te meten. In de meeste onderzoeken is de temperatuur van eenzelfde dier op meerdere momenten gemeten en gekeken naar veranderingen in de temperatuur om zo het effect van bijvoorbeeld pijn of stress op huidtemperatuur te onderzoeken, ziekte te detecteren of iets over de reproductie of metabolisme van het dier te zeggen. Als voorbeeld is in het onderzoek van Schaefer et al. (2012) die heeft gemeten dat de oogtemperatuur van kalveren met luchtwegproblemen over een periode van 3 weken gemiddeld hoger is dan bij kalveren zonder luchtwegproblemen. Dit type onderzoeken, waarbij gekeken wordt naar temperatuurverschillen bij eenzelfde dier op verschillende momenten, bieden niet direct toepasbare aanknopingspunten voor het gebruik van infraroodsystemen om temperatuur te meten bij dieren op het slachthuis.

Op het slachthuis is de lichaamstemperatuur van een dier een relevante parameter. De lichaamstemperatuur van een dier is gerelateerd aan de gezondheid, voeding, reproductiestatus, activiteit en stress reactie van het dier. Een afwijkende lichaamstemperatuur kan een teken van ziekte of thermische stress zijn. Koorts is

een teken dat het dier ziek is. De klassieke manier van temperatuur meten bij dieren is het meten van de interne lichaamstemperatuur door middel van een rectale meting. Met infraroodtechnologie wordt de huidtemperatuur gemeten. Huidtemperatuur is niet direct gelijk aan lichaamstemperatuur. De externe factoren hebben een significante impact op de betrouwbaarheid van infraroodtechnologie om de lichaamstemperatuur te meten (Feng et al., 2019; Farrar et al., 2020; Gómez et al., 2021). De huidtemperatuur is afhankelijk de omgevingscondities (zoals omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid en luchtstromen), de bloedtoevoer en de lichaamstemperatuur (kerntemperatuur) van het dier. Er zijn grote verschillen in huidtemperatuur tussen de verschillende lichaamsdelen (zie ook figuur 20). Bij volwassen varkens isoleert de vetlaag, waardoor de huid niet goed de lichaamstemperatuur weergeeft. Plekken zonder vet of haar als isolatie, zoals de oren, geven beter de lichaamstemperatuur weer, deze plekken worden ook wel "thermal windows" genoemd (Sellier et al., 2014; Benjamin & Yik, 2019; Zhang et al., 2019). Voor het vaststellen van koorts bij dieren is het dus van belang dat de gemeten huidtemperatuur goed correleert met de interne lichaamstemperatuur.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Petry et al. (2017) hebben verschillende methoden van temperatuur meten bij 23 zeugen van gemiddeld 30 kg vergeleken na een infectie met *Escherichia coli*: rectaal, een oraal geplaatste digitale temperatuur sensor (interne lichaamstemperatuur) en infraroodbeelden van het oor en oog met een thermische camera. Op 50 centimeter afstand werden meerdere foto's van het oog en het oor genomen. Er was een grote correlatie tussen rectale temperatuur, interne lichaamstemperatuur en oogtemperatuur ($r > 0,96$), de correlatie tussen de oorbasis en rectale temperatuur was matig ($r = 0,57$) en laag met het midden van het oor en de oorpunt ($r = 0,28$ en $r = 0,02$) (Petry et al., 2017).

Ook Farrar et al. (2020) hebben het meten van temperatuur door middel van infraroodtechnologie en rectaal temperatuur vergeleken bij 26 gezonde varkens onder verdoving van 12-15 weken oud en 13 – 20 kg. Foto's van het oog en nek werden op een afstand van 60 tot 81 centimeter gemaakt. De correlatie tussen rectaal temperatuur en nek- of oogtemperatuur was zwak ($r = 0,43$ en $r = 0,36$). Bij lagere lichaamstemperatuur onderschat infraroodtechnologie de temperatuur en bij hogere lichaamstemperatuur overschat infraroodtechnologie.

Feng et al. (2019) hebben bij 99 volwassen zeugen de rectaal temperatuur vergeleken met de huidtemperatuur van verschillende lichaamsdelen gemeten met infrarood thermal imaging. Dit met de intentie om op basis van de gemeten huidtemperatuur met behulp van een model de rectaal temperatuur te voorspellen. De zogenoemde thermal windows, oog en oor, gaven de beste correlaties. De onderzoekers vonden een correlatie van respectievelijk 0,68 en 0,67 tussen rectaal temperatuur en de maximum oortemperatuur en oogtemperatuur. Vervolgens hebben de onderzoekers een model opgesteld dat door infraroodtechnologie gemeten parameters de rectaal temperatuur kan voorspellen. Het ontwikkelde simplified model had een root-mean-square error for prediction (RMSEP) van 0.35 (hoe dichter bij 0, des te beter).

Deze drie onderzoeken zijn een voorbeeld van het feit dat de onderzoeksresultaten in de vergelijking tussen infraroodtechnologie en rectaal meten van temperatuur bij

varkens niet consistent zijn. Ook Farrar et al. (2020) benoemen dat er zeer veel variatie is in de resultaten van gepubliceerde onderzoeken. Daarnaast zijn de eerste twee genoemde onderzoeken bij jonge varkens. Jonge dieren hebben een meer uniforme huidtemperatuur dan oudere en grotere varkens (welke op het slachthuis aanwezig zijn) (Farrar et al., 2020).

Ook bij rundvee werd in het onderzoek van Salles et al. (2016) geen goede correlatie gevonden tussen rectaal temperatuur en de temperatuur gemeten met infrarood technologie van verschillende lichaamsdelen ($r = 0,25 - 0,32$).

Lu et al. (2018) hebben in hun onderzoek wel laten zien dat het bij biggen mogelijk is om automatisch met behulp van thermische infraroodcamera's en algoritmes de oortemperatuur van varkens te meten. Het systeem detecteert automatisch de oren van de biggen en bepaald zo de temperatuur van de oren. Dit laat zien dat het technisch mogelijk is om met behulp van thermische infraroodcamera's de oortemperatuur van varkens automatisch te meten. De vraag blijft echter of de oortemperatuur een betrouwbare weergave is van de interne lichaamstemperatuur bij varkens en zo kan worden ingezet om automatisch varkens met koorts te detecteren op het slachthuis.

Daarnaast worden metingen van infrarood thermometers en camera's beïnvloed door stof, de lokale temperatuur, luchtvochtigheid (Sellier et al., 2014; McManus et al., 2016; Zhang et al., 2019). Deze omstandigheden zijn relevant op het slachthuis

Op basis van deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat er veel verschillende onderzoeken gedaan zijn waarbij infrarood camera's zijn gebruikt om de huidtemperatuur bij dieren te meten en enkele onderzoeken naar de correlatie tussen lichaamstemperatuur gemeten met infraroodtechnologie en lichaamstemperatuur. Er is een (matige) correlatie tussen de thermal windows als oor- en oogtemperatuur en de interne lichaamstemperatuur. Maar deze temperatuur komt niet direct overeen, er is dus een voorspellend model nodig om de interne lichaamstemperatuur te berekenen, zoals gedaan in het onderzoek van Feng et al. (2019). Er zijn echter nog geen gevalideerde en commercieel beschikbare systemen ontwikkeld. Mogelijk is infraroodtechnologie toepasbaar, maar dit onderdeel is nog volop in ontwikkeling.

4.2. Afwijkend beeld van het karkas

Sommige dierindicatoren welke iets zeggen over het welzijn op het primair bedrijf zijn makkelijker te meten op het slachthuis. Ze zijn bijvoorbeeld pas zichtbaar tijdens een post mortem inspectie, er wordt een afwijkend beeld gezien aan het karkas, zoals bijvoorbeeld afwijkingen aan de organen. In deze paragraaf worden een aantal voorbeelden van beeldanalyse aan het karkas op slachthuis besproken.

4.2.1. Voetzoollaesies bij pluimvee

Er zijn verschillende commerciële systemen beschikbaar om voetzoollaesies bij vleeskuikens te scoren, zoals het systeem van Meyn of CLK GmbH (Meyn Food Processing Technology B.V, 2018; CLK GmbH, 2022a). Vleeskuikenhouders met een bezettingsdichtheid categorie 3 (meer dan 39 kg/m² tot en met 42 kg/m²) moeten

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

volgens het Besluit houders van dieren¹² de voetzoollaesie-score bijhouden. Dit wordt op het slachthuis gedaan door een gecertificeerde controleur (per koppel, per stal 100 poten) of door een camerasysteem (RVO.nl, 2020). Voor de monitoring van voetzoollaesies met behulp van een digitaal meetsysteem zijn eisen gesteld in de Regeling houders van dieren¹³:

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Regeling houders van dieren

Artikel 7b.5. Aanvullende normen voor het aanhouden van een bezettingsdichtheid van meer dan 39 kg/m², maar ten hoogste 42 kg/m²

7 Het in het derde lid, onderdeel a, onder 2°, bedoelde digitale meetsysteem voldoet aan de volgende eisen:

- a. het systeem levert een betrouwbare indeling op van de voetzoollaesies in de in het tweede lid genoemde klassen en van de resultaten van de meting overeenkomstig de in het vierde lid, onderdeel b, genoemde formule;
- b. het systeem kan ten behoeve van een betrouwbare indeling worden ingesteld op beoordeling van de poten van de koppels die onder hoogbroei en van de koppels die onder laagbroei zijn verwerkt;
- c. het systeem kan op zodanige wijze worden ingesteld dat de beoordeling van ieder koppel afzonderlijk plaatsvindt;
- d. de in onderdeel a bedoelde gegevens worden ten minste eenmaal per dag opgeleverd;
- e. de beelden van de beoordeelde koppels kunnen worden bewaard.

Bijlage 4. Protocol voor de monitoring van voetzoollaesies aan vleeskuikens in het slachthuis met behulp van een digitaal meetsysteem als bedoeld in artikel 6.5, derde lid, onderdeel a, subonderdeel 2°, van de Regeling houders van dieren

- 1 In het slachthuis is een rapport aanwezig van een onafhankelijke kennisinstelling of instantie, waaruit blijkt dat het digitale meetsysteem zodanig werkt dat de scores een score oplevert die vergelijkbaar is met de score van een visuele beoordeling die aan de hand van de scorekaart is uitgevoerd. In het rapport is een beschrijving door de kennisinstelling of de instantie opgenomen van de wijze waarop dit is vastgesteld.
- 2 Het camerasysteem meet ten minste 70% van de poten van elk koppel.
- 3 De percentages per klasse en de eindscores worden minimaal 1 keer per werkdag door het systeem opgeleverd, door het slachthuis verwerkt en aan de pluimveehouder doorgegeven.
- 4 Het slachthuis treft maatregelen om het digitale meetsysteem en de daarbij gebruikte software te beschermen tegen willekeurige wijzigingen.
- 5 Het slachthuis zorgt ervoor dat het systeem zodanig wordt onderhouden dat het goed blijft functioneren. Indien het systeem gebreken of defecten vertoont meldt het slachthuis dit aan de leverancier of de fabrikant en de betrokken pluimveehouders.

Dit automatisch meten van voetzoollaesies is een voorbeeld van een toepassing van automatisch scoren met behulp van een camera op het slachthuis van een dierindicator welke niet gerelateerd is aan het welzijn op het slachthuis. Immers de

¹² Besluit houders van dieren, BWBR0035217

¹³ Regeling houders van dieren, BWBR0035248

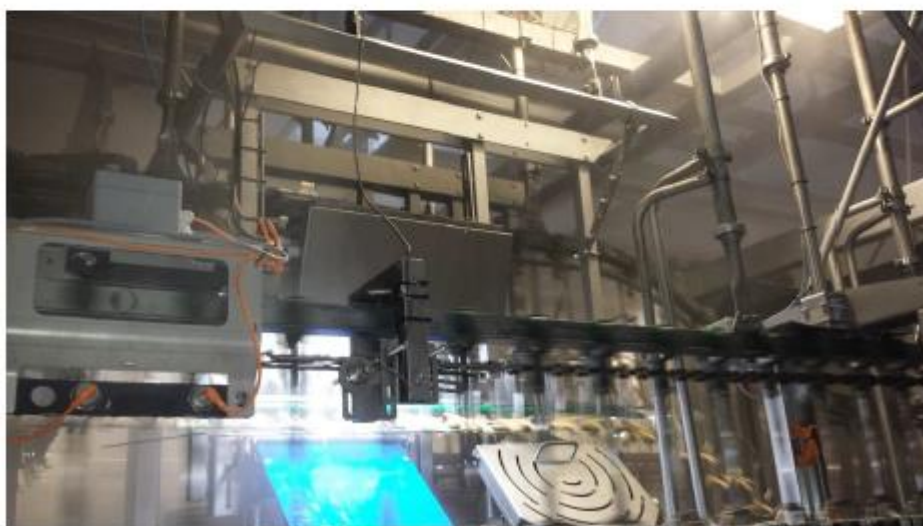
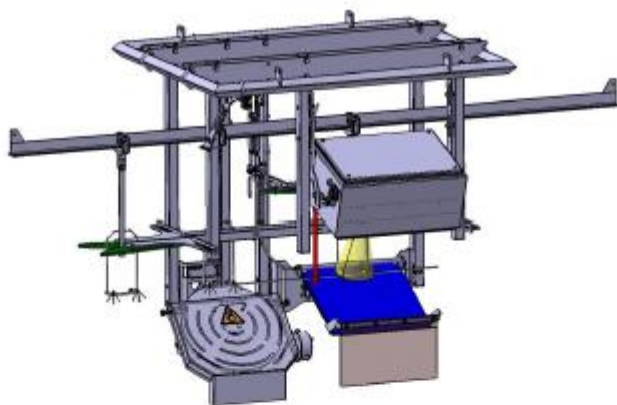
voetzoollaesies ontstaan op het primaire bedrijf, waar het dier allereerst de welzijnsconsequenties ervaart.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Sinds 2013 is het Meyn Footpad Inspection System (a video-imaging system for automatically assessing footpad lesions on broiler chickens at the slaughter line) een toegestane methode om voetzoollaesies bij vleeskuikens te scoren (Van Harn & De Jong, 2017). Zo'n 95% van de voetzolen kan gescoord worden met dit systeem. Voetzoollaesies worden gescoord op een schaal van 0 (geen laesies) tot 2 (ernstige laesies). Doordat het systeem alle voetzolen scoort geeft het een beter beeld van de voetzoollaesies bij een koppel vleeskuikens dan de steekproefsgewijze beoordeling door een controleur. Bij handmatige controle van een koppel van 30.000 vleeskuikens wordt slechts 0,33% van de voetzolen beoordeeld (Van Harn & De Jong, 2017).

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645



Figuur 21: camera set-up van het Meyn Footpad Inspection System in het slachthuis uit Van Harn & De Jong (2017).

In 2017 heeft Wageningen Livestock research het systeem opnieuw gevalideerd (externe onafhankelijke validatie). De resultaten van het meten met de camera en de beoordeling door de onderzoeker zijn vergeleken voor in totaal 18 koppels. In totaal zijn 400 pootparen gescoord door het videosysteem en 100 rechterpoten door de onderzoeker. Voor poten met score 0 was de correlatie (R^2) tussen het

camerasysteem en de onderzoeker 0,99, voor score 1 0,40 en voor score 2 0,95. De camera overschat de lage scores en onderschat de hoge scores licht. Op koppelniveau was de correlatie hoog (0,96). De onderzoekers concluderen op basis van deze beperkte dataset dat het camera systeem goed correleert met dat van de getrainde WLR inspecteur (Van Harn & De Jong, 2017).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Op dit moment wordt het systeem, mogelijk vanwege de kosten, slechts op enkele slachterijen toegepast (Van Harn & De Jong, 2017). Maar de slachterijen hebben aangegeven op termijn allemaal de scores met een camera te willen meten (Pluimveeweb, 2018).

