

## Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Ernährung im Zusammenhang mit Knochenstärke bei Legehennen

Prof. C. C. Whitehead (Roslin, Schottland)

### Einleitung

Osteoporose bei Legehennen wird definiert als ein Abbau der vollständig mineralisierten Knochenmasse, wodurch die Knochen schwächer werden und leichter brechen. Ein Befund mit dem für Osteoporose typischen Verlust an Knochensubstanz wurde erstmals bei Legehennen in Batteriehaltung beobachtet und von COUCH (1955) als "Käfigmüdigkeit" bezeichnet, mit den Symptomen Knochenbrüchigkeit, Paralyse und Tod. In jüngerer Zeit haben RANDALL und DUFF (1988) Osteoporose als Hauptursache für Knochenabbau und nachfolgende Knochenbrüche bei Legehennen bestätigt. Die Folgen von Osteoporose für das Skelett von Legehennen können schlimm sein. Käfigmüdigkeit ist offenbar eine extreme Folge des Verlustes an strukturierter Knochenmasse in den Wirbeln, wobei das Rückgrat kollabiert und dies zur Lähme führt (URIST und DEUTSCH, 1960; BELL und SILLER, 1962). Selten ist Osteoporose so stark ausgeprägt, dass sie als Käfigmüdigkeit wahrgenommen wird, aber der übliche Verlust an strukturierter Knochenmasse kann zu einer erheblichen Frequenz von Knochenbrüchen im gesamten Skelett führen.

GREGORY und WILKINS (1989) berichteten über Ergebnisse einer Erhebung an Schlachthennen aus Batteriehaltung in Großbritannien, wonach 29 % der Hennen im Laufe ihres Lebens einen oder mehrere Knochen gebrochen hatten. Die Frakturen waren während der Produktionsperiode in den Käfigen, beim Ausstallen, während des Transports zur Schlachtereier oder beim Aufhängen an die Schlachtbänder aufgetreten. Erstaunlicherweise hatten 98 % der Schlachtkörper am Ende des Schlachtbandes einen oder mehrere gebrochene Knochen. Eine spätere Erhebung in verschiedenen europäischen Ländern bestätigte diese Ergebnisse: durchschnittlich 10 % der Hennen erlitten Knochenbrüche während ihrer Haltung in Legebatterien, weitere 17 % bei der Ausstallung bzw. während des Transports zur Schlachtereier (GREGORY u. a., 1994). Die hohe Frequenz von Knochenbrüchen zeigt, dass Osteoporose ein ernstes Problem für den Tierschutz bei Legehennen darstellt. Minderleistungen und erhöhte Verlustraten sind die Folge von Käfigmüdigkeit. Zu diesen Verlusten für den Legehennenhalter kommt hinzu, dass die fleischverarbeitende Industrie keine Schlachthennen abnehmen will, um Reklamationen wegen Knochensplittern in Geflügelfleischprodukten zu vermeiden (BROWN, 1993).

Einige Charakteristika der Osteoporose bei Legehennen sind in der Veröffentlichung von WHITEHEAD und WILSON (1992) beschrieben. Osteoporotische Hennen zeigen einen weitgehenden Verlust an strukturierter Knochenmasse im gesamten Skelett. Dieser Abbau beginnt bereits bei Erreichen der Geschlechtsreife und setzt sich während der Legeperiode fort (WILSON u. a., 1992), so dass Osteoporose am Ende der Legeperiode am schlimmsten ist. Diese Beobachtungen stimmen mit der Theorie überein, dass die mit Eintritt der Geschlechtsreife steigende Östrogenausschüttung zu einer Änderung von struktureller zu medullärer Knochenbildung und die anhaltende Resorption von struktureller Knochenmasse zu Osteoporose führt. Markknochen verleihen dem Skelett zwar auch eine gewisse Festigkeit (FLEMING u. a., 1998a), sind aber nicht so stark wie strukturelle Knochen. Hinweise auf abnehmende Bildung strukturellen Knochengewebes bei legenden Hennen

haben HUDSON u. a. (1993) mit der Beobachtung geliefert, dass markiertes Fluorchrom nicht in die Knochenkortex eingelagert wurde. Diese Ergebnisse werden durch unveröffentlichte Beobachtungen von Fleming gestützt, wonach eine Unterbrechung der Legetätigkeit durch induzierte Mauter zu einem schnellen Abbau von Markknochen und einer Wiederaufnahme der Bildung struktureller Knochenmasse führt.

