

Vorstudie zur Erfassung des Sehvermögens bei Geflügel

Erik Wunder¹, Robby Andersson², Daniel Kämmerling², Arno Ruckelshausen¹

¹ Hochschule Osnabrück/ Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik,
Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, Deutschland,
Email: erik.wunder@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

² Hochschule Osnabrück/ Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur,
Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, Deutschland,
Email: j.kaemmerling@hs-osnabrueck.de, r.andersson@hs-osnabrueck.de

Zusammenfassung: Lichtbezogene Größen, die im Zusammenhang mit der menschlichen Wahrnehmung stehen, werden in der Regel nicht durch radiometrische Größen wie die Bestrahlungsstärke in W/m^2 angegeben, sondern durch Größen, welche das Wahrnehmungsvermögen des Menschen berücksichtigen, hierzu zählen Lux, Candela und Lumen. Es ergibt sich die Fragestellung in wieweit sich diese photometrischen Größen auf die Wahrnehmung anderer Lebewesen übertragen lassen, da sich das Sehvermögen anderer Lebewesen von der Wahrnehmung des Menschen deutlich unterscheiden kann. Aus diesem Grund wurde eine Vorstudie betrieben, um das Wahrnehmungsvermögen bei Geflügel einschätzen zu können. Bekannt ist, dass sich die Sensitivität bei Geflügel über den für den Menschen sichtbaren Wellenlängenbereich hinaus, bis in den nahen Infrarotbereich und in den ultravioletten Wellenlängenbereich, erstreckt, was z.B. in der geflügelbezogenen Größe „Gallilux“ berücksichtigt worden ist. Aufgrund dieser Unterschiede wurden technische Untersuchungen sowohl mit einer UV-empfindlichen Kamera, als auch mit NIR-Hyperspectral-Imaging gemacht. Zusätzlich wurden verschiedene dem Menschen entfremdete (unzugängliche) Wahrnehmungsformen mittels einer Multispektral-Kamera simuliert. Die Ergebnisse dieser Vorstudie werden vorgestellt.

Deskriptoren: Vorstudie, Wahrnehmung von Geflügel, Gallilux, UV-Kamera, NIR-Hyperspectral-Imaging, Multispektral-Kamera, Simulation

Abstract: *Values referred to light in the context of human faculty of sight are normally not represented in radiometric values like irradiance in $Watts/m^2$ but in values incorporating human faculty of sight like lux, candela and lumen. It arises the question whether these photopic values could be transferred to the perception of other creatures because the perception of other creatures could be very different from the perception of humans. For that reason a pre-study was arranged to examine the perception of poultry. It is already known that the sensitivity of poultry goes beyond the sensitivity of humans into the range from near infrared wavelength to the ultraviolet wavelength range which is already used for defining a poultry related value called "Gallilux". Because of these differences technical investigations were made using an ultraviolet-sensing camera and near infrared hyperspectral imaging technology. In addition to that different estranged*

(inaccessible) perceptual modes were simulated with a multispectral camera. The results of this study are presented.

Keywords: *pre-study, perception of poultry, Gallilux, ultraviolet camera, NIR hyperspectral imaging, multispectral camera, simulation*

1 Einleitung

Die Beleuchtung von Geflügelställen unterliegt gesetzlichen Regelungen, sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene. In diesen Regelungen werden unter anderem Mindestanforderungen an die Beleuchtungsdauer und die Lichtintensität in Ställen vorgeschrieben. So ist in Artikel 14.1 der "Empfehlung in Bezug auf Haushühner der Art Gallus Gallus" vom 28. Nov. 1995 für folgendes formuliert.

„In allen Gebäuden muss ausreichend Licht vorhanden sein, damit sich die Tiere gegenseitig sehen und deutlich gesehen werden können, ihre Umgebung sehen und ein normales Aktivitätsniveau zeigen können. Daher ist eine Mindestbeleuchtung von 20 Lux, auf Augenhöhe der Hühner, gemessen in drei Ebenen, die jeweils im rechten Winkel zueinander stehen, empfehlenswert. Soweit möglich, muss eine natürliche Lichtquelle vorhanden sein. In diesem Fall sollen Fenster so angeordnet werden, dass das Licht gleichmäßig in den Stall fällt.“