Ook in Duitsland worden sinds 2011 in de grotere pluimveeslachthuizen de conditie van de voetzolen beoordeeld door camera-based monitoring systems. Dit camerasysteem beoordeelt de voetzolen en deelt ze in categorieën in. De resultaten worden gebruikt als kwaliteitsparameter en terug gerapporteerd naar de veehouder (Blömke et al., 2020; Louton et al., 2022).

Louton et al. (2022) hebben het systeem voor het scoren van voetzoollaesies van CLK GmbH onderzocht. Voetzoollaesies werden ingedeeld op een schaal van 0 (geen laesie) tot 3 (diepe laesie groter dan 1cm of meerdere laesies). Voor score 0, 2 en 3 was er sprake van een hoge sensitiviteit (0,87, 0,72 en 0,87 bij de geüpdatete versie van het systeem tijdens de validatiefase). Voor score 1 onvoldoende (0,19). Dit is vergelijkbaar met de resultaten uit het onderzoek van Van Harn & De Jong (2017) bij het systeem van Meyn (Louton et al., 2022).

4.2.2. Commercieel toegepaste systemen op pluimveeslachthuizen

Verschillende bedrijven in de slachthuisindustrie hebben systemen ontwikkeld om in het kader van productkwaliteit automatisch afwijkingen aan het pluimveekarkas te detecteren. Deze informatie is echter ook interessant met betrekking tot dierenwelzijn. Een voorbeeld is het bovengenoemde Meyn Footpad Inspection System, maar er zijn ook systemen welke bijvoorbeeld aangegeven gebroken vleugels, blauwe plekken en huidbeschadigingen te kunnen detecteren of het karkas automatisch wegen (Jørgensen, 2018; Meyn Food Processing Technology B.V, 2019; BAADER Group, 2021; Foodmate B.V, 2021; Marel, 2021; CLK GmbH, 2022a). De detectiepercentages of andere informatie met betrekking tot validatie zijn echter niet openbaar beschikbaar, dus er kan geen uitspraak worden gedaan over de betrouwbaarheid van de verschillende systemen.

4.2.3. Bloeden na steken bij varkens

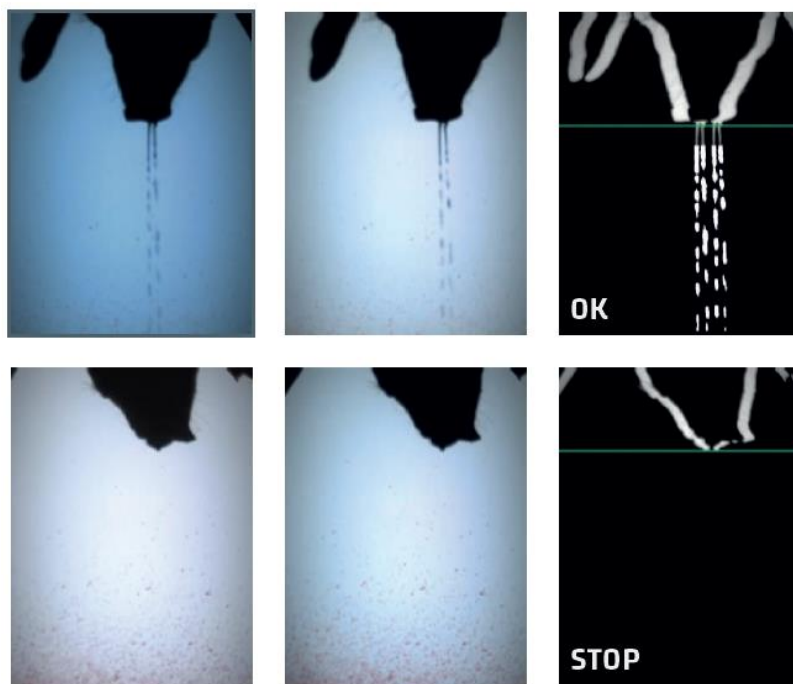
Na het verdoven worden de varkens gestoken om te verbloeden en zo dood te gaan. Wanneer dit steken niet goed gaat, kunnen de varkens na het verdoven weer bij bewustzijn komen en zo bij bewustzijn het slachtproces ingaan. Om het correct verbloeden van varkens te detecteren is in Denemarken een camera-based systeem ontwikkeld: VisStick®. Direct na de plaats van het steken is een camera installatie geplaatst tegen een verlichte achtergrond. Van elk varken worden twee foto's gemaakt, deze worden door de software geanalyseerd om vast te stellen of er bloed van de snuit van het varken stroomt. Indien er geen bloed stroomt gaat er een alarm af (zie figuur 22). In de testfase met 250 niet gestoken varkens tussen 500

geslachte varkens bij 5 testen werd 98-100% van de niet gestoken varkens gedetecteerd. Dit systeem wordt in Denemarken toegepast bij de meeste slachtlijnen bij varkens en ook in meerdere andere Scandinavische slachthuizen (Borggaard et al., 2011; Støier et al., 2016; DMRI, 2021).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645



Figuur 22 Detectie of bloed van de snuit stroomt bij varkens met het VisStick systeem. Bron: DMRI (2021).

Het Duitse CLK GmbH heeft een systeem ontwikkeld waarbij met een thermografische camera het volume van het bloed tijdens het verbloeden wordt gemeten. Dit is gecombineerd met een waarschuwingssysteem (CLK GmbH, 2022c). Vion geeft aan op 4 varkensslachthuizen de karkassen van de varkens te wegen voor en na het verbloeden (Vion, 2021).

Op rundveeslachthuizen zou een vergelijkbare techniek kunnen worden toegepast, zo ver bekend is deze echter nog niet ontwikkeld op dit moment.

4.2.4. Beweging als tekenen van bewustzijn

Als onderdeel van het AI4Animals camerasysteem heeft Deloitte ook een systeem ontwikkeld wat met behulp van een camera en AI tekenen van leven en bewustzijn kan detecteren na het verdoven en verbloeden van varkens en runderen (Deloitte, 2022). Dit systeem is nog niet extern gevalideerd en onbekend is of en op hoeveel slachthuizen in Nederland dit systeem al is toegepast.

4.2.5. Oor- en staartlaesies bij varkens

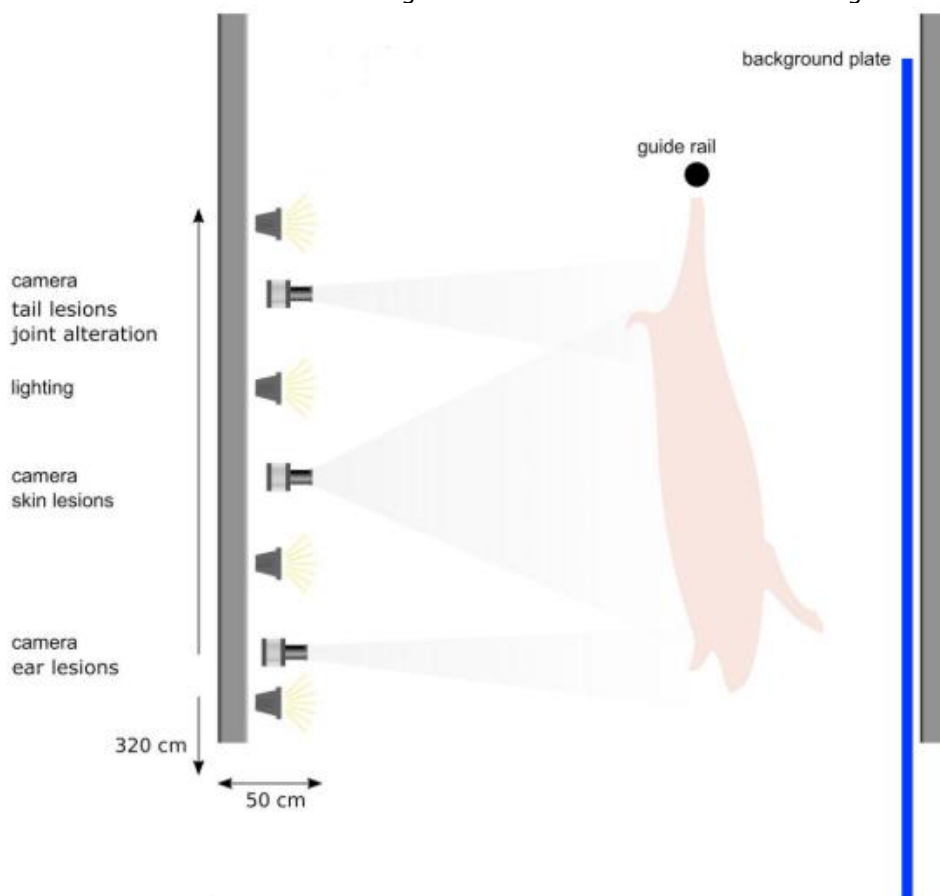
Een ander voorbeeld van het automatisch scoren op het slachthuis van welzijnsconsequenties gerelateerd aan de veehouderij zijn oor- en staartlaesies in het onderzoek van Blömke et al. (2020). In een slachthuis in Duitsland is na het

proces van verbloeden, broeibad, ontharen en schroeien een camera-based systeem geplaatst. Van het hele karkas werden in totaal 5 foto's gemaakt. Een van de achterpoten, een van rug, een van het hoofd en twee van de zijkant. Op de zijkant van de varkens was het slachtnummer getatoeëerd voor identificatie. De camera's waren waterbestendige 2D camera's met 20 LED lampen om de karkassen te verlichten. De camera's waren geïnstalleerd voor een blauwe achtergrond.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645



Figuur 23: camera opzet in het onderzoek van Blömke et al. (2020). Per karkas werden 5 foto's gemaakt.

Door middel van algoritmes in het computersysteem werden eerst de oren en staarten op de foto's geïdentificeerd en daarna werden deze onderdelen gecontroleerd op afwijkingen. Gedurende het traject is het algoritme verbeterd op bijvoorbeeld het uitsluiten van andere oorafwijkingen en kleurafwijkingen van staarten. Het was niet mogelijk om goede foto's te maken als het varken bijvoorbeeld aan 1 been hing of de lens mistig was. Het systeem werd voortdurend verbeterd door middel van feedback van de veterinaire waarnemer en inspecties van random foto's. Vanwege de hoge luchtvochtigheid en schoonmaakwerkzaamheden was het dagelijks bijstellen en aanpassen van de camera's nodig. Voor oorlaesies was de sensitiviteit 77%, specificiteit 96,5% en accuracy 95,4%. Voor staartlaesies was de sensitiviteit 77,8%, specificiteit 99,7% en accuracy 99,5%. De overeenstemming (=betrouwbaarheid van het systeem) tussen de veterinaire waarnemer aan de slachtlijn en de camera was 0,62 voor

oorlaesies en 0,55 voor staartlaesies. Deze lage waardes worden mogelijk beïnvloed door de zeer korte tijd (8 seconden per varken), die de veterinaire waarnemer aan de slachtlijn had om een beoordeling te doen. Door middel van dit onderzoek is het systeem gevalideerd en inmiddels commercieel beschikbaar in Duitsland. Het legt per varken eventuele verdikking van gewrichten, drukplekken, necrose van de staart en rand van het oor en staartlengte vast (CLK GmbH, 2022b).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Ook Brünger et al. (2019) hebben automatisch staartlaesies gescoord op basis van foto's in een slachthuis in Duitsland. Staartlaesies zijn handmatig gescoord op een schaal van 0 tot 3 en totaal verlies van de staart is vast gelegd. Deze gescoorde afbeeldingen zijn vervolgens gebruikt om een neural network te trainen. De resultaten van de automatische beoordeling met behulp van het neural network waren vergelijkbaar met humane observatie (74% overeenstemming voor score van de staartlaesies en 95% overeenstemming voor verlies van de staart).

4.2.6. Staartlengte bij vleesvarkens

De staart is een belangrijk communicatiemiddel voor varkens. Op dit moment worden in Nederland nog veel staarten bij varkens gecoupeerd om schade en pijn door staartbijten te voorkomen. Welk gedeelte van de staart wordt gecoupeerd varieert per bedrijf. Slachthuis Vion geeft aan een systeem te hebben ontwikkeld om staartlengte bij varkens automatisch te meten met behulp van een vision-systeem. Van elk individueel varken wordt de staartlengte gemeten, om zo inzicht te krijgen in de prestaties van het varkensbedrijf. Bedrijven kunnen op deze manier onderling vergeleken worden met als doel dat bedrijven van elkaar kunnen leren en zo varkens met langere staarten te houden (Vion, 2021). Over het systeem is verder geen openbare informatie beschikbaar. Onbekend is dus in welke mate dit systeem al wordt toegepast in Nederland, hoe het systeem precies werkt en op welke manier het systeem gevalideerd is. Het Duitse CLK GmbH heeft ook een systeem ontwikkeld om staartlengte te meten, dit is gevalideerd in het onderzoek van Blömke et al. (2020) (zie paragraaf 4.2.4) (CLK GmbH, 2022b).

4.2.7. Hart- en leverafwijkingen varken

McKenna et al. (2020) hebben een systeem ontwikkeld om automatisch hart- en leverafwijkingen (pericarditis en witte stippen) bij varkens te classificeren. Op basis van foto's gemaakt aan de slachtlijn. De foto's zijn beoordeeld door experts en daarna is met behulp van machine learning het systeem getraind om de regio van het aangetaste orgaan te markeren en zijn de afwijkingen vervolgens geclassificeerd. De beoordeling van het systeem kwam goed overeen met de beoordeling van de experts (0,81 – 0,94). De nauwkeurigheid voor beoordeling door het systeem van de hartafwijking was 0,96 en 0,89 voor leverafwijkingen.

4.2.8. Longafwijkingen varken

Trachtman et al. (2020) hebben een systeem door middel van deep learning getraind om automatisch pleuritis te scoren bij longen van varkens op het slachthuis. Met een smartphone zijn foto's van de borstkas van gehalveerde karkassen gemaakt op verschillende slachthuizen onder verschillende omstandigheden. Vervolgens hebben twee dierenartsen de mate van pleuritis gescoord op een schaal van 0 tot 4. Ook zijn handmatig op de afbeeldingen de

verschillende delen en afwijkingen van de borstkas geannoteerd. Het model was vooral goed in het herkennen van gezonde karkassen score 1 (nauwkeurigheid 96%) en ernstige pleuritis, score 4 (92%). Voor score 2 en 3 was de nauwkeurigheid respectievelijk 70 en 84%. Gemiddeld voor de verschillende scores van pleuritis was dit 85,5%. Bonicelli et al. (2021) hebben met een vergelijkbaar onderzoek laesies als gevolg van enzoötische pneumonie gedetecteerd bij varkens op 3 commerciële slachthuizen. De grootte van de laesie ten opzicht van het longoppervlakte werd vastgelegd. In dit model kwam de indeling gemaakt door het AI-systeem goed overeen met de indeling gemaakt door de dierenartsen.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Deze systemen zijn ontwikkeld door een Italiaanse startup en worden verder ontwikkeld tot een commercieel beschikbaar systeem. Daarnaast wordt er gewerkt aan het herkennen van andere ziektes bij varkens (F4TLab, 2021).

4.2.9. Vleeskleur bij vleeskalveren

Met behulp van een spectrofotometer of chromameter kan de kleur van vlees worden bepaald (Vandoni & Sgoifo Rossi, 2009; Horcada et al., 2013). Een chromameter meet de L*(helderheid), a*(roodheid) en b*(geelheid) (Hulsegge et al., 2001; Vandoni & Sgoifo Rossi, 2009). Deze meters zijn commercieel beschikbaar (Konica Minolta, 2021) en worden op het slachthuis in Nederland gebruikt (BeterLeven, 2021d). De classificatie van vlees bij kalveren wordt in Nederland gedaan door beoordelaars van Kiwa CBS (Kiwa, 2021).

