
Analyse risicofactoren welzijn en gezondheid vleeskuikens

R.A. van Emous en I. Vermeij¹

¹ Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research binnen het kader van de Publiek Private Samenwerking (PPS) "Vital Chick Chain" (BO-63-001-032). Dit project is een samenwerking tussen het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en een consortium van verschillende partijen.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2020

Openbaar

Rapport 1288

van Emous, R.A., I. Vermeij, 2020. *Analyse risicofactoren welzijn en gezondheid vleeskuikens*; Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport.

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van een deskstudie bestaande uit expertkennis en literatuurstudie met als doel om de risicofactoren voor dierenwelzijn- en diergezondheidsindicatoren bij vleeskuikens in kaart te brengen. Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research binnen het kader van de Publiek Private Samenwerking (PPS) "Vital Chick Chain" (BO-63-001-032). Dit project is een samenwerking tussen het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en een consortium van verschillende partijen. Uit het onderzoek blijkt dat de uitval (1^e week en totaal) sterk beïnvloed wordt door het management en gezondheid van de vleeskuikenouderdieren. Daarnaast is het broedproces en het management op het vleeskuikenbedrijf belangrijk voor de uitval van de vleeskuikens. De primaire oorzaak van voetzollaesies is de strooiselkwaliteit en alle factoren die daarmee samenhangen. Het optreden van borstspierafwijkingen bij vleeskuikens wordt vooral veroorzaakt door te hoge of onregelmatige groei (onder invloed van voeding) in combinatie met verhoogde activiteit en stress.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/538624> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2020
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Risicofactoren welzijn en gezondheid	10
2.1 Uitval (1 ^e week/totaal)	10
2.2 Contact dermatitis	10
2.3 Borstspierafwijkingen	11
3 Risicofactoren voor vermindering van welzijn en gezondheid	13
3.1 Uitval (1 ^e week/totaal)	13
3.2 Contact dermatitis	14
3.2.1 Drinkwatersysteem	14
3.2.2 Seizoen (klimaat)	14
3.2.3 Strooisel (soort, dikte, bijstrooien)	15
3.2.4 Bezetting	15
3.2.5 Voersamenstelling	16
3.2.6 Verlichting	16
3.2.7 Geslacht	17
3.2.8 Ras vleeskuiken	17
3.2.9 Uitladen/wegladen	17
3.3 Borstspierafwijkingen	17
3.3.1 Snelle groei	18
3.3.2 Onvoldoende doorbloeding	19
3.3.3 Oxidatieve stress	19
3.3.4 Literatuur voorkomen/verminderen borstspierafwijkingen	20
3.3.5 Borstspierafwijkingen preventie vanuit de praktijk	21
4 Prioritering risicofactoren	22
5 Conclusies en aanbevelingen	24
5.1 Conclusies	24
5.2 Aanbevelingen	24
Literatuur	25

Woord vooraf

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van een literatuurstudie en expert judgement naar de risicofactoren op het gebied van welzijn en gezondheid bij vleeskuikens. De belangrijkste uitdagingen bij vleeskuikens op dit gebied zijn uitval (met name 1^e week), contact dermatitis en borstspierafwijkingen. Deze uitdagingen worden veroorzaakt door een legio aan verschillende factoren zoals afkomst, kwaliteit eendagskuikens, management, voeding, klimaat, etc. Om verbeteringen te kunnen realiseren, is het belangrijk om de belangrijkste factoren te identificeren. Ook is het noodzakelijk om te bekijken hoe we deze kunnen beïnvloeden voor een meer duurzamere vleeskuikenhouderij.

De wens is dat het hier beschreven onderzoek een aanzet kan zijn tot vermindering van de effecten van deze factoren waardoor het welzijn, gezondheid en uiteindelijk ook de technische resultaten van de vleeskuikens verbeteren.

De auteurs bedanken de partners binnen het PPS project Vital Chick Chain voor de financiering en opdracht om dit rapport te schrijven.

Projectleider,
Dr. ing. R.A. (Rick) van Emous

Samenvatting

Binnen de vleeskuikenhouderij liggen een aantal uitdagingen op het gebied van uitval (met name 1^e week), contact dermatitis en borstspierafwijkingen. Uitval, en met name de uitval van het jonge dier, is al decennia een belangrijke factor voor het welzijn, gezondheid en rendement van vleeskuikens. De oorzaken van uitval bij vleeskuikens liggen niet enkel op het vleeskuikenbedrijf, maar ook in de voorschakels (fokkerij, vermeerdering en broederij). De laatste decennia is er steeds meer aandacht voor het welzijn van vleeskuikens, met name gericht op voetzoollaesies (locomotie), borstirritaties en brandhakken. Strooiselkwaliteit is de belangrijkste factor voor voetzoollaesies, welke bepaald wordt door het drinkwatersysteem, voeding en/of klimaat. Borstspierafwijkingen worden de laatste vijf tot tien jaar steeds meer waargenomen. De belangrijkste borstspierafwijkingen zijn wooden breast, white striping, spaghetti meat en diepe pectoralis-myopathie (groene-spierziekte).

In dit rapport gaan we in op de belangrijkste risicofactoren voor uitval, voetzoollaesies en borstspierafwijkingen die elk een grote invloed hebben op dierenwelzijn en diergezondheid van vleeskuikens. Dit rapport heeft als doel om de risicofactoren voor dierenwelzijn- en diergezondheidsindicatoren in kaart te brengen. Dat is gedaan door de literatuur te raadplegen en daarnaast is aan de partners van het consortium van de PPS Vital Chick Chain gevraagd om de risicofactoren te prioriteren (expert judgement).

Uit de literatuurstudie en kennis van de vleeskuiken experts blijkt dat uitval, voetzoollaesies en borstspierafwijkingen door een breed scala aan risicofactoren worden beïnvloed.

Uitval (1^e week en totaal)

Uitval wordt specifiek veroorzaakt door de gezondheidsstatus, leeftijd, ras en voeding van de ouderdieren alsmede door de kwaliteit en bewaring van broedeieren. Daarnaast heeft het broedproces een grote invloed op de kwaliteit van de eendagskuikens. Verder is het management op het vleeskuikenbedrijf belangrijk voor de uitval van de vleeskuikens waarbij vooral het opvangmanagement genoemd wordt als belangrijke factor. Daarnaast spelen de volgende factoren een rol op de uitval: vloertemperatuur, koppel grootte, hygiëne, klimaat, early feeding, seizoen, jaar en bezetting.

Voetzoollaesies

Het optreden van voetzoollaesies bij vleeskuikens wordt vooral veroorzaakt door problemen met de strooiselkwaliteit. Alle factoren die van invloed zijn op de strooiselkwaliteit zijn daarbij van belang. Door de literatuur en deskundigen worden vooral het watersysteem, watermanagement, seizoen en voersamenstelling genoemd als belangrijkste factoren. Daarnaast wordt strooiselsoort, klimaat, bezetting en lichtschema genoemd als factoren die een duidelijke invloed hebben op strooisel en dus voetzoollaesies.

Borstspierafwijkingen

De daadwerkelijke oorzaken van borstspierafwijkingen zijn nog niet duidelijk. Wel is bekend dat het een multifactorieel probleem is dat wordt veroorzaakt door een combinatie van een te hoge of onregelmatige groei (voeding), verhoogde activiteit en stress (generieke en oxidatieve).

Naar aanleiding van het onderzoek zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- Om meer inzicht te verkrijgen in de invloed van de verschillende risicofactoren op uitval, voetzoollaesies en borstspierafwijkingen moet de samenhang tussen de schakels in de keten scherper bekeken worden.
- In eerste instantie moet meer aandacht worden besteed aan relaties en oorzaken vanuit voorgaande schakels naar de volgende (eind)schakel. Door het koppelen en analyseren van gegevens tussen de schakels in de keten kunnen de werkelijk belangrijkste risicofactoren geïdentificeerd worden.
- De broederij is een belangrijke factor als het gaat om kuikenkwaliteit en uitval 1^e week. Het analyseren van de omstandigheden en resultaten met broedeieren van verschillende kwaliteit (met name vuile nest eieren en grondeieren), kunnen handvatten geven voor verbetering.

-
- Een pluimveehouder moet meer aandacht besteden aan de strooiselkwaliteit om voetzollaesies te verminderen.
 - Voor het verminderen van borstspierafwijkingen is het aan te bevelen om het management aan te passen aan de levensweek waarin de vleeskuikens zitten.
 - De effecten van het minimaliseren van de risicofactoren moeten onder gecontroleerde (experimentele) omstandigheden worden onderzocht.
 - Opstellen en toepassen van protocollen voor optimaal management bij de verschillende schakels kan een verbetering geven van de resultaten van de gehele keten.

1 Inleiding

De pluimveevleesketen bestaat uit diverse schakels die in Nederland, in tegenstelling tot veel andere landen, nauwelijks geïntegreerd zijn. De pluimveehouders zijn zelfstandige ondernemers, wat in andere landen veel minder vaak het geval is. De vleeskuikenhouderij in Nederland kent een aantal uitdagingen op het gebied van welzijn en gezondheid: uitval (met name 1^e week), contact dermatitis en borstspierafwijkingen. Deze uitdagingen worden veroorzaakt door een legio aan verschillende factoren op het gebied van afkomst, kwaliteit eendagskuikens, management, inrichting, voeding, klimaat, etc. (Yassin et al., 2008, 2009).

Uitval, en met name de uitval van het jonge dier, is al decennia een belangrijke indicator voor het welzijn, gezondheid en rendement van vleeskuikens. De oorzaken van uitval bij vleeskuikens liggen niet enkel op het vleeskuikenbedrijf, maar ook bij de voorschakels (fokkerij, vermeerdering en broederij) (Lourens en Steentjes, 2009). Binnen iedere schakel in de keten zijn zowel een breed scala aan zoötechnische, als aan veterinaire oorzaken te identificeren. Bijvoorbeeld wanneer ouderdieren een periode van hittestress meemaken, kan dit grote gevolgen hebben voor de vleeskuikens.

De laatste decennia is er steeds meer aandacht voor het welzijn van vleeskuikens (o.a. locomotie issues) en dan met name voor de onderwerpen voetzoollaesies, borstirritaties en brandhakken (EFSA, 2010). De sector heeft, met positieve resultaten, de laatste 10 jaar veel energie gestoken in het verminderen van deze problemen door o.a. het verbeteren van het klimaat en de inrichting in de stallen. De belangrijkste factor voor voetzoollaesies is de kwaliteit van het strooisel, welke door het drinkwatersysteem, voeding en/of klimaat, etc. wordt bepaald. Daarnaast is het ook denkbaar dat transgeneratiele (= over generaties heen) effecten, indirect van invloed zijn op de kwaliteit van het strooisel.

De laatste vijf tot tien jaar spelen myopathieën (stofwisselingsziekten van de spieren) van de borstfilet een steeds grotere rol. Deze borstspierafwijkingen tasten vooral de borstfilet aan, wat het meest waardevolle onderdeel van het vleeskarkas is voor westerse pluimveevlees markten. De vier belangrijkste borstspierafwijkingen zijn wooden breast (WB), white striping (WS), spaghetti meat (SM) en de diepe pectoralis-myopathie (groene-spierziekte).

Dit rapport heeft als doel om de risicofactoren op uitval (1^e week en totaal), voetzoollaesies en borstspierafwijkingen, voor dierenwelzijn- en diergezondheidsindicatoren in kaart te brengen.

