

Abschlussbericht

# MODELLVORHABEN ZUM LICHT ALS MANAGEMENTFAKTOR IM PUTENSTALL

[mluk.brandenburg.de](http://mluk.brandenburg.de)



# Impressum

## Herausgeber

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK)  
des Landes Brandenburg  
Referat Öffentlichkeitsarbeit, Internationale Kooperation  
Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S,  
14467 Potsdam  
Telefon: 0331 866-7237  
E-Mail: [bestellung@mluk.brandenburg.de](mailto:bestellung@mluk.brandenburg.de)  
Internet: [mluk.brandenburg.de](http://mluk.brandenburg.de)  
[agrар-umwelt.brandenburg.de](http://agrар-umwelt.brandenburg.de)

## Bearbeitung und Redaktion

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK)  
des Landes Brandenburg  
Abteilung 3 - Ländliche Entwicklung und Landwirtschaft  
Referat 34

## Datenerhebung und Auswertung

Dr. Kathrin Toppel, M. Sc. Louisa Reimers, Prof. Dr. Robby Andersson  
Hochschule Osnabrück  
Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur  
Fachgebiet Tierhaltung und Produkte  
Studienschwerpunkt angewandte Geflügelwissenschaften



HOCHSCHULE OSNABRÜCK  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Titel-Foto

[reichdernatur/stock.adobe.com](https://www.reichdernatur.com)

2024

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg.

Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Broschüre dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
1. Kurzfassung.....	6
2. Einführung in das Modellvorhaben .....	8
2.1. Problemstellung.....	8
2.2. Entstehung und Ziele.....	8
3. Stand des Wissens .....	10
3.1. Licht.....	10
3.2. Sehvermögen Geflügel.....	11
3.3. Lichtparameter .....	13
3.4. Bedeutung von Licht für Geflügel .....	15
3.5. Putenhaltungsformen in Deutschland .....	16
3.6. Lichtansprüche von Puten .....	16
3.7. Beleuchtung .....	17
4. Material und Methoden.....	18
4.1. Stallbautypen.....	18
4.2. Verbaute Lampen .....	18
4.3. Lichtmessgeräte.....	19
4.4. Durchführung der Lichtmessungen .....	20
5. Ergebnisse .....	22
5.1. Lichtspektrum im geschlossenen Stall.....	22
5.2. Lichtspektrum im offenen Stall .....	23
5.3. Lichtintensitäten in verschiedenen Stallbereichen.....	32
5.4. Frequenz .....	51
5.5. Lichteinbrüche durch technische Schwachstellen.....	58
6. Diskussion.....	65
6.1. Stallbau/Lampenausstattung.....	65
6.2. Lichtintensität .....	66
6.3. Spektrum .....	67
6.4. Frequenz.....	68
7. Ausblick.....	70
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Literatur-/ Quellenverzeichnis .....	VII

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elektromagnetisches Spektrum (Lizenz erworben: iStock, 2022) .....	10
Abbildung 2: Fernbedienung unter „weißem“, „rotem“ und „grünem“ Licht .....	12
Abbildung 3: Hellempfindlichkeitskurve des Menschen im Vergleich zu Geflügel. (CIE: Internat. Beleuchtungskommission) .....	13
Abbildung 4: Flicker-Index und Flicker-Prozent (IEEE Power Electronics Society et al. 2015) .....	15
Abbildung 5: Skizze von Messpunkten in unterschiedlichen Stallbereichen (vergleiche Funktionsbereiche).....	21
Abbildung 6: Spektrum im geschlossenen Stall mit Leuchtstofflampen in unterschiedlichen Stallbereichen: Wand (n=21); unter Leuchtstofflampen/Futterlinie (n=21) .....	22
Abbildung 7: Spektrum im geschlossenen Stall mit LED-Leuchten in verschiedenen Stallbereichen: Wand (n=21); unter LED/Futterlinie (n=22) .....	23
Abbildung 8: Kunstlichtspektrum im Offenstall in unterschiedlichen Stallbereichen: vor Nestern links (n=21); unter LED neben Trögen (n=20); unter LED neben Tränkelinie (n=21); vor Nestern rechts (n=21) bei geschlossenen Jalousien im Februar.....	24
Abbildung 9: Kunstlichtspektrum im Offenstall in unterschiedlichen Stallbereichen: vor Nestern links (n=10); unter LED neben Trögen (n=10); unter LED neben Tränkelinie (n=10); vor Nestern rechts (n=10) bei geschlossenen Jalousien im September .....	25
Abbildung 10: Tageslicheinfall auf der Ostseite im Offenstall P 04_BB am Morgen (08:23 Uhr) auf der Ostseite bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10) .....	26
Abbildung 11: Tageslicheinfall auf der Ostseite im Offenstall P 04_BB am Morgen (09:26 Uhr) auf der Südseite bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10) .....	26
Abbildung 12: Tageslicheinfall auf der Ostseite im Offenstall P 04_BB am Mittag (12:56 Uhr) auf der Ostseite bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10) .....	27
Abbildung 13: Tageslicheinfall auf der Ostseite im Offenstall P 04_BB am Mittag (13:21 Uhr) auf der Südseite bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10) .....	28
Abbildung 14: Lichtintensität in verschiedenen Stallbereichen im Offenstall P 18_BB zur Mittagszeit: östlichen Wandseite (n=21); Stallmitte (n=21); südliche Wandseite (n=21) .....	29
Abbildung 15: Veränderung Tageslichtspektrum im Offenstall P 11_BB auf der Stalllängsseite mit weißer Jalousiefolie (n=21) und auf der Stalllängsseite mit grüner Jalousiefolie (n=19). Hinweis: 20-fach niedrigere Skalierung im Vergleich zu übrigen Abbildungen .....	30
Abbildung 16: Veränderung Tageslichtspektrum im Offenstall P 04_BB auf der Stalllängsseite mit grüner Jalousiefolie (n=10) und auf der Stalllängsseite mit weißer Jalousiefolie (n=7).....	30
Abbildung 17: Vergleich der Vermischung von Kunstlicht (Leuchtstoffröhren) und Tageslicht bei geöffneten Jalousien im November (n=24) und Juni (n=28) .....	31
Abbildung 18: Spektrum im Offenstall bei variierenden Licht- und Lüftungseinstellungen im Offenstall P 15_BB; Jalousie auf, Licht an (n=60); Jalousie auf, Licht aus (n=60); Jalousie zu, Licht an (n=59); Jalousie zu, Licht aus (n=57).....	32
Abbildung 19: Spektrum im Offenstall bei variierenden Licht- und Lüftungseinstellungen im Offenstall P 06_BB; Jalousie auf, Licht an (n=27); Jalousie auf, Licht aus (n=27); Jalousie zu, Licht an (n=27); Jalousie zu, Licht aus (n=27).....	32
Abbildung 20: Farbskala für Messergebnisse in Lux.....	33

Abbildung 21: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 16_BB (n= 129); min.: 27 lx; max.: 174 lx; Median: 73 lx; Fläche Messpunkt: 6,3 – 6,9 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 14.10.2021.....	34
Abbildung 22: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 03_BB (n= 50); min.: 74 lx; max.: 181 lx; Median: 130 lx; Fläche Messpunkt: 9,1 – 10,0 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 02.09.2021.....	34
Abbildung 23: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 05_BB (n= 63); min.: 141 lx; max.: 343 lx; Median: 186 lx; Fläche Messpunkt: 2,4 – 3,1 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 05.11.2021 .....	35
Abbildung 24: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 20_BB (n= 27); min.: 20 lx; max.: 51 lx; Median: 31 lx (bei 100 Prozent); Fläche Messpunkt: 29,1 – 31,7 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 19.10.2022	36
Abbildung 25: LEDs in P 05_BB.....	36
Abbildung 26: LEDs in P 20_BB.....	36
Abbildung 27: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 08_BB (n= 126); min.: 120 lx; max.: 349 lx; Median: 235 lx; Fläche Messpunkt: 6,0 – 7,2 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 08.02.2022 .....	37
Abbildung 28: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 10_BB (n= 129); min.: 65 lx; max.: 205 lx; Median: 97 lx; Fläche Messpunkt: 2,1 – 3,2 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 01.03.2022.....	38
Abbildung 29: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 19_BB (n= 104); min.: 68 lx; max.: 303 lx; Median: 161 lx; Fläche Messpunkt: 2,1 – 3,2 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 19.10.2022 .....	38
Abbildung 30: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 02_BB (n= 150); min.: 22 lx; max.: 122 lx; Median: 97 lx; Fläche Messpunkt: 1,9 – 2,8 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 02.09.2021.....	39
Abbildung 31: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 01_BB (n= 42); Leuchtstofflampen ausgeschaltet min.: 32 lx; max.; 255 lx; Median: 74 lx; Leuchtstofflampen angeschaltet: min.: 165 lx; max.: 438 lx; Median: 251 lx; Fläche Messpunkt: 5,1 – 6,0 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 22.08.2022.....	40
Abbildung 32: Lichteinfall durch Fenster im geschlossenen Stall P 01_BB .....	40
Abbildung 33: Übersicht der Lichtintensitäten [lx] in den gemessenen geschlossenen Ställe für Puteneltern-tierhennen. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°) .....	41
Abbildung 34: Februar: Offenstall P 11_BB (n= 62), min.: 24 lx; max.: 96 lx; Median: 59 lx; Fläche Messpunkt: 8,8 – 9,9 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 08.02.2022, 12:30 Uhr.....	42
Abbildung 35: März: Offenstall P 12_BB (n= 15), min.: 111 lx; max.: 1658 lx; .....	42
Abbildung 36: April: Offenstall P 15_BB (n= 120), min.: 99 lx; max.: 520 lx; Median: 234 lx; Fläche Messpunkt: 4,9 – 5,8 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 27.04.2022, 08:30 Uhr.....	43
Abbildung 37: Schattenwurf durch Bäume, Auszug Google Maps (Google o.J.) .....	43
Abbildung 38: Juni: Offenstall P 04_BB (n= 30), min.: 70 lx; max.: 288 lx; Median: 195 lx; Fläche Messpunkt: 16,1 – 17,8 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 23.06.2022, 13:00 Uhr.....	44
Abbildung 39: September: Offenstall P 11_BB (n= 51), min.: 20 lx; max.: 110 lx; Median: 43 lx; Fläche Messpunkt: 10,8 – 11,9 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 27.09.2022, 09:45 Uhr.....	44
Abbildung 40: Oktober: Offenstall P 18_BB (n= 63), min.: 21 lx; max.: 1069 lx; Median: 151 lx; Fläche Messpunkt: 16,5 – 17,9 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 18.10.2022, 12:30 Uhr.....	45
Abbildung 41: natürlicher Lichteinfall im Offenstall .....	45
Abbildung 42: Dezember: Offenstall P 06_BB (n= 27), min.: 37 lx; max.: 101 lx; Median: 76 lx; Fläche Messpunkt: 4,7 – 5,8 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 19.12.2022, 10:00 Uhr.....	46
Abbildung 43: Lichtintensitäten [lx] in den untersuchten Offenställen in monatlicher Reihenfolge dargestellt. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°).....	46
Abbildung 44: Lichtintensität im offenen Stall P 11_BB (n= 60); Jalousien geöffnet, LEDs angeschaltet: min.: 159 lx; max.: 378 lx; Median: 259 lx; Jalousien geschlossen, LEDs angeschaltet: min.: 87 lx; max.: 328 lx; Median: 182 lx; Jalousien geschlossen, LEDs	

ausgeschaltet: min.: 5 lx; max.: 26 lx; Median: 12 lx; Fläche Messpunkt: 8,2 – 10,1 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 08.02.2022 .....	47
Abbildung 45: Lichtintensität im offenen Stall P 15_BB (n= 60; 57); Jalousien geöffnet, Leuchtstofflampen angeschaltet: min.: 229 lx; max.: 594 lx; Median: 333 lx; Jalousien geöffnet, Leuchtstofflampen ausgeschaltet: min.: 42 lx; max.: 259 lx; Median: 116 lx; Fläche Messpunkt: 4,9 – 6,1 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 27.04.2022 .....	48
Abbildung 46: Gemessene Lichtintensitäten [lx] am selben Tag und Stall bei unterschiedlichen Licht- und Lüftungseinstellungen. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°).....	49
Abbildung 47: Lichtintensität im offenen Stall P 04_BB (n= 72; 69) bei geöffneten Jalousien und angeschalteten Leuchtstofflampen im November: min.: 57 lx; max.: 264 lx; Median: 113 lx; Juni: min.: 225 lx; max.: 622 lx; Median: 423 lx; Fläche Messpunkt: 4,0 – 5,2 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 04.11.2021; 23.06.2022.....	50
Abbildung 48: Lichtintensität im offenen Stall P 11_BB (n= 60; 60) bei geschlossenen Jalousien und angeschalteten LEDs im Februar: min.: 46 lx; max.: 306 lx; Median: 166 lx; September: min.: 66 lx; max.: 363 lx; Median: 176 lx; Fläche Messpunkt: 9,2 – 10,1 m <sup>2</sup> ; Messdatum: 08.02.2022; 27.09.2022.....	51
Abbildung 49: Gemessene Lichtintensitäten [lx] in den selben Ställen bei gleichen Licht- und Lüftungseinstellungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°).....	51
Abbildung 50: In dem Modellvorhaben gemessene Frequenzen [Hz] unterschiedlicher erfasster Lampentypen .....	52
Abbildung 51: Löcher im Dachüberstand als Ursache für Lichtflecken im Stall .....	58
Abbildung 52: Lichtflecken auf dem Stallboden aufgrund von Löchern im Dachüberstand .....	59
Abbildung 53: Loch in einer Jalousiefolie resultierte im Dezember nicht in sichtbarem Lichtfleck auf Stallboden .....	60
Abbildung 54: Lichtstreifen aufgrund von tiefstehender Sonne am Morgen .....	60
Abbildung 55: Heller Lichtkegel durch falsche LED-Ansteuerung bei der Dimmung.....	61
Abbildung 56: Lichtkegel (rechts) durch defekte Leuchtstofflampe während der Dimmphase .....	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der erfassten Putenställe in Brandenburg .....	19
Tabelle 2: Auszug Spezifikationen BTS2048-VL (Gigahertz-Optik GmbH, Türkenfeld, DE) .....	20
Tabelle 3: Auszug Spezifikationen BTS256-EF (Gigahertz-Optik GmbH, Türkenfeld, DE) .....	20
Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse .....	53
Tabelle 5: Anforderungskatalog an die Beleuchtung in Putenställen .....	63

## 1. Kurzfassung

Im Modellvorhaben „Licht als Managementfaktor im Putenstall“ (LiMa-Puten), gefördert durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, erfolgte während des Durchführungszeitraumes (15.07.2021 bis 31.12.2022) eine Status quo-Erhebung der Lichtverhältnisse von 16 unbelegten Putenställen in Brandenburg. Insgesamt wurden 19 Betriebsbesuche durchgeführt.

Unzureichende Lichtbedingungen werden im Zusammenhang mit dem Auftreten von Verhaltensstörungen, insbesondere Beschädigungspicken, bei Puten diskutiert. Daher wurden im Modellvorhaben die Lichtbedingungen für Puten in repräsentativen, in der Praxis verbreiteten Ställen ermittelt.

Im Gegensatz zum Menschen verfügt Geflügel über ein besonderes Sehvermögen, das sich unter anderem durch die visuelle Wahrnehmung von ultraviolettem (UV) Licht und einem besseren Bewegungssehen auszeichnet. Aufgrund der biologischen Besonderheiten des Geflügelauges und um eine flackerfreie Lichtwahrnehmung zu gewährleisten, müsste ein UV-A-Anteil zur Komplementierung des Sehspektrums von Geflügel im Lichtspektrum der Leuchtmittel des Stalls vorhanden, sowie Lampen mit einer hohen Lichtfrequenz von mindestens 160 Hz verbaut sein. Bei einer Frequenz kleiner 120 Hz wird Licht von Vögeln als Flackern wahrgenommen, was für die Tiere als „Stress“ wahrgenommen werden könnte.

Im Modellvorhaben wurden hierzu verschiedene Lichtparameter in geschlossenen und offenen Stallbautypen erfasst. In den untersuchten Ställen waren Leuchtstofflampen, LEDs und Retrofit-LEDs verbaut. Im Ergebnis ließ sich herausstellen, dass das Kunstlichtspektrum der LEDs keinen UV-A-Anteil aufwies. Bei Leuchtstofflampen entsteht sichtbares Licht unter anderem durch die Umwandlung von UV-Licht in einer Fluoreszenzschicht der Lampe, sodass ein geringer Anteil von UV-Strahlung im Lichtspektrum von Leuchtstofflampen messbar war. Dennoch kann mit Leuchtstofflampen kein tageslichtähnliches Spektrum erzielt werden, da sie ein schmalbandiges Lichtspektrum emittieren, welches sich durch Peaks in v.a. drei Farbbereichen auszeichnet und somit die Lichtansprüche von Puten eher nicht erfüllt. Die gemessenen LEDs wiesen ein breiteres Lichtspektrum mit mehr Farben auf. Die gemessenen Leuchtstofflampen wurden möglicherweise als flackernd von Puten wahrgenommen, da die gemessene Frequenz bei 100 Hz und somit unter der Flimmerfusionsfrequenz von Geflügel lag. Die Flimmerfusionsfrequenz beschreibt die Frequenz, ab der eine Abfolge von einzelnen Lichtreizen als kontinuierlicher Lichtstrom wahrgenommen wird. Bei Geflügel kann die Flimmerfusionsfrequenz je nach Helligkeit bis zu 120 Hz erreichen und liegt damit über der gemessenen Lichtfrequenz der erfassten Leuchtstofflampen. Die im Modellvorhaben gemessenen LEDs haben die Flimmerfusionsfrequenz von Geflügel überschritten und sind als flackerfrei zu bewerten.

Beim Vergleich der Lichtintensitäten in geschlossenen Ställen wurde festgestellt, dass sie bei gleicher Dimmeinstellung erheblich voneinander abwichen, sodass Empfehlungen für Lichtreduktionen bei Federpicken und Kannibalismus nicht auf Basis von Dimmeinstellungen getroffen werden können.

In offenen Ställen herrschten sehr heterogene Lichtverhältnisse im Stall, die unter anderem durch den Sonnenstand beeinflusst wurden. Die Bestrahlungsstärke der offenen Stalllängsseiten variierte täglich mit dem Verlauf der Sonne. Das Tierverhalten wurde in diesem Modellvorhaben nicht erfasst. Es ist aber davon auszugehen, dass Puten ihre Artgenossen aufgrund von wechselnden Lichtintensitäten unterschiedlich wahrnehmen. Das Erkundungspicken der Tiere kann sich unter solchen Bedingungen zu Beschädigungspicken verändern. Im Verlauf der Jahreszeiten wurde eine stärkere Vermischung von Kunst- und Tageslicht im Sommer im Vergleich zum Winter festgestellt.

Des Weiteren wurde das Lichtspektrum bei Offenställen teilweise durch die Farbe der Jalousiefolien verändert, was für die Puten Auswirkungen auf die Wahrnehmung ihrer Umwelt, zum Beispiel die Farbwirkung des Futters, haben kann.

Der Großteil der untersuchten Mast- beziehungsweise Legefarmen war nicht mit dimmbaren Lampen ausgestattet, so dass unter Umständen durch plötzliche Lichtwechsel zwischen Hell- und Dunkelphase „Belastungsstress“ bei den Tieren ausgelöst werden kann. Dieser Effekt kann bei Jungputen nach der Umstallung in die Mast- oder Elterntierfarm verstärkt werden, da die Aufzuchtfarmen in der Regel mit dimmbaren Lampen ausgestattet waren und die Puten somit Dimmphasen während der Aufzucht und Prägungsphase kennengelernt haben.