In Nederland wordt de kleur van kalfsvlees ingedeeld op een schaal van 1 tot en met 10 voor blankvleeskalveren en 11 tot en met 13 voor rosékalveren (SBK, 2021). Vleeskleur bij rundvlees wordt gebruikt om de kwaliteit en daarmee de prijs van het karkas te bepalen, maar kan ook gebruikt worden om het welzijn te beoordelen (Vandoni & Sgoifo Rossi, 2009; Horcada et al., 2013). Consumenten willen graag blank kalfsvlees. Bij blankvleeskalveren wordt de voeding laag in ijzer gehouden om zo het hemoglobinegehalte (Hb-gehalte) bij het kalf laag te houden om voor de kenmerkende blanke vleeskleur te zorgen. Echter bij een Hb-gehalte lager dan 4,5 mmol/L is er sprake van (klinische) bloedarmoede (Wageningen University & Research, 2018). Wettelijk gezien moet de voeding van kalveren voldoende ijzer bevatten om een gemiddeld hemoglobinegehalte van ten minste 4,5 mmol/L te bereiken¹⁴. Het gaat hierbij om een koppelgemiddelde.

Klont et al. (1999) hebben in hun onderzoek bij 1764 vleeskalveren op 2 slachthuizen in Nederland aangetoond dat er een relatie is tussen het Hb-gehalte in het bloed en de kleurklasse gescoord door een ervaren beoordelaar van het slachthuis. Een lager Hb-gehalte geeft een lagere kleurscore ($r=0,61$). De correlatie tussen L* gemeten door de chromameter na 45 minuten post mortem en het Hb-gehalte was -0,60 en -0,73 voor de kleurklasse. In dit onderzoek was er bij kleurklasse 2 en 3 sprake van een gemiddeld Hb-gehalte onder de 4,5 mmol/L.

In meerdere onderzoeken is gekeken naar de toepassing van een chromameter voor het bepalen van de vleeskleur bij vleeskalveren onder commerciële omstandigheden op het slachthuis. De kleur van de pectoralis superficialis spier of de rectus

¹⁴ Besluit houders van dieren, BWBR0035217

abdominis spier werd 45-60 minuten post mortem bepaald. Twee onderzoeken gebruikten discriminant analyse op basis van de L* en a* waarde van de chromometer om een indeling te maken op basis van de kleurklassen. Het derde onderzoek heeft op basis van multiple stepwise regression een model gemaakt om de kleurscore te voorspellen. De indeling op vleeskleur met behulp van de chromometer komt in deze onderzoeken voor 50% tot 79% overeen met de indeling door een beoordelaar, afhankelijk van het aantal klassen op de schaal (Hulsegge et al., 2001; Vandoni & Sgoifo Rossi, 2009; Horcada et al., 2013). Daarnaast was in het onderzoek van Hulsegge et al. (2001) bij 41,3% het verschil één klasse. Op basis van deze onderzoeken kan geconcludeerd worden dat het bepalen van de het Hb-gehalte gebaseerd op vleeskleur gemeten met een chromometer geen nauwkeurige afspiegeling geeft, maar wel een indicatie.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

4.3. Samenvatting bevindingen dierindicatoren meten met sensortechnologie

4.3.1. Dierindicatoren gemeten bij levende dieren

De meeste genoemde voorbeelden van sensortechnologie in combinatie met AI met betrekking tot levende dieren betreffen metingen aan groepen dieren. Metingen aan individuele dieren zoals het automatisch scoren van kreupelheid zijn vaak niet praktisch uitvoerbaar op het slachthuis. De mogelijkheden van het automatisch meten van dierindicatoren met behulp van sensortechnologie bij levende dieren op het slachthuis liggen daarom vooral in metingen aan groepen dieren. Met behulp van een camera kunnen afwijkingen aan gedrag in de wachtruimte of tijdens het lossen van de dieren worden vastgelegd. Dit kan gecombineerd worden met geluidsanalyses om vocalisaties als tekenen van stress te detecteren.

Voor de toepassing van infraroodtechnologie voor het detecteren van dieren met koorts op het slachthuis is nog meer onderzoek nodig.

4.3.2. Dierindicatoren gemeten aan het karkas

Sensortechnologie in combinatie met AI biedt ook mogelijkheden voor metingen aan het karkas. De voorbeelden van het automatisch scoren van afwijkingen aan het karkas zoals voetzool-, staart- en oorlaesies en long- en hartafwijkingen laten zien dat het automatisch scoren op basis van beeldanalyse toepasbaar is op het slachthuis. Voor pluimvee zijn deze systemen al commercieel beschikbaar (validatie echter onbekend). Net als systemen bij varkens om verbloeden te herkennen, staart- en oorlaesies of staartlengte te meten. Deze op het slachthuis verkregen informatie biedt ook inzicht in de prevalentie van verschillende welzijnsconsequenties op het primaire bedrijf of tijdens transport (bijvoorbeeld vleugelbreuken).

4.3.3. Mogelijkheden op de korte en middellange termijn

Vormen van sensortechnologie in combinatie met AI welke op korte termijn mogelijkheden bieden zijn systemen welke uit onderzoek als toepasbaar zijn gebleken op het slachthuis en/of commercieel beschikbaar zijn. De mogelijkheden liggen op de korte termijn bij het welzijn van pluimvee en varkens en biedt op dit moment vooral kansen voor het slachthuis zelf. Sensortechnologie in combinatie met AI kan gebruikt worden om dierenwelzijn te monitoren en waar nodig

verbeteringen door te voeren of een terugkoppeling te geven aan de veehouder. Voorbeelden zijn afwijkende beweging van varkens tijdens het lossen, staartlengte en correct verbloeden bij varkens en afwijkingen aan het karkas bij pluimvee en varkens zoals longafwijkingen, verschillende soorten laesies of vleugelbreuken.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Vormen van sensortechnologie in combinatie met AI welke op middellange termijn mogelijkheden bieden zijn systemen waarvan uit onderzoek naar voren komt dat een of meer dierindicatoren gemeten kunnen worden met sensortechnologie, maar nog niet is toegepast op het slachthuis (bij deze diersoort). Meer ontwikkeling is nog nodig en ook een onafhankelijke externe validatie van zowel het systeem als de gemeten dierindicatoren. Voor deze onderwerpen kan onderzoek worden uitgezet bij kennisinstituten. Deze kennisinstituten kunnen onderzoek uitvoeren op het slachthuis. Voorbeelden zijn de afwijkingen aan het karkas bij rundvee, afwijkend gedrag tijdens het lossen van rundvee, vocalisaties als tekenen van pijn en stress tijdens het slachtproces en automatische detectie van hittestress en agressief gedrag bij varkens.

Een overzicht van de mogelijkheden op de korte en middellange termijn staat in tabel 4.

Tabel 2 Mogelijkheden voor het meten van dierenwelzijn met sensortechnologie in combinatie met AI op het slachthuis op de korte en middellange termijn

Techniek	Meting	Meet-moment	Diersoort	Welzijns-risico	Info over fase
Korte termijn					
Beeldanalyse	Afwijkende beweging	Lossen van dieren	Varkens	Onzorgvuldig handelen van dieren	Transport/ Slachthuis
	Body conditie score	Wacht-ruimte	Varkens en rundvee	Gezondheid	Primair bedrijf
	Correct verbloeden	Na het steken	Varkens	Bij bewustzijn slachtproces	Slachthuis
	Beweging als teken van bewustzijn	Na het verdoven	Varkens en rundvee	Bij bewustzijn slachtproces	Slachthuis
	Afwijkingen karkas (bijv. longafwijkingen)	PM-keuring	Varkens	Gezondheid	Primair bedrijf
	Gecoupeerde staarten	PM-keuring	Varkens	Management-ingrepen - couperen	Primair bedrijf

	Afwijkingen karkas (bijv. borstirritaties, voetzollaesies)	PM-keuring	Pluimvee	Beperking natuurlijk gedrag	Primair bedrijf
	Afwijkingen karkas (bijv. vleugelbreuken, blauwe plekken)	PM-keuring	Pluimvee	Gezondheid	Transport
Middellange termijn					
Beeld-analyse	Afwijkende beweging	Lossen van dieren	Rundvee	Onzorgvuldig handelen van dieren	Transport/ Slachthuis
	Liggedrag	Wacht-ruimte	Varkens	Hittestress	Slachthuis
	Agressief gedrag	Wacht-ruimte	Varkens	Angst, pijn, stress, verwonding	Slachthuis
	Correct verbloeden	Na het steken	Rundvee	Bij bewustzijn slachtproces	Slachthuis
	Afwijkingen karkas (bijv. longafwijkingen)	PM-keuring	Rundvee	Gezondheid	Primair bedrijf
	Afwijkingen karkas (bijv. blauwe plekken)	PM-keuring	Varkens en rundvee	Handelingen transport en ongeschikte transport-middelen	Transport
Geluidsanalyse	Vocalisaties	Wacht-ruimte	Pluimvee	Hittestress	Slachthuis
	Vocalisaties	Slachten	Pluimvee, varkens, rundvee	Pijn en stress	Slachthuis

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

5. Gebruik sensortechnologie slachthuis door de NVWA

De toepassing van sensortechnologie op het slachthuis met betrekking tot dierenwelzijn kan voor de NVWA gedaan worden vanuit verschillende perspectieven:

- Handhaving
- Monitoren dierenwelzijnsrisico's
- Efficiëntie (tijdswinst)

Voor het bepalen van de prevalentie van de welzijnsconsequenties en blootstelling aan gevaren ten behoeve van de risicobeoordeling is toegang tot diverse

databronnen nodig. Een waardevolle bron kan de data zijn die door middel van sensortechnologie op de slachthuizen verzameld worden. Data van de al commercieel beschikbare en aanwezige systemen in de slachthuizen zouden (anoniem) gebruikt kunnen worden voor het in beeld brengen van de prevalentie van verschillende welzijnsconsequenties zoals gebroken vleugels, blauwe plekken en huidbeschadigingen bij pluimvee.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Doel van een motie¹⁵ in februari 2020 was de inzet van cameratoezicht op afstand (door de NVWA) als onderdeel van een (kosten)effectiever en efficiënter toezicht op slachthuizen. Op dit moment worden, aanvullend op het reguliere toezicht, camerabeelden op locatie uitgekeken en is er dus sprake van meer inzet van de NVWA. Sensortechnologie in combinatie met AI kunnen bijdragen aan het effectiever en efficiënter maken van het toezicht door de NVWA. Op korte termijn wordt dat lastig gemaakt om verschillende redenen. Voor het gebruik van data verkregen met sensortechnologie op slachthuizen en handhaving door de NVWA spelen meerdere aspecten:

- 1 Wettelijke basis voor toepassing sensortechnologie op slachthuizen en gebruik data
- 2 Impact (hoe groot is het gemeten welzijnsrisico)
- 3 Handhaafbaarheid (is er een norm om te handhaven op de afwijking)
- 4 Validatie

Deze punten worden in de volgende paragrafen besproken. Daarbij moet ook rekening worden gehouden met de kansen en beperkingen van sensortechnologie, zie hoofdstuk 6.

5.1. Wettelijke basis voor toepassing sensortechnologie op slachthuizen en gebruik van data

Op dit moment is er geen wettelijke basis voor de inzet van cameratoezicht en sensortechnologie op slachthuizen en is regulier cameratoezicht op vrijwillige basis ingevoerd bij de (middel)grote slachthuizen. Als een slachthuis niet mee wil werken, geeft de NVWA de intensivering van het toezicht op dierenwelzijn vorm door fysiek toezicht ("aanvullend permanent toezicht op het levende deel"), op kosten het van slachthuis (NVWA, 2021e). De minister van LNV werkt aan een wetsvoorstel voor een wettelijke verplichting tot cameratoezicht en kijkt ook naar de mogelijkheden voor slim cameratoezicht. De slachthuizen gebruiken de camera's ook zelf voor kwaliteitsborging en een aantal slachthuizen heeft zelf systemen van slim cameratoezicht geïmplementeerd¹⁶. De systemen en beelden zijn echter eigendom van de slachthuizen en de NVWA heeft op dit moment geen middelen om deze systemen verplicht te stellen in slachthuizen. De systemen zullen dus op initiatief van de slachthuizen zelf moeten worden geïmplementeerd. Voor het gebruik van de data is de NVWA op dit moment afhankelijk van medewerking van de slachthuizen (een uitzondering zijn de voetzoollaesiescores).

¹⁵ Tweede Kamer, vergaderjaar 2019–2020, 33 835, nr. 153

¹⁶ Kamerstuk, Tweede Kamer, vergaderjaar 2020–2021, 28 286, nr. 12171, Brief regering; Openstaande moties en toezeggingen n.a.v. het tweeminutendebat voortgang verbeteren slachtsysteem

Daarnaast moeten volgens de Europese controleverordening (VERORDENING (EU) 2017/625)¹⁷ de officiële controles in verband met de productie van vlees zoals de AM- en PM-keuring en controles op de gezondheid en het welzijn van dieren worden uitgevoerd door een officiële dierenarts of onder toezicht van de officiële dierenarts. Volledige vervanging van de officiële dierenarts door een systeem van sensortechnologie in combinatie met AI is dus op dit moment niet toegestaan. Wel zou, indien voldaan aan de criteria, sensortechnologie in combinatie met AI bijvoorbeeld onderdeel van tweedelijns toezicht door de NVWA en/of onderdeel van een erkend kwaliteitssysteem kunnen zijn. Voor pluimvee biedt de EU verordening 2019/627 al mogelijkheden: *“bevoegde autoriteiten mogen besluiten dat alleen een representatief monster van pluimvee van elk koppel aan een post-mortemkeuring wordt onderworpen indien: a) de exploitanten van levensmiddelenbedrijven tot tevredenheid van de dierenarts over een systeem beschikken waarmee vogels met afwijkingen, aandoeningen of gebreken opgespoord en gescheiden kunnen worden”* en daarnaast het slachthuis een goede naleving van de hygiëne voorschriften heeft en er tijdens de AM-keuring geen ernstige afwijkingen zijn gevonden¹⁸. In het geval van een kwaliteitssysteem moet de eigenaar van het kwaliteitssysteem zelf de aanvraag tot acceptatie bij de NVWA doen, waarna de NVWA toetst of het kwaliteitssysteem voldoet aan de voorwaarden en criteria (Ketenborging.nl, 2022; NVWA, 2022). Bij deze vorm is het van belang dat het systeem bijdraagt aan een betere borging van dierenwelzijn. Het slachthuis moet procedures opstellen waarin zij aangeeft hoe opvolging geven aan de bevindingen uit het systeem van sensortechnologie in combinatie met AI. De NVWA ziet dan vervolgens toe of dit juist wordt gedaan.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

5.2. Risico's voor dierenwelzijn op het slachthuis en sensortechnologie

Zoals aangegeven in paragraaf 1.3.3. hebben volgens de bevindingen van BuRO de meeste welzijnsconsequenties in de primaire fase betrekking op 'goede gezondheid' en dan met name op aanwezigheid van ziekte. Het meten van afwijkingen aan het karkas door middel van camera's op het slachthuis bij pluimvee en varkens is een voorbeeld van een geïmplementeerde technologie die het voorkomen van deze welzijnsconsequenties in beeld kan brengen. Bijvoorbeeld longafwijkingen bij varkens zoals in het onderzoek van Trachtman et al. (2020). Met dezelfde