In der „TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG“ (2009) ist in §4 (1) Nr. 9 folgendes zur Beleuchtung in Geflügelställen ausgeführt: *„ ... die tägliche Beleuchtungsintensität und Beleuchtungsdauer bei Tieren, die in Ställen untergebracht sind, für die Deckung der ihrer Art entsprechenden Bedürfnisse ausreichen [...] wobei bei Geflügel das künstliche Licht flackerfrei entsprechend dem tierartspezifischen Wahrnehmungsvermögen sein muss“.*

Die Forderungen im Stall künstliches Licht entsprechend der spezifischen Wahrnehmung bei Geflügel einzurichten wirft die Frage auf, wie die Wahrnehmung bei Geflügel stattfindet. Es ist üblich lichtbezogene Größen nicht in radiometrischen Größen wie beispielsweise der Bestrahlungsstärke anzugeben, sondern in Größen, die bereits die Empfindlichkeit des menschlichen Sehvermögens mit einbeziehen, wie es bei der Beleuchtungsstärke der Fall ist. Konsequenterweise müssten bei Unterschieden im artspezifischen Wahrnehmungsvermögen die entsprechenden Kenngrößen auf einzelne Arten bezogen werden und die Übertragung des menschlichen Sehvermögens auf Nicht-Menschen würde zu systematischen Fehlern führen.

Die Wahrnehmung wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst, zu nennen sind hier z.B. die Rezeptorendichte und Sehschärfe, die spektrale Empfindlichkeit, die Kontrastempfindlichkeit, die Empfindlichkeit für Farbunterschiede, die Hell-Dunkel-Adaptation, der Dynamikbereich oder aber auch die wahrnehmbare Bildrate, die entscheidend ist für die Flackerempfindlichkeit. Bei der Betrachtung des Wahrnehmungsvermögens des Geflügels müssen alle relevanten Faktoren berücksichtigt werden, denn

das außer Acht lassen bereits eines Faktors kann zu einer massiven Fehlinterpretation führen.

Seit vielen Jahren werden Untersuchungen zur Wahrnehmung bei Geflügel durchgeführt. Arbeiten zur spektralen Empfindlichkeit bei Geflügel gibt es beispielsweise von WORTEL *et al.* (1987), NUBOER *et al.* (1992), PRESCOTT & WATHES (1999), LEWIS & MORRIS (2000) oder auch BARBER *et al.* (2006), in denen Versuche unternommen wurden, die Empfindlichkeit für photopisches Sehen bei Geflügel für Licht bestimmter Wellenlängen festzustellen. **Bild 1** zeigt die ermittelte relative Empfindlichkeitskurve von Hausgeflügel (dicke Linie) gegenüber der in der CIE-Norm festgehaltenen relativen Empfindlichkeit des Menschen (dünne Linie). Deutlich erkennbar ist dabei, dass Hühner deutlich empfindlicher für Licht der Wellenlängen unterhalb von 500 nm und oberhalb von 600 nm sind als der Mensch. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass Hühner vier Zapfenarten für das Farbsehen besitzen (WORTEL *et al.* 1987), der Mensch verfügt hingegen nur über drei Zapfen. Diese Empfindlichkeitskurve von Hausgeflügel wurde bereits dazu genutzt eine geflügelbezogene Größe für die Lichtintensität mit der Bezeichnung "Gallilux" zu definieren, jedoch gibt diese Größe keinen Aufschluss über die absolut wahrgenommene Lichtintensität, da die maximale spektrale Empfindlichkeit für photopisches Sehen bei Geflügel nicht bekannt ist und hier statt dessen der auf den Menschen bezogene Wert Verwendung findet (LEWIS & MORRIS 2006). Weitere Arbeiten zur Flackerempfindlichkeit gibt es z.B. von JAVIS *et al.* (2002). Es ist somit seit längerem bekannt, dass es Unterschiede im Wahrnehmungsvermögen bei Mensch und Geflügel gibt. Es stellt sich jedoch auch hier die Frage, wie ausschlaggebend diese Unterschiede sind. Aus diesem Grund sind Untersuchungen in den Wellenlängenbereichen abseits der menschlichen Wahrnehmung durchgeführt worden und es wurden mögliche Auswirkungen einer dem Menschen artfremden Wahrnehmung simuliert.