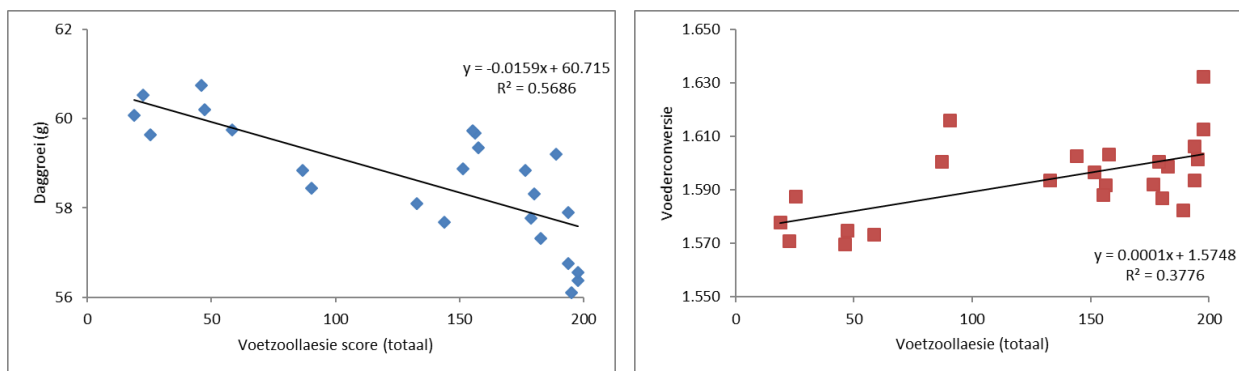
2 Risicofactoren welzijn en gezondheid

2.1 Uitval (1^e week/totaal)

Uitval binnen de vleeskuikensector is al geruime tijd een punt van aandacht omdat het een direct verband heeft met dierenwelzijn, diergezondheid en rendement. Met name de hoge sterfte van jonge dieren (uit alle sectoren) heeft de aandacht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en is reden tot maatschappelijke zorg. Minister Schouten stelt in haar beleidsbrief Dierenwelzijn (4 oktober 2018) aan de Tweede Kamer het van belang te vinden dat de inspanningen verhoogd worden om de sterfte van jonge dieren verder terug te dringen. Zij is daarover in gesprek met de sectoren en zij ziet hierbij een benchmark, net als bij het antibioticabeleid, als een effectief instrument om stapsgewijs tot verbetering te komen. Net als de andere sectoren, is de vleeskuikensector aan zet om hier aan te voldoen. Ook in de EU is aandacht voor de uitval van vleeskuikens. In 2007 is in de EU Vleeskuikenrichtlijn (12 juli 2007) opgenomen dat de uitval verminderd moet worden, om een hogere maximale bezettingsdichtheid van 33 kg levend gewicht per vierkante meter te mogen hanteren. Men stelt dat, bij een hogere bezetting, de uitval van tenminste zeven opeenvolgende koppels kuikens lager moet zijn dan $(1 + 0,06 * \text{leeftijd van het koppel } \%)$. Bij afleveren op bijvoorbeeld 37 dagen leeftijd betekent dit dus een bovengrens in de uitval van 3,22%. De ontwikkeling van de uitval bij vleeskuikenbedrijven is niet goed inzichtelijk, maar lijkt de laatste 10 jaar stabiel of licht te dalen tot gemiddeld minder dan 4% (Peter van Horne, persoonlijke mededeling). Vanuit de fokkerij (Aviagen) is vanaf 1990 een flinke inspanning gedaan om enkele belangrijke gezondheidsproblemen via fokkerij te verminderen (Neeteson-van Nieuwenhoven et al., 2013). De incidentie van Tibiale Dyschondroplasie (TD; pootprobleem) is sinds 1990 afgenomen van ca. 30% naar minder dan 5% in 2012. De incidentie van Ascitis (verminderde hart- en longfunctie) is tussen 1995 en 2011 van 40% naar 5% afgenomen.

2.2 Contact dermatitis

Door toenemende maatschappelijke discussies is gedurende de laatste decennia de aandacht voor het dierenwelzijn in de vleeskuikensector toegenomen. De belangrijkste welzijnsproblemen binnen de vleeskuikensector zijn voetzollaesies en locomotie problemen (EFSA, 2010). Naast voetzollaesies zijn er ook problemen met borstirritaties en brandhakken. De sector heeft een flinke inspanning geleverd om deze problemen aan te pakken en te verminderen. Tussen 2013 en 2017 is de gemiddelde score voor voetzollaesies afgenomen van 74 naar 46 en was het aandeel koppels met een voetzoolscore hoger dan 120, afgenomen van 14% naar 6% (Anonymous, 2018). Voetzollaesies manifesteren zich als aantastingen van de opperhuid van de voetzool van vleeskuikens (de Jong et al., 2011). De ernst van deze aantasting varieert van een oppervlakkige lichte verkleuring van de huid tot een diepe open wond. Wanneer de huid tot in de diepere lagen is aangetast, worden de laesies pijnlijk en wordt het welzijn van het dier sterk aangetast. Vleeskuikens met pijnlijke voetzolen bewegen minder, waardoor de ernst van de laesies toeneemt (de Jong et al., 2011). Daarnaast is de kans groter op het ontstaan van andere contact dermatitis, zoals borstirritaties en brandhakken. Ook komen de kuikens minder naar het voersysteem, waardoor de groei afneemt (van Harn et al., 2009). Uit een meta-analyse van diverse vleeskuiken experimenten met voetzollaesies beperkende maatregelen (Jan van Harn, persoonlijke mededeling) bleek dat er een relatie is tussen de mate van voorkomen van voetzollaesies en de productiekenmerken van de dieren (Figuur 3.1). Uit de analyse bleek dat bij een voetzollaesie score van 20 t.o.v. 200 verbeterde de daggroei met 5% en de voederconversie met 1%.



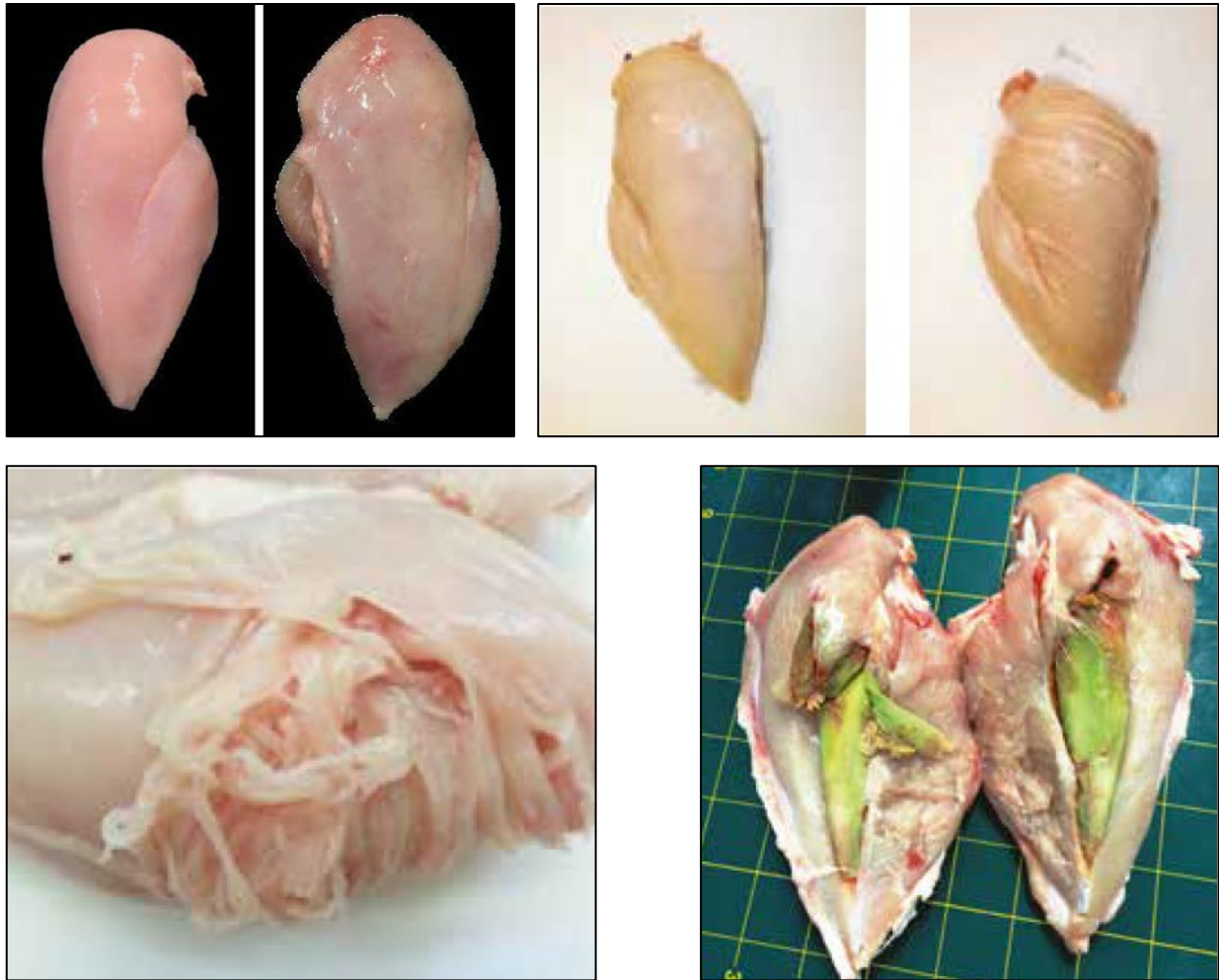
Figuur 3.1 Relatie tussen voetzoollaesie score en daggroei (links) en voederconversie (rechts).

Naast grote voordelen voor dierenwelzijn, door de reductie van wonden en pijn, is er ook een economisch voordeel door de verbeterde productie van de dieren. In een experiment van van Harn en de Jong (2013) werden de technische en financiële resultaten van vleeskuikens vergeleken bij een lage (28) en hoge (198) voetzoollaesie score. Uit de berekeningen bleek dat het saldo per opgehoekt kuiken bij hokken met een hoge en lage voetzoollaesie score, respectievelijk 13,2 en 22,1 eurocent per kuiken was. Het verschil van 8,9 eurocent per kuiken werd veroorzaakt door een hoger aflevengewicht (+7%) in combinatie met een hogere opbrengstprijs vanwege minder afkeur en een gunstiger voerconversie (-4%) bij de lage voetzoollaesie score. Voor een bedrijf met 90.000 vleeskuikens betekent dit een saldoverschil van ruim €60.000 op jaarbasis.

2.3 Borstspierafwijkingen

De afgelopen vijf tot tien jaar is het aantal meldingen van borstspierafwijkingen (ook wel borstfilet myopathieën genoemd) toegenomen (Barbut, 2019). De afwijkingen aan de borstspier ontstaan door stofwisselingsproblemen in de spier. Deze myopathieën tasten vooral de borstfilet aan, het meest waardevolle onderdeel van het vleeskarkas voor Westerse pluimveevlees markten. De drie belangrijkste borstspierafwijkingen zijn wooden breast (WB), white striping (WS) en spaghetti meat (SM) of stringy-spongy. Daarnaast is de diepe pectoralis-myopathie (groene-rugspier; DPM) een probleem wat recentelijk meer wordt waargenomen en waarvan de incidentie toeneemt (Gert Dekker, 2020, persoonlijke mededeling). Het aantal wetenschappelijke en populaire publicaties gericht op WB, WS en SP neemt de laatste 5 tot 10 jaar snel toe. Onderzoekers schatten dat 5 tot 10% van de borstfilets te maken heeft met wooden breast (Gee, 2016). Ze merkten verder op dat WB de textuur van de filet beïnvloedt, maar geen gevaar voor de voedselveiligheid oplevert.

Het wooden breast syndroom (Figuur 3.2, linksboven) resulteert in de ophoping van bindweefselvezels en vetcellen in het binnenste spierweefsel, waardoor een stevige (houtachtige) textuur ontstaat. White striping resulteert in parallelle witte strepen op het oppervlak van de borstspier van vleeskuikens, welke soms ook te zien op de dijbeenspier (Figuur 3.2, rechtsboven). Histologische en chemische analyse van borstspier met WS toonde aan dat de witte lijnen voornamelijk bestaan uit vetweefsel (Aviagen, 2019). De derde borstspierafwijking is spaghetti meat (Figuur 3.2, linksonder) die zich manifesteert als het splitsen van de spierbundels en in een draadachtige structuur (Baldi et al., 2018). De vierde borstspierafwijking is de diepe pectoralis-myopathie (groene rugspier) (Figuur 3.2, rechtsonder), waarbij de groene kleur van het spierweefsel kenmerkend is.



Figuur 3.2 Voorbeelden van wooden breast (links boven, rechter filet), white striping (rechts boven, linker filet: matig; rechter filet: ernstig), spaghetti meat (links onder) en diepe pectoralis-myopathie (groene rugspier) (rechts onder).

Voor Nederland zijn er geen schattingen of berekeningen gemaakt voor de economische schade van borstspierafwijkingen. Voor de Amerikaanse pluimveevleesindustrie is door Kuttappan et al. (2016) wel een inschatting gemaakt, en die kwamen op circa 200 miljoen dollar schade per jaar. Recente discussies met deskundigen uit de pluimveevleesindustrie suggereren echter dat dit bedrag te laag is ingeschat (Barbut, 2019). In de VS wordt jaarlijks ongeveer 5,82 miljard kg kippenborstvlees verwerkt (Kuttappan et al., 2016). Bij een verkoopprijs van ongeveer US \$3,3 per kg borstfilet, kan de marktwaarde van dit product worden berekend op US \$18 miljard per jaar, en daarom vertegenwoordigt de geschatte 200 miljoen dollar slechts ongeveer 1% hiervan. In Nederland ligt de pluimveevlees productie 19 maal lager dan in de VS (FAOSTAT, 2020). Er vanuit gaande dat de borstspierafwijkingen problematiek in Nederland op een vergelijkbaar niveau met de VS ligt, resulteert dit in een geschatte schade van 9 miljoen euro per jaar.

3 Risicofactoren voor vermindering van welzijn en gezondheid

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillende risicofactoren voor uitval (1^e week/totaal), contact dermatitis en borstspierafwijkingen.

