

Open Access

Berl Münch Tierärztl Wochenschr
DOI 10.2376/0005-9366-16034

© 2017 Schlütersche
Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
ISSN 0005-9366

Korrespondenzadresse:
j.kaemmerling@hs-osnabrueck.de

Eingegangen: 14.03.2016
Angenommen: 21.10.2016

Online first: 09.01.2017
[http://vetline.de/open-access/
158/3216/](http://vetline.de/open-access/158/3216/)

Zusammenfassung

Summary

U.S. Copyright Clearance Center
Code Statement:
0005-9366/2017/16034 \$ 15.00/0

Fachgebiet Tierhaltung und Produkte, Studienschwerpunkt angewandte
Geflügelwissenschaften, Hochschule Osnabrück

Tageslicht im Stall – Anforderungen an das Spektrum von Lichtquellen bei Geflügel

Daylight in barn – spectrum specification for light sources in poultry

Daniel Kämmerling, Stefanie Döhring, Christina Arndt, Robby Andersson

Der Gesetzgeber fordert, dass Kunstlicht in Geflügelställen dem natürlichen Licht so weit wie möglich entsprechen muss (§ 13 Abs. 3 bzw. § 18 Abs. 5; Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung). Diese Forderung wirft die Frage auf, wie natürliches Licht definiert ist und wie Vögel ihre Umwelt wahrnehmen. Das Vogelauge unterscheidet sich von dem des Menschen in seiner spektralen Empfindlichkeit. Der gesamte human sichtbare Bereich schließt, im Gegensatz zum Vogel, den UV-A-Bereich aus. Ultraviolette Wellenlängenbereiche tragen beim Vogel zum Hellempfinden bei. Es ist anzunehmen, dass natürliches Tageslicht den Ansprüchen der Vögel am ehesten entspricht. Daher wurde anhand spektralradiometrischer Messungen die Zusammensetzung des Tageslichtes im Tages- und Jahresverlauf an verschiedenen Standorten (freier Himmel oder unter einem Blätterdach) ermittelt und mit spektralradiometrischen Messergebnissen aus einem Legehennenstall verglichen. Die Messungen im Stall ermöglichen eine erste Charakterisierung der spektralen Zusammensetzung des Stalllichtes und machen Unterschiede in einzelnen Stallbereichen deutlich, die auf Vorkommen oder Abwesenheit von natürlichen Lichtquellen zurückzuführen sind. Unter Einfluss von Tageslicht ähneln die Spektren denen unter freiem Himmel. Die „Outdoor“-Messungen zeigen, dass sich das Tageslicht sehr gut charakterisieren lässt, das Spektrum jedoch je nach Standort und in Abhängigkeit der Filtereigenschaften der Vegetation variiert. Die natürlichen Habitate der Nutzgeflügelarten unterscheiden sich. Während Hühner ursprünglich in tropischen und subtropischen Wäldern Südostasiens beheimatet sind, kann bei der Ausgangsform der Pute vom süd mexikanischen Truthuhn ausgegangen werden, dessen natürliches Habitat Steppen, Waldränder und lichte Wälder umfasst. Mutmaßlich haben Tiere, die ein Habitat mit Blätterdach bevorzugen, andere Anforderungen an Lichtquellen als Tiere, die bevorzugt „unter freiem Himmel“ leben. Demnach sollte eine speziesdifferenzierte Ausleuchtung des Stalles, wahrscheinlich sogar differenziert nach Funktionsbereichen, erfolgen. Die vorliegenden Ergebnisse der Tageslichtmessung können zur Entwicklung von Leuchtmitteln, die ein tageslichtähnliches Spektrum für Nutzgeflügel erfüllen, herangezogen werden. Die Überprüfung der These bezüglich der differenzierten Ansprüche der Tiere an die Ausleuchtung ihrer Umwelt bedarf weiterer Studien.

Schlüsselwörter: Lichtqualität, Wellenlängen, UV-A-Strahlung, relativer spektraler Hellempfindlichkeitsgrad

According to the Order on the Protection of Animals and the Keeping of Production Animals (§ 13 Abs. 3, § 18 Abs. 5), artificial light in poultry production systems needs to be as equivalent to natural light as possible. This practice raises the question how natural light is defined and how birds perceive their environment as birds' eyes have a different spectral sensitivity when compared to the human eye. Contrary to the bird's perception, the entire visual spectrum of a human being excludes the UV-A range, whereas ultraviolet wavelengths contribute to brightness perception in birds. It can be assumed that natural daylight corresponds most closely to the requirements of a bird. In this study the spectral

composition of daylight during the course of a year was determined from different measure points ("open air" and "under vegetation"). It was then compared to spectrophotometric measurement results taken in layer houses. These results allow an initial characterization of the spectrum and illustrate differences for different areas within the barn. These differences derive from the occurrence and absence of natural light sources. Under the influence of daylight the spectra are comparable to the 'open air' ones. The outdoor measurements show that daylight can be clearly defined, however, its composition varies depending on chosen measurement points due to the vegetation which acts as a filter. The natural habitats of productive poultry species vary. Chickens originally descends from South East Asian tropical and subtropical forests, whereas the original habitat of wild turkeys, are steppes, prairies and semi-open areas. Thus, animals preferring habitats shielded from light may have different requirements regarding light sources than animals favouring open air habitats. Therefore, a species specific illumination of the barn should be provided, supposedly even taking different functional areas within the barn into account. The results of the spectral analysis of daylight can be used for the development of daylight-like illuminants. The thesis of differentiated requirements needs further studies.

Keywords: light quality, wavelength, UV-A irradiation, spectral luminous efficiency

Einleitung

Das Licht als Teil des Stallklimas spielt in der Geflügelhaltung eine zentrale Rolle hinsichtlich des Auftretens von Verhaltensstörungen (Duncan und Hughes, 1975; Kjaer und Vestergaard, 1999; Savory, 1995; Kjaer und Sørensen, 2000). Vor dem Hintergrund des zukünftigen Verzichts auf das Schnabelkürzen, wird das Licht und die damit einhergehende Optimierung der Umweltbedingungen für das Nutzgeflügel weiter an Bedeutung gewinnen. Hierbei ist jedoch von Relevanz, dass sich das Vogelauge anatomisch und physiologisch grundsätzlich von dem Auge des Menschen unterscheidet (Reese et al., 2009) und demnach anthropozentrische Erkenntnisse sich nicht auf den Vogel übertragen lassen. Nach Lewis und Morris (2000) hat das Licht drei Effekte auf den Vogel. Erstens, es ermöglicht das Sehen von Bildern. 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. Zweitens beeinflusst das Licht endokrine Funktionen wie tagesabhängiges Verhalten. Das System zirkadianer Rhythmizität wird über den Nucleus suprachiasmaticus (SCN) des Hypothalamus, über die Zirbeldrüse (Glandula pinealis) sowie über die Retina mittels des Hormons Melatonin gesteuert. Die Glandula pinealis der Vögel ist, im Vergleich zum Säuger, autonom, da sie eigene Photorezeptoren sowie als Zeitgeber fungierende Zellen enthält (Natesan et al., 2002). Drittens beeinflusst das Licht den Hypothalamus und steuert die Ausschüttung von Sexualhormonen aus den Gonaden durch die Freisetzung des Gonadotropin-Releasing-Hormons (GnRH).

Das Licht kann auf der Grundlage verschiedener Eigenschaften beurteilt werden. Dazu werden sogenannte Strahlungsgrößen herangezogen, die von einer Vielzahl physikalischer und geometrischer Parameter abhängen. Sie lassen sich in radiometrische und photometrische (bzw. beziehen sich auf die menschliche Wahrnehmung) Parameter unterteilen und werden im Folgenden aufgeführt: Wellenlänge bzw. Photonenenergie, Gesamtstrahlungsleistung, Größe und Flächenverteilung (Inhomogenität) des Strahlungsfeldes, Richtungs- und Winkelverteilung sowie Zeit- und Frequenz-

verhalten (Bischoff und Metzdorf, 1996). Hinsichtlich der Wahrnehmung unterscheidet sich das Vogelauge von dem des Menschen in seiner spektralen Empfindlichkeit. Lewis und Morris (2006) verglichen dazu die Empfindlichkeiten von Hühnervögeln mit dem Menschen. Das menschliche Auge nimmt das Lichtspektrum in den drei Farbkanälen rot, blau und grün wahr, der Mensch sieht demnach trichromatisch. Der gesamte human sichtbare Bereich liegt zwischen 400 und 780 nm und schließt den UV-A-Bereich aus. Der für das Geflügel sichtbare Bereich beinhaltet auch einen Teil des ultravioletten Lichts (Hart et al., 1999; Prescott und Wathes, 1999; Barber et al., 2006; Lewis und Morris, 2006; Saunders et al., 2008). Der Vogel sieht demnach tetrachrom. Die Säugetiere verloren in einer frühen Evolutionsphase (Erdmittelalter) zwei der ursprünglich vier Zapfentypen vermutlich aufgrund ihrer vornehmlichen Nachtaktivität zum Schutz vor Fressfeinden (Dinosaurier). Durch eine Genverdoppelung entstand im weiteren Verlauf der Evolution bei den Primaten und somit auch beim Menschen ein neuer dritter Zapfentyp (Goldsmith, 2007).

Bezüglich der Grenze des Sehvermögens beim Vogel im UV-A-Bereich variieren die Literaturangaben. Nach Hart et al. (1999) sieht ein Huhn ab 330 nm, nach Prescott und Wathes (1999) ab 360 nm, nach Barber et al. (2006) sicher ab 360 nm und z. T. schon ab 326 nm, nach Lewis und Morris (2006) ab 350 nm und nach Saunders et al. (2008) ab 360 nm.

Die Angaben bezüglich der Absorptionsmaxima unterscheiden sich. Bei Puten geben Barber et al. (2006) folgende Absorptionsmaxima an: 570 nm (rot), 510 nm (grün), 480 nm (blaugrün), 450 nm (blau) und 370 nm (ultraviolett). Lind et al. (2013) ermittelten ein Absorptionsmaximum für das UV-Pigment beim Huhn von 418 nm und für Puten bei 420 nm.