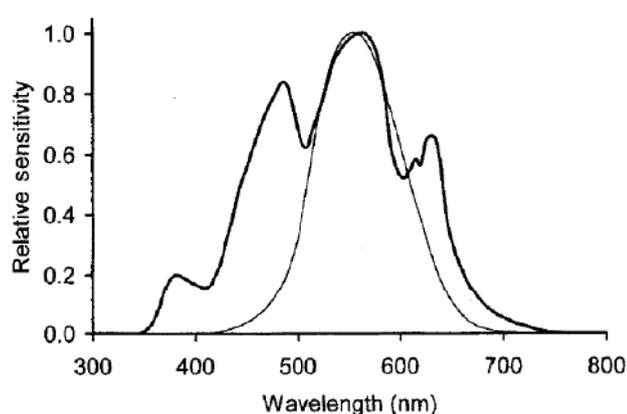


Bild 1: Gegenüberstellung der relativen spektralen Sensitivität von Hausgeflügel (dicke Linie) und der relativen spektralen Empfindlichkeit des Menschen (CIE 1983) (dünne Linie) [LEWIS & MORRIS 2000]

2 Material und Methoden

Die durchgeführten Versuche hatten zum Ziel Objekte explizit in Wellenlängenbereichen zu betrachten, die der Mensch nicht in der Lage ist zu sehen.

Messobjekte:

Dank der Fa. LTZ, Cuxhaven standen für die Messungen vier Tierpräparate zur Verfügung. Eine LB-Elterntierhenne, eine LSL-Henne, eine LB-Henne sowie ein Brahama-Hahn. Die Tiere wurden vom Tierpräparator Michael Dittert präpariert (siehe **Bild 2**).



Bild 2: Tierpräparate für Reflektionsmessungen

Neben den Tierpräparaten wurden zusätzlich Blumen (Primeln und Veilchen) für Messungen verwendet wie auch verschiedene Futtersorten aus der Geflügelhaltung (Vorlegfutter, Junghennenaufzuchtfutter, Legemehl und Endmastfutter) um zu prüfen, inwiefern die Fähigkeit von Geflügel einen größeren Wellenlängenbereich zu erfassen als der Mensch, für die Nahrungssuche und die Umgebungswahrnehmung von Bedeutung sein können.

Hyperspectral Imaging System

Mittels Hyperspectral Imaging ist es möglich Objekte sehr differenziert bei sehr vielen Wellenlängen zu betrachten. Aufgrund der spektralen Unterschiede der Wahrnehmung von Mensch und Geflügel, wurden Messungen mit Hyperspectral Imaging an Hühnerpräparaten durchgeführt, die zeigen sollten, ob in den Bildern der betrachteten Wellenlängen Auffälligkeiten auftreten. Betrachtet wurde sowohl der sichtbare Wellenlängenbereich, als auch der NIR-Bereich. Auch wenn letzterer keinen Einfluss auf die Wahrnehmung bei Geflügel hat, so ist dieser Bereich dennoch interessant für generelle Untersuchungen der Proben auf Anomalien. Für Messungen im nahen Infrarotbereich wurde das Sensorsystem Helios Core NIR der Firma EVK DI Kerschhaggl GmbH eingesetzt. Das System ist mit einem NIR Spektrographen der Firma Specim ausgestattet mit einer Eingangsspaltbreite von 100 μm . Der eingesetzte Spektrograph weitet das

einfallende Licht im Wellenlängenbereich von 970 nm bis 1690 nm in seine Spektralbestandteile auf. Für den sichtbaren Wellenlängenbereich wurde ebenfalls ein Hyperspectral Imaging System eingesetzt. Verwendet wurde ein Inspector V10 mit 50 µm Eingangsspaltbreite von Specim in Verbindung mit einer Monochrom-Kamera des Typs MV1-D1312 der Photonfocus AG. Der Spektrograph weitet das Licht im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1000 nm in seine Spektralbestandteile auf.

