

## Auftreten von Brustbeinfrakturen und individuelles Verhalten bei Legehennen

### Keel bone fractures and individual behavior in laying hens

SABINE G. GEBHARDT-HENRICH, ERNST K.F. FRÖHLICH

#### Zusammenfassung

Brustbeindeformationen und -frakturen treten bei Legehennen häufig auf. Als mögliche Ursachen gelten Osteoporose durch die Eierproduktion und Verletzungen durch Sitzstangen. In dieser longitudinalen Studie an 160 weißen und braunen Legehennen wurden die Legetätigkeit und der Aufenthalt im Nest von der 19. bis zur 65. Alterswoche registriert und 43 Mal bei der Hälfte der Tiere das Brustbein palpiert. Außerdem wurden die Legehennen regelmäßig gefilmt und Fußgesundheit und Gewicht wurden zweimal aufgenommen. Hennen, die früher ihr erstes Ei legten, hatten mehr Brustbeinfrakturen, als Hennen, die später mit dem Eierlegen begannen. Auch Hennen, die Fußballengeschwüre an beiden Füßen aufwiesen, hatten mehr Frakturen. Alle Hennen mit Fußballengeschwüren an beiden Füßen hatten ein gebrochenes Brustbein. Die Aufenthaltsdauer im Nest verlängerte sich signifikant nach dem Auftreten einer Fraktur. Diese Studie zeigte, dass sowohl die Eilegerate wie auch das Vermögen, sich auf einer Sitzstange zu halten mit dem Auftreten von Frakturen assoziiert waren und die Fraktur zu einer Verhaltensänderung im Nest führte.

#### Summary

Keel bone deformations and fractures are common in laying hens. Osteoporosis because of egg production and injuries due to perches are assumed to be possible causes. In this longitudinal study with 160 white and brown laying hens the rate of egg laying as well as the duration in the nest were registered from the 19<sup>th</sup> to the 65<sup>th</sup> week of age and the keel bone of half of the birds was palpated 43 times. Additionally, hens were regularly filmed and the health of the feet and body mass were recorded twice. Hens that laid their eggs earlier had more keel bone fractures than hens that laid their first egg later. Hens with 2 bumble feet had more fractures than hens without bumble feet. All hens with 2 bumble feet had a fracture of the keel bone. The duration in the nest was significantly longer after the occurrence of a fracture than before the fracture. This study showed that the rate of egg laying as well as the ability to remain on the perch were associated with the incidence of fractures and that the fracture led to behavioral changes in the nest.

# 1 Einleitung

Viele Studien beschäftigten sich mit dem Auftreten von Brustbeindeformationen und -frakturen, die bei Legehennen besonders in alternativen Haltungssystemen (keine Käfighaltung) häufig auftreten können (z.B. KÄPPELI et al. 2011a, SANDILANDS et al. 2009, SCHOLZ et al. 2008). Es werden 2 Hypothesen für die Ursache von Frakturen des Brustbeins diskutiert. Bei Stürzen und Kollisionen mit Sitzstangen und anderen Strukturen im Stall kann das exponierte Brustbein gebrochen werden (siehe Beitrag von A. STRATMANN, WILKINS et al. 2011). Eine andere Ursache wäre Osteoporose bei den auf hohe Legeleistung ausgerichteten Hennen (GRUMBELS 1959 in CRANSBERG et al. 2001). Es gibt eine große Variation in der Prävalenz von Brustbeindeformationen und -frakturen zwischen Herden, die mit den untersuchten Parametern (Hybrid, Herdengröße, Volierentyp, Auslauf) nicht erklärt werden konnte (KÄPPELI et al. 2011a). Daher wurden in dieser longitudinalen Studie Hennen während der gesamten Produktionsphase individuell auf Brustbeindeformationen und -frakturen untersucht. Neben Verhaltensbeobachtungen wurden die Legeleistung und insbesondere das Alter bei Beginn des Legens der Hennen geschätzt.