¹⁷ VERORDENING (EU) 2017/625 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 15 maart 2017

betreffende officiële controles en andere officiële activiteiten die worden uitgevoerd om de toepassing van de levensmiddelen- en diervoederwetgeving en van de voorschriften inzake diergezondheid, dierenwelzijn, plantgezondheid en gewasbeschermingsmiddelen te waarborgen, tot wijziging van de Verordeningen (EG) nr. 999/2001, (EG) nr. 396/2005, (EG) nr. 1069/2009, (EG) nr. 1107/2009, (EU) nr. 1151/2012, (EU) nr. 652/2014, (EU) 2016/429 en (EU) 2016/2031 van het Europees Parlement en de Raad, de Verordeningen (EG) nr. 1/2005 en (EG) nr. 1099/2009 van de Raad en de Richtlijnen 98/58/EG, 1999/74/EG, 2007/43/EG, 2008/119/EG en 2008/120/EG van de Raad, en tot intrekking van de Verordeningen (EG) nr. 854/2004 en (EG) nr. 882/2004 van het Europees Parlement en de Raad, de Richtlijnen 89/608/EEG, 89/662/EEG, 90/425/EEG, 91/496/EEG, 96/23/EG, 96/93/EG en 97/78/EG van de Raad en Besluit 92/438/EEG van de Raad (verordening officiële controles), OJ L95, 7.4.2017, p. 1-142

¹⁸ UITVOERINGSVERORDENING (EU) 2019/627 VAN DE COMMISSIE van 15 maart 2019 tot vaststelling van eenvormige praktische regelingen voor de uitvoering van officiële controles van voor menselijke consumptie bestemde producten van dierlijke oorsprong overeenkomstig Verordening (EU) 2017/625 van het Europees Parlement en de Raad en tot wijziging van Verordening (EG) nr. 2074/2005 van de Commissie wat officiële controles betreft

technologie kunnen bij karkassen van pluimvee de welzijnsconsequenties als het indirecte gevolg van beperking in de uitvoering van soortspecifiek gedrag worden vastgelegd. Voorbeelden zijn borstirritaties, hakdermatitis, voetzoollaesies en vleugelbreuken. Voor pluimvee is een groot gedeelte al commercieel beschikbaar, ook bij zijn enkele systemen commercieel beschikbaar of toegepast in onderzoek. Voor rundvee zijn er weinig technologieën beschikbaar of onderzoeken gedaan naar de toepassing die aansluiten bij de meest belangrijke welzijnsconsequenties.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Als factoren met een grote rol voor risico's tijdens transport worden een combinatie van onzorgvuldig handelen van (externe) medewerkers bij vangen en laden, onvoldoende voorzorg tijdens transport én ontoereikende uitrusting van transportmiddelen genoemd. Van deze factoren is de toepassing waarbij de bewegingen van varkens tijdens lossen wordt geanalyseerd, zoals in de onderzoeken van Gronskyte et al. (2015;2016) en op de slachthuizen van Vion, een technologie die dit in beeld kan brengen. Blauwe plekken en andere beschadigingen als gevolg van dit handelen kunnen aan het karkas worden gedetecteerd.

Voor het detecteren van de ernstige welzijnsconsequenties als gevolg van het totale complex van "slachten" zoals inadequate slachtinstallaties, inadequate dodingsprocedures en het niet tijdig ingrijpen bij onjuist gebruik is het Deense VisStick, detectie van verbloeden, een voorbeeld van een toepassing. Daarnaast biedt geluidsanalyse voor vocalisaties als teken van stress, angst en pijn aanknopingspunten voor technologische toepassingen. Ook liggen er mogelijkheden in bewegingsdetectie na het bedwelmingsproces. Bijvoorbeeld het detecteren van spierschokken, beweging van het lichaam of behoud van positie. Meer onderzoek voor deze toepassingen is nog nodig.

5.3. Handhaving

De NVWA kan alleen handhaven op welzijnsconsequenties als er wettelijke normen zijn gesteld. Met betrekking tot dierenwelzijn op het primaire bedrijf staan de meeste regels in de Wet dieren¹⁹ en het onderliggende Besluit houders van dieren²⁰. Voor specifieke regelgeving met betrekking tot transport van dieren en de fase op het slachthuis (uitgezonderd het doden van dieren zonder voorgaande bedwelmings) zijn geen nationale normen opgenomen in de Wet dieren of onderliggende regelgeving. Transport van dieren valt onder de Europese Verordening (EG) Nr. 1/2005²¹ en de Europese Verordening (EG) Nr. 1099/2009²² is van toepassing op het slachthuis.

¹⁹ Wet dieren, BWBR0030250

²⁰ Besluit houders van dieren, BWBR0035217

²¹ Verordening (EG) nr. 1/2005 van de Raad van 22 december 2004 inzake de bescherming van dieren tijdens het vervoer en daarmee samenhangende activiteiten en tot wijziging van de Richtlijnen 64/432/EEG en 93/119/EG en van Verordening (EG) nr. 1255/97, OJ L 3, 5.1.2005, p. 1-44

²² Verordening (EG) nr. 1099/2009 van de Raad van 24 september 2009 inzake de bescherming van dieren bij het doden (Voor de EER relevante tekst), OJ L 303, 18.11.2009, p. 1-30

5.3.1. Kwalitatieve doelvoorschriften (open normen)

Veel wet- en regelgeving met betrekking tot dierenwelzijn bestaat uit kwalitatieve doelvoorschriften, ook wel open normen genoemd (zie ook advies over de evaluatie Wet dieren van BuRO (2020a)).

Een aantal voorbeelden:

- Besluit houders van dieren, artikel 1.7 lid 3: *"Degene die een dier houdt, draagt er zorg voor dat een dier: dat ziek of gewond lijkt onmiddellijk op passende wijze wordt verzorgd."*
- Artikel 3 van de transportverordening (Vo (EG) 1/2005): *"Het is verboden dieren te vervoeren of te laten vervoeren op zodanige wijze dat het de dieren waarschijnlijk letsel of onnodig lijden berokkent"*.
- Artikel 3 van Europese Verordening (EG) Nr. 1099/2009 inzake de bescherming van dieren bij het doden: *"Bij het doden van dieren en daarmee verband houdende activiteiten wordt ervoor gezorgd dat de dieren elke vermijdbare vorm van pijn, spanning of lijden wordt bespaard"*.

Bij de ontwikkeling van sensortechnologie in combinatie met AI moeten grenswaarden worden ingesteld om een categorie-indeling te kunnen maken. Er moet gesteld kunnen worden wanneer er een afwijking is van de doelwaarde. Bij open normen is er geen vastgestelde juridische doelwaarde. Er zijn bijvoorbeeld geen wettelijke normen voor bij welk aantal vocalisaties als teken van pijn en stress er sprake is van een vermijdbare vorm van pijn, spanning of lijden. Zo zijn er ook geen wettelijke normen voor het maximale aantal longontstekingen bij varkens. Op enkel de waarde kan niet worden gehandhaafd. Voor handhaving op open normen moet een toezicht houdend dierenarts en/of inspecteur een onderbouwing geven waarom in deze situatie op basis van de geconstateerde feiten sprake was van een overtreding van de open norm. Voor de handhaving op open normen door middel van sensortechnologie in combinatie met AI zullen deze normen moeten worden ingevuld bijvoorbeeld door wetenschappelijke onderbouwing en/of beleidsregel. Een andere mogelijkheid is dat een afwijking van een gestelde doelwaarde gebruikt wordt als signaal en de toezichthoudend dierenarts, net als in de huidige situatie zonder sensortechnologie, beoordeelt of er sprake is van een overtreding van de wet- en regelgeving.

5.3.2. Kwantitatieve doelvoorschriften (gesloten normen)

Bij kwantitatieve doelvoorschriften is er wel een gesloten norm (bijvoorbeeld een grenswaarde) opgenomen in de wet.

5.3.2.1. *Voetzoollaesiescore*

Een voorbeeld van een kwantitatief doelvoorschrift waar sensortechnologie in combinatie met AI al wordt toegepast is de norm voor de voetzoollaesiescore bij vleeskuikens. Vleeskuikenhouders met een bezettingsdichtheid categorie 3 (meer dan 39 kg/m² tot en met 42 kg/m²) moeten volgens het Besluit houders van dieren de voetzoollaesie-score bijhouden. Poten zonder voetzoollaesies krijgen score 0, matige voetzoollaesies score 1 en ernstige voetzoollaesies score 2. Op deze manier wordt de voetzoollaesiescore per koppel per stal berekend, deze ligt tussen de 0 en 200 punten. De gemiddelde score op het bedrijf per kalenderjaar moet onder de 80

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

punten zijn. Is deze tussen de 80 en 120 punten dan moet de veehouder een verbeterplan maken en dit opsturen naar RVO.nl. Is de gemiddelde score van het bedrijf boven de 120 punten dan moet de veehouder een verbeterplan maken, dit insturen en de bezettingsgraad in de stal verlagen naar maximaal 39kg/m² voor de rest van het kalenderjaar. Het scoren van de voetzoollaesies wordt op het slachthuis gedaan door een gecertificeerde controleur (per koppel, per stal 100 poten) of door een camerasysteem (RVO.nl, 2020). Een voorbeeld is het Meyn Footpad Inspection System, wat een wettelijk toegestane methode is om voetzoollaesies bij vleeskuikens te scoren (Van Harn & De Jong, 2017) (zie ook paragraaf 4.2.1.).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

5.3.2.2. Bij bewustzijn tijdens dodingsproces

Dieren mogen volgens Verordening (EG) nr. 1099/2009 uitsluitend worden gedood wanneer ze bewusteloos en gevoelloos zijn (uitgezonderd ritueel slachten). De dieren mogen geen tekenen van bewustzijn of gevoeligheid vertonen in de periode gelegen tussen het eind van het bedwelmingsproces en hun dood. Sensortechnologie in combinatie met AI zou kunnen helpen bij het constateren van fouten in het dodingsproces, zoals bijvoorbeeld detectie van onvoldoende verbloeden bij varkens door het Deense VisStick.

5.3.3. Handhavingsnormen

Naast de kwantitatieve doelvoorschriften in de wet- en regelgeving heeft de NVWA zelf ook een aantal handhavingsnormen opgesteld. Deze handhavingsnormen zijn vastgelegd in werkinstructies en het interventiebeleid en openbaar beschikbaar. Een aantal voorbeelden:

5.3.3.1. Vangletsel bij pluimvee

Volgens de transportverordening (Vo (EG) 1/2005) mag transport geen letsel veroorzaken, bij meer dan 2% vangletsel bij pluimvee treedt de NVWA handhavend op. Vangletsel is letsel ontstaan door het ruw vangen van pluimvee, veelal zichtbaar door donkerrode tot paarse bloedingen soms in combinatie met gebroken vleugels of andere botten. Vangletsel wordt door toezichthoudend dierenarts op het slachthuis vastgesteld door in de panklaar afdeling op een positie voor de post-mortem keuring met veel licht waar de ontvederde karkassen aan de borstzijde (inclusief poten en vleugels) goed te beoordelen zijn. Om een goed beeld te krijgen van het hele koppel wordt er minimaal 2 keer een telling uitgevoerd, hierbij duurt de telling minimaal 2 minuten. Bijvoorbeeld op 1/3 van het koppel en op 2/3 van het koppel. Het percentage vangletsel wordt berekend door het gemiddelde van de twee tellingen te nemen. Voor het bepalen van het percentage vangletsel worden alleen bloedingen geteld van minimaal 3 centimeter groot en donkerrood tot paars van kleur. Deze tellingen worden gedaan als de toezichthoudend dierenarts hier aanleiding voor ziet of tijdens een periodieke inspectie (NVWA, 2021d). Dit vaststellen van vangletsel vindt nu nog handmatig plaats, maar biedt mogelijkheden voor de toepassing van sensortechnologie in combinatie met AI. De bloedingen zijn namelijk zichtbaar aan het karkas en uit meerdere onderzoeken blijkt dat het door middel van sensortechnologie in combinatie met AI mogelijk is om afwijkingen aan het karkas vast te stellen. Ook zijn er al enkele systemen commercieel beschikbaar (zie paragraaf 4.2.2.).

5.3.3.2. *Mogelijk slechte dierenwelzijnsomstandigheden primair bedrijf pluimvee*

In de bijlage van de werkinstructie K-PL-WLZ-WV-01 is opgenomen dat de toezicht houdende dierenarts bij alle uit- en wegladkoppels en soorten pluimvee beoordeelt of er sprake is van "mogelijk slechte dierenwelzijn omstandigheden" op het bedrijf van oorsprong. Dit betreft dus zowel vleeskuikens in alle bezettingsgraden, als ander pluimvee zoals eenden, legkippen en vleeskuikens uit biologische of scharrelsystemen. Er wordt een rapport van bevindingen opgemaakt als 50% van de gecontroleerde dieren ernstige voetzollaesies (score 2) vertoont, 50% van de gecontroleerde dieren een of meerdere vormen van contactdermatitis vertoont, en/of een combinatie van beide hiervoor genoemde punten, waarbij 50% van de gecontroleerde dieren genoemde afwijkingen vertoont, en/of doordat op de VKI een mortaliteit vermeld wordt hoger dan 5% bij vleeskuikens en vleeseenden, hoger dan 10% bij leghennen, hoger dan 15% bij vermeerderingsdieren, hoger dan 10% bij vleeskalkoenen, en deze niet verklaarbaar is door ziekte. De toezichthoudende dierenarts beoordeelt handmatig twee keer 50 dieren (NVWA, 2021c). Commercieel zijn er al enkele systemen van sensortechnologie in combinatie met AI beschikbaar die deze afwijkingen kunnen detecteren (zie paragraaf 4.2.2.).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

5.4. *Validatie*

Om te kunnen vertrouwen op de bevindingen van sensortechnologie in combinatie met AI is het voor de NVWA belangrijk dat het systeem goed is gevalideerd, bijvoorbeeld door een onafhankelijke externe partij: meet het systeem wat het belooft te meten? Hoe zit het met de nauwkeurigheid, integriteit en de betrouwbaarheid? Hoe zit het met de vergelijkbaarheid van verschillende systemen en met die ten opzichte van een gouden standaard (bijvoorbeeld de huidige gebruikte handmatige beoordeling door een dierenarts)? Voor het gebruik in de handhaving is dit extra belangrijk. Ook spelen dan zaken als uitlegbaarheid en transparantie van de gebruikte algoritmes een rol. Naast een valide systeem is de validiteit van de gebruikte dierindicatoren in relatie tot dierenwelzijn belangrijk. Ofwel, zegt het systeem in combinatie met de dierindicator voldoende betrouwbaar iets over dierenwelzijn? Voorbeelden van extern gevalideerde systemen zijn het Meyn Footpad Inspection System en het Duitse systeem voor oor- en staartlaesies bij varkens van CLK GmbH (Van Harn & De Jong, 2017; Blömke et al., 2020).

5.5. *Toekomstige inzet BuRO dierenwelzijn en sensortechnologie in combinatie met AI*

Op dit moment kan BuRO niet alle noodzakelijke informatie verkrijgen die nodig is voor een gedegen risicobeoordeling. Te weinig data (zowel intern als extern) wordt structureel en inzichtelijk geregistreerd. Voor een volledige risicobeoordeling is informatie nodig met betrekking tot de prevalentie van de welzijnsconsequenties en blootstelling aan de gevaren/risicofactoren. Deze informatie is vaak niet beschikbaar. Sensortechnologie op het slachthuis biedt voor BuRO de kans om data over dierenwelzijn te verzamelen. Op één plek kan het welzijn van dieren van meerdere bedrijven worden beoordeeld, vastgelegd en gemonitord. Op deze manier kan een beeld worden gevormd van de dierenwelzijnsrisico's en bijvoorbeeld een benchmark worden opgesteld. Daarnaast biedt sensortechnologie mogelijkheden voor het vaststellen van ernstige welzijnsrisico's op het slachthuis.

