

# Borstbeenbreuken

**De onzichtbare welzijns crisis  
bij leghennen**

Wakker Dier  
April 2026

# Inhoudsopgave

<b>1 Samenvatting</b>	<b>4</b>
wat een breuk doet met een kip	4
niet de stal, maar de genetica	4
de verantwoordelijkheid van de fokkerij	4
wat er moet gebeuren	5
<b>2 Inleiding</b>	<b>6</b>
leeswijzer	7
<b>3 Wat is een borstbeenbreuk?</b>	<b>8</b>
het borstbeen: een <b>onmisbaar</b> bot	8
twee soorten schade: deviaties en fracturen	8
waarom borstbeenbreuken onzichtbaar zijn	9
een aandoening die niet geneest	10
<b>4 Hoe groot is het probleem?</b>	<b>11</b>
een probleem van tientallen miljoenen dieren	11
de prevalentie neemt toe gedurende de legperiode	11
geen enkel systeem scoort goed	11
de werkelijke omvang wordt onderschat	12
<b>5 Wat betekent het voor de kip?</b>	<b>13</b>
pijn	13
aanhoudende stress	13
angst en gedragsveranderingen	13
verminderde mobiliteit	14
breuken in de caudale punt	14
ademhaling	15
zwakke botten en risico bij het vangen	15
wat dit betekent voor miljoenen hennen	15
<b>6 Hoe ontstaan borstbeenbreuken?</b>	<b>16</b>
het gangbare misverstand	16
wat het weefsel vertelt	16
beweging is niet de oorzaak	16
zwak bot	17
het eilegproces als directe oorzaak	17
de locatie van de breuken	18
een samenspel van factoren	18
<b>7 De rol van de fokkerij</b>	<b>19</b>
eieren zijn belangrijker dan de hen	19
gefokt om jong te leggen	19
genetische variatie tussen foklijnen	20
de genetische verwevenheid is aangetoond	20
twee bedrijven bepalen de wereldmarkt	20
fokbedrijven weten het – en zeggen het zelf	21
selectie op botsterkte werkt	21
select is goed mogelijk	21
complexiteit en openstaande vragen	22
verantwoordelijkheid die niet kan worden doorgeschoven	22

<b>8 Andere factoren</b>	<b>23</b>
voeding: wisselende resultaten, geen structurele oplossing	23
opfokverrijking: zinvol, maar onvoldoende	23
stalontwerp en stokken: symptoombestrijding	24
de kern van het probleem blijft onaangepakt	24
<b>9 Wat moet er nu gebeuren?</b>	<b>25</b>
een taak voor de staatssecretaris	25
<b>10 Conclusie</b>	<b>27</b>
<b>11 Bronnen</b>	<b>28</b>

# 1 Samenvatting

In Nederland krijgt de overgrote meerderheid van alle leghennen tijdens haar leven te maken met een gebroken borstbeen. Het bot geneest niet. De pijn verdwijnt niet. En vrijwel niemand die het ziet.

Borstbeenbreuken zijn een van de meest voorkomende en tegelijkertijd minst zichtbare welzijnsproblemen in de Nederlandse ei-industrie. In commerciële koppels loopt de prevalentie aan het einde van de legperiode op tot vijftig tot honderd procent. De werkelijke omvang wordt waarschijnlijk onderschat. De meest gebruikte meetmethode in de praktijk is onbetrouwbaar gebleken en mist een groot deel van de breuken en een wettelijke verplichting om borstbeenbreuken te registreren bestaat niet.

## wat een breuk doet met een kip

Dat veel borstbeenbreuken pijn doen, is wetenschappelijk bewezen. Hennen met breuken bewegen minder, vermijden stokken en buitenruimtes, vertonen meer angstgedrag en hebben hogere stresshormoonwaarden en lagere serotoninewaarden. Die effecten zijn niet kortdurend: ze houden aan zolang de breuk er is.

De overgrote meerderheid van de breuken zit in de caudale punt van het borstbeen. Weefselonderzoek laat zien dat bij de eenvoudigste breuken op die plek geen tekenen van weefselschade zichtbaar zijn die worden geassocieerd met acute pijn. Bij ernstiger breuken zijn die tekenen er wel. Bovendien worden breuken ernstiger naarmate de legperiode vordert. Zelfs als alleen de zwaarst aangedane hennen pijn ervaren, gaat het in Nederland om miljoenen dieren.

## niet de stal, maar de genetica

Lange tijd werd aangenomen dat hennen hun borstbeen breken door botsingen in de stal. Maar weefselonderzoek laat zien dat de tekenen die bij uitwendig trauma zoals een botsing altijd aanwezig zijn, bij de overgrote meerderheid van de borstbeenbreuken ontbreken: geen bloedingen, geen spierscheuringen, geen ontsteking. De breukrichting wijst juist van binnenuit naar buiten, niet andersom. En wanneer de eiproduktie van de kip experimenteel wordt uitgeschakeld, worden er nog amper breuken aangetroffen.

Dat bewijst dat de oorzaak ligt in de biologie van de hen zelf. De moderne leghen begint al rond week 17 à 18 met leggen, terwijl haar borstbeen op dat moment nog niet volledig verbeend is. Vanaf dat moment onttrekt haar lichaam calcium aan het skelet voor de vorming van eierschalen. Het borstbeen, nog onvolgroeid en chronisch calcium-arm, bezwijkt sneller onder de dagelijkse inwendige druk van het leggen van eieren.

## de verantwoordelijkheid van de fokkerij

Die biologie is geen toeval, maar het directe gevolg van decennialange genetische selectie op vroege geslachtsrijpheid (ofwel beginnen met eieren leggen) en grote eieren. Onderzoek heeft aangetoond dat hennen die later beginnen met leggen en kleinere eieren produceren aan het begin van de legperiode significant minder borstbeenbreuken hebben. Wie selecteert op vroeg en groot leggen, selecteert op een kwetsbaarder borstbeen.

De wereldmarkt voor leghennengenetica wordt beheerst door twee bedrijven: het Nederlandse Hendrix Genetics, gevestigd in Boxmeer, en het Duitse Lohmann Tierzucht. Buiten China zijn vrijwel alle commerciële leghennen ter wereld afkomstig van foklijnen van

deze twee concerns. Zij bepalen welke eigenschappen de commerciële leghen heeft. Decennialang is geselecteerd op vroeg en grote eieren leggen. Op botgezondheid lijkt niet of nauwelijks te zijn geselecteerd.

Eerder was het argument hiervoor dat selectie op botgezondheid technisch niet mogelijk was. Dit is inmiddels achterhaald. Geautomatiseerde röntgenanalyse maakt grootschalige beoordeling van hennen inmiddels mogelijk. Selectiemethoden die beide bedrijven al toepassen voor andere kenmerken zijn ook hier inzetbaar. Fokbedrijven meten welzijnsdata over hun rassen al, maar sturen niet op minder breuken.

## wat er moet gebeuren

Wakker Dier roept Hendrix Genetics op tot drie concrete stappen:

- Neem botgezondheid op als volwaardig fokdoel in de selectieprogramma's.
- Publiceer de welzijnsdata over borstbeenbreuken in de eigen foklijnen.
- Stel een bindende reductiedoelstelling vast met jaarlijkse publieke rapportage.

Om deze bedrijven te motiveren tot actie, is het belangrijk dat de overheid zorgt voor een stok achter de deur. De staatssecretaris van Landbouw dient fokdoelen voor leghennen op te nemen in de AMvB Dierwaardige Veehouderij. De AMvB erkent zelf dat vroeg leggen verband houdt met een verhoogd risico op borstbeenbreuken, maar laat fokdoelen voor leghennen vooralsnog buiten beschouwing. Dat is niet langer houdbaar. Bij vleeskuikens heeft de overheid al erkend dat genetische eigenschappen direct verband kunnen houden met dierenleed en dat regulering van fokdoelen daarvoor het geëigende instrument is. Hetzelfde principe geldt hier. Wakker Dier vraagt de staatssecretaris daarnaast:

- Adresseer fokdoelen in de AMvB, inclusief een verplichting om borstbeenbreukprevalentie als welzijnsindicator te monitoren.
- Stel een meetverplichting in voor alle commerciële leghennenkoppels, bij voorkeur via röntgenfoto's in het slachthuis.
- Pleit in Brussel voor bindende Europese normen voor skeletgezondheid bij leghennen, als onderdeel van de lopende herziening van de EU-dierenwelzijnswetgeving.

Het probleem is al bijna twintig jaar geleden in Nederland in kaart gebracht. De oorzaak is inmiddels wetenschappelijk opgehelderd. De instrumenten voor verbetering zijn beschikbaar. Wat ontbreekt, is de bereidheid van fokbedrijven om hun verantwoordelijkheid te nemen en de politieke moed om hen daartoe te dwingen.

## 2 Inleiding

Een kip met een gebroken borstbeen scharrelt minder. Ze blijft langer in de nestbox zitten. Ze springt niet meer op de stok. Ze beweegt zich voorzichtiger door de stal, of nauwelijks nog. En toch legt ze gewoon door. Ei na ei na ei, terwijl het bot in haar borstkas nauwelijks geneest, de pijn niet verdwijnt en niemand het van buitenaf ziet. Dit is de werkelijkheid voor een groot deel van de veertig miljoen leghennen in Nederland.

Een borstbeenbreuk – breuk in het centrale bot van de borstkas van de kip – is een van de meest voorkomende en tegelijkertijd minst bekende welzijnsproblemen in de Nederlandse ei-industrie. Ze zijn van buitenaf onzichtbaar. Ze worden in de praktijk zelden gemeten. En ze worden door de sector al decennialang behandeld als een randfenomeen, een onvermijdelijk bijverschijnsel van de moderne pluimveehouderij.

Dat is onjuist. Borstbeenbreuken zijn niet onvermijdelijk. Ze zijn het aantoonbare gevolg van gerichte genetische keuzes – en ze kunnen worden teruggedrongen als die keuzes worden herzien.

In recente jaren heeft wetenschappelijk onderzoek een steeds duidelijker beeld opgeleverd van hoe dit probleem ontstaat. Niet door botsingen met huisvesting in de stal, zoals lang werd aangenomen. Maar doordat de moderne leghen is gefokt op vroege geslachtsrijpheid, hoge eiproduktie en grote eieren – eigenschappen die haar botgezondheid structureel ondermijnen. Haar skelet is nog niet uitgegroeid op het moment dat haar lichaam al volop calcium begint te onttrekken voor eierschaalvorming. Het borstbeen breekt van binnenuit, onder de dagelijkse druk van het eilegproces.