Man nimmt an, dass Frakturen bei Vögeln ähnlich schmerzhaft wie bei Menschen und anderen Säugetieren sind (GENTLE 2011), und daher ist die Häufigkeit des Auftretens tierschutzrelevant. Soweit wir wissen, haben nur NASR et al. (2012) und RICHARDS et al. (2012) die Auswirkungen von Brustbeinfrakturen auf Produktionsparameter und Verhalten bei einzelnen Legehennen untersucht. Hennen mit einer Fraktur des Brustbeins brauchten mehr Zeit, um auf Stangen zu fliegen und von diesen Stangen auf den Boden zu fliegen. Auch waren sie langsamer am Boden beim Überwinden von Hindernissen (NASR et al. 2012). Hennen mit Brustbeinfrakturen gingen seltener in den Auslauf (RICHARDS et al. 2012). Die Hennen mit und ohne Frakturen unterschieden sich auch in wesentlichen Produktionsparametern. Hennen mit Frakturen legten Eier mit einer leichteren Schale (NASR et al. 2012). Allerdings verglichen die Autoren in ihrer Studie die Hennen mit und ohne Fraktur nachdem die Fraktur aufgetreten war. Daher ist unklar, ob sich die Hennen in den untersuchten Merkmalen auch schon vor dem Auftreten der Fraktur unterschieden oder ob die Unterschiede durch die Frakturen bedingt wurden. Das Alter der Fraktur war in dieser Studie unbekannt. In der vorliegenden Studie wurden weiße und braune Legehybriden ab der 18. Alterswoche bis zum Ausstallen in der 65. Alterswoche regelmäßig palpiert und ihr Verhalten insbesondere beim Eierlegen wurde untersucht. Unsere Hypothesen waren, dass Hennen, die früher mit dem Eierlegen begannen und eine höhere Legeleistung hatten, eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Fraktur hatten als Legehennen, die später mit Legen begannen und eine niedrigere Legeleistung hatten. Weiterhin wollten wir das Verhalten der Hennen möglichst unmittelbar vor und nach der Fraktur vergleichen. Eine Verhaltensänderung würde auf Schmerzen durch das Ereignis der frischen Fraktur hindeuten.

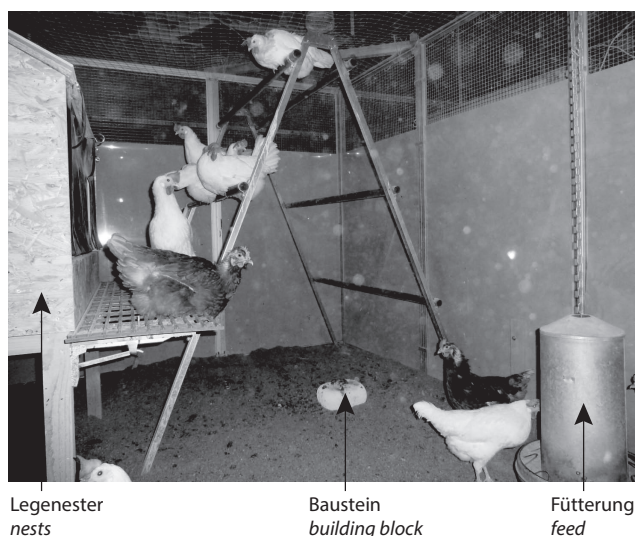
# 2 Methoden

## 2.1 Tiere und Gehege

80 braune und 80 weiße Legehennen (HN) wurden in 8 gemischten Gruppen zu je 20 Individuen in Abteilen mit Metallsitzstangen und 4 elektronisch ausgestatteten Einzelnestern