Sensortechnologie in combinatie met AI is één van de speerpunten van BuRO voor de komende jaren. De inzet van BuRO op dit onderwerp zal in ieder geval uit de volgende actiepunten bestaan:

- 1 Op de hoogte blijven van (Europese) initiatieven en werkgroepen met betrekking tot de toepassing van sensortechnologie in combinatie met AI op het slachthuis en waar mogelijk betrokken raken. Denk aan bijvoorbeeld RIBMINS²³.
- 2 Het creëren van bewustzijn en samenwerking binnen de NVWA met betrekking tot de mogelijkheden van toepassingen m.b.t. sensortechnologie in combinatie met AI in relatie tot dierenwelzijn.
- 3 Identificeren van mogelijke toepassingen op termijn (POC's: proof-of-concepts)
- 4 Samenwerking zoeken met kennisinstituten en organisaties voor de ontwikkeling en toepassing van sensortechnologie in combinatie met AI op het slachthuis ten behoeve van kennisadoptie en/of uitvoering van POC's.
- 5 Meerjaren onderzoeksprogrammering inrichten met betrekking tot sensortechnologie in combinatie met AI en dierenwelzijn met als doel kennis te ontwikkelen om structureel data van slachthuizen te kunnen benutten voor bijvoorbeeld benchmarking en/of het in beeld brengen van risico's op het slachthuis, tijdens transport of op het primaire bedrijf.

Op basis van het bovenstaande bieden de volgende onderwerpen met betrekking tot sensortechnologie in combinatie met AI en dierenwelzijn perspectief om opgenomen te worden in het beoogde meerjaren onderzoeksprogramma van BuRO:

Prevalentie belangrijke welzijnsconsequenties

Het meten van afwijkingen aan het karkas door middel van camera's op het slachthuis is een voorbeeld van een geïmplementeerde technologie die het voorkomen van deze welzijnsconsequenties gerelateerd aan dierenwelzijn op het primaire bedrijf kan vastleggen. Een voorbeeld zijn longafwijkingen bij varkens en borstirritaties, hakdermatitis, voetzoollaesies en vleugelbreuken bij pluimvee.

Stellen benchmark

Samenhangend met de prevalentie van welzijnsconsequentie kan dezelfde informatie gebruikt worden voor het opstellen van een benchmark. Informatie over het voorkomen van bepaalde afwijkingen aan het karkas (bijvoorbeeld voetzoollaesies) kan gebruikt worden om bedrijven onderling te vergelijken, te vergelijken met het gewenste niveau van dierenwelzijn of te monitoren over meerdere jaren. Het laatste biedt bijvoorbeeld ook mogelijkheden voor het aandeel gecoupeerde staarten bij varkens. In Nederland wordt naar schatting 98% van de varkensstaarten in de eerste levensweek gecoupeerd. Op veel bedrijven is het risico op staartbijten groot als er niet gecoupeerd wordt. Wettelijk mag er al lange tijd niet routinematig gecoupeerd worden en de druk om te stoppen met couperen is de afgelopen jaren toegenomen. Bovendien zijn er een aantal concepten die varkens met intacte staarten succesvol vermarkten. De verwachting is dat er de komende jaren een steeds groter aandeel varkens met ongekoupeerde of minder kort

²³ RIBMINS (Risk-based meat inspection and integrated meat safety assurance) is een Europees netwerk met als doel het Europese onderzoek op gebied van moderne vleeskeuring systemen te combineren en versterken. Er zijn verschillende werkgroepen. In werkgroep 4 wordt onder andere gekeken naar de implementatie van camerasystemen bij vleeskeuring. <https://ribmins.com/>

gecoupeerde staarten geslacht zal worden. Op dit moment wordt door Wageningen Livestock Research in opdracht van BuRO een nulmeting gedaan. Op basis van foto's wordt het aandeel gecoupeerde staarten handmatig beoordeeld. In de toekomst zou voor deze monitoring een vergelijkbare technologie kunnen worden toegepast als in huidige onderzoeken van Brünger et al. (2019) en Blömke et al. (2020), waar de focus op staartlaesies lag. Slachthuis Vion geeft aan al een systeem te hebben ontwikkeld om automatisch staartlengte bij varkens te meten (Vion, 2021), dit systeem is nog niet extern gevalideerd.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Automatisch meten van dierindicatoren hittestress

In 2020 heeft BuRO een advies uitgebracht over het transport van vleesvarkens en vleeskuikens bij (extreem) hoge temperaturen (BuRO, 2020b). BuRO concludeert dat er in de literatuur geen robuuste indicatoren voor hittestress zijn te vinden, behalve die van het sterftepercentage bij aankomst. Naast aanscherping van het Nationaal Plan veetransport adviseert BuRO daarom een vollediger en meer geïntegreerd gebruik van (dier)indicatoren om het welzijn van dieren vast te leggen voor een beter inzicht en benchmarking van transporteurs en slachthuizen. Daarop volgend wordt het advies gegeven: "*Zet in op een vollediger en meer geïntegreerd gebruik van (dier)indicatoren om het welzijn van dieren (m.n. varkens en kuikens) te bepalen tijdens transport en leg die waargenomen gegevens vast, minimaal bij temperaturen >25°C.*". Sensortechnologie biedt een mogelijkheid om (dier)indicatoren gerelateerd aan hittestress automatisch te meten en een benchmark op te stellen. Dierindicatoren en omgevingsindicatoren moeten gecombineerd worden. Temperatuur kan gemeten worden als omgevingsindicator en vocalisaties als dierindicator van stress. Du et al. (2020) hebben bijvoorbeeld al automatisch meten van vocalisaties gebruikt om hittestress bij leghennen te detecteren. Ook biedt thermal imaging mogelijkheden om hittestress bij aankomst op het slachthuis te detecteren (EFSA, 2011; Koltjes et al., 2018) en is een verdere verkenning waard.

Vocalisaties als teken van angst, pijn en stress op het slachthuis als ondersteuning van toezicht

Geluidsanalyse voor vocalisaties als teken van stress en pijn biedt aanknopingspunten om momenten van angst, pijn en stress te detecteren. In de verschillende onderzoeken zijn de vocalisaties gemeten in de stal of wachtruimte, maar vocalisaties zouden ook gemeten kunnen worden tijdens het verdoven en doden van de dieren.

Uit verschillende onderzoeken komt naar voren dat op het veehouderijbedrijf achtergrondgeluiden geen probleem zijn bij het automatisch detecteren van vocalisaties. Ook op het slachthuis lijkt dit toepasbaar, maar onbekend is of dit ook daadwerkelijk het geval is op het slachthuis en in andere ruimtes dan de wachtruimte. Aan de hand van de intensiteit en duur kunnen vocalisaties veroorzaakt door pijn worden onderscheiden van andere vocalisaties (maar er blijft overlap met andere vocalisaties). De geluidsanalyse geeft aan dat er sprake is van stress en/of pijn, maar niet wat de oorzaak is van deze stress en/of pijn. Dit zal verder onderzocht moeten worden door bijvoorbeeld camerabeelden te bekijken. Op deze manier kan geluidsanalyse bijdragen in het toezicht van de NVWA. Vocalisaties zijn een teken dat er "iets aan de hand is", en kan dus een signaal zijn

om de situatie verder te onderzoeken, bijvoorbeeld door het terugkijken van camerabeelden.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Tekenen van bewustzijn tijdens het slachtproces

Voor het detecteren van de ernstige welzijnsconsequenties als gevolg van het totale complex van "slachten" zoals inadequate slachtinstallaties, inadequate dodingsprocedures en het niet tijdig ingrijpen bij onjuist gebruik, zijn het Deense VisStick, detectie van verbloeden, en de bewegingsdetectie van Deloitte een voorbeeld. Voor andere diersoorten zijn nog geen directe toepasbare onderzoeken gedaan of technologieën ontwikkeld, maar zou ook vergelijkbare toepassing mogelijk zijn. Voor de dierindicatoren met betrekking tot tekenen van bewustzijn zijn er technisch gezien nog andere mogelijkheden, bijvoorbeeld in de vorm van bewegingsdetectie, eventueel in combinatie met geluidsanalyse op vocalisaties als teken van pijn, angst en stress. Echter is er op dit onderdeel nog geen specifiek onderzoek gedaan en is er dus meer onderzoek en ontwikkeling nodig voor deze toepassing.

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Aan deze onderwerpen kan in de komende jaren aandacht worden besteed binnen de onderzoeksprogrammering. Naast de inzet van sensortechnologie op het slachthuis zal ook de toepassing van sensortechnologie op het primaire bedrijf en tijdens transport voor het meten van dierenwelzijn aandacht van BuRO krijgen. Ook liggen er kansen op gebied van combineren van data verkregen op het primaire bedrijf en informatie verkregen op het slachthuis.

6. Kansen en beperkingen van sensortechnologie

6.1. Kansen

Sensortechnologie biedt meerdere kansen voor het beoordelen van dierenwelzijn op slachthuizen.

1 Een sensor meet constant en nauwkeuriger dan een mens

Vanwege de hoge processnelheid op het slachthuis, de inrichting van een slachthuis kan het voor beoordelaars moeilijk zijn om de dieren visueel te inspecteren of parameters zoals hartslag of ademhaling aan het dier te meten (Wigham et al., 2018). Een camera kan geplaatst worden op een plek die moeilijk bereikbaar is voor mensen. Een camera kan ook bij hoge snelheid beelden vastleggen, welke later geanalyseerd kunnen worden (Farm Animal Welfare Committee, 2015) en dag en nacht beelden opnemen.

Bij pluimvee op het slachthuis spelen specifieke problemen bij het constateren van welzijnsconsequenties door mensen. Bij aankomst bevinden de dieren zich in kratten, waardoor niet alle dieren goed te zien zijn. Er is niet altijd voldoende licht om de dieren goed te kunnen beoordelen. Daarnaast is er vanwege de hoge lijnsnelheid minder dan een seconde per karkas beschikbaar om afwijkingen te constateren (Allain et al., 2018).

2 Sensoren zijn relatief goedkoop en simpel

Voor het vastleggen van camerabeelden kunnen relatief simpele en goedkope camera's gebruikt worden (Rushen et al., 2012; Gronskyte et al., 2016;

Nasirahmadi et al., 2017; Benjamin & Yik, 2019). In het onderzoek van Trachtman et al. (2020) werden zelfs smartphones gebruikt om foto's te maken.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

3 Een sensor meet gestandaardiseerd en objectief

Datum

20-10-2022

Met behulp van sensoren en AI kunnen er op een continue en gestandaardiseerde manier gegevens worden vast gelegd in vergelijking met handmatig scores door observanten, wat erg tijdrovend is en ook voor mogelijke variatie in scores tussen de observanten kan zorgen (Trachtman et al., 2020). Er kan uniformer gescoord worden (McKenna et al., 2020).

Onze referentie

TRCVWA/2022/8645

4 Combinatie van sensoren of metingen mogelijk

Door bijvoorbeeld zowel geluid- als beeldopnames te maken en te analyseren kan betrouwbaardere informatie worden verkregen dan van een enkele sensor (Nasirahmadi et al., 2017). Bijvoorbeeld door combinatie van beeldopnames van agressief gedrag en geluidsopnames van vocalisaties.

Ook kan op basis van de beelden van een camera meerdere analyses worden gedaan, bijvoorbeeld met betrekking tot de verspreiding van de dieren in het hok en de detectie van agressief gedrag.

5 Vastgelegde data kan (automatisch) geanalyseerd worden

Met sensortechnologie wordt er veel data vastgelegd, deze data kan na analyse meer informatie geven over het welzijn van dieren. Dit kan bijvoorbeeld gebruikt worden als terugkoppeling naar de veehouder of voor epidemiologische studies (Trachtman et al., 2020). Dit biedt ook mogelijkheden voor de NVWA voor data-verzameling met betrekking tot welzijnsconsequenties. Daarnaast kunnen bevindingen van sensoren op het primaire bedrijf gekoppeld worden aan de bevindingen op het slachthuis om zo nog meer informatie te verkrijgen.

De beelden worden opgeslagen en kunnen worden terug gekeken. Deze beelden kunnen gebruikt worden als bewijs van misstanden, in trainingen en als controle (Farm Animal Welfare Committee, 2015).

6 Geen direct contact met dieren of karkas nodig

Door het automatisch meten van bijvoorbeeld kreupelheid is er geen direct contact met de dieren nodig en kan ook makkelijk het welzijn van kleinere dieren zoals pluimvee worden gemeten (Rushen et al., 2012; Kang et al., 2021).

Ook bieden deze technologieën potentie voor de PM-keuring. Het karkas hoeft dan niet meer aangeraakt of aangesneden te worden, waardoor het risico op kruisbesmetting afneemt (McKenna et al., 2020).

7 Dierindicatoren van groepen dieren kunnen gemeten worden

Doordat de camera's of microfoons in de ruimte zijn geplaatst en niet verbonden aan een individueel dier kan met behulp van dierindicatoren het welzijn van meerdere dieren gemeten worden (Nasirahmadi et al., 2017).

8 Geen extra stressor

Een camera of microfoon kan gewoon in de ruimte geplaatst worden en veroorzaakt zo geen extra afleiding, angst of stress, wat de aanwezigheid van een mens wel kan doen (Farm Animal Welfare Committee, 2015; Gronskyte et al., 2016).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

9 Mogelijk positief effect op gedrag personeel slachthuis

Uit meerdere onderzoeken blijkt dat de plaatsing van camera's of de aanwezigheid van auditors een positief effect had op het gedrag van de werknemers op deze plekken op het slachthuis (Wigham et al., 2018).

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

6.2. Beperkingen

Naast kansen zijn er ook beperking aan de inzet van sensortechnologie op slachthuizen:

1 Software kan duur zijn

De programma's om de beelden te analyseren kunnen duur zijn om aan te schaffen of te ontwikkelen (Rushen et al., 2012).

2 Innovatieve oplossingen data opslag en verwerking noodzakelijk

Door de constante monitoring wordt er veel data opgeslagen. Deze data vraagt veel capaciteit. Constante monitoring met een 2D camera levert 141 gigabytes aan visuele data per dag, bijna 4 terabyte per maand (Arulmozhi et al., 2021). Dit vraagt om innovatieve oplossingen wat betreft de data opslag. Ook is de bescherming en beveiliging van de opgeslagen data een belangrijk punt.

3 Ontwikkeling (trainen algoritme) vereist ruime voorbereiding

Voordat er een voldoende betrouwbaar systeem is ontwikkeld moet er veel handmatig werk worden verricht. Honderden tot duizenden afbeeldingen moeten handmatig door experts beoordeeld worden om het systeem de afwijking te leren herkennen. Daarnaast moet het systeem nog (extern) gevalideerd worden.

4 Maatwerk per locatie is nodig

Veel systemen zijn ontwikkeld in een testfaciliteit, zoals op een proefbedrijf of door een universiteit. Per locatie verschillen de omstandigheden en bijvoorbeeld type dieren. Het systeem moet gevalideerd zijn voor de lokale omstandigheden. Hiervoor is data nodig om het model te trainen (Arulmozhi et al., 2021).

5 Nog geen afspraken over validatie in de wetenschap of binnen de overheid

Tot op heden zijn er geen vaste afspraken of geaccepteerde methoden om deze systemen te valideren (Herlin et al., 2021). Er zijn nog geen rijksbrede afspraken gemaakt over de kwaliteit en validatie van algoritmes, zoals aanbevolen door de Algemene Rekenkamer (2021). De Europese Commissie heeft in 2021 een voorstel voor een EU-verordening op het gebied van AI naar de lidstaten gestuurd²⁴.

²⁴ Voorstel voor een VERORDENING VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD TOT VASTSTELLING VAN GEHARMONISEERDE REGELS BETREFFENDE ARTIFICIËLE INTELLIGENTIE (WET OP DE ARTIFICIËLE INTELLIGENTIE) EN TOT WIJZIGING VAN BEPAALDE WETGEVINGSHANDELINGEN VAN DE UNIE COM/2021/206 final

6 Kwaliteit van de gouden standaard (validatie gebruikte dierindicatoren)

De data wordt met een doelwaarde (de gouden standaard) vergeleken en er wordt bijvoorbeeld een signaal geven wanneer deze afwijkt van de doelwaarde (Rushen et al., 2012; Norton & Berckmans, 2018; Benjamin & Yik, 2019; Van Erp-van der Kooij & Rutter, 2020; Herlin et al., 2021). De gebruikte dierindicator als gouden standaard moet een specifieke welzijnsconsequentie kunnen identificeren, herhaalbaar en betrouwbaar zijn (EFSA, 2012d;2012c). Voor een goed systeem moet niet alleen het algoritme gevalideerd zijn, maar ten eerste ook de gebruikte dierindicator (Louton et al., 2022).