3.1 Uitval (1^e week/totaal)

De uitval van vleeskuikens wordt voor een belangrijk deel bepaald door de voorgeschiedenis en herkomst van het kuiken (Lourens en Steentjes, 2008). De voorschakels (vermeerderingsbedrijven en broederijen) spelen hierbij dus een grote rol. De factoren die een grote rol spelen op de kwaliteit en uitval van de vleeskuikens zijn te verdelen in veterinaire en zoötechnische oorzaken. De veterinaire oorzaken bestaan uit de volgende factoren: gezondheidsstatus van de vermeerderingsdieren (virale, bacteriële en parasitaire aandoeningen), medicijngebruik en vaccinaties. De zoötechnische oorzaken op het vermeerderingsbedrijf zijn te verdelen in de factoren: voerkwaliteit, nutriënt deficiënties, leeftijd van de ouderdieren, klimaatproblemen (bijv. hittestress, concentraties schadelijke gassen, etc.) en broedeibehandeling (opslag, aantal malen rapen, bewaarduur, bewaaromstandigheden, etc.) (Yassin et al., 2008, 2009). Als voorbeeld, de leeftijd van de ouderdieren speelt een grote rol op de uitval van de nakomelingen. Uit onderzoek van Yassin et al. (2009) weten we dat broedeieren vóór 30 en na 60 weken leeftijd van de moederdieren een hogere 1^e week uitval geven.

Ook de kwaliteit van broedeieren heeft grote invloed op de uitval van de nakomelingen. Bijvoorbeeld, grondeieren en vuile nesteieren kunnen de uitval bij de nakomelingen verhogen. In een studie door Butcher et al. (2002) werd het volgende gerapporteerd: bij kuikens uit schone nesteieren was de uitval in de eerste 2 weken 0,9%; bij kuikens uit licht bevulde nesteieren was de uitval 2,3% en bij kuikens uit vuile nesteieren was de uitval 4,1%. Het is in Nederland nog steeds gebruikelijk om vuile broedeieren te wassen met alle mogelijke nadelige gevolgen van dien voor de kwaliteit van de eendagskuikens (Lourens en Steentjes, 2008). Kuikens uit vuile broedeieren worden meestal gemixt met kuikens vanuit goede 1^e soort broedeieren. Hierdoor kan slechts een klein deel van de kuikens (ca. 1-3%) een bron zijn van mogelijke ziektes in het koppel, waardoor alle kuikens met antibiotica moeten worden behandeld.

Naast de risicofactoren die op vermeerderingsbedrijven spelen, zijn er ook diverse zoötechnische en veterinaire oorzaken in de broederij te identificeren. Uit eerder onderzoek blijken o.a. eigewicht, hygiëne, ontsmetting, bewaarduur, bewaaromstandigheden, broedproces, kuikenbehandeling na uitkomst en kuikentransport van invloed op 1^e week en totale uitval van de vleeskuikens (Yassin et al., 2008, 2009). Het effect van ei- en kuikengewicht bij uitkomst geeft geen eenduidig beeld op uitval bij vleeskuikens. Een aantal onderzoekers liet zien dat eigewicht en kuikengewicht geen effect hadden op uitval bij de nakomelingen (o.a. Proudfoot en Hulan, 1981), terwijl anderen (o.a. McNaughton et al., 1978; Wyatt et al., 1985) alleen een verhoogde uitval vonden bij kuikens uit kleine en grote eieren. Kuikengewicht hing vaak samen met de leeftijd van de ouderdieren (McNaughton et al., 1978). De verschillende en vaak tegenstrijdige resultaten kunnen meestal worden toegeschreven aan het feit dat het moeilijk is om kleine en grote eieren gelijktijdig in dezelfde broedmachine uit te broeden, door de verschillen in warmteproductie en benodigde temperatuur. Kleine eieren worden eerder te koud gebroed, en grote eieren raken eerder oververhit. Wanneer kleine en grote broedeieren apart en bij dezelfde embryotemperatuur worden gebroed, zijn zowel de embryonale ontwikkeling als de broeduitkomsten voor beide eigewichtsklassen gelijk (Lourens et al., 2006).

Natuurlijk zijn ook op het vleeskuikenbedrijf diverse dier- en omgeving gerelateerde factoren die een direct effect hebben op de uitval en prestaties van de dieren. Er bestaan grote verschillen in uitval (1^e week en totaal) tussen bedrijven, tussen opeenvolgende ronden op hetzelfde bedrijf en tussen stallen op hetzelfde bedrijf (Peter van Horne, 2017, persoonlijke mededeling). Opvallend is dat vooral grote

verschillen werden gezien in de 1^e week uitval en deze kan variëren tussen 0,2 – 3,1% (Yassin et al., 2009). Uit een analyse van big data van vleeskuikenbedrijven van diverse voerfabrikanten bleek de gemiddelde totale uitval 3,6% te zijn met een spreiding tussen 1,9 en 6,3% en uitschieters naar 12% (van Emous et al., 2018). In dit onderzoek lag de nadruk op de gezondheidsstatus (met de factoren uitval, groei, VC en voetzollaesies) van de bedrijven. Uit een vergelijking tussen verschillende jaren bleek er een sterke correlatie ($R^2 = 0,93$) tussen de gezondheidsstatus van opeenvolgende jaren van individuele bedrijven (van Emous en Jansman, 2018). Dit impliceert dat de gezondheidsstatus (en dus ook uitval%) van individuele vleeskuikenbedrijven mogelijk nauwelijks verandert in de tijd. In de praktijk wordt dit signaal ook regelmatig gehoord en dus zijn er mogelijkheden om op het individuele vleeskuikenbedrijf risicofactoren te identificeren en de effecten door 'custom made' oplossingen te verminderen.

De opvang van de kuikens in de stal lijkt ook een grote rol te spelen op de uitval in de 1^e week en totale uitval (André Steentjes, persoonlijke mededeling). Recentelijk is een praktijkexperiment met eendagskuikens voor opfok vleeskuikenouderdieren uitgevoerd met het toepassen van zogenaamde 'broedringen' bij opvang van vleeskuikens. Bij broedringen worden de kuikens niet in de gehele stal opgevangen maar in kleinere ruimtes door bijvoorbeeld kartonstroken met per ring een overmaat aan voer- en watervoorzieningen. Uit het praktijkexperiment bleek een positief effect op de start van de kuikens en daarmee een lagere uitval 1^e week en antibioticagebruik.

3.2 Contact dermatitis

De belangrijkste oorzaak van contact dermatitis (voetzollaesies, brandhakken en borstirritaties) is een slechte strooiselkwaliteit in de stal (van Harn et al., 2009). Nat strooisel wordt veroorzaakt door een reeks aan factoren zoals drinkwatersysteem, seizoen (klimaat), strooisel, bezetting, voersamenstelling, verlichting, geslacht, ras vleeskuiken en uitladen/wegladen. Een aantal van deze factoren heeft een vleeskuikenhouder niet in de hand, op andere factoren heeft hij een grote invloed (van Harn et al., 2009).

3.2.1 Drinkwatersysteem

Drinknippels geven een lagere prevalentie van voetzoolaandoeningen bij vleeskuikens dan drinkcups (Ekstrand et al., 1997). Daarnaast is een verband tussen nat strooisel en het type drinkwatersysteem aangetoond in een groot aantal verschillende onderzoeken met mogelijke negatieve gevolgen voor contact dermatitis (Bray en Lynn, 1986; Elson, 1989; Meijerhof, 1989; Lynn en Elson, 1990; Tucker en Walker, 1992; Van Middelkoop en van Harn, 1995; Cholocinska et al., 1997, Ekstrand et al., 1997; van Harn et al., 2009). Dit wordt vooral toegeschreven aan de variatie in hoeveelheid morswater tussen de verschillende typen drinkwatersystemen. Verder wordt door verschillende onderzoeken het gevaar van watervermorsing genoemd (Bray en Lynn, 1986; Elson, 1989; Lynn en Elson, 1990; Tucker en Walker, 1992; van Middelkoop en van Harn, 1995; Cholocinska et al. 1997; Ekstrand et al., 1997). Het verlagen van de waterdruk op de drinknippellijn, het aanbrengen van flow penntjes in de nippel en het aanbrengen van opvangschotelletjes onder de drinknippel verminderen het vermorsen van water in het strooisel en verbetert de kwaliteit van het strooisel (van Harn et al., 2009).

3.2.2 Seizoen (klimaat)

De kwaliteit van het strooisel wordt sterk beïnvloed door het seizoen waarbij vooral het klimaat een grote rol speelt (Veldkamp et al., 2007). Een hoge luchtvochtigheid buiten de stal (Payne, 1967; McIlroy et al., 1987) en in de stal (Payne 1967; Weaver en Meijerhof, 1991) wordt in verband gebracht met een slechte strooiselkwaliteit. Een seizoenseffect werd gevonden door Ekstrand en Carpenter (1998) en Martrenchar et al. (2002). De hoogste prevalentie van voetzoolaandoeningen werd gevonden in de periode van oktober tot januari wanneer de relatieve luchtvochtigheid hoog was. Terwijl de laagste prevalentie werd gevonden in de periode van mei tot augustus wanneer de relatieve luchtvochtigheid laag was. Recentelijk is door van Emous et al. (2018) een big data onderzoek uitgevoerd naar de gezondheidsstatus van vleeskuikenbedrijven. Uit het onderzoek bleek dat de prevalentie van voetzollaesies in de periode april tot en met september het laagst was en het hoogst in de periode oktober tot en met maart.

De relatieve luchtvochtigheid buiten de stal is van grote invloed op de relatieve luchtvochtigheid in de stal (Veldkamp et al., 2007). Slecht strooisel ontstaat door een hoge relatieve luchtvochtigheid in de buitenlucht of door een te laag ventilatie niveau (bijv. review artikel van Shepherd en Fairchild, 2010). In een experiment van Weaver en Meijerhof (1991) werd een effect gevonden van de relatieve luchtvochtigheid in de stal op het drogestof gehalte van het strooisel. De prevalentie en ernst van voetzoolaandoeningen was hoger bij 75% dan bij 45% relatieve luchtvochtigheid in de stal. Ondanks een voldoende ventilatiecapaciteit kan het mis gaan, omdat bijvoorbeeld de pluimveehouder wil besparen op stookkosten en hierdoor te weinig gaat ventileren waardoor het strooisel nat wordt (McIlroy et al., 1987). Een lage staltemperatuur op het moment dat het strooisel wordt ingebracht voor plaatsing van de kuikens kan leiden tot meer voetzoolaandoeningen (Sørensen et al., 2002). Bij een snel dalende temperatuurschema hadden meer dieren voetzoolaandoeningen dan bij het langzaam dalende schema (respectievelijk 90 versus 40%) (van Middelkoop et al., 1997). Een te lage vloertemperatuur heeft een nadelig effect op de kwaliteit van het strooisel en daarmee meer kans op voetzoollesies (van Harn et al., 2009).

3.2.3 Strooisel (soort, dikte, bijstrooien)

Bij vleeskuikens gehouden op houtkrullen werden minder voetzoolaandoeningen waargenomen dan bij vleeskuikens op stro (Ekstrand et al., 1997; Su et al., 2000; Sørensen et al., 2002; De Baere en Zoons, 2004b; van Harn et al., 2009). Men adviseert om stro te hakselen om de waterbindende capaciteit te vergroten. Echter enkele onderzoeken hebben geen verschillen in voetzoolaandoeningen aangetoond tussen verschillende strolengtes (De Baere en Zoons, 2004b; van Harn et al., 2009). Onderzoek in België heeft aangetoond dat op turf minder voetzoolaandoeningen voorkomen dan op (de vaak gebruikte) houtkrullen (De Baere, 2009).

Opvallend minder voetzoolaandoeningen werden aangetroffen bij een dunnere (< 5 cm) t.o.v. een dikkere (> 5 cm) strooisellaag (Ekstrand et al., 1997). De onderzoekers gaven aan dat de vleeskuikens de dunnere laag meer bewerkten door er in te scharrelen waardoor het strooisel beter kon drogen. Daarentegen werd een slechtere strooiselkwaliteit waargenomen bij een strooisellaag van 2,5 cm in vergelijking met een 10 cm dikte (Tucker en Walker, 1992). Dit resultaat was echter niet consistent voor alle typen strooisel. Het wisselende beeld kan worden veroorzaakt door verschillen in structuur, deeltjesgrootte en andere kwaliteitsaspecten van de geteste strooiselmateriaal, ventilatie(wijze) en het soort vloer. Voldoende ventilatie wordt door de onderzoekers aangegeven als een belangrijk criterium om het strooisel voldoende droog te houden (Ekstrand et al., 1997; Su et al., 2000; Sørensen et al., 2002; De Baere en Zoons, 2004b).

In een experiment van Ekstrand et al. (1997) werd geen positief effect gevonden van het bijstrooien van strooisel op de prevalentie van voetzoolaandoeningen. Ook Stephenson et al. (1960) vond geen effect van bijstrooien op de prevalentie van voetzoolaandoeningen. Bij kalkoenen heeft bijstrooien juist wel een positief effect op het aantal voetzoolaandoeningen (Geraedts, 1983; Charles en Fortune, 1977) maar deze dieren worden langer gehouden. Bij commercieel gehouden vleeskuikens wordt nauwelijks bijgestrooid, omdat deze te kort worden gehouden.