gehalten (Abb. 1). Zwischen den Abteilen waren Kunststoffplatten als Sichtschutz angebracht. Der Boden war mit Hobelspänen eingestreut, ein Baustein zum Picken sollte Verhaltensstörungen vorbeugen. Die Sitzstangen bestanden aus mit Kunststoff beschichteten Metallrohren (37 mm, Sanathermrohre, Inauen, Appenzell, CH). Die Sitzstangen waren 58 cm, 112 und 168 cm über dem Boden angeordnet. Die horizontale Distanz der unteren Sitzstangen betrug 122, der mittleren Sitzstangen 76 und der oberen Sitzstangen 30 cm. Die Kunststoffplattform vor den Nestern war 70 cm über dem Boden angebracht. Die Einzelnester aus Holz waren 26 cm breit und 30 cm tief mit einem geschlitzten roten Vorhang an der Vorderseite. Der Nestboden bestand aus einer geneigten RFID Antenne (Gantner Pigeon System PLB 765, Schruns, A). Wasser und Legehennenmehl standen ad libitum zur Verfügung. Die Tageslänge wurde von 10 h sukzessive auf 15 h erhöht, die Tiere hatten kein natürliches Tageslicht. Die Hennen waren als Eintagsküken auf den Betrieb gekommen und waren in den Aufzuchtssystemen Landmeco Harmony (Globogal, Lenzburg, CH) und Inauen Natura (Big Dutchman, Appenzell, CH) bis zur 18. Alterswoche (AW) unter üblichen Bedingungen aufgezogen worden. Alle 160 Legehennen wurden bei der Einstellung in die Legeabteile mit RFID Transpondern (4,0/34,0 mm Hitag S 2048 bits, 125 kHz) versehen. Dazu wurden die Transponder in Flügelmarken gelegt und mit Bändern am Bein der Hennen befestigt (Flügelmarken und Bänder der Firma Roxan ([www.roxan.co.uk/index.php?page=news-poultry](http://www.roxan.co.uk/index.php?page=news-poultry), Zugriff am 04.09.2012)). Die Hälfte der Hennen wurden bei der Einstellung zusätzlich mit dem Tiermarkierungsspray Raidex grün, blau oder gelb an Hals oder Schwanz und einer Nummer auf dem Fußband markiert. Die Farbe wurde nach Bedarf aufgefrischt.

Der Versuch wurde vom Veterinäramt des Kantons Bern bewilligt.



Legenester  
nests

Baustein  
building block

Fütterung  
feed

Abb. 1: Abteil für 20 Legehennen, Tränke nicht sichtbar

Fig. 1: Pen for 20 laying hens, nipple drinkers not visible

## 2.2 Datenaufnahme

Jeden Tag mind. 12 Stunden nach Lichtbeginn wurden alle Eier in den einzelnen Nestern und auf dem Boden gezählt. Die Aufenthaltsdauer im Nest und die Eiablage wurden von der 19. bis zur 64. Alterswoche der Hennen mit dem Gantner Pigeon System individuell registriert. Eine hinter dem Nest angebrachte Lichtschranke registrierte die Zeit, wenn ein Ei abrollte. Die zusätzlich mit Farben markierten Tiere wurden während des Aufenthalts im Legehennenstall 43 Mal auf Deformationen und Frakturen palpiert. Alle Palpationen wurden von derselben Person durchgeführt. Während der Dunkelphase wurden die Hennen in eine Hand genommen und mit 2 Fingern wurde das Brustbein der Länge nach auf Veränderungen wie S-förmige Verformung, Beulen oder Eindellungen abgetastet. Dabei wurde die gleiche Skala wie bei SCHOLZ et al. (2008) und KÄPPELI et al. (2011c) benutzt: 4 für ein normales Brustbein, 3 für geringfügige Deformationen, 2 für deutliche Deformationen und 1 für schwere Deformationen, bei denen die Eindellung oder die Distanz der Knochen-teile mind. 1,5 cm betrug. Palpationen wurden mit denen von S. Käppeli kalibriert. Nach 6 Monaten im Legehennenstall wurden die markierten Hennen gewogen und es wurde notiert, ob sie an einem Fuß oder beiden Füßen Fußballengeschwüre aufwiesen. Kurz vor der Ausstellung in der 65. AW wurden bei allen Hennen Brustbeindeformationen, Fußballengeschwüre und Gewicht aufgezeichnet. Die Fußballengeschwüre entsprachen Grad 1 von TAUSON et al. ([www.animalia.no/upload/Filer/%20til%20nedlasting/Fj%C3%B8rfe/Dyrevelferd/Scoringssystem.pdf](http://www.animalia.no/upload/Filer/%20til%20nedlasting/Fj%C3%B8rfe/Dyrevelferd/Scoringssystem.pdf), Zugriff am 04.09.2012). Monatlich wurde das Verhalten in den Abteilen während 3 Tagen hintereinander während der Lichtperiode auf Video aufgezeichnet.