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

7 Locatie van de sensor, niet alles kan geregistreerd worden

Voor vastleggen van gedetailleerde afbeeldingen moet de camera op de juiste positie geplaatst worden (Rushen et al., 2012). Door de inrichting van het slachthuis kan de camera niet altijd op de gewenste plek geplaatst worden of kunnen zelfs meerdere camera's niet het hele gebied in beeld brengen (Gronskyte et al., 2016).

8 Verstoring van opnames

Wisselende lichtomstandigheden kunnen voor problemen bij de opnames zorgen (Benjamin & Yik, 2019). Of camera's kunnen vies worden door stof of bijvoorbeeld een vlieg op de camera (Farm Animal Welfare Committee, 2015; Nasirahmadi et al., 2015). Systemen kunnen uitvallen door een storing.

9 Sensortechnologie in combinatie met AI meet maar een ding

Veel ontwikkelde toepassingen meten maar een type afwijking, de afwijking waar het systeem voor getraind is. Voor het constateren van meerdere zaken zijn meerdere technologische systemen nodig. Een mens kan meerdere afwijkingen constateren (Arulmozhi et al., 2021). Sensortechnologie in combinatie met AI kan op dit moment dus de mens op dit punt nog niet volledig vervangen.

10 Sensortechnologie in combinatie met AI vult geen normen in

Bij de ontwikkeling van sensortechnologie in combinatie met AI moeten grenswaarden worden ingesteld om een categorie-indeling te kunnen maken. Er moet gesteld kunnen worden wanneer er een afwijking is van de doelwaarde. Bij open normen is er geen vastgestelde doelwaarde. De grenswaarden en indeling moet alsnog handmatig bepaald worden.

11 Regels (AVG) over privacy medewerkers slachthuis

De geïnstalleerde camera's en microfoons in het slachthuis leggen ook beelden en geluid van de slachthuismedewerkers vast. Hier zijn regels aan verbonden, zoals de Algemene verordening gegevensbescherming (AVG).

Bijlage 1 Zoekstrategie literatuur

- 1 In Google Scholar en Pubmed is gezocht op termen "animal based measures" in combinatie met "slaughterhouse" en als tweede in combinatie met "pig" of "cattle, op "computer vision abattoir" en op "measuring fever infrared animal".
- 2 Attentie van collega's BuRO over (recent) gepubliceerde artikelen over sensortechnologie in de veehouderij.
- 3 Al bekende publicaties en boeken over dierenwelzijn in bezit van BuRO met betrekking tot sensortechnologie in de veehouderij.
- 4 "Sneeuwballen" (benutten van referentielijsten van gevonden literatuur)
- 5 Eerder door BuRO gepubliceerde adviezen: (BuRO, 2015;2017;2018b;2018a;2020a;2020b;2021).
- 6 NVWA publicaties: (NVWA, 2020b;2020a;2021e;2021d;2021c;2021a)

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum

20-10-2022

Onze referentie

TRCVWA/2022/8645

Bijlage 2 Toezicht op slachthuizen door de NVWA

De slachthuizen zijn onder te verdelen in drie categorieën (NVWA, 2020b):

1. Slachthuizen met permanent toezicht
2. Slachthuizen die meer dan 1000 GVE²⁵ roodvlees en/of 150.000 stuks pluimvee, lagomorphen, klein vrij wild per jaar slachten
3. Slachthuizen die minder dan 1000 GVE roodvlees en/of 150.000 stuks pluimvee, lagomorphen, klein vrij wild per jaar slachten

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

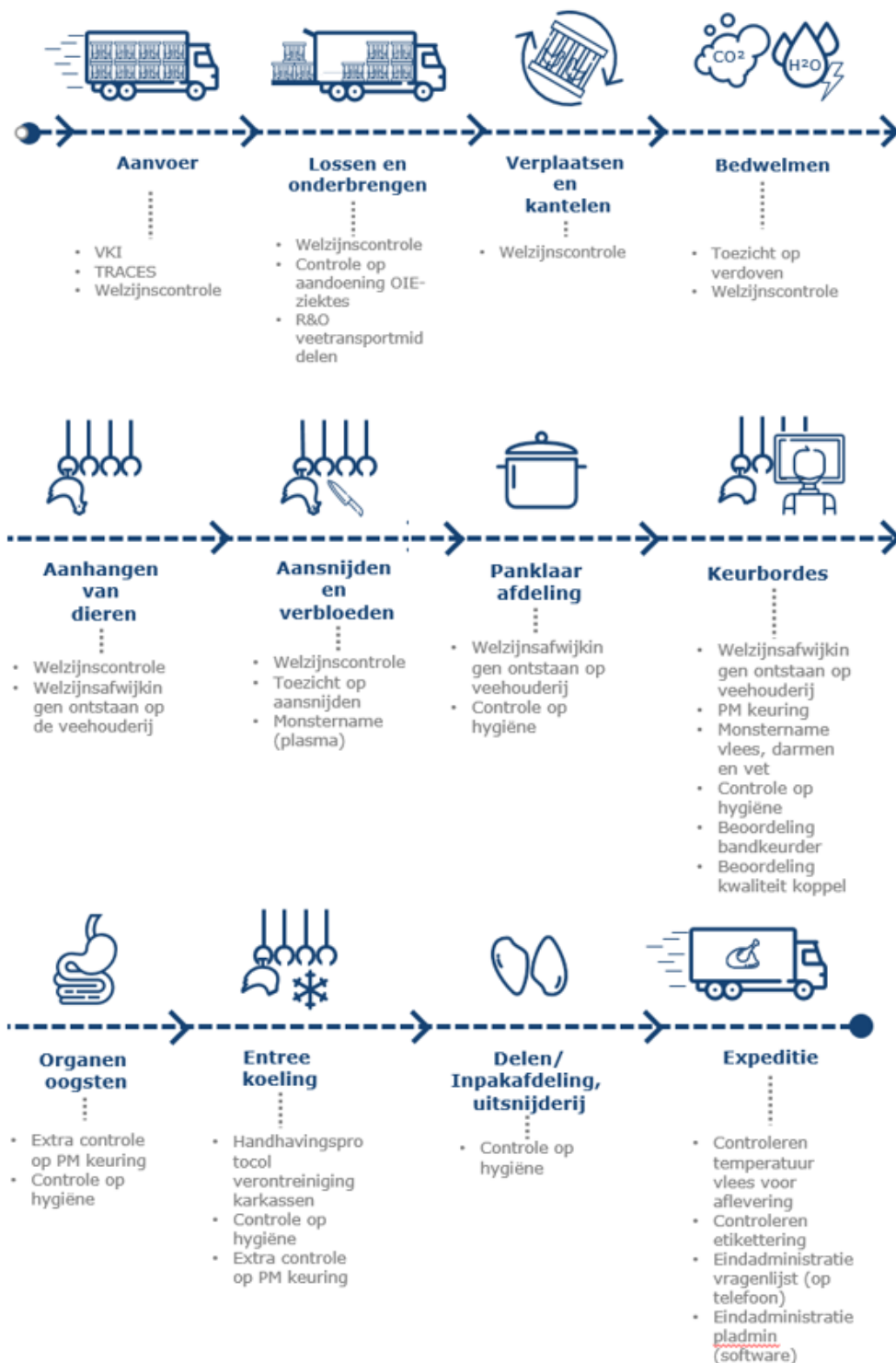
Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Voor permanent toezicht zijn de slachtsnelheden en/of aantallen geslachte dieren per week bepalend. Voor runderen bijvoorbeeld meer dan 250 runderen per week en/of 25 per uur, voor kalveren meer dan 500 per week en/of 50 per uur, voor vleesvarkens meer dan 2000 per week en/of 200 per uur en voor pluimvee meer dan 15.000 per week en/of 1500 per uur. Voor groep 2 wordt door middel van een risico-analyse door de NVWA bepaald of permanent toezicht aanwezig moet zijn of niet. De NVWA heeft de slachtdieren ingedeeld op groepen met een verhoogd risico op gebied van diergezondheid, volksgezondheid en dierenwelzijn. Om genoemde risico's te verkleinen is bepaald dat specifieke risico diergroepen alleen onder permanent toezicht geslacht en PM gekeurd mogen worden. Andere diergroepen kunnen zonder permanent toezicht geslacht en PM gekeurd worden indien de aangevoerde kwaliteit hoog is (>95% AM categorie 1, gezonde dieren zonder afwijkingen). Vleeskalveren en vleesvarkens vallen bijvoorbeeld in de laag risico diergroep. Uitstoot runderen van de melkveehouderij en zeugen en beren uit de fokkerij vallen bijvoorbeeld onder de verhoogd risico diergroep en mogen bij de slachthuizen uit categorie 2 alleen onder permanent toezicht worden geslacht. Voor de slachthuizen uit categorie 3 geldt ook dat er op basis van slachtsnelheid, aantal geslachte dieren per week, geslachte diergroep bepaald wordt of het slachthuis onder permanent toezicht valt of niet. Indien er geen permanent toezicht is, dan is het toezicht door de NVWA maandelijks of wekelijks. Afhankelijk van de slachtsnelheden en/of aantallen geslachte dieren per week (NVWA, 2020b).

²⁵ GVE = grootvee eenheid, een landbouwkundige omrekeningsfactor. Een volwassen rund is 1 GVE, een vleesvarken 0,2 GVE.

Bijlage 3 Details toezicht- en keuringstaken NVWA op pluimveeslachthuizen

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek



Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Figuur 24 Toezicht- en keuringstaken NVWA op pluimveeslachthuizen. Bron: NVWA (2021b)

Bijlage 4 Tabellen dierindicatoren pluimvee, varkens en rundvee meetbaar op het slachthuis

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Op basis van recente EFSA rapporten over het welzijn van pluimvee, rundvee en varkens op het slachthuis (EFSA, 2019;2020a;2020b) en Welfare Quality protocollen (Welfare Quality®, 2009c;2009b;2009a) is een inventarisatie gemaakt van dierindicatoren die te meten zijn op het slachthuis en de bijbehorende welzijnsconsequenties. De principes van Welfare Quality zijn gebruikt om de dierindicatoren te structureren. Zie de onderstaande tabellen voor een overzicht.

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Tabel 3. Principes en criteria Welfare Quality (Jones & Manteca, 2009).

Principes	Criteria
Goede Voeding	1. Afwezigheid langdurige honger 2. Afwezigheid langdurige dorst
Goede Huisvesting	3. Comfort rond rusten 4. Thermaal comfort 5. Bewegingsgemak
Goede Gezondheid	6. Afwezigheid van verwondingen 7. Afwezigheid van ziekte 8. Afwezigheid van pijn door management ingrepen
Normaal Gedrag	9. Uitvoering sociaal gedrag 10. Uitvoering ander soort-specifiek gedrag 11. Kwaliteit mens-dier relatie 12. Positieve emotionele toestand

Tabel 4 Dierindicatoren gemeten op het slachthuis en welzijnsconsequenties bij pluimvee van toepassing op het welzijn van het primaire bedrijf, tijdens transport of op het slachthuis gebaseerd op Welfare Quality® (2009b) en EFSA (2019).

Welzijns-consequentie	Dierindicator	Primair bedrijf	Transport ²⁶	Slachthuis
Goede Voeding				
Langdurige honger	Aanwezigheid van gal en/of aanwezigheid van uraten of oranje uitscheiding op de bodem van de containers		x	x
Langdurige honger primair bedrijf	Vermagerde dieren	x		
Uitdroging	Uitdroogde dieren	x	x	
Goede huisvesting				
Hittestress	Hijgen		x	x

²⁶ Er is geen apart Welfare Quality protocol om het welzijn met betrekking tot transport te beoordelen, echter in de beoordeling met betrekking tot het welzijn op het slachthuis worden ook fases welke onder transport vallen beschreven. BuRO heeft op basis van eigen inzicht en kennis deze indicatoren ook toegewezen aan de fase transport.

Koudestress	Dicht op elkaar zitten (huddling)		x	x
	Piloerectie (opzetten veren)		x	x
	Bibberen		x	x
Beperkte beweging	Opeengehoopte dieren (overbezetting in container)		x	x
Goede gezondheid				
Verwondingen (pijn)	Borstblaren	x		
	Hakdermatitis	x		
	Voetzollaesies	x		
	Vleugelbeschadigingen (botbreuken)		x	x
	Blauwe plekken		x	x
Ziekte	Vochtophoping organen (ascites)	x		
	Bloedvergiftiging	x		
	Hepatitis (leverontsteking)	x		
	Pericarditis (ontsteking hartzakje)	x		
	Abscessen	x		
Dood	Dead on arrival (DOA)		x	x
Ademhalingsstress tijdens bedwelmen	Diepe ademhaling			x
	Hyperventilatie			x
Pijn tijdens bedwelmen/doden	Spierschokken			x
	Terug trek reactie			x
Bewustzijn tijdens dodingsproces	Poging tot terugkeren in positie			x
	Behoud van positie			x
Normaal gedrag				
Angst	Opeenhopen in de containers			x
	Klapperen met de vleugels			x
Angst en pijn	Poging tot vluchten uit de situatie			x

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

	Kop schudden			x
	Vocalisaties			x

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Tabel 5 Dierindicatoren gemeten op het slachthuis en welzijnsconsequenties bij rundvee van toepassing op het welzijn op het primaire bedrijf, tijdens transport of op het slachthuis gebaseerd op Welfare Quality® (2009c) en EFSA (2020b). Indicatoren met een hoge validiteit en mate van toepasbaarheid op het slachthuis volgens Losada-Espinosa et al. (2018)²⁷ zijn onderstreept.

Welzijns-consequentie	Dierindicator	Primair bedrijf	Transport ²⁸	Slachthuis
Goede Voeding				
Langdurige dorst	Verhoogde agressie bij drinkbak		x	x
Goede huisvesting				
Hittestress	Hijgen			x
Koudestress	Bibberen			x
Belemmerde beweging	<u>Uitglijden</u>			x
	<u>Vallen</u>			x
Goede gezondheid				
Verwondingen (pijn)	<u>Blauwe plekken</u>		x	x
Kreupelheid (pijn)	Kreupelheid		x	x
Vermoeidheid	Uitputting		x	x
	Versnelde ademhaling (tachypnoe)			x
Bewustzijn tijdens bedwelmen en dodingsproces	<u>Behoud van positie</u>			x
	<u>Beweging van het lichaam</u>			x
	<u>Ademhaling</u>			x
	Tonische aanval			x
	<u>Cornea en/of palpebrale reflex</u>			x

²⁷ Voor welzijnsindicatoren bij runderen hebben ook de mate van validiteit en toepasbaarheid op het slachthuis beoordeeld. Van hoge validiteit is sprake als de indicatoren zijn gevalideerd in een groot aantal wetenschappelijke artikelen. Indicatoren met een hoge mate van toepasbaarheid op het slachthuis zijn indicatoren welke gemeten kunnen worden onafhankelijk van het aantal dieren, de snelheid of de ruimte op het slachthuis.

²⁸ Er is geen apart Welfare Quality protocol om het welzijn met betrekking tot transport te beoordelen, echter in de beoordeling met betrekking tot het welzijn op het slachthuis worden ook fases welke onder transport vallen beschreven. BuRO heeft op basis van eigen inzicht en kennis deze indicatoren ook toegewezen aan de fase transport.