Als stallbautechnische Schwachstellen wurden beispielsweise Löcher im Dachüberstand erfasst, die vor allem im Sommer bei klarem Himmel zu Lichtflecken im Stallbereich führen können. Gerichteter Sonneneinfall sollte bei Nutzgeflügel vermieden werden, da es dadurch zu Tieransammlungen kommen kann, die zu Verletzungen und unter Umständen zu Erdrückungsverlusten führen können. Bei dimmbaren Lampen wurde teilweise festgestellt, dass einzelne Lampen defekt waren und die Helligkeit nicht reduziert wurde, sodass es auch in geschlossenen Ställen unter Kunstlichtbedingungen zu Lichtflecken kommen kann.

## 2. Einführung in das Modellvorhaben

### 2.1. Problemstellung

Federpicken beziehungsweise Beschädigungspicken oder Kannibalismus sind unerwünschte Verhaltensabweichungen bei Puten, die sowohl unter konventionellen als auch ökologischen Haltungsbedingungen jederzeit auftreten können. Hochgradige Verletzungen aufgrund von Bepicken von Artgenossen stellen ein tierschutzrelevantes Problem sowie eine erhebliche Beeinträchtigung der Tiergesundheit in der Geflügelhaltung dar. Um schwerwiegende Pickverletzungen zu reduzieren, wird in Deutschland die Oberschnabelspitze von Putenküken in der Brüterei gekürzt. Dies ist ein nicht-kurativer Eingriff am Tier, der laut Tierschutzgesetz grundsätzlich verboten ist (TierSchG 2021), aber im Zuge einer Ausnahmegenehmigung aufgrund eines Abwägungsprozesses vollzogen wird. Um zukünftig auf Maßnahmen zur Reduzierung der Folgen von Verhaltensstörungen, konkret das Schnabelkürzen, verzichten zu können, wird der Fokus verstärkt auf die Vermeidung der Ursachen von Verhaltensstörungen gelegt. Als eine relevante Einflussgröße im Zusammenhang mit dem Auftreten von Verhaltensstörungen werden die Lichtverhältnisse (Lichtspektrum, Lichtintensität, Licht-Frequenz) in der Putenhaltung diskutiert. Im Vergleich zum Menschen verfügt das Nutzgeflügel über ein deutlich ausgeprägteres Sehvermögen. Folglich reagieren auch Puten weitaus empfindlicher auf Lichtveränderungen als Säugetiere. Das menschliche Sehvermögen nimmt Lichtverhältnisse sowie mögliche Lichtveränderungen im Stall, im Vergleich zum ausgebildeten Sehvermögen der Puten, eingeschränkter wahr, weshalb nur mit Hilfe geeigneter Messgeräte eine Beurteilung der Lichtverhältnisse möglich ist. Bisher sind die Lichtverhältnisse in Putenställen mit entsprechender Messtechnik nur unzureichend erfasst, sodass sich gerichtete Zusammenhänge zwischen den Lichtverhältnissen im Stall und dem Auftreten von Verhaltensstörungen, insbesondere unter Praxisbedingungen, nicht sicher nachvollziehen lassen.

### 2.2. Entstehung und Ziele

Das Land Brandenburg hat seit Dezember 2017, in Folge des Volksbegehren „Volksinitiative gegen Massentierhaltung“, eine Tierschutzplan etabliert, der 144 Handlungsempfehlungen umfasst. An der Erstellung des Tierschutzplanes waren Facharbeitsgruppen beteiligt, die aus Vertretern des Aktionsbündnisses Agrarwende Berlin-Brandenburg, des Berufsstandes und der Wissenschaft zusammengesetzt sind. Sie unterstützen das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) sowie das Ministerium für Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz (MSGIV) weiterhin bei der Umsetzung der Handlungsempfehlungen (MLUK Brandenburg 2022).

Auch die Arbeitsgruppe Puten greift in der Handlungsempfehlung 44 des Tierschutzplans die Tierschutzrelevanz des Schnabelkürzens auf. Ein kurzfristiger Ausstieg ist schwierig und erst umsetzbar, wenn umfassende wissenschaftliche Erkenntnisse über die Auslöser von Federpicken sowie Kannibalismus/Beschädigungspicken und über Möglichkeiten zur Vermeidung vorliegen (MLUK Brandenburg 2022). Um den Verzicht auf das Schnabelkürzen voranzubringen, wurde daher ein Modellvorhaben mit wissenschaftlicher Begleitung der Hochschule Osnabrück (Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Tierhaltung und Produkte, Studienschwerpunkt angewandte Geflügelwissenschaften) initiiert.

Federpicken und Kannibalismus beziehungsweise Beschädigungspicken sind Verhaltensabweichungen mit multifaktoriellen Ursachen. Da das Licht ein solcher Auslöser sein kann, war **das Ziel des Modellvorhabens „LiMa-Puten“ die Status quo-Erfassung von Lichtverhältnissen in repräsentativen Putenställen in Brandenburg.** Die Messungen wurden in

unbelegten Ställen durchgeführt, um mit den Ergebnissen eine Grundlage zur Beurteilung der Lichtverhältnisse in Putenställen unterschiedlicher Ausführungen zu schaffen. Dazu wurden die verbauten Leuchtmittel inklusive ihres Lichtspektrums, ihrer Lichtintensität und ihrer Frequenz erfasst. Des Weiteren sollte untersucht werden, welche **Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Lichtverhältnisse** in den Ställen bestehen. Hierzu zählten unter anderem die Dimmung von Lampen und die Beeinflussung des Tageslichteinfalls. Nach der Auswertung der Ergebnisse sollten lichtassoziierte Risiken in Ställen identifiziert und ein Kriterienkatalog für Licht in Putenställen erstellt werden.

### 3. Stand des Wissens

#### 3.1. Licht

Licht ist elektromagnetische Strahlung, die über das Auge, d.h. visuell, wahrgenommen wird. Aus Abbildung 1 wird deutlich, dass das sichtbare Licht neben beispielsweise Röntgenstrahlen und Radiowellen nur einen sehr geringen Anteil des elektromagnetischen Spektrums bildet. Farben können nur wahrgenommen werden, wenn Licht vorhanden ist. Die sichtbaren menschlichen Spektralfarben sind in Abbildung 1 dargestellt. Werden diese Spektralfarben zu gleichen Anteilen gemischt, entsteht weißes Licht (Ris 2008). Licht als elektromagnetische Strahlung wird über Wellenlängen in der Einheit Nanometer [nm] beschrieben. Bestimmte Wellenlängenbereiche definieren Farbbereiche. Kurze Wellenlängen werden zum Beispiel als „blau“ (circa 437 – 495 nm) und lange Wellenlängen als „rot“ (circa 628 – 780 nm) von Menschen wahrgenommen.

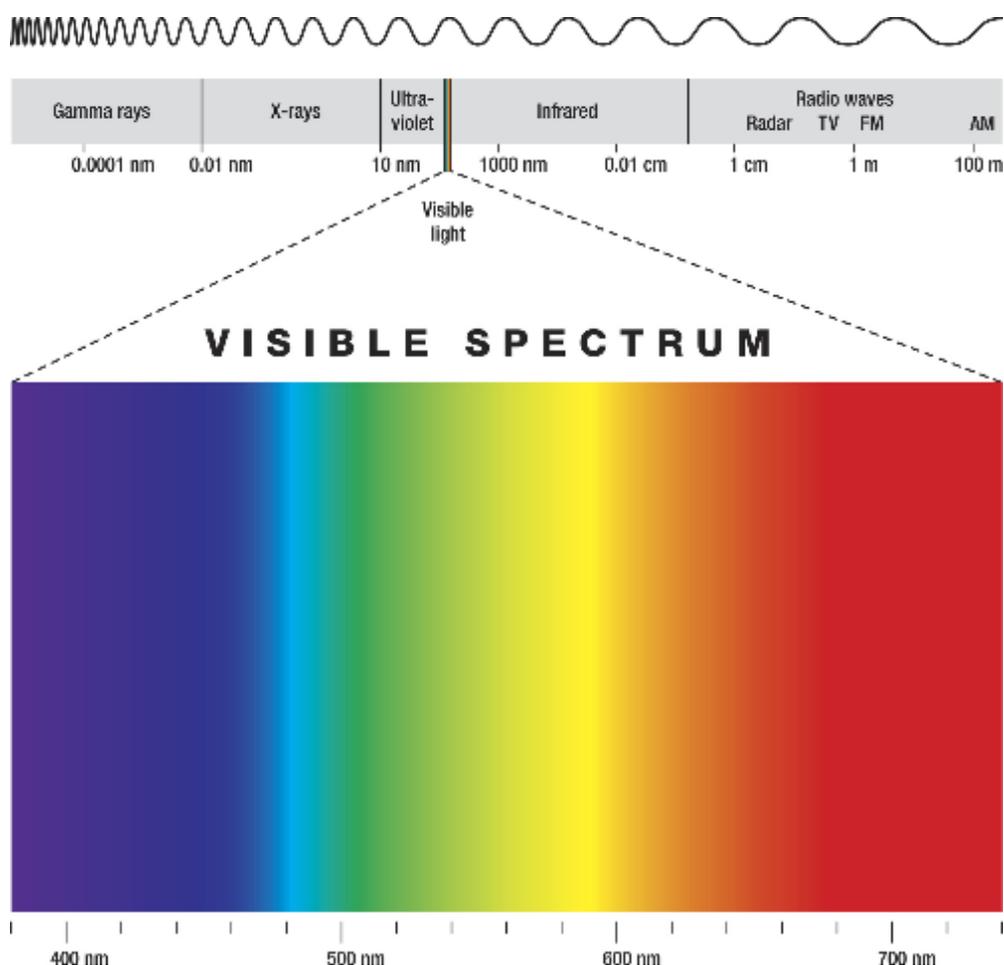


Abbildung 1: Elektromagnetisches Spektrum (Lizenz erworben: iStock, 2022)

In welcher Farbe ein Gegenstand für den Betrachter erscheint, hängt von folgenden Einflussgrößen ab:

- der spektralen Zusammensetzung des auf den Gegenstand fallenden Lichts
- der spektralen Zusammensetzung des vom Gegenstand reflektierten Lichts
- den individuellen Eigenschaften des Sehsinns des Betrachters (Ris 2008).

Folglich erscheint ein Gegenstand (zum Beispiel Futterschale) in einer bestimmten Farbe, wenn diese Farbe (zum Beispiel Rot) in dem einfallenden Licht (zum Beispiel Sonnenlicht) im

Lichtspektrum enthalten ist, der Gegenstand diese Farbe reflektiert und der Betrachter des Gegenstandes diese Farbe wahrnehmen kann. Dem Beispiel folgend, würde eine rote Futterschale unter Licht ohne Rotanteil oder bei einer Rot-Grün-Schwäche des Betrachters in einer anderen Farbe erscheinen.

Ein Farbeindruck eines Objektes einer bestimmten Farbe entsteht also durch die Reflexion dieser bestimmten Farbe und der Absorption der übrigen Farben. Zudem kann Licht Materialien wie beispielsweise Glasscheiben durchdringen. Die Passage von Licht durch eine Materie wird als Transmission bezeichnet (Ris 2008). Durch die Transmission kann das Lichtspektrum verändert werden. Zum Beispiel wird bei Verbundglas bis zu 99 Prozent der UV-Strahlung, aufgrund einer Zwischenschicht aus Kunststoff zwischen den Glasscheiben, herausgefiltert. Bei klarem Flachglas hingegen transmittiert bis zu 72 Prozent (bewertet von 300 – 400 nm) der UV-Strahlung (Tuchinda et al. 2006; Reimers et al. 2022).

Die spektrale Zusammensetzung des Lichts wird durch die Lichtquelle bestimmt. Sonnenlicht ist die Quelle natürlichen Lichts und enthält alle Wellenlängen (Farben) im Spektrum, die ein Betrachter für einen realen Farbeindruck braucht. Im Gegensatz dazu emittieren Kunstlichtquellen wie Leuchtstofflampen oder Leuchtdioden (LED) nicht jede Wellenlänge des natürlichen Lichts, sodass es unter Umständen zu Abweichungen des realen Farbeindrucks kommen kann.

Darüber hinaus kann das Lichtspektrum durch die Passage (Transmission) von Materialien verändert werden. Beispielsweise ist im Tageslicht ultraviolettes (UV) Licht enthalten, das in der Regel bei der Transmission von Kunststofffenstern komplett herausgefiltert wird. Somit kann es auch unter solchen Bedingungen zu einer deutlichen Farbverschiebung bei der Wahrnehmung im Stall kommen.

Für die Wahrnehmung von Licht ist der Augenaufbau eines Lebewesens entscheidend, der im Kapitel 3.2. näher erläutert wird.

### 3.2. Sehvermögen Geflügel

Das Sehvermögen von Nutzgeflügel und Mensch unterscheidet sich in relevanten Parametern, sodass der Mensch nur Annahmen treffen kann, wie der Vogel seine Umwelt wahrnimmt.

#### Spektrum

Im Auge, auf der Netzhaut, gibt es zwei verschiedene Arten von Lichtrezeptoren, die sogenannten Stäbchen- und Zapfenzellen, die auf einfallendes Licht reagieren. Die Stäbchen werden bei schwachen Lichtverhältnissen (Dämmerung, Nacht) angeregt und sind für das Schwarz-Weiß-Sehen zuständig. Die Zapfen reagieren bei hellen Lichtverhältnissen und sind für das Farbsehen zuständig (Salomon und Achilles 2008). Der Mensch verfügt über drei verschiedene Zapfentypen, die jeweils auf eine der drei Grundfarben Rot, Grün oder Blau (RGB) reagieren (Frings und Müller 2019). Werden die drei Zapfen gleichzeitig durch einfallendes Licht erregt, nimmt der Mensch „weißes“ Licht wahr. Neben den drei genannten Zapfen des Menschen, verfügt der Vogel über einen weiteren Zapfentyp, der zusätzlich die Wahrnehmung von ultraviolettem (UV) Licht ermöglicht (Cebulla et al. 2012). Folglich nimmt der Vogel erst dann „weißes“ Licht wahr, wenn Licht die vier Grundfarben des Vogels beinhaltet (UV, Rot, Grün, Blau).

Die Zapfendichte pro Quadratmillimeter [ $c/mm^2$ ] ist beim Huhn (circa 10.000 – 35.961  $c/mm^2$ ) (Cebulla et al. 2012) um das vier- bis sechsfache höher als beim Menschen (2.500  $c/mm^2$  peripher; 6000  $c/mm^2$  zentral) (Jonas et al. 1992), sodass die besondere Farbwahrnehmung des Vogelauges am Beispiel des Hühnerauges verdeutlicht wird, da zum Putenaug keine Literatur vorlag.

Sonnenlicht ist die Quelle natürlichen Lichts und bedient somit alle biologischen Ansprüche des Vogelauges im natürlichen Habitat. Im Gegensatz dazu verfügen die häufig als Kunstlicht verwendeten Leuchtstoffröhren oder einfachen LEDs nicht über einen UV-Anteil im Lichtspektrum, sodass für Geflügel eine Farbe zur Vervollständigung des Sehspektrums fehlt. Es wird daher angenommen, dass Geflügel die Haltungsumwelt bei fehlendem UV-Anteil in sogenannten „Falschfarben“ wahrnimmt. Dieser Effekt kann beim Betrachten desselben Knopfes der Fernbedienung in Abbildung 2 unter verschiedenen Lichteinstellungen nachvollzogen werden. Beispielsweise erscheinen rote Gegenstände unter grünem Licht plötzlich schwarz.



Abbildung 2: Fernbedienung unter „weißem“, „rotem“ und „grünem“ Licht  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

### Helligkeit

In Abbildung 3 sind die Hellempfindlichkeitskurven von Mensch und Geflügel dargestellt. Es wird deutlich, dass die Hellempfindlichkeitskurven von Mensch und Geflügel im grün-gelben Wellenlängenbereich (circa 510 – 580 nm) annähernd deckungsgleich verlaufen, sodass von einer ähnlichen Hellempfindlichkeit in diesem Farbbereich ausgegangen werden kann. Jedoch sind bei der Hellempfindlichkeitskurve von Geflügel insgesamt drei weitere Peaks im ultravioletten, blauen und roten Bereich zu sehen, die in diesen Farbbereichen auf eine höhere Hellempfindlichkeit des Vogelauges im Vergleich zum Menschenauge schließen lassen. Folglich nimmt Geflügel die Haltungsumwelt heller wahr als der Mensch.

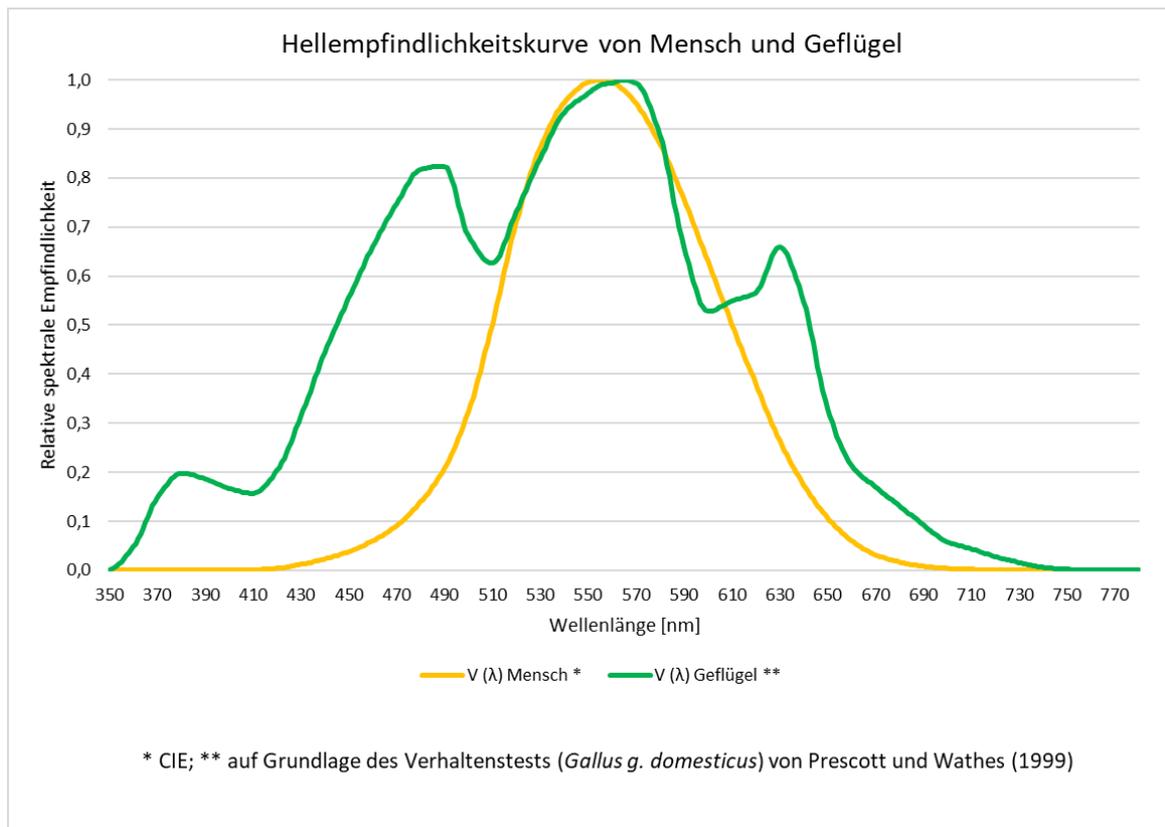


Abbildung 3: Hellempfindlichkeitskurve des Menschen im Vergleich zu Geflügel. (CIE: Internationale Beleuchtungskommission)

### Flimmerfusionsfrequenz

Eine weitere biologische Besonderheit des Vogelauges ist der sogenannte Doppelzapfen, der nicht wesentlich am Farbsehen, sondern wahrscheinlich erheblich am Bewegungssehen, der Wahrnehmung schneller Bewegungen, beteiligt ist. Dadurch kann Geflügel mehr Bilder beziehungsweise mehr Lichtreize pro Sekunde voneinander unterscheiden als der Mensch. Die Abfolge (Frequenz) von Bildern oder Lichtreizen, bei der diese als Film oder kontinuierliches Licht wahrgenommen werden, wird als Flimmerfusionsfrequenz (FFF) bezeichnet, die in der Einheit Hertz [Hz] angegeben wird. Geflügel kann eine FFF in der Größenordnung von 120 Hz (Lisney et al. 2012) und der Menschen von circa 60 – 80 Hz erreichen, wobei die Helligkeit eine große Rolle spielt. Geflügel kann somit im Vergleich zum Menschen ungefähr doppelt so viele Lichtreize voneinander unterscheiden. Helligkeit (Lisney et al. 2011) und Reflexion des Lichtes im Raum beeinflussen die individuelle Wahrnehmung zusätzlich.