De verantwoordelijkheid voor dit probleem ligt bij de fokbedrijven die de genetische basis voor de commerciële leghen bepalen. In Nederland is dat in de eerste plaats Hendrix Genetics, gevestigd in Boxmeer, een van de wereldwijd toonaangevende fokbedrijven voor leghennengenetica. Hendrix Genetics levert fokdieren aan pluimveehouders in meer dan honderd landen en brengt haar hennen op de markt onder merken als Dekalb, ISA, Bovans en Hisex. Naast Hendrix Genetics is het Duitse EW Group – moederbedrijf van Lohmann Tierzucht – een dominante speler op de wereldmarkt voor leghennengenetica. Samen bepalen deze concerns in grote mate welke eigenschappen de commerciële leghen wereldwijd heeft, en welke niet.

Het argument dat fokbedrijven jarenlang konden aanvoeren – dat er geen praktische methode bestond om op botgezondheid te selecteren – is inmiddels achterhaald. Recente studies tonen aan dat borstbeenbreukgevoeligheid erfelijk is en meetbaar gemaakt kan worden via geautomatiseerde röntgenanalyse. De tools zijn er. Niets doen is daarmee geen technisch onvermogen meer, maar een keuze.

Dit rapport vat de stand van de wetenschappelijke kennis over borstbeenbreuken samen, legt uit hoe het probleem werkelijk ontstaat, wat het betekent voor het welzijn van miljoenen hennen, en wat er van fokbedrijven en de politiek mag worden verwacht.

## leeswijzer

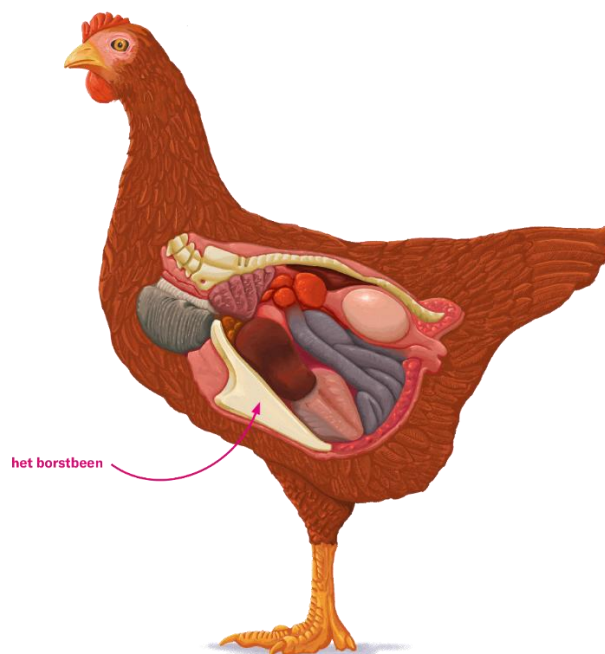
Hoofdstuk 3 legt uit wat een borstbeenbreuk is en waarom ze zo moeilijk te herkennen zijn. Hoofdstuk 4 brengt de omvang van het probleem in kaart, inclusief de methodologische beperkingen die maken dat de werkelijke prevalentie waarschijnlijk nog groter is dan de gemeten cijfers suggereren. Hoofdstuk 5 beschrijft wat borstbeenbreuken doen met een kip: de pijn, de stress, de gedragsveranderingen en de hersenbeschadiging die wetenschappers inmiddels hebben aangetoond. Hoofdstuk 6 legt uit hoe botbeenbreuken ontstaan en waarom de huisvestingsverklaring tekortschiet. Hoofdstuk 7 is het hart van dit rapport: de rol van de fokkerij, de genetische mechanismen, en de verantwoordelijkheid van Hendrix Genetics en Lohmann Tierzucht. Hoofdstuk 8 beschrijft wat er tot nu toe is geprobeerd en waarom dat onvoldoende is. Hoofdstuk 9 formuleert concrete eisen. Hoofdstuk 10 sluit af met een conclusie.

### 3 Wat is een borstbeenbreuk?

#### het borstbeen: een onmisbaar bot

Het borstbeen — bij vogels ook wel het sternum of kielbot genoemd — is het grote, platte bot dat het midden van de borstkas vormt, zie figuur 1. Bij vogels heeft het een opvallende vorm: aan de voorzijde steekt een verticale uitstulping naar beneden, de kiel, waaraan de grote borstspieren zijn bevestigd die de vleugels aandrijven. Maar het borstbeen doet meer dan alleen spieren verankeren. Omdat vogels geen middenrif hebben zoals zoogdieren, wordt de ademhaling mede aangedreven door de beweging van het borstbeen en de ribben. Schade aan het borstbeen kan daarmee ook de ademhaling en thermoregulatie beïnvloeden — al is dit aspect bij leghennen nog weinig direct onderzocht (Codd et al. 2005; Claessens 2009, Riber et al. 2018).

Bij leghennen is het borstbeen bovendien een opslagplaats voor calcium. Voor de productie van een ei onttrekt het lichaam calcium aan het skelet — waaronder het borstbeen — om de eierschaal te vormen. Dit proces herhaalt zich dag na dag, gedurende een legperiode van ruim een jaar. Het borstbeen staat daarmee voortdurend onder dubbele druk: mechanisch, als ankerpunt voor spieren en ondersteuner van de ademhaling, en fysiologisch, als calciumreservoir voor de eierschaalproductie.



Figuur 1: het borstbeen

#### twee soorten schade: deviaties en fracturen

Niet alle borstbeenschade is hetzelfde. Wetenschappers onderscheiden twee hoofdvormen, met verschillende verschijningsbeelden, verschillende oorzaken en een verschillende tijdslijn.

**Deviaties** zijn vervormingen van het borstbeen: het bot buigt, kromt of wijkt af van zijn normale vorm, zonder dat er sprake is van een breuk. Deviaties ontstaan al vroeg tijdens de groei van het bot, vóór de voltooiing van de verbening, soms al in de opfokperiode vóór

week 28 (Emmert et al. 2024). Ze worden niet beïnvloed door de eilegproductie zelf (Eusemann et al. 2020) en lijken samen te hangen met mechanische belasting tijdens de botgroei, waarbij nog zacht kraakbeen onder druk vervormt.

**Fracturen** zijn echte breuken: het bot scheurt, splijt of breekt door. Fracturen verschijnen pas nádat de legproductie op gang is gekomen: in onderzoek van Emmert et al. (2024) had geen enkele hen een fractuur vóór week 20, terwijl deviaties al eerder aanwezig waren. Een leggen heeft doorgaans meerdere fracturen in haar borstbeen. Fracturen zitten voor 90 procent of meer in het achterste, spitse uiteinde van het borstbeen, de zogenoemde caudale punt (Thøfner et al. 2020; Emmert et al. 2024). Dat is het deel dat grenst aan de bekkenholte, waar bij elke ei die wordt gelegd druk op komt te staan van binnenuit. Hoofdstuk 6 legt uit waarom dit belangrijk is.

Beide vormen van schade kunnen bij dezelfde hen tegelijk voorkomen en worden in wetenschappelijk onderzoek gezamenlijk aangeduid als keel bone damage (KBD). In dit rapport ligt de nadruk op fracturen, omdat die het sterkst samenhangen met pijn en welzijnsschade. Wanneer we spreken over borstbeenbreuken, bedoelen we deze fracturen.

### **waarom borstbeenbreuken onzichtbaar zijn**

Het verraderlijke aan borstbeenbreuken is dat ze van buitenaf zelden te zien zijn. De huid en de bevedering van de kip bedekken het borstbeen volledig. Zelfs ervaren pluimveehouders die dagelijks door hun koppels lopen, merken een breuk doorgaans niet op. Alleen bij nauwkeurige betasting — palpatie — is schade soms voelbaar als een onregelmatigheid of verdikking in het bot. Maar ook dat is onbetrouwbaar.

Uit een grote internationale studie van Çavuşoğlu et al. (2025), waarbij 37 beoordelaars uit elf landen 3D-geprinte borstbeenmodellen gebruikten als tastbaar referentiepunt, bleek de betrouwbaarheid van palpatie structureel laag. Zelfs getrainde beoordelaars die dezelfde kip onderzochten, kwamen meer dan de helft van de tijd niet tot hetzelfde oordeel. Het gebruik van tastbare referentiemodellen maakte dat niet beter.

Palpatie onderschat de werkelijke prevalentie structureel, met name bij verse breuken en haarscheuren, en bij breuken in de caudale punt — precies de meest voorkomende locatie (Rufener & Makagon 2020). Thøfner et al. (2021) lieten zien dat bij nader onderzoek via necropsie — waarbij het borstbeen na de dood van het dier grondig wordt geïnspecteerd — aanzienlijk meer breuken werden gevonden dan palpatie tijdens leven had gesuggereerd.

De enige betrouwbare manier om borstbeenbreuken in kaart te brengen is beeldvorming: röntgenfoto's of CT-scans, bij voorkeur aangevuld met dissectie na de slacht. Er zijn geen signalen dat dit nu wordt toegepast in de pluimveehouderij. Bovendien bestaat er geen wettelijke verplichting om borstbeenbreuken te meten en zelfs in wetenschappelijk onderzoek was palpatie in 61 procent van de studies de enige meetmethode (Rufener & Makagon 2020). Gevolg: het probleem blijft grotendeels onder de radar, ook bij de boeren die er dagelijks middenin staan.

## **een aandoening die niet geneest**

Borstbeenbreuken bij leghennen hebben nog een bijzonderheid die het probleem extra ernstig maakt: ze genezen niet, of nauwelijks. De breuk blijft bestaan gedurende de gehele resterende legperiode. Thøfner et al. (2020) beschreven histologisch dat het herstelproces bij bijna alle onderzochte breuken vrijwel afwezig was. Een kenmerk dat past bij zogenoemde stressfracturen, waarbij de voortdurende mechanische belasting elke aanzet tot genezing steeds opnieuw onderbreekt. Als een kip een ei legt, duwt dat ei tegen het borstbeen aan. En een kip legt bijna elke dag een ei. Het borstbeen wordt nooit met rust gelaten.

Wel vormt zich bij oudere breuken soms extra botweefsel rondom de breukplaats, zogenoemde callus. Dat maakt de breuk bij palpatie soms voelbaar als een knobbel, maar het betekent niet dat de breuk is hersteld of dat de pijn is verdwenen. Het is eerder een teken dat het lichaam tevergeefs heeft geprobeerd te repareren wat steeds opnieuw wordt beschadigd.

