

## Osnabrücker Poultry Academy

\_OPA\_

Zertifikatskurs „Poultry Professional“

Erprobungs-Modul 6:

# Haltungssysteme und Bestandsmanagement „Ei“ – Anforderungen des Geflügels an Künstliche Beleuchtung

Modul begleitender Reader (Version: 3)

A. Uhlenkamp, J. D. Kämmerling (†), S. Döhning, R. Andersson

Stand: Januar 2020

## Inhalt

Einleitung.....	3
1. Was ist Licht? - Die Bedeutung des Lichtes für Organismen.....	4
2. Die visuelle Wahrnehmung .....	5
2.1 Physiologie des Auges .....	6
2.2 Der Sehsinn des Vogels .....	7
3. Parameter zur Beschreibung von Licht .....	10
3.1 Spektrale Zusammensetzung .....	11
3.2 Frequenz.....	16
3.3 Helligkeit/Lichtintensität.....	19
Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	22
Literatur.....	23

## Einleitung

Das Licht spielt in der Geflügelhaltung eine zentrale Rolle hinsichtlich des Auftretens von Verhaltensstörungen wie Federpicken und Kannibalismus (Kjaer und Vestergaard, 1999; Kjaer und Sørensen, 2000). Insbesondere die Haltung von Hennen mit ungestutztem Schnabel in non-Cage-Systemen führt zu einer Verschärfung der Problematik, da das Ausmaß der Verletzungen deutlich erhöht ist. Die Optimierung der Umweltbedingungen für das Nutzgeflügel, insbesondere die Ausleuchtung des Stalls, nimmt in diesem Zusammenhang an Bedeutung zu. Hierbei ist jedoch von Relevanz, dass sich das Vogelauge anatomisch und physiologisch von dem Auge des Menschen unterscheidet (Reese et al., 2009).

Licht beeinflusst Geflügel über zwei biologische Mechanismen, über die **visuelle Wahrnehmung** und über die **Wirkung auf die Physiologie** der Tiere (Tabelle 1). Über die Wahrnehmung von Licht wird das Sehen von Bildern ermöglicht. In den Augen befindet sich ein Epithel aus lichtempfindlichen Sinneszellen, die Retina, die sowohl Zapfen für das Tageslichtsehen (photopisches) als auch Stäbchen für das Nachtsehen (skotopisches Sehen) enthält. Die physiologischen Effekte des Lichtes beinhalten nach Lewis und Morris (2000) die Beeinflussung der **endokrinen Funktionen**, wie den **zirkadianen Rhythmus** und das **Sexualverhalten**. Das System der zirkadianen Rhythmizität wird über den Nucleus suprachiasmaticus (SCN) des Hypothalamus im Zwischenhirn, über die Zirbeldrüse (Glandula pinealis) sowie über die Netzhaut (Retina) mittels des Hormons Melatonin gesteuert. Die Zirbeldrüse der Vögel verfügt, im Gegensatz zu der des Menschen, über eigene Photorezeptoren und Zellen, die als Zeitgeber fungieren. Sie ist somit vergleichsweise autonom (Natesan et al., 2002). Licht beeinflusst außerdem den Hypothalamus und steuert die Ausschüttung von Sexualhormonen aus den Gonaden durch die Freisetzung des Gonadotropin-Releasing-Hormons (GnRH). Im Rahmen produktionstechnischer Vorgänge wird die physiologische Wirkung von Licht auf das Tier genutzt um beispielsweise den Eintritt in die Legereife oder eine Mauser zu induzieren. Entsprechende Angaben über Lichtprogramme (Angabe der Dauer von Licht) sind zahlreichen Managementguides zu entnehmen.