### 3.3. Lichtparameter

Elektromagnetische Strahlung in Form von Licht kann über eine Vielzahl von Parametern, beispielsweise die Beleuchtungsstärke Lux [lx], die Lichtstärke Candela [cd], die Farbtemperatur [K] oder die Bestrahlungsstärke [W/m<sup>2</sup>/nm] beschrieben werden. Nachfolgend werden die Lichtparameter erläutert, die üblicherweise zur Beurteilung von Lichtverhältnissen in Geflügelställen verwendet werden, aber nicht zwangsläufig dafür geeignet sind.

### Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlungsstärke [W/m<sup>2</sup>/nm] erfasst die Leistung der eingehenden elektromagnetischen Strahlung [W], die auf eine bestimmte Fläche [m<sup>2</sup>] fällt. Die Bestrahlungsstärke pro Wellenlänge [nm] ergibt das Lichtspektrum. Sie ist eine objektive Messgröße, die nicht an die menschliche Lichtwahrnehmung angepasst ist und stellt folglich einen geeigneten Parameter dar, um die Lichtverhältnisse in einem Geflügelstall jenseits der menschlichen Wahrnehmungsmöglichkeiten abzubilden.

### Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke oder Lichtintensität erfasst den Lichtstrom Lumen [lm], der auf eine bestimmte Fläche [m<sup>2</sup>] fällt und beschreibt die Helligkeit in Lux [lx] (Ris 2008). Beispielsweise wird in den Bundeseinheitlichen Eckwerten für eine freiwillige Vereinbarung zur Haltung von Mastputen (Verband Deutscher Putenerzeuger e. V. 2013) eine Lichtintensität von mindestens 20 lx auf Augenhöhe der Tiere gefordert. Wie aber auch in den Eckwerten erwähnt (Verband Deutscher Putenerzeuger e. V. 2013), bezieht sich die Einheit Lux auf das menschliche Sehvermögen und kann nur bedingt auf Geflügel übertragen werden. Aus der Abbildung 3 geht hervor, dass überwiegend der grün-gelbe Farbbereich, also die menschliche Hellempfindlichkeit, mit der Einheit Lux wiedergegeben wird. Die Helligkeit von ultraviolettem, blauem und rotem Licht wird mit der Einheit Lux bezogen auf Vögel deutlich unterschätzt (Lewis und Morris 2006). Folglich würde Geflügel die Haltungsumwelt heller wahrnehmen als der Mensch. Dennoch dient die Beleuchtungsstärke als Orientierung, um die Lichtverhältnisse in Geflügelställen einzuschätzen und zu vergleichen. Zur Beschreibung der Lichtverhältnisse aus Sicht des Geflügels könnte die Verwendung der Einheit „Gallilux“ einen authentischeren Näherungswert liefern (Lewis und Morris 2006). Ein anderer Vorschlag ist die Angabe als Lichtindex-Geflügel [LIG], um die differenzierten Wahrnehmungsmöglichkeiten verschiedener Vogelarten zu berücksichtigen. Diese Herangehensweise würde zu anderen Werten bei Puten führen als vergleiche bei Hühnern oder Enten.

### Flicker-Frequenz

Helligkeitsschwankungen werden mit Lichtflackern assoziiert. Zu einem gewissen Grad generieren alle Leuchtmittel ein Flackern. Die Wahrnehmung von Flackern hängt unter anderem von der Modulation der Amplitude und der periodischen Frequenz ab, wobei letztere am eingehendsten untersucht wurde (IEEE Power Electronics Society et al. 2015). Eine Frequenz beschreibt die Schwingungen pro Sekunde und wird in Hertz [Hz] angegeben. Ein Hertz beschreibt eine Schwingung pro Sekunde. Die Flicker-Frequenz beschreibt die Anzahl von Lichtreizen pro Sekunde, die von einer Lampe emittiert werden. Die Flicker- beziehungsweise Lichtfrequenz ist nicht mit der Netzfrequenz zu verwechseln, die in Deutschland üblicherweise 50 Hz beträgt. Mit der Flicker-Frequenz (nachfolgend Frequenz) wird eine Aussage über die Flackereigenschaften von Lampen getroffen. Flackereigenschaften von Lampen werden im Humanbereich teilweise über den Flicker-Index und den Flicker-Prozent beurteilt. Je höher der Wert, desto stärker das Flackern einer Lichtquelle. Für Geflügel sind keine Grenzwerte bekannt. Der Flicker-Index wird über die Fläche, die oberhalb der durchschnittlichen Helligkeitslinie liegt, dividiert durch die gesamte Fläche unter der Helligkeitslinie, in einem Zyklus definiert (vergleiche Abbildung 4).

$$\text{Flicker-Index} = \frac{\text{Fläche 1}}{\text{Fläche 1} + \text{Fläche 2}}$$

Flicker-Prozent kann auch als peak-to-peak Kontrast beschrieben werden, da der Wert mit den maximalen und minimalen Helligkeitsschwankungen in einem Zyklus berechnet wird (vergleiche Abbildung 4) (Lehman et al. 2011).

$$\text{Flicker-Prozent} = \frac{A-B}{A+B} * 100\% ; A = \text{Maximalwert}; B = \text{Minimalwert}$$

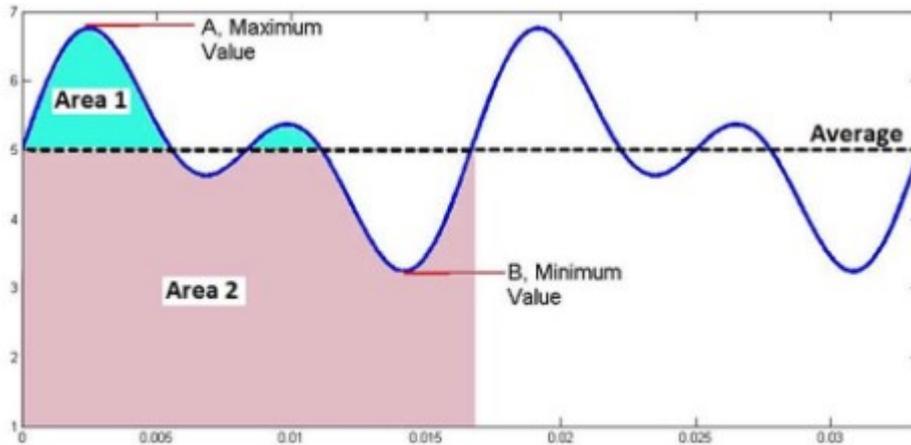


Abbildung 4: Flicker-Index und Flicker-Prozent  
(IEEE Power Electronics Society et al. 2015)

Aufgrund der hohen Flimmerfusionsfrequenz von Geflügel wird eine Mindestfrequenz der Lampen von 160 Hz gefordert, die als flackerfrei für Geflügel gilt (Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2018).

### Farbtemperatur

Die Farbtemperatur wird in Kelvin [K] angegeben. Sie beschreibt die Lichtfarbe einer Lampe zum Beispiel als warm- oder kaltweiß (Ris 2008). Je niedriger die Farbtemperatur, desto wärmer (rötlicher) wird die Lichtfarbe über das menschliche Auge empfunden. Die Lichtfarbe gibt aber keinen Rückschluss auf die Wellenlänge. Die gleiche empfundene Farbtemperatur kann mit verschiedenen Lampentypen, zum Beispiel LED, Leuchtstofflampe, und somit grundlegend verschiedenen Lichtspektren erreicht werden. Daher ist die Beschreibung der Lichtverhältnisse im Geflügelstall über die Farbtemperatur grundsätzlich ungeeignet. Kriterien zur Lichtfarbe werden auch in Normen, wie der DIN EN 12464-1, nicht für Menschen berücksichtigt (licht.de, Fördergemeinschaft Gutes Licht und Deutsche Lichttechnische Gesellschaft 2013).

## 3.4. Bedeutung von Licht für Geflügel

Licht spielt eine zentrale Rolle in der Geflügelhaltung. Über Lichteinstellungen wie die Lichtdauer, die Lichtfarbe, die Lichtintensität (Helligkeit), können unter anderem biologische Prozesse sowie das Verhalten gesteuert werden. Beispielsweise wird über die Verlängerung des Lichttages der Beginn der Legeperiode bei Lege- und Putenhennen induziert. Zudem scheint die Wellenlänge (Farbe) einen Einfluss auf die Fruchtbarkeit und Eizahl zu haben (Li et al. 2014). Über Lichtreduktion beziehungsweise Lichtsteigerung kann unter anderem das Ruhe- beziehungsweise das Aktivitätsverhalten gesteuert werden. Zum Aktivitätsverhalten zählt auch das Pickverhalten. Bei Puten konnte vor allem bei höheren Lichtintensitäten (50 lx im Vergleich zu 5 lx) Federpicken und aggressives Picken gegenüber Artgenossen beobachtet werden (Mohammed et al. 2016).

Von allen Sinnen ist das Sehen beim Vogel am stärksten ausgebildet (Prescott et al. 2003), sodass mögliche Verhaltensänderungen vor allem nach einem Stall- oder Futterwechsel auftreten können. Bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen in der Aufzucht und der Produktionsfarm (Mast- oder Legefarm) erscheinen lebensnotwendige Einrichtungsgegenstände (Tränken und Tröge) nach der Umstallung für die Puten ggfs. in anderen Farben. Futter und Wasser werden durch diese Irritation eventuell nicht unmittelbar gefunden, was zu Verhaltensstörungen und einem Anstieg der Mortalität führen kann. Der optische Reiz von Futter spielt bei Geflügel eine größere Rolle als der Geschmack oder der Geruch. Zuvor bekannte Futterkomponenten, wie Mais oder Raps (helles/dunkles Futter), werden bei neuen Lichtverhältnissen von Geflügel anders wahrgenommen, sodass es zur Reduzierung der Futteraufnahme kommen kann. Unterschiedliche Lichtverhältnisse sind beim Wechsel von Leuchtstofflampen zu LEDs, nach einer Umstallung oder einer Umrüstung zu erwarten. Auch innerhalb einer Leuchtmittelart kann es zu erheblichen chargen- und altersabhängigen Unterschieden kommen. Werden beispielsweise defekte Leuchtstoffröhren durch neue, mit gleicher Typenbezeichnung ersetzt, können zum Teil schon mit dem menschlichen Auge Unterschiede in der Leuchtkraft erkannt werden. Zudem altern Leuchtstofflampen mit UV-A-Anteil schneller als Leuchtstofflampen ohne UV-A-Anteil (Günther 2013). Für den Vogel bedeutet das eine unterschiedliche Umweltwahrnehmung, je nachdem in welchem Stallbereich er sich aufhält.

### 3.5. Putenhaltungsformen in Deutschland

In der Putenhaltung gibt es Offenställe und geschlossene Ställe, die sich in ihrer Stallklimaführung und dem Tageslichteinfall voneinander unterscheiden.

In Deutschland wird der Großteil von Puten in Offenställen, sogenannten Louisianaställen gehalten (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2020). Offenställe zeichnen sich durch großflächige, offene Stallseiten aus. Die Belüftung des Stalls erfolgt über die Schwerkraft, indem regelbare Jalousiefolien oder Sandwichklappen, je nach Luftbedarf und Temperatur, geöffnet oder geschlossen werden (Moorgut Kartzfehn 2021). Sofern die Jalousiefolien beziehungsweise Lüftungsklappen geöffnet sind, dringt Tageslicht über die Stallseiten in den Stall. Je nach Klima und Jahreszeit variieren dann die Lichtdauer und –intensität des Tageslichts in Offenställen (Moorgut Kartzfehn 2021).

In geschlossenen Ställen erfolgt eine Zwangsbelüftung über Unterdruck. Die Abluft wird durch Ventilatoren abgesogen, über Zuluftventile oder –klappen an den Stalllängsseiten strömt Frischluft in den Stall (Moorgut Kartzfehn 2021). Im Gegensatz zu Offenställen gibt es in geschlossenen Ställen in der Regel keinen direkten Tageslichteinfall. Die Zuluftventile sind an der Stallaußenwand mit Lichtfiltern verdeckt, sodass darüber kein Tageslicht in den Stall gelangen kann. Bei Putenställen, die nach dem 01. Oktober 2013 genehmigt oder in Benutzung genommen wurden, müssen mindestens 3 Prozent der Stallgrundfläche mit Lichtöffnungen für einen natürlichen Tageslichteinfall versehen sein (Verband Deutscher Putenerzeuger e. V. 2013). Somit müssen Altbauten keine Lichtöffnungen für Tageslichteinfall haben.

In einzelnen Haltungssystemen stehen den Puten Außenklimabereiche, sogenannte Wintergärten, als weitere Bewegungsfläche zur Verfügung. Außenklimabereiche sind mit einem Schleppdach ausgestattet und verfügen über offene Seitenwände (Moorgut Kartzfehn 2021), sodass die Tiere Zugang zu natürlichem Tageslicht haben.

### 3.6. Lichtansprüche von Puten

Die Vorfahren der domestizierten Puten (*Meleagris gallopavo*) sind in Nordamerika und Mexiko beheimatet (Mailyan et al. 2019). Das dortige Habitat der Puten setzt sich aus Steppen, Waldrändern

und lichten Wäldern zusammen. In diesem Habitat trifft das Sonnenlicht weitestgehend ungefiltert auf den Organismus. Lichtmessungen von Kämmerling et al. (2017) an habitatähnlichen Standorten der Pute haben einen durchschnittlichen UV-A-Anteil von 5,7 Prozent ergeben. Im Gegensatz dazu wird angenommen, dass Hühner (*Gallus gallus dom*) als ursprüngliche Dschungelbewohner einen niedrigeren UV-A-Anteil von circa 2,5 Prozent bevorzugen, da das Vegetationsdach als Filter des einfallenden Sonnenlichts wirkt.

### 3.7. Beleuchtung

Gemäß der Bundeseinheitlichen Eckwerte zur Haltung von Puten ist eine Lichtintensität von 20 lx in Augenhöhe der Tiere einzuhalten. Zudem sollte das Kunstlicht so weit wie möglich dem natürlichen Tageslicht entsprechen und flackerfrei für die Tiere sein (Verband Deutscher Putenerzeuger e. V. 2013).

#### Lampen

Für die Stallbeleuchtung werden in der Regel folgende Leuchtmittel verwendet: Leuchtstofflampen, Leuchtdioden (LEDs) beziehungsweise Retrofit-LEDs.

Leuchtstofflampen gehören zur Gruppe der Niederdruck-Entladungslampen. Es dominieren vor allem Leuchtstofflampen wie LUMILUX oder MASTER TL-D mit einem Durchmesser von 26 mm (T8) und Dreibandleuchtstoffen. Diese Dreibandleuchtstoffe zeichnen sich durch drei ausgeprägte Banden im blauen (circa 450 nm), grünen (circa 540 – 545 nm) und im roten (circa 610 nm) Spektralbereich aus. Sichtbares Licht entsteht durch die Transformation von UV-Strahlung angeregter Quecksilberatome in der Leuchtstoffschicht (Baer et al. 2016). Die entstehende Gesamtenergie teilt sich zu 25 Prozent auf Licht und zu 75 Prozent auf Wärme auf (Ris 2008). Aufgrund des hohen Energieverbrauchs und des umweltbelastenden Quecksilbergehaltes werden Leuchtstoffröhren (T8) nach den Ökodesign-Anforderungen vom 05.12.2019 der Richtlinie 2009/125/EG bis zum 01. September 2023 ausgephast.

Eine deutlich energieeffizientere Lösung zur Beleuchtung sind LEDs, da sie elektrischen Strom direkt in Licht umwandeln. LEDs bestehen aus mehreren Schichten von halbleitenden Materialien, wobei die emittierte Farbe von dem verwendeten Material abhängt. Im Vergleich zu Leuchtstofflampen kann mit LEDs jede Farbe des sichtbaren Spektrums realisiert werden (Ris 2008). Weißes Licht wird entweder wie bei der Leuchtstofflampe durch die Farbmischung der drei Grundfarben mit LEDs der Farben Rot, Grün und Blau (RGB-Spektrum) erzeugt oder durch eine Lumineszenzkonversion. Für das Verfahren wird eine blaue LED verwendet, die mit einem phosphorhaltigen Leuchtstoff beschichtet ist. Das blaue Licht verwandelt sich durch den Leuchtstoff zu grün-gelb. Die additive Farbmischung von blau und grün-gelb nimmt der Mensch als weißes Licht wahr (Ris 2008).

Es kann zwischen LED-Lampen (LED-Retrofit-Lampen) und LED-Leuchten differenziert werden. LED-Lampen können beispielsweise bereits beziehungsweise zukünftig ausgephaste Glühlampen oder Leuchtstofflampen mit etablierten (Norm-)Sockeln ersetzen. Bei LED-Leuchten sind die LEDs fest verbaut und es ist kein Austausch mit konventionellen Leuchtmitteln möglich (Baer et al. 2016).

## 4. Material und Methoden

### 4.1. Stallbautypen

Bei den im Modellvorhaben untersuchten Ställen handelte es sich ausschließlich um Altbauten, die sich in ihrer Bauweise (geschlossen, offen) und der verbauten Lampen (Leuchtstoffröhren, LED) voneinander unterschieden. Alle Ställe waren circa 90 – 120 m lang und circa 12 – 15 m breit. Deutliche Unterschiede gab es in der Deckenhöhe von circa 2,60 m bis 7,00 m. Die Decken selbst waren hauptsächlich flach, sodass die Lampen (mit einer Ausnahme) in gleicher Entfernung zum Boden angebracht waren. Ein Offenstall für Mastputen (P 17\_BB) verfügte über einen Außenklimabereich.

Es wurden **insgesamt zehn verschiedene geschlossene Ställe** während der Modellvorhabenlaufzeit gemessen. Die geschlossenen Ställe wurden zwangsbelüftet. Es herrschten kontrollierte Kunstlichtbedingungen, da kein Tageslicht in den Stall fiel. Bei einem untersuchten, geschlossenen Stall (P 01\_BB) fiel Tageslicht über Tageslichtöffnungen (Fenster) in den Stall.