Der Abbau von Knochensubstanz mit zunehmendem Alter verläuft bei verschiedenen Knochen unterschiedlich (FLEMING u. a., 1998b). Auffällige Veränderungen traten innerhalb der ersten zehn Wochen nach Legebeginn auf. Ein deutlicher Verlust an spongiösem Knochengewebe an dem proximalen Ende des Tarsometatarsus (PTM) und der freien Brustwirbel deutete darauf hin, dass sich bei diesen Knochen Osteoporose größtenteils bereits innerhalb weniger Wochen nach Legebeginn entwickelt. Während dieser Phase wurde im PTM auch rasch medullärer Knochen gebildet, aber bislang ist unklar, ob der Verlust an spongiöser Knochensubstanz in direktem Zusammenhang mit der Bildung von Knochenmark steht. Nach 25 Wochen war der weitere Verlust an spongiösem Knochenmaterial bei den freien Brustwirbeln verringert, während der Abbau spongiöser Knochensubstanz und Aufbau von Knochenmark beim PTM langsam weitergingen. Histomorphometrische Messungen zeigten jedoch, dass die Gesamtknochenmasse stetig zunahm, so dass das Knochenvolumen des PTM im Alter von 70 Wochen am größten sein kann.

Über die Ursachen der Osteoporose ist wenig bekannt. Es wird vermutet, dass das Problem zum Teil genetisch bedingt ist, als Ergebnis gezielter Selektion auf niedriges Körpergewicht, gute Energieverwertung und persistente Legeleistung (WHITEHEAD und WILSON, 1992). Die modernen Legehybriden sind offenbar mehr oder weniger anfällig gegen Osteoporose, während weniger leistungsfähige ältere Linien, wie die Roslin J rebhuhnfarbigen Italiener, relativ resistent zu sein scheinen (RENNIE u. a., 1997). Aber auch in anfälligen Linien gibt es eine erhebliche individuelle Variation, und einzelne Hennen können bis zum Ende der Legeperiode gute Knochenstabilität behalten. Mangelnde Bewegungsmöglichkeit in engen Batteriekäfigen trägt zweifellos zu der Problematik bei.

Im folgenden werden drei mögliche Ansätze zur Verringerung der Osteoporose-Problematik behandelt: richtige Ernährung, verbesserte Haltungstechnik und Resistenzzüchtung.

### Ernährung

Bei der Entwicklung von Bedarfsnormen für Legehennen war die Zielgröße bisher in aller Regel effiziente Produktion von Eiern mit guter Schalenqualität, an die Knochenstabilität wurde kaum gedacht. Grober Mangel an Calcium, Phosphor oder Vitamin D wirkt sich negativ auf die Knochenqualität aus und kann zu Osteomalazie führen (WILSON und DUFF, 1991), aber das dürfte bei normaler Futterqualität selten vorkommen. Es wird angenommen, dass eine hohe Legeleistung die Calciumreserven der Hennen überbeansprucht und dadurch Osteoporose begünstigt. Fütterungsversuche

mit der Thematik Knochenstabilität haben sich deshalb mit zwei Fragen beschäftigt: (a) ob Osteoporose durch bessere Calciumversorgung verringert werden kann und (b) ob es andere Ernährungsfaktoren gibt, die einen Einfluss auf die Knochenqualität haben.

In einer kürzlich veröffentlichten Studie (RENNIE u. a., 1997) wurde der Einfluß folgender Futterkomponenten während der Legeperiode auf die Knochenqualität untersucht: Kalziumquelle, Phosphor, Protein, Fett, Fluoride sowie Vitamine K, C und D-Metaboliten. Keiner dieser Faktoren hatte im Bereich der untersuchten Konzentrationen einen positiven Effekt auf den Anteil spongiöses Knochengewebes in Wirbeler oder Beinknochen (PTM), aber Rationen mit grober Struktur des Calciums (Austernschalen) oder Supplementierung mit Fluorid erhöhten den Anteil an Knochenmark. In grober Struktur verabreicht wird Calcium über einen längeren Zeitraum absorbiert, bis in die kritische Zeit der Nacht, wenn es am dringendsten für die Schalenbildung gebraucht wird, und hat nachweislich einen positiven Einfluss auf die Schalenqualität. Wenn die Verabreichung von grob strukturiertem Calcium die Bildung von medullärer Knochenmasse fördert ohne gleichzeitig den Abbau von strukturierter Knochenmasse zu beschleunigen, dann kann Unterversorgung mit Calcium nicht die primäre Ursache von Osteoporose sein. Fluorid stimuliert bekanntlich die Knochenbildung in anderen Spezies, aber bei Legehennen beschränkt sich die gesteigerte Synthese offenbar auf medulläre Knochenmasse.