Tabelle 1: Licht hat drei Effekte

Visuelle Wahrnehmung	Physiologie der Tiere	
<b>Auge</b>	<b>Zirbeldrüse &amp; Retina</b>	<b>Hypothalamus</b>
Wahrnehmung (Sehen)	Tag/Nacht Rhythmus	Sexualhormone (Reife)
→ Stäbchen (= S/W)	Tagesabhängiges Verhalten	
→ Zapfen (= Farbe)		

Lichtreizen als ein kontinuierliches Licht wahrgenommen wird. Die FFF ist unter anderem abhängig von der Umgebungshelligkeit (Lisney et al. 2012). Die FFF für das Huhn wurde mittels Verhaltenstests in mehreren Arbeitsgruppen untersucht (Nuboer et al. 1992, Jarvis et al. 2002, Railton et al. 2009, Lisney et al. 2011). Die ermittelten Werte variieren zwischen 71,5 Hz und 105 Hz. Lisney et al. (2012) ermittelten mittels Elektroretinogramm eine FFF von 119 Hz beim Huhn. Im Vergleich dazu liegt die FFF des Menschen beim helladaptierten Auge zwischen 50 und 60 Hz (Frings und Müller 2014).

- Aufgrund der seitlichen (lateralen) Lage der Augen (mit Ausnahme der Eulenvögel) besitzen Vögel ein **ausgeprägtes monokulares Sichtfeld**, welches 360° erreichen kann (König und Bragulla 2009). Das binokulare Gesichtsfeld liegt mit etwa 26° deutlich unter dem des Menschen mit etwa 120° (Engelhardt et al. 2010, Barber und Daly 2013). Die räumliche Auflösung der Vögel ist somit schlechter im Vergleich zum Menschen. Die schwache Augenmuskulatur einiger Vogelarten sowie die laterale Stellung der Augen, wird durch den sehr stark beweglichen Kopf kompensiert (König und Bragulla 2009).
- Vogelaugen können sich schneller an wechselnde Lichtverhältnisse anpassen als die Augen der Säuger (**Hell-Dunkel-Adaptation**). Grund hierfür ist der vom Säuger abweichende Aufbau der Iris- und Muskulatur. Sie besteht beim Vogel aus überwiegend quergestreifter Muskulatur, die eine bewußte, willentliche Anpassung ermöglicht (= willentliche Adaptation) (König und Bragulla 2009).
- Eine weitere Besonderheit des Vogelauges ist die Fähigkeit **zwei Sätze visueller Informationen**, also vom rechten und vom linken Auge, gleichzeitig verarbeiten zu können. So können sie beispielsweise mit dem einem Auge nach Futter suchen und mit dem anderen Auge gleichzeitig nach Feinden Ausschau halten (Barber und Daly 2013).
- Vögel weisen aufgrund ihrer größeren spektralen Absorptionsbreite und auch der anderen Wahrnehmung einzelner Zapfen ein anderes **Helligkeitsempfinden** auf (Prescott und Wathes 1999).

### 3. Parameter zur Beschreibung von Licht

Die Anatomie und Physiologie des menschlichen Auges und des Geflügelauges variieren erheblich. Unterschiede in den Anforderungen der Säuger und des Geflügels an Leuchtmittel sind somit wahrscheinlich. Leuchtmittel sind derzeit überwiegend auf die menschliche Wahrnehmung ausgerichtet. Lichttechnische Parameter zur Definition von Lichtquellen (qualitative Merkmale wie z.B. Lichtfarbe und quantitative Merkmale wie z.B. Helligkeit) sowie die Methoden zur Messung von Licht orientieren sich i.d.R. an den Maßstäben des menschlichen Sehens und erlauben keine Aussagen darüber, wie der Vogel seine

kaltweißen Bereich. Die exemplarisch gemessenen LEDs (KW, WW) emittieren kaum im UV-A bzw. violetten Bereich. Die LED KW emittiert überwiegend im blaugrünen Bereich, die LED WW überwiegend im orange und roten (Rot I) Bereich.

Tabelle 3: Prozentuale Anteile einzelner Farben am Gesamtspektrum (315-780 nm) am Beispiel der vier Lampentypen Glühlampe, Kompaktleuchtstofflampe (CFL), LED - kaltweiß und LED - warmweiß im Vergleich mit dem Habitat-Spektrum Gallus Gallus (HSGG)