Es wurden **insgesamt sieben verschiedene offene Ställe** untersucht. Drei Ställe wurden zweimal gemessen, um den jahreszeitlichen Verlauf des Lichtspektrums im Stallinnenbereich darzustellen. Die untersuchten Offenställe wurden über Jalousien belüftet. Die Messungen erfolgten bei geschlossenen und geöffneten Jalousien und jeweils mit an- sowie ausgeschaltetem Kunstlicht.

### 4.2. Verbaute Lampen

In 10 von 17 gemessenen Ställen waren Leuchtstofflampen verbaut. Die häufigsten Typen von Leuchtstofflampen waren Osram Lumilux L 58W/827 und Philips 56W/827 TL-D. In den Aufzuchtfarmen wurden in der Regel dimmbare Leuchtstofflampen verwendet. Die erfassten Legefarmen hatten, bis auf eine Ausnahme, keine dimmbaren Leuchtstofflampen. Vorschaltgeräte sind im Lampengehäuse verbaut und dürfen aus Sicherheitsgründen nur von Fachpersonal geöffnet werden, sodass an dieser Stelle keine Spezifikationen zu Vorschaltgeräten gegeben werden können. In 7 der 17 untersuchten Ställe waren LED-Leuchten (unter anderem LEDA International LED-X-48-Y) und in einem Stall Retrofit-LEDs (Casaya 18 W 613 LED Tube) verbaut. Die LEDs waren in Aufzucht- und Legefarmen verbaut, von denen drei Ställe mit dimmbaren LEDs ausgestattet waren. In drei der untersuchten Ställe gab es zusätzlich eine Notbeleuchtung mit blauen LEDs.

Eine detaillierte Übersicht der erfassten Ställe ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht der erfassten Putenställe in Brandenburg

Messdatum	Name	Stalltyp	Produktionsrichtung	Lampe	dimmbar
02.09.2021	P 02_BB	geschlossen	Legefarm	Leuchtstofflampen	ja
02.09.2021	P 03_BB	geschlossen	Aufzuchtfarm Elterntiere	Leuchtstofflampen	ja
14.10.2021	P 16_BB	geschlossen	Aufzuchtfarm Elterntiere	Leuchtstofflampen	ja
18.10.2021	P 18_BB	offen	Aufzuchtfarm Mastküken	Retrofit-LED	nein
04.11.2021; 23.06.2022	P 04_BB	offen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein
05.11.2021	P 05_BB	geschlossen	Aufzuchtfarm Elterntiere	LED	ja
08.02.2022	P 08_BB	geschlossen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein
08.02.2022; 27.09.2022	P 11_BB	offen	Legefarm	LED	ja
01.03.2022	P 10_BB	geschlossen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein
01.03.2022; 19.10.2022	P 19_BB	geschlossen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein
01.03.2022	P 13_BB	geschlossen	Legefarm	LED	nein
03.03.2022	P 12_BB	offen	Aufzuchtfarm Mastküken	LED	nein
27.04.2022	P 15_BB	offen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein
22.08.2022	P 01_BB	geschlossen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein
19.10.2022	P 20_BB	geschlossen	Aufzuchtfarm Mastküken	LED	ja
01.11.2022	P 17_BB	offen	Mastfarm	LED	nein
19.12.2022	P 06_BB	offen	Legefarm	Leuchtstofflampen	nein

### 4.3. Lichtmessgeräte

Für die Lichtmessungen wurden Lichtmessgeräte der Firma Gigahertz-Optik GmbH (Türkenfeld, Deutschland) verwendet. Auf Grundlage der bereits erläuterten Studien zum Sehsinn des Vogels konnte davon ausgegangen werden, dass die Messbereiche der verwendeten Technik das Sehspektrum von Geflügel fassen. Ein Auszug der genutzten Spezifikationen (Tabellen 2 und 3) wird nachfolgend erläutert.

#### BTS2048-VL

Das BTS2048-VL war ein Diodenarray-Spektralradiometer, das für die Messung des Lichtspektrums und der Beleuchtungsstärke verwendet wurde. Die Eingangsoptik bestand aus einer Streuscheibe mit Cosinus-Blickfeldfunktion, sodass die Beleuchtungsstärke auch bei schräg einfallendem Licht korrekt berechnet werden konnte. Das Spektrometer wurde im August 2021 und im September 2022 im Kalibrierlaboratorium der Firma Gigahertz-Optik GmbH kalibriert.

Tabelle 2: Auszug Spezifikationen BTS2048-VL (Gigahertz-Optik GmbH, Türkenfeld, DE)

Messgröße	Messbereich
Lichtspektrum [nm]	300 – 1050
Beleuchtungsstärke [lx]	0,1 – 3.000.000

#### BTS256-EF

Das BTS256-EF war ein Spektralradiometer, das v.a. für die Messung der Flicker-Frequenz verwendet wurde. Das Handmessgerät war gut geeignet, um Flicker-Messungen direkt an den Lampen durchzuführen. Das Spektrometer wurde im Juni 2021 und im September 2022 im Kalibrierlaboratorium der Firma Gigahertz-Optik GmbH kalibriert.

Tabelle 3: Auszug Spezifikationen BTS256-EF (Gigahertz-Optik GmbH, Türkenfeld, DE)

Messgröße	Messbereich
Lichtspektrum [nm]	360 – 830
Beleuchtungsstärke [lx]	1 – >199.000
Frequenz [Hz]	0,25 – 200.000

#### 4.4. Durchführung der Lichtmessungen

Insgesamt wurden 20 Lichtmessungen in unbelegten Putenställen sowie eine Datenerhebung in einem belegten Putenmaststall durchgeführt. Die Messungen erfolgten während der Serviceperiode, sodass die Termine von dem Zyklusdiagramm und der Länge der Serviceperiode der jeweiligen Betriebe abhingen. Aufgrund der sehr eng getakteten Serviceperioden auf den Mastfarmen (Günther 2022), wurden die Lichtverhältnisse für diese Form der Putenhaltung nicht in unbelegten Ställen untersucht. Da auf Mast-, Lege- und Aufzuchtfarmen von keinen weiteren als den hier untersuchten Lampen ausgegangen wird (Graue 2022; Thoran 2022), sind die untersuchten Ställe als repräsentativ anzusehen. Dies wurde durch eine Messung in einem belegten Mastbetrieb bestätigt. Da der Stall belegt war, wurden die Messergebnisse nicht mit den Lichtmessungen in unbelegten Ställen verglichen, sondern nur hinsichtlich des Stalltyps und der Lampenausstattung berücksichtigt.

Das Spektrum wurde mit dem BTS2048-VL gemessen. Das Messgerät wurde auf einem Stativ fixiert und mit dem Sensor senkrecht nach oben ausgerichtet. Dadurch wurden in jedem Stall die gleichen Messbedingungen erzielt und mögliche Einflüsse wie Reflexionen von Boden vermieden, die bei einer horizontalen Ausrichtung des Sensors möglich gewesen wären. Bei handelsüblichen Luxmetern wird der Sensor in der Regel senkrecht nach oben ausgerichtet, sodass die nachfolgend dargestellten Lichtintensitäten mit Messergebnissen anderer Untersuchungen näherungsweise verglichen werden konnten. Eine horizontale Ausrichtung des Sensors war nicht mit der Ausrichtung des Vogelauges gleichzusetzen. Das Spektrum wurde auf Augenhöhe der Tiere erfasst (hier festgelegt bei einer Höhe von 60 cm über dem Boden). Pro Lichtmessung wurden zehn Mittelungen sowie eine Integrationszeit von 100 ms gewählt. Bei LEDs wurde eine Breitband-Korrektur eingestellt.

Die Messpunkte wurden standortspezifisch für die Ställe ausgewählt. Je nach Produktionsrichtung wurde das Spektrum in den Funktionsbereichen Futteraufnahme, Wasseraufnahme und Eiablage sowie an den Wandbereichen, die als Ruhebereiche angenommen wurden, erfasst. Eine vereinfachte Darstellung der Messpunkte ist der Abbildung 5 zu entnehmen.

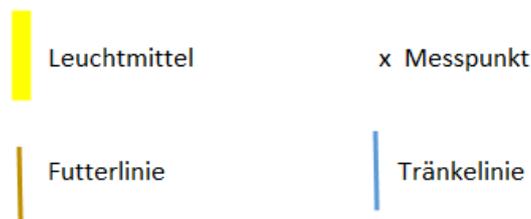
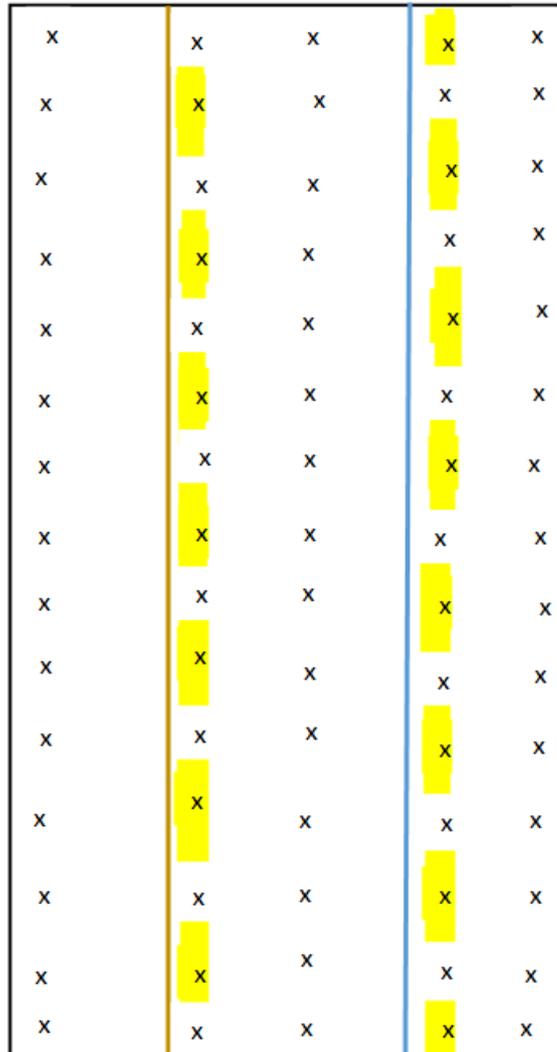


Abbildung 5: Skizze von Messpunkten in unterschiedlichen Stallbereichen (vergleiche Funktionsbereiche) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

In Offenställen wurden unterschiedliche Beleuchtungssituationen beobachtet, indem Lichtmessungen bei offenen und geschlossenen Seitenwänden sowie jeweils bei aus- und angeschaltetem Kunstlicht durchgeführt wurden. Sofern die Lampen dimmbar und eine manuelle Dimmung möglich waren, wurden verschiedene Dimmstufen eingestellt. Die Messungen der Frequenz erfolgten mit dem BTS256-EF direkt an den Lampen.

Jeder Stall wurde ebenso auf stallbautechnische Schwachstellen wie zum Beispiel einen gerichteten Tageslichteinfall, der zu Lichtflecken führen konnte, geprüft.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Lichtspektrum im geschlossenen Stall

Das Spektrum einer Lichtquelle setzt sich aus der Bestrahlungsstärke [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] pro Wellenlänge [ $\text{nm}$ ] zusammen. In vorangegangenen Lichtmessungen der Hochschule Osnabrück wurden über Tageslichtmessungen im Tages- und Jahresverlauf die Lichtverhältnisse an habitatähnlichen Standorten von Puten gemessen und darüber ein Habitatspektrum ermittelt (Kämmerling et al. 2017).

#### Spektrum im geschlossenen Stall mit Leuchtstofflampen

In Abbildung 6 ist das Spektrum in einem geschlossenen Stall (Legefarm) mit Leuchtstofflampen dargestellt. Das Spektrum der abgebildeten Messreihen setzte sich aus der Mittelung von den Messpunkten je Messreihe zusammen. Zwischen dem Messbereich befanden sich zwei Lampenreihen, sodass ein relativ gleichmäßiges Lichtspektrum im Stall erzeugt wurde. In diesem Fall war die Abweichung der Lichtintensität der Funktionsbereiche Ruhen (Wandbereich) und Futteraufnahme gering (0,3 Prozent), da die Abteilbreite mit zwei Lampenreihen ausgeleuchtet war. Im Vergleich zum Sonnenlicht beziehungsweise dem Habitatspektrum von Puten emittierten die Leuchtstofflampen nur auf wenigen Wellenlängen Licht, die als Peak in der Bestrahlungsstärke hervorgehoben wurden. Bei Leuchtstofflampen wird sichtbares Licht durch die Umwandlung von UV-Strahlung erzeugt, sodass ein geringer Anteil bei circa 360 nm im Lichtspektrum abgebildet werden konnte. **Aufgrund des schmalbandigen Spektrums der Leuchtstofflampen wurde deutlich, dass das angenommene Habitatspektrum nicht mit Leuchtstofflampen nachgestellt werden konnte.**

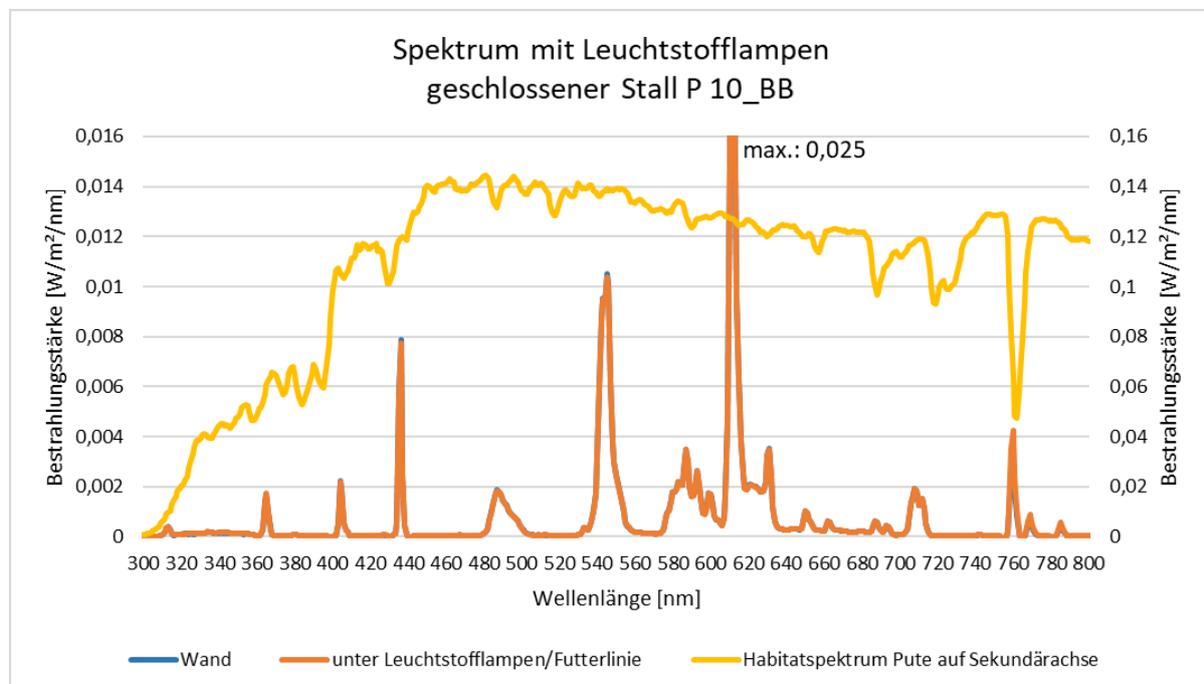


Abbildung 6: Spektrum im geschlossenen Stall mit Leuchtstofflampen in unterschiedlichen Stallbereichen: Wand ( $n=21$ ); unter Leuchtstofflampen/Futterlinie ( $n=21$ )

(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

### Spektrum im geschlossenen Stall mit LEDs

In Abbildung 7 ist das Kunstlichtspektrum in einem geschlossenen Stall (Aufzuchtfarm) mit LED-Leuchten dargestellt. Der Abstand zwischen den Messpunkten „Wand“ und „unter LED/Futterlinie“ betrug, wie bei der vorherig dargestellten Messung circa 3,20 m. Über der Futterlinie war eine LED-Reihe angebracht. Im Futteraufnahmebereich herrschte damit eine höhere Lichtintensität als im Wandbereich, sodass dieser von den Tieren als Ruhebereich genutzt werden könnte.

Es wird deutlich, dass mit LEDs ab circa 400 nm – 780 nm Licht auf jeder Wellenlänge emittiert wurde. Dadurch wurde ein breiteres Lichtspektrum erreicht als bei der Nutzung von Leuchtstofflampen, wie in Abbildung 6. Ein UV-A-Anteil war im Spektrum nicht messbar vorhanden. Dementsprechend könnte der UV-A-Zapfen bei den Puten nicht angeregt werden. **Im Gegensatz zu Leuchtstofflampen emittierten LEDs Licht über ein breiteres Spektrum und erzeugten folglich mehr Farben. Mit Kunstlicht konnte das natürliche Tageslicht aktuell noch nicht nachgebildet werden.**

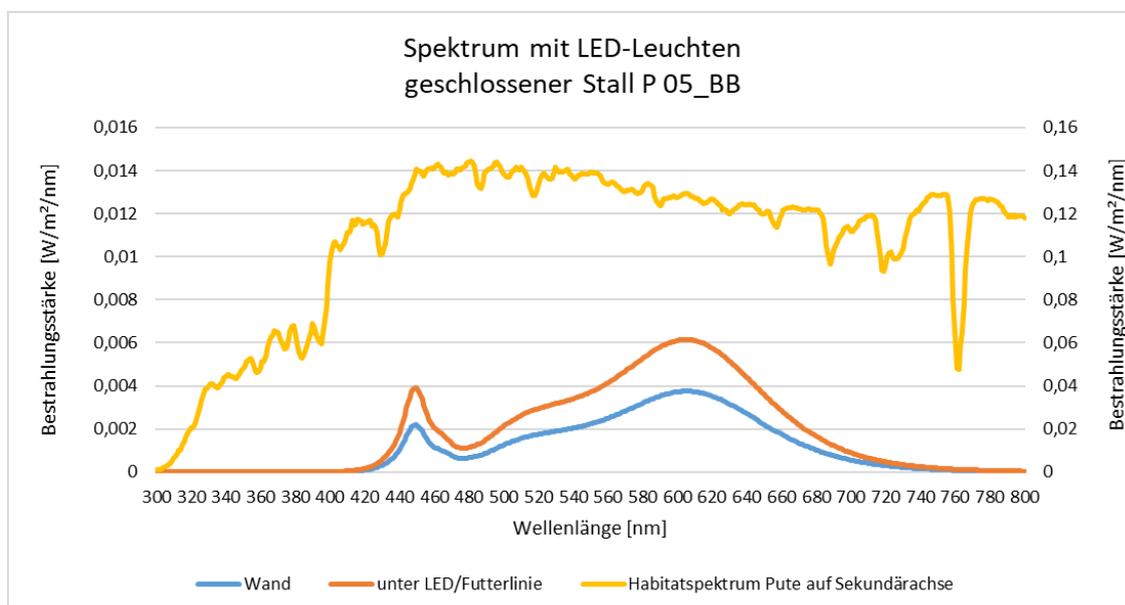


Abbildung 7: Spektrum im geschlossenen Stall mit LED-Leuchten in verschiedenen Stallbereichen: Wand (n=21); unter LED/Futterlinie (n=22) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

In den nachfolgenden Abbildungen wird kein Vergleich zum Habitatspektrum gezogen, da keine der gemessenen Kunstlichtspektren diesem näher entsprach.