## 4 Hoe groot is het probleem?

### een probleem van tientallen miljoenen dieren

Borstbeenbreuken komen voor in alle huisvestingssystemen, in alle landen waar commerciële leghennen worden gehouden, en bij vrijwel alle commerciële rassen. Hoewel er variatie bestaat tussen rassen, huisvestingssystemen en leeftijden, is het overkoepelende beeld eenduidig: het komt in alle situaties veel voor. Dat is de centrale conclusie van de meest uitgebreide systematische review die tot nu toe is uitgevoerd. Rufener & Makagon (2020) analyseerden dertig jaar wetenschappelijke literatuur en kwamen tot een onmiskenbaar beeld. Prevalenties van 50 tot 100 procent aan het einde van de legperiode zijn geen uitzondering. Ze zijn de norm.

Voor Nederland zijn de meest geciteerde cijfers afkomstig van Rodenburg et al. (2008), die bij Nederlandse hennen aan het einde van de legperiode breuken vonden bij 62 tot 97 procent van de dieren. Meer recent Europees onderzoek bevestigt dat beeld. Thøfner et al. (2021) onderzochten 4.794 hennen uit 40 Deense koppels bij de slacht via palpatie én necropsie, en vonden prevalenties van 53 tot 100 procent in kooivrije systemen en 50 tot 98 procent in verrijkte kooien. In sommige koppels had letterlijk elke onderzochte hen minstens één breuk.

Vertaald naar de Nederlandse situatie: in 2025 telde Nederland circa 45 miljoen leghennen (WENR, 2025). Zelfs bij de meest conservatieve schatting van 50 procent betekent dit dat ruim 20 miljoen hennen in Nederland in hun leven te maken krijgen met een of meer borstbeenbreuken. Bij de hogere prevalenties die in de literatuur worden gerapporteerd, loopt dat getal op naar ruim in de veertig miljoen dieren. Dat zijn geen marginale getallen. Dat is de overgrote meerderheid van alle leghennen in ons land.

### de prevalentie neemt toe gedurende de legperiode

Borstbeenbreuken ontstaan niet allemaal tegelijk. Ze stapelen zich op naarmate de legperiode vordert. Rufener & Makagon (2020) lieten zien dat de prevalentie sterk stijgt tussen het begin en de piek van de legproductie – ruwweg tussen week 25 en 35 – en daarna verder oploopt richting het einde van de legperiode. Emmert et al. (2024) volgden 144 hennen via herhaalde CT-scans van week 16 tot week 52 en konden dit patroon nauwkeurig in kaart brengen: geen enkele hen had vóór week 20 een breuk, maar daarna nam de prevalentie gestaag toe, met de meeste nieuwe breuken in de periode direct na het begin van de eilegproductie.

Dit tijdverloop is niet toevallig. Het valt samen met het moment waarop het lichaam volop begint te produceren en daarmee volop calcium begint te onttrekken aan het skelet. Hoe langer een hen legt, hoe meer breuken ze heeft opgebouwd. Een hen aan het einde van haar legperiode van ruim een jaar draagt de schade van maandenlange calciumonttrekking in haar botten.

### geen enkel systeem scoort goed

Een hardnekkig misverstand in de sector is dat borstbeenbreuken primair een probleem zijn van volièrres en kooivrije systemen – waar hennen kunnen vliegen en botsen – en dat kooihuisvesting dit probleem vermijdt of beperkt (Rufener & Makagon 2020). De wetenschap ondersteunt dat beeld niet.

Thøfner et al. (2021) vonden vergelijkbaar hoge prevalenties in zowel kooivrije systemen als verrijkte kooien. Rufener & Makagon (2020) kwamen in hun systematische review tot de bevinding dat volièrès — grote stallen met meerdere verdiepingen waar hennen vrij kunnen bewegen, vliegen en op stokken kunnen zitten — gemiddeld niet slechter scoorden dan verrijkte kooien, waarbij hennen in grotere groepen in een kooi met stok en nestgelegenheid worden gehouden, of vloerstallen zonder etagestructuur.

De onderzoekers beschreven dit resultaat zelf als verrassend. Een deel van de verklaring is methodologisch: in oudere studies werden kooihennen onderzocht via palpatie, terwijl hun breuken door de beperkte bewegingsvrijheid minder callus vormen en daarmee moeilijker voelbaar zijn. Thøfner et al. (2021) toonden aan dat palpatie in kooisystemen structureel meer breuken mist dan in kooivrije systemen waardoor kooien in oudere studies kunstmatig beter leken dan ze waren.

De conclusie is helder: borstbeenbreuken zijn niet primair een huisvestingsprobleem. Ze zijn een dierprobleem. Zolang de genetische kwetsbaarheid niet wordt aangepakt, blijft het veel voorkomen, ongeacht hoe de stal is ingericht.

### **de werkelijke omvang wordt onderschat**

De prevalentiecijfers die in de literatuur verschijnen zijn waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijkheid. Daar zijn twee redenen voor.

De eerste is methodologisch. De meest gebruikte meetmethode in zowel wetenschappelijk onderzoek als praktijkcontrole is palpatie: betasting van het borstbeen door de huid heen. Rufener & Makagon (2020) stelden vast dat in 61 procent van alle studies palpatie de primaire of enige meetmethode was. Maar zoals beschreven in hoofdstuk 3, mist palpatie structureel verse breuken en breuken in de caudale punt, precies de meest voorkomende locatie (Rufener & Makagon 2020; Çavuşoğlu et al. 2025). Studies die uitsluitend palpatie gebruiken, zien een groot deel van de breuken simpelweg over het hoofd. Bovendien ontbreekt elke wettelijke verplichting om borstbeenbreuken te meten of te registreren, waardoor het probleem in de dagelijkse praktijk grotendeels onzichtbaar blijft.

De tweede reden is het ontbreken van recent Nederlands prevalentieonderzoek. De meest geciteerde Nederlandse studie (Rodenburg et al. 2008) is inmiddels zeventien jaar oud. In die periode zijn de legcijfers per hen verder gestegen, is de legperiode verlengd en zijn fokprogramma's geïntensiveerd. Er is geen reden om aan te nemen dat de situatie is verbeterd, er zijn eerder aanwijzingen voor het tegendeel. De kippen leggen nu wereldwijd nog meer eieren: van ruim 300 eieren per kip in 2010 naar meer dan 400 nu (Ferryhough et al. 2020). De belasting op het skelet is daarmee alleen maar toegenomen.

## 5 Wat betekent het voor de kip?

Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat borstbeenbreuken bij leghennen gepaard gaan met pijn, stress en gedragsveranderingen. Maar hoe ernstig die gevolgen zijn en voor hoeveel hennen ze gelden, hangt af van de ernst en het type breuk. De meeste breuken zitten in het achterste, spitse uiteinde van het borstbeen — de caudale punt — en zijn bij aanvang relatief mild van ernst (Emmert et al. 2024; Thøfner et al. 2020). Naarmate de legperiode vordert, worden breuken ernstiger en stapelen ze zich op. Dit hoofdstuk bespreekt wat de wetenschap laat zien, inclusief waar nog vragen openliggen.

### pijn

Het directe bewijs dat borstbeenbreuken pijn veroorzaken komt van Nasr et al. (2012). Zij gaven hennen mét en zonder borstbeenbreuken het pijnstillende middel butorfanol en maten daarna hun bereidheid om van stokken op verschillende hoogtes af te springen. Bij hennen mét breuken nam de tijd die ze nodig hadden om van de stok af te springen significant af na toediening van de pijnstillert. Oftewel, ze aarzelden minder. Bij hennen zonder breuken had het middel nauwelijks effect. Bij hennen zonder breuken had het middel nauwelijks effect. De hennen in deze studie hadden gehele breuken van uiteenlopende ernst. De onderzoekers maakten geen onderscheid naar de locatie van de breuk op het borstbeen. Ze concludeerden dat dit het sterkste gedragswetenschappelijke bewijs is dat breuken pijn veroorzaken. Opvallend: ook met pijnstilling bleven hennen met breuken langzamer dan hennen zonder. De pijn werd verlicht, niet opgeheven.

### aanhoudende stress

Die pijn is niet kortdurend. Armstrong et al. (2020) volgden Lohmann Brown hennen in een voliëresysteem en maten de breukernst herhaaldelijk via röntgenfoto's. Aan het einde van hun leven werd de aanmaak van nieuwe neuronen in de hippocampus post-mortem onderzocht. De aanmaak van nieuwe hersencellen in dit hersengebied geldt bij zowel vogels als zoogdieren als een geaccepteerde indicatie voor langdurige stress: hoe meer stress, hoe minder nieuwe neuronen. Hennen met ernstige breuken maakten er significant minder aan dan hennen met minimale breuken — en de breukernst in de laatste weken van het leven bleek daarbij de sterkste voorspeller.

Wei et al. (2022) vonden bij dieren met borstbeenbreuken hogere bloedwaarden van het stresshormoon corticosteron en van ontstekingsmarkers, gecombineerd met lagere serotoninewaarden — een fysiologisch profiel dat consistent is met chronische stress. Recentere bevindingen van Zhang et al. (2025) bevestigen dit beeld: ook zij vonden bij hennen met breuken hogere corticosteron- en lagere serotoninewaarden, en aanwijzingen voor verminderde neurogenese in de hippocampus.

### angst en gedragsveranderingen

Zhang et al. (2025) verdiepten het welzijnsprobleem in een van de methodologisch sterkste studies op dit gebied. Zij selecteerden negentig Hy-Line Brown hennen van 46 weken op basis van palpatie en röntgenonderzoek en verdeelden ze in een groep met en een groep zonder breuk. Gedurende zes weken volgden ze hen met gedragsobservaties, gestandaardiseerde angsttests en biologische metingen.

Hennen met breuken vertoonden significant meer poetsgedrag en teenpikken, gedrag dat samenhangt met stress en ongemak. In de open field test — waarbij hennen individueel in een onbekende ruimte worden geplaatst om hun bewegings- en verkenningsgedrag te

meten — begonnen ze later met bewegen en verkenden ze de ruimte minder. In de attention bias test — waarbij hennen worden blootgesteld aan een alarmsignaal terwijl er voer beschikbaar is — reageerden ze trager op zowel het alarm als het voer. In de gedragswetenschappen geldt een dergelijk patroon als aanwijzing voor een negatieve gemoedstoestand.