Wie oben angeführt mag ein erhöhter Anteil an medullärer Knochenmasse sich positiv auf die Knochenstabilität auswirken. Der praktische Nutzwert grobkörniger Calciumquellen wurde in einer Untersuchung von FLEMING u. a. (1998b) bestätigt. Wie in Tabelle 1 gezeigt wird, bewirkte grobkörniger Kalkstein einen langsameren Abbau spongiöser Knochenmasse zu Beginn der Legeperiode und verbesserte Knochenstärke bei Althennen. Richtige Ernährung während der Aufzucht ist ebenfalls wichtig für eine optimale Knochenbildung vor Legebeginn. Höhere Dosierung von Vitamin K während der Aufzucht fördert die Synthese von Osteocalcin, einem an der Knochenbildung beteiligten Protein, und hat somit möglicherweise einen positiven Einfluss auf die Knochenqualität (FLEMING u. a., 1998b).

**Tabelle 1: Einfluss der Struktur des Futterkalks in Legehennenalleinmehl auf die Knochenqualität bei Hennen am Ende der Legeperiode**

Merkmal	Kalkstein	
	gemahlen	grobkörnig
Proximaler Tarsometatarsus		
Gesamtknochen (%)	23,4	28,6
Spongiöser Knochen (%)	6,6	7,3
Medullärer Knochen (%)	16,8	21,4
Tibia		
Radiographische Dichte (mm Al)	1,96	2,26
Bruchfestigkeit (N)	191,3	231,5
Humerus		
Radiographische Dichte (mm Al)	0,73	0,78
Bruchfestigkeit (N)	115,8	118,7
Brustbein		
Radiographische Dichte (mm Al)	0,61	0,68

(FLEMING u. a., 1998b)

Diese Beobachtungen unterstützen die Hypothese, dass Osteoporose bei Legehennen weniger durch Defizite in der Nährstoffversorgung als vielmehr durch zelluläre Prozesse entsteht und dass während der Legeperiode laufend osteoklastische Resorption erfolgt, aber wenig strukturelle Knochenmasse gebildet wird. Das Gleichgewicht zellulärer Aktivität kann durch Verfütterung von Biphosphonat gestört werden, einer Substanz, die in der Humanmedizin zur Bekämpfung postklimakterischer Osteoporose eingesetzt wird. Dabei wird die Wirkung von Osteoklasten gehemmt, bei Legehennen wird der Abbau spongiöser Knochenmasse verlangsamt (THORP u. a., 1993). Der Einsatz von Biphosphonat dürfte aber kaum als Lösung für Osteoporoseprobleme bei Legehennen in Betracht kommen.

### Bewegung und Haltungssystem

Die Stimulierung der Knochenbildung und dessen Umstrukturierung durch Beanspruchung und biomechanische Kräfte ist eine bekannte Tatsache (LANYON, 1992). Erzwungene Inaktivität hatte eine Beschleunigung der Osteoporose bei Vögeln zur Folge (NIGHTINGALE u. a., 1972), und der relative Bewegungsmangel von Legehennen verstärkt die Problematik in Batteriehaltung. Über Bewegung und unterschiedliche Haltungssysteme als mögliche Ansätze zur Verringerung von Osteoporose hat es mehrere Untersuchungen gegeben.

Bewegung zur Stimulierung des Knochenwachstums während der Aufzucht ist untersucht worden, aber weder Bodenhaltung noch zusätzliche Bewegung mittels eines Karussells brachten eine Verbesserung der Knochenqualität bei Legebeginn im Vergleich zur Kontrollgruppe in Aufzuchtkäfigen (WHITEHEAD und WILSON, 1992).

Beim Einfluss auf die Veränderung der Knochenqualität während der Legeperiode kommt es offenbar auf die Art der Bewegung an. Bodenhaltung brachte keine nennenswerte Stärkung der Rückenknöchel (WILSON u. a., 1993). Die Möglichkeit mehr zu laufen reicht demnach nicht aus, um das gesamte Knochengestänge zu stärken, aber ein positiver Einfluss auf die unmittelbar betroffenen Beinknochen ist nicht auszuschließen. Sitzstangen in Käfigen ergaben eine geringfügige Verbesserung der PTM Rückenknöchel, aber keinen Einfluss auf die Stärke der Tibia (HUGHES u. a., 1993). Um die Knochen wirklich zu stärken, ist mehr Bewegung erforderlich als normales Laufen in Bodenhaltung oder Hüpfen auf niedrige Sitzstangen. Dies geht aus in einer Untersuchung von KNOWLES und BROOM (1990) hervor, die eine deutliche Stärkung der Tibia- und Humerusknochen in Terrassen- bzw. Volierenhaltung gegenüber Käfigen feststellen konnten. Die Stärkung der Humerusknochen war besonders deutlich in der Volierenhaltung, die den Hennen das Fliegen ermöglichte.