3.2.4 Bezetting

Een hoge bezetting gaf een verhoogde prevalentie van voetzoolaandoeningen bij vleeskuikens (Cravener et al., 1992; Gaardbo Thomsen, 1992; Martrenchar et al., 1997; Sørensen et al., 2000; De Baere en Zoons, 2003; De Baere, 2009; van Harn et al., 2014), hoewel dit niet werd gevonden door Ekstrand et al. (1997). Het verschil tussen het experiment van Ekstrand et al. (1997) en andere experimenten kan zijn veroorzaakt doordat de toegestane bezettingsdichtheid in Zweden afhankelijk is van de inventaris en het management op het bedrijf. In het experiment van Ekstrand et al. (1997) was het management aangepast aan de hogere bezettingsdichtheid. De bezettingsdichtheid kan, in deze situatie, daardoor niet onafhankelijk worden beoordeeld van andere mogelijke risicofactoren. In het onderzoek van Martrenchar et al. (1997) was het management (ventilatie, temperatuur, eet- en drinkruimte) gelijk voor de drie onderzochte bezettingsdichtheden van 27, 35 en 43 kg/m². De strooiselkwaliteit werd slechter naarmate de bezettingsdichtheid hoger werd, met als gevolg meer voetzoolaandoeningen.

3.2.5 Voersamenstelling

Het is bekend dat een aantal nutriënten direct bijdragen aan de vorming, ontwikkeling en onderhoud van de opperhuid (Veldkamp et al., 2007). Er werden bijvoorbeeld meer voetzoolaandoeningen gevonden wanneer de dieren voeders kregen die te weinig biotine (Chavez en Kratzer, 1972, 1974; Harms et al., 1977; Oloyo, 1991; Mayne, 2005) of riboflavine (McGinnis en Carver, 1947) bevatten. Bepaalde grondstoffen kunnen de strooiselkwaliteit beïnvloeden, bijvoorbeeld doordat deze veel kalium bevatten zoals bij soja en tapioca (Nairn en Watson, 1972; Veldkamp et al., 2007). Een groot aandeel soja in de voersamenstelling kan de mestconsistentie beïnvloeden, resulterend in natte mest en daardoor nat strooisel. De incidentie van voetzoolaandoeningen kan hierdoor toenemen (Jensen et al., 1970). Tucker en Walker (1992) vonden een slechtere rulheid van de toplaag van het strooisel door de vetkwaliteit van het voer. Veldstudies hebben aangetoond dat er een direct verband is tussen voetzoolaandoeningen en de voerfabrikant (Ekstrand et al., 1998; Ekstrand en Carpenter, 1998; Sørensen et al., 2002). Dit komt overeen met onderzoek van McIlroy et al. (1987) en Bruce et al. (1990) die verschillen vonden in de prevalentie van hak- en borstaandoeningen tussen voerfabrikanten. Appleby et al. (1992) en Tucker en Walker (1992) geven aan dat bepaalde voedingsfactoren, zoals natrium en kalium gehalten, kunnen leiden tot overmatig waterverbruik en kunnen resulteren in nat strooisel. Ook het soort tarwe dat als hele tarwe wordt bijgevoerd kan voetzoolaandoeningen beïnvloeden (Sørensen et al., 2002). Voeders met een hoog ruw eiwit gehalte veroorzaken een hogere urinezuurproductie in de nieren. Dit resulteert in een hogere wateropname en dus nattere mest met veel stikstof, wat uiteindelijk leidt tot meer voetzoolaandoeningen (Gordon et al., 2003). Onderzoek in Nederland heeft uitgewezen dat een dagelijkse afstemming van de eiwitgift op de eiwitbehoefte resulteert in droger strooisel en minder voetzoolaandoeningen (van Harn en Veldkamp, 2006). Een hogere elektrolyten balans leidt tot natter strooisel en mogelijk meer voetzoollaesies (Mushtaq et al., 2013).

3.2.6 Verlichting

Een lange donkerperiode lijkt een gunstig effect te hebben op bepaalde gezondheidsparematers zoals ogen en het beenwerk, maar op voetzolen wordt vaak een negatief effect gevonden (Veldkamp et al., 2007). Een mogelijke verklaring voor de toename van voetzoolaandoeningen bij een lange donkerperiode is dat de dieren gedurende een langere tijd stil zitten op het strooisel. Als dieren langer op dezelfde plaats verblijven zullen ze daar ook relatief meer mest produceren met plaatselijk slechter strooisel (Veldkamp et al., 2007). De dieren zijn minder actief (minder scharrelen) in het strooisel wat resulteert in slechter strooisel met als gevolg meer voetzoolaandoeningen (Renden et al., 1992). Vleeskuikens die bij een lichtschema van 23 uur licht en 1 uur donker werden gehouden hadden minder voetzoolirritaties dan vleeskuikens bij een lichtschema van 16 uur licht en 8 uur donker (van Harn en van Middelkoop, 1998). In een vervolgonderzoek (van Harn en van Middelkoop, 1999) is een relatie gevonden tussen de duur van de donkerperiode en het aantal voetzoolaandoeningen. Het aantal voetzoolaandoeningen was bij een donkerperiode van 6, 8 en 10 uur hoger dan bij een donkerperiode van 1 uur. In een onderzoek van Sørensen et al. (1999) werd ook gevonden dat een kortere donkerperiode het aantal voetzoolaandoeningen verminderde. In België is onderzoek uitgevoerd met vier verschillende lichtschema's en drie verschillende voederprogramma's (Zoons en De Baere, 2002, 2004a). De onderzochte lichtschema's waren naast een lichtschema van 24 uur licht, een intermitterend lichtschema en twee lichtschema's met een nacht van minstens 6 uur. Uit de resultaten bleek duidelijk dat het toepassen van een lichtschema's met een nacht van minstens 6 uur een nadelige invloed had op de strooiselkwaliteit. De verdeling van licht binnen de stal kan ook een rol spelen. Wanneer er geen gelijkmatige verdeling van licht in de stal is, kunnen vleeskuikens bepaalde plekken opzoeken en daar gaan rusten waardoor er op die plekken nat strooisel kan ontstaan met een risico voor voetzoolaandoeningen (Søholm Petersen et al., 2002). Ook het type lamp en de lichtkleur kan effect hebben op het droge stof gehalte van het strooisel en de voetzoolaandoeningen, al is het werkingsmechanisme niet altijd bekend. Vleeskuikens bij hoogfrequent TL hadden meer voetzoolaandoeningen dan vleeskuikens bij gloeilamp als gevolg van natter strooisel bij hoogfrequent TL (De Baere en Zoons, 2004a). In een onderzoek van Rodenburg et al. (2004) tenderden vleeskuikens bij groen/blauwe verlichting naar minder voetzoolaandoeningen dan vleeskuikens bij hoogfrequent TL. Vleeskuikens bij Osram biolux licht en met een hoger gewicht hadden een grotere kans op voetzoolaandoeningen dan vleeskuikens bij Osram warm-wit licht (Kristensen et al., 2006).

3.2.7 Geslacht

Het effect van geslacht op de prevalentie van voetzoolaandoeningen is niet eenduidig. In een onderzoek van Ekstrand et al. (1997) werden geen verschillen gevonden in prevalentie van voetzoolaandoeningen tussen hanen en hennen. In dit onderzoek werden de hanen en hennen echter al op jonge leeftijd geslacht, waardoor het gewichtsverschil misschien nog niet groot genoeg was om verschillen in voetzoolaandoeningen te krijgen. Ander onderzoek (Bruce et al., 1990; Cravener et al., 1992; Alley, 2001) wees uit dat voetzoolaandoeningen meer voorkomen bij hanen dan bij hennen. Dit kan worden veroorzaakt door verschillen in lichaamsgewicht en een verschil in behoefte aan nutriënten tussen hanen en hennen. In andere onderzoeken werd echter weer gevonden dat voetzoolaandoeningen meer voorkwamen bij hennen dan bij hanen (Zoons en De Baere, 2002; Kjaer et al., 2006; van Harn et al., 2012). De oorzaak voor de verschillen in de experimenten kunnen zijn ontstaan doordat hanen en hennen een verschillend groeiverloop hebben en worden afgeleverd op een verschillend eindgewicht.

3.2.8 Ras vleeskuiken

In enkele veldstudies werden duidelijke verschillen gevonden in voetzoolaandoeningen tussen verschillende rassen kuikens (Ekstrand et al., 1998; Kestin et al., 1999; Sanotra et al., 2003) terwijl andere studies juist geen verschillen lieten zien (Ekstrand et al., 1997).

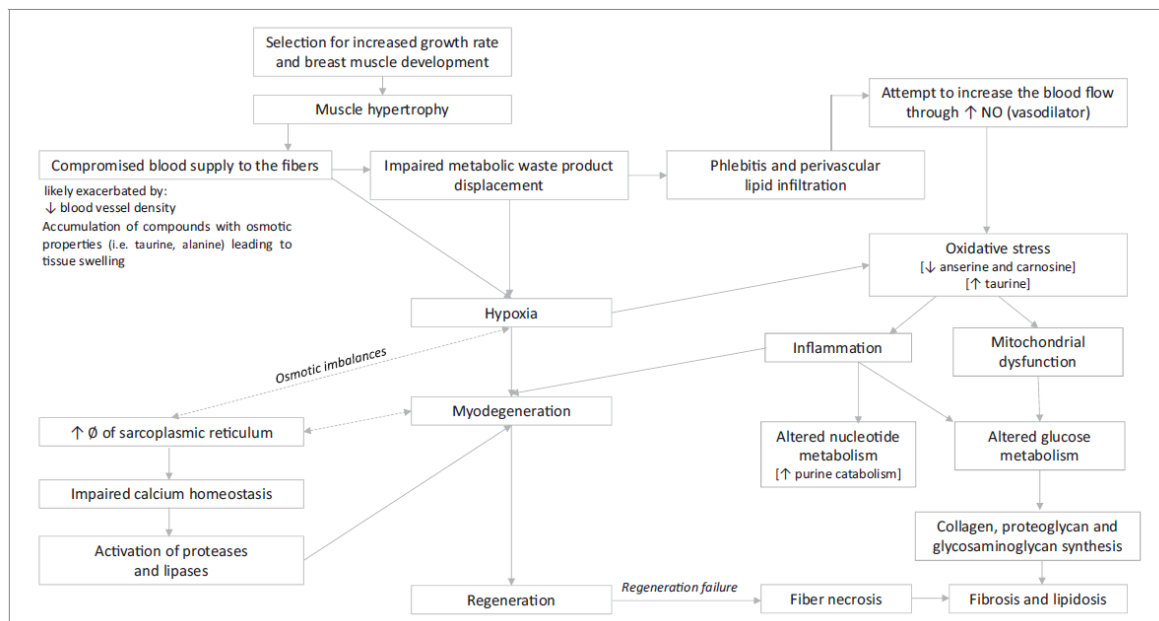
In inventarisatie studies waarbij ook onderscheid werd gemaakt in rassen kuikens vonden de Jong et al. (2011) en van Harn (2011) dat Hubbard vleeskuikens minder gevoelig voor voetzoolaesies zijn dan Cobb en Ross kuikens. Verder blijkt uit studies dat langzaam groeiende rassen (Hubbard, Rowan Ranger, LB) een lagere prevalentie aan voetzoolaesies hebben dan reguliere snel groeiende rassen (van Harn en Wiers, 2002; Kjaer et al., 2006; Wilhelmsson, 2016). In een inventarisatie van de verschillende vleeskuikenconcepten schatte men de prevalentie van voetzoolaesies bij langzaam groeiende t.o.v. snel groeiende rassen op respectievelijk 4 en 31% (Ellen et al., 2012).

3.2.9 Uitladen/wegladen

Gedurende een volledig jaar (april 2010 t/m maart 2011) zijn er op acht Nederlandse slachterijen monsters genomen van reguliere Nederlandse koppels vleeskuikens (de Jong et al., 2011). In het algemeen hadden wegladers (einde groeiperiode) een significant hogere voetzoolaesie score dan uitladers. In het algemeen geldt dat naarmate kuikens ouder worden, ze langer in contact zijn geweest met het strooisel en verder is een ouder kuiken ook zwaarder waardoor neemt de druk van de voet op het strooisel toe (Veldkamp et al., 2007). Verder zijn oudere en zware kuikens minder actief en zijn daardoor relatief langer in contact met het strooisel (de Jong et al., 2011). Dit kan verklaren waarom wegladers, die gemiddeld ouder zijn, ernstiger voetzoolaesies hebben dan uitladers.

3.3 Borstspierafwijkingen

In de afgelopen vijf jaar zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd om de onderliggende mechanismen en metabole routes te identificeren die betrokken zijn bij het optreden van borstspierafwijkingen wooden breast (WB), white striping (WS) en spaghetti meat (SM) (Mutryn et al., 2015; Abasht et al., 2016; Zambonelli et al., 2016; Papah et al., 2017; Boerboom et al., 2018; Hubert et al., 2018; Papah et al., 2018; Sihvo et al., 2018). Echter, de exacte oorzaak en de mechanismen die tot de ontwikkeling van de afwijkingen leiden, zijn nog maar gedeeltelijk bekend. Aangezien deze spierafwijkingen vergelijkbare histologische kenmerken vertonen, lijkt het dat er een vergelijkbaar onderliggend mechanisme is dat verantwoordelijk is voor het optreden van de afwijkingen. Een schematische weergave van de onderliggende mechanismen die kan leiden tot de ontwikkeling van WS-, WB- en SM-afwijkingen is weergegeven in Figuur 3.2 (Petracci et al., 2019).



Figuur 3.3 Schematische weergave van de mogelijke oorzaken en mechanismen die leiden tot de ontwikkeling van wooden breast (WB), white striping (WS) en spaghetti meat (SM) (Petracci et al., 2019).