### **verminderde mobiliteit**

De gevolgen van borstbeenbreuken zijn ook zichtbaar in het dagelijks gedrag. Montalcini et al. (2024) volgden 376 hennen in een volièresysteem en maten zowel de ernst van borstbeenbreuken via röntgenfoto's als het individuele bewegingsgedrag via sensoren. De uitkomst was eenduidig: een ernstiger breuk leidde aantoonbaar tot minder verticale beweging, met het grootste effect zichtbaar ongeveer drie maanden na het optreden van de breuk. Montalcini werkte met een doorlopende ernstschaal. Dat betekent dat elke toename in ernst gepaard gaat met minder beweging, ook bij relatief milde breuken.

Nasr et al. (2012) vonden dat hennen met lichte breuken langzamer van stokken afsprongen dan hennen zonder breuken, en hennen met ernstige breuken zijn weer langzamer dan hennen met lichte. Het effect loopt gradueel op met de ernst. Richards et al. (2012, geciteerd in Abdallah et al. 2025) toonden aan dat hennen met ernstige breuken een buitenruimte slechts elf procent van de tijd gebruikten, tegenover 35 procent bij hennen met lichte breuken en 54 procent bij hennen zonder breuken. Het patroon is consistent: hoe ernstiger de breuk, hoe meer de hen haar gedrag aanpast om belasting te vermijden

### **breuken in de caudale punt**

De overgrote meerderheid van alle breuken zit in de caudale punt van het borstbeen, het achterste spitse uiteinde (Thøfner et al. 2020; Emmert et al. 2024). Weefselonderzoek laat zien wat die breuken met het omliggende weefsel doen en wat dat zegt over pijn. Om dat te beoordelen kijken onderzoekers naar het weefsel rondom de breuk. Ontsteking, bloedingen of littekenvorming in de omliggende spieren zijn tekenen die erop wijzen dat een breuk pijn heeft veroorzaakt of nog veroorzaakt.

Gretarsson et al. (2025) onderzochten 50 borstbenen van commerciële hennen onder de microscoop op weefselniveau en vonden 73 breuken bij 33 hennen, allemaal in de caudale punt. Ze deelden die breuken in naar type. De eenvoudigste categorie waren de incomplete breuken: breuken waarbij de breeklijn slechts één kant van het bot raakt. Dat waren er 34. Bij geen enkele van die breuken was er ontsteking, bloeding of littekenvorming in het omliggende spierweefsel, de tekenen die op pijn wijzen. Dan waren er 33 complete breuken, waarbij de breeklijn het bot volledig doorsnijdt. Bij 23 van die 33 ontbraken tekenen van weefselschade. Bij 10 was er wel ontsteking in het spierweefsel, en 9 daarvan hadden ook littekenvorming: aanwijzingen dat die breuken pijnlijk waren of zijn geweest. Tot slot waren er zes complexe breuken met meerdere breeklijnen. Vijf van die zes hadden littekenvorming in het omringende spierweefsel, de sterkste aanwijzing voor pijn.

Kortom: van de 73 breuken hadden er zestien duidelijke weefselschade rondom de breuk. Dat is ongeveer één op de vijf. De overige vier op de vijf lieten geen weefselschade zien die wijst op pijn.

Thøfner et al. (2020) kwamen in een eerdere studie met dezelfde aanpak tot een vergelijkbare conclusie: de meeste breuken in de caudale punt lijken op zogenaamde greenstick- en stressfracturen, breuken die ontstaan door aanhoudende belasting van binnenuit in plaats van een harde klap van buitenaf. Die breuken gaan bij mensen en dieren doorgaans gepaard met pijn, maar de acute ontstekingsreactie die bij traumatisch letsel hoort ontbreekt.

## ademhaling

Vogels hebben geen middenrif. De ademhaling wordt aangedreven door de beweging van het borstbeen en de ribben: bij elke inademing beweegt het borstbeen naar beneden, bij uitademing weer terug omhoog (Codd et al. 2005; Claessens 2009). Opvallend is daarbij dat de caudale rand van het borstbeen de grootste beweging maakt – precies het deel waar bij leghennen de meeste breuken zitten. Of en in welke mate borstbeenbreuken de ademhaling daadwerkelijk belemmeren is bij leghennen nog niet direct onderzocht, maar de anatomische redenering is goed gefundeerd en verdient meer onderzoek.

## zwakke botten en risico bij het vangen

Borstbeenbreuken zijn ook een symptoom van bredere skeletkwetsbaarheid. Maidin et al. (2024) vonden bij 941 hennen dat meer borstbeenschade samenging met zwakkere vleugelbotten en pootbotten. Dit is een correlatie, geen bewijs van directe causaliteit. Beide type breuken zijn waarschijnlijk het gevolg van dezelfde onderliggende oorzaak: de calciumonttrekking in de legperiode ondermijnt het gehele skelet.

Aan het einde van de legperiode worden hennen gevangen voor transport naar het slachthuis, een proces waarbij ze doorgaans aan één poot worden opgepakt en in kratten worden geplaatst. Voor hennen met al verzwakte botten is dat een extra risico. Rufener & Makagon (2020) stellen in hun systematische review expliciet dat het vangen en transporteren van hennen aan het einde van de legperiode, gezien de ernst en omvang van de borstbeenschade op dat moment, reden is tot grote bezorgdheid. Onderzoek naar de welzijnsconsequenties van borstbeenbreuken tijdens transport ontbreekt tot nu toe.

## wat dit betekent voor miljoenen hennen

De welzijnsimpact van borstbeenbreuken is niet voor elke hen gelijk. Milde breuken in de caudale punt geven bij aanvang weinig aanwijzingen voor acute pijn. Maar naarmate de legperiode vordert, worden breuken ernstiger en complexer, en het bewijs voor pijn, stress en gedragsveranderingen is bij ernstigere breuken aanzienlijk sterker. Zelfs als alleen de zwaarst aangedane hennen pijn ervaren, gaat het in Nederland om miljoenen dieren. Meer onderzoek is nodig om de precieze omvang van het welzijnsprobleem beter in kaart te brengen, maar de richting van het bewijs is duidelijk.

## 6 Hoe ontstaan borstbeenbreuken?

### het gangbare misverstand

De meest voor de hand liggende verklaring voor borstbeenbreuken lijkt simpel: kippen vliegen rond in de stal, botsen tegen stokken, wanden en elkaar en breken daarbij hun borstbeen. Deze redenering is jarenlang de dominante verklaring geweest in zowel de sector als een deel van de wetenschap. Ze suggereert ook een aantrekkelijke oplossing: pas de stal aan, maak de stokken zachter, verklein de ruimte om te bewegen en het probleem vermindert.

Deze verklaring wordt alleen niet ondersteunt door wetenschappelijk onderzoek. De afgelopen jaren heeft een reeks wetenschappelijke studies deze trauma-hypothese systematisch getoetst en even systematisch weerlegd.

### wat het weefsel vertelt

De beste manier om te onderzoeken hoe een breuk is ontstaan, is kijken naar het weefsel rondom de breukplaats. Bij een harde botsing van buitenaf verwacht je bloedingen in de omliggende spieren, scheuring van bindweefsel en een ontstekingsreactie. Die tekenen zijn bij uitwendig trauma altijd aanwezig — bij mensen, bij kippen, bij alle gewervelden.

Thøfner et al. (2020) onderzochten de caudale helft van 62 borstbenen van leghennen via CT-scan en weefselonderzoek om de toestand van het weefsel rondom de breukplaats nauwkeurig in kaart te brengen. De uitkomst was opvallend. In de overgrote meerderheid van de gevallen was er vrijwel geen weefselbeschadiging rondom de breuken in de caudale punt: bloedingen en spierscheuringen werden bij slechts een kleine minderheid gevonden. Wat de onderzoekers bijzonder veelzeggend vonden: ontsteking in de breuklijnen zelf ontbrak volledig. Dat patroon past niet bij een harde botsing van buitenaf.

Veelzeggend was ook de richting van de breuklijnen in de caudale punt. Bij uitwendig trauma loopt de kracht van buiten naar binnen, en de breuk opent zich aan de kant tegenover de klap. Bij de onderzochte hennen was de breuk juist het breedst aan de binnenkant — de kracht loopt van binnen naar buiten. Thøfner et al. (2020) beschreven de breuken als sterk gelijkend op zogenoemde groene-twijgfracturen: breuken die ontstaan door voortdurende, herhaalde belasting van binnenuit, waarbij het bot geleidelijk bezwijkt zonder dat er sprake is van één traumatische klap.

### beweging is niet de oorzaak

Als botsingen de primaire oorzaak zouden zijn van borstbeenbreuken, zou meer bewegen moeten leiden tot meer breuken. Montalcini et al. (2024) toetsten deze aanname. Zij volgden 376 hennen met zowel herhaalde röntgenmetingen als individuele bewegingssensoren, en zochten naar verbanden: leidt meer bewegen tot ernstiger breuken en leidt een ernstiger breuk tot minder bewegen?

Alleen de tweede richting werd bevestigd. Een ernstiger breuk leidde aantoonbaar tot minder bewegen. De eerste richting — meer bewegen leidt tot meer breuken — werd niet gevonden. Dit is een cruciale bevinding: het ondergraaft het voornaamste argument van de sector namelijk dat bewegen, een vooral bewegen in een ongeschikte stalomgeving, de primaire oorzaak is.

Baker et al. (2024) voegden een belangrijke nuance toe. Zij vonden wél dat het aantal botsingen met stokken, kooiwanden en soortgenoten de kans op nieuwe breuken verhoogden. Maar daarbij was niet de kracht van de botsing bepalend, maar het aantal keren. Kleine, herhaalde schokken ondermijnen het bot cumulatief. Baker et al. noemen zelf als mogelijke verklaring dat botsingen inwerken op een bot dat al structureel verzwakt is en daardoor bezwijkt onder belasting die bij een gezond bot geen schade zou veroorzaken. De stal speelt dus een rol, maar als uitlokkende factor, niet als oorzaak.

## zwak bot

Als uitwendig trauma de breuken niet verklaart, wat dan wel? Het antwoord ligt in het borstbeen zelf: dat is verzwakt en breekt daardoor sneller. Die verzwakking heeft twee samenhangende oorzaken: het borstbeen is nog niet volledig verbeend als de leg begint en het eieren leggen zelf onttrekt dagelijks calcium aan het skelet.