### 5.2. Lichtspektrum im offenen Stall

Die Luftzuführung in den untersuchten Offenställen wurde über Jalousien gesteuert. Das Lichtspektrum im Stall wurde bei verschiedenen Licht- und Lüftungseinstellungen, bei geöffneten und geschlossenen Jalousien sowie jeweils bei an- und ausgeschaltetem Kunstlicht gemessen. Zwei der untersuchten Offenställe wurden zweimal gemessen, um den Einfluss der Jahreszeit, beziehungsweise den des Sonnenstandes, auf das Spektrum im Stall und eine mögliche Vermischung von Kunst- und Tageslicht darzustellen.

#### Konstantes Kunstlichtspektrum im Offenstall bei geschlossenen Jalousien

In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Kunstlichtspektren bei geschlossenen Jalousien desselben Offenstalls im Februar (Winter) beziehungsweise September (Herbst) dargestellt. Die

Lichtmessungen wurden an annähernd den gleichen Messpunkten durchgeführt. Bei der Legefarm befanden sich die Nester an den Wänden der beiden Stalllängsseiten. Die Futter- und die Tränkelinie wurden jeweils mit einer LED-Reihe beleuchtet. Daraus ergab sich eine niedrigere Lichtintensität im Bereich der Eiablage im Gegensatz zu den Funktionsbereichen der Futter- und Wasseraufnahme wie Abbildung 8 und Abbildung 9 durch eine annähernde Parallelverschiebung des Spektrums verdeutlichen. Die geringere Bestrahlungsstärke unter der Futterlinie in Abbildung 9 im Vergleich zu Abbildung 8 war wahrscheinlich durch die links- statt rechtsseitige Messung von den Futterschalen zu erklären. Bei beiden Lichtmessungen konnte eine Vermischung von Kunst- und Tageslicht trotz geschlossener Jalousien ab circa 700 nm festgestellt werden. **Insgesamt blieb das Kunstlichtspektrum innerhalb von sieben Monaten weitestgehend konstant.**

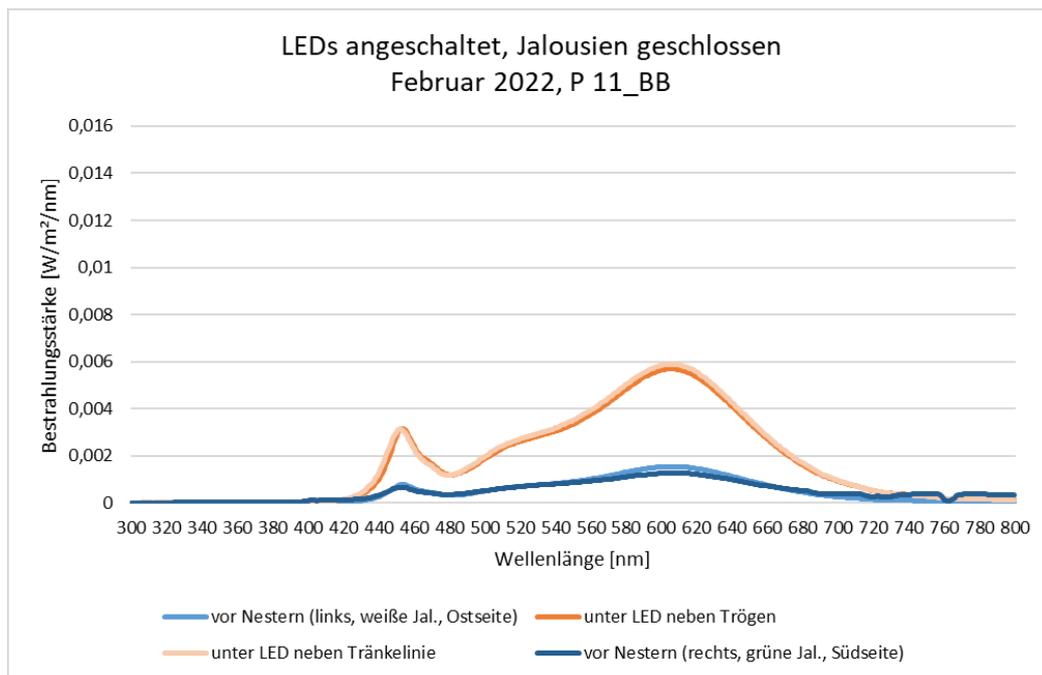


Abbildung 8: Kunstlichtspektrum im Offenstall in unterschiedlichen Stallbereichen: vor Nestern links (n=21); unter LED neben Trögen (n=20); unter LED neben Tränkelinie (n=21); vor Nestern rechts (n=21) bei geschlossenen Jalousien im Februar (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

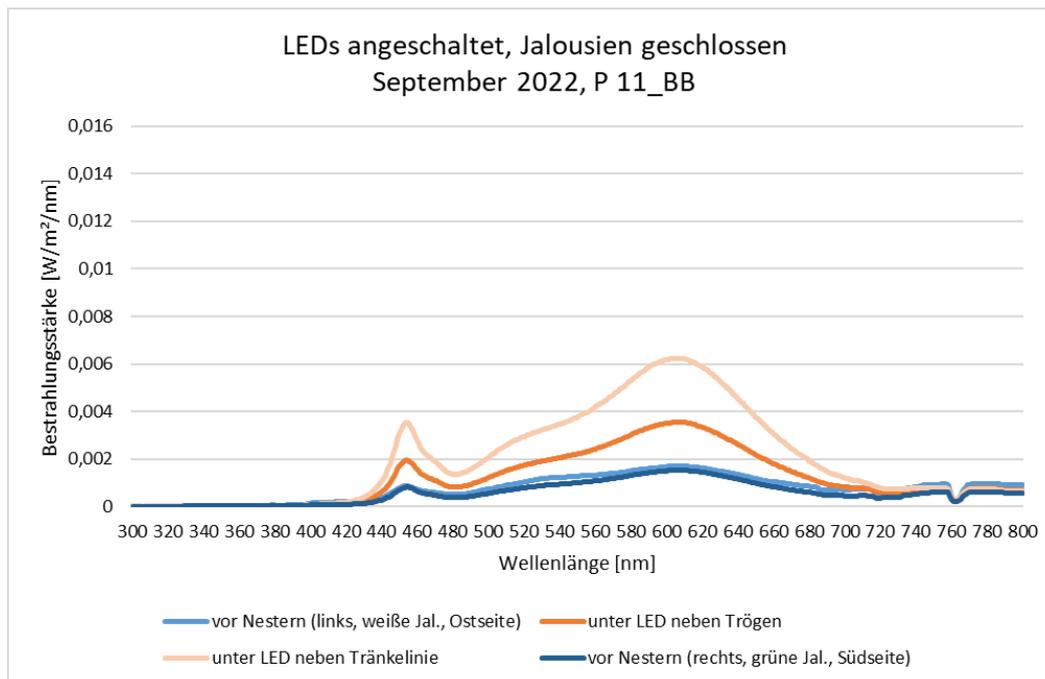


Abbildung 9: Kunstlichtspektrum im Offenstall in unterschiedlichen Stallbereichen: vor Nestern links (n=10); unter LED neben Trögen (n=10); unter LED neben Tränkelinie (n=10); vor Nestern rechts (n=10) bei geschlossenen Jalousien im September (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

#### Täglich variierendes natürliches Lichtspektrum im Offenstall aufgrund des Sonnenverlaufs

Im Offenstall kam es neben jahreszeitlich variierenden Intensitäten der Bestrahlungsstärke auch zu täglichen Schwankungen, wie die Abbildungen 10 – 13 verdeutlichen. Für die Darstellung der unterschiedlichen Intensitäten der Bestrahlungsstärke wurden die Wandbereiche der beiden Längsseiten des Offenstalls ausgewählt, da die Messpunkte am weitesten auseinanderlagen (circa 15 m) und somit die maximalen Differenzen dargestellt werden konnten. Die Jalousien waren geöffnet und das Kunstlicht ausgeschaltet. Die Messungen (Messbeginn morgens Ostseite: 08:23 Uhr, morgens Südseite: 09:26 Uhr, mittags Ostseite: 12:56 Uhr, mittags Südseite: 13:21 Uhr) dauerten jeweils circa 20 min. Beim Vergleich der morgendlichen Messungen von Abbildung 10 und Abbildung 11 wird deutlich, dass die Bestrahlungsstärke auf der zur Ostseite gelegenen Stallseite (durchschnittlich  $0,005 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  im Wellenlängenbereich 300 – 800 nm) aufgrund des Sonnenstandes höher war als auf der südwestlichen Stallseite (durchschnittlich  $0,002 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  im Wellenlängenbereich 300 – 800 nm).

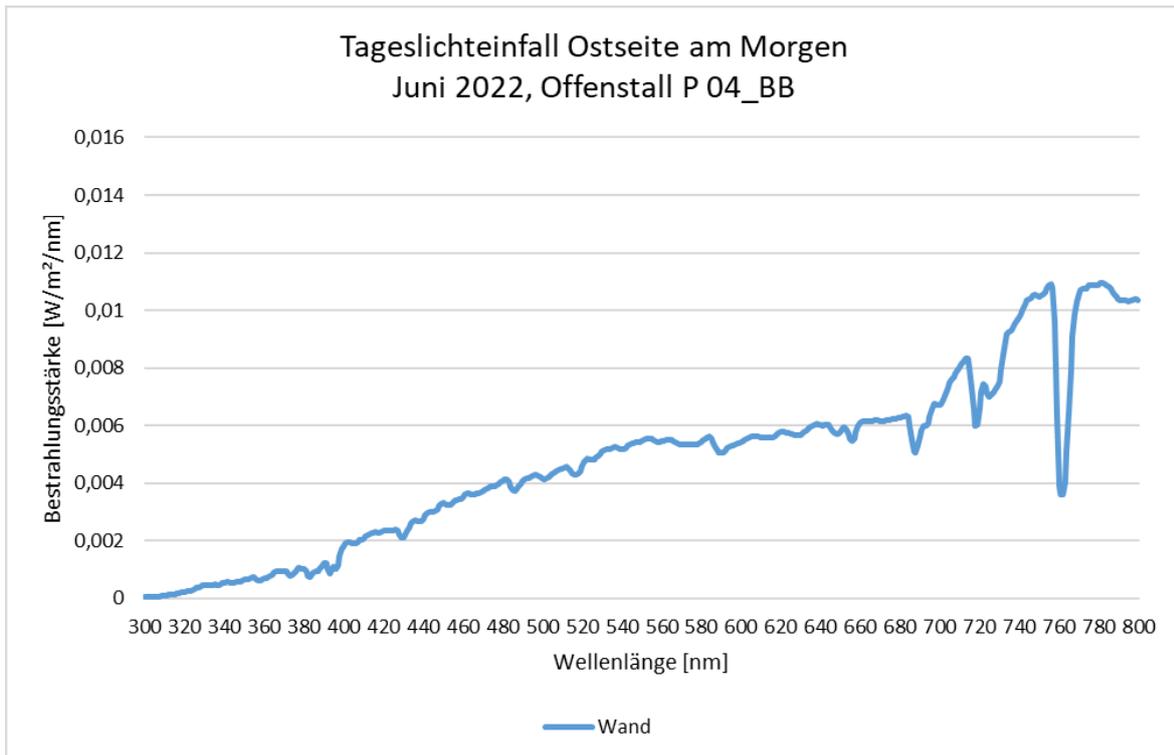


Abbildung 10: Tageslichteinfall auf der Ostseite im Offenstall P 04\_BB am Morgen (08:23 Uhr) bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10)  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

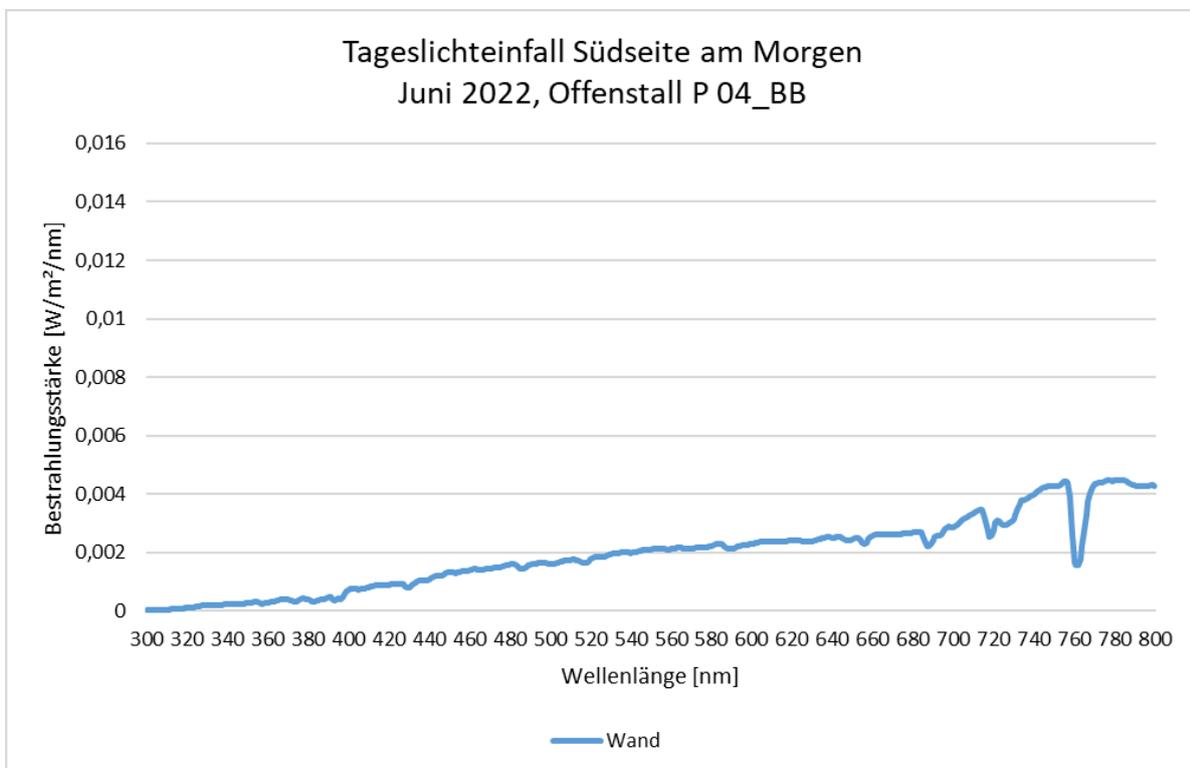


Abbildung 11: Tageslichteinfall auf der Südseite im Offenstall P 04\_BB am Morgen (09:26 Uhr) bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10)  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

Die Lichtmessungen wurden zur Mittagszeit wiederholt, um den Einfluss des Tageslaufs der Sonne über die Bestrahlungsstärke im Offenstall darzustellen. Der Wechsel des Sonnenstandes resultierte mittags auf der Ostseite in einer durchschnittlich (Wellenlängenbereich 300 – 800 nm) niedrigeren Bestrahlungsstärke von  $0,003 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  im Vergleich zu  $0,007 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  auf der Südseite des Offenstalls, wie Abbildung 12 und Abbildung 13 vergleichsweise verdeutlichen. Je nach Bewölkungsgrad konnte die Intensität der Bestrahlungsstärke variieren. Es war aber mit einer **erhöhten Bestrahlungsstärke auf der sonnenzugewandten Stallseite im Vergleich zur gegenüberliegenden Stallseite zu rechnen.**

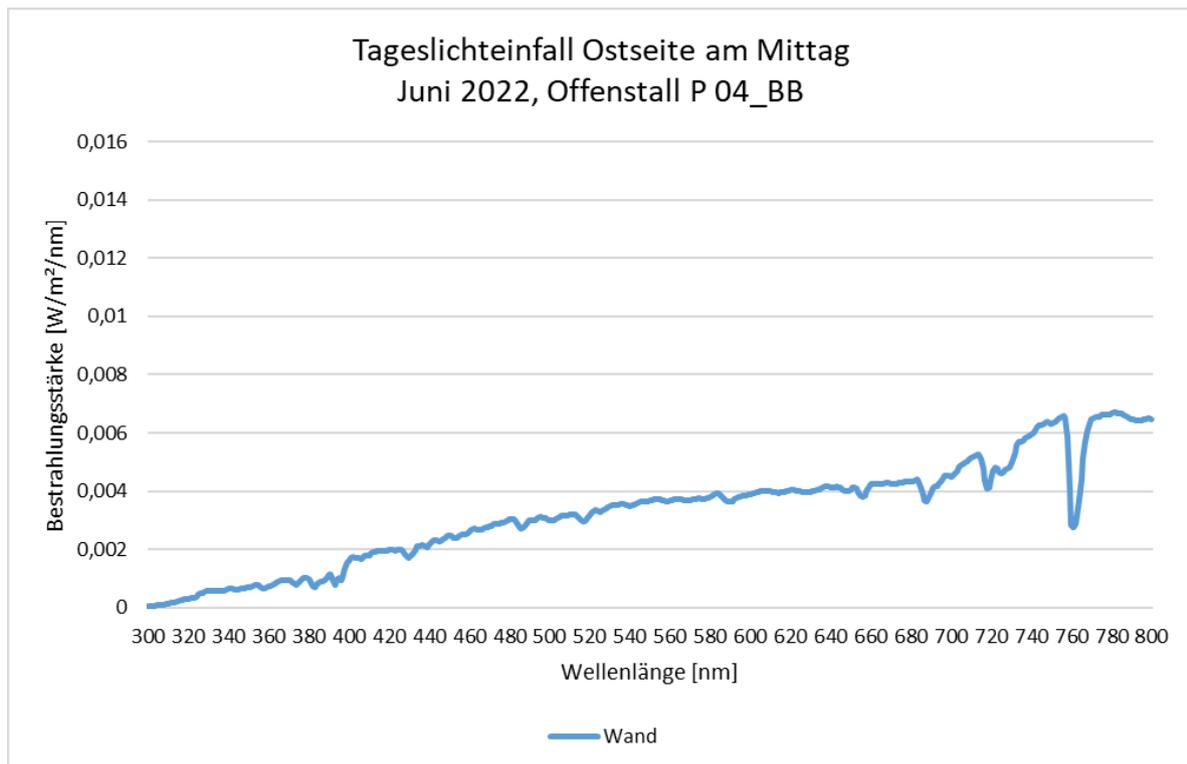


Abbildung 12: Tageslichteinfall auf der Ostseite im Offenstall P 04\_BB am Mittag (12:56 Uhr) bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10)  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