Diese Erkenntnisse wurden in einer umfangreicheren Untersuchung von FLEMING u. a. (1994) bestätigt, wobei drei verschiedene Varianten von Voliersystemen mit Batteriehaltung verglichen wurden. Wie in Tabelle 2 gezeigt wird, waren die verschiedensten Kriterien der Knochenqualität bei den Hennen in Alternativhaltung besser als in Batteriehaltung, vor allem die Humerusstärke. Die Stärkung dieses Knochens war deutlicher in der Volierenhaltung mit in mehreren Ebenen hoch angebrachten Sitzstangen als in der Bodenhaltung mit Kotkasten und niedrig angebrachten Sitzstangen. Somit war die Möglichkeit zu fliegen ein wichtiger Faktor für die Stärkung des Humerus. Diese Ergebnisse bei Legehennen stimmen mit Beobachtungen bei anderen Arten überein, wonach biomechanische

Einflüsse auf bestimmte Knochen von der Intensität der Beanspruchung abhängen.

**Tabelle 2: Knochenmerkmale bei Hennen am Ende der Legeperiode in Abhängigkeit vom Haltungssystem**

Merkmal	Haltungssystem		
	Käfig	Boden mit Kotkasten	Voliere
Tibia			
Bruchfestigkeit (N)	213,9	252,1	280,6
Radiographische Dichte (mm Al)	2,95	3,48	3,33
Humerus			
Bruchfestigkeit (N)	128,5	221,7	249,2
Kortex Durchmesser (mm)	0,51	0,67	0,72
Radiographische Dichte (mm Al)	0,75	1,11	1,25
Spongiöse Knochenmasse (%) Freie Brustwirbel	11,3	13,6	16,6
Spongiöse Knochenmasse (%) Prox. tarsometatarsus	14,2	16,7	16,8

(FLEMING u. a., 1994)

Mehrere Untersuchungen haben sich mit Tierschutzaspekten verbesserter Knochenstabilität in Alternativhaltung beschäftigt. Schlachthennen aus Boden- und Freilandhaltung hatten eine geringere Frequenz frischer Knochenbrüche als Hennen aus Käfighaltung (GREGORY u. a., 1990; VAN NIEKERK und REUVEKAMP, 1994). Die Frequenz alter Brüche, vor allem am Brust- und Gabelbein, war dagegen in der Volieren- und Auslaufhaltung höher als in der Käfighaltung (GREGORY u. a., 1990). Ein kürzlich vorgenommener Vergleich zwischen dem Boleg-Volierensystem und konventioneller Käfighaltung bestätigte die geringere Frequenz frischer Knochenbrüche, aber erheblich mehr alte Verletzungen bei Schlachthennen aus der Voliere (VAN NIEKERK, REUVEKAMP, KIEZEBRINK, unveröffentlicht). Aus diesen Ergebnissen kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass mehr Bewegungsmöglichkeit in der Alternativhaltung sich positiv auf die Knochenstabilität auswirkt, aber nicht unbedingt in gleichem Maße das Wohlbefinden der Hennen verbessert.

## Genetik

Die erhebliche individuelle Variation der Knochenqualität von Schlachthennen, phänotypisch unkorreliert mit der Legeleistung in einer Herde mit sehr guter Leistung (RENNIE u. a., 1997), legt die Vermutung nahe, dass Selektion gegen Osteoporose möglich ist, vielleicht ohne dabei viel an Produktivität zu verlieren.

Die Erfolgsaussichten der Selektion zur Lösung des Osteoporoseproblems wurden von BISHOP u. a. (2000) untersucht. Die Vererbung von Merkmalen, die mit Osteoporose zusammenhängen, wurde an Daten einer White Leghorn Reinzuchtlinie mit einer Vorgeschichte langjähriger Selektion auf hohe Legeleistung über einen Zeitraum von 5 Generationen untersucht. Zunächst wurde eine größere Anzahl

morphologischer und radiologischer Parameter sowie die Stärke verschiedener Knochen von Hennen am Ende der Legeperiode gemessen, um Heritabilitäten zu schätzen. Für morphometrische Merkmale spongiöser und medullärer Knochenmasse wurden niedrige  $h^2$ -Werte zwischen 0,00 für PTM und 0,19 für freie Wirbel gefunden. Diese niedrigen Heritabilitäten waren unerwartet, nachdem die spongiöse Knochenmasse als geeignetes Kriterium gilt, um bei Frauen im Postklimakterium den Schweregrad der Osteoporose zu quantifizieren (KHOSLA u. a., 1994), ebenso wie bei Legehennen in früheren Studien (WHITEHEAD und WILSON, 1992; WILSON u. a., 1993; RENNIE u. a., 1997). Im Gegensatz dazu waren die Heritabilitäten anderer Merkmale höher (Tibia-Stärke,  $h^2 = 0,45$ ; Humerus-Stärke,  $h^2 = 0,30$ ; radiographische Brustbeindichte,  $h^2 = 0,39$ ). Zwischen Körpergewicht und Knochenstärke bestand eine positive Beziehung.