Het borstbeen verbeent bij kippen later dan de meeste andere botten in het skelet: kraakbeen wordt geleidelijk vervangen door bot, en dat proces duurt langer dan eerder werd aangenomen. Gretarsson et al. (2025) onderzochten borstbenen van commerciële Dekalb White hennen op tien momenten tussen week 17 en week 53. Wanneer ze het bot met het blote oog beoordeelden, leek de verbening ergens tussen week 28 en 49 voltooid. Maar onder de microscoop was bij geen enkele hen van 53 weken het verbeningsproces werkelijk afgerond.

De moderne leghen begint al rond week 17 à 18 met eieren leggen, weken voordat het borstbeen zijn volle sterkte heeft bereikt. Vanaf dat moment onttrekt het lichaam dagelijks calcium aan het skelet voor de vorming van eierschalen. Gretarsson et al. (2025) toonden aan dat die calciumonttrekking al begint vanaf week 17, dus ruim voordat het bot volgroeid is. Het borstbeen is daarmee nog in ontwikkeling gedurende vrijwel de gehele periode dat de hen eieren legt.

## het eilegproces als directe oorzaak

De rol van het eieren leggen zelf werd experimenteel onderzocht door Eusemann et al. (2020). Zij schakelden bij een groep hennen de productie uit via een hormoonimplantaat en vergeleken hen met leggende controlehennen. Bij de niet-leggende hennen ontstonden aanzienlijk minder borstbeenbreuken: de breukprevalentie was 80 tot 94 procent lager. De botmineraaldichtheid was aan het einde van de studie significant hoger bij niet-leggende hennen. Eusemann et al. concludeerden dat er een sterk verband bestaat tussen eierproductie en borstbeenschade, al sluiten zij niet uit dat het implantaat ook via andere fysiologische routes effect had.

Eusemann et al. (2018) hadden in een eerdere, kleinere studie hetzelfde patroon gevonden: bij leggende controlehennen had veertig procent een breuk; bij niet-leggende hennen was dat nul procent. Letterlijk nul. Dit is het meest directe causale bewijs dat in de literatuur beschikbaar is: schakel de eierproductie uit en het borstbeen blijft heel.

Aanvullend bewijs komt van Thøfner et al. (2021): hanen uit dezelfde commerciële foklijnen als de onderzochte hennen hadden geen enkele breuk. Ze dragen dezelfde genetica en leven in vergelijkbare omstandigheden, maar leggen geen eieren. Dat ook hormonale verschillen een rol kunnen spelen, valt niet uit te sluiten, maar de sterkste beschikbare studie op dit punt — Eusemann et al. (2020) — laat zien dat het ei leggen zelf, niet het hormoonprofiel, de beslissende factor is.

## de locatie van de breuken

De plek waar de meeste breuken zitten past bij het beeld dat er een sterke relatie is tussen de breuken en het leggen van eieren. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 zit 90 procent of meer van alle breuken in de caudale punt van het borstbeen — het achterste, spitse uiteinde (Thøfner et al. 2020; Emmert et al. 2024). Dat is geen toeval. Er zijn twee redenen waarom juist dit deel zo kwetsbaar is.

Ten eerste is de caudale punt het laatste deel van het borstbeen dat verbeent. Terwijl de rest van het borstbeen al bot is, bestaat de punt nog grotendeels uit kraakbeen op het moment dat de leg al volop op gang is. Kraakbeen bezwijkt bij herhaalde belasting anders dan volgroeid bot: het buigt en scheurt geleidelijk, precies het patroon van de greenstickfracturen die Thøfner et al. (2020) beschreven.

Ten tweede concentreert de inwendige druk van het ei zich juist op dat punt. De caudale punt van het borstbeen grenst aan de bekkenholte. Sallam et al. (2025) schrijven expliciet dat de druk van de inhoud van de bekkenholte op het borstbeen terecht komt en dat eerdere studies die breuken aan inwendige druk toeschrijven daarmee overeenstemmen. Thøfner et al. (2020) wezen als eersten op de richting van de breuklijnen als bewijs: de kracht komt van binnenuit, niet van buitenaf.

De combinatie van structurele zwakte door onvolledige verbening en herhaalde mechanische druk van binnenuit maakt de caudale punt tot het kwetsbaarste punt van het borstbeen.

## een samenspel van factoren

De verklaring voor borstbeenbreuken lijkt daarmee een samenspel van factoren. Het borstbeen is bij de moderne leggen nog niet volledig verbeend op het moment dat ze haar eerste ei legt. Tegelijk ondermijnt het eierleggen het bot op twee manieren: de chronische calciumonttrekking voor eierschaalvorming verzwakt het bot structureel, en de herhaalde mechanische druk van binnenuit brengt dat al verzwakte bot vervolgens tot breken. Dit geldt in het bijzonder voor de caudale punt, waar veruit de meeste breuken zitten. De breuken buiten dat gebied — een flinke minderheid — kunnen deels een andere oorzaak hebben, waaronder botsingen van buitenaf.

Botsingen en stalomgeving spelen een rol die niet te verwaarlozen is: een bot dat al verzwakt is bezwijkt eerder bij schokbelasting dan een gezond bot. Maar ze zijn niet de primaire oorzaak. De kern van het probleem zit in de biologie van de hen zelf: haar botbiologie, haar calciumhuishouding en het moment waarop haar lichaam begint te produceren. En die zijn alle drie het gevolg van de fokdoelen waarop zij is geselecteerd. Dit is het onderwerp van het volgende hoofdstuk.

## 7 De rol van de fokkerij

### eieren zijn belangrijker dan de hen

De moderne commerciële leghen is het resultaat van decennialange gerichte genetische selectie op eieren. Ze legt vaak meer dan vierhonderd eieren per jaar, begint daar al mee op een leeftijd van zeventien à achttien weken, en doet dat wekenlang voordat haar borstbeen volledig verbeend is.

Ter vergelijking: de rode bankivahoen, de wilde voorouder van de huiskip, legt slechts twee koppels van zo'n twaalf eieren per broedseizoen. Traditionele kippenrassen komen tot 140 tot 220 eieren per jaar (Jung et al. 2024). De legperiode van de moderne commerciële leghen is lang en intensief, en haar voerconversie is efficiënt. Op papier is ze een prestatiemachine. Maar die prestatie heeft een prijs, en die prijs wordt betaald door het skelet van de hen.

Wat de afgelopen jaren steeds duidelijker is geworden, is dat de eigenschappen waarop fokbedrijven hebben geselecteerd – vroeg beginnen met leggen en grote eieren leggen al vroeg in de legperiode – precies de eigenschappen zijn die de botgezondheid van de hen ondermijnen. Daar komt bij dat fokbedrijven tegelijk ook op een kleinere lichaamsbouw hebben geselecteerd voor een betere voerconversie. Thøfner et al. (2020) speculeren dat een klein lichaam met relatief grote eieren meer druk op het borstbeen uitoefent, wat het risico op breuken verder vergroot.

### gefokt om jong te leggen

Het meest concrete bewijs voor de relatie tussen fokdoelen en borstbeenbreuken komt van Thøfner et al. (2021), die 4.794 hennen uit veertig Deense koppels bij de slacht onderzochten en de bevindingen koppelden aan productiedata. Hieruit bleek dat met iedere week waarbij hennen later beginnen met eieren leggen het voorkomen van borstbeenbreuken in het koppel met twaalf procent afnam. Ook de grootte van de eieren had een sterk effect. Voor elke gram dat een ei aan het begin van de legperiode zwaarder was, nam het risico op een breuk met drie procent toe.

Gebhardt-Henrich & Fröhlich (2015) bevestigden al eerder de effecten van leeftijd en eiergrootte op individueel niveau. Zij volgden hennen via elektronische chips waarmee de productie van elke hen apart werd bijgehouden en konden zo voor elke hen afzonderlijk de timing van breuken koppelen aan het leggedrag. De uitkomst was helder: hennen die vroeger met leggen begonnen hadden aan het einde van de legperiode significant meer borstbeenschade. Het totale aantal gelegde eieren bleek geen voorspeller.

Dunn et al. (2021) onderzochten genetische verbanden tussen eiproduktie en botkwaliteit in meerdere foklijnen en vonden geen aantoonbaar verband tussen eiproduktie na de piek en botkwaliteit. Wél vonden zij een significant negatief genetisch verband tussen vroeg beginnen met leggen en botkwaliteit. De auteurs concluderen dat leeftijd bij eerste ei een sleutelfactor is.

Daarin ligt de kern van het fokkerijprobleem: de moderne leghen is geselecteerd om zo vroeg mogelijk haar eerste ei te leggen en dat ei moet ook meteen groot zijn. Precies die combinatie vergroot het risico op borstbeenbreuken. De biologische reden is beschreven in hoofdstuk 6. Dat er bijna geen breuken optreden als de eilegproductie experimenteel wordt uitgeschakeld, en dat hanen uit dezelfde foklijnen geen enkele breuk hebben, wijst erop dat het eileggen een van de voornaamste oorzaken van de breuken is.

## genetische variatie tussen foklijnen

Breukgevoeligheid lijkt te verschillen tussen de foklijnen van commerciële bedrijven, dit werd aangetoond door Candelotto et al. (2017). Zij testten vijf foklijnen onder identieke omstandigheden: drie commerciële lijnen van Hendrix Genetics en twee experimentele lijnen die niet voor legproductie zijn geselecteerd. Om puur de genetische kwetsbaarheid van het bot te meten, los van hoe de kip zich gedraagt in de stal, gebruikten zij een gestandaardiseerde test waarbij kort na de dood een klap op het borstbeen werd uitgeoefend.

De uitkomsten verschilden sterk. Bij één commerciële lijn trad bij meer dan negentig procent van de hennen een breuk op. Bij de minst gevoelige experimentele lijn was dat minder dan twintig procent. De commerciële lijnen produceerden niet significant meer eieren dan de experimentele lijnen. De studie toont daarmee aan dat genetica een grote rol speelt in breukgevoeligheid, los van gedrag en stalomgeving — maar welk genetisch mechanisme precies het verschil maakt blijft nog onopgehelderd.

Bijzonder aan deze studie is dat Van de Braak, geneticus werkzaam bij Hendrix Genetics, als coauteur betrokken was en dat de drie commerciële lijnen producten zijn van Hendrix Genetics. Het bedrijf is daarmee op de hoogte van deze uitkomsten. De Dekalb White lijn scoorde het slechtst van alle geteste lijnen.