Die Helligkeit und ihre photometrische Bewertung (z. B. in Lumen oder Lux) beziehen sich auf die spektrale Hellempfindlichkeit $V(\lambda)$ des menschlichen Auges. Zur spektralen Hellempfindlichkeit des Nutzgeflügels liegen Ergebnisse von Wortel et al. 1987, Prescott und Wathes 1999, Nuboer et al. (1992) sowie Saunders et al. (2008) vor. Von Lewis und Morris (2006) sind entsprechende $V(\lambda)$ -Werte veröffentlicht, die zur Umrechnung von der



ABBILDUNG 1: Standorte zur Erhebung der Messreihen: „Freier Himmel“, „Waldrand“, „Gebüsch“ und „Wald“ (v. l. n. r.).

radiometrischen Bestrahlungsstärke (W/m^2 und nm) in die Beleuchtungsstärke ($Lumen/m^2$) herangezogen werden können. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang häufig von „Galli-Lux“ gesprochen (Weise, 2007). Die Nutzung dieser Einheit bedarf der Klärung inwieweit sich die absolut wahrnehmbare Helligkeit zwischen Mensch und Vogel unterscheidet bzw. inwieweit die Grenzen zwischen photopischem und skotopischem Sehen erfasst werden können.

Im Rahmen der Farbwahrnehmung ist vom sogenannten Falschfarbsehen auszugehen, wenn unter Kunstlichtbedingungen ein Wellenlängenbereich z. B. der UV-Bereich nicht emittiert wird (Steigerwald, 2006).

Für die Haltung von Geflügel in Stallgebäuden wird in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzTV, 2006) ausgeführt:

Es ist vom Tierhalter zu gewährleisten, dass „die tägliche Beleuchtungsintensität und [...] bei Tieren, die in Ställen untergebracht sind, für die Deckung der ihrer Art entsprechenden Bedürfnisse ausreichen und bei hierfür unzureichendem natürlichen Lichteinfall der Stall entsprechend künstlich beleuchtet wird, wobei bei Geflügel das künstliche Licht flackerfrei entsprechend dem tierartspezifischen Wahrnehmungsvermögen sein muss“ (§ 4 Abs. 1 Nr. 9 TierSchNutzTV, 2006). Auf

dieser Vorgabe beruht das Merkblatt „Anforderungen an Kunstlicht in Geflügel haltenden Betrieben“ des Niedersächsischen Landesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES). Unter Berücksichtigung der geflügelspezifischen Wahrnehmung werden zwei zentrale Anforderungen an die Beleuchtung gestellt (LAVES, 2013):

Die Frequenz des Kunstlichtes muss über 160 Hz liegen (= Flackerfreiheit).

Das Farbspektrum sollte ausgewogen sein und einen UV-Anteil enthalten (Vollspektrum).

Die Herstellung von Flackerfreiheit ist technisch lösbar. Die Forderung „eine dem natürlichen Licht so weit wie möglich entsprechende künstliche Beleuchtung“ nach § 13 Abs. 3 bzw. § 18 Abs. 5 der TierSchNutzTV sicherzustellen, wirft die Frage auf, wie natürliches Licht oder das sogenannte Vollspektrum definiert ist. Außerdem ist zu klären wie hoch der UV-A-Anteil am Spektrum sein muss, sodass der Vogel die Umwelt „natürlich“ wahrnimmt. Weiterhin sind spezies-spezifische Unterschiede hinsichtlich der Ansprüche an „natürliches“ Licht zu erwarten. Lebewesen bevorzugen ein bestimmtes Habitat. Dieses Habitat ist u. a. durch besondere Lichtverhältnisse charakterisiert, was in der Natur durch besondere Standorte, z. B. Wüste oder Dschungel, deutlich

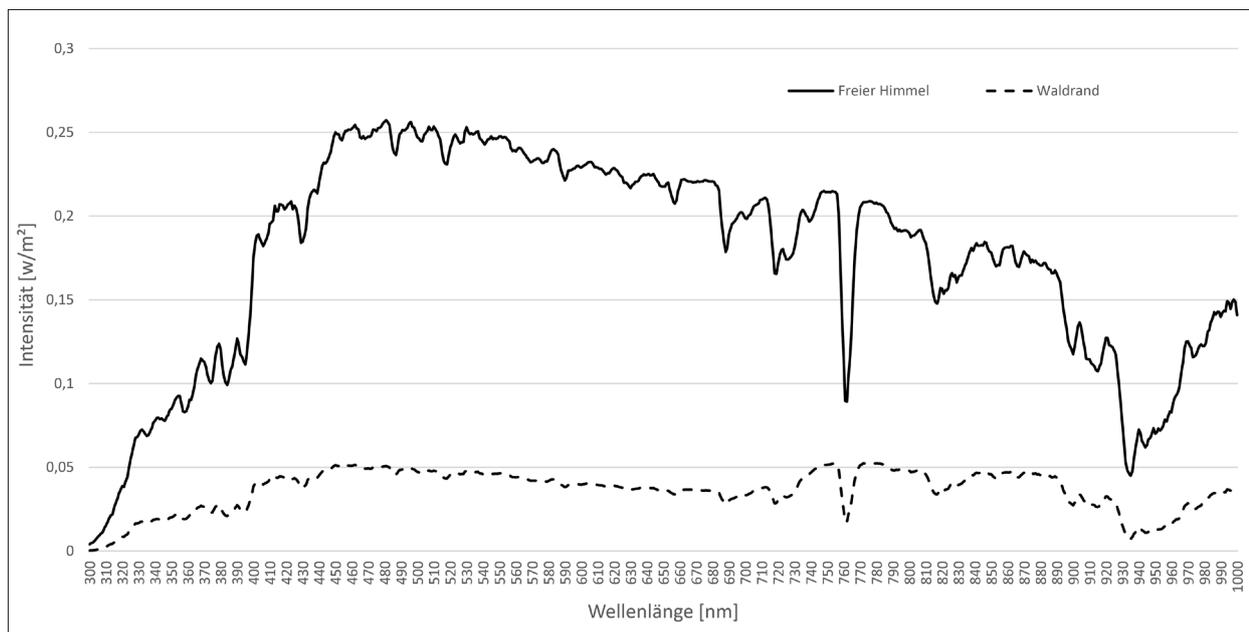


ABBILDUNG 2: Tagesmittelwerte der spektralen Verteilung unter freiem Himmel ($n = 149$) und am Waldrand ($n = 148$).

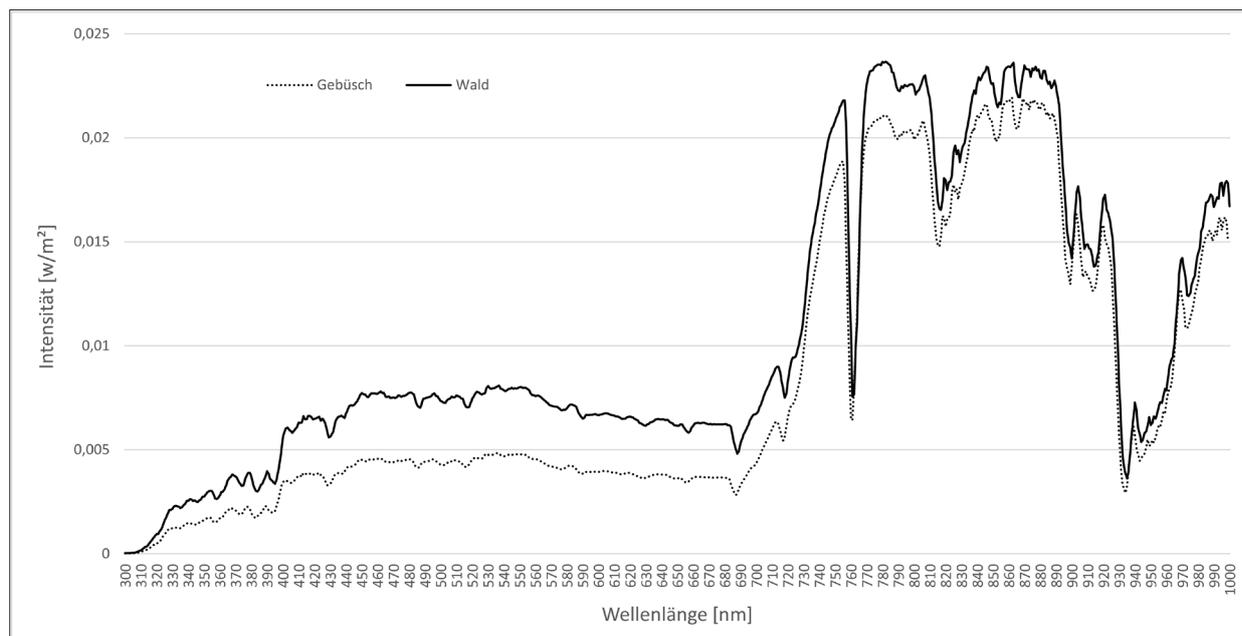


ABBILDUNG 3: Tagesmittelwerte der spektralen Verteilung im Gebüsch ($n = 146$) und im Wald ($n = 146$).

wird. Unter natürlichen Verhältnissen trifft das gesamte Lichtwellenspektrum auf den Organismus, allerdings an bestimmten Standorten mehr oder weniger gefiltert. Am Äquator unter freiem Himmel trifft das Lichtwellenspektrum mit sehr geringer Filterung auf, besonders wenn die Sonne im Zenit steht, während es im Dschungel unter dem geschlossenen Blätterdach zu einer sehr starken Filterung kommt. Wenn eine Lichtquelle dem „natürlichen Licht“ oder „Vollspektrum“ entsprechen soll, muss das Licht zum einen das vom Tier bevorzugte Habitat farblich (weitestgehend) abbilden und zum anderen den Wellenlängen entsprechen (spektrale Empfindlichkeit), die das Tier wahrnehmen kann. Entsprechend des ursprünglichen Habitats unserer domestizierten Hühner (tropische und subtropische Wälder; Appleby et al., 2004) und Puten (Prärien, Steppen und Waldrandgebiete; Crawford, 1992) ist anzunehmen, dass diese unterschiedliche Ansprüche an künstliche Lichtquellen stellen.