Integriert sind beide Systeme in eine Messvorrichtung mit automatisiertem elektrisch positionierbarem Tisch, auf dem Messobjekte platziert werden können. Der Helios Core wie auch der Inspector V10 sind senkrecht über dem Tisch angeordnet und scannen bei Bewegung des Tisches das zu vermessende Objekt zeilenweise ein. Um von den Messobjekten kontinuierliche Spektren zu erhalten wird Beleuchtung benötigt, die Strahlung im gesamten zu erfassenden Spektrum liefert. Daher wurden vier Halogenscheinwerfer mit je 65 Watt links und rechts neben dem Inspector angebracht, um das Messobjekt möglichst gleichmäßig auszuleuchten. Der Objektstisch wird über eine Linearführung mit Nanotec Schrittmotoren bewegt.

Mit dieser Messvorrichtung wurden die vier Tierpräparate im sichtbaren und nahinfraroten Wellenlängenbereich aufgenommen, wodurch für jedes Huhn ein dreidimensionaler Datenwürfel entstand, welcher ein Bild des Huhns für jede gemessene Wellenlänge enthält. Diese Bilder wurden anschließend einer Sichtprüfung unterzogen.

Empfindlichkeit für ultraviolette Strahlung

Bild 1 zeigt, dass Geflügel im Gegensatz zum Menschen im Lichtbereich von 350 nm bis 400 nm wahrnehmen kann, Daher wurden Aufnahmen von genannten Testobjekten in diesem Wellenlängenbereich gemacht, um zu testen, ob die Objekte Auffälligkeiten zeigen, die für die Wahrnehmung bei Geflügel von Bedeutung sein könnte. Für die Messungen wurde eine Osprey OS4MPc-CL Kamera der Firma Raptor Photonics verwendet, eine Monochrom-Kamera mit 4,2 Megapixeln und einem gekühlten Scientific CMOS Sensor, die mit einem Bandpassfilter 377/50 BrightLine® von Semrock kombiniert wurde um nur den Wellenlängenbereich von 350 nm bis 400 nm bei den Aufnahmen zu berücksichtigen. Da Objektive UV-Strahlung häufig nur schlecht transmittieren, wurde für diese Messungen das LM16HC Objektiv der Firma Kowa Optimed Deutschland verwendet.

Für die Datenerfassung ist ein Computer mit CameraLink-Framegrabber erforderlich. Verwendet wurde daher ein Notebook mit einer EPIX CameraLink ExpressCard und dem Softwarepaket EPIX XCAP. Zur aktiven Beleuchtung der Messobjekte wurde ein umgebautes Nagelaushärtungsgerät des Typs Dream Nails Professionell verwendet, welches mit vier 9W UV-Leuchtstoffröhren ausgestattet ist.

Für die Messungen wurden alle vier Tierpräparate wie auch die Testpflanzen nacheinander im Abstand von etwa 50 cm von der UV-Lampe angestrahlt, und mit der UV-Kamera aus verschiedenen Richtungen abgelichtet.

Multispektralkamera

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie sich die Fähigkeit verschiedene Wellenlängenbereiche wahrnehmen zu können auf die gesamte Wahrnehmung auswirken kann, wurden Versuche unternommen verschiedene Wahrnehmungsformen anhand einer Testszene zu simulieren. Für diese Simulation wurde die Multispektralkamera Condor3 PCH-285-GE von Quest Innovations verwendet. Diese Kamera besitzt drei CCD Chips mit je 1,4 Megapixeln (Auflösung 1360x1024), einen Bayer-Chip für das sichtbare Licht im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm und zwei Chips für nahinfrarote Strahlung der Wellenlängen 700 nm bis 830 nm und 830 nm bis 1000 nm. Für die Datenerfassung wird die Architector Vision Suite von Quest Innovations genutzt. Diese Software ermöglicht es die Farbkanäle der Bilddarstellung (Rot, Grün, Blau) den Kanälen der Bildsensoren (Rot, Grün, Blau, NIR1, NIR2) frei zuzuordnen. Somit ist es beispielsweise möglich den Blaukanal in der Darstellung mit den Informationen eines NIR-Bildsensors zu versorgen und somit ganz andere Wahrnehmungsformen im für Menschen sichtbaren Farbraum abzubilden Dies wurde für verschiedene Kombinationen (**Tabelle 1**) durchgeführt. Abgebildet wurde eine Szene mit verschiedenfarbigen Objekten aus verschiedenen Materialien. Es handelt sich um eine blaue Packung Taschentücher, einen grünen Duplostein, eine rote Kugel sowie ein Blatt eines Ficus Benjamini. Der Hintergrund ist schwarz und besteht aus Nylon, der Objektisch besteht aus schwarz lackiertem Metall.