Prozentualer Anteil der Farben	HSGG	Glühlampe	CFL	LED KW	LED WW
% UV-A (315-380 nm)	2,5	0,4	2,2	0,0	0,0
% violett (381-436 nm)	4,3	1,6	7,2	2,5	1,0
% blau (347-495 nm)	6,3	4,3	6,6	28,7	9,6
% grün (496-566 nm)	9,6	11,2	26,4	31,3	21,9
% gelb (567-589 nm)	2,9	5,3	7,4	10,5	12,7
% orange (590-627 nm)	4,1	10,8	36,5	14,2	24,8
% rot I (628-688 nm)	5,3	22,4	8,8	10,4	23,7
% rot II (689-780 nm)	65,0	44,1	5,1	2,3	6,2

Die Definition des Spektrums, inklusive des für den Vogel zur Wahrnehmung beitragenden UV-A-Bereichs, ist die Voraussetzung, wenn eine Bewertung für ein Leuchtmittel auf Erfüllung geflügelspezifischer Anforderungen erfolgen soll. Werden Bereiche des Spektrums, die zur Wahrnehmung beitragen, nicht emittiert, werden Objekte in anderen Farben wahrgenommen (**Falschfarbensehen**, Steigerwald 2008). Unter einem Licht ohne UV-A-Anteil nimmt der Vogel seine Umwelt offenbar in der Komplementärfarbe zum UV-A wahr. In diesem Zusammenhang sollte die Lichtumwelt in jeder Lebensphase vergleichbar sein. Die Küken lernen im Rahmen der **Prägung** unter der jeweiligen Beleuchtung ihre Umgebung zu assoziieren (Wasser, Futter, Artgenossen...). Änderungen im Spektrum, beispielsweise zwischen Junghennenaufzucht und Legehennenhaltung sowie Putenaufzucht und Putenmast, bergen die Gefahr, dass Schwierigkeiten in der erlernten Assoziation (Nahrung, Artgenossen,...) aus der Prägungsphase auftreten.

entsprechender Beleuchtung im Sehschärfebereich und „aus dem Augenwinkel“, sollten Beleuchtungssysteme im Stall sicherheitshalber einen Grenzwert **deutlich über 119 Hz** gewährleisten.

### 3.3 Helligkeit/Lichtintensität

Die **Beleuchtungsstärke** mit der Einheit Lux bewertet, wie hell eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> ausgeleuchtet wird. Dabei ist 1 Lux = 1 Lumen/m<sup>2</sup>. Den Helligkeitseindruck, den das Auge wahrnimmt, erfasst die Beleuchtungsstärke nicht. Die **Leuchtdichte (cd/m<sup>2</sup>)** beschreibt hingegen den Helligkeitseindruck des Auges. Häufig wird von einer konkreten Helligkeit im Stall gesprochen, z.B. 20 Lux. Messungen der Helligkeit bzw. Helligkeitsverteilung erfolgen in der Regel mittels Luxmeter. Hierbei handelt es sich um eine photometrische bzw. lichttechnische Messung, die spektrale Empfindlichkeit des Empfängers (Mensch) wird mit einbezogen. Die Einheit Lux oder Lumen gibt den photometrischen Helligkeitswert für den Menschen mit dessen spektraler Empfindlichkeit an. Da der Vogel eine andere spektrale Empfindlichkeit aufweist, als der Mensch, ist die Helligkeit für den Vogel nicht durch die Angabe der Einheit Lux zu beschreiben. Unter Beachtung der spektralen Empfindlichkeit der Vögel im UV-A-Bereich ist eine Darstellung der Helligkeit in einer photometrischen Größe, die diesen Bereich miterfasst, sinnvoll. Die Einheiten dieser Daten sollten -an das Geflügel angelehnt- beispielsweise „Lichtindex Geflügel (LIG)“ genannt werden. Ein Luxmeter erfasst Licht im UV-A-Bereich nicht (weil UV-Licht zur Helligkeitsempfindung des Menschen nicht beiträgt). Somit sind die Angaben in Lux in einem Raum, der auch durch UV-Licht ausgestrahlt wird, für den Vogel immer niedriger, als würde ein Messinstrument im selben Raum den vom Vogel wahrnehmbaren Wellenlängenbereich miterfassen (z.B. ausgedrückt in LIG). Photometrische Werte der Helligkeit können mittels Luxmeter gemessen werden oder mittels folgender Formel (Gall 2007) errechnet werden:

$$X_v = K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} X_{e\lambda} * v(\lambda) * d\lambda$$