Da davon auszugehen ist, dass natürliches Tageslicht den Ansprüchen der Vögel am ehesten entspricht, sollte in der vorliegenden Studie in einem ersten Schritt die Zusammensetzung des Tageslichtes im Jahresverlauf an verschiedenen Standorten in Osnabrück ermittelt werden, um eine Referenz zur Beurteilung von „künstlichem Licht“ zu beschreiben. Hierdurch soll unter anderem die Frage nach dem notwendigen Anteil an UV-A-Licht am Spektrum des Kunstlichtes beantwortet werden. Um einen ersten Vergleich der Zusammensetzung des natürlichen Lichts mit der Zusammensetzung des Lichtes in einer Stallhaltung anstellen zu können, wurden in einem zweiten Schritt spektralradiometrische Messungen in einem üblichen Legehennenstall durchgeführt.

Material und Methoden

Im Zeitraum von Juni 2014 bis Mai 2015 wurde die optische Strahlung mittels Spektrometer (X4 Light Analyzer; Fa. Gigahertz-Optik, D) erfasst. Das Spektrome-

ter ist innerhalb des Wellenlängenbereichs von 300 bis 1050 nm kalibriert. Die Toleranz der Werkskalibrierung der drei verbauten Sensoren beträgt für den UV-A-Bereich 4,2 %. Für den VIS (visuellen) Bereich 3,2 % und im Infrarotbereich 4,2 %. Es wurden Messungen an folgenden Standorten durchgeführt (Abb. 1):

- Freier Himmel (keine Störungen durch z. B. Gebäude/Bäume)
- Waldrand (Einflüsse durch Bäume/Baumkronen)
- Gebüsch (Einflüsse durch niedrige Gewächse)
- Wald (keine direkte Lichteinstrahlung bei Belaubung)

Die Standorte wurden unter dem Aspekt möglicher Habitatsansprüche von Puten und Hühnern gewählt.

Die Messungen erfolgten auf einer Höhe von 40 cm über dem Boden (entspricht Tierhöhe). Alle Messungen erfolgten in 90° lotrecht, da je nach Wetterlage eine genaue Ausrichtung nach dem Sonnenstand nicht möglich war. Die eingesetzte Streuscheibe im Messkopf des Spektrometers erfasst ± 85 Grad. Das Tageslicht wurde an zwei Tagen des jeweiligen Monats, im Abstand von etwa vier Wochen, bei allen Wetterbedingungen, außer bei starkem Regen, erfasst. Die Messreihen an den Untersuchungstagen erfolgten im Zweistundentakt, jeweils zur vollen Stunde im Zeitraum von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr. Je nach Tageslänge konnten bis zu acht Messpunkte pro Tag ermittelt werden. Bei kürzerer Tageslänge wurden dementsprechend weniger Messpunkte ermittelt.

Im Legehennenstall wurden an sieben Messtagen (vom 31.10.2014 bis 11.5.2015) Spektrometer-Messungen in zwei Bereichen des Stalls durchgeführt, die sich durch den mehr oder weniger vorhandenen Einfluss von Tageslicht in Kombination zu den künstlichen Lichtquellen voneinander unterschieden. Die Bedingungen der Messungen entsprachen dabei denen der Tageslichtmessungen (Ausrichtung des Messkopfes in 90° lotrecht und in einer Höhe von 40 cm). An jedem Messtag wurden je zehn Messungen in zwei Bereichen (Fenster und Stallmitte) durchgeführt. Der Stall wurde mit neuen

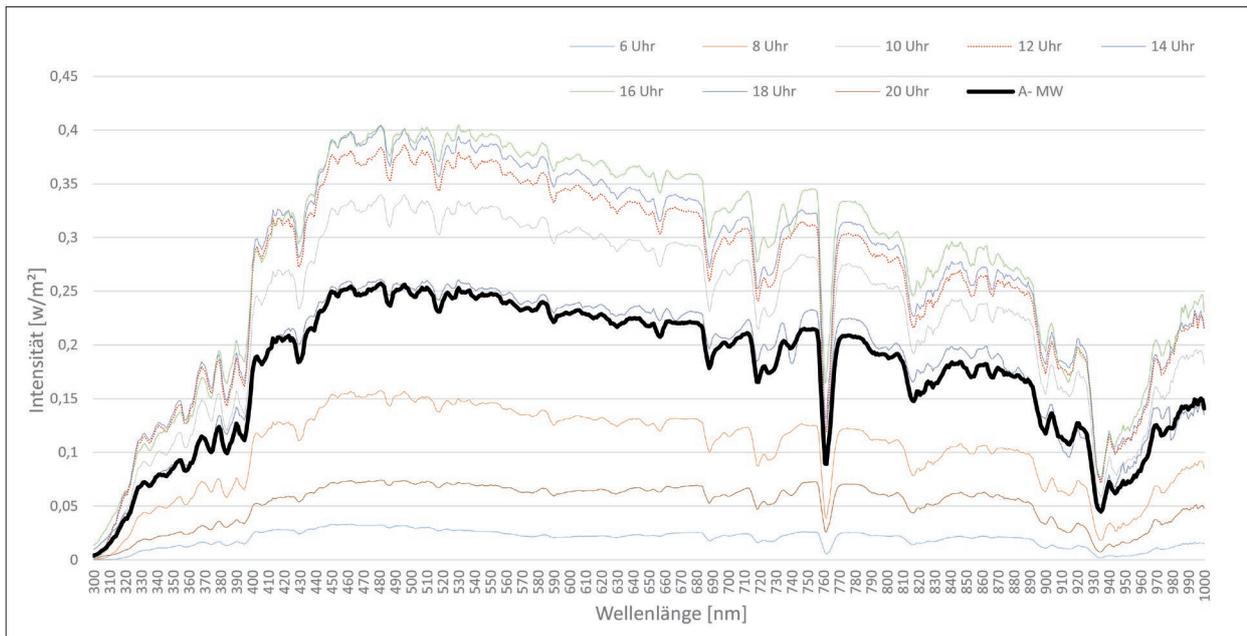


ABBILDUNG 4: Mittelwerte der Spektren aller Messtage in Abhängigkeit von der Uhrzeit am Standort „Freier Himmel“ (n = 149).

Leuchtstofflampen (Osram 830, 100 Stunden eingebrannt) künstlich ausgeleuchtet. Diese Art der Ausleuchtung ist in Legehennenställen häufig anzutreffen und eignet sich somit besonders, um einen Vergleich der spektralen Zusammensetzung zwischen Tageslicht und üblichem Stalllicht vornehmen zu können. Im Modellbetrieb wurden Hennen der Genetik Lohmann Brown in Bodenhaltung mit Volierensystem gehalten.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Tageslichtmessungen und der Messungen im Stall vorgestellt. Die Darstellungen zeigen für das Tageslicht die radiometrische Bestrahlungsstärke pro Wellenlänge, die an den einzelnen Standorten ermittelt werden konnte, die spektrale Verteilung im sichtbaren Bereich – exemplarisch für die Standorte „Freier Himmel“ und „Waldrand“ sowie den prozentualen UV-A-Anteil am Gesamtspektrum – unter Aufschlüsselung aller Standorte. Die Ergebnisse der

TABELLE 1: Mittelwerte der Bestrahlungsstärke (in W/m^2 der Σ 300–1000 nm) in Abhängigkeit von Uhrzeit und Messort sowie Mittelwerte und Min.- und Max.-Werte der radiometrischen Strahlung über alle Messzeitpunkte und Messtagen hinweg

Uhrzeit	Freier Himmel	Waldrand	Gebüsch	Wald
6:00	13,8	5,9	1,1	1,4
8:00	72,1	19,1	2,9	3,7
10:00	162,2	43,1	23,2	20,7
12:00	184	83,6	25,1	28,6
14:00	190,8	43,0	9,2	11,5
16:00	197,9	65,4	20,9	20,9
18:00	129,2	39,2	7,4	8,2
20:00	36,5	9,9	2,3	1,8
MW	123,3	38,6	11,5	12,1
(Min.–Max.)	(13,8–197,9)	(5,9–83,6)	(1,1–25,1)	(1,4–28,6)

Stallmessungen beinhalten die spektrale Verteilung im sichtbaren Bereich sowie den prozentualen UV-A-Anteil an dem für den Vogel sichtbaren Bereich des Spektrums.

Spektren unter freiem Himmel, Waldrand, Gebüsch und Wald

Die Spektren der verschiedenen Standorte lassen sich grundsätzlich in zwei Bereiche einteilen. Die Zusammensetzung des Lichtes an den Standorten „Freier Himmel“/„Waldrand“ (Abb. 2) einerseits bzw. „Gebüsch“/„Wald“ (Abb. 3) andererseits ähneln sich jeweils. Die Filtereigenschaften der Vegetation sowie deren Wirkung auf das Wellenlängenspektrum mit einer relativen Verschiebung der Wellenlängen > 680 nm werden deutlich.

Die Helligkeit bzw. die Bestrahlungsstärke in W/m^2 (Y-Achsen) unterscheidet sich innerhalb der beiden Abbildungen um eine Zehnerpotenz.

Je nach Standort und Uhrzeit variiert die Helligkeit erheblich. Auch diesbezüglich wird die große Bedeutung der Vegetation deutlich. Unter freiem Himmel ist es ab 8:00 Uhr zu jeder Uhrzeit um ein Vielfaches heller als im Wald – siehe Tabelle 1.

Um die Schwankungen innerhalb der Tageszeit besser erfassen zu können, wird im Folgenden die Tabelle 1 durch Abbildung 4 ergänzt, die Mittelwerte aller Messtage für die entsprechenden Messzeitpunkte pro Wellenlänge (exemplarisch für den Standort „Freier Himmel“) darstellt. Die Kurvenverläufe sind vergleichbar, unterscheiden sich jedoch im Ausmaß der Peaks bzw. in der Intensität der radiometrischen Bestrahlungsstärke pro Wellenlänge. Der Mittelwert über alle Uhrzeiten (in der Abbildung 4 mit A-MW gekennzeichnet) gleicht der Helligkeit der im Mittel erhobenen Daten von 18:00 Uhr.