In diverse onderzoeken wordt gesuggereerd dat de borstspierafwijkingen verband houden met snelle spiergroei, onvoldoende doorbloeding en oxidatieve stress die kunnen leiden tot weefseldegeneratie (Kuttappan et al., 2012a; Soglia et al., 2016; Papah et al., 2018; Sihvo et al., 2018).

3.3.1 Snelle groei

Tientallen jaren van intensieve genetische selectie hebben vleeskuikens het potentieel gegeven voor efficiënte groei (Havenstein et al., 2003a,b; Zuidhof et al., 2014). Vleeskuikens uit 2001 (Ross 308) bereikten op 42, 56, 70 en 84 dagen leeftijd een respectievelijk 4,3, 4,1, 3,7 en 3,3 maal hoger gewicht dan de kuikens uit 1957 (Havenstein et al., 2003a). Sommigen onderzoekers suggereren dat de snelle groei bijdraagt aan de toenemende prevalentie van borstspierafwijkingen zoals WB en WS (Petracci et al., 2015; Sihvo et al., 2017).

Binnen een vleeskuikenintegratie gebruikte men twee raszuivere lijnen commerciële vleeskuikens waarbij grote verschillen tussen de lijnen werden waargenomen (Bailey et al., 2015). Twee verschillende rassen hadden een 7,7 procentpunt verschil in borstfilet (29,4 vs. 21,7%) wat resulteerde in duidelijke verschillen in WB, WS en DPM. Bij de rassen A en B was de prevalentie respectievelijk 7,0 vs. 0,4% voor DPM, 3,2 vs. 0,2% voor WB en 49,6 vs. 14,5% voor WS. Er lijkt dus een relatie tussen rassen en borstspierafwijkingen, maar het gemiddelde gewicht (en dus daggroei) en aandeel borstfilet speelt daar zeker een belangrijke rol in. Dus hoe lager het groeivermogen van de dieren hoe lager de prevalentie van borstspierafwijkingen. Ondanks dat er een link lijkt te zijn met het groeipotentieel van de dieren worden borstspierafwijkingen ook regelmatig aangetroffen bij trager groeiende vleeskuikens (Jan van Harn, persoonlijke mededeling).

Tabel 1 Productie resultaten van twee verschillende rassen vleeskuikens. Borstfilet (breast yield) is weergegeven als percentage van griller (processing BW). De borstspierafwijkingen zijn weergegeven als prevalentie (%) van het koppel (Bailey et al., 2015).

	Line A	Line B
Trait	Mean	Mean
Body weight*kg (BW)	2.33 ± 0.29	1.91 ± 0.23
Processing body weight [†] (kg) (PW)	2.47 ± 0.30	2.39 ± 0.29
% Breast yield (BY)	29.4 ± 2.09	21.66 ± 1.49
% Deep pectoral myopathy (DPM)	6.96 ± 1.66	0.41 ± 0.03
% Wooden breast (WB)	3.19 ± 0.54	0.16 ± 0.01
% White striping (WS)	49.6 ± 8.68	14.46 ± 3.08

*42 d of age Line A, 32 d of age Line B.

[†]47 d of age Line A, 40 d of age Line B.

3.3.2 Onvoldoende doorbloeding

Selectie voor snelgroeiende vleeskuikens met een hoog aandeel borstfilet bij moderne vleeskuikens resulteert in hypertrofie (meer opname van water en bouwstoffen met als gevolg toename van het volume) van vezels. Dit resulteert waarschijnlijk in een verminderde bloed- en zuurstoftoevoer naar het spierweefsel, wat kan leiden tot de ontwikkeling van hypoxie (zuurstof tekort) (Hoving-Bolink et al., 2000; Sihvo et al., 2018). Deze toestand kan zelfs worden verergerd door de fysiologie van de spier van de pectoralis major: de enorme ontwikkeling (met name de dikte) zou de borstslagader kunnen samendrukken, waardoor de zuurstofvoorziening en het transport van voedingsstoffen naar de spier verder verminderd. Deze hypothese wordt verder ondersteund door het bewijs dat de ernst van de histologische laesies, geassocieerd met het optreden van WS, WB en SM, geleidelijk afneemt bij het verplaatsen van het naar de huid gerichte oppervlak naar het binnenste deel van de pectoralis major (Clark en Velleman, 2016; Soglia et al., 2016; Baldi et al., 2018). Bovendien lijkt het zuurstof tekort te worden verergerd door de verminderde bloedvatdichtheid die wordt waargenomen in door WB aangetaste spieren (Sihvo et al., 2018) en door weefselzwellen. Dit is waarschijnlijk als gevolg van de opeenhoping van verbindingen (bijv. taurine en alanine) met osmotische eigenschappen (Boerboom et al., 2018).

3.3.3 Oxidatieve stress

Er is vastgesteld dat de verplaatsing van metabole afvalproducten in de bloedbaan kan worden belemmerd en in relatie staat met de ontwikkeling van aderontsteking en vetvorming rondom de bloedvaten (Papah et al., 2017; Sihvo et al., 2017). Verder zijn er bewijzen van vasculaire pathologie die de slagaders aantasten wat tot uitdrukking komt door aderverkalking. Men analyseerde de genen die differentieel tot expressie werden gebracht tussen dieren van 3 weken leeftijd met of zonder WB (Papah et al., 2018). Binnen deze context wordt aangenomen dat spierweefsel de bloedstroom verhoogt om hypoxie (zuurstof tekort) te overwinnen, door middel van de synthese van stikstofmonoxide. Echter, de verhoging van stikstofmonoxide in het bloed zou de ontwikkeling van oxidatieve stress kunnen verergeren en versnellen. Een dergelijke pro-oxidatieve omgeving zou uiteindelijk bijdragen aan weefselontsteking en myodegeneratie (spierafbraak) (Boerboom et al., 2018). Bovendien kan een verminderde calciumhomeostase (Mutryn et al., 2015; Zambonelli et al., 2016; Boerboom et al., 2018) leiden tot de activering van proteasen en lipasen (Zambonelli et al., 2016) en zo bijdragen aan spierdegeneratie en eiwitafbraak (Petracci et al., 2015). Vervolgens vinden complexe biologische reacties en regeneratieve processen plaats, gericht op het verlichten van ontstekingen en het beperken van cellulaire apoptose en weefselnecrose (Petracci et al., 2017).

Wanneer meer spierafbraak optreedt dan het herstellend vermogen van de spier, worden veranderde nucleotiden (als bewijs door een verhoogd purinekatabolisme) en koolhydraatmetabolisme waargenomen (Abasht et al., 2016; Zambonelli et al., 2016; Papah et al., 2018). Dit resulteert uiteindelijk in de aanwezigheid van fibrose (woekering bindweefsel) en lipidose (leververvetting), kenmerkende microscopische kenmerken die verband houden met het optreden van deze groei gerelateerde afwijkingen.

3.3.4 Literatuur voorkomen/verminderen borstspierafwijkingen

Vanuit het onderzoek en de praktijk is bekend dat een lagere groeisnelheid borstspierafwijkingen kan verminderen (Barbut, 2019). Dit heeft echter gevolgen voor de algehele productie-efficiëntie (slechtere groei en hogere voederconversie), met negatieve financiële gevolgen voor de vleeskuikenhouders. Verder speelt genetica een belangrijke rol en fokbedrijven besteden daarom meer aandacht aan het selecteren van dieren die minder vatbaar zijn voor borstspierafwijkingen (Barbut, 2019). Daarnaast is er een groeiende hoeveelheid literatuur die zich richt op oxidatieve stress en onvoldoende zuurstoftoevoer naar de snelgroeiende borstspier, en hoe deze de ontwikkeling van borstspierafwijkingen kunnen beïnvloeden (Abasht et al., 2016; Lilburn et al., 2018).

Hoewel genetische selectie en snelle groei belangrijke oorzaken lijken te zijn voor het optreden van borstspierafwijkingen, zijn de meeste onderzoeken gericht op het verminderen van het optreden en de ernst van borstspierafwijkingen door middel van diervoeding (Petracci et al., 2019). De belangrijkste onderzochte strategieën zijn het verminderen van de opname van energie of aminozuren via de voeding door voercontrole (bv. 90 of 95% van de ad libitum voeropname) of door het veranderen van de voerformulering (Kuttappan et al., 2013a; Trocino et al., 2015; Cruz et al., 2016; Meloche et al., 2018a; Sachs et al., 2018; Zampiga et al., 2018; Livingston et al., 2019a,b). Over het algemeen werd echter een afname van de prevalentie van borstspierafwijkingen bijna uitsluitend waargenomen als een indirect gevolg van een afgenomen groeisnelheid, slachtgewicht en/of percentage borstfilet (Cruz et al., 2016; Bodle et al., 2018; Livingston et al. al., 2018; Cemin et al., 2018; Meloche et al., 2018b; Sachs et al., 2018).

Slechts een minimale voedingsbeperking (95%) en korte termijn verlaging van de lysinegift maakten het mogelijk om de ernst van WS en WB enigszins te verminderen, maar de toepassing van deze strategieën onder commerciële omstandigheden is een uitdaging door de lagere groei en/of lager percentage borstfilet en dus lager rendement (Meloche et al., 2018b). Compenserende groei, na een voer en/of nutriënt beperking als gevolg van vroege voerbepijking kan de uiteindelijke gevolgen op de resultaten verminderen (Trocino et al., 2015).

Het gebruik van additieven heeft ook de potentie om borstafwijkingen te verminderen. Toevoegen van anti-coccidiostatica aan het voer, antioxidanten (vit. E, C en selenium) en organische sporenelementen kan een vermindering geven van oxidatieve stress in spiervezels waardoor borstafwijkingen worden voorkomen (Petracci et al., 2019). Echter in experimenten van Kuttappan et al. (2012b), Dalle Zotte et al. (2015), Sirri et al. (2016) en Sihvo et al. (2017) werden hiervan geen positieve effecten waargenomen. Aan de andere kant werd een lichte vermindering van de aantallen kuikens met matige WB verkregen door toevoegen van guanidinoazijnzuur (metabolische voorloper van creatine), maar er werd een sterke interactie met de voersamenstelling gevonden (Córdoba-Noboa et al., 2018a,b). Recentelijk werd aangetoond dat een toename van de arginine/lysine-ratio een verminderend effect kan hebben op borstspierafwijkingen (Zampiga et al., 2018), hoewel een vergelijkbare studie tot een tegenovergestelde uitkomst leidde (Bodle et al., 2018). Aangenomen wordt dat het verlagen van het aminozuurgehalte in de groeifase een positief effect heeft op borstspierafwijkingen (Bodle et al., 2018). Dit is het gevolg van het maximaliseren van de ontwikkeling van satellietcellen om de borstspier te laten herstellen tijdens snelle groei in de startfase, zoals eerder beschreven door Powell et al. (2014).

Door de tegenstrijdige resultaten is er een gebrek aan praktische voedings- en managementinterventies om groei gerelateerde afwijkingen in de pluimveevlees sector te verminderen zonder de productie resultaten en slachtprestaties negatief te beïnvloeden (Petracci et al., 2019).

De impact van de incubatietemperatuur en het tijdstip van uitkomen op de spiergroei en morfologie van vleeskuikens is onder ander onderzocht door Clark et al. (2017). De auteurs onderzochten

volwassen satellietcellen die zich aanvankelijk ontwikkelen in embryo's. Dit zijn de satellietcellen die beschadigde spiervezels herstellen en de spiergroei na het uitkomen verhogen. In hun experiment werden eieren uitgebroed bij 37,8°C; van dag 14 tot 18 werden sommige eieren echter 0, 3 of 12 uur per dag blootgesteld aan 39,5°C. De groei en voerefficiëntie van de kuikens werden gemeten tijdens een 63 dagen durende groeiproef. De 12 uur durende incubatiebehandeling verminderde het aantal vleeskuikens met matige tot ernstige borstspierafwijkingen in vergelijking met de controle groep. Er waren minder kuikens met borstfilet afwijkingen die laat uitkwamen (505 uur) in vergelijking met de kuikens die vroeg uitkwamen (492 uur). Deze gegevens toonden aan dat het veranderen van de incubatietemperatuur een haalbare managementstrategie kan zijn om spierafwijkingen te verminderen zonder de kwaliteit van het vlees negatief te beïnvloeden.

3.3.5 Borstspierafwijkingen preventie vanuit de praktijk

Buiten de wetenschappelijke literatuur wordt vanuit de praktijk ook een groot aantal factoren genoemd die mogelijk de prevalentie van borstspierafwijkingen kunnen verminderen. Dit is gebaseerd op een combinatie van wetenschappelijke literatuur en praktijkwaarnemingen. Het gezondheidscentrum voor pluimvee te Emmen (GvP-Emmen, 2020) geeft aan dat overmatige activiteit van de borstspieren een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van verzuring van de borstspieren en daarom moet worden voorkomen. Zij noemen de volgende (preventieve) maatregelen:

- Voldoende licht/activiteit geven in het eerste deel van de groeiperiode om de spieren en bloedvaten voldoende te 'trainen';
- Voorkomen van een negatieve energiebalans (te lang nuchter houden door een lange donkerperiode of na het uitladen van een gedeelte van de kuikens);
- Rustig aan laten gaan van het licht (d.m.v. langzaam opbouwende lichtintensiteit);
- Voorkomen van te hoge lichtintensiteit;
- Voorkomen van stress ten gevolge van het uitladen rond 33 tot 34 dagen door de kuikens niet teveel op te jagen;
- Voorkomen van een te hoge daggroei in de laatste levensweek;
- Voldoende hoge bezetting tijdens het transport zodat de kuikens niet hoeven te fladderen om op hun plek te blijven;
- Voorzichtig laden van de containers op de vrachtauto;
- Voorkomen van teveel stress en de wijze van bedwelming op de slachterij.