Dabei ist

- $K_m$  = eine Konstante, deren Einheit lm/m<sup>2</sup> beträgt. Es werden, abhängig von der Art des Sehens je nach Umgebungshelligkeit (skotopisch, mesopisch, photopisch) unterschiedliche Werte eingesetzt
- $X_{e\lambda}$  = die gemessene Bestrahlungsstärke in W/m<sup>2</sup> bezieht sich auf die Summe ( $\int$ ) der Bestrahlungsstärke aller Wellenlängen des sichtbaren Bereiches (Mensch 380-780 nm / Geflügel z.B. 350-780 nm)
- $v(\lambda)$  = die spektrale Hellempfindlichkeit. Für Mensch und Geflügel liegen unterschiedliche  $v(\lambda)$ -Werte vor (Lewis und Morris 2006)
- $d\lambda$  = die Auflösung der gemessenen Bestrahlungsstärke (= 1, wenn ein Wert für jede Wellenlänge vorliegt)

## Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Messungen und daraus folgende Bewertungen von Leuchtmitteln, werden zum aktuellen Zeitpunkt anhand Parametern durchgeführt, die an die menschliche Wahrnehmung anlehnen. Aufgrund erheblicher Unterschiede der visuellen Wahrnehmung zwischen Mensch und Geflügel ist von ebenso erheblichen Unterschieden in den Anforderungen an die Qualität von Leuchtmitteln auszugehen. Mit Blick auf die geflügelspezifische Wahrnehmung bedürfen die üblichen Messgrößen (z.B. Lux und Kelvin) zur Bewertung der Lichtumwelt entsprechender Anpassungen. Die Bewertung von Leuchtmitteln sollte im Hinblick auf deren Eignung zur Ausleuchtung von Geflügelställen, auf Messungen der Parameter Spektrum, Frequenz und Helligkeit (Helligkeitsverteilung) fußen.

Die Bewertung des Spektrums anhand der Lichtfarbe (Kelvin) scheint unzureichend, da hier lediglich ein Eindruck über den Wellenlängenbereich wiedergegeben wird, der in seiner Intensität hervorsticht. Die Erhebung des gesamten zur Wahrnehmung beitragenden Spektrums (also inklusive UV-A-Bereich) ist notwendig. Geeignete Leuchtmittel sollten diesen Bereich möglichst ausgeglichen abdecken. Zur Interpretation der spektralen Daten können die Habitat-Spektren, die an die natürlichen Habitate von Huhn und Pute anlehnen, als Referenz herangezogen werden. Für die Beurteilung der Flimmerfusionsfrequenz von Leuchtmitteln muss die Fähigkeit des, im Vergleich zum Menschen, erhöhten zeitlichen Auflösungsvermögens beachtet werden. Die emittierte Frequenz sollte keinesfalls 119 Hz unterschreiten. Die Kalkulation eines großzügigen zusätzlichen Puffers ist mit Nachdruck zu empfehlen, da beispielsweise von individuellen Schwankungen im zeitlichen Auflösungsvermögen auszugehen ist. Ferner ist die Entwicklung flackerfreier Leuchtmittel technisch lösbar. Die Erfassung der Helligkeit bzw. Helligkeitsverteilung wird derzeit, auch im Geflügelstall, mittels Luxmeter durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass das zur aviären Wahrnehmung beitragende UV-A-Licht hier nicht detektiert werden kann. Für den Vogel erscheint der Raum mutmaßlich heller als das Messinstrument suggeriert. Es sind Messmethoden zu entwickeln, die die Helligkeit entsprechend der geflügelspezifischen Wahrnehmung erfassen. Ein praktischer Ansatz zur Erfassung der Helligkeitsverteilung ist die Datenerhebung nach Funktionsbereichen in non-Cache-Systeme (z.B. Fress-, Ruhebereich), da von differenzierten Helligkeitsansprüchen entsprechend der Funktionsbereiche auszugehen ist.

Untersuchungen verschiedenster Leuchtmittel, die zur Ausleuchtung von Geflügelställen angeboten werden, zeigen, dass der Bedarf an Entwicklungsarbeit für entsprechende Leuchtmittel weiterhin besteht.