Mit Hilfe der geschätzten Parameter wurde ein Selektionsindex konstruiert, um die Knochenqualität zu verbessern, mit der Restriktion konstanten Körpergewichts. Als biologisch sinnvolle und mäßig bis hoch erbliche Merkmale, die sich an einer größeren Tierzahl mit vertretbarem Zeitaufwand messen lassen, wurden die radiographisch bestimmte Brustbeindichte (BBD) sowie die Bruchfestigkeit des Humerus (BFHU) und der Tibia (BFTI) für die Berechnung des Knochenindex herangezogen. Durch Berücksichtigung von Messwerten an Rumpf, Flügel und Bein sollte der Index aussagefähig für das gesamte Skelett sein. Der Index wurde wie folgt definiert: Knochenindex =  $0,27 \times BBD + 0,37 \times BFHU + 0,61 \times BFTI - 0,25 \times GEW$ .

In Generation 5 wurde die Gewichtung für das Körpergewicht (GEW) von 0,25 auf 0,35 erhöht, um einer zunehmenden Divergenz der in positiver und negativer Richtung selektierten Sublinien entgegenzuwirken. Die Selektion erfolgte jeweils retrospektiv. Alle überlebenden Hennen wurden zunächst reproduziert, dann geschlachtet und während der Aufzucht der Nachkommen ausgewertet; die Nachkommen wurden bei der Umstallung in den Legestall aufgrund des Knochenindex der Vollgeschwisterfamilie selektiert. Leistungskriterien wurden auf Einzelhennenbasis erfasst, aber bei der Selektion nicht berücksichtigt. Ab Generation 3 wurden zwei Sublinien in entgegengesetzter Richtung selektiert: H auf hohen Knochenindex, L auf niedrigen Knochenindex.

## Ergebnisse des Selektionsversuchs

Die im Index berücksichtigten Merkmale und der Index selbst hatten in allen Generationen eine mittlere Heritabilität in der Größenordnung von 0,30 - 0,40. Die phänotypischen und genetischen Korrelationen der Knochenmerkmale untereinander und zum Körpergewicht waren durchweg hoch positiv. Ohne die Berücksichtigung des Körpergewichts im Index wäre die H-Linie (Zucht auf hohen Knochenindex) schwerer, die L-Linie (Zucht auf niedrigen Knochenindex) leichter und die Differenzierung nach Knochenkriterien noch deutlicher geworden. Die Mittelwerte der Knochenparameter variierten erheblich zwischen den Generationen, was auf signifikante Umwelteinflüsse hinweist und Genotyp x Umwelt Interaktionen möglich erscheinen läßt. Die Ergebnisse von Tests genetisch vergleichbarer Gruppen in verschiedenen Umwelten haben aber keinen konkreten Hinweis auf G x U Interaktionen ergeben.

Ab Generation 3 wurde eine zunehmende Differenzierung der Sublinien in allen drei Knochenkriterien und im Knochenindex als dem direkten Selektionskriterium beobachtet. In Tabelle 3 werden die kumulativen Differenzen für Hennen

und Hähne in Generation G5 gezeigt. Bei den Hennen ergeben sich Differenzen von 19 % für BBD, 13 % für BFHU und 25 % für BFTI. Diese Differenzen waren ab Generation G4 hoch signifikant, mit Ausnahme der BFHU in Generation G4. Obwohl die für die Selektion benutzten Daten ausschließlich von Hennen stammen, zeigen sich im Selektionsergebnis gleichgerichtete Differenzen zwischen den H- und L-Linien auch bei den Hähnen. Die relativen Differenzen betragen bei den Hähnen in Generation G5: 10 % für BFTI, 13 % für BFHU, 15 % für BBD und 7 % im Körpergewicht. Die Hennen der L-Linie hatten während der Produktion und bei der Ausstallung insgesamt etwa sechsmal so häufig Humerusbrüche wie die Hennen der H-Linie.

**Tabelle 3: Körpergewicht und Knochenmerkmale am Ende der Legeperiode nach drei Generationen Selektion auf hohen (H) bzw. niedrigen (L) Knochenindex**

Merkmal Linie	Hennen		Hähne	
	H	L	H	L
Körpergewicht (kg)	1,67	1,63	2,29	2,14
Brustbein RD (mm Al)	0,58	0,48	0,77	0,67
Tibia-Stärke (N)	301,2	234,5	669,0	603,3
Humerus-Stärke (N)	151,1	132,4	490,5	431,6
Humerus-Brüche (%)	2,8	18,4		

(BISHOP u. a., 1999)

Die Ergebnisse dieses Selektionsversuchs sind ermutigend: sie zeigen, dass mit konventioneller Selektion innerhalb weniger Generationen deutliche Verbesserungen in der Knochenstabilität erreicht werden können. Sofern erwünscht kann das Körpergewicht konstant gehalten werden, aber ein schnellerer Fortschritt in der Knochenstabilität ist zumindest in der hier untersuchten Population zu erwarten, wenn man einen Anstieg des Körpergewichts toleriert. Es ist zu erwarten, dass sich die im Zuchtbetrieb nachgewiesenen Selektionserfolge auch unter Praxisbedingungen verifizieren lassen.