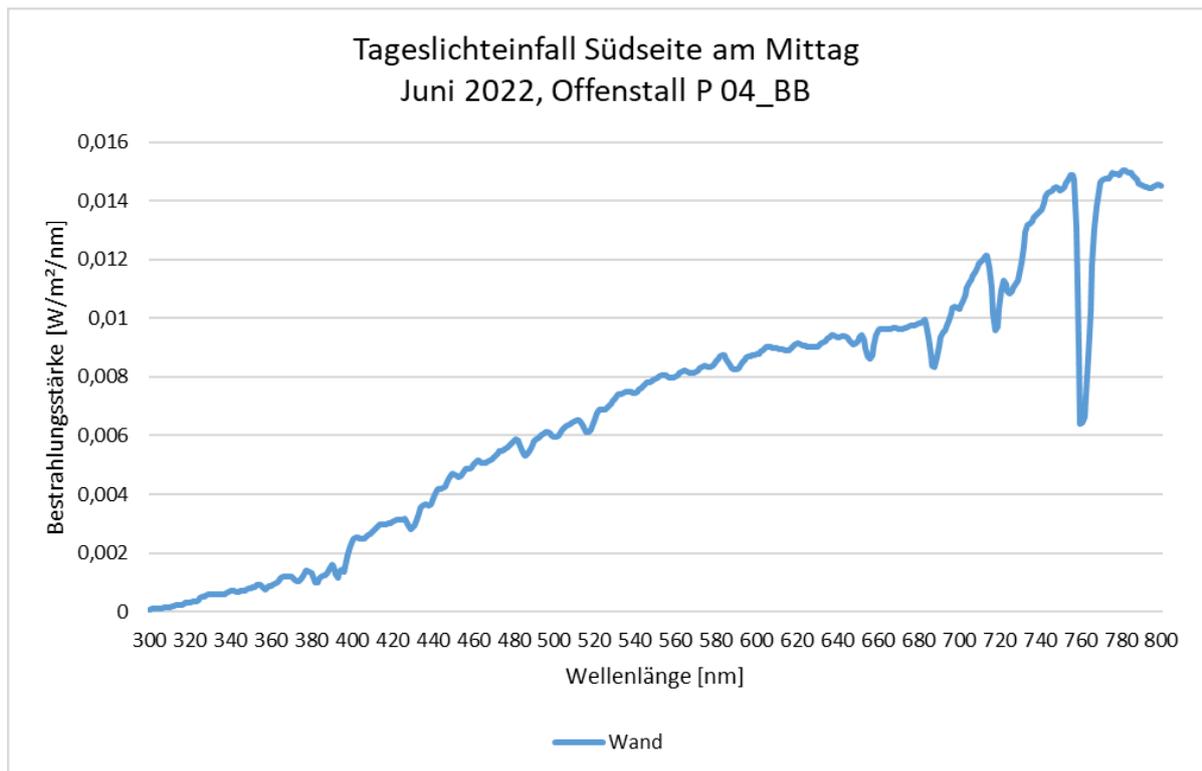


Abbildung 13: Tageslichteinfall auf der Südseite im Offenstall P 04\_BB am Mittag (13:21 Uhr) bei geöffneten Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht am Wandbereich (n=10)  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

Variierende Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) im Offenstall zur gleichen Tageszeit in verschiedenen Stallbereichen

In Abbildung 14 ist exemplarisch das Lichtspektrum in unterschiedlichen Stallbereichen zur gleichen Tageszeit in einem Offenstall dargestellt. Die Breite des Offenstalls betrug circa 18 m. Die Messreihen lagen circa 6 m auseinander. Die Messungen wurden von 12:37 Uhr – 12:55 Uhr durchgeführt (Integrationszeit: 1 ms; Anzahl Mittelung pro Messung: 1), um möglichst konstante Lichtbedingungen zu haben. Es wurde deutlich, dass beim Wechsel von der linken (Ostseite) zur rechten (Südseite) Stallseite, die Bestrahlungsstärke erheblich stieg. In der Stallmitte war die Lichtintensität am geringsten. Bedingt wurde dies durch den erhöhten Sonnenstand zum Zeitpunkt der Messung (12:30 Uhr). Die Deckenhöhe betrug circa 2,90 m, sodass die Sonnenstrahlen nicht bis zur Stallmitte durchdrangen. Die Bestrahlungsstärke in der Stallmitte entsprach zu diesem Messzeitpunkt circa 15 Prozent der Bestrahlungsstärke auf der Südseite. Aus menschlicher Sicht variierte die Lichtintensität zwischen Ost- und Südseite circa um 550 lx. **Der Verlauf der Sonne bedingte an den Stalllängsseiten je nach Tageszeit eine deutlich höhere beziehungsweise niedrigere Lichtintensität.**

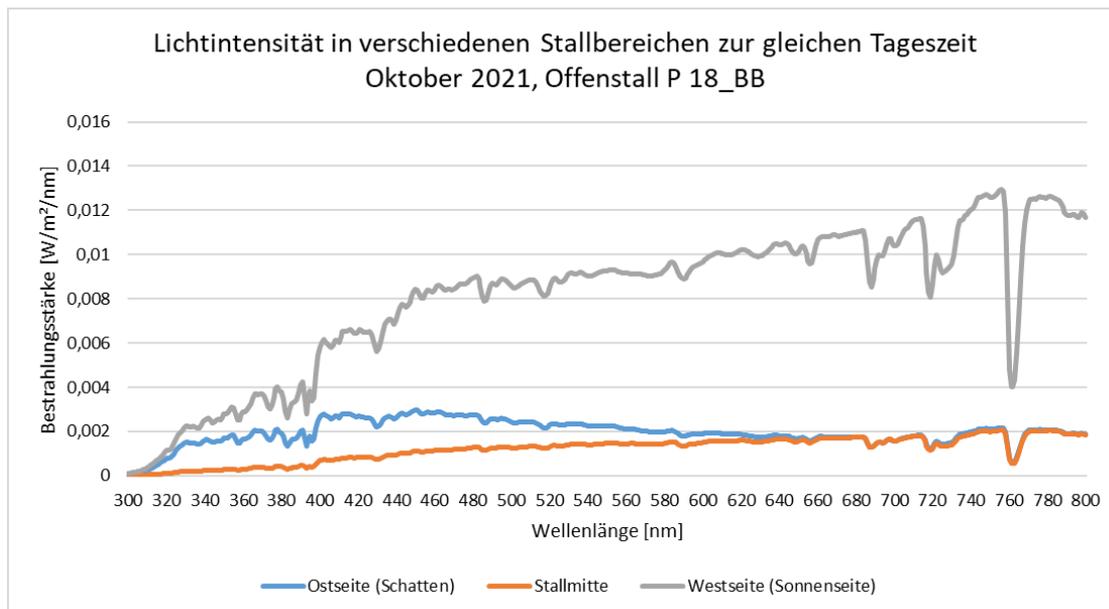


Abbildung 14: Lichtintensität in verschiedenen Stallbereichen im Offenstall P 18\_BB zur Mittagszeit: östlichen Wandseite (n=21); Stallmitte (n=21); südliche Wandseite (n=21)  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

#### Farbverschiebung bei Tageslichteinfall und geschlossenen Jalousien

In Abhängigkeit von der Materialstärke der verwendeten Jalousiefolien kann Tageslicht durch diese transmittieren. Die Lichtmessungen in den untersuchten Offenställen ergaben, dass die Farbe der Jalousiefolie das Lichtspektrum im Stall verändern kann. In zwei der gemessenen Offenställe waren die Seitenwände jeweils mit einer weißen und einer grünen Jalousie ausgestattet. Die Jalousien bestanden aus einer Polyethylen-Gewebeplane. Die Intensität des Tageslichteinfalls bei geschlossenen Jalousien war bei der Wintermessung im Februar (Abbildung 15) rund um ein zehnfaches reduziert im Vergleich zur Sommermessung (Abbildung 16, beachte Skalierung der Achsen). Gleichzeitig geht aus diesen Abbildungen hervor, dass das Tageslicht bei der Transmission von grünen Jalousien, unabhängig von der Jahreszeit, verändert wurde. Im Lichtspektrum wird der Wellenlängenbereich von 496 – 566 nm für Menschen als Farbe „grün“ definiert. In dem genannten Wellenlängenbereich war, im Vergleich zum spektralen Verlauf bei der Transmission der weißen Jalousien, ein Peak zu erkennen. **Somit wurde die Transmission grüner Wellenlängen bei der Verwendung von grünen Jalousien verstärkt, sodass es zu einer spektralen Verschiebung kam.**

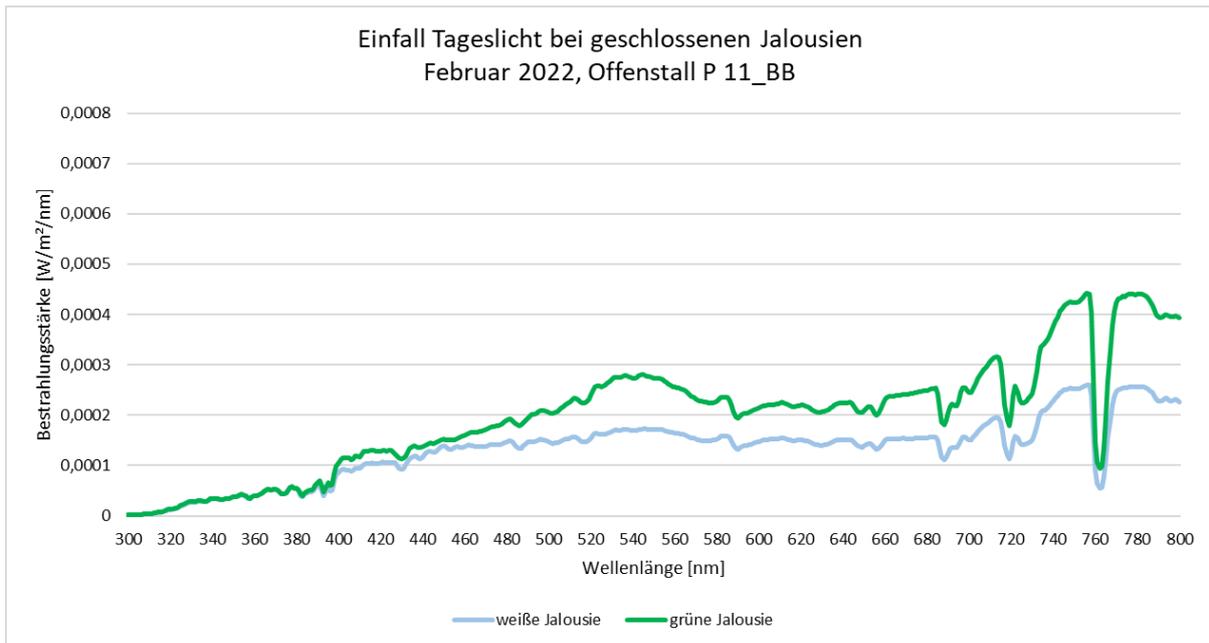


Abbildung 15: Veränderung Tageslichtspektrum im Offenstall P 11\_BB auf der Stalllängsseite mit weißer Jalousiefolie (n=21) und auf der Stalllängsseite mit grüner Jalousiefolie (n=19)

(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

Hinweis: 20-fach niedrigere Skalierung im Vergleich zu übrigen Abbildungen

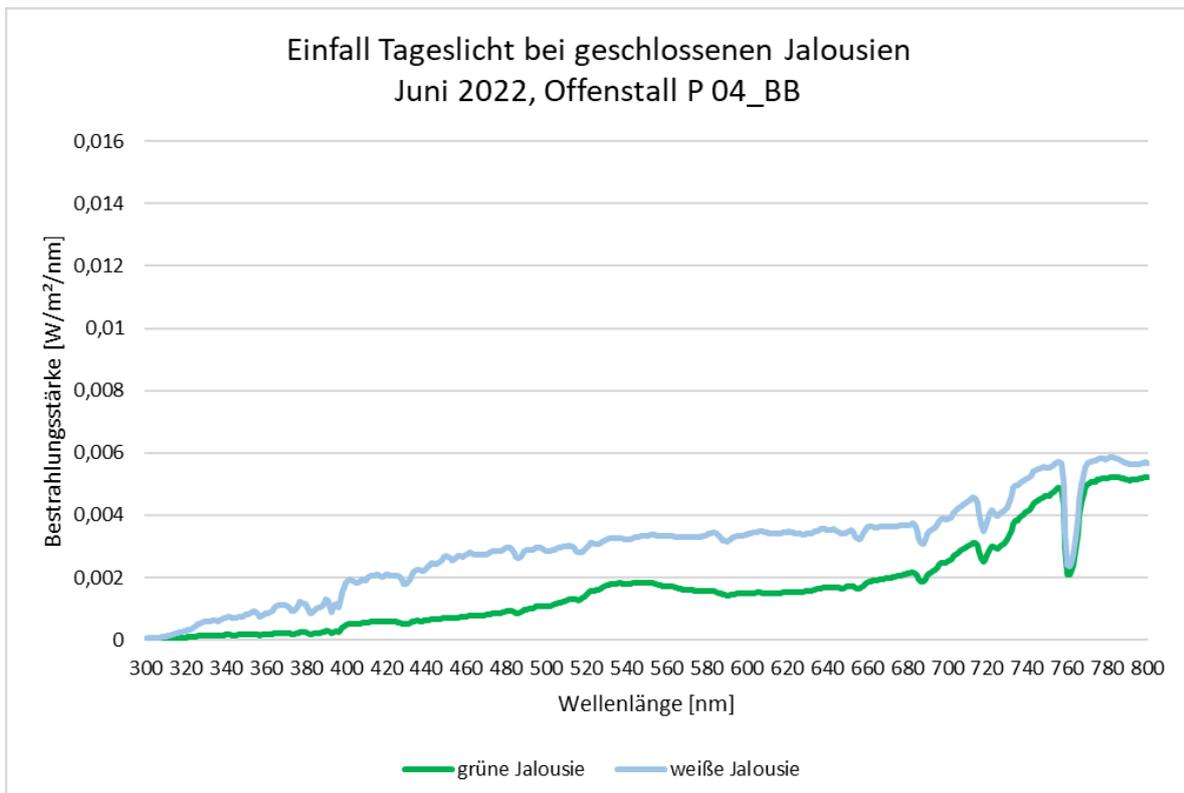


Abbildung 16: Veränderung Tageslichtspektrum im Offenstall P 04\_BB auf der Stalllängsseite mit grüner Jalousiefolie (n=10) und auf der Stalllängsseite mit weißer Jalousiefolie (n=7)

(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

### Vermischung von Kunst- und Tageslicht variierte mit den Jahreszeiten

In Abbildung 17 ist das Spektrum in einer Legefarm bei geöffneten Jalousien und angeschalteten Leuchtstofflampen im November 2021 (Herbst) und Juni 2022 (Sommer) abgebildet. Die Dreibandenspektren der Leuchtstofflampen waren bei beiden Messungen deutlich zu erkennen. Es fiel auf, dass im Juni eine stärkere Vermischung von Kunst- und Tageslicht erfolgte als im November. Bei den vergleichenden Messungen entsprach die Bestrahlungsstärke bei gleicher Lampeneinstellung im November 13,1 Prozent der gemessenen Bestrahlungsstärke im Vergleich zum Juni. **Folglich würde die Haltungsumwelt für Puten im Sommer heller wahrgenommen werden als im Herbst.**

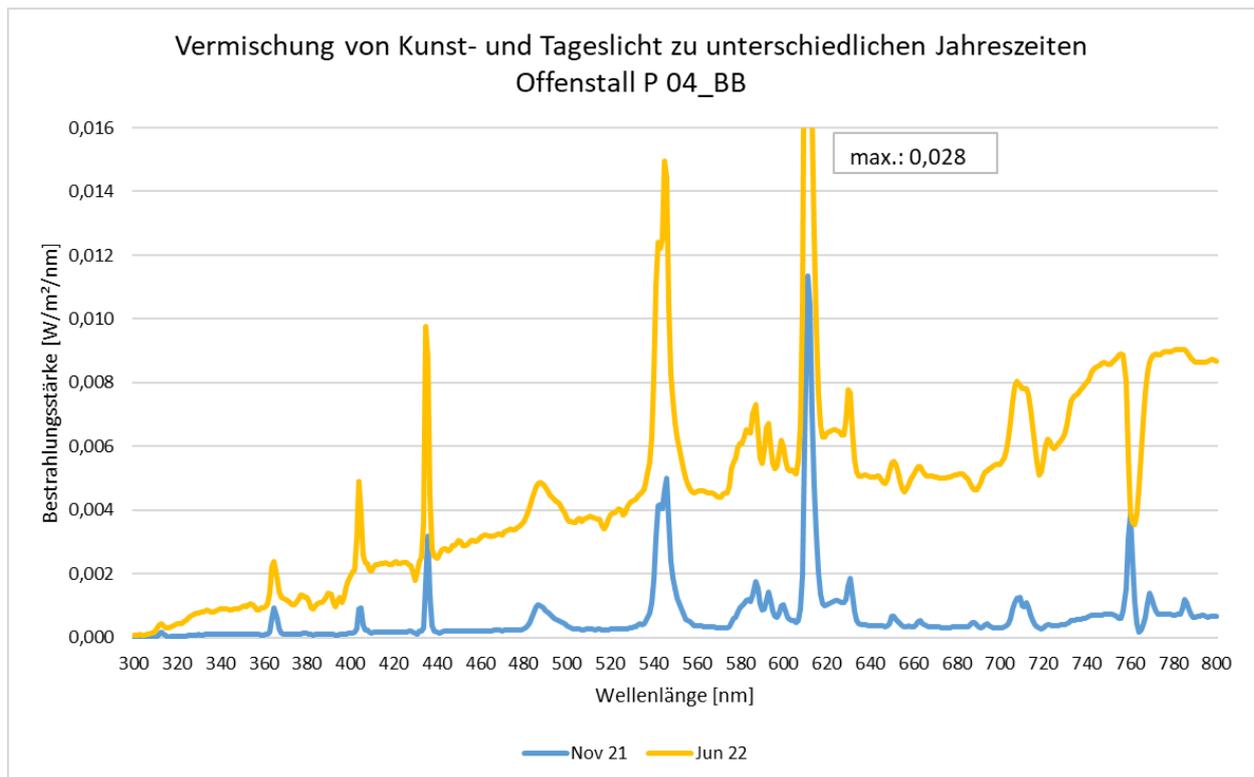


Abbildung 17: Vergleich der Vermischung von Kunstlicht (Leuchtstoffröhren) und Tageslicht bei geöffneten Jalousien im November (n=24) und im Juni (n=28)  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

### Variierende Lichtspektren im Stall durch unterschiedliche Licht- und Lüftungseinstellungen

In Abbildung 18 und Abbildung 19 werden unterschiedliche Lichtspektren durch variierende Licht- und Lüftungseinstellungen in einem Offenstall deutlich, die insbesondere durch den Sonnenstand beeinflusst werden. Aufgrund von Bauarbeiten konnten die Messungen nicht in demselben Stall wiederholt werden. Da die Ställe auf derselben Farm waren, die gleiche Himmelsausrichtung hatten, die gleichen Lampen verbaut waren und die Messungen auf der gleichen Abteilseite durchgeführt wurden, konnten die Messungen aus April 2022 und Dezember 2022 weitestgehend verglichen werden. In dem Offenstall P 06\_BB war das gemessene Abteil halb so groß wie in P 15\_BB, wodurch sich weniger Messpunkte im Vergleich zu P 15\_BB ergaben. Die dargestellten Lichtspektren wurden für alle gemessenen Stallbereiche (vor den Nestern, Stallmitte und Wandbereich) gemittelt.