## 2.3 Datenauswertung

Die Daten wurden vor der Auswertung auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk Test und auf Homogenität der Varianzen getestet.

Der Aufenthalt im Legehennenstall ab AW 19 wurde in 11,5 Legeperioden (LP) à 28 Tage eingeteilt. Die Anzahl gelegter Eier wurde mittels der Nestregistrierungen geschätzt. Dazu wurden in der LP 1 nur Nestaufenthalte gezählt, die länger als 20 min. dauerten und bei denen die Henne vor 7 Uhr (3,5 h nach Lichtbeginn) das Nest betrat. Während LP 2 funktionierten die Nestregistrierungen aus technischen Gründen nicht. Ab LP 3 wurden Nestaufenthalte gezählt, bei denen die Henne vor 6 Uhr (5 h nach Lichtbeginn) das Nest betrat. Da in Abteil 1 viele Eier verlegt wurden, wurde dieses Abteil für die Anzahl Eier nicht ausgewertet. Ab der dritten Legeperiode wurden die Eier innerhalb der ersten 5 Stunden nach Lichtbeginn gelegt. Daher wurden die Nestaufenthalte in die Zeitkategorie 1 (Eintritt ins Nest vor 6 Uhr) und Zeitkategorie 2 (Eintritt ins Nest nach 6 Uhr) eingeteilt.

Die Auswertungen erfolgten mittels gemischten Varianzanalysen und Fisher's Exakten Tests. Bei den Varianzanalysen wurde die Henne geschachtelt im Abteil als die Subjektvariable genommen. Die Farbe des Hybrids und der Zeitpunkt vor und nach dem Auftreten der Fraktur waren fixe Faktoren, das Abteil wurde als zufälliger Faktor behandelt. Die Aufenthaltsdauer im Nest wurde log-transformiert.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Brustbeindeformationen

Wie erwartet nahm die Anzahl Hennen mit Brustbeindeformationen und -frakturen während der Legephase zu und immer weniger Hennen wiesen ein normales Brustbein auf (Abb. 2). Am Ende der Legephase im Alter von 65 Wochen hatten von insgesamt 143 Legehennen 28 % Grad 4, 10,5 % Grad 3, 46,9 % Grad 2 und 14,7 % Grad 1. Die weißen und braunen Hybriden unterschieden sich nicht ( $\chi^2_3 = 1,62$ , NS,  $N = 143$ ) und auch die Gewichte am Ende der Legephase waren nicht mit dem Deformationsgrad korreliert.

Die Anzahl der geschätzten Eier und der gezählten Eier in den Nestern unterschieden sich nicht signifikant (z.B. LP 1:  $t = 1,74$ ,  $P = 0,13$ ,  $N = 8$ , LP 4:  $t = 1,3$ ,  $P = 0,24$ ,  $N = 8$ ). Legehennen mit einem späteren Legebeginn hatten zum Schluss ein besseres Brustbein ( $\chi^2_1 = 4,06$ ,  $P = 0,04$ ,  $N = 121$ ). Es gab keinen Zusammenhang mit der Anzahl gelegter Eier und dem Zustand des Brustbeins ( $\chi^2_1 = 0,14$ ,  $P = 0,7$ ,  $N = 87$ ).

In der Mitte der Legephase wiesen 10 Hennen an einem Fuß und 6 Hennen an beiden Füßen Fußballengeschwüre auf. Zu diesem Zeitpunkt hatten Hennen mit Fußballengeschwüren einen signifikant tieferen Brustbeingrad. Alle Hennen mit Fußballengeschwüren an beiden Füßen wiesen Grad 2 auf (Tab. 1).