## de genetische verwevenheid is aangetoond

Tot voor kort was de relatie tussen fokdoelen en borstbeenbreuken vooral indirect aantoonbaar, via risicofactoren, correlaties en experimenten. Duenk et al. (2025) brachten daar verandering in met de eerste grootschalige genetische studie specifiek gericht op borstbeenbreukgevoeligheid bij leghennen.

Zij analyseerden röntgenfoto's van ruim duizend witte leghennen — Dekalb White, geleverd door Hendrix Genetics — in combinatie met een uitgebreid DNA-profiel van alle dieren. De bevindingen waren tweeledig. Ten eerste is borstbeenbreukgevoeligheid erfelijk bepaald: er is voldoende genetische variatie aanwezig om er in principe op te selecteren. Ten tweede lagen de genetische regio's die samenhangen met breukgevoeligheid precies op de chromosoomgebieden die ook samenhangen met leeftijd bij eerste ei en eiproductie.

Dit bevestigt wat de risicofactorstudies al suggereerden: de genetische regio's die samenhangen met breukgevoeligheid liggen dicht bij de regio's die samenhangen met vroege geslachtsrijpheid. Duenk et al. beschrijven dit zelf als een mogelijke relatie die verder onderzoek vraagt. De bevinding is daarmee een sterke aanwijzing voor genetische verwevenheid, maar geen bewijs van directe causaliteit.

## twee bedrijven bepalen de wereldmarkt

De wereldwijde markt voor leghennengenetica wordt gedomineerd door twee concerns. Het Nederlandse Hendrix Genetics, gevestigd in Boxmeer, brengt fokdieren op de markt onder merken als Dekalb, ISA, Bovans en Hisex. Het Duitse EW Group is moederbedrijf van Lohmann Tierzucht, dat onder meer de Lohmann Brown en Lohmann Selected Leghornlijnen levert. Buiten China zijn vrijwel alle commerciële leghennen ter wereld afkomstig van foklijnen van deze twee concerns (Ferryhough et al. 2020).

Dit oligopolie is voor het probleem van borstbeenbreuken van groot belang. Het betekent dat de genetische eigenschappen van vrijwel alle commerciële leghennen wereldwijd worden bepaald door beslissingen die in Boxmeer en bij Lohmann Tierzucht worden genomen. Welke eigenschappen prioriteit krijgen in het fokprogramma, en welke niet.

Decennialang is op vroege geslachtsrijpheid, hoge eiproductie en groot eigewicht geselecteerd. Op botgezondheid lijkt niet of nauwelijks te zijn geselecteerd.

## **fokbedrijven weten het — en zeggen het zelf**

De verantwoordelijkheid van fokbedrijven wordt niet alleen door externe critici benoemd. Fernyhough et al. (2020) publiceerden een ethisch-analytisch artikel over de genetica van leghennen in het wetenschappelijke tijdschrift *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. Een van de coauteurs is Van de Braak, geneticus werkzaam bij Hendrix Genetics zelf.

De conclusies van dit artikel zijn opmerkelijk openhartig. De auteurs erkennen dat borstbeenbreuken in alle houderijsystemen onaanvaardbaar hoog zijn, en stellen dat genetische selectie het grootste potentieel heeft voor een langdurige structurele oplossing. De auteurs beschrijven hoe de weging van welzijnseigenschappen ten opzichte van productie-eigenschappen in fokprogramma's niet openbaar is. Ze omschrijven dit als een "goed bewaard geheim".

Fokbedrijven meten welzijnsdata over hun rassen omdat ze er deels al op selecteren, maar publiceren die gegevens niet. Fernyhough et al. (2020) stellen dat transparantie over welzijnsuitkomsten technisch volledig haalbaar is en dat fokbedrijven hiertoe zouden moeten overgaan, vergelijkbaar met hoe productiedata openbaar beschikbaar zijn. Ze pleiten bovendien voor de oprichting van een onafhankelijk internationaal orgaan dat welzijnsuitkomsten van commerciële rassen beoordeelt en publiceert.

## **selectie op botsterkte werkt**

Het is experimenteel aangetoond dat het aantal borstbeenbreuken afneemt als er wordt gefokt op sterkere botten. Stratmann et al. (2016) vergeleken twee foklijnen die gedurende negen generaties bewust waren geselecteerd op hoge of juist lage botsterkte, in commerciële volièrtes onder praktijkomstandigheden. De lijn met sterkere botten had significant minder borstbeenbreuken én minder vervormingen dan de lijn met zwakkere botten, en dat gold onafhankelijk van het stalontwerp.

Fleming et al. (2006) maakten in een aanvullende studie met dezelfde foklijnen de rangschikking expliciet: genetica heeft een groter effect op botkwaliteit dan stalomgeving, en stalomgeving heeft een groter effect dan voeding.

Nog belangrijker: dit selectieprogramma werd al in de jaren negentig opgestart aan het Roslin Institute in Edinburgh. De wetenschap dat gerichte fokkerij op botgezondheid werkt en het aantal breuken verlaagt, is dus geen recente ontdekking. Het is kennis die al dertig jaar beschikbaar is. Dat commerciële fokbedrijven dit nooit op schaal hebben ingevoerd in hun eigen programma's is daarmee geen kwestie van onwetendheid. Het is een keuze.

## **select is goed mogelijk**

Fokbedrijven hebben zich jarenlang kunnen beroepen op een technische beperking: er was geen praktische methode beschikbaar om op grote schaal de botgezondheid van individuele hennen betrouwbaar te meten en zonder betrouwbare meting is gerichte selectie niet mogelijk (Dunn 2025; Maidin et al. 2025). Dit argument was niet onterecht, maar het is inmiddels achterhaald. De technische barrière voor selectie op botgezondheid bestaat niet meer.

Op genetisch vlak biedt genomische selectie een uitweg: moderne fokkerijprogramma's werken al op grote schaal met DNA-profielen om op erfelijke eigenschappen te selecteren, zonder dat elk dier apart hoeft te worden gemeten. Die technologie bestaat en wordt al

toegepast voor tientallen andere kenmerken. Duenk et al. (2025) toonden aan dat breukgevoeligheid erfelijk bepaald is en de relevante regio's identificeerbaar zijn – de genetische basis voor deze aanpak is daarmee gelegd.

Op het vlak van meting is de doorbraak de automatisering van de analyse. Maidin et al. (2025) ontwikkelden een methode waarbij röntgenfoto's van duizenden hennen automatisch worden verwerkt tot betrouwbare selectiecriteria voor botgezondheid, zonder handmatige beoordeling per dier. Dunn (2025) wees daarnaast op een direct inzetbare aanvulling: de botdichtheid van het scheenbeen correleert genetisch goed met borstbeengezondheid en is eenvoudig te meten in bestaande fokkerijprogramma's.

### **complexiteit en openstaande vragen**

Het zou onjuist zijn te suggereren dat fokbedrijven het probleem met een eenvoudige ingreep kunnen oplossen. De wetenschap laat ook zien waar de grenzen liggen. Zo lukte het Maidin et al. (2024) niet om breukgevoeligheid betrouwbaar te meten als erfelijk kenmerk. Niet omdat het niet erfelijk zou zijn, maar omdat beschadigde botten door herstelweefsel er op röntgenfoto's paradoxaal gezond uitzien. De vorm van het borstbeen is wél matig erfelijk, wat indirect selecteren op botgezondheid mogelijk maakt. Duenk et al. (2025) wijzen er bovendien op dat hun bevindingen zijn gedaan in commerciële kruisingen, terwijl fokbedrijven selecteren in zuivere lijnen. Of de resultaten daar direct toepasbaar zijn, moet nog worden vastgesteld.

Maar complexiteit is geen excuus voor stilstand. De wetenschappelijke instrumenten zijn beschikbaar, de genetische variatie is aangetoond, en de tijdshorizon voor fokkerijveranderingen maakt vroeg beginnen des te urgenter: elke generatie die wordt overgeslagen is een vertraging van jaren voordat verbetering zichtbaar wordt in commerciële koppels.

### **verantwoordelijkheid die niet kan worden doorgeschoven**

Fokbedrijven zullen aanvoeren dat borstbeenbreuken ook voorkomen bij oudere lokale rassen – rassen die niet voor commerciële productie zijn geselecteerd en doorgaans 140 tot 220 eieren per jaar leggen – en dat klopt. Jung et al. (2024) vonden borstbeenschade bij gemiddeld 44 procent van de hennen van dertien lokale rassen in Duitsland. Becker et al. (2025) toonden aan dat zelfs bij het traditionele Britse dubbeldoelras Ixworth 69 procent van de hennen minstens één breuk had.

Borstbeenschade is niet uitsluitend een product van commerciële fokkerij. Maar de prevalentie bij commerciële lijnen is consequent hoger. Uysal et al. (2024) vonden significant meer borstbeenschade bij Hy-Line Brown hennen dan bij de minder productieve Isa Tinted. De intensiteit van de commerciële fokdoelen vergroot het probleem aantoonbaar.

De verantwoordelijkheid kan ook niet worden doorgeschoven naar de pluimveehouder. Commerciële leghennen zijn hybrides, gekruist uit zuivere foklijnen die eigendom zijn van de fokbedrijven. Pluimveehouders kopen de kuikens die hun worden aangeboden en kunnen de genetische eigenschappen van het dier niet veranderen.

De sleutel tot structurele verbetering ligt bij de fokbedrijven. Zij zijn de enigen die de genetische basis van de commerciële leghen kunnen veranderen en daar de middelen voor hebben.

## 8 Andere factoren

In de afgelopen decennia zijn verschillende interventies onderzocht om het aantal borstbeenbreuken te verminderen: via voeding, opfokverrijking en stalontwerp. Geen van deze aanpakken lost het probleem structureel op. Ze werken aan de randen, niet aan de kern.

### **voeding: wisselende resultaten, geen structurele oplossing**

Voeding ligt het meest voor de hand als aanpak. Als calciumonttrekking voor eierschaalvorming een centrale rol speelt in het verzwakken van het borstbeen, zou het optimaliseren van de calcium- en vitamine D-voorziening het probleem kunnen verminderen.

Het effect van zulke interventies blijkt in de praktijk zeer gering. Emmert et al. (2024) volgden 144 hennen gedurende de volledige legperiode en testten vier dieetgroepen: controlevoer, lijnzaadolie, visolie en extra vitamine D3. Geen van de dieetinterventies had een statistisch significant effect op de kans op borstbeenbreuken of deviaties.