Tabelle 1: Varianten der Farbkanalkombination zur Simulation artfremder Wahrnehmung

	Rot-Kanal	Grün-Kanal	Blau-Kanal
Variante 1	Rot	Grün	Blau
Variante 2	Grün	Blau	Rot
Variante 3	IR1	-	Blau
Variante 4	Rot	IR2	Blau

3 Ergebnisse und Diskussion

Hyperspectral Imaging

Die Aufnahmen der Tierpräparate mittels Hyperspectral Imaging haben zur Veranschaulichung des Wahrnehmungsvermögens bei Geflügel beigetragen. Detaillierte Untersuchungen müssen folgen. Die Aufnahmen vermitteln einen ersten Eindruck bezüglich der vogelspezifischen Fähigkeit nah-infrarote Strahlung zu erfassen (**Bild 3**). Anhand der Bilder ist zu erkennen, dass das weiße Federkleid die infrarote Strahlung deutlich reflektiert. Die besonders roten Stellen mit der höchsten Reflektion sind Bereiche in denen die Federn nahezu senkrecht zum auftreffenden Licht stehen und fast die gesamte reflektierte Strahlung in die Optik zurückgeworfen wird. Die Aufnahme des braunen Huhns zeigt, dass die helleren Federn die Strahlung besser reflektieren als die braunen Federn. Dies trifft sowohl für das RGB-Bild, als auch auf das Bild bei einer Wellenlänge von 749 nm zu. Der helle Bereich, der sich horizontal durch das Bild zieht, resultiert aus einer ungleichmäßigen Lichtverteilung beim Scannen des Huhns, sodass die roten Stellen im Bild nicht auf Auffälligkeiten zurückzuführen sind, sondern lediglich die erhöhte Reflektion der helleren Federn zeigen.

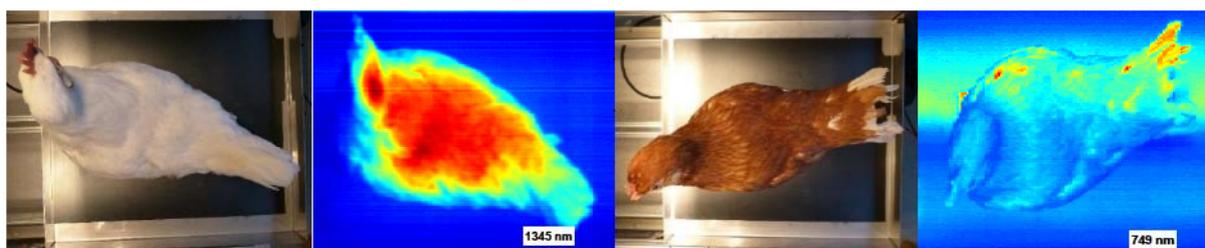


Bild 3: Gegenüberstellung von RGB- und NIR-Bild eines weißen Haushuhns bei 1345 nm (links) und RGB- und VIS-Bild eines braunen Haushuhns bei 749 nm (rechts)

UV-Kamera

Die Erfassung von Bildmaterial aus dem UV-Bereich hat besonders bei den pflanzlichen Testobjekten zu interessanten Ergebnissen geführt. **Bild 4** (links) zeigt den Vergleich des RGB-Bildes einer Primel mit einer UV-Aufnahme. Im RGB Farbraum sehen die Blüten zweifarbig aus und sie wirken durch die gelbe Tönung hell. Die Aufnahme im UV-Bereich zeigt ein deutlich anderes Bild. Hier wird fast die gesamte UV-Strahlung absorbiert, sodass die Blüten fast schwarz abgebildet werden. Die Blätter hingegen reflektieren die UV-Strahlung deutlich besser. Ein etwas anderes Bild zeigt sich bei den Aufnahmen der Tierpräparate, hier beispielhaft demonstriert anhand von **Bild 5**. Im Gefieder der Tiere sind deutliche Kontraste zu erkennen, besonders beim braunen Haushuhn sind die wenigen weißen Federn im UV-Bereich deutlich hervorgehoben, während das braune Gefieder auch im UV-Bereich geringe Reflektion zeigt. Beim weißen Haushuhn reflektiert das Gefieder im UV-Bereich stark, markante Reflektionsmuster sind nicht erkennbar. Somit lassen sich hier zunächst keine direkten Rückschlüsse darauf ziehen, in wie fern dieser Wellenlängenbereich relevant ist für eine korrekte Wahrnehmung von