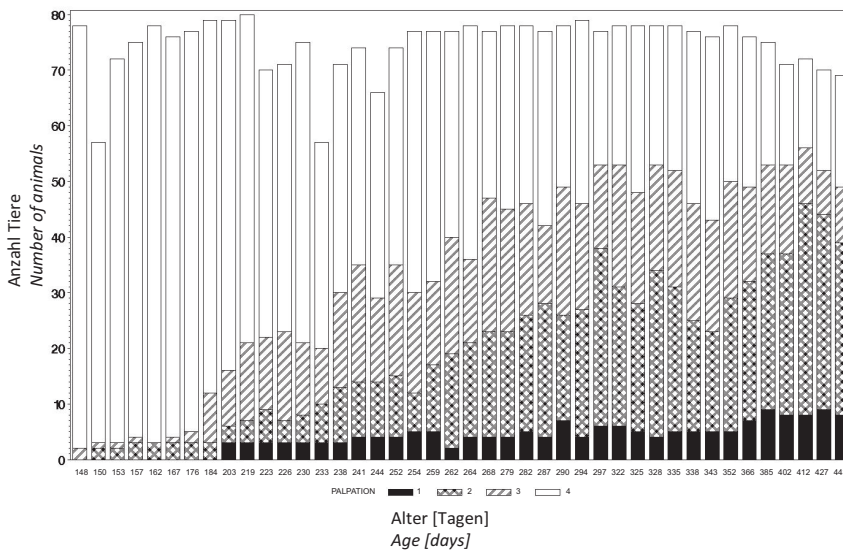


Abb. 2: Anzahl Tiere der 80 farbmarkierten Hennen mit Brustbeindeformationen (Skala im Text erklärt); Grad 4 ist ein normales Brustbein

Fig. 2: Number of animals of the 80 color marked hens with keel bone deformations (scale is described in the text); Grade 4 denotes a normal keel bone

Tab. 1: Fußballengeschwüre waren mit gebrochenen Brustbeinen assoziiert

Tab. 1: Bumble feet were associated with fractured keel bones

	Brustbein/Keel bone			
	Grad 1 Score 1	Grad 2 Score 2	Grad 3 Score 3	Grad 4 Score 4
Keine Fußballengeschwüre No bumble foot	2	23	18	21
Fußballengeschwür an einem Fuß One bumble foot	2	2	1	5
Fußballengeschwüre an beiden Füßen Two bumble feet	0	6	0	0
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>31</b>	<b>19</b>	<b>26</b>

 $\chi^2_6 = 17,73$ , Exakter Test von Fisher:  $P = 0,01$ ,  $N = 80$ 

### 3.2 Aufenthalt im Nest

Hennen, die bei einer Palpation erstmals Grad 1 oder 2 aufwiesen und vorher Grad 3 oder 4 hatten, hielten sich an den 10 Tagen vorher kürzer im Nest auf, als nachher. Dies galt sowohl für die ersten 5 Stunden nach Lichtbeginn ( $F_{1,633} = 6,73$ ,  $P = 0,01$ ,  $N = 41$  Hennen), als auch für spätere Zeiten ( $F_{1,53} = 5,29$ ,  $P = 0,026$ ,  $N = 18$ ) (Abb. 3). Weiße Hennen hielten sich während den ersten 5 Stunden nach Lichtbeginn länger im Nest auf als braune Hennen ( $F_{1,633} = 6,31$ ,  $P = 0,01$ ,  $N = 41$ ). Dieser Unterschied war nach den ersten 5 Stunden nicht signifikant, dafür war die Interaktion zwischen Farbe und Zeitpunkt vor und nach Grad 2/1 signifikant ( $F_{1,53} = 4,24$ ,  $P = 0,04$ ,  $N = 18$ ). Zur Kontrolle wurde die gleiche Analyse mit den Daten durchgeführt, wenn der Zeitpunkt vorher/nachher für alle Tiere konstant gehalten wurde. Als Zeitpunkt wurde der letzte Tag der 4. Legeperiode gewählt, eine Zeit, zu der viele Frakturen auftreten. Bei einer willkürlichen Festsetzung eines Stichtags gab es keinen signifikanten Unterschied in der Dauer im Nest während 10 Tagen vor oder nach dem Stichtag, aber die Farben der Hybride unterschieden sich (erste 5 Stunden nach Lichtbeginn: vorher/nachher:  $F_{1,1843} = 0$ ,  $P = 0,95$ ,  $N = 129$ , Farben:  $F_{1,1843} = 59,96$ ,  $P < 0,0001$ ,  $N = 129$ ; später: vorher/nachher:  $F_{1,138} = 0,21$ , NS,  $N = 42$ , Farben:  $F_{1,138} = 1,17$ , NS,  $N = 42$ ).