## Literatur

- Baer, R.; Barfuß, M.; Seifert, D. (Hg.) (2016): Beleuchtungstechnik. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft. 4. Auflage. Berlin: Huss-Medien GmbH.
- Barber, J.; Daly, J.(Hg.) (2013): Das Huhn. Geschichte, Biologie, Rassen. Bern: Haupt.
- Barber, C. L.; Prescott, N. B.; Jarvis, J. R.; Le Sueur, C.; Perry, G. C.; Wathes, C. M. (2006): Comparative study of the photopic spectral sensitivity of domestic ducks (*Anas platyrhynchos domesticus*), turkeys (*Meleagris gallopavo gallopavo*) and humans. In: *British Poultry Science* 47 (3), S. 365–374.
- Bowmaker, J. K.; Heath, L. A.; Wilkie, S. E.; Hunt, D. M. (1997): Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. In: *Vision Research* 37 (16), S. 2183–2194.
- Bowmaker, J. K.; Knowles, A. (1977): The visual Pigments and Oil droplets of the chicken Retina. In: *Vision Research*, Vol. 17, S. 755-764.
- Castro, F. de (2000): Light spectral composition in a tropical forest: measurements and model. In: *Tree Physiology*, S. 49–56.
- Cebulla, C. M.; Zelinka, C. P.; Scott, M. A.; Lubow, M.; Bingham, A.; Rasiah, S.; Mahmoud, A. M.; Fischer, A. J. (2012) A Chick Model of Retinal Detachment: Cone Rich and Novel. *PLoS ONE* 7(9): e44257. doi:10.1371/journal.pone.0044257
- Deeg, C. A. (2009): Physiologie der Haustiere. 90 Tabellen. 3., vollst. überarb. Aufl. Hg. v. Wolfgang von Engelhardt. Stuttgart: Enke.
- Engelhardt, W. von; Breves, G.; Aurich, C. (Hg.) (2010): Physiologie der Haustiere. 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Enke.
- Frings, S.; Müller, F. (2014): Biologie der Sinne. Vom Molekül zur Wahrnehmung. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum.
- Gall, D. (2007): Grundlagen der Lichttechnik. Kompendium. 2. Aufl. München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg: Pflaum (Licht und Beleuchtung).
- Hart, N.S; Partridge, J.C; Cuthill, I.C (1999): Visual pigments, cone oil droplets, ocular media and predicted spectral sensitivity in the domestic turkey (*Meleagris gallopavo*). In: *Vision Research* 39 (20), S. 3321–3328.
- Hart, N. S. (2001): The Visual Ecology of Avian Photoreceptors. In: *Progress in Retinal and Eye Research* 20 (5), S. 675–703.
- Jarvis, J. R.; Taylor, N. R.; Prescott, N. B.; Meeks, I.; Wathes, C. M. (2002): Measuring and modelling the photopic flicker sensitivity of the chicken (*Gallus g. domesticus*). In: *Vision Research* 42, S. 99–106.