Artgenossen, wie es in den Richtlinien gefordert wird. Bei der UV-Aufnahme des Futters hingegen fällt auf, dass gewisse Partikel im UV-Bereich besonders stark reflektieren und somit aus dem restlichen Futter stark herausstechen (**Bild 4** rechts). In diesem Fall handelt es sich um das Kernmaterial von zerkleinerten Maiskörnern, welches besonders deutlich hervorgehoben wird. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Fähigkeit von Geflügel UV-Strahlung wahrzunehmen zumindest bei der Futtersuche von erheblicher Bedeutung ist.



Bild 4: Vergleich von RGB- und UV-Aufnahme einer gelben Primel (links) und einer Probe von Junghennenaufzuchtfutter (rechts)



Bild 5: Vergleich von RGB-Bild und UV-Bild eines braunen und eines weißen Haushuhns

Multispektral Kamera

Durch Aufnahmen mit der Multispektralkamera Condor 3 von Quest, ist es möglich verschiedene Wahrnehmungsformen zu simulieren. Die verschiedenen Kombinationen der Farbkanäle, die in **Bild 6** dargestellt sind, finden sich in **Tabelle 1** in der entsprechenden Reihenfolge. Links oben ist das normale RGB-Bild zu erkennen, welches die Farben der Objekte so wiedergibt, wie der Mensch sie üblicherweise wahrnimmt. Werden die Kanäle rot, grün und blau untereinander vertauscht (oben rechts), ergibt sich eine ganz andere Darstellung. Interessant ist vor allem auch der Einfluss nah-infraroter Strahlung. Beispielsweise reflektiert Chlorophyll NIR-Strahlung sehr stark, wodurch das Blatt in den beiden unteren Abbildungen deutlich hervortritt. Auch ist erkennbar, dass der Hintergrund nicht mehr Schwarz, sondern farbig ist. Dies liegt daran, dass das Hintergrundmaterial aus Nylon besteht, das IR-Strahlung stark reflektiert. Diese Untersuchung vermittelt einen Eindruck verschiedener Wahrnehmungsformen, jedoch sind die Auswirkungen verschiedener Wellenlängenbereiche auf die Gesamtwahrnehmung schwer abschätzbar, da der Mensch nur in der Lage ist entsprechend seiner Empfind-

lichkeit Wellenlängen wahrzunehmen und eine Transformation anderer Wellenlängen in den für Menschen sichtbaren Bereich nur bedingt zielführend ist um die Wahrnehmung anderer Lebewesen nachzuvollziehen.