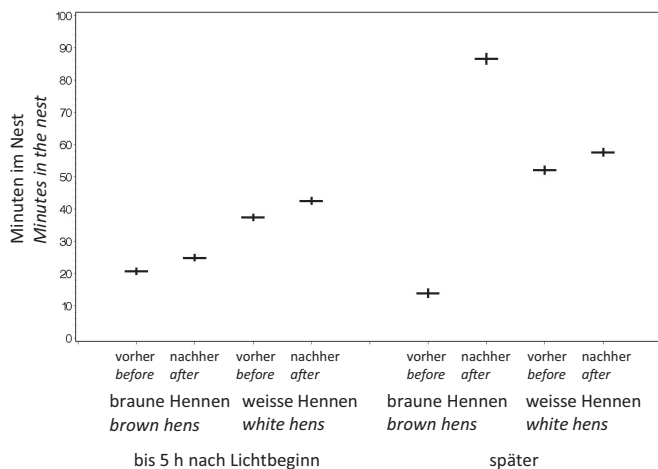


Abb. 3: Die Hennen hielten sich 10 Tage nach der Fraktur des Brustbeins signifikant länger im Nest auf als an den 10 Tagen vor der Fraktur (rücktransformierte kleinste Quadrate-Mittelwerte) Durchschnittswerte (waagerechter Balken) und Standardfehler (senkrechter Balken) werden gezeigt

Fig. 3: Hens were longer in the nest during the 10 days after the fracture of the keel bone than during the 10 days before the fracture (back transformed least square means); Means (horizontal bars) and standard errors (vertical bars) are given

#### 4 Diskussion und Schlussfolgerung

In der Studie von SCHOLZ et al. 2008 zeigten histologische Untersuchungen von palperten Brustbeinen, dass nahezu alle Hennen mit Grad 1 und 2 Kallusmaterial aufwiesen, das eine Fraktur des Knochens anzeigt. Einige Hennen mit Grad 3 hatten auch Kallusmaterial. Daher kann man davon ausgehen, dass sich in unserer Studie mindestens 61,6 % der Legehennen das Brustbein gebrochen hatten. Abbildung 7 in WILKINS et al. (2011) zeigt, dass bei ca. 60 % der Legehennen Frakturen des Brustbeins erwartet werden, wenn wie hier die oberen Sitzstangen ca. 170 cm über der Einstreu sind. Daher entsprechen die Ergebnisse unserer Studie der Erwartung. Die verwendeten Metallsitzstangen führten in einer anderen Studie zu signifikant mehr Brustbeindeformationen als Kunststoffsitzen (KÄPPELI et al. 2011c). Wie in der Studie von KÄPPELI et al. (2011a) unterschieden sich die weißen und braunen Legehennen nicht in der Häufigkeit von Deformationen und Frakturen.