Wei et al. (2022) vonden weliswaar lagere bloedwaarden van calcium, fosfor en vitamine D bij hennen met breuken — wat een nutritioneel tekort suggereert — maar dit verband is waarschijnlijk deels ook een gevolg van de breuk in plaats van uitsluitend een oorzaak. Een lichaam in chronische calciumstress reageert op een manier die de bloedwaarden beïnvloedt, ongeacht of het rantsoen optimaal is.

Dunn (2025) beschreef dat betaïnesuppletie de botsterkte aantoonbaar kan verbeteren via een specifiek genetisch mechanisme. Dit is een interessante bevinding, maar het betreft onderzoek dat nog niet is vertaald naar een grootschalige praktijkoplossing.

### **opfokverrijking: zinvol, maar onvoldoende**

Een tweede lijn van onderzoek richt zich op de opfokperiode. De gedachte is dat hennen die tijdens de opfok in een rijkere, complexere omgeving worden gehouden meer bewegen, en dat die beweging de botgroei stimuleert — wat hen later in de legperiode beschermt (Rentsch et al. 2024).

Rentsch et al. (2024) voerden een van de meest rigoureuze studies op dit gebied uit. Zij volgden drie opeenvolgende koppels van elk 3.000 kuikens, opgefokt in vier omgevingen van oplopende complexiteit, van een conventioneel kooisysteem tot een rijke voliëromgeving. Het resultaat was genuanceerd positief: hennen opgefokt in de meest complexe omgeving hadden aan het einde van de legperiode significant minder en minder ernstige breuken dan hennen uit kooiopfok — de prevalentie was 19 procent versus 43 procent. Breuken werden gemeten via röntgenfoto's en dissectie.

Dat is een substantieel verschil. Maar opfokverrijking lost het probleem niet op. Zelfs bij de best geteste opfokconditie had nog altijd bijna één op de vijf hennen een breuk. Bovendien liet Rentsch zien dat het grotere borstbeen dat kuikens in de rijkste opfokvoliëre hadden opgebouwd, aan het einde van de legperiode grotendeels als verschil was verdwenen. Opfokverrijking is daarmee een zinvolle deelmaatregel, maar geen structurele oplossing. Het verschil met genetische selectie is fundamenteel: opfokverrijking werkt met de genetische kwetsbaarheid die er al is, genetische selectie pakt die kwetsbaarheid zelf aan.

## **stalontwerp en stokken: symptoombestrijding**

Een derde categorie interventies richt zich op de stalomgeving: het aanpassen van stokontwerp, het verlagen van vliegafstanden, het zachter maken van landingsoppervlakken. Als botsingen en schokken breuken veroorzaken, zou het reduceren van die botsingen het aantal breuken moeten verminderen.

Zoals beschreven in hoofdstuk 6 toonde Baker et al. (2024) aan dat herhaalde kleine botsingen inderdaad bijdragen aan het aantal nieuwe breuken. Maar dezelfde studie laat ook zien waar de grens van deze benadering ligt: niet de kracht van de botsing was bepalend, maar het aantal keren. Een verzwakt borstbeen breekt ook bij lage-impact schokken die bij een gezond bot geen schade zouden veroorzaken. Zolang het borstbeen van de hen structureel te zwak is, blijft het sneller breken, ook in een goed ingerichte stal.

## **de kern van het probleem blijft onaangepakt**

Al deze interventies – voeding, opfokverrijking, stalontwerp – hebben gemeen dat ze werken aan de randen van het probleem zonder de kern aan te pakken. Ze zijn zinvol als aanvulling, maar ze zijn geen oplossing zolang de genetische basis van de commerciële legghen niet wordt aangepast.

Fernyhough et al. (2020) formuleerden dit onomwonden: genetische selectie heeft het grootste potentieel voor een langdurige structurele oplossing. Fleming et al. (2006) onderbouwden dit experimenteel: genetica heeft een groter effect op botkwaliteit dan stalomgeving, en stalomgeving heeft een groter effect dan voeding. Die rangschikking is sindsdien niet weersproken.

Intussen heeft de wetenschap niet stilgestaan. Zoals beschreven in hoofdstuk 7 zijn er inmiddels praktische meetmethoden beschikbaar voor grootschalige selectie op botgezondheid. De technische barrière die fokbedrijven jarenlang als argument konden aanvoeren, bestaat niet meer. Toch heeft geen van de grote bedrijven tot nu toe publiekelijk gecommitteerd om botgezondheid als volwaardig fokdoel op te nemen, streefwaarden gepubliceerd voor de prevalentie van borstbeenbreuken in zijn foklijnen of transparant gerapporteerd over de welzijnsuitkomsten van zijn rassen.

## 9 Wat moet er nu gebeuren?

De primaire verantwoordelijkheid voor het oplossen van dit probleem ligt bij de twee bedrijven die de genetische basis van vrijwel alle commerciële leghennen ter wereld bepalen: Hendrix Genetics en Lohmann Tierzucht. Wakker Dier vraagt beide bedrijven het volgende.

**Neem botgezondheid op als volwaardig fokdoel.** Genomische selectiemethoden en geautomatiseerde röntgenanalyse maken het mogelijk om op grote schaal op botgezondheid te selecteren. Botgezondheid en in het bijzonder de resistentie tegen borstbeenbreuken moet opgenomen worden als volwaardig en gewogen fokdoel in selectieprogramma's, op gelijke voet met productiekennmerken.

**Leg verantwoordelijkheid af voor het welzijn van de eigen foklijnen.** Fokbedrijven meten welzijnsuitkomsten van hun rassen al, ook die over botgezondheid, omdat ze er deels al op selecteren. Die data worden niet openbaar gemaakt. Fernyhough et al. (2020), stelden expliciet dat transparantie over welzijnsuitkomsten technisch volledig haalbaar is. Wakker Dier vraagt beide fokbedrijven de prevalentie van borstbeenbreuken in hun foklijnen openbaar te rapporteren. Zo wordt zichtbaar hoe de situatie er werkelijk voor staat, en is aantoonbaar of gestelde doelen resultaat geven.

**Stel een bindende reductiedoelstelling vast.** Erkenning en meting zijn een begin, maar geen einddoel. Wakker Dier wil dat Hendrix Genetics en Lohmann Tierzucht een concrete, tijdgebonden doelstelling vaststellen voor de reductie van borstbeenbreukprevalentie in hun commerciële foklijnen en daar jaarlijks publiekelijk over rapporteren.

### een taak voor de staatssecretaris

De Nederlandse overheid hoort de tientallen miljoenen leghennen in Nederland te beschermen. De Wet Dieren verplicht de overheid om de veehouderij in 2040 dierwaardig te maken. De uitwerking daarvan in de AMvB Dierwaardige Veehouderij erkent zelf dat vroeg leggen in verband wordt gebracht met een verhoogd risico op borstbeenfracturen. Tegelijkertijd laat de AMvB fokdoelen voor leghennen vooralsnog buiten beschouwing met als argument dat meer wetenschappelijk onderzoek nodig is. Dit is niet nodig. De wetenschap heeft aangetoond dat breukgevoeligheid erfelijk is. Er is geen reden meer om fokdoelen buiten de wet te houden.

Bij vleeskuikens heeft de overheid al erkend dat genetische eigenschappen direct verband houden met dierenleed en dat regulering van fokdoelen daarvoor het geëigende instrument is. De AMvB bepaalt dat het verboden is vleeskuikens te houden die door gefokte lichaamskenmerken niet meer in staat zijn zich op een natuurlijke manier voort te bewegen.

Hetzelfde principe geldt voor leghennen. Bij vleeskuikens heeft de overheid erkend dat genetische eigenschappen direct verband kunnen houden met dierenleed, en dat regulering van fokdoelen daarvoor het geëigende instrument is. Wakker Dier wil dat de overheid deze lijn consequent doortrekt naar leghennen: een hen die door haar genetische samenstelling gedurende haar hele productieleven een sterk verhoogd risico loopt op breuken die gepaard gaan met pijn en welzijnsschade, kan niet worden beschouwd als het resultaat van dierwaardige fokkerij.

Wakker Dier roept de staatssecretaris op tot de volgende stappen.

**Adresseer fokdoelen in de AMvB.** Bij de verdere uitwerking en parlementaire behandeling van de AMvB Dierwaardige Veehouderij dienen fokdoelen voor leghennen expliciet te worden opgenomen, inclusief een verplichting om borstbeenbreukprevalentie als welzijnsindicator te monitoren.

**Stel een meetverplichting in.** Er bestaat in Nederland geen enkele verplichting voor pluimveehouders om borstbeenbreuken te registreren. Dat maakt structurele monitoring onmogelijk en houdt het probleem onzichtbaar. De staatssecretaris dient een meetverplichting in te stellen voor alle commerciële leghennenkoppels, bij voorkeur via röntgenfoto's in het slachthuis.

**Pleit voor Europese normen.** Borstbeenbreuken zijn geen Nederlands probleem. Ze treffen leghennen in heel Europa. Structurele verbetering vereist Europese actie, zodat fokbedrijven niet kunnen uitwijken naar landen zonder normen. De staatssecretaris dient zich in Brussel actief in te zetten voor bindende Europese normen voor skeletgezondheid bij leghennen, als onderdeel van de lopende herziening van de EU-dierenwelzijnswetgeving.

## 10 Conclusie

Dit rapport beschrijft een welzijns crisis die al twintig jaar duurt, wetenschappelijk grondig is gedocumenteerd en toch nauwelijks zichtbaar is in de praktijk. Niet omdat de feiten onduidelijk zijn, maar omdat niemand verplicht is ze te registreren. Niet omdat de oorzaak onbekend is, maar omdat de partij die hem kan wegnemen dat niet heeft hoeven doen.

Borstbeenbreuken zijn het voorspelbare gevolg van decennialange eenzijdige genetische selectie op vroeg beginnen met eieren leggen en het liefst grote eieren. Het zijn keuzes geweest, gemaakt door een handvol bedrijven met een buitengewone greep op de wereldmarkt. En die keuzes hebben consequenties voor tientallen miljoenen dieren in Nederland.

De breuken ontstaan omdat het borstbeen van de moderne leghen structureel te zwak is voor de taak die haar is opgelegd. Ze begint met leggen voordat haar bot volgroeid is. Ze legt eieren die al vroeg in de legperiode groot zijn, wat de druk op het borstbeen vergroot. En dat doet ze dag na dag, maand in maand uit, terwijl de breuken niet genezen en zich opstapelen en verergeren.