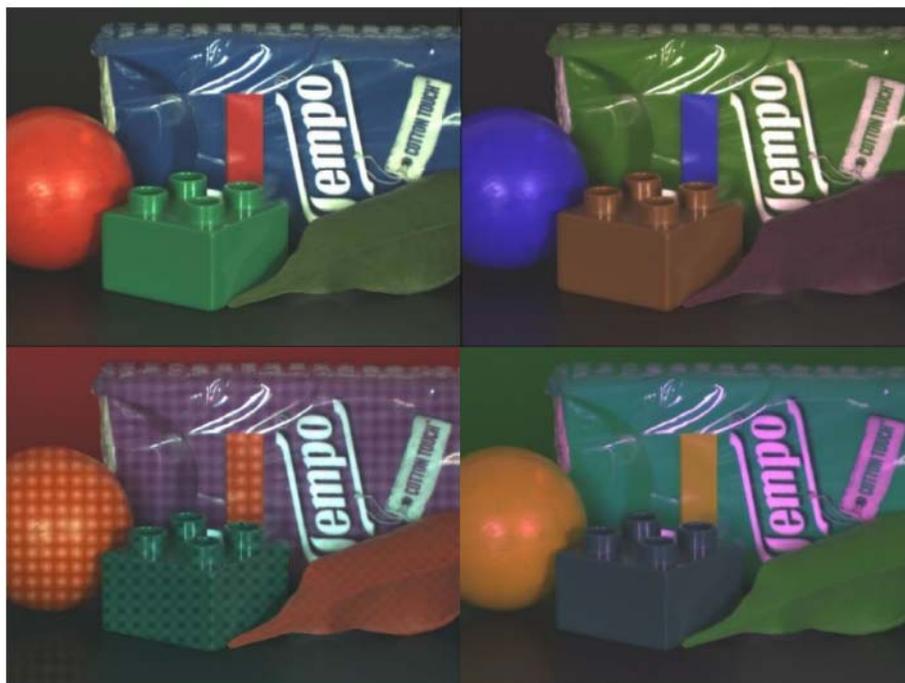


Bild 6: Verschiedene Ansichten ein und derselben Szene durch Kombination verschiedener Wellenlängenbereiche in den RGB-Farbraum vgl. **Tabelle 1**

4 Zusammenfassung

Die Wahrnehmung wird durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst. Es wurde gezeigt, dass verschiedene Objekte im UV-Bereich, oder auch im NIR-Bereich ganz andere Merkmale aufweisen können, die der Mensch nicht in der Lage ist wahrzunehmen. Jedoch lässt sich aus den durchgeführten Messungen nicht auf das Wahrnehmungsvermögen bei Geflügel oder anderen Lebewesen schließen. Es gibt bereits den Ansatz photopische Lichtgrößen einzuführen, welche die spektrale Empfindlichkeit von Geflügel berücksichtigen, jedoch ergeben sich hier Schwierigkeiten, denn zum einen basieren die Daten der spektralen Empfindlichkeit von Geflügel überwiegend aus psychophysikalischen Versuchen, bei denen ein Lichtreiz ein Verhalten beim Tier auslöst, weshalb die Zuverlässigkeit der Daten angezweifelt werden könnte, zum anderen fehlt ein Wert für die absolute Empfindlichkeit, sodass über die tatsächlich empfundene Helligkeit eines Leuchtmittels noch keine Aussage getroffen werden kann. Des Weiteren ist auch die Grenze zwischen photopischem und skotopischem Sehen nicht bekannt, sodass keine Aussage dazu getroffen werden kann, ab welcher Intensität die ermittelte Empfindlichkeitskurve ihre Gültigkeit besitzt. Es besteht somit in diesem Feld erheblicher Forschungsbedarf, um das Wahrnehmungsvermögen bei Geflügel zu entschlüsseln. Angesichts dieser fehlenden Informationen fehlt im Grunde jegliches Fundament um klare Richtlinien für die Beleuchtung in Geflügelställen zu formulieren. Die menschenbezoge-

ne Größe Lux ist aufgrund der Unterschiede zwischen menschlichem Sehen und dem Wahrnehmungsvermögen bei Geflügel nicht geeignet um die Helligkeit in Geflügelställen aus Sicht des Vogels zu beurteilen. Es ist notwendig eine auf den Vogel bezogene Kenngröße zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- 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. *British Poultry Science* 47 (3), S. 365–374
- EU-EMPFEHLUNG (1995):** Empfehlung in Bezug auf Haushühner der Art *Gallus Gallus*. Online verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/EU-HaltungHaushuehner.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 28.03.2014
- JAVIS J.R., TAYLOR N.R., PRESCOTT N.B., MEEKS I., WATHES C.M. (2002):** Mesuring and modeling the photopic flicker sensitivity of the chicken (*Gallus g. domesticus*). *Vision Research* 42: S. 99-106
- LEWIS P.D., MORRIS T.R. (2000):** Poultry and coloured light. *World's Poultry Science Journal* 56 (3), S. 189–207
- LEWIS P.D., MORRIS T.R. (2006):** Poultry lighting. The theory and practice. Andover: Northcot
- 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? *British Poultry Science* 33 (1), S. 135–140
- PRESCOTT N.B., WATHES C.M. (1999):** Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*). *British Poultry Science* 40 (3), S. 332–339
- TIERSCHNUTZTV (2009):** Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tierschnutztv/gesamt.pdf>, zuletzt geprüft am 28.03.2014
- WORTEL J.F., RUGENBRINK H., NUBOER J.F.W. (1987):** The photopic spectral sensitivity of the dorsal and ventral retinae of the chicken. *Journal of Comparative Physiology*, 160: 151–154