Unsere Studie unterstützt beide Hypothesen zu Ursachen von Brustbeinfrakturen bei Legehennen. Zum ersten Mal konnte gezeigt werden, dass Hennen mit früherem Legebeginn eine größere Wahrscheinlichkeit hatten, sich das Brustbein zu brechen als Hennen mit späterem Legebeginn. Mit Legebeginn ändert sich der Kalziumhaushalt der Hennen grundlegend und es zirkuliert viel mehr gelöstes Kalzium im Serum (KÄPPELI et al. 2011b). Auch der Kalziumgehalt im Femur und das Volumen vom medullären Knochen des Metatarsus erhöht sich zu dieser Zeit, beides verringert sich aber zwischen der 31. und 42. AW während die Legerate am höchsten ist (CRANSBERG et al. 2001). Zu dieser Zeit ereigneten sich die meisten Frakturen. Der Prozess des Knochenabbaus wird für die Brustbeindeformationen



verantwortlich gemacht (FLEMING et al. 2004). Hennen, die früher mit Eierlegen beginnen, könnten eher und evtl. im größeren Ausmaß den Zustand des Kalziumverlusts im Knochen erreichen. Das könnte zu einer größeren Häufigkeit von Frakturen und Deformationen des Brustbeins führen. Auch RENNIE et al. (1997) fanden, dass Osteoporose stärker in Linien mit höherer Eierproduktion war. In unserer Studie wurde allerdings kein Zusammenhang mit der späteren Legeleistung und der Gesamtanzahl der gelegten Eier und Brustbeindeformationen und -frakturen gefunden. Das könnte daran liegen, dass die Daten für die Anzahl Eier nicht genau genug erfasst werden konnte, da der Anteil verlegter Eier relativ hoch war (generell ca. 4 %, in Abteil 1 über 30 %). Obwohl die Anzahl Nester den gesetzlichen Mindestanforderungen entsprach, kam es zur Legezeit zu Gerangel vor den Nestern (eigene Beobachtungen). Verlegte Eier konnten nicht den Hennen zugeordnet werden. Der Zusammenhang zwischen den Fußballengeschwüren und den Frakturen deutet aber auch auf Abstürze von Sitzstangen als (Mit-)Ursache für die Brustbeinverletzungen hin. Hennen mit Fußballengeschwüren konnten sich schlechter auf den Stangen halten und rutschten leichter ab. Nach dem Palpieren dauerte es länger, bis die Hennen sich wieder auf den Sitzstangen halten konnten (eigene Beobachtungen). Daher ist es möglich, dass Hennen mit Fußballengeschwüren an beiden Füßen öfter von den Stangen fielen, als Hennen ohne Fußballengeschwüre und deshalb eine größere Wahrscheinlichkeit hatten, sich das Brustbein zu brechen. Alle Hennen mit Fußballengeschwüren an beiden Füßen wiesen Frakturen auf. Bei diesen Tieren waren offensichtlich Abstürze und Frakturen unausweichlich. Es ist aber auch denkbar, dass sich diese Tiere beim Sitzen auf der Stange stärker auf das Brustbein abstützten und daher mehr Frakturen erlitten (PICKEL et al. 2011). Die Videoaufnahmen vor und nach den Frakturen sollten Abstürze zeigen. Allerdings konnte auch bei Hennen, die am Vorabend bei der Palpation keine Fraktur aufwiesen und am letzten Abend der 3-tägigen Videoaufnahme und bei allen folgenden Palpationen Grad 2 hatten, kein Absturz beobachtet werden. Während der Dunkelheit wurde nicht gefilmt, aber die Hennen konnten beim Dunkelwerden auf der gleichen Stelle auf der Sitzstange wie beim Lichtwerden am nächsten Tag beobachtet werden (eigene Beobachtungen). Vielleicht können Frakturen verzögert nach Abstürzen auftreten oder Flüge z.B. von der dritten Sitzstange auf den Boden können zu Frakturen führen.

Es wurden kaum Änderungen im Verhalten nach einer Fraktur beobachtet. Nahezu alle Hennen schliefen jede Nacht auf den Sitzstangen. Detailliertere Analysen zeigten allerdings, dass sich die Aufenthaltsdauer im Nest bei Hennen, die eine Fraktur erlitten hatten, signifikant veränderte. Die Ursache dafür ist unbekannt, aber eine andere Studie deutet darauf hin, dass Hennen durch die Brustbeinfrakturen Schmerzen empfinden (NASR 2012). Die veränderte Aufenthaltsdauer im Nest könnte aber auch durch eine veränderte Qualität des Eies hervorgerufen worden sein (NASR et al. 2012).