Vanuit Aviagen-EPI worden ook een aantal praktische tips gegeven om borstspierafwijkingen te voorkomen (Poultryvets, 2020):

- Een goede groei in de eerste levensweek is van belang om het metabolisme voor een goede aanvoer van zuurstof en de afvoer van afvalstoffen in de organen goed te laten ontwikkelen. De wens is een 4 tot 4,5 maal hoger gewicht t.o.v. het geboortegewicht in de eerste week te bereiken.
- De eerste week na het uitkomen zijn de satellietcellen (verantwoordelijk voor spiergroei en spierherstel na beschadiging) het meest actief. Daarom is het optimaliseren van de groeiomstandigheden tijdens deze periode van cruciaal belang. Naderhand neemt de activiteit van satellietcellen snel af.
- In de groeiperiode tussen 12 en 32 dagen is het belangrijk dat de kuikens geen zeer hoge voeropname hebben omdat de kans op wooden breast dan toeneemt. Dit kan door het lysine niveau wat te verlagen wat meestal naderhand wordt ingehaald door compensatie groei.
- Hogere omgevingstemperaturen, bezettingsdichtheid en/of andere factoren die kunnen leiden tot verhoogde lichaamstemperatuur zijn gerelateerd met meer borstspierafwijkingen.
- CO₂ gehalte in de stal is een risico als deze boven de 3.000 ppm komt. Met name in de eerste 14 dagen niet boven de 2.500 ppm laten komen.
- Het risico op groene borstspier kan worden verminderd door het minimaliseren van klapperen van de vleugels (activiteit verminderen).

4 Prioritering risicofactoren

De verschillende contactpersonen van de consortiumpartners hebben voor de drie verschillende onderdelen (uitval, voetzoollaesies, borstspierafwijkingen) van de PPS de risicofactoren geprioriteerd (Tabel 2, 3 en 4). Uit Tabel 2 blijkt dat volgens verschillende partners de uitval van de vleeskuikens voor een belangrijk deel door de voorschakel wordt bepaald. Met name de ouders van de vleeskuikens (vleeskuikenouderdieren) hebben via de voeding, leeftijd, ras, kwaliteit broedeieren, gezondheidsstatus, bewaarduur en omstandigheden broedeieren een belangrijke invloed op de uitval van de nakomelingen. Het meest werd gezondheidsstatus van de ouderdieren genoemd. Daarnaast heeft volgens de experts het broedproces ook een grote invloed op de kwaliteit van de eendagskuikens en dus de uitval. Verder is het management op het vleeskuikenbedrijf als belangrijk gemarkeerd voor de uitval van de vleeskuikens. Daarbij werden de volgende factoren genoemd: jaar, vloertemperatuur, opvang en management vleeskuikens, koppel grootte, hygiëne, klimaat, early feeding, seizoen en bezetting. Volgens de deskundigen is vooral de opvang en management 1^e week een factor die een grote invloed heeft op de uitval.

Aan de andere kant bleek uit een eerder ketenonderzoek dat er geen systematische effecten waren van ouderdieren koppels (de Jong en van Riel, 2020). Het verschil is mogelijk ontstaan doordat in het onderzoek van de Jong en van Riel (2020) alleen gebruik gemaakt werd van praktijkdata met een grote variatie waardoor effecten niet goed zichtbaar zijn. Onderstaande prioritering is vooral gebaseerd op informatie uit de praktijk. In experimenten onder gecontroleerde omstandigheden is de variatie lager waardoor effecten eerder zichtbaar worden.

Tabel 2 Prioritering risicofactoren uitval door de partners.

Factor	Aantal ¹	Opmerking
VB bedrijf:	2	Duidelijke verschillen tussen vermeerderingsbedrijven
- Voeding ouderdieren	1	o.a. mycotoxinen meer uitval, extra vitaminen minder
- Leeftijd ouderdieren	2	Bij jonge en ouder koppels VB meer
- Ras ouderdieren	2	Verschillen tussen, niet genoemde rassen
- Kwaliteit broedeieren	2	Meer uitval uit vuile BE, grondeieren, slechte schalen
- Gezondheidsstatus ouderdieren	3	Infecties (IB, E.coli, etc.) geven meer uitval
- Bewaarduur en omstandigheden BE	2	Langer bewaren en suboptimale omstandigheden meer uitval
Broederij:	1	
- Broedproces	1	Fouten in het broedproces
Vleeskuikenbedrijf:	3	Duidelijke verschillen tussen vleeskuikenbedrijven
- Jaar	1	o.a. klimatologische omstandigheden, grondstofkwaliteit
- Vloertemperatuur	1	Afhankelijk leeftijd ouderdieren
- Opvang en management 1 ^e week	3	Opvang in ringen, temperatuur, voorzieningen, etc.
- Koppel grootte	1	Grotere koppels meer uitval
- Hygiëne	1	Slechte hygiëne meer uitval
- Klimaat	1	Fouten in klimaat meer uit
- Early feeding	1	Wisselende uitkomsten
- Seizoen	1	Mei tot en met juli meeste uitval
- Bezetting	1	Nauwelijks effecten gemeld

¹ Aantal keer genoemd door de 3 partners van het consortium

Uit Tabel 3 blijkt dat het optreden van voetzoollaesies bij vleeskuikens vooral veroorzaakt wordt door strooisel problemen. Dus alle factoren die een directe of indirecte invloed hebben op de strooiselkwaliteit zijn van belang. Met name het watersysteem (nippels) en het management (o.a. waterdruk) en strooiselsoort hebben een directe invloed op de strooiselkwaliteit. Factoren zoals voersamenstelling, gezondheidsstatus, lichtschema hebben een meer indirecte invloed op de strooiselkwaliteit. Bijvoorbeeld voeders met een hoog RE geven een hogere wateropname waardoor de verse mest meer vocht bevat en het strooisel dus ook meer vocht bevat.

Tabel 3 *Prioritering risicofactoren voetzoollaesies door de partners.*

Factor	Aantal ¹	Opmerking
Strooiselkwaliteit	3	Onder invloed van allerlei factoren
Soort drinknippels	3	Minder bij drinknippels
Strooisel soort	2	Turf < houtkrullen < tarwestro
Waterdruk	1	Lage druk geeft minder VZL
Vloertemperatuur opvang	1	>28°C = beter strooisel
Voersamenstelling (RE, soja, etc.)	3	Hoog RE en soja meer VZL
Seizoen	3	Lente en zomer minder VZL
Gezondheidsstatus koppel	1	Gezonde koppels -> beter strooisel
Klimaat/ventilatie stal	2	Slechte ventilatie -> slechter strooisel
Bezetting	2	Meer VZL bij hogere bezetting
Lichtschema	2	Minder kortere donker periode
Tussentijds uitladen	1	Hoger bij wegladers

¹ Aantal keer genoemd door de 3 partners van het consortium

Uit de prioritering door de deskundigen van de risicofactoren voor het optreden van borstspierafwijkingen blijkt dat deze vooral veroorzaakt worden door een te hoge of onregelmatige groei (onder invloed van voeding) in combinatie met activiteit en stress (Tabel 4). De echte oorzaak is niet geheel duidelijk maar het is duidelijk een multifactorieel probleem waarvoor nog veel onderzoek nodig is. Door de deskundigen werd vooral het ras en de hoge daggroei (en hoog eindgewicht) in de laatste week genoemd. Daarnaast gaven ze aan dat de voeding (samenstelling en management) een belangrijke rol spelen bij de prevalentie van borstspierafwijkingen.

Tabel 4 *Prioritering risicofactoren borstspierafwijkingen door de partners.*

Factor	Aantal ¹	Opmerking
Ras	3	Bijproducten geven een hogere kans afwijkingen
Ad libitum voer	2	Meer afwijkingen bij AL voeding
Aminozuren niveau	2	Lager AZ -> minder afwijkingen, maar verstrengeld met slechtere groei
Groei 1 ^e week	1	Meer actieve satellietcellen verminderd risico
Snelle groei/hoog gewicht laatste week	3	Langzamer groeien minder problemen. Wel slechtere prestaties
Uitladen/wegladen	1	Bij uitladen dieren in een negatieve energiebalans door nuchter houden
Niet gelijkmatige groei	1	Bv. overmatig fladderen met vleugels
Hoog activiteit kuikens	2	Hoog als kuiken is goed doordat spieren getraind worden. Op oudere leeftijd nadelig
Stress	1	o.a. tijdens vangen, en tijdens slachten
Broedtemperatuur	1	Hogere temperatuur rmeer problemen
Early feeding	1	Minder afkeur bij early feeding
Bezetting	1	Hogere bezetting meer problemen
Ventilatie	1	Hoog CO ₂ gehalte is nadelig
Sexe	1	Hogere prevalentie in hanen

¹ Aantal keer genoemd door de 3 partners van het consortium

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Uit de literatuurstudie en expert judgement blijkt dat de welzijn en gezondheidsproblemen van vleeskuikens met betrekking tot uitval, voetzollaesies en borstspierafwijkingen door een breed scala aan risicofactoren worden beïnvloed.

Uitval (1^e week en totaal)

Uitval wordt specifiek veroorzaakt door de gezondheidsstatus, leeftijd, ras en voeding van de ouderdieren gevolgd door de kwaliteit en bewaring van broedeieren. Daarnaast heeft het broedproces ook een grote invloed op de kwaliteit van de eendagskuikens. Verder is het management op het vleeskuikenbedrijf belangrijk voor de uitval van de vleeskuikens waarbij vooral het opvangmanagement genoemd wordt als belangrijke factor. Daarnaast spelen de volgende factoren een rol: jaar, vloertemperatuur, koppel grootte, hygiëne, klimaat, early feeding, seizoen en bezetting.

Voetzollaesies

Het optreden van voetzollaesies bij vleeskuikens wordt vooral veroorzaakt door strooiselkwaliteit problemen. Alle factoren die van invloed zijn op de strooiselkwaliteit zijn van belang. Door de literatuur en deskundigen worden vooral het watersysteem, watermanagement, seizoen en voersamenstelling genoemd als belangrijkste factoren. Daarnaast wordt strooiselsoort, klimaat, bezetting en lichtschema genoemd als factoren die een duidelijke invloed hebben op strooisel en dus voetzollaesies.

Borstspierafwijkingen

De echte oorzaak voor borstspierafwijkingen is niet voldoende duidelijk. De ontwikkeling van borstspierafwijkingen is een multifactorieel probleem dat wordt veroorzaakt door een combinatie van een te hoge of onregelmatige groei (voeding), verhoogde activiteit en stress (generieke en oxidatieve).

5.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- Om meer inzicht te verkrijgen in de invloed van de verschillende risicofactoren op uitval, voetzollaesies en borstspierafwijkingen moet naar de samenhang tussen de schakels in de gehele pluimveevleesketen gekeken worden.
- In eerste instantie moet meer aandacht worden besteed aan relaties en oorzaken vanuit voorgaande schakels naar de volgende (eind) schakel. Door het koppelen en analyseren van gegevens tussen de schakels in de keten kunnen de werkelijk belangrijkste risicofactoren geïdentificeerd worden.
- De broederij is een belangrijke factor als het gaat om kuikenkwaliteit en uitval 1^e week. Het analyseren van de omstandigheden en resultaten met broedeieren van verschillende kwaliteit (met name vuile nest eieren en grondeieren), kunnen handvatten geven voor verbetering.
- Een pluimveehouder moet meer aandacht besteden aan de strooiselkwaliteit om voetzollaesies te verminderen.
- Voor het verminderen van borstspierafwijkingen is het aan te bevelen om het management goed aan te laten sluiten aan de levensweek en de daarbij horende behoeften waarin de vleeskuikens zitten.
- De effecten van het minimaliseren van de risicofactoren moeten onder gecontroleerde (experimentele) omstandigheden worden onderzocht.
- Opstellen en toepassen van protocollen voor optimaal management bij de verschillende schakels kan een verbetering geven van de resultaten van de gehele keten.