De pluimveehouder die meer investeert in dierenwelzijn, stuit op precies hetzelfde probleem als zijn gangbare collega. De genetica die hem is geleverd, bepaalt de welzijnsuitkomst. Dat maakt zo helder waar de verantwoordelijkheid ligt. Bij Hendrix Genetics en Lohmann Tierzucht.

De instrumenten en middelen om deze genetische zwakte aan te pakken zijn inmiddels beschikbaar. De genetische variatie is aangetoond. Dat fokkerij werkt, is al dertig jaar geleden bewezen. Het enige wat ontbreekt is de keuze om het daadwerkelijk te doen.

Wakker Dier roept Hendrix Genetics op om botgezondheid op te nemen als volwaardig fokdoel, de welzijnsdata te publiceren en een bindende reductiedoelstelling vast te stellen.

Om deze bedrijven voldoende gemotiveerd te krijgen, roepen we de staatssecretaris op om fokdoelen te adresseren in de AMvB, een meetverplichting in te stellen voor alle commerciële leghennenkoppels, en zich in Brussel in te zetten voor Europese normen. Want zolang fokbedrijven kunnen uitwijken naar landen zonder regels, lost nationale actie het probleem niet op.

De overheid heeft bij vleeskuikens laten zien dat ze bereid is actie te ondernemen als fokdoelen aantoonbaar leiden tot dierenleed. Dat precedent bestaat. De AMvB Dierwaardige Veehouderij erkent het probleem al met zoveel woorden. Wat nu nog ontbreekt, is de politieke daad.

De huidige Nederlandse kip draagt de genetica van keuzes die twintig jaar geleden zijn gemaakt. De kip die over tien jaar de Nederlandse eieren legt, draagt de genetica van keuzes die nu worden gemaakt. Elke generatie die wordt overgeslagen, is jaren vertraging. Jaren waarin miljoenen hennen leven met pijn terwijl de oplossing voorhanden was.

# 11 Bronnen

- Abdallah, N., Kursun, K., & Baylan, M. (2025). Keel bone damage in commercial laying hen hybrids. *Veterinary Medicine and Science*, 11(5), e70518.
- Armstrong, E.A., Rufener, C., Toscano, M.J., Eastham, J.E., Guy, J.H., Sandilands, V., Boswell, T., & Smulders, T.V. (2020). Keel bone fractures induce a depressive-like state in laying hens. *Scientific Reports*, 10, 3007.
- , D.M., Toscano, M.J., & Makagon, M.M. (2024). Influence of keel impacts and laying hen behavior on keel bone damage. *Poultry Science*, 103(4), 103423.
- Becker, J., Rodenburg, T.B., Rowe, E., & de Jong, I.C. (2025). Beyond productivity: Investigating keel bone fractures and welfare issues in the British dual-purpose breed Ixworth. *Poultry Science*, 104(3), 104820.
- Candelotto, L., Stratmann, A., Gebhardt-Henrich, S.G., Rufener, C., van de Braak, T., & Toscano, M.J. (2017). Susceptibility to keel bone fractures in laying hens and the role of genetic variation. *Poultry Science*, 96(10), 3517–3528.
- Çavuşoğlu, E., Buijs, S., Toscano, M.J., & Rodenburg, T.B. (2025). Reliability of palpation using three-dimensional keel bone models. *Journal of Applied Poultry Research*, 34(1), 100468.
- Claessens, L.P.A.M. (2009). The skeletal kinematics of lung ventilation in three basal bird taxa (emu, tinamou, and guinea fowl). *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 311A(8), 586–599.
- Codd, J.R., Boggs, D.F., Perry, S.F., & Carrier, D.R. (2005). Activity of three muscles associated with the uncinat processes of the giant Canada goose *Branta canadensis maximus*. *Journal of Experimental Biology*, 208(5), 849–857.
- Duenk, P., Bijma, P., Bastiaansen, J.W.M., Toscano, M.J., & Calus, M.P.L. (2025). Genetic analysis of keel bone fractures in laying hens housed in a quasi-commercial aviary. *Poultry Science*, 104(2), 104716.
- Dunn, I.C. (2025). The Gordon Memorial Lecture: genotype, phenotype, selection and more: improving the skeletal health of laying hens. *British Poultry Science*, 66(1), 1–12.
- Dunn, I.C., Fleming, R.H., McCormack, H.A., Morrice, D., Bain, M., McLean, K., & Whitehead, C.C. (2021). No evidence that selection for egg production persistency causes loss of bone quality in laying hens. *Genetics Selection Evolution*, 53, 35.
- Emmert, J.L., Makagon, M.M., Siegford, J.M., & Pullin, A.N. (2024). Utilizing 3-dimensional models to assess keel bone damage in laying hens throughout the lay cycle. *Poultry Science*, 103(6), 103680.
- Eusemann, B.K., Sharifi, A.R., Patt, A., Reinhard, A.-K., Schrader, L., Thöne-Reineke, C., & Petow, S. (2018). Influence of a sustained release deslorelin acetate implant on reproductive physiology and associated traits in laying hens. *Frontiers in Physiology*, 9, 1846.
- Eusemann, B.K., Patt, A., Schrader, L., Thöne-Reineke, C., & Petow, S. (2020). The role of egg production in the etiology of keel bone damage in laying hens. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 39.
- Fernyhough, M., van de Braak, T., & Nicol, C.J. (2020). The ethics of laying hen genetics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 33(3–4), 309–334.
- Fleming, R.H., McCormack, H.A., McTeir, L., & Whitehead, C.C. (2006). Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. *British Poultry Science*, 47(6), 742–755.
- Gebhardt-Henrich, S.G., & Fröhlich, E.K.F. (2015). Early onset of laying and bumblefoot favor keel bone fractures. *Animals*, 5(4), 1192–1206.
- Gretarsson, P., Toftaker, I., Andersen, B., Petersen, E., Vasdal, G., & Thøfner, I. (2025). Histomorphological characteristics of keel bone maturation and keel bone fractures in laying hens. *Avian Pathology*, 54(4), 411–426.

- Jung, L., Hillemacher, S., Tiemann, I., Lepke, M., & Hinrichs, D. (2024). Presence of keel bone damage in laying hens, pullets and roosters of local chicken breeds. *PLoS ONE*, 19(1), e0297586.
- Maidin, M.S., Sparks, N.H.C., Sandilands, V., Brocklehurst, S., & Thøfner, I. (2024). Association of keel bone morphometry with keel bone damage and skeletal quality in the laying hen. *British Poultry Science*, 65(4), 393–401.
- Montalcini, C.M., Toscano, M.J., Würbel, H., & Baxter, M. (2024). Keel bone fractures affect laying hens' mobility, but no evidence for reciprocal effects. *PLoS ONE*, 19(7), e0306384.
- Nasr, M.A.F., Murrell, J., Wilkins, L.J., & Nicol, C.J. (2012). The effect of keel fractures on egg-production parameters, mobility and behaviour in individual laying hens. *Animal Welfare*, 21(1), 127–135.
- Nasr, M.A.F., Nicol, C.J., & Murrell, J.C. (2012). Do laying hens with keel bone fractures experience pain? *PLoS ONE*, 7(8), e42420.
- Rentsch, A.K., Toscano, M.J., & Stratmann, A. (2024). Rearing laying hens: Early environmental complexity and genetic strain have life-long effects on keel bone size and fractures. *Poultry Science*, 103(4), 103468.
- Riber, A.B., Casey-Trott, T.M., & Herskin, M.S. (2018). The influence of keel bone damage on welfare of laying hens. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 6.
- Rodenburg, T.B., Tuytens, F.A.M., de Reu, K., Herman, L., Zoons, J., & Sonck, B. (2008). Welfare assessment of laying hens in furnished cages and non-cage systems: an on-farm comparison. *Animal Welfare*, 17(4), 363–373.
- Rufener, C., & Makagon, M.M. (2020). Keel bone fractures in laying hens: a systematic review of prevalence across age, housing systems, and strains. *Journal of Animal Science*, 98(Suppl 1), S36–S51.
- Sallam, M., Göransson, L., Larsen, A., Alhamid, W., Johnsson, M., Wall, H., de Koning, D.J., & Gunnarsson, S. (2025). Genetics of digital phenotypes of keel bone in layer chickens and correlations with keel bone fractures and deviations. *Genetics Selection Evolution*, 57, 77.
- Stratmann, A., Fröhlich, E.K.F., Gebhardt-Henrich, S.G., Harlander-Matauschek, A., Würbel, H., & Toscano, M.J. (2016). Genetic selection to increase bone strength affects prevalence of keel bone damage and egg parameters in commercially housed laying hens. *Poultry Science*, 95(5), 975–984.
- Thøfner, I., Hougen, H.P., Villa, C., Lynnerup, N., & Christensen, J.P. (2020). Pathological characterization of keel bone fractures in laying hens does not support external trauma as the underlying cause. *PLoS ONE*, 15(3), e0229735.
- Thøfner, I., Dahl, J., & Christensen, J.P. (2021). Keel bone fractures in Danish laying hens: Prevalence and risk factors. *PLoS ONE*, 16(8), e0256105.
- Uysal, A., Laçin, E., & Uysal, B. (2024). The impact of laying hen hybrids and cage density on keel bone damage. *Philippine Journal of Veterinary Medicine*, 61(1), 23–31.
- Wageningen Environmental Research (WENR) (2025). *Landbouwtelling 2025 / Identificatie en Registratie Dieren (I&R)*. Wageningen University & Research.
- Wei, X., Feng, Y., Ding, S., Nian, H., Yu, H., Zhao, Q., Bao, J., & Zhang, R. (2022). Serum bone remodeling parameters and transcriptome profiling reveal abnormal bone metabolism associated with keel bone fractures in laying hens. *Journal of Animal Science*, 100(4), skac076.
- Wei, H., Bi, Y., Xin, H., Pan, L., Liu, R., Li, X., ... & Bao, J. (2020). Keel fracture changed the behavior and reduced the welfare, production performance, and egg quality in laying hens housed individually in furnished cages. *Poultry Science*, 99(7), 3334–3342.
- Zhang, Y., Nicol, C.J., & Toscano, M.J. (2025). Keel bone fractures are associated with anxiety-like behavioural responses in laying hens housed individually in furnished cages. *Applied Animal Behaviour Science*, 272, 106206.