Mit dem Ziel „natürliches“ bzw. „Tageslicht“ in Werte zu fassen, werden in den folgenden Abbildungen 5 bis 8 die prozentualen Anteile der Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichtes dargestellt. Dabei sind die Wellenlängenbereiche in die Spektralfarben unterteilt. Die Betrachtung der Anteile nach Wellenlängen in für den Menschen sichtbare Farben hat den Vorteil der leicht-

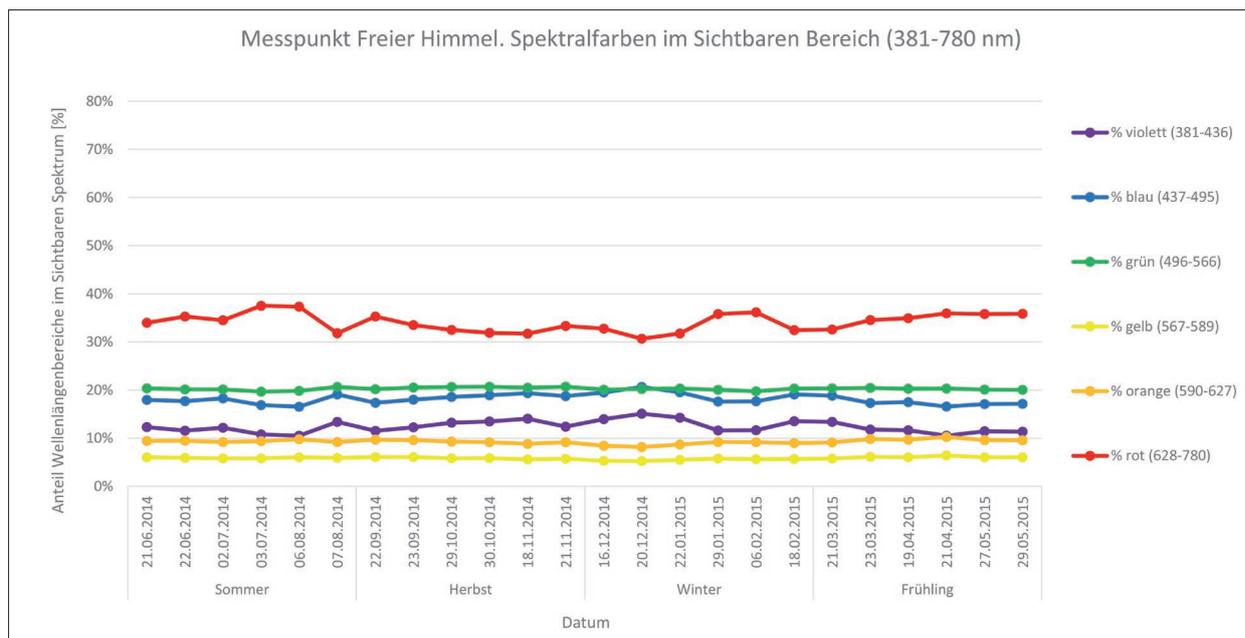


ABBILDUNG 5: Standort „Freier Himmel“, Darstellung der prozentualen Anteile im Licht nach Farben (100 % = 381–780 nm).

teren Veranschaulichung. Dabei ist zu beachten, dass der Umfang der ausgewerteten Bereiche nicht einheitlich ist. Die für den Mensch definierte Farbe Gelb beispielsweise umfasst nur 22 nm (von 567–589) während die für den Mensch definierte Farbe Rot 152 nm (628–780 nm) umfasst. Die verschiedenen Abbildungen zeigen aufgrund dessen, im Vergleich zum Anteil der übrigen Spektralfarben, immer einen höheren Anteil an rotem Licht. Aufgrund der Ähnlichkeiten der Ergebnisse, die für die Standorte „Freier Himmel“ und „Waldrand“ sowie „Gebüsch“ und „Wald“ ermittelt werden konnten, werden in den folgenden Abbildungen lediglich die Standorte „Freier Himmel“ und „Wald“ miteinander verglichen.

Spektralfarben im sichtbaren Bereich bezogen auf die Messtage

Wird der Anteil der einzelnen Spektralfarben am sichtbaren „weißen Licht“ betrachtet, „VIS“ (381–780 nm), dann wird deutlich, dass die Jahreszeit oder das Wetter unter „freiem Himmel“ einen sehr geringen Einfluss auf die prozentualen Farbanteile hat. Lediglich im roten ($SD \pm 0,02$), blauen ($SD \pm 0,01$) und violetten Wellenlängenbereich ($SD \pm 0,01$) treten geringe Schwankungen auf (Abb. 5).

Hingegen wird am Messstandort „Wald“ der Einfluss der Jahreszeit, bzw. des Laubdaches sehr deutlich (Abb. 6). Im Winterhalbjahr werden im „Wald“ fast identische Werte gemessen wie unter „freiem Himmel“. Im Sommerhalbjahr wird der hohe Anteil (am 3.7.2014 > 70 %) ...

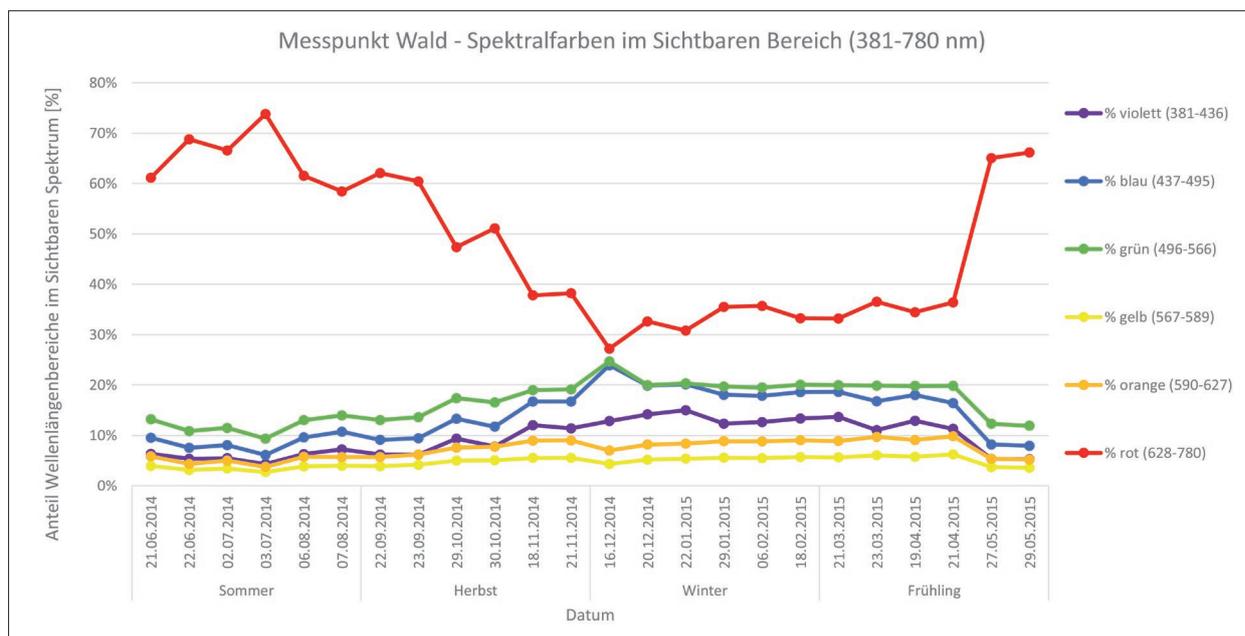


ABBILDUNG 6: Standort „Wald“, Darstellung der prozentualen Anteile im Licht nach Farben (100 % = 381–780 nm).

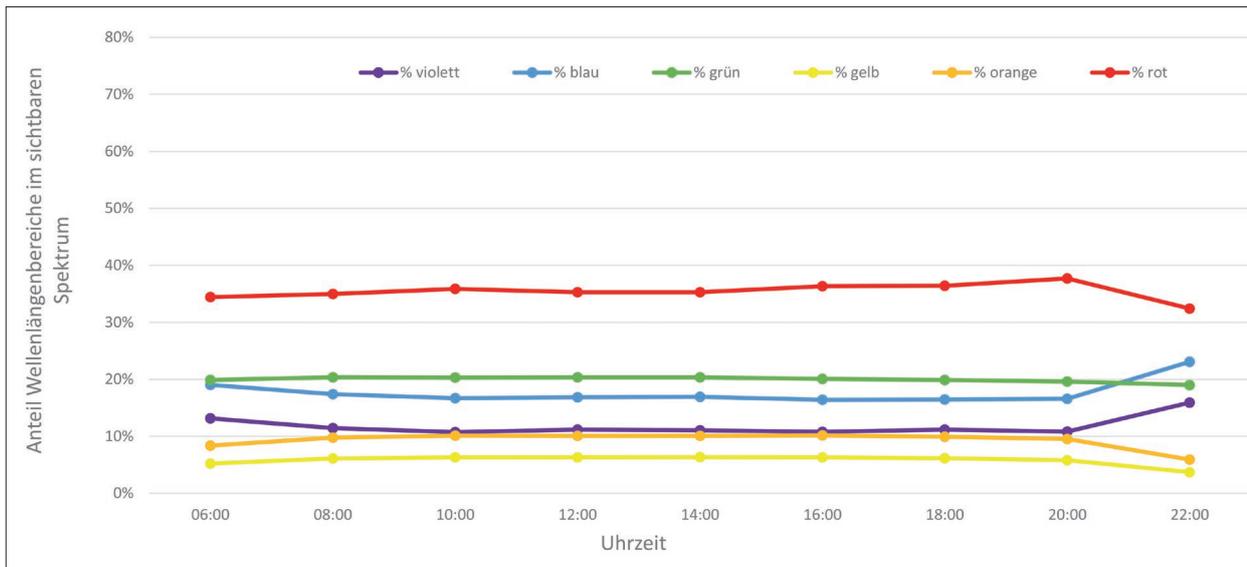


ABBILDUNG 7: Spektralfarben-Anteile (%) aus den Mittelwerten aller Messtage für den Standort „Freier Himmel“, gegliedert nach Messzeitpunkten (Tageszeit).

der Wellenlängen, die dem Farbton Rot entsprechen, deutlich.

Die Mittelwerte, Minimal-Werte und Maximal-Werte, die aus den Messwerten der einzelnen Spektralfarben für alle Standorte errechnet wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Werte, angegeben in Prozent, basieren auf der gemessenen Bestrahlungsstärke (z. B. Violett = Summe zwischen 381–436 nm [in w/m²] im Verhältnis zum sichtbaren Licht. 100 % = 381–780 nm [in w/m²]).

Spektralfarben im sichtbaren Bereich, bezogen auf die Messzeitpunkte bzw. Uhrzeiten

Für die folgenden Darstellungen (Abb. 7 und 8) wurden die Mittelwerte aller Daten der einzelnen Messzeitpunkte bzw. Uhrzeiten herangezogen. Aufgrund der jahreszeitlich unterschiedlichen Tageslängen konnten keine 22:00 Uhr-Werte für den Standort „Wald“ ermittelt werden.