Literatuur

- Abasht, B., Mutryn, M.F., Michalek, R.D., Lee, W.R. 2016. Oxidative stress and metabolic perturbations in wooden breast disorder in chickens. *PLoS One*, 11, 4, e0153750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153750>
- Anonymous, 2018. <https://www.pluimveeweb.nl/artikelen/2018/06/slachterijen-willen-voetzoollaesies-met-camera-meten/>
- Appleby, M.C., B.O. Hughes, H.A. Elson. 1992. *Poultry Production Systems – Behaviour, Management and Welfare*. Wallingford, CAB International.
- Aviagen. 2019. *Breast muscle myopathies (BMM)*.
- Bailey, R.A., Watson, K.A., Bilgili, S.F., Avendano, S. 2015. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poultry Science* 94:2870–2879.
- Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M., Sirri, F., Canonico, L., Babini, E., Petracchi, M. 2018. Implications of White Striping and Spaghetti Meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal* 12:164–173.
- Barbut, S. 2019. Recent myopathies in broiler's breast meat fillets. *World's Poultry Science Journal* 75: 559-581.
- Bodle, B.C., Alvarado, C., Shirley, R.B., Mercier, Y., Lee, J.T. 2018. Evaluation of different dietary alterations in their ability to mitigate the incidence and severity of woody breast and white striping in commercial male broilers. *Poultry Science* 97:3298–3310.
- Boerboom, G., van Kempen, T., Navarro-Villa, A., Pérez-Bonilla, A. 2018. Unraveling the cause of white striping in broilers using metabolomics. *Poultry Science* 97:3977–3986.
- Bondt, N., L.F. Puister en R.H.M. Bergevoet. 2009. Antibioticagebruik op melkvee, varkens en pluimveebedrijven in Nederland; Gebruik in 2007 in vergelijking met voorgaande jaren. LEI-Rapport 2009-015. LEI Wageningen UR, Den Haag.
- Bray, T.S. en N.J. Lynn. 1986. Effects of nutrition and drinker design on litter condition and broiler performance. *British Poultry Science* 27: 151.
- Bruce, D.W., S.G. McIlroy, E.A. Goodall. 1990. Epidemiology of a contact dermatitis of broilers. *Avian Pathology* 19:523-538.
- Butcher G.D. en R.D. Miles 2002. Myeloid Leukosis (J0virus) – An international broiler industry concern. IFAS 2002; <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Cemin, H.S., Vieira, S.L., Stefanello, C., Kindlein, L., Ferreira, T.Z., Fireman, A.K. 2018. Broiler responses to increasing selenium supplementation using Zn-L-selenomethionine with special attention to breast myopathies. *Poultry Science* 97:1832–1840.
- Charles, O.W. en J. Fortune. 1977. The influence of diet and litter management on foot pad lesions in turkey poults. *Poultry Science* 56:1348.
- Chavez, E. en F.H. Kratzer. 1972. Prevention of foot pad dermatitis in poults with methionine. *Poultry Science* 51:1545-1548.
- Chavez, E. en F.H. Kratzer. 1974. Effect of diet on foot pad dermatitis in poults. *Poultry Science* 53:755-760.
- Cholocinska, A. S. Wezyk, E. Herbut, en K. Cywa-Benko. 1997. Effect of a broiler watering system on the hygienic quality of litter. 9th International Congress in Animal Hygiene, Helsinki. 301-304.
- Clark, D.L., Velleman, S.G. 2016. Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers. *Poultry Science* 95:2930–2945.
- Clark, D.L., Walter, K.G., Velleman, S.G. 2017. Incubation temperature and time of hatch impact broiler muscle growth and morphology. *Poultry Science* 96:4085–4095.
- Córdova-Noboa, H. A., Oviedo-Rondón, E. O., Sarsour, A. H., Barnes, J., Ferzola, P., Rademacher-Heilshorn, M., Braun, U. 2018a. Performance, meat quality, and pectoral myopathies of broilers fed either corn or sorghum based diets supplemented with guanidinoacetic acid. *Poultry Science*, 97:2479–2493.
- Córdova-Noboa, H.A., Oviedo-Rondón, E.O., Sarsour, A.H., Barnes, J., Sapkota, D., López, D., Braun, U. 2018b. Effect of guanidinoacetic acid supplementation on live performance, meat quality,

- pectoral myopathies and blood parameters of male broilers fed corn-based diets with or without poultry by-products. *Poultry Science* 97:2494–2505.
- Cravener, T.L., W.B. Roush, M.M. Mashaly. 1992. Broiler production under varying population densities. *Poultry Science* 71:427-433.
- Cruz, R.F.A., Vieira, S.L., Kindlein, L., Kipper, M., Cemin, H.S., Rauber, S.M. 2016. Occurrence of white striping and wooden breast in broilers fed grower and finisher diets with increasing lysine levels. *Poultry Science* 96:501–510.
- Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Russo, E., Longoni, C., Cecchinato, M. 2015. Impact of coccidiosis control program and feeding plan on white striping prevalence and severity degree on broiler breast fillets evaluated at three growing ages. *Poultry Science* 94:2114–2123.
- De Baere, K., J. Zoons. 2004a. Lichtsterkte en lichtkleur bij vleeskuikens. *Pluimvee* nr. 38. Proefbedrijf voor de Veehouderij, België.
- De Baere, K., J. Zoons. 2004b. Strooiselmateriaal in pluimveestallen. *Pluimvee* nr. 40. Proefbedrijf voor de Veehouderij, België.
- De Baere, K., J. Zoons. 2004c. Welzijn bij vleeskuikens. *Pluimvee*. Februari 2004: 26-31.
- de Jong, I.C., S. van Voorst, D.A. Ehlhardt, and H.J. Blokhuis. 2002. Effects of restricted feeding on physiological stress parameters in growing broiler breeders. *British Poultry Science* 43:157-168.
- de Jong, I.C., J. van Harn, H. Gunnink, V. Hindle en S. Lourens. 2011. Voetzoollaesies vleeskuikens: resultaten van een jaar rond meten. *V-Focus+*, oktober 2011, pag. 32-34.
- de Jong, I.C., J.W. van Riel. 2020. Relative contribution of production chain phases to health and performance of broiler chickens: a field study. *Poultry Science* 99:179-188.
- EFSA. 2010. Scientific Opinion on welfare aspects of the management and housing of the grand-parent and parent stocks raised and kept for breeding purposes. *EFSA Journal* 8:81. doi:10.2903/j.efsa.2010.1667.
- Ekstrand, C. en B. Algers. 1997. The effect of litter moisture on the development of foot-pad dermatitis in broilers. 11th International Congress of the World Veterinary Poultry Association, Budapest. 370.
- Ekstrand, C., B. Algers, J. Svedberg. 1997. Rearing conditions and foot-pad dermatitis in Swedish broiler chickens. *Preventive Veterinary Medicine* 31:167-174.
- Ekstrand, C. en T.E. Carpenter. 1998. Temporal aspects of foot-pad dermatitis in Swedish broilers. *Acta Veterinaria Scandinavica* 39:213-220.
- Ekstrand, C., T.E. Carpenter, I. Andersson, B. Algers. 1998. Prevalence and control of foot-pad dermatitis in broilers in Sweden. *British Poultry Science* 39:318-324.
- Ellen, H., F. Leenstra, R.A. van Emous, K. Groenestein, J. van Harn, P. van Horne, I.C. de Jong, M. Kense, D. Mevius en J. Wagenaar. 2012. Broiler Production Systems in The Netherlands. Wageningen UR Livestock Research Report 619. <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Research-Institutes/livestock-research/publications.htm>
- Elson, H. A. 1989. Drinker design affects litter quality. *Poultry* 5:8-9.
- Enting, H., T.A.M. Kruip, M.W.A. Verstegen, P.J. van der Aar. 2007. The effect of low-density diets on broiler breeder performance during the laying period and on embryonic development of their offspring. *Poultry Science* 86:850-856.
- Gaardbo Thomsen, M. 1992. Influence of increasing stocking rates on performance and carcass quality of broilers. 4th European Symposium on Poultry Welfare, Edinburgh, UFAW. 285-287.
- Geraedts, L.H.J. 1983. Leg disorders caused by litter conditions and the influence of the type of litter and of litter cultivations on the results of turkeys. *Turkeys*(September/October):20-25.
- Gordon, S.H., A.W. Walker, D.R. Charles. 2003. Feeding and broiler welfare. In: *Proceedings of the Symposium Measuring and Auditing Broiler Welfare – a Practical Guide*. University of Bristol, UK, pp. 19.
- GvP-Emmen. 2020. Wooden breast. <http://www.gvp-emmen.nl/dierziekten/witte-streep-ziekte/>
- Harms, R.H., C.F. Simpson. 1977. Influence of wet litter and supplemental biotin on foot pad dermatitis in turkey poults. *Poultry Science* 56:2009-2012.
- Havenstein, G.B., Ferket, P.R., Qureshi, M. A. 2003. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science* 82:1500–1508.
- Hoving-Bolink, A.H., Kranen, R.W., Klont, R.E., Gerritsen, C.L.M., De Greef, K.H. 2000. Fibre area and capillary supply in broiler breast muscle in relation to productivity and ascites. *Meat Science* 56:397–402.

-
- Hubert, S.M., Williams, T.J., Athrey, G. 2018. Insights into the molecular basis of wooden breast based on comparative analysis of fast-and slow-growth broilers. *bioRxiv*, 356683.
- Jensen, L.S., R. Martinson, G. Schumaier. 1970. A foot-pad dermatitis in turkey poults associated with soybean meal. *Poultry Science* 49:76-82.
- Kestin, S.C., G. Su, P. Sørensen, 1999. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poultry Science* 78:1085-1090.
- Kjaer, J.B., Su, G., Nielsen, B.L., Sørensen, P. 2006. Foot pad dermatitis and hock burn in broiler chickens and the degree of inheritance. *Poultry Science* 85:1342-1348.
- Kristensen, H.H., Perry, G.C., Prescott, N.B., Ladewig, J., Ersbøll, A.K., Wathes, C.M. 2006. Leg health and performance of broiler chickens reared in different light environments. *British Poultry Science* 47:257-263.
- Kuttappan, V.A., Goodgame, S.D., Bradley, C.D., Mauromoustakos, A., Hargis, B.M., Waldroup, P.W., Owens, C.M. 2012a. Effect of different levels of dietary vitamin E (DL- α -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broiler breast fillets. *Poultry Science* 91:3230-3235.
- Kuttappan, V.A., Brewer, V.B., Apple, J.K., Waldroup, P.W., Owens, C.M. 2012b. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science* 91:2677-2685.
- Kuttappan, V.A., Brewer, V.B., Mauromoustakos, A., McKee, S.R., Emmert, J.L., Meullenet, J.F., Owens, C.M. 2013a. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science* 92:811-819.
- Leinonen, I., A.G. Williams, J. Wiseman, J. Guy, and I. Kyriazakis. 2012. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. *Poultry Science* 91:8-25.
- Leinonen, I., and I. Kyriazakis. 2016. How can we improve the environmental sustainability of poultry production? *Proc. Nutr. Soc.* 75:265-73.
- Lilburn, M.S., Griffin, J.R., Wick, M. 2018. From muscle to food: oxidative challenges and developmental anomalies in poultry breast muscle. *Poultry Science* 97 (10): in press, doi: 10.3382/ps/pey409.
- Livingston, M.L., Landon, C., Barnes, H.J., Brake, J. 2018. White striping and wooden breast myopathies of broiler breast muscle is affected by time-limited feeding, genetic background, and egg storage. *Poultry Science*, Advance online publication. <https://doi.org/10.3382/ps/pey333>.
- Livingston, M.L., Ferket, P.R., Brake, J., Livingston, K.A. 2019. Dietary amino acids under hypoxic conditions exacerbates muscle myopathies including wooden breast and white striping. *Poultry Science*, Advance online publication. <https://doi.org/10.3382/ps/pey463>.
- Logatcheva, K. 2016. Monitor duurzaam voedsel. Wageningen, Notitie, Wageningen Economic Research. <http://edepot.wur.nl/424400>
- Lourens, A., R. Molenaar, H. van den Brand, M.J.W. Heetkamp, R. Meijerhof, and B. Kemp. 2006. Effect of egg size on heat production and the transition of energy from egg to hatchling. *Poultry Science* 85:770-776.
- Lourens, A. 2008. Beschermingsmechanismen van broedeieren tegen pathogenen en de aanwezigheid van de cuticula. Animal Sciences Group van Wageningen UR; rapport 143.
- Lourens, A., A. Steentjes. 2008. Zoötechnische en veterinaire factoren op vermeerderingsniveau: effecten op uitval bij vleeskuikens. Rapport 194. Animal Sciences Group van Wageningen UR, Lelystad.
- Lynn, N.J., H.A. Elson. 1990. Which drinkers reduce possible downgrades. *Poultry* 6:11-12
- Martrenchar, A., J.P. Morisse, D. Huonnic, J.P. Cotte. 1997. Influence of stocking density on some behavioural, physiological and productivity traits of broilers. *Veterinary Research* 28:473-480.
- Martrenchar, A., E. Boilletot, D. Huonnic, en F. Pol. 2002. Risk factors for foot-pad dermatitis in chicken and turkey broilers in France. *Preventive Veterinary Medicine* 52:213-226.
- Mayne, R.K. 2005. A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad dermatitis in growing turkeys and broilers. *World's Poultry Science Journal* 61. June 2005. pp 256-267.
- McGinnis, J., J.S. Carver. 1947. The effect of riboflavin and biotin in prevention of dermatitis and perosis in turkey poults. *Poultry Science* 26:364-371.
- McIlroy, S.G.E.A. Goodall, C.H. Mc Murray. 1987. A contact dermatitis of broilers – epidemiological findings. *Avian Pathology* 16:93-105.
- McNaughton, J.L, J.W. Deaton, F.N. Reece. 1978. Effect of age of parents and hatching egg weight on broiler chick mortality. *Poultry Science* 57:38-44.