**Im April (Frühling) waren die Lichtintensität und die Vermischung von Kunst- und Tageslicht deutlich höher als bei den Lichtmessungen im Dezember (Winter).**

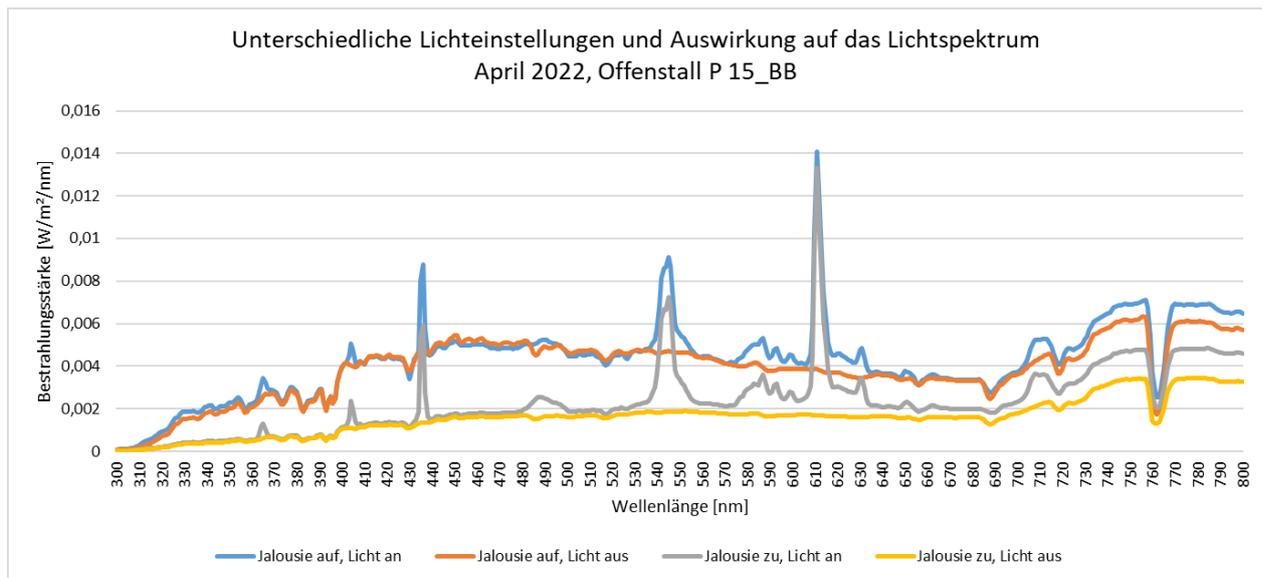


Abbildung 18: Spektrum im Offenstall bei variierenden Licht- und Lüftungseinstellungen im Offenstall P 15\_BB; Jalousie auf, Licht an (n=60); Jalousie auf, Licht aus (n=60); Jalousie zu, Licht an (n=59); Jalousie zu, Licht aus (n=57) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

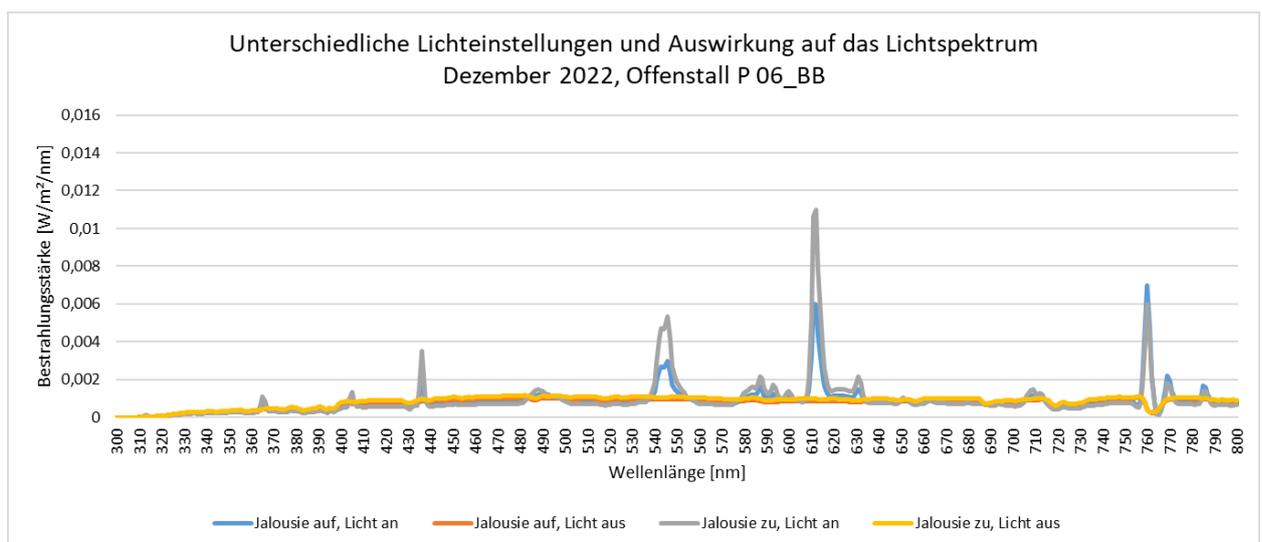


Abbildung 19: Spektrum im Offenstall bei variierenden Licht- und Lüftungseinstellungen im Offenstall P 06\_BB; Jalousie auf, Licht an (n=27); Jalousie auf, Licht aus (n=27); Jalousie zu, Licht an (n=27); Jalousie zu, Licht aus (n=27) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

### 5.3. Lichtintensitäten in verschiedenen Stallbereichen

Aufgrund der höheren aviären spektralen Empfindlichkeit (circa 320 – 780 nm) im Vergleich zur humanen spektralen Empfindlichkeit (circa 400 – 750 nm) nimmt der Vogel die Haltungsumwelt heller wahr als der Mensch, sodass die Lichtintensität nicht mit der Einheit Lux bewertet werden kann (Prescott und Wathes 1999). In der Praxis stehen in der Regel keine hochpreisigen Messgeräte für Lichtmessungen zur Verfügung, die auch im UV-A-Bereich messen können, sodass die Lichtintensität im Geflügelstall häufig mit einem Luxmeter erfasst wird. Für eine annähernde Vergleichbarkeit anderer Messergebnisse mit denen der untersuchten Ställe im Rahmen des Modellvorhabens, werden die Lichtintensitäten in verschiedenen Stallbereichen in Lux dargestellt. An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Messergebnisse in Lux die

Helligkeitswahrnehmung des menschlichen Auges zeigen. Für die folgenden Abbildungen wird die Farbskala aus Abbildung 20 verwendet. Jeder Messpunkt ist in Lux ausgedrückt. Für eine übersichtlichere Darstellung wurden die Werte gerundet.

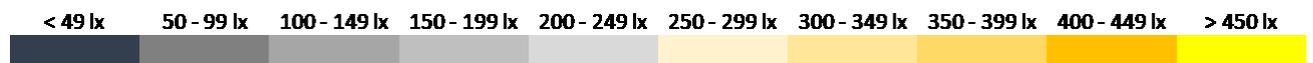


Abbildung 20: Farbskala für Messergebnisse in Lux  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

#### Lichtintensitäten in geschlossenen Aufzuchtställen

In Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die Lichtintensitäten der untersuchten geschlossenen Aufzuchtställe bei angeschalteten Leuchtstofflampen dargestellt. Die Lichtintensität schwankte zwischen minimal 27 lx (P 16\_BB) und maximal 181 lx (P 03\_BB). Beide Aufzuchtställe waren mit dimmbaren Leuchtstofflampen ausgestattet, die bei üblicher Dimmstufe auf „80 Prozent“ gemessen wurden. In dem in Abbildung 21 dargestellten Stall P 16\_BB waren die Leuchtstofflampen quer zur Stalllängsseite ausgerichtet. Die teilweise hohen Differenzen zwischen Messpunkten unter derselben Lampenreihe spiegeln sich in der Rasterung wider und sind wahrscheinlich auf die Lampenausrichtung zurückzuführen. In den insgesamt 14 weiteren gemessenen Ställen waren die Lampen immer parallel zur Längsseite angeordnet. Dadurch wurde, wie Abbildung 22 zeigt, eine gleichmäßigere Stallausleuchtung erzielt. Das Verhältnis von Stallbreite und Anzahl der Lampenreihen war in P 16\_BB (3,6) und P 03\_BB (3,5) ähnlich. In Abbildung 22 wurden zwei Abteile gemessen: maximale Entfernung zum Stromverteilerkasten (hinten links) und minimalste Entfernung (vorne rechts). Bei gleicher Dimmstufe lag die Differenz des geometrischen Mittels zwischen dem hinteren und vorderen Abteil bei 32 lx. Möglicherweise traten bei eingestellter Dimmstufe Stromverluste über die Länge des Stalls auf. In den weiteren gemessenen Ställen konnte keine eindeutige Lichtintensitätsabnahme mit zunehmendem Abstand zum Stromverteilerkasten nachgewiesen werden.

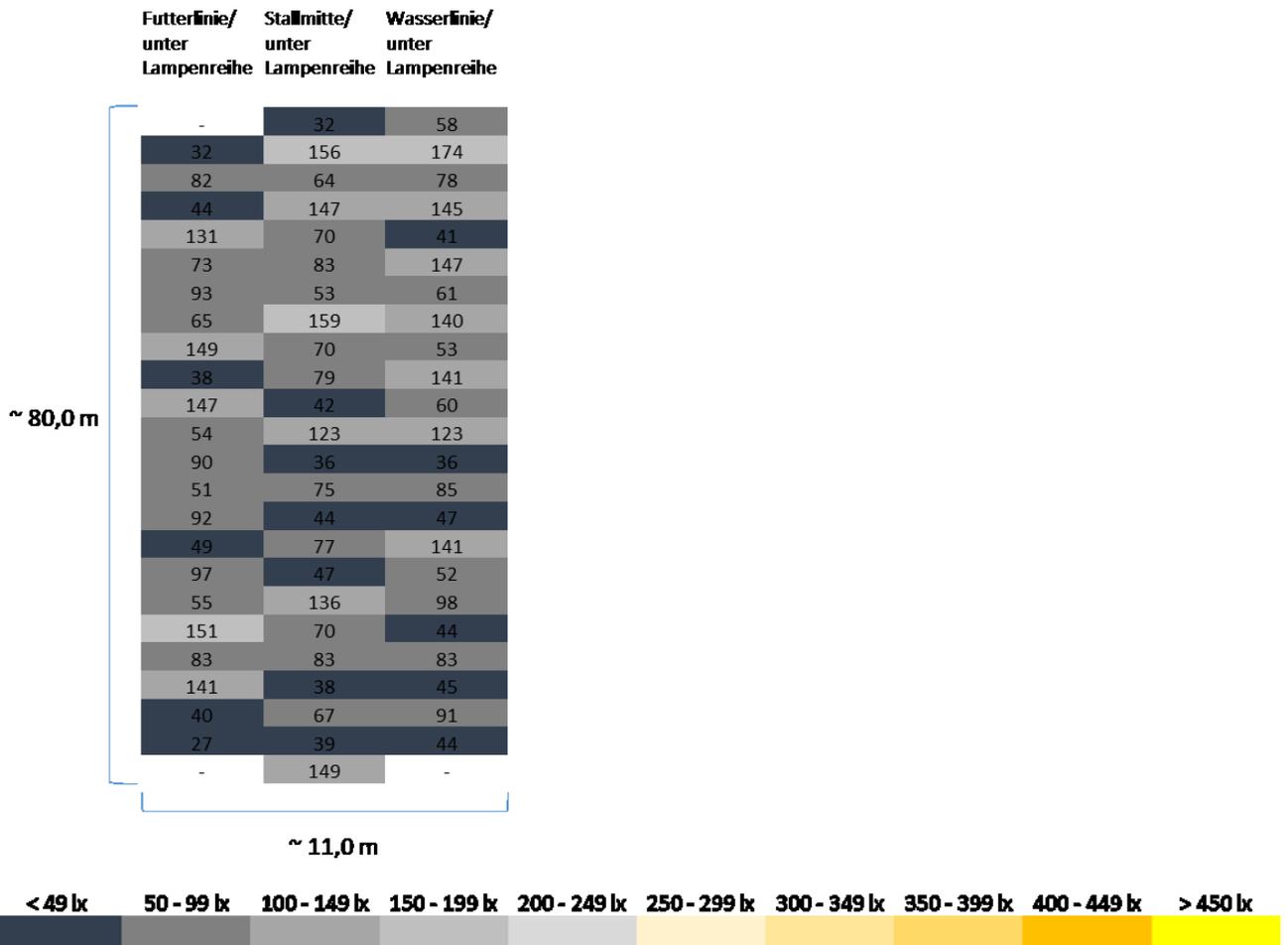


Abbildung 21: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 16\_BB (n= 129); min.: 27 lx; max.: 174 lx; Median: 73 lx; Fläche Messpunkt: 6,3 – 6,9 m<sup>2</sup>; Messdatum: 14.10.2021 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

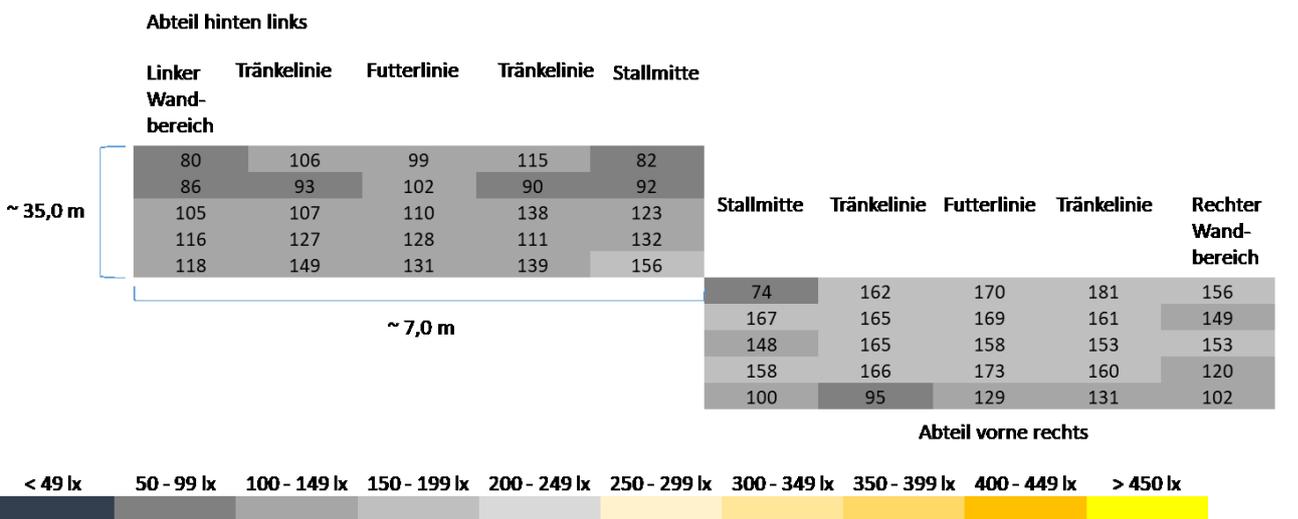


Abbildung 22: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 03\_BB (n= 50); min.: 74 lx; max.: 181 lx; Median: 130 lx; Fläche Messpunkt: 9,1 – 10,0 m<sup>2</sup>; Messdatum: 02.09.2021 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

In Abbildung 23 und Abbildung 24 sind die Lichtintensitäten in zwei Aufzuchtställen mit LED-Beleuchtung dargestellt. Die LEDs der Ställe P 05\_BB und P 20\_BB waren dimmbar und wurden auf „100 Prozent“ eingestellt. Die Lichtintensität der beiden Ställe schwankte zwischen minimal 141 lx und maximal 343 lx in P 05\_BB und in P 20\_BB zwischen 20 lx – 51 lx. Im Stall P 20\_BB konnte die

Dimmstufe manuell über ein Drehrädchen verstellt werden. Die angegebenen Dimmstufen in Abbildung 24 sind geschätzt, da keine Zahlenangaben auf dem Dimmer angegeben waren. Von allen gemessenen Aufzuchtzuchtställen war die maximale Lichtintensität in P 20\_BB am niedrigsten. Bei einer Dimmstufe auf circa „25 Prozent“ konnten nur noch 2 lx gemessen werden. Der Stall P 05\_BB wurde mit neuen LEDs umgerüstet (LEDA International LED-X-48-Y) wohingegen im Stall P 20\_BB noch ältere LEDs (Hersteller unbekannt) verbaut waren. Die LEDs sind vergleichsweise in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt. **Es wird deutlich, dass die gleiche Dimmstufe nicht die gleiche Lichtintensität bedeutet.** Neben der verwendeten LED wird die Lichtintensität unter anderem durch die Deckenhöhe, die Lampenanzahl und den Lampenabstand beeinflusst.

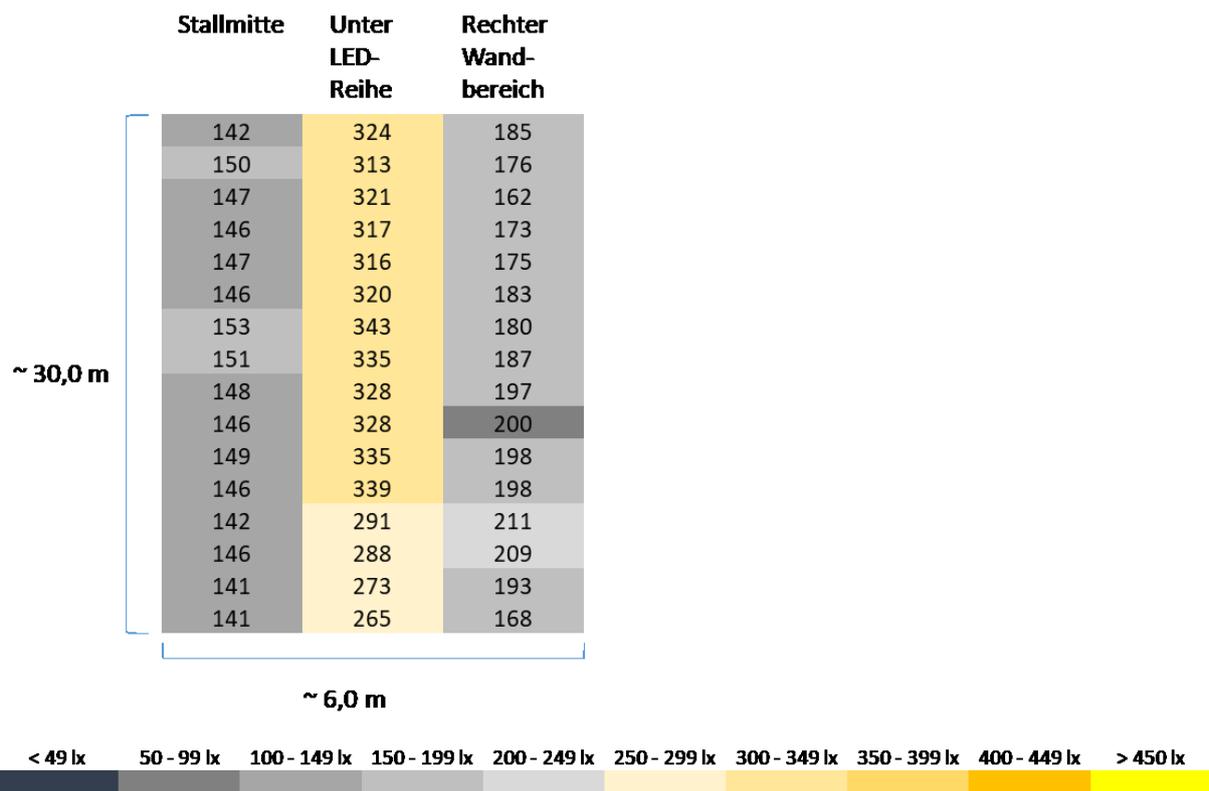


Abbildung 23: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 05\_BB (n= 63); min.: 141 lx; max.: 343 lx; Median: 186 lx; Fläche Messpunkt: 2,4 – 3,1 m<sup>2</sup>; Messdatum: 05.11.2021 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)



Abbildung 24: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 20\_BB (n= 27); min.: 20 lx; max.: 51 lx; Median: 31 lx (bei 100 Prozent); Fläche Messpunkt: 29,1 – 31,7 m<sup>2</sup>; Messdatum: 19.10.2022 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)



Abbildung 25: LEDs in P 05\_BB (© StanGe, Hochschule Osnabrück)



Abbildung 26: LEDs in P 20\_BB (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

### Lichtintensitäten in geschlossenen Legefarmen

Von Abbildung 27 bis Abbildung 31 sind die Lichtintensitäten in den gemessenen Legefarmen dargestellt, in denen Leuchtstofflampen verbaut waren. In P 02\_BB waren dimmbare

Leuchtstofflampen verbaut, die auf praxisübliche „80 Prozent“ für die Messung eingestellt waren. Die Legefarmen waren in zwei Abteile durch Nester getrennt, sodass ein Abteil pro Stall mit zwei Lampenreihen gemessen wurde. In P 08\_BB wurde der gesamte Stall gemessen, da im vorigen Durchgang Hähne gemästet und die Nester aus diesem Grund herausgenommen wurden. In Abbildung 33 sind die gemessenen Legefarmen in Box Plots zur Übersicht dargestellt.