Interessant ist die Feststellung, dass die Differenzierung der Linien sich nicht nur bei den Hennen, sondern auch bei den Hähnen zeigt (Tabelle 2). Das deutet auf eine Veränderung des Stoffwechsels im Knochen beider Geschlechter durch die Selektion hin. Wenn Knochenmessungen an Hähnen aussagefähig für die Osteoporoseanfälligkeit ihrer Schwestern wären, dann hätte das erhebliche Vorteile für ein Selektionsprogramm.

Stärkere Knochen sind aber nur dann von praktischem Interesse, wenn dadurch die Häufigkeit von Knochenbrüchen oder die Anfälligkeit gegen Osteoporose reduziert wird. Das Brustbein und der Humerus sind zwei Knochen, die in der Praxis relativ häufig brechen (GREGORY und WILKINS, 1989). Obwohl die Käfige und die Belastung der Hennen beim Ausstallen in der vorliegenden Untersuchung nicht als repräsentativ für praktische Legebetriebe gelten können, hat die Selektion offensichtlich die Häufigkeit verändert, mit der Brüche bei diesen Knochen festgestellt wurden. Bei der Tibia, einem erheblich stärkeren Knochen, wurden in dieser Untersuchung nur wenige Brüche festgestellt. Die veränderte Häufigkeit von Knochenbrüchen ist aufgrund der genetischen Korrelationen zur Knochenstabilität zu erwarten. Alle Knochenparameter sind eng mit dem Auftreten von Brüchen verschiedener Knochen korreliert, so dass eine

gezielte Selektion auf stärkere Knochen eine Verringerung von Knochenbrüchen und Osteoporose erwarten lässt.

Könnte man die Datenerfassung vereinfachen, um nicht mehr retrospektiv selektieren zu müssen? Die Knochenstärke in verschiedenen Bereichen des Skeletts ist offenbar hoch korreliert, so dass Messungen an einem geeigneten Knochen aussagefähig für das gesamte Skelett sein sollten. Diese Feststellung ist wichtig, wenn wir die Anzahl Messungen reduzieren wollen, um im Zuchtbetrieb in kurzer Zeit viele Tiere bewerten zu können. Noch besser wäre es, wenn es zuverlässige Hilfsmerkmale gäbe, die vor der Reproduktion an der lebenden Henne erfasst werden können. FLEMING u. a. (1998c) haben unter experimentellen Bedingungen eine Methode entwickelt, um mit Hilfe digitalisierter Fluoroskopie den Humerus am lebenden Huhn zu untersuchen. Alternative Methoden befinden sich im Teststadium.

## Diskussion

Alle drei oben besprochenen Faktoren haben nachweislich einen Einfluss auf die Osteoporose bei Legehennen. Was ist nun als beste Lösung dieses Tierschutzproblems zu empfehlen? Richtige Ernährung ist unter zwei Aspekten zu berücksichtigen: erstens müssen Defizite vermieden werden, die das Problem verschärfen können, und zweitens muss generell bedarfsgerecht gefüttert werden. Wahrscheinlich wäre es aus der Sicht optimaler Knochenqualität besser, den Calciumgehalt bereits dann zu erhöhen, wenn mit der Steigerung der Tageslänge der Legebeginn stimuliert wird und nicht erst, wenn die ersten Eier gelegt werden. Calcium sollte während der gesamten Legeperiode in grober Form verabreicht werden, um den Bedarf für die Schalenbildung möglichst direkt über den Verdauungstrakt und nicht über Resorption aus den Knochen zu decken.

Eine Erhöhung der Calciumzufuhr über die Empfehlungen für Phasenfütterung hinaus wurde bisher nicht als besonders nützlich für die Knochenqualität angesehen, aber vielleicht muss diese Frage erneut gestellt werden angesichts der in unserem Selektionsversuch beobachteten negativen Korrelation zwischen Schalenstabilität und Knochenqualität. Ist es möglich, dass Hennen mit guter Veranlagung für Knochenstabilität weniger Calcium für die Schalenbildung bereitstellen? Der Calciumbedarf der relativ Osteoporose-resistenten H-Linie für die Knochen- und Schalenbildung ist zu einer Kernfrage für weitere Versuche geworden. Ein Ernährungsaspekt, der besonders betont werden muss, ist der in der Praxis häufig zu beobachtende Fehler, an den letzten Tagen vor der Ausstallung die Tröge leer fressen zu lassen. Das führt zu einem Abbau der Knochenmasse ausgerechnet zu der Zeit, wo durch die Ausstallung das Risiko von Knochenbrüchen am größten ist. Richtige Ernährung ist also wichtig für die Minimierung von Osteoporose, aber mit optimaler Ernährung allein ist das Problem nicht zu lösen.