-
- Meijerhof, R. 1989. Are nipples better than cups? *Poultry* 5:11.
- Meloche, K.J., Fancher, B.I., Emmerson, D.A., Bilgili, S.F., Dozier III, W.A. 2018a. Effects of quantitative nutrient allocation on myopathies of the Pectoralis major muscles in broiler chickens at 32, 43, and 50 days of age. *Poultry Science* 97:1786–1793.
- Meloche, K.J., Dozier III, W.A., Brandebourg, T.D., Starkey J.D. 2018b. Skeletal muscle growth characteristics and myogenic stem cell activity in broiler chickens affected by wooden breast. *Poultry Science* 97:4401–4414.
- Merritt, E.S. 1963. Preincubation storage effects on subsequent performance of chickens. Research Branch, Canada Department of Agriculture No. 147.
- Mevius, D.J., M.G.J. Koene, B. Wit, W. van Pelt en N. Bondt. 2005. MARAN-2005. Monitoring of Antimicrobial Resistance and Antibiotic Usage in Animals in the Netherlands in 2005. VANTURES, Lelystad, 2007. www.cvi.wur.nl/NL/publicaties/rapporten/maran/default.htm
- Meijerhof, R. 1989. Are nipples better than cups? *Poultry* 5:11.
- Mutryn, M.F., Brannick, E.M., Fu, W., Lee, W.R., Abasht, B. (2015). Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. *BMC Genomics* 16:399.
- Nairn, M.E., A.R.A. Watson. 1972. Leg weakness of poultry: A clinical and pathological characterisation. *Australian Veterinary Journal* 48:645-656.
- Neeteson-van Nieuwenhoven, A.M., P. Knap, and S. Avendaño. 2013. The role of sustainable commercial pig and poultry breeding for food security. *Animal Frontiers* 3:52-57.
- Papah, M.B., Brannick, E.M., Schmidt, C.J., Abasht, B. 2017. Evidence and role of phlebitis and lipid infiltration in the onset and pathogenesis of Wooden Breast Disease in modern broiler chickens. *Avian Pathology*, 46(6), 623–643. <https://doi.org/10.1080/03079457.2017.1339346>
- Papah, M.B., Brannick, E.M., Schmidt, C.J., Abasht, B. 2018. Gene expression profiling of the early pathogenesis of wooden breast disease in commercial broiler chickens using RNA-sequencing. *Plos One*, 13(12), e0207346. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207346>
- Payne, C.G. 1967. Factors influencing environmental temperature and humidity in intensive broiler houses during the post-brooding period. *British Poultry Science* 8:101-118.
- Petracci, M., Mudalal, S., Soglia, F., Cavani, C. 2015. Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal* 71:363–374.
- Petracci, M., Soglia, F., Berri, C. 2017. Muscle metabolism and meat quality abnormalities. In M. Petracci & C. Berri (Eds.), *Poultry quality evaluation. Quality attributes and consumer values* (pp. 51–75). Duxford, UK: Woodhead Publishing.
- Petracci, M.F. Soglia, M. Madruga, L. Carvalho, Elza Ida, M. Estévez. 2019. Wooden-Breast, White Striping, and Spaghetti Meat: Causes, Consequences and Consumer Perception of Emerging Broiler Meat Abnormalities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 19:565:583.
- Poultryvets. 2020. Samenvatting vleeskuikenstudieavond 19-02-2020. <https://www.poultryvets.nl/wp-content/uploads/2020/03/200223-samenvatting-vleeskuikenstudieavond-19-02-2020.pdf>
- Powell, D.J., McFarland, D.C., Cowieson, A.J., Muir, W.I., Velleman, S.G. 2014. The effect of nutritional status on myogenic gene expression of satellite cells derived from different muscle types. *Poultry Science* 93:2278-2288,
- Proudfoot, F.G. and H.W. Hulan. 1981. The influence of hatching egg size on the subsequent performance of broiler chickens. *Poultry Science* 60:2167-2170.
- Renden, J.A., S.F. Bilgili, S.A. Kincaid. 1992. Live performance and carcass yield of broiler strain crosses provided either sixteen or twenty-three hours of light per day. *Poultry Science* 71:1427-1435.
- Rodenburg, T.B., J. van Harn, J.H. van Middelkoop. 2004. Effect van gekleurde verlichting op technische resultaten en welzijn bij vleeskuikens. *PraktijkRapport Pluimvee* no. 10.
- Sachs, N.J., Hampton, A.R., Foster, K.K., Pechanec, M.Y., Henderson, J.D., King, A. J., Mienaltowski, M.J. 2018. The effects of an alternative diet regimen with natural methionine ingredients on white striping breast myopathy in broiler chickens. *Poultry Science*, Advance online publication. <https://doi.org/10.3382/ps/pey327>.
- Sanotra, G.S., C. Berg, J.D. Lund. 2003. A comparison between leg problems in Danish and Swedish broiler production. *Animal-Welfare* 12:677-683.
- Schallier, S., J. Lesuisse, C. Li, N. Everaert, J. Buyse. 2017. Transgeneratieel effect van de voeding bij vleeskippen. *9e Vlaamse Fokkerijdag* 25/10/2017.

https://www.biw.kuleuven.be/genlog/livgen/workshops/fokkerijdag/New%20Folder/5_9e%20Vlaamse%20Fokkerijdag%202017%20Seline%20Schallier.pdf

- Sihvo, H.K., Lindén, J., Airas, N., Immonen, K., Valaja, J., Puolanne, E. 2017. Wooden breast myodegeneration of pectoralis major muscle over the growth period in broilers. *Veterinary Pathology* 54:119–128.
- Sihvo, H.K., Airas, N., Lindén, J., Puolanne, E. 2018. Pectoral vessel density and early ultrastructural changes in broiler chicken wooden breast myopathy. *Journal of Comparative Pathology* 161:1–10.
- Sirri, F., Maiorano, G., Tavaniello, S., Chen, J., Petracci, M., Meluzzi, A. 2016. Effect of different levels of dietary zinc, manganese, and copper from organic or inorganic sources on performance, bacterial chondronecrosis, intramuscular collagen characteristics, and occurrence of meat quality defects of broiler chickens. *Poultry Science* 95:1813–1824.
- Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Di Nunzio, M., Mazzoni, M., Sirri, F., Petracci, M. 2016. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science* 95:651–659.
- Søholm Petersen, J., B. David, C. Berg, C. Fisker. 2002. Broiler welfare, gait and footpad scores. In: *Proceedings of the Nordic Advisory and Veterinary Seminar 2002*. Bornholm. Denmark.
- Sørensen, P., G. Su, S.C. Kestin. 1999. The effect of photoperiod:scotoperiod on leg weakness in broiler chickens. *Poultry Science* 78:336–342.
- Sørensen, P., B.L. Nielsen, J. S. Petersen, B. Eskildsen, G. Su. 2002. Foot pad lesions in slaughter chickens. *DJF-Rapport,-Husdyrbrug*. 42, 33 pp.
- Stephenson, E.L., J.M. Bezanson, C.F. Hall. 1960. Factors affecting the incidence and severity of a breast blister condition in broilers. *Poultry Science* 39:1520–1524.
- Su, G., P. Sørensen, en S.C. Kestin. 2000. A note on the effects of perches and litter substrate on leg weakness in broiler chickens. *Poultry Science* 79:1259–1263.
- Tona, K., O.M. Onagbesan, Y. Jegu, B. Kamers, E. Decuypere, and V. Bruggeman. 2004. Comparison of embryo physiological parameters during incubation, chick quality, and growth performance of three lines of broiler breeders differing in genetic composition and growth rate. *Poultry Science* 83:507–513.
- Trocino, A., Piccirillo, A., Birolo, M., Radaelli, G., Bertotto, D., Filiou, E., Xiccato, G. 2015. Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry Science* 94:2996–3004.
- Tucker, S. A. en A. W. Walker. 1992. Hock burn in broilers. *Recent advance in animal nutrition*. Oxford: Butterworth Heinemann Ltd. 33–50.
- van Emous, R.A. 2015. Body composition and reproduction in broiler breeders: impact of feeding strategies. PhD Diss. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- van Emous, R.A., R.P. Kwakkel, M.M. van Krimpen, and W.H. Hendriks. 2015. Effects of dietary protein levels during rearing and different dietary energy levels during lay on body composition and reproduction in broiler breeder females. *Poultry Science* 94:1030–1042.
- van Emous, R.A., J. van Riel, A.J.M. Jansman, T. Veldkamp, P. van Wikselaar en J. van der Meulen. 2018. Ontwikkeling van een concept voor de bepaling van de gezondheidsstatus van vleeskuikens (onderdeel 1). Wageningen: Wageningen Livestock Research (Wageningen Livestock Research rapport 1137) - 18.
- van Emous, R.A., A.J.M. Jansman. 2018. Ontwikkeling van een concept voor de bepaling van de gezondheidsstatus van vleeskuikens (onderdeel 2). Wageningen: Wageningen Livestock Research (Wageningen Livestock Research rapport 1138) - 21.
- van Harn, J., J.H. van Middelkoop. 1998. Effect van dag- en nachtschema's bij vleeskuikens. *Praktijkonderzoek* 98(2):16–18.
- van Harn, J., J.H. van Middelkoop. 1999. Drie dag-nachtschema's vergeleken met continu licht. Mooi voor de mester, slecht voor de slachterij. *Pluimveehouderij* 29 (23 april):14–15.
- van Harn, J., W.J.W. Wiers. 2002. Langzaam groeiende kuikens (1) Een tussenproduct met toekomst? *Pluimveehouderij* 32: 5 juli: 14–16.
- van Harn, J., T. Veldkamp. 2005. Mobiel voer- en drinksysteem werkt goed, maar... - even geduld nog, praktijk! *Pluimveehouderij* 35: 26 februari: 12–13.
- van Harn, J., T. Veldkamp. 2006. ASG-onderzoek met 'voeren op maat' – Soms beter, soms slechter. *Pluimveehouderij* 36: 11 februari: 16–18.
- van Harn, J., I.C. de Jong, T. Veldkamp. 2009. Minder voetzoollaesies via management. *V-Focus+*, augustus 2009, pag. 48–51.

-
- van Harn, J., I.C. de Jong. 2013. Goed voor de portemonnee. *Pluimveehouderij* 43e jaargang, 10 mei 2013, pag. 32-33.
- van Horne, P. 2017. Competitiveness of the EU poultry meat sector, base year 2015. International comparison of production costs. Wageningen Economic Research, report 2017-005. Wageningen. January 2017.
- Weaver, W. D. en R. Meijerhof. 1991. The effect of different levels of relative humidity and air movement on litter conditions, ammonia levels, growth and carcass quality for broiler chickens. *Poultry Science* 70:746-755.
- van Middelkoop, J.H., J. van Harn. 1993. Invloed voersamenstelling op gezondheid en technische resultaten vleeskuikens. PP-uitgave no. 12.
- van Middelkoop, J.H, J. van Harn. 1995. Vergelijkend onderzoek drinkwatersystemen vleeskuikens. PP-uitgave no. 23.
- van Middelkoop, J.H., Harn, van J., Horne, van P.L.M. 1997. Vitale vleeskuikens door aangepast management. PP-uitgave no. 61.
- Wilhelmsen. 2016. Comparison of behaviour and health of two broiler hybrids with different growth rates. Student report No. 637. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, Sweden.
- Wyatt, C.L, W.D. Weaver, and W.L Benne. 1985. Influence of egg size, eggshell quality and post hatch holding time on broiler performance. *Poultry Science* 64:2049-2055.
- Yassin, H., A. Velthuis, R. Huirne. 2007. Factoren die van invloed zijn op uitkomstpercentage en uitvalspercentage. *Bravo* 78.
- Yassin, H., A.G.J. Velthuis, M. Boerjan, J.W. van Riel, R.B.M. Huirne. 2008. Field study on broiler eggs hatchability. *Poultry Science* 87:2408-2417.
- Yassin, H., A.G.J. Velthuis, M. Boerjan, and J. van Riel. 2009. Field study on broilers' first-week mortality. *Poultry Science* 88:798-804.
- Zambonelli, P., Zappaterra, M., Soglia, F., Petracci, M., Sirri, F., Cavani, C., Davoli, R. 2016. Detection of differentially expressed genes in broiler Pectoralis major muscle affected by White Striping—Wooden Breast myopathies. *Poultry Science* 95:2171-2785.
- Zampiga, M., Soglia, F., Petracci, M., Meluzzi, A., Sirri, F. 2018. Effect of different arginine to lysine ratios in broiler chicken diets on the occurrence of breast myopathies. *Poultry Science*, 9, 79.
- Zoons, J., K. De Baere. 2002. Ventilatie, stalklimaat en strooiselkwaliteit. *Vleeskuikenstudiedag Praktijkonderzoek*.
- Zuidhof, M.J., Schneider, B.L., Carney, V.L., Korver, D.R., Robinson, F.E. 2014. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science* 93:2970-2982.