	Spontaan knipperen ogen			X
	Oogbewegingen			X
	Spierspanning			X
Normaal gedrag				
Sociale stress	Agressief gedrag			X
	Bespringen			X
Angst	Vlucht pogingen			X
	Omdraaien of achteruit lopen			X
	Tegenstribbelen in verdovingsbox			X
	Springen in de verdovingsbox			X
Angst en pijn	Tegenzin om te bewegen, stilstaan			X
	Vocalisaties			X

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Tabel 6 Dierindicatoren gemeten op het slachthuis en welzijnsconsequenties bij varkens van toepassing op het welzijn op het primaire bedrijf, tijdens transport of op het slachthuis gebaseerd op Welfare Quality® (2009a) en EFSA (2020a).

Welzijns-consequentie	Dierindicator	Primair bedrijf	Transport ²⁹	Slachthuis
Goede Voeding				
Langdurige dorst	Verhoogde agressie bij drinkbak		X	X
Goede huisvesting				
Hittestress	Hijgen		X	X
	Verkleuren van de huid		X	X
Koudestress	Bibberen		X	X
	Dicht op elkaar liggen (huddling)		X	X
Belemmerde beweging	Uitglijden			X
	Vallen			X
Goede gezondheid				
Verwondingen (pijn)	Blauwe plekken, krassen, gebroken botten enz.		X	X

²⁹ Er is geen apart Welfare Quality protocol om het welzijn met betrekking tot transport te beoordelen, echter in de beoordeling met betrekking tot het welzijn op het slachthuis worden ook fases welke onder transport vallen beschreven. BuRO heeft op basis van eigen inzicht en kennis deze indicatoren ook toegewezen aan de fase transport.

Kreupelheid (pijn)	Kreupelheid		x	x
Vermoeidheid	Uitputting		x	x
	Benauwdheid en ademhaling met open mond (dyspnea)		x	x
	Spijertrillingen		x	x
Ziekte	Longontsteking	x		
	Borstvliesontsteking	x		
	Pericarditis (ontsteking hartzakje)	x		
	Witte plekken op de lever	x		
	Zieke dieren		x	x
Ademhalingsstress tijdens CO₂ verdoving	Happen naar lucht			x
	Hyperventilatie			x
	Hoofd schudden			x
Bewustzijn tijdens bedwelmen en dodingsproces	Behoud van positie			x
	Beweging van het lichaam			x
	Ademhaling			x
	Tonische en clonische aanvallen			x
	Cornea en/of palpebrale reflex			x
	Spontaan knipperen ogen			x
	Oogbewegingen			x
	Spierspanning			x
Normaal gedrag				
Sociale stress	Agressief gedrag			x
	Bespringen			x
Angst	Tegenzin om te bewegen, stilstaan			x
	Omdraaien of achteruit lopen			x
Angst en pijn	Hoge vocalisaties			x
	Vluchtpogingen			x

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Referenties

- Algemene Rekenkamer, 2021. Aandacht voor algoritmes. Beschikbaar online: <https://www.rekenkamer.nl/publicaties/rapporten/2021/01/26/aandacht-voor-algoritmes>
- Arulmozhi E, Bhujel A, Moon B-E & Kim H-T, 2021. The Application of Cameras in Precision Pig Farming: An Overview for Swine-Keeping Professionals. *Animals*, 11 (8), 2343. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/8/2343>
- BAADER Group, 2021. ClassifEYE® [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.baader.com/en/products/poultry_processing/distribution/classifeye/index.html [Geraadpleegd: 18-10-2021].
- Benjamin M & Yik S, 2019. Precision livestock farming in swine welfare: a review for swine practitioners. *Animals*, 9 (4), 133.
- Bergevoet R, Benus M & van der Valk O, 2020. Een tekort aan dierenartsen in Nederland?: Een eerste inventarisatie. 9463956077. Wageningen Economic Research.
- BeterLeven, 2021a. BLk Slachterij Varkens. Beschikbaar online: <https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/deelnemen/bedrijfstypen/slachterijen/slachterij-varken/>
- BeterLeven, 2021b. BLk Slachterij Pluimvee. Beschikbaar online: <https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/deelnemen/bedrijfstypen/slachterijen/slachterij-pluimvee/>
- BeterLeven, 2021c. BLk Slachterij Kalf/Rund. Beschikbaar online: <https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/deelnemen/bedrijfstypen/slachterijen/slachterij-rund/>
- BeterLeven, 2021d. BLk Slachterij Kalf. Beschikbaar online: <https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/deelnemen/bedrijfstypen/slachterijen/slachterij-kalf/>
- Blömke L, Volkmann N & Kemper N, 2020. Evaluation of an automated assessment system for ear and tail lesions as animal welfare indicators in pigs at slaughter. *Meat science*, 159, 107934.
- Bonicelli L, Trachtman AR, Rosamilia A, Liuzzo G, Hattab J, Mira Alcaraz E, Del Negro E, Vincenzi S, Capobianco Dondona A, Calderara S & Marruchella G, 2021. Training Convolutional Neural Networks to Score Pneumonia in Slaughtered Pigs. *Animals*, 11 (11), 3290. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/11/3290>
- Borggaard C, Claudi-Magnussen C, Madsen NT & Støier S, 2011. A new system for Sticking Control (H VisStic[®]). *Proceedings of*.
- Botreau R, Veissier I, Butterworth A, Bracke MB & Keeling LJ, 2007. Definition of criteria for overall assessment of animal welfare. *ANIMAL WELFARE-POTTERS BAR THEN WHEATHAMPSTEAD-*, 16 (2), 225.
- Briefer EF, Sypherd CCR, Linhart P, Leliveld LMC, Padilla de la Torre M, Read ER, Guérin C, Deiss V, Monestier C, Rasmussen JH, Špinko M, Döpjan S, Boissy A, Janczak AM, Hillmann E & Tallet C, 2022. Classification of pig calls produced from birth to slaughter according to their emotional valence and context of production. *Scientific Reports*, 12 (1), 3409. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07174-8>
- Brcsic M, Leruste H, Heutinck LFM, Bokkers EAM, Wolthuis-Fillerup M, Stockhofe N, Gottardo F, Lensink BJ, Cozzi G & Van Reenen CG, 2012. Prevalence of respiratory disorders in veal calves and potential risk factors. *Journal of Dairy Science*, 95 (5), 2753-2764. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2011-4699>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Brünger J, Dippel S, Koch R & Veit C, 2019. 'Tailception': using neural networks for assessing tail lesions on pictures of pig carcasses. *Animal*, 13 (5), 1030-1036.
- BuRO, 2015. Risicobeoordeling Roodvleesketen. NVWA, Utrecht.
- BuRO, 2017. Advies over de risico's van de zuivelketen. NVWA, Utrecht.
- BuRO, 2018a. Advies over de risico's van de eierketen. NVWA, Utrecht.
- BuRO, 2018b. Advies over de risico's van de pluimveevleesketen. NVWA, Utrecht.
- BuRO, 2020a. Advies over Evaluatie Wet dieren NVWA (ed.).
- BuRO, 2020b. Advies over het transport van vleesvarkens en vleeskuikens bij (extreem) hoge temperaturen. NVWA (ed.). Utrecht.
- BuRO, 2021. Risicobrief van de directeur bureau Risicobeoordeling & onderzoek ten behoeve van kennisgedreven en risicogericht toezicht. Utrecht, 68 pp. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/documenten/nvwa/organisatie/hoe-de-nvwa-werkt/publicaties/risicobrief-buro-2021>
- Chen C, Zhu W, Liu D, Steibel J, Siegford J, Wurtz K, Han J & Norton T, 2019. Detection of aggressive behaviours in pigs using a RealSense depth sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105003. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105003>
- CLK GmbH, 2022a. ChickenCheck [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.clkgmbh.de/en/chicken-check/> [Geraadpleegd: 27-1-2022].
- CLK GmbH, 2022b. Evaluation of animal welfare indicators for slaughter pigs [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.clkgmbh.de/en/automatic-evaluation-of-animal-welfare-indicators-for-pigs/> [Geraadpleegd: 27-1-2022].
- CLK GmbH, 2022c. Measuring the amount of pig blood [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.clkgmbh.de/en/blood-measuring-in-pigs/> [Geraadpleegd: 27-1-2022].
- da Silva JP, de Alencar Nääs I, Abe JM & da Silva Cordeiro AF, 2019. Classification of piglet (*Sus Scrofa*) stress conditions using vocalization pattern and applying paraconsistent logic Et. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105020. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105020>
- Dalmau A, Geverink N, Van Nuffel A, Van Steenbergen L, Van Reenen K, Hautekiet V, Vermeulen K, Velarde A & Tuytens F, 2010. Repeatability of lameness, fear and slipping scores to assess animal welfare upon arrival in pig slaughterhouses. *Animal*, 4 (5), 804-809.
- Dalmau A, Nande A, Vieira-Pinto M, Zamprognia S, Di Martino G, Ribas JC, da Costa MP, Halinen-Elemo K & Velarde A, 2016. Application of the Welfare Quality® protocol in pig slaughterhouses of five countries. *Livestock Science*, 193, 78-87.
- Dalmau A, Temple D, Rodriguez P, Llonch P & Velarde A, 2009. Application of the Welfare Quality® protocol at pig slaughterhouses. *Animal welfare*, 18 (4), 497-505.
- De Luca S, Zanardi E, Alborali GL, Ianieri A & Ghidini S, 2021. Abattoir-Based Measures to Assess Swine Welfare: Analysis of the Methods Adopted in European Slaughterhouses. *Animals*, 11 (1), 226.
- DeLaval, 2015. DeLaval bodyconditionscore-systeem BCS - dagelijks, automatisch uw koeien scoren. Beschikbaar online: <https://store.delaval.com/globalassets/inriverresources/pdfs/b/bodyconditionscore-systeem-bcs.pdf>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Deloitte, 2022. AI4Animals [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/consumer/solutions/ai4animals.html> [Geraadpleegd: 17-8-2022].
- Dierenbescherming, 2021. Betere monitoring dierenwelzijn in slachthuizen [Webpagina, 25-1-2021]. Beschikbaar online: <https://www.dierenbescherming.nl/wat-wij-doen/actueel/nieuws/nieuws-overzicht/betere-monitoring-dierenwelzijn-in-slachthuizen> [Geraadpleegd: 4-5-2021].
- DMRI, 2021. VisStick-for improved slaughterhouse animal welfare. Beschikbaar online: <https://www.dti.dk/monitor-your-sticking-visstick/31918?cms.query=VisS>
- Du X, Carpentier L, Teng G, Liu M, Wang C & Norton T, 2020. Assessment of Laying Hens' Thermal Comfort Using Sound Technology. *Sensors*, 20 (2), 473. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/2/473>
- EFSA, 2009. Scientific opinion on welfare of dairy cows in relation to udder problems based on a risk assessment with special reference to the impact of housing, feeding, management and genetic selection. *EFSA Journal*, 7 (7), 1141.
- EFSA, 2011. Scientific Opinion Concerning the Welfare of Animals during Transport. *EFSA Journal*, 9 (1), 1966. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1966>
- EFSA, 2012a. Guidance on risk assessment for animal welfare. *EFSA Journal*, 10 (1), 2513.
- EFSA, 2012b. Scientific Opinion on the use of animal-based measures to assess welfare of broilers. *EFSA Journal*, 10 (7), 2774.
- EFSA, 2012c. Scientific Opinion on the use of animal-based measures to assess welfare in pigs. *EFSA Journal*, 10 (1), 2512.
- EFSA, 2012d. Statement on the use of animal-based measures to assess the welfare of animals. *EFSA Journal*, 10 (6), 2767.
- EFSA, 2012e. Scientific Opinion on the welfare of cattle kept for beef production and the welfare in intensive calf farming systems. *EFSA Journal*, 10 (5), 2669.
- EFSA, 2019. Slaughter of animals: poultry. *Efsa j*, 17 (11), e05849. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5849>
- EFSA, 2020a. Welfare of pigs at slaughter. *EFSA Journal*, 18 (6), e06148.
- EFSA, 2020b. Welfare of cattle at slaughter. *EFSA Journal*, 18 (11), e06275.
- F4Tlab, 2021. ADAL [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.f4tlab.com/adal> [Geraadpleegd: 22-10-2021].
- Fancom BV, 2022. eYeGrow varkens weegsysteem [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.fancom.nl/oplossingen/biometrie/eyegrow-varkens-weegsysteem> [Geraadpleegd: 4-3-2022].
- FAO/WHO, 1995. Application of risk analysis to food standards issues : report of the Joint FAO/WHO expert consultation, Geneva, Switzerland, 13-17 March 1995. World Health Organization, Geneva. Beschikbaar online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/58913>
- Farrar KL, Field AE, Norris SL & Jacobsen KO, 2020. Comparison of Rectal and Infrared Thermometry Temperatures in Anesthetized Swine (*Sus scrofa*). *J Am Assoc Lab Anim Sci*, 59 (2), 221-225. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.30802/aalas-jaalas-19-000119>
- Feng Y, Haitao Z, Jia G-F, Ojukwu C & Tan H-Q, 2019. Establishment of validated models for non-invasive prediction of rectal temperature of sows using infrared thermography and chemometrics. *International Journal of Biometeorology*, 63. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01758-2>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Fernandes AFA, Dórea JRR & Rosa GJdM, 2020. Image Analysis and Computer Vision Applications in Animal Sciences: An Overview. *Frontiers in Veterinary Science*, 7 (800). Beschikbaar online: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.551269>
- Foodmate B.V, 2021. ChickSort 3.0. Beschikbaar online: <https://foodmate.nl/wp-content/uploads/2020/06/ChickSort-3.0.pdf>
- Gómez Y, Stygar AH, Boumans IJMM, Bokkers EAM, Pedersen LJ, Niemi JK, Pastell M, Manteca X & Llonch P, 2021. A Systematic Review on Validated Precision Livestock Farming Technologies for Pig Production and Its Potential to Assess Animal Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8 (492). Beschikbaar online: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660565>
- Grandin T, 2010. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat science*, 86 (1), 56-65. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.022>
- Grandin T, 2021. Recommended animal handling guidelines and audit guide. A systematic approach to animal welfare.
- Gronskyte R, Clemmensen LH, Hviid MS & Kulahci M, 2015. Pig herd monitoring and undesirable tripping and stepping prevention. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 51-60. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.021>
- Gronskyte R, Clemmensen LH, Hviid MS & Kulahci M, 2016. Monitoring pig movement at the slaughterhouse using optical flow and modified angular histograms. *Biosystems Engineering*, 141, 19-30. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.10.002>
- GroStat, 2022. Growth Sensor [Webpagina]. Beschikbaar online: http://grostat.com/growth_sensor.php#prettyPhoto [Geraadpleegd: 4-3-2022].
- H+L, 2022. The pig scale in your hand [Webpagina]. Beschikbaar online: https://hl-agrar.de/en_gb/optiscan/ [Geraadpleegd: 4-3-2022].
- Heeres-van der Tol J, Wolthuis M, Bokma S, Smits D, Stockhofe N, Vermeij I & van Reenen K, 2017. Alternatieve vloeren voor vleeskalveren. Wageningen Livestock Research.
- 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 (3), 829. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/3/829>
- Horcada A, Juárez M, Molina A, Valera M & Beriain MJ, 2013. Instrumental colour measurement as a tool for light veal carcasses online evaluation. *Archives Animal Breeding*, 56 (1), 851-860.
- Hulsegge B, Engel B, Buist W, Merkus GSM & Klont RE, 2001. Instrumental colour classification of veal carcasses. *Meat science*, 57 (2), 191-195. Beschikbaar online: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00093-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00093-0)
- Jones B & Manteca X, 2009. Practical strategies for improving farm animal welfare: an information resource. Welfare Quality® project. Beschikbaar online: <http://www.welfarequality.net/en-us/home/>
- Jørgensen A, 2018. Computer vision Analysis of Broiler Carcass and Viscera. Aalborg University.
- Kang X, Zhang XD & Liu G, 2021. A Review: Development of Computer Vision-Based Lameness Detection for Dairy Cows and Discussion of the Practical Applications. *Sensors*, 21 (3), 753. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/3/753>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Ketenborging.nl, 2022. Kwaliteitsschema's en status [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://ketenborging.nl/kwaliteitsschemas-en-status/> [Geraadpleegd: 24-1-2022].
- Kiwa, 2021. Classificatie [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.kiwa.com/nl/nl/service/classificatie/> [Geraadpleegd: 19-11-2021].
- Klont RE, Barnier VM, Smulders FJ, Van Dijk A, Hoving-Bolink AH & Eikelenboom G, 1999. Post-mortem variation in pH, temperature, and colour profiles of veal carcasses in relation to breed, blood haemoglobin content, and carcass characteristics. *Meat Sci*, 53 (3), 195-202. Beschikbaar online: [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00048-0](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00048-0)
- Koltes JE, Koltes DA, Mote BE, Tucker J & Hubbell DS, III, 2018. Automated collection of heat stress data in livestock: new technologies and opportunities. *Translational Animal Science*, 2 (3), 319-323. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1093/tas/txy061>
- Konica Minolta, 2021. Kleurmeting [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www5.konicaminolta.eu/nl/measuring-instruments/producten/kleurmeting.html> [Geraadpleegd: 12-11-2021].
- Larsen ML, Wang M & Norton T, 2021. Information technologies for welfare monitoring in pigs and their relation to Welfare Quality®. *Sustainability*, 13 (2), 692.
- Lee J, Jin L, Park D & Chung Y, 2016. Automatic Recognition of Aggressive Behavior in Pigs Using a Kinect Depth Sensor. *Sensors*, 16 (5), 631. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/5/631>
- Leruste H, Brscic M, Heutinck LFM, Visser EK, Wolthuis-Fillerup M, Bokkers EAM, Stockhofe-Zurwieden N, Cozzi G, Gottardo F, Lensink BJ & van Reenen CG, 2012. The relationship between clinical signs of respiratory system disorders and lung lesions at slaughter in veal calves. *Preventive veterinary medicine*, 105 (1-2), 93-100. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.01.015>
- Losada-Espinosa N, Villarroel M, Maria GA & Miranda-de la Lama GC, 2018. Pre-slaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary monitoring systems: A systematic review. *Meat Sci*, 138, 34-48. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.12.004>
- Louton H, Bergmann S, Piller A, Erhard M, Stracke J, Spindler B, Schmidt P, Schulte-Landwehr J & Schwarzer A, 2022. Automatic Scoring System for Monitoring Foot Pad Dermatitis in Broilers. *Agriculture*, 12 (2), 221. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/221>
- Lu M, He J, Chen C, Okinda C, Shen M, Liu L, Yao W, Norton T & Berckmans D, 2018. An automatic ear base temperature extraction method for top view piglet thermal image. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 339-347. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.030>
- Maertens W, Vangeyte J, Baert J, Jantuan A, Mertens KC, De Campeneere S, Pluk A, Opsomer G, Van Weyenberg S & Van Nuffel A, 2011. Development of a real time cow gait tracking and analysing tool to assess lameness using a pressure sensitive walkway: the GAITWISE system. *Biosystems Engineering*, 110 (1), 29-39.
- Maisano AM, Luini M, Vitale N, Rota Nodari S, Scali F, Alborali GL & Vezzoli F, 2020. Animal-based measures on fattening heavy pigs at the slaughterhouse and the association with animal welfare at the farm level: a preliminary study. *Animal*, 14 (1), 108-118. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S1751731119001320>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Marel, 2021. IRIS GDR [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://marel.com/en/products/iris-gdr> [Geraadpleegd: 18-10-2021].
- McKenna S, Amaral T & Kyriazakis I, 2020. Automated Classification for Visual-Only Postmortem Inspection of Porcine Pathology. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17 (2), 1005-1016.
- McManus C, Tanure CB, Peripolli V, Seixas L, Fischer V, Gabbi AM, Menegassi SRO, Stumpf MT, Kolling GJ, Dias E & Costa JBG, 2016. Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 10-16. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>
- Meijer E, Bertholle CP, Oosterlinck M, van der Staay FJ, Back W & van Nes A, 2014. Pressure mat analysis of the longitudinal development of pig locomotion in growing pigs after weaning. *BMC Vet Res*, 10, 37. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-37>
- Meyn Food Processing Technology B.V, 2018. Meyn Footpad Inspection System. Beschikbaar online: <https://www.meyn.com/products/slaughtering/feet-processing/footpad-inspection-system>
- Meyn Food Processing Technology B.V, 2019. Meyn Quality grading system M2.0. Beschikbaar online: <https://www.meyn.com/products/plant-automation/weighing-grading/qgs-whole-bird-m2-0>
- Mullins IL, Truman CM, Campler MR, Bewley JM & Costa JHC, 2019. Validation of a Commercial Automated Body Condition Scoring System on a Commercial Dairy Farm. *Animals*, 9 (6), 287. Beschikbaar online: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/6/287>
- Nasirahmadi A, Edwards SA & Sturm B, 2017. Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science*, 202, 25-38. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>
- Nasirahmadi A, Hensel O, Edwards SA & Sturm B, 2016. Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 295-302. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.022>
- Nasirahmadi A, Richter U, Hensel O, Edwards S & Sturm B, 2015. Using machine vision for investigation of changes in pig group lying patterns. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 184-190. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.023>
- Neethirajan S, 2020. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100367. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
- Norton T & Berckmans D, 2018. Precision livestock farming: the future of livestock welfare monitoring and management? *Animal Welfare in a Changing World*, 130.
- NVWA, 2020a. MANCP Meerjarig Nationaal Controleplan, Nederland, jaarverslag 2019. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/over-de-nvwa/documenten/nvwa/organisatie/mancp-jaarverslagen/2019/mancp-meerjarig-nationaal-controleplan-nederland-jaarverslag-2019>
- NVWA, 2020b. Roodvleesbijlage nieuwe Controleverordening: gevolgen voor keuring en toezicht. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/documenten/export/veterinair/ks-documenten/werkvoorschriften-veterinair-algemeen/roodvleesbijlage-nieuwe-controleverordening-gevolgen-voor-keuring-en-toezicht>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- NVWA, 2021a. Inspectieresultaten NVWA grote slachthuizen: jaarlijks honderden boetes en waarschuwingen [Webpagina, 3-12-2021]. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/nieuws-en-media/nieuws/2021/12/03/inspectieresultaten-nvwa-grote-slachthuizen-jaarlijks-honderden-boetes-en-waarschuwingen> [Geraadpleegd: 3-12-2021].
- NVWA 2021b. e-learning Basis Pluimvee. Beschikbaar
- NVWA, 2021c. Bijlage 8 bij Werkvoorschrift toezicht op welzijn van pluimvee en konijnen in het slachthuis.
- NVWA, 2021d. Vangletsel bij pluimvee Inspectieresultaten 2019. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/documenten/dier/dierenwelzijn/welzijn/inspectieresultaten/inspectieresultaten-vangletsel-bij-pluimvee-2019>
- NVWA, 2021e. Cameratoezicht dierenwelzijn in slachthuizen. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/cameratoezicht-in-slachthuizen/documenten/dier/dierenwelzijn/slachthuizen/publicatie/cameratoezicht-dierenwelzijn-in-slachthuizen>
- NVWA, 2022. Kwaliteitssystemen (controlesystemen) en toezicht NVWA [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/kwaliteitssystemen-zelfcontrolesystemen-en-toezicht-nvwa>
- Oczak M, Viazzi S, Ismayilova G, Sonoda LT, Roulston N, Fels M, Bahr C, Hartung J, Guarino M, Berckmans D & Vranken E, 2014. Classification of aggressive behaviour in pigs by activity index and multilayer feed forward neural network. Biosystems Engineering, 119, 89-97. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.01.005>
- Petry A, McGilvray W, Rakhshandeh A & Rakhshandeh A, 2017. Assessment of an alternative technique for measuring body temperature in pigs. Journal of animal science, 95 (7), 3270-3274.
- Pezzuolo A, Guarino M, Sartori L, González LA & Marinello F, 2018. On-barn pig weight estimation based on body measurements by a Kinect v1 depth camera. Computers and Electronics in Agriculture, 148, 29-36. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.003>
- Pluimveeweb, 2018. Fotoserie: Slachterijen willen voetzooloesies met camera meten [Webpagina, 5-06-2018]. Beschikbaar online: <https://www.pluimveeweb.nl/artikel/170618-slachterijen-willen-voetzooloesies-met-camera-meten/> [Geraadpleegd: 10-11-2020].
- Romero MH, Rodríguez-Palomares M & Sánchez JA, 2020. Animal-Based Measurements to Assess the Welfare of Dairy Cull Cows during Pre-Slaughter. Animals (Basel), 10 (10). Beschikbaar online: <https://doi.org/10.3390/ani10101802>
- Rowe E, Dawkins MS & Gebhardt-Henrich SG, 2019. A systematic review of precision livestock farming in the poultry sector: Is technology focussed on improving bird welfare? Animals, 9 (9), 614.
- Rushen J, Chapinal N & De Passille A, 2012. Automated monitoring of behavioural-based animal welfare indicators. Animal Welfare-The UFAW Journal, 21 (3), 339.
- RVO.nl, 2020. Voetzooloesies bij vleeskuikens [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/dieren-houden/dierenwelzijn/regels-voor-huisvesting-en-verzorging/vleeskuikens/aanvullende-eisen-categorie-2-en-3> [Geraadpleegd: 10-11-2020].