Mehr Bewegungsmöglichkeit in alternativen Haltungssystemen verbessert die Knochenstärke und kann die Frequenz von Knochenbrüchen beim Ausstallen verringern, wenn mit den Tieren vorsichtig umgegangen wird. Aber stärkere Knochen bedeuten nicht automatisch erhöhtes Wohlbefinden. Hühner in Alternativhaltung haben erheblich mehr Möglichkeiten, sich zu verletzen, als im Käfig. Sie können beim Fliegen unsanft landen oder von Sitzstangen gestoßen werden und somit trotz stärkerer Knochen während der Legeperiode insgesamt mehr Knochenbrüche erleiden als Käfighennen. Möglicherweise lassen sich alternative Haltungssysteme so weiterentwickeln, dass bei optimaler Besatzdichte die Frequenz von Verletzungen weiter verringert

wird. Es bleiben dann aber noch weitere Probleme, wie Federpicken und Kannibalismus. Ein generelles Käfigverbot kann nicht alle Tierschutzprobleme lösen, und insbesondere zur Minimierung von Knochenbrüchen sind andere bzw. zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Die Genetik kann möglicherweise zur Lösung beitragen. Die Knochenstabilität am Ende der Legeperiode hat eine mittlere Heritabilität und lässt sich durch Selektion verbessern. Als korrelierter Erfolg nimmt die Frequenz von Knochenbrüchen bei Hennen mit stärkeren Knochen ab. Selektion auf bessere Knochenstabilität sollte deshalb in kommerzielle Zuchtprogramme für Legehennen integriert werden, und zwar aus zwei Gründen: Erstens sind die langjährig auf anhaltend hohe Legeleistung selektierten heutigen Legehybriden sehr anfällig gegen Osteoporose. Wenn die Selektionsrichtung nicht korrigiert wird, kann die Osteoporoseproblematik noch schlimmer werden. Zweitens haben unveröffentlichte Untersuchungen (VAN NIEKERK, REUVEKAMP und KIEZEBRINK) gezeigt, dass eine verbesserte genetische Resistenz gegen Osteoporose sich nicht nur in konventioneller Käfighaltung, sondern auch in alternativen Haltungssystemen positiv bemerkbar macht. Demnach ist zu erwarten, dass eine genetische Verbesserung der Knochenstabilität sich nicht nur für Legehennen in konventioneller Käfighaltung auszahlt, sondern auch in den von Tierschützern in Europa geforderten alternativen Systemen. Es kommt nun darauf an, dass die Möglichkeiten systematischer Selektion auf stärkere Knochen in kommerziellen Zuchtprogrammen genutzt werden.

Damit kommt dem Züchter künftig eine wichtige Rolle bei der Lösung der mit Osteoporose und Knochenbrüchen zusammenhängenden Tierschutzproblematik zu, aber er kann das Problem nicht allein lösen. Richtige Ernährung bleibt ebenso wichtig wie die Weiterentwicklung gegenwärtiger Haltungssysteme. Und schließlich bleibt zu fordern, dass die Schlachthennen bei der Ausstallung von geschultem Personal schonend behandelt werden, um die Frequenz von Knochenbrüchen zu minimieren.