In Abbildung 7 zeigt sich, dass die Spektralfarbe Rot den größten prozentualen Anteil am Tageslicht ausmacht. Die prozentualen Anteile der Spektralfarben violett und blau sind am ersten Messzeitpunkt (6:00 Uhr) 2–3 % höher als an den übrigen Zeitpunkten und

steigen zum letzten Messzeitpunkt (22:00 Uhr, Dämmerung) wieder um 5–7 % an. Für die Spektralfarben Rot, Orange, Gelb und Grün konnten hingegen zu den Messzeitpunkten 6:00 Uhr und 22:00 Uhr niedrigere Werte als zu den übrigen Messzeitpunkten ermittelt werden. Um 6:00 Uhr sind die Werte bei allen Farben 1–2 % niedriger als zu den späteren Messzeitpunkten. Der Anteil der Spektralfarbe Rot sinkt zum letzten Messzeitpunkt (22:00 Uhr) mit ca. 8 % am stärksten (zum Teil mit Dämmerung).

Für den prozentualen Anteil der Spektralfarbe Rot konnten auch am Standort Wald (Abb. 8) die höchsten Werte ermittelt werden. Die Kurve der Spektralfarbe Rot zeigt sich im Verlauf inhomogen. Auffällig ist der hohe Anteil an rotem Licht am ersten Messzeitpunkt (6:00 Uhr) mit ca. 72 %. Die Kurve zeigt über den Vormittag einen depressiven Verlauf und steigt ab 12:00 Uhr stetig (von ca. 38 % bis auf über 50 % um 20:00 Uhr).

UV-A-Anteil in Abhängigkeit von Ort und Messtag sowie Uhrzeit

Da Geflügel grundsätzlich eine UV-A-Sensitivität aufweist, bezieht sich der folgende Teil der Ergebnisse auf den UV-A-Anteil des Tageslichtes für die verschiedenen Standorte. Die Ergebnisse beinhalten den gesamten UV-A-Anteil (315–380 nm) und berücksichtigen dabei nicht die in der Literatur beschriebenen UV-Perzeptionen des Geflügels, die je nach Studie variieren.

Wird der prozentuale UV-A-Anteil (315–380 nm) des Tageslichtes (100 % = 315–780 nm) an den verschiedenen Standorten betrachtet, dann zeichnet sich der freie Himmel und der Waldrand durch einen relativ konstanten UV-A-Anteil von ca. 6,5 % am Gesamtspektrum aus, unabhängig von der Jahreszeit.

Wald und Gebüsch unterliegen auch bezüglich UV-A der Filterwirkung der Vegetation. Im Sommer beträgt der UV-A-Anteil am Lichtspektrum im Wald etwa die Hälfte des unter freiem Himmel gemessenen UV-A-Anteils. Der UV-A-Anteil sinkt sprunghaft zum Zeitpunkt des Blätteraustriebs im Frühjahr (zwischen 21.4.2015 und 27.5.2015) um ca. 5 %. In dem Maße, wie das Laub im Herbst fällt, kommt es zum stetigen Anstieg des UV-A-

TABELLE 2: Jahresmittelwerte (und Min.–Max.) der prozentualen Anteile je Farbbereich nach Standorten (100 % = 381–780 nm)

Anteil je Farbbereich		Freier Himmel	Waldrand	Gebüsch	Wald
% violett	\bar{x}	12,4	12,6	8,2	9,5
	(Min.–Max.)	10,5–15,1	10,5–15,7	1,6–14,6	4,3–15,0
% blau	\bar{x}	18,2	18,4	11,9	13,9
	(Min.–Max.)	16,5–20,7	15,8–24,0	2,8–19,7	6,1–23,9
% grün	\bar{x}	20,3	19,9	14,4	16,6
	(Min.–Max.)	19,7–20,7	18,6–21,2	5,4–20	9,4–24,7
% gelb	\bar{x}	5,8	5,6	4,1	4,7
	(Min.–Max.)	5,2–6,4	4,7–6,2	1,6–5,8	2,7–6,3
% orange	\bar{x}	9,3	8,7	6,3	7,2
	(Min.–Max.)	8,2–10,3	6,9–9,7	2,1–9,3	3,7–9,8
% rot	\bar{x}	34,1	34,8	55,1	48,1
	(Min.–Max.)	30,7–37,5	29,2–40,7	31,9–86,5	27,2–73,8

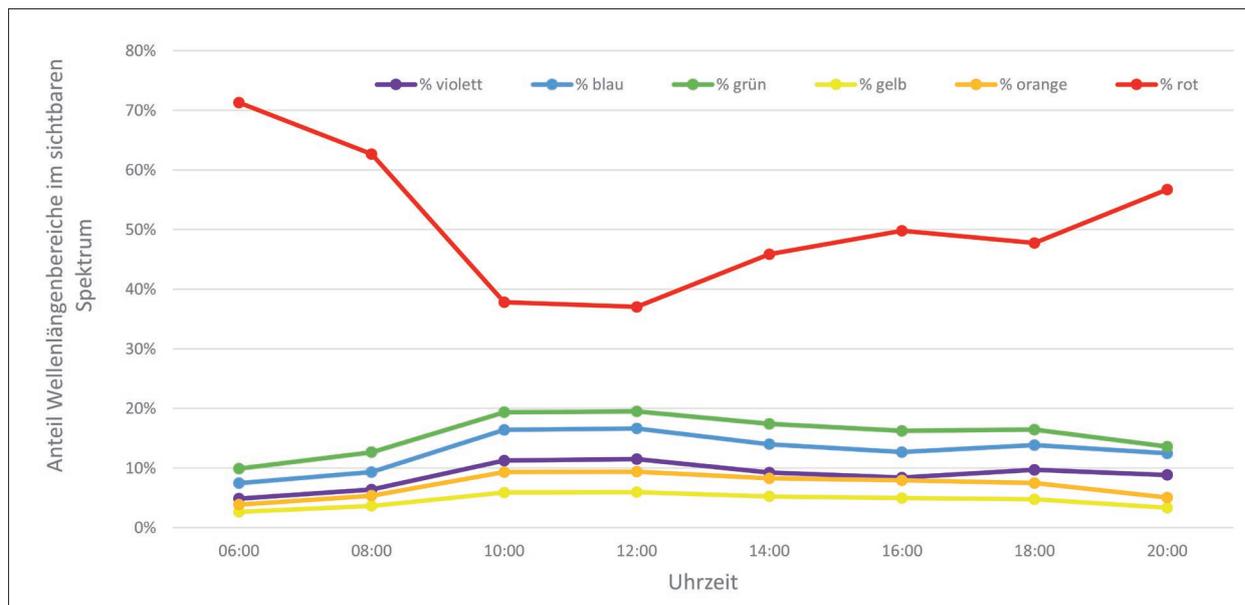


ABBILDUNG 8: Spektralfarben-Anteile (%) aus den Mittelwerten aller Messstage für den Standort „Wald“, gegliedert nach Messzeitpunkten bzw. Uhrzeiten.

Anteils, bis in den Wintermonaten keine Unterschiede zwischen den Standorten mehr messbar sind (Abb. 9).

Die Mittelwerte, die der Abbildung 9 zugrunde liegen, sowie die entsprechenden Minimal- und Maximalwerte der Messstage für die einzelnen Standorte sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Wird der prozentuale UV-A-Anteil bezogen auf die Messzeitpunkte (Abb. 10) betrachtet, sind ebenfalls Ähnlichkeiten für die Standorte „Freier Himmel“/ „Waldrand“ bzw. „Gebüsch“/ „Wald“ erkennbar.

Besonders in den Morgenstunden unterscheiden sich die UV-A-Anteile für die Standorte mit und ohne Vegetationseinfluss. Der prozentuale UV-A-Anteil am Standort „Freier Himmel“ ist am ersten Messzeitpunkt (6:00 Uhr) im Mittel bis zu 1 % höher als an den übrigen Zeitpunkten und steigt zum letzten Messzeitpunkt (22:00 Uhr) um ca. 2 % an. Für den Standort „Waldrand“ konnten um 8:00 Uhr mit über 8 % und um 20:00 Uhr mit ca. 7 % die höchsten UV-A-Anteile gemessen werden. Die Standorte „Gebüsch“ und „Wald“ zeigen die höchsten UV-A-Anteile um 12:00 Uhr mit über 6 %.

Zusammensetzung des Lichtes im Stall

Die folgenden Abbildungen 11 und 12 verdeutlichen die Unterschiede in der Zusammensetzung des sichtbaren Lichtes je nach Messpunkt in einem strukturierten Stall. Der Einfluss von Tageslicht (Abb. 11) spiegelt annähernd die spektrale Verteilung des Tageslichtes unter freiem Himmel (Abb. 5 und 7) wider. Dabei ist zu beachten, dass die Fenster ab dem Zeitpunkt der sechsten Messung (27.4.2015) aufgrund von zunehmendem Federpicken verdunkelt wurden und somit nur noch das Spektrum der künstlichen Lichtquelle gemessen wurde. Im Gegensatz zu den übrigen Spektralfarben zeigen die Spektralfarben Rot und Orange unter Tageslichteinfluss keinen steten Verlauf sondern moderate Schwankungen (bis zu 7 %). Ab dem Zeitpunkt der Verdunkelung entsprechen die Anteile der Spektralfarben annähernd denen in Stallmitte (Abb. 12).

Die Verteilung der Spektralfarben im Bereich der Stallmitte liefert ein homogenes Bild. Für die Spektralfarbe

Orange konnten mit > 35 % die höchsten prozentualen Anteile ermittelt werden.

Je nach Messpunkt unterscheiden sich die prozentualen UV-A-Anteile am Gesamtspektrum im Stall. Am Messpunkt „Fenster“ konnten, unter Einfluss von Tageslicht, Anteile von ca. 2 % ermittelt werden, während am Messpunkt „Stallmitte“ nahezu kein Anteil an UV-A gemessen werden konnte. Ab dem Zeitpunkt der Verdunkelung konnten für beide Standorte (im Legehenestall an der Fensterseite und in der Stallmitte) ähnliche UV-A-Anteile (< 0,3 %) ermittelt werden (Abb. 13).