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse dieser Studie an, dass das Problem der Brustbeindeformationen bei Legehennen multifaktoriell ist und dass der Beginn des Eierlegens und die Anwesenheit von Fußballengeschwüren mit dem Auftreten assoziiert waren. Hennen änderten ihre Aufenthaltsdauer im Nest nach dem Auftreten einer Fraktur, was darauf hindeutet, dass sie die Fraktur wahrnahmen.



## 5 Literatur

- Cransberg, P.H.; Parkinson, G.B.; Wilson, S.; Thorp, B.H. (2001): Sequential studies of skeletal calcium reserves and structural bone volume in a commercial layer flock. *British Poultry Science* 42, S. 260–265
- Gentle, M.J. (2011): Pain issues in poultry. *Applied Animal Behaviour Science* 135, S. 252–258
- Fleming, R.H.; McCormack, H.A.; McTeir, L.; Whitehead, C.C. (2004): Incidence, pathology and prevention of keel bone deformities in the laying hen. *British Poultry Science* 45, S. 320–330
- Käppeli, S.; Gebhardt-Henrich, S.G.; Fröhlich, E.; Pfulg, A.; Stoffel, M.H. (2011a): Prevalence of keel bone deformities in Swiss laying hens. *British Poultry Science* 52, S. 531–536
- Käppeli, S.; Fröhlich, E.; Gebhardt-Henrich, S.G.; Pfulg, A.; Schäublin, H.; Zweifel, R.; Wiedmer, H.; Stoffel, M.H. (2011b): Effects of dietary supplementation with synthetic vitamin D3 and 25-hydroxycholecalciferol on blood calcium and phosphate levels and performance in laying hens. *Archiv für Geflügelkunde* 75, S. 179–184
- Käppeli, S.; Gebhardt-Henrich, S.G.; Fröhlich, E.; Pfulg, A.; Schäublin, H.; Stoffel, M.H. (2011c): Effects of housing, perches, genetics, and 25-hydroxycholecalciferol on keel bone deformities in laying hens. *Poultry Science* 90, S. 1637–1644
- Nasr, M. (2012): The effect of two classes of NSAIDs on the landing ability of laying hens with and without keel fractures. 46th Congress of the International Society for Applied Ethology. Vienna. Wageningen Academic Publishers, 53
- Nasr, M.; 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, S. 127–135
- Pickel, T.; Schrader, L.; Scholz, B. (2011): Pressure load on keel bone and foot pads in perching laying hens in relation to perch design. *Poultry Science* 90, S. 715–724
- Rennie, J.S.; Fleming, R.H.; McCormack, H.A.; McCorquodale, C.C.; Whitehead, C. C. (1997): Studies on effects of nutritional factors on bone structure and osteoporosis in laying hens. *British Poultry Science* 38, S. 417–424
- Richards, G.J.; Wilkins, L.J.; Knowles, T.G.; Booth, F.; Toscano, M.J.; Nicol, C.J.; Brown, S.N. (2012): Pop hole use by hens with different keel fracture status monitored throughout the laying period. *Veterinary Record* 170, S. 494–498
- Sandilands, V.; Moinard, C.; Sparks, N.H.C. (2009): Providing laying hens with perches: fulfilling behavioural needs but causing injury? *British Poultry Science* 50, S. 395–406
- Scholz, B.; Rönchen, S.; Harmann, H.; Hewicker-Trautwein, M.; Distl, O. (2008): Keel bone condition in laying hens: a histological evaluation of macroscopically assessed keel bones. *Berliner Münchner Tierärztliche Wochenschrift* 121, S. 89–94
- Wilkins, L.J.; McKinstry, J.L.; Avery, N.C.; Knowles, T.G.; Brown, S.N.; Tarlton, J.; Nicol, C.J. (2011): Influence of housing system and design on bone strength and keel bone fractures in laying hens. *Veterinary Record* 169, S. 414

## Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern des Aviforums für die Betreuung der Legehennen und das Einsammeln und Protokollieren der Eier.