## Literaturverzeichnis

- BISHOP, S.C., R.H. FLEMING, H.A. McCORMACK, D.K. FLOCK und C.C. WHITEHEAD, 2000: The inheritance of bone characteristics affecting osteoporosis in laying hens. *Br. Poult. Sci.* (in press)
- BELL, D.J. und W. SILLER, 1962: Cage layer fatigue in brown leghorns. *Res. Vet. Sci.* 3: 219 - 230
- BROWN, R.H., 1993: Egg producers concerned about loss of spent fowl slaughter market. *Feedstuffs* 65 (52): 1
- COUCH, J.R., 1955: Cage layer fatigue. *Feed Age* 5: 55 - 57
- FLEMING, R.H., C.C. WHITEHEAD, D. ALVEY, N.G. GREGORY, und L.J. WILKINS, 1994: Bone structure and breaking strength in laying hens housed in different husbandry systems. *Br. Poult. Sci.* 35: 651 - 662
- FLEMING, R.H., H.A. McCORMACK, L. McTEIR und C.C. WHITEHEAD, 1998a: Medullary bone and humeral breaking strength in laying hens. *Res. Vet. Sci.* 64: 63 - 67
- FLEMING, R.H., H.A. McCORMACK und C.C. WHITEHEAD, 1998b: Bone structure and strength at different ages in laying hens and effects of dietary particulate limestone, vitamin K and ascorbic acid. *Br. Poult. Sci.* 39: 434 - 440
- FLEMING, R.H., H.A. McCORMACK, L. McTEIR und C.C. WHITEHEAD, 1998c: Digitised fluoroscopy (DF) predicts breaking strength in osteoporotic avian bone in vivo. *Br. Poult. Sci.* 39: S49 - S51
- GREGORY, N.G. und L.J. WILKINS, 1989: Broken bones in domestic fowl: handling and processing damage in end-of-lay battery hens. *Br. Poult. Sci.* 30: 555 - 562
- GREGORY, N.G., L.J. WILKINS, S.D. ELEPERUMA, A.J. BALLANTYNE und N.D. OVERFIELD, 1990: Broken bones in domestic fowls: effect of husbandry system and stunning method in end-of-lay hens. *Br. Poult. Sci.* 31: 59 - 69
- GREGORY, N.G., L.J. WILKINS, T.G. KNOWLES, P. SORENSEN und T. VAN NIEKERK, 1994: Incidence of bone fractures in European layers. Pages 126-128 in: *Proceedings, 9th European Poultry Conference. Vol II.* Glasgow, UK
- HUDSON, H.A., W.M. BRITTON, G.N. ROWLAND und R.J. BUHR, 1993: Histomorphometric bone properties of sexually immature and mature White Leghorn hens with evaluation of fluorochrome injection on egg production traits. *Poult. Sci.* 72: 1537 - 1547
- HUGHES, B.O., S. WILSON, M.C. APPLEBY und S.F. SMITH, 1993: Comparison of bone volume and strength as measures of skeletal integrity in caged laying hens with access to perches. *Res. Vet. Sci.* 54: 202 - 206
- KHOSLA, S., E.G. LUFKIN, S.F. HODGSON, L.A. FITZPATRICK und L.J. MELTON, 1994: Epidemiology and clinical features of osteoporosis in young individuals. *Bone* 15: 551 - 555
- KNOWLES, T.G. und D.G. BROOM, 1990: Limb bone strength and movement in laying hens from different housing systems. *Vet. Rec.* 126: 354 - 356
- LANYON, L.E., 1992: Functional load-bearing as a controlling influence for fracture resistance in the skeleton. Pages 61-66 in: *Bone Biology and Skeletal Disorders in Poultry.* C.C. Whitehead, ed. Carfax Publishing Co.,

Abingdon, UK

- NIGHTINGALE, T.E., L.H. LITTLEFIELD und L.W. MERKLEY, 1972: Osteoporosis induced by unilateral wing immobilisation. *Poult. Sci.* 51: 1844 - 1845
- RANDALL, C.J. und S.R.I. DUFF, 1988: Avulsion of the patellar ligament in osteopenic laying fowl. *Vet. Rec.* 128: 397 - 399
- RENNIE, J.S., R.H. FLEMING, H.A. McCORMACK, C.C. McCORQUODALE und C.C. WHITEHEAD, 1997: Studies on effects of nutritional factors on bone structure and osteoporosis in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 38: 417 - 424
- THORP, B.H., S. WILSON, S. RENNIE und S.E. SOLOMON, 1993: The effect of a bisphosphonate on bone volume and eggshell structure in the hen. *Avian Pathol.* 22: 671 - 682
- URIST, M.R. und N.M. DEUTSCH, 1960: Osteoporosis in the laying hen. *Endocrinol.* 66: 377 - 391
- VAN NIEKERK, T.G.C.M. und B.F.J. REUVEKAMP, 1994: Husbandry factors and bone strength in laying hens. Pages 133-136 in: *Proceedings, 9th European Poultry Conference. Volume II.* Glasgow, UK
- WHITEHEAD, C.C. und S. WILSON, 1992: Characteristics of osteopenia in hens. Pages 265-280 in: *Bone Biology and Skeletal Disorders in Poultry.* C.C. Whitehead, ed. Carfax Publishing Co., Abingdon, UK
- WILSON, S. und S.R.I. DUFF, 1991: Effects of vitamin or mineral deficiency on the morphology of medullary bone in laying hens. *Res. Vet. Sci.* 50: 216 - 221
- WILSON, S., S.R.I. DUFF und C.C. WHITEHEAD, 1992: Effects of age, sex and housing on the trabecular bone of laying strain domestic fowl. *Res. Vet. Sci.* 53: 52 - 58
- WILSON, S, B.O. HUGHES, APPLEBY, M.C. und S.F. SMITH, 1993: Effects of perches on trabecular bone volume in laying hens. *Res. Vet. Sci.* 54: 207 - 211