Diskussion

Licht wird von Vögeln und Menschen unterschiedlich wahrgenommen, da die spektrale Empfindlichkeit je Wellenlänge deutliche Speziesunterschiede aufweist. Vögel können im Gegensatz zum Menschen im UV-A-Bereich sehen. Ein Vergleich der absolut wahrnehmbaren Helligkeit zwischen Mensch und Geflügel ist derzeit kaum möglich. Daher sind Messgrößen, die sich auf die menschliche Wahrnehmungsfähigkeit ohne Beachtung des UV-Anteils stützen, wie z. B. Lux, für die Einschätzung der Wahrnehmungsfähigkeit der Vögel nur bedingt geeignet. Zur Einschätzung der Lichtverhältnisse für Vögel muss eine Messtechnik eingesetzt werden, die die

TABELLE 3: UV-A-Anteil (315–380 nm) in % der einzelnen Standorte, gegliedert nach Jahreszeiten

Jahreszeit		Freier Himmel	Waldrand	Gebüsch	Wald
Frühling	\bar{x}	6,24	6,69	5,05	5,61
	Min.–Max.	5,55–7,20	6,01–7,72	0,89–7,73	3,03–7,63
Sommer	\bar{x}	6,31	6,95	1,20	3,13
	Min.–Max.	5,49–7,38	5,8–8,53	0,54–1,82	2,64–3,34
Herbst	\bar{x}	7,07	6,53	4,42	4,44
	Min.–Max.	6,12–7,76	5,68–7,43	2,87–6,25	3,01–5,84
Winter	\bar{x}	6,96	6,54	6,71	6,70
	Min.–Max.	5,61–7,91	4,93–8,55	5,71–7,86	4,43–8,17

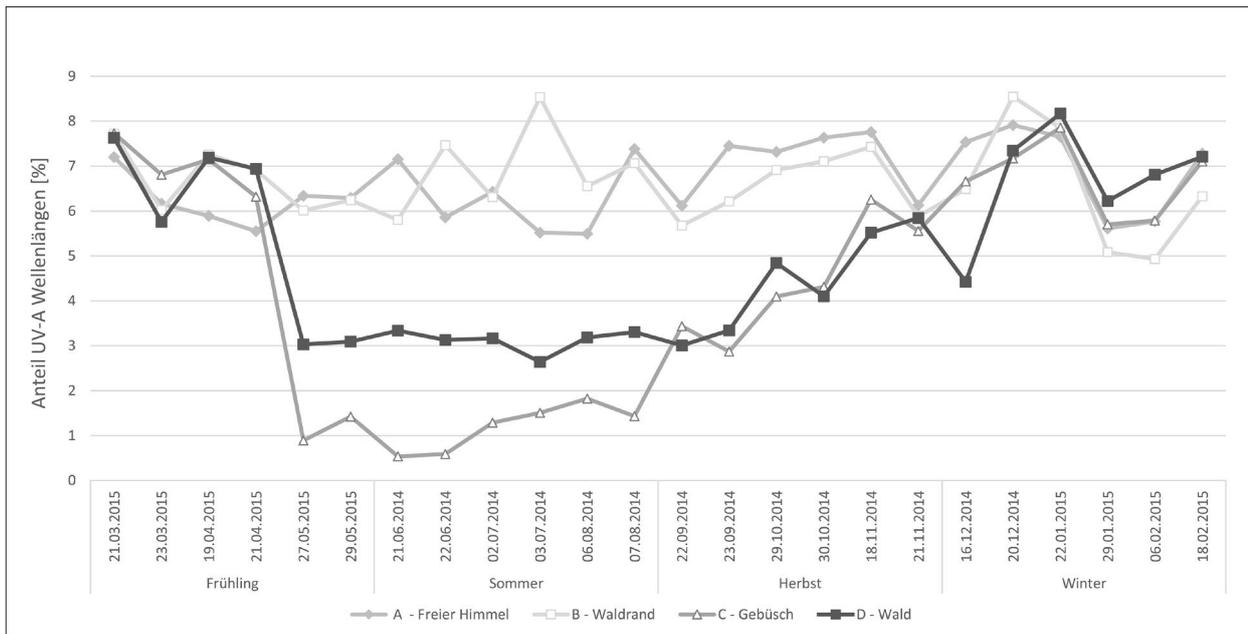


ABBILDUNG 9: UV-A-Anteil (315–380 nm) in Abhängigkeit vom Messort und Messtag (100 % = 315–780 nm/n = 597).

spektrale Empfindlichkeit des Geflügels berücksichtigt und die Helligkeit in einer Messgröße wiedergibt, die den UV-A-Bereich mit erfasst, wie beispielsweise „Gallilux“.

Die Zusammensetzung natürlichen Lichtes wird durch Faktoren wie den Standort (freier Himmel oder Wald) und den Sonnenstand (Uhrzeit und Jahreszeit) beeinflusst. Somit kann Licht von Lebewesen als zeitliche und Habitat bezogene Orientierungshilfe genutzt werden.

Die erhebliche Filterung des Lichtes durch ein Blätterdach, bzw. dem Chlorophyll in den Blättern, wird durch die Verschiebung der prozentualen Spektralfarbenverteilung zu Gunsten der Farbe Rot deutlich. Bezogen auf die Messzeitpunkte zeigten sich ebenfalls Abweichungen im relativen Rot-Anteil für den Standort „Wald“. Während zur Mittagszeit der prozentuale Rotanteil dem des Standorts „Freier Himmel“ gleicht, zeigen sich insbesondere in den Morgenstunden, aber auch in den Abendstunden,

deutlich höhere Rot-Anteile. Ein schräger Einfallswinkel des Sonnenlichtes bedingt, dass das Licht einen größeren Anteil an Blättern und auch mehr Waldmasse durchdringen muss. Demnach wird das Licht vor und nach der Mittagszeit verstärkt von den Blättern gefiltert und von der Waldmasse gestreut. Da es sich bei der Darstellung der Ergebnisse um Mittelwerte für die einzelnen Uhrzeiten handelt, die an allen Messtagen ermittelt wurden, also auch die unbelaubten Monate miteinschließt, entspricht der Kurvenverlauf zur Mittagszeit (10:00 bis 12:00 Uhr) dem Kurvenverlauf der Mittelwerte aller Messtage für den Standort „Freier Himmel“.

Wird der prozentuale UV-A-Anteil bezogen auf die Messzeitpunkte betrachtet, sind ebenfalls Unterschiede für die Standorte „Freier Himmel“/ „Waldrand“ bzw. „Gebüsch“/ „Wald“ erkennbar. Besonders in den Morgenstunden sind die UV-A-Anteile für die Standorte „Freier Himmel“ und

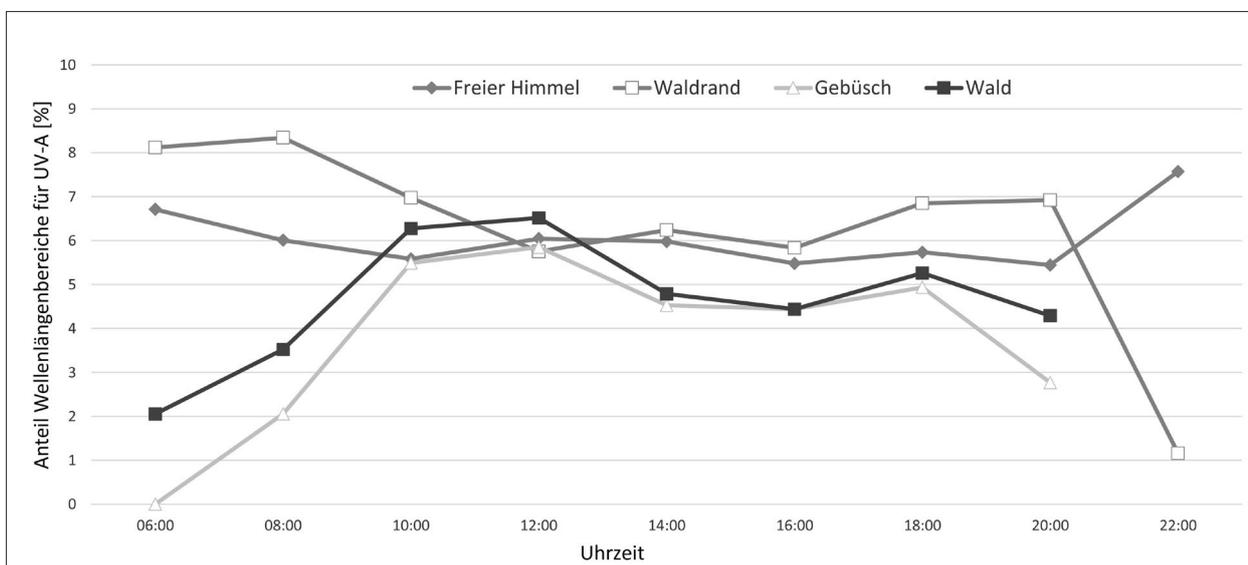


ABBILDUNG 10: UV-A-Anteil (315–380 nm) in % in Abhängigkeit vom Standort bzw. von den Uhrzeiten (100 % = 315–780 nm/n=597).