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Salles MSV, da Silva SC, Salles FA, Roma LC, El Faro L, Bustos Mac Lean PA, Lins de Oliveira CE & Martello LS, 2016. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 62, 63-69. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>
- SBK, 2021. REGELING SLACHTING, WEGING EN CLASSIFICATIE KALVEREN. Kalversector SB (ed.).
- Schaefer AL, Cook NJ, Bench C, Chabot JB, Colyn J, Liu T, Okine EK, Stewart M & Webster JR, 2012. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, 93 (2), 928-935. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.09.021>
- Schön P-C, Puppe B & Manteuffel G, 2001. Linear prediction coding analysis and self-organizing feature map as tools to classify stress calls of domestic pigs (*Sus scrofa*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110 (3), 1425-1431.
- Schön P, Puppe B & Manteuffel G, 2004. Automated recording of stress vocalisations as a tool to document impaired welfare in pigs. *ANIMAL WELFARE-POTTERS BAR THEN WHEATHAMPSTEAD-*, 13 (2), 105-110.
- Sellier N, Guettier E & Staub C, 2014. A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. *American Journal of Agricultural Science and Technology*, 2 (2), 74-99.
- Shao B & Xin H, 2008. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62 (1), 15-21. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.006>
- Shimizu H & Nakayama KI, 2020. Artificial intelligence in oncology. *Cancer science*, 111 (5), 1452.
- Silva SR, Araujo JP, Guedes C, Silva F, Almeida M & Cerqueira JL, 2021. Precision Technologies to Address Dairy Cattle Welfare: Focus on Lameness, Mastitis and Body Condition. *Animals (Basel)*, 11 (8). Beschikbaar online: <https://doi.org/10.3390/ani11082253>
- Stocchi R, Mandolini NA, Marinsalti M, Cammertoni N, Loschi AR & Rea S, 2014. Animal welfare evaluation at a slaughterhouse for heavy pigs intended for processing. *Italian journal of food safety*, 3 (1).
- Støier S, Larsen H, Aaslyng M & Lykke L, 2016. Improved animal welfare, the right technology and increased business. *Meat science*, 120, 71-77.
- Støier S, Sell AM, Christensen LB, Blaabjerg L & Aaslyng MD, 2011. Vocalization as a measure of welfare in slaughter pigs at Danish slaughterhouses. *Proceedings of the 57th International Congress of Meat Science and Technology*. 7-12 August Ghent, Belgium.
- Stygar AH, Gómez Y, Berteselli GV, Dalla Costa E, Canali E, Niemi JK, Llonch P & Pastell M, 2021. A Systematic Review on Commercially Available and Validated Sensor Technologies for Welfare Assessment of Dairy Cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 8 (177). Beschikbaar online: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.634338>
- Trachtman AR, Bergamini L, Palazzi A, Porrello A, Capobianco Dondona A, Del Negro E, Paolini A, Vignola G, Calderara S & Marruchella G, 2020. Scoring pleurisy in slaughtered pigs using convolutional neural networks. *Veterinary research*, 51, 1-9.
- Van Erp-van der Kooij E & Rutter SB, 2020. Using precision farming to improve animal welfare. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary*

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

- Science, Nutrition and Natural Resources, 15. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015051>
- Van Harn J & De Jong IC, 2017. Validation of Meyn Footpad Inspection System. 1570-8616. Wageningen Livestock Research, Wageningen. Beschikbaar online: <https://edepot.wur.nl/429581>
- Van Hertem T, Schlageter Tello A, Viazzi S, Steensels M, Bahr C, Romanini CEB, Lokhorst K, Maltz E, Halachmi I & Berckmans D, 2018. Implementation of an automatic 3D vision monitor for dairy cow locomotion in a commercial farm. *Biosystems Engineering*, 173, 166-175. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.011>
- Van Hertem T, Viazzi S, Steensels M, Maltz E, Antler A, Alchanatis V, Schlageter-Tello AA, Lokhorst K, Romanini EC & Bahr C, 2014. Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings. *Biosystems Engineering*, 119, 108-116.
- Vandermeulen J, Bahr C, Tullo E, Fontana I, Ott S, Kashiha M, Guarino M, Moons CP, Tuytens FA, Niewold TA & Berckmans D, 2015. Discerning pig screams in production environments. *PLOS ONE*, 10 (4), e0123111. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123111>
- Vandoni S & Sgoifo Rossi CA, 2009. Instrumental objective measurement of veal calves carcass colour at slaughterhouse. *Italian Journal of Animal Science*, 8 (sup2), 552-554.
- Velarde A & Dalmau A, 2012. Animal welfare assessment at slaughter in Europe: Moving from inputs to outputs. *Meat science*, 92 (3), 244-251. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.009>
- Viazzi S, Bahr C, Van Hertem T, Schlageter-Tello A, Romanini CEB, Halachmi I, Lokhorst C & Berckmans D, 2014a. Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 139-147. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.005>
- Viazzi S, Ismayilova G, Oczak M, Sonoda LT, Fels M, Guarino M, Vranken E, Hartung J, Bahr C & Berckmans D, 2014b. Image feature extraction for classification of aggressive interactions among pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104, 57-62. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.03.010>
- Vion, 2021. CSR REPORT VION 2020. Beschikbaar online: https://www.vionfoodgroup.com/nl/responsibility#mvo_rapport
- Wageningen University & Research, 2018. Update Ongeriefanalyse Voorlopige deelrapportage onderdeel vleeskalveren.
- Welfare Quality Network, 2019. Assessment Protocols [Webpagina]. Beschikbaar online: <http://www.welfarequality.net/en-us/reports/assessment-protocols/> [Geraadpleegd: 16-08-2019].
- Welfare Quality®, 2009a. Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Consortium WQ (ed.). Lelystad.
- Welfare Quality®, 2009b. Welfare Quality® assessment protocol for poultry. Consortium WQ (ed.). Lelystad.
- Welfare Quality®, 2009c. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Consortium WQ (ed.). Lelystad.
- WUGGL, 2022. WUGGL One [Webpagina]. Beschikbaar online: <http://www.wuggl.com/produkt/> [Geraadpleegd: 4-3-2022].
- Ymaging, 2015. PigWei. Beschikbaar online: https://issuu.com/ymaging/docs/pigwey_presskit_eng

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645

Zhang Z, Zhang H & Liu T, 2019. Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 1, 14-26.
Beschikbaar online:
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.02.002>

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Datum
20-10-2022

Onze referentie
TRCVWA/2022/8645