- Kämmerling, D.; Döhring, S.; Arndt, C.; Andersson, R. (2017): Tageslicht im Stall - Anforderungen an das Spektrum von Lichtquellen bei Geflügel. In: Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift.
- Kjaer, J. B.; Sørensen, P. (2002): Feather pecking and cannibalism in free-range laying hens as affected by genotype, dietary level of methionine + cystine, light intensity during rearing and age at first access to the range area. In: Applied Animal Behaviour Science 76, S. 21-39.
- Kjaer, J. B.; Vestergaard, K. S. (1999): Development of feather pecking in relation to light intensity. In: Applied Animal Behaviour Science 62, S. 243-254.
- König, H. E.; Bragulla, H. (Hg.) (2009): Anatomie der Vögel. Klinische Aspekte und Propädeutik ; Zier-, Greif-, Zoo-, Wildvögel und Wirtschaftsgeflügel ; mit 14 Tabellen. 2. Aufl. Stuttgart: Schattauer.
- Kram Y. A.; Mantey S.; Corbo J.C. (2010) Avian Cone Photoreceptors Tile the Retina as Five Independent, Self-Organizing Mosaics. PLoS ONE 5(2): e8992. doi: 10.1371/journal.pone.0008992
- Lewis, P.; Morris, T. R. (2006): Poultry lighting. The theory and practice. Andover: Northcot.
- Lind, O.; Mitkus, M.; Olsson, P.; Kelber, A. (2013): Ultraviolet vision in birds: the importance of transparent eye media. In: Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 281 (1774), S. 20132209.
- Lisney, T. J.; Ekesten, B.; Tauson, R.; Håstad, O.; Ödeen, A. (2012): Using electroretinograms to assess flicker fusion frequency in domestic hens *Gallus gallus domesticus*. In: Vision Research 62, S. 125-133
- Lisney, T. J.; Rubene, D.; RÓzsa, J.; Løvlie, H.; Håstad, O.; Ödeen, A. (2011): Behavioural assessment of flicker fusion frequency in chicken *Gallus gallus domesticus*. In: Vision Research 51, S. 1324-1332.
- Löffler, K.; Gäbel, G. (2009): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 12. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer (UTB, 13).
- Maier, E. J. (1994): Das UV-Sehen der Vögel: Neue Ergebnisse über den spektralen Sehbereich der Vögel. In: Journal für Ornithologie, S. 179–192.
- Moyes, C. D.; Schulte, P. M. (2008): Tierphysiologie. München: Pearson Studium.
- Morris, V. B. (1970): Symmetry in a Receptor Mosaic Demonstrated in the Chick from the Frequencies, Spacing and Arrangement of the Types of Retinal Receptors. In: Journal Comp. Neur. 140, S. 359-398.
- Natesan, A.; Geetha, L.; Zatz, M. (2002): Rhythem and soul in the avian pineal. In: Cell and Tissue Research Vol. 309, S. 35-45.
- Nickel, R.; Schummer, A.; Seiferle, E.; Vollmerhaus, B.; Sinowatz, F.(Hg.) (2004): Anatomie der Vögel. 3., durchgesehene Aufl. Stuttgart: Parey (Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, / Richard Nickel, August Schummer, Eugen Seiferle ; 5). ISBN: 9783830441496

- Nuboer, J. F. W.; Coemans, M. A. J. M.; Vos, J. J. (1992): Artificial lighting in poultry houses-are photometric units appropriate for describing illumination intensities. In: *British Poultry Science* 33, S. 135–140.
- Pedrotti, F. L. (2008): *Optik für Ingenieure. Grundlagen; mit 28 Tabellen.* 4., bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Prescott, N. B.; Wathes, C. M. (1999): Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*). In: *British Poultry Science* 40, S. 332–339.
- Railton, R. C. R.; Forster, T. M.; Temple, W. (2009): A comparison of two methods for assessing critical flicker fusion frequency in hens. In: *Behavioural Processes* 80, S. 196-200.
- Reese, S.; Korb, R.; Liebich, H.-G. (2009): Sehorgan (Organum visus). In: König, H. E.; Korb, R.; Liebich, H. G. (Hrsg.) „Anatomie der Vögel. Klinische Aspekte und Probädeutik“. 2. Auflage. Stuttgart: Schattauer.
- Ris, H. R. (2015): *Beleuchtungstechnik für Praktiker. Grundlagen, Lampen, Leuchten, Planung, Messung.* 5., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.], Fehrltorf/Schweiz: VDE-Verl.; Electrosuisse.
- Saunders, J. E.; Jarvis, J. R.; Wathes, C. M. (2008): Calculating luminous flux and lighting levels for domesticated mammals and birds. In: *ANM* 2 (06).
- Steigerwald, K. (2006): *Sehleistung des Vogelauges - Perspektiven und Konsequenzen für die Haltung von Zier- und Wirtschaftsgeflügel unter Kunstlichtbedingungen* 2006.
- Wilby, D.; Tommey, M. B.; Olsson, P.; Frederiksen, R.; Cornwall, M. C.; Oulton, R.; Kelber, A.; Corbo, J. C.; Roberts, N. W. (2015): Optics of cone photoreceptors in the chicken (*Gallus Gallus domesticus*). In: *Journal of royal society Interface* 12, 20150591.