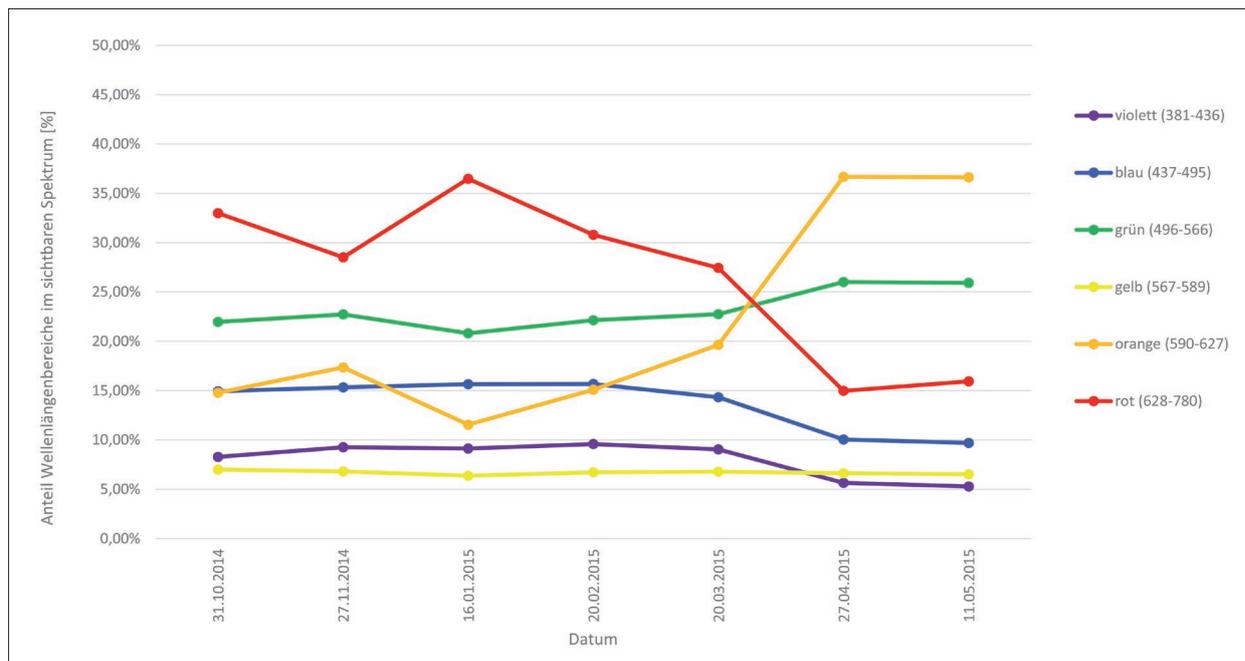


ABBILDUNG 11: Anteile je Farbbereich des sichtbaren Spektrum (100 % = 381–780 nm) an der Fensterseite eines Legehennenstalls.

„Waldrand“ höher als an den übrigen Messzeitpunkten bzw. Standorten. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür wäre die auch in der Literatur beschriebene Tatsache, dass kürzer welliges Licht an Luftmolekülen und Aerosolen der Erdatmosphäre stärker gestreut wird als langwelliges Licht (Leute, 2011; Ris, 2008). In der Dämmerung, also ohne sichtbare Sonneneinstrahlung, erreichen nicht alle Wellenlängen gleichermaßen den Boden. Das gemessene Licht besteht ausschließlich aus Streustrahlung. Je kurzwelliger die Strahlen, desto stärker werden sie gestreut. Aus diesem Grund kommen am Boden hauptsächlich kurzwellige Strahlen an. UV-Strahlen sind kurzwelliger als das sichtbare Licht, was den hohen Anteil an UV-A zu den Morgen- und Abendstunden erklären

könnte. Das gleiche Erklärungsmodell ist auch anwendbar zur Erläuterung der Mittelwerte aller Messstage für den Standort „Freier Himmel“, gegliedert nach Messzeitpunkten (Tageszeit), in der die kurzwelligen Lichtbereiche (violett und blau) zum Messzeitpunkt 6:00 Uhr um ca. 2 % und um 22:00 Uhr um ca. 5 % höher sind im Vergleich zu den übrigen Messzeitpunkten.

Die durchgeführten „Outdoor“-Messungen zeigen, dass sich das Tageslicht sehr gut charakterisieren lässt. Für die jeweiligen Standorte konnten dabei erhebliche Unterschiede in der Zusammensetzung des Lichtes festgestellt werden. Eine allgemein gültige Definition von Tageslicht ist nicht möglich. Die Definition von Tageslicht nach Standorten ist hingegen sehr wohl

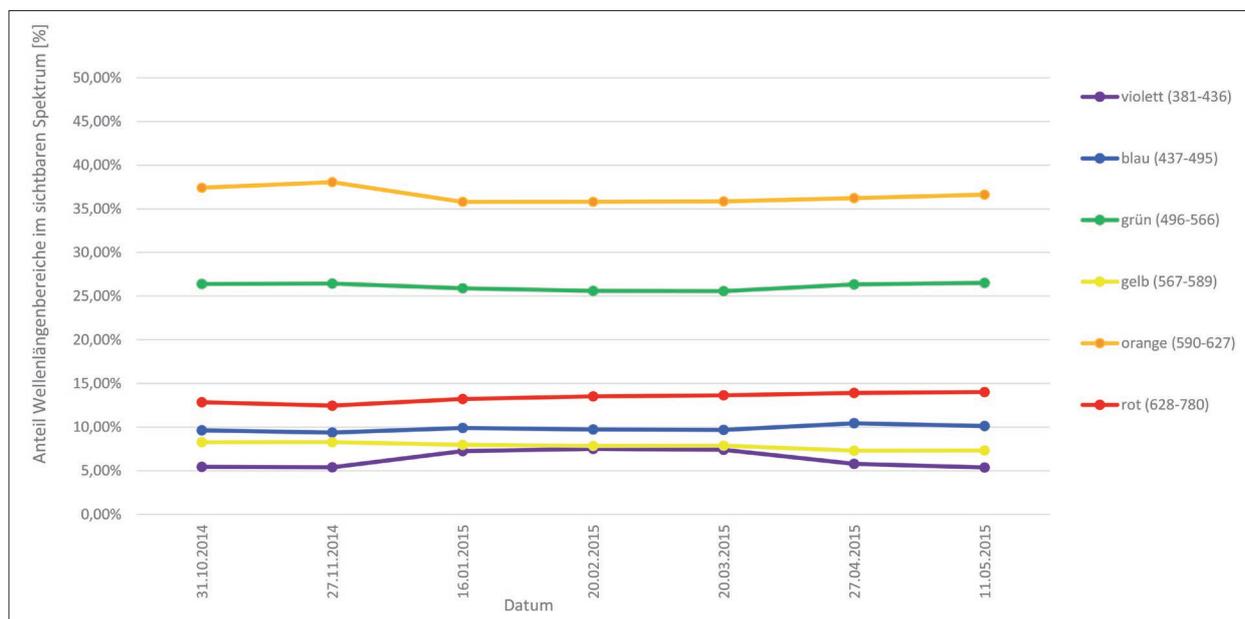


ABBILDUNG 12: Anteile je Farbbereich des sichtbaren Spektrums (100 % = 381–780 nm) in der Stallmitte eines Legehennenstalls.

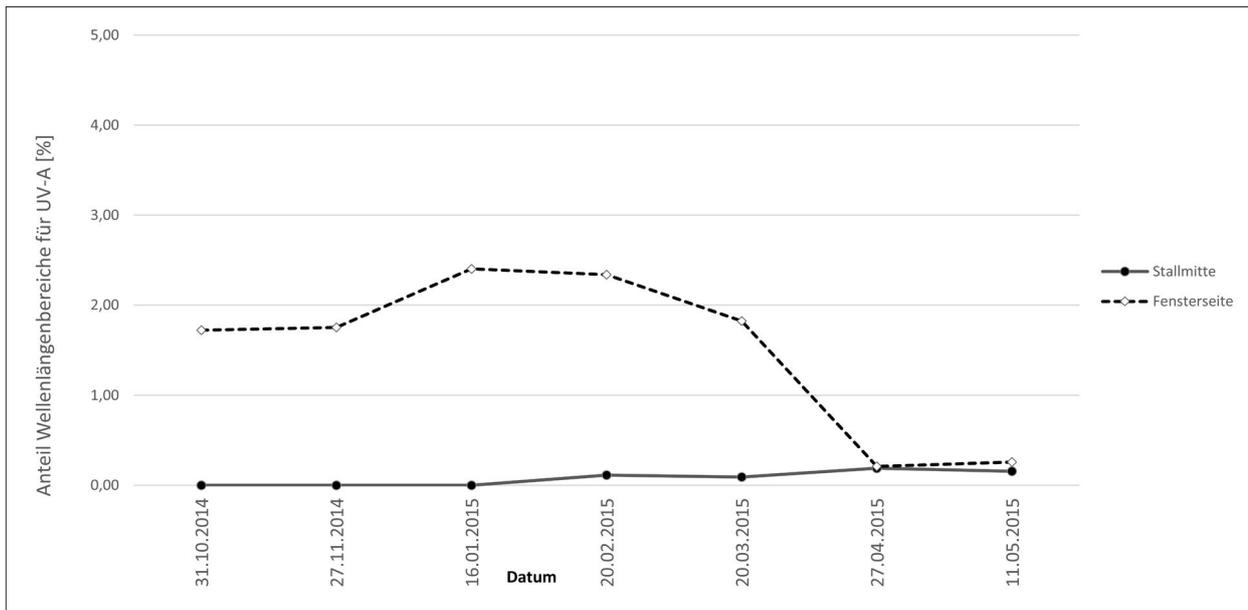


ABBILDUNG 13: UV-A-Anteile (315–380 nm) im Legehennenstall an der Fensterseite und in der Stallmitte (100 % = 315–780 nm).

möglich. Da Hühner ursprünglich in tropischen und subtropischen Wäldern Südasiens beheimatet sind, bevorzugen sie wahrscheinlich ein Spektrum, welches durch die Standorte „Gebüsch“ und „Wald“ dieser Studie abgebildet wird. Für Puten könnten die Spektren aller Standorte Gültigkeit haben, da das Habitat des süd-mexikanischen Truthuhns Steppen, Waldränder und lichte Wälder umfasst. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass sich die Anforderungen an das Licht nach Funktionskreisen unterscheiden – z. B. bei der Eiablage oder dem Ruheverhalten anders als beim Nahrungsaufnahmeverhalten oder Erkundungsverhalten.

Für die Beantwortung der Frage, wieviel UV-A-Anteil im sogenannten natürlichen Licht für Nutzgeflügel enthalten sein soll, ist wahrscheinlich ebenfalls eine differenzierte Betrachtung der Ergebnisse sowie der Spezies, unter Einbeziehung des jeweils natürlichen Habitats, notwendig. Betrachtet man das natürliche Habitat der Hühner, so entsprechen die dortigen Bedingungen am ehesten dem hiesigen Sommer an den Standorten „Gebüsch“ und „Wald“. Daher dürften die Jahresmittelwerte der UV-A-Anteile kaum übertragbar sein. Der UV-A-Mittelwert des Sommers liegt bei den Standorten „Gebüsch“ und „Wald“ bei 2,2 % (im Schwankungsbereich zwischen 0,5 und 3,4 %) und kann als Orientierungswert gesehen werden. Das vielschichtigere und lichtdurchflutetere Habitat der Puten erlaubt die Einbeziehung aller Standorte zur Mittelung der UV-A-Anteile. Der Mittelwert des UV-A-Anteils beträgt im Sommer unter Einbeziehung aller vier Standorte 4,4 % (im Schwankungsbereich zwischen 0,5 und 8,5 %). Es ist allerdings unklar, aus welchen Gebieten Amerikas die Ursprungsform der domestizierten Pute stammt, somit müssten bei Annahme, dass die Ursprungsform in nördlichen Gebieten beheimatet war, die Werte aller vier Jahreszeiten berücksichtigt werden. Unter Berücksichtigung aller Jahreszeiten und aller Standorte entspräche der Mittelwert 5,7 % UV-A (im Schwankungsbereich zwischen 0,5 und 8,5 %). Die beiden unterschiedlichen UV-A-Zielwerte gehen einher mit den Ergebnissen zur spektralen Hellempfindlichkeit bei Puten und Hühnern

(Barber et al., 2006). Bei Puten liegt die maximale UV-A-Sensitivität ca. 20 % höher als bei Hühnern. Daher trägt der UV-A-Anteil bei Puten wahrscheinlich in einem höheren Maße zur Wahrnehmung und dem Helligkeitsempfinden bei als bei Hühnern.

Die Zusammensetzung des Stalllichtes unterliegt mehreren Einflussfaktoren. Durch die Verwendung verschiedenster Kunstlichtquellen, ihrer Anordnung im Stall und insbesondere durch Einflüsse von Tageslicht ist keine allgemein gültige Aussage über die Zusammensetzung des Lichtes in Ställen möglich. Die Messungen im Stall ermöglichen jedoch eine erste Charakterisierung der spektralen Zusammensetzung des Stalllichtes und machen Unterschiede in einzelnen Stallbereichen deutlich, die auf Vorkommen oder Abwesenheit von natürlichen Lichtquellen zurückzuführen sind. Die spektrale Zusammensetzung der fensternahen Bereiche ähnelt bis zum Zeitpunkt der Verdunkelung (27.4.2015) den Ergebnissen der „Outdoor“-Messungen für den Standort „Freier Himmel“. Die relativen Anteile der langwelligen Spektralfarben Rot und Orange zeigen Schwankungen, im Gegensatz zu den übrigen Spektralfarben. Die beiden Kurvenverläufe zeigen eine Spiegelung, d. h. es kommt zum Abfall des Kurvenverlaufs der Farbe Rot, während die Kurve der Farbe Orange ansteigt und umgekehrt. Hier zeigt sich der mehr oder weniger starke Einfluss des Tageslichtes an den unterschiedlichen Messtagen, bedingt durch den Sonnenstand und das Wetter zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung. Der Einfluss des künstlichen Lichtes war vermutlich an Messtagen mit höherem Orangeanteil vorherrschend. Für den Bereich der Stallmitte, die ausschließlich mit künstlichem Licht beleuchtet wurde, zeigt das spektrale Verteilungsmuster den höchsten Anteil für die Farbe Orange.

Der UV-A-Anteil des Lichtes im Bereich der Fenster entspricht mit ca. 2 % dem Orientierungswert, der aufgrund der „Outdoor“-Messungen für die Ansprüche an die Hühnerhaltung veranschlagt wurde. In Stallmitte konnte kein oder nur ein sehr geringer UV-A-Anteil gemessen werden, dem eventuell ein Rauschen (Unge-nauigkeit) des Spektrometers zugrunde liegt. Im Verlauf

der Legephase wurde eine Verdunkelung der Fenster, aufgrund massiven Federpickens, nötig. Das Auftreten von Federpicken und Kannibalismus hat vielfältige Gründe. Es ist jedoch bekannt, das punktuell Licht im Stall, beispielsweise verursacht durch tiefen Sonnenstand, zu Unruhe und kurzfristigen Verhaltensänderungen der Tiere führt.

Wenn man der Vermutung folgt, dass die Tiere, die ein Habitat mit Blätterdach bevorzugen, andere Anforderungen an Lichtquellen stellen als die Tiere, die bevorzugt „unter freiem Himmel“ leben, dann müsste konsequenterweise eine Tierart bezogene Ausleuchtung des Stalles, wahrscheinlich sogar differenziert nach Funktionsbereichen, erfolgen.

Die vorliegenden Ergebnisse der Tageslichtmessung können zur Entwicklung von Leuchtmitteln, die ein tageslichtähnliches Spektrum für Nutzgeflügel erfüllen, herangezogen werden. Die Überprüfung der These bezüglich der differenzierten Ansprüche der Tiere an die Ausleuchtung ihrer Umwelt bedarf weiterer Studien. Riber (2015) zeigt bereits, dass Geflügel bezüglich verschiedener Lichtfarben unterschiedliche Aufenthaltspräferenzen aufweist. Darüber hinaus wäre zu prüfen, ob die Tiere nicht sogar ihren Funktionskreisen folgend, differenzierte Ansprüche an die Ausleuchtung der verschiedenen Funktionsbereiche stellen.

Der besondere Einfluss von Licht auf Tiere ist belegt, allerdings kann die Frage nach dem idealen Tageslicht bzw. den optimalen Leuchtmitteln derzeit insbesondere für Geflügel nicht eindeutig beantwortet werden.

Danksagung

Ein Teil der Datenerhebung wurde im Rahmen des „Tierschutzplan Niedersachsen“ durchgeführt. Die Autoren danken dem Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Conflict of interest

Es bestehen keine geschützten, finanziellen, beruflichen oder anderen persönlichen Interessen an einem Produkt, Service und/oder einer Firma, welche die in diesem Manuskript dargestellten Inhalte oder Meinungen beeinflussen könnten.

Literatur

- Appleby M, Mench J, Hughes B (2004):** Poultry Behaviour and Welfare. CABI Publishing, 1. Aufl., UK.
- Barber CL, Prescott NB, Jarvis JR, Le Sueri C, Perry GC, Wathes CM (2006):** Comparative study of the photopic spectral sensitivity of domestic ducks (*Anas platyrhynchos domesticus*), turkeys (*Meleagris gallopavo gallopavo*) and humans. *Br Poult Sci* 47: 365–374.
- Bischoff K, Metzendorf J (1996):** Messung und Bewertung der optischen Strahlungsleistung. In: Kohlrausch F (1996): Praktische Physik. Teubner Verlag, 24. Aufl., Stuttgart: 134.
- Crawford RD (1992):** Introduction to Europe and diffusion of domesticated turkeys from the America. *Archivos de zootecnia* 41: 307–314.
- Duncan IJH, Hughes BO (1975):** Feeding activity and egg formation in hens lit continuously. *Br Poult Sci* 16: 145–155.
- Goldsmith TH (2007):** Vögel sehen die Welt bunter. *Spektrum der Wissenschaft* 1/2007: 96–103.
- Hart NS, Partridge JC, Cuthill IC (1999):** Visual pigments, cone oil droplets, ocular media and predicted spectral sensitivity in the domestic turkey (*Meleagris gallopavo*). *Vision Res* 39: 3321–3328.

- Kjaer JB, Vestergaard KS (1999):** Development of feather pecking in relation to light intensity. *Appl Anim Behav Sci* 62: 243–254.
- Kjaer JB, Sorensen 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. *Appl Anim Behav Sci* 76: 21–39.
- LAVES (2013):** Anforderungen an Kunstlicht in Geflügel haltenden Betrieben. In: Merkblatt Anforderungen an Kunstlicht in Geflügelhaltenden Betrieben. www.laves.niedersachsen.de/download/89388, download am 06.01.2016.
- Leute U (2011):** Optik für Medientechniker. Optische Grundlagen der Medientechnik. Hanser Verlag, 1. Aufl., München.
- Lewis PD, Morris TR (2000):** Poultry and coloured light. *Worlds Poultry Science Journal*. 56: 189–207.
- Lewis PD, Morris TR (2006):** Poultry lighting in theory and practice. Northcott, 1. Aufl., UK.
- Lind O, Mitkus M, Olsson P, Kelber A (2013):** Ultraviolet vision in birds: the importance of transparent eye media. *Journal of Experimental Biology* 216: 1819–1826.
- Natesan A, Geetha L, Zatz M (2002):** Rhythm and soul in the avian pineal. *Cell Tissue Res* 309: 35–45.
- Nuboer JFW, Coemans MAJM, Vos JJ (1992):** Artificial lighting in poultry houses: Are photometric units appropriate for describing illumination intensities. *Br Poult Sci* 33: 135–140.
- Prescott NB, Wathes CM (1999):** Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*). *Br Poult Sci* 40: 332–339.
- Reese S, Korbel R, Liebich HG (2009):** Sehorgan (Organum visum). In: König HE (Hrsg.), Korbel R (Hrsg.), Liebich HG (Hrsg.), Anatomie der Vögel. Schattauer, 2. Aufl., Stuttgart, 229–251.
- Riber AB (2015):** Effects of color of light on preferences, performance, and welfare in broilers. *Poultry Sci*. 94: 1767–1775
- Ris HR (2008):** Beleuchtungstechnik für Praktiker. VDE Verlag, 4. Aufl., Aarau.
- Saunders JE, Jarvis JR, Wathes CM (2008):** Calculating luminous flux and lighting levels for domesticated mammals and birds. *Animal* 2: 921–932.
- Savory CJ (1995):** Feather picking and cannibalism. *World's Poultry Science Journal* 51: 215–219.
- Steigerwald K (2006):** Sehleistung des Vogelauges, Perspektiven und Konsequenzen für die Haltung von Zier- und Wirtschaftsgeflügel unter Kunstlichtbedingungen. München, LMU München, Tiermedizinische Fak., Diss.
- TierSchNutzTV (2006):** Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (TierSchNutzTV); veröffentlicht am 22. August 2006, zuletzt geändert am 5. Februar 2014; veröffentlicht im BGBl. Teil 1, S.2043.
- Weise H (2007):** Lichtbedingte Einflüsse auf Verhalten und Leistung in der Hähnchenmast. München LMU München, Tiermedizinische Fak., Diss.
- Wortel JE, Rugenbrink H, Nuboer JFW (1987):** The Photopic spectral sensitivity of the dorsal and ventral retinae of the chicken. *J Comp Physiol A*. 160: 151–154.

Korrespondenzadresse:

José Daniel Kämmerling
Hochschule Osnabrück
Fachgebiet Tierhaltung und Produkte,
Geflügelwissenschaften
Am Krümpel 31
49090 Osnabrück
j.kaemmerling@hs-osnabrueck.de