In P 01\_BB betrug der Median 251,1 lx und stellte die höchste Lichtintensität dar. Im selben Stall betrug der Median bei ausgeschalteter Beleuchtung 73,8 lx (vergleiche Abbildung 31). Die verhältnismäßig hohen Lichtintensitäten für einen geschlossenen Stall sind auf zwei große Fensterflächen aus Glas zurückzuführen, die in Abbildung 32 dargestellt sind. UV-A-Licht transmittierte nicht messbar durch die Fenster.

Aus der zusammenfassenden Darstellung der Lichtintensitäten in geschlossenen Ställen in Abbildung 33 geht eine hohe Streuung der Lichtintensitäten hervor. **Es wird deutlich, dass auch in geschlossenen Ställen ohne Tageslichteinfall vereinzelt stark schwankende Lichtverhältnisse vorkommen können**, wie P 10\_BB in Abbildung 28 (65 – 205 lx) und P 19\_BB in Abbildung 29 (68 – 303 lx) verdeutlichen.

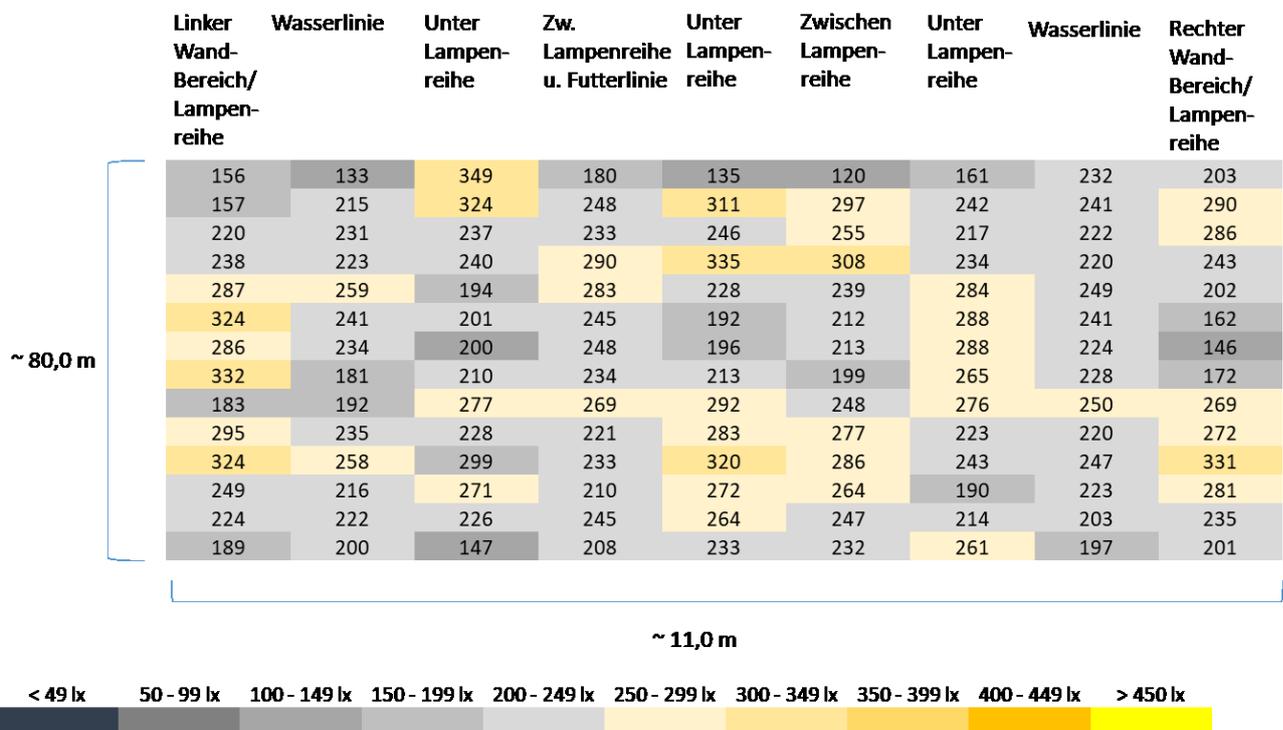


Abbildung 27: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 08\_BB (n= 126); min.: 120 lx; max.: 349 lx; Median: 235 lx; Fläche Messpunkt: 6,0 – 7,2 m<sup>2</sup>; Messdatum: 08.02.2022  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)

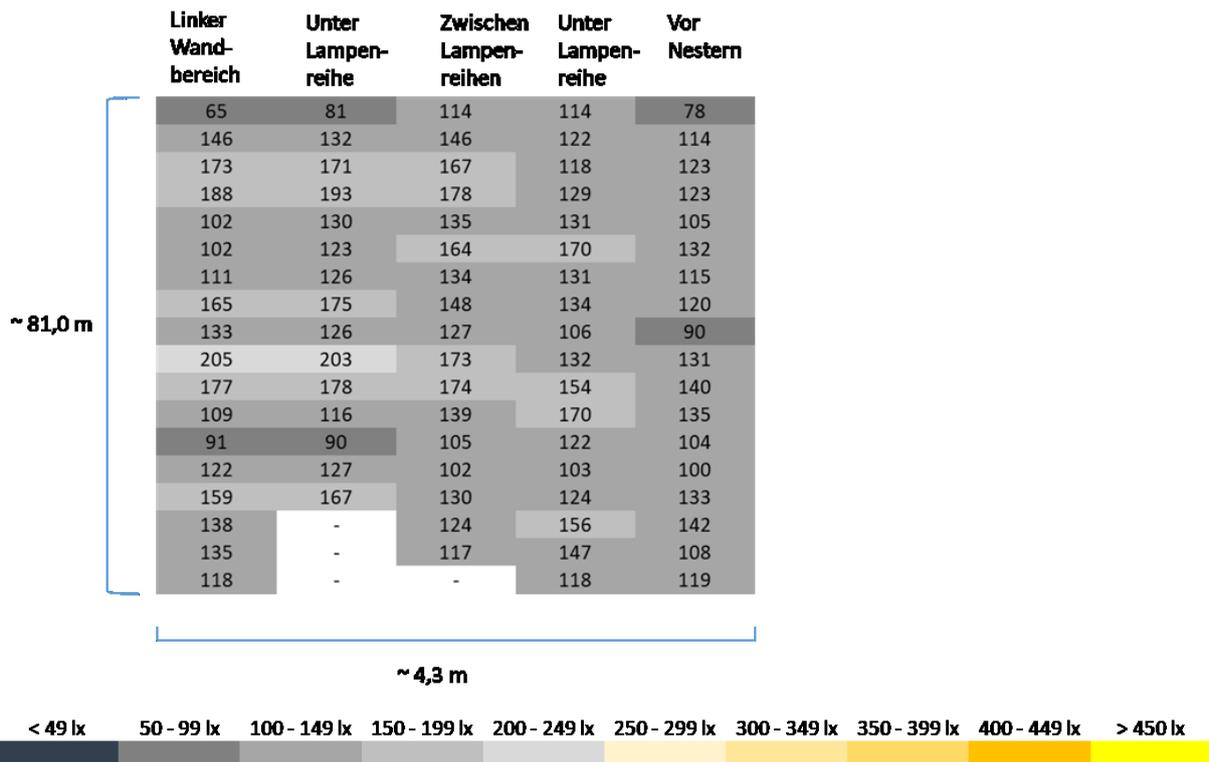


Abbildung 28: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 10\_BB (n= 129); min.: 65 lx; max.: 205 lx; Median: 97 lx; Fläche Messpunkt: 2,1 – 3,2 m<sup>2</sup>; Messdatum: 01.03.2022  
 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

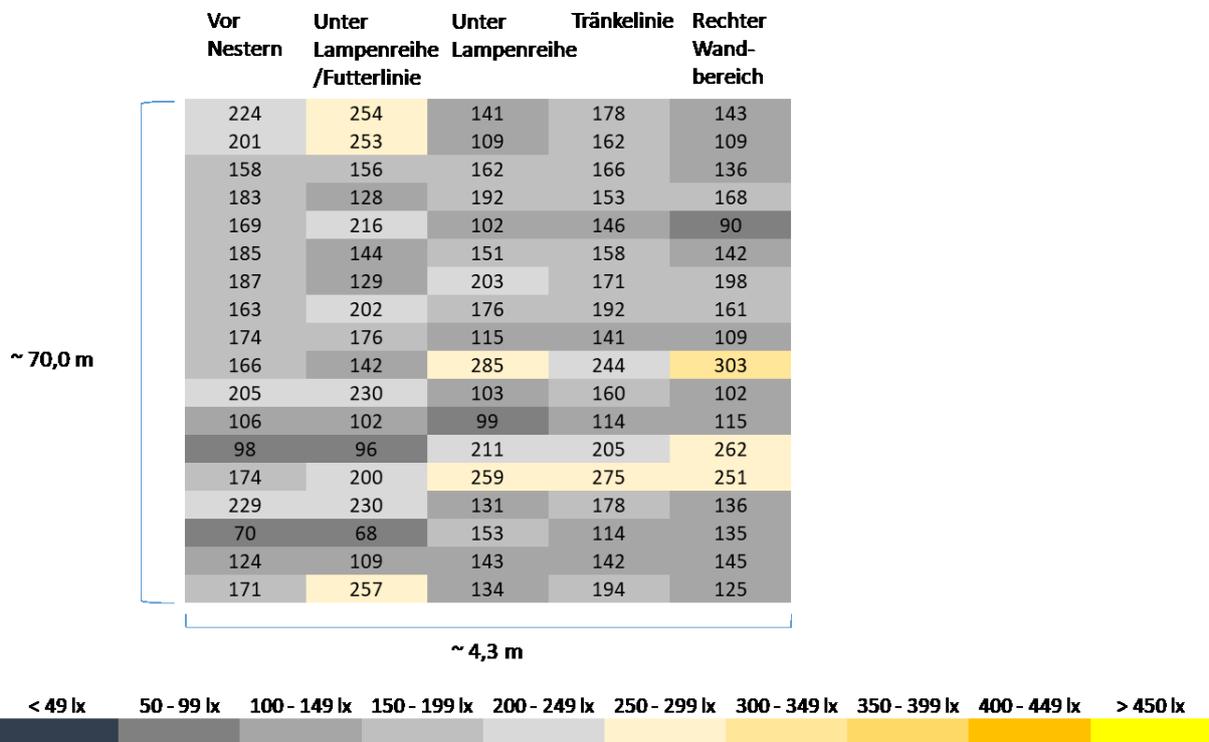


Abbildung 29: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 19\_BB (n= 104); min.: 68 lx; max.: 303 lx; Median: 161 lx; Fläche Messpunkt: 2,1 – 3,2 m<sup>2</sup>; Messdatum: 19.10.2022  
 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

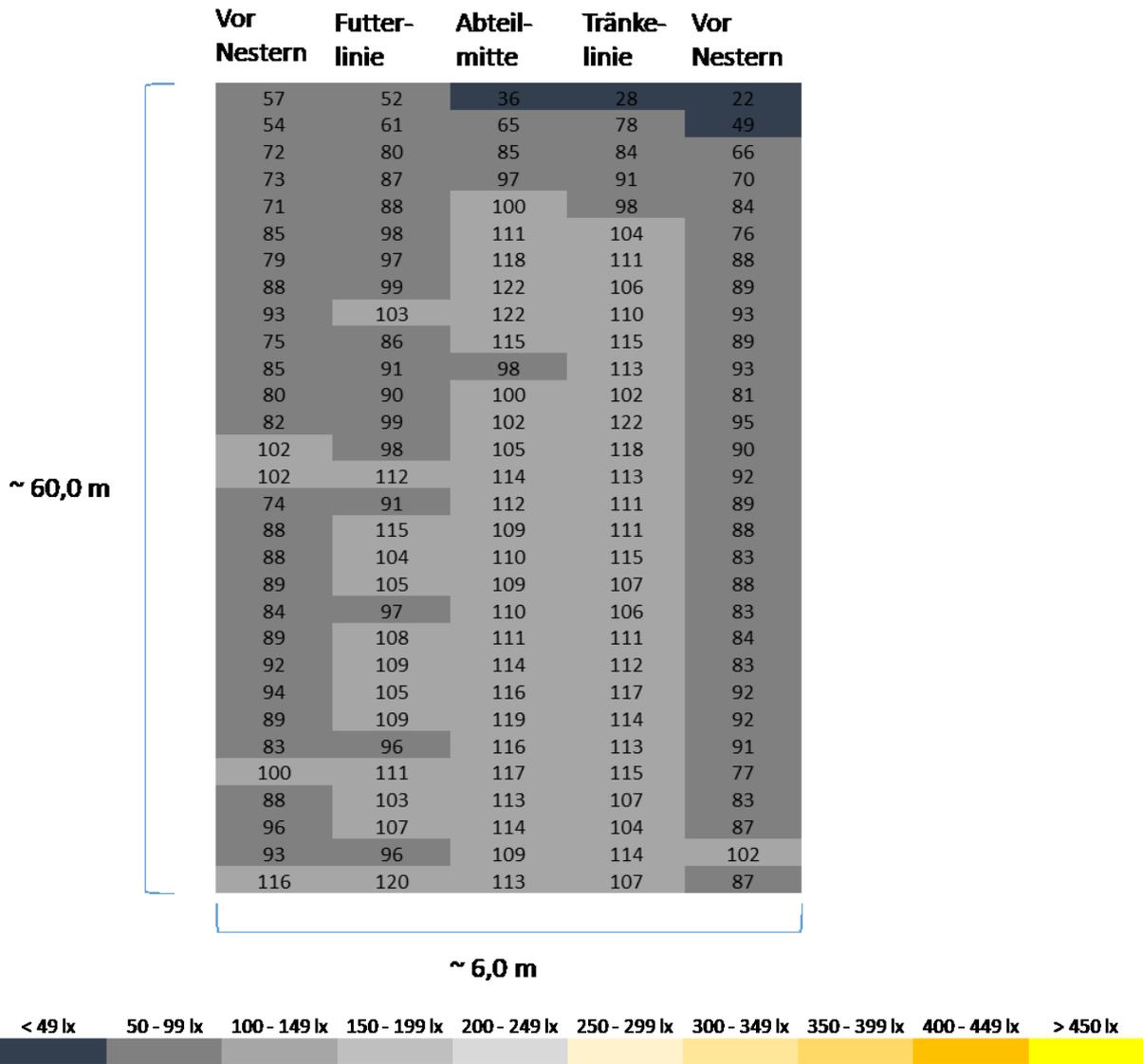


Abbildung 30: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 02\_BB (n= 150); min.: 22 lx; max.: 122 lx;  
 Median: 97 lx; Fläche Messpunkt: 1,9 – 2,8 m<sup>2</sup>; Messdatum: 02.09.2021  
 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

**Leuchtstofflampen ausgeschaltet**

**Leuchtstofflampen eingeschaltet**

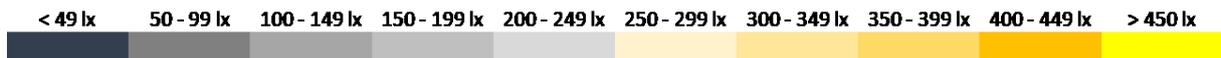
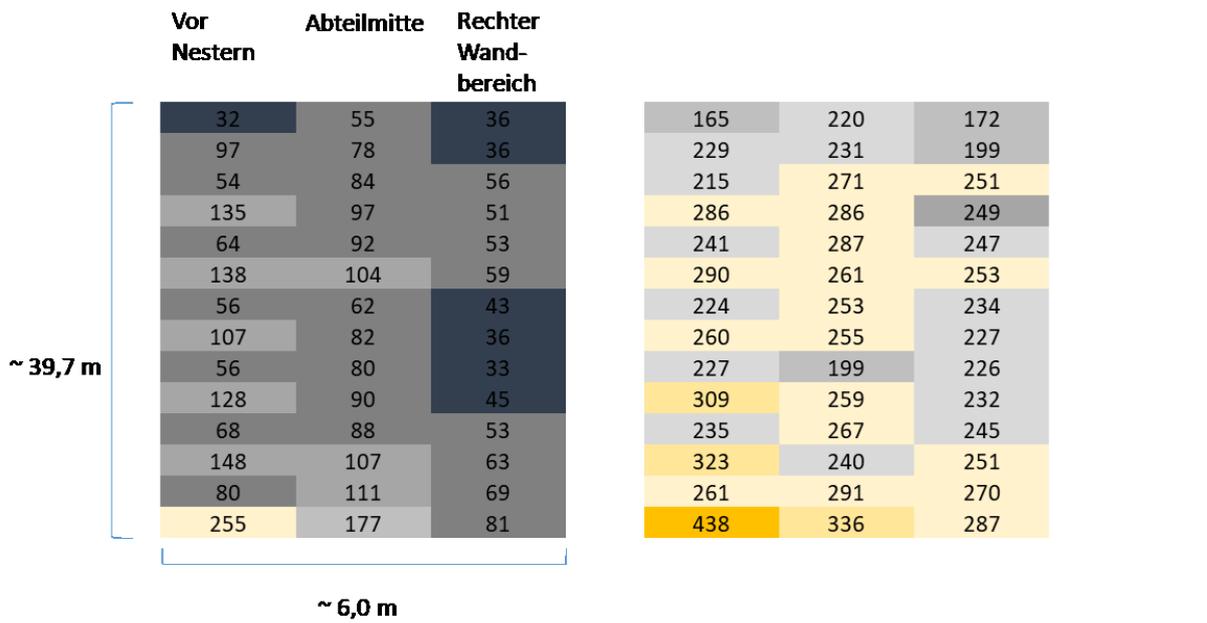


Abbildung 31: Lichtintensität im geschlossenen Stall P 01\_BB (n= 42); Leuchtstofflampen ausgeschaltet min.: 32 lx; max.: 255 lx; Median: 74 lx; Leuchtstofflampen angeschaltet: min.: 165 lx; max.: 438 lx; Median: 251 lx; Fläche Messpunkt: 5,1 – 6,0 m<sup>2</sup>; Messdatum: 22.08.2022  
 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)



Abbildung 32: Lichteinfall durch Fenster im geschlossenen Stall P 01\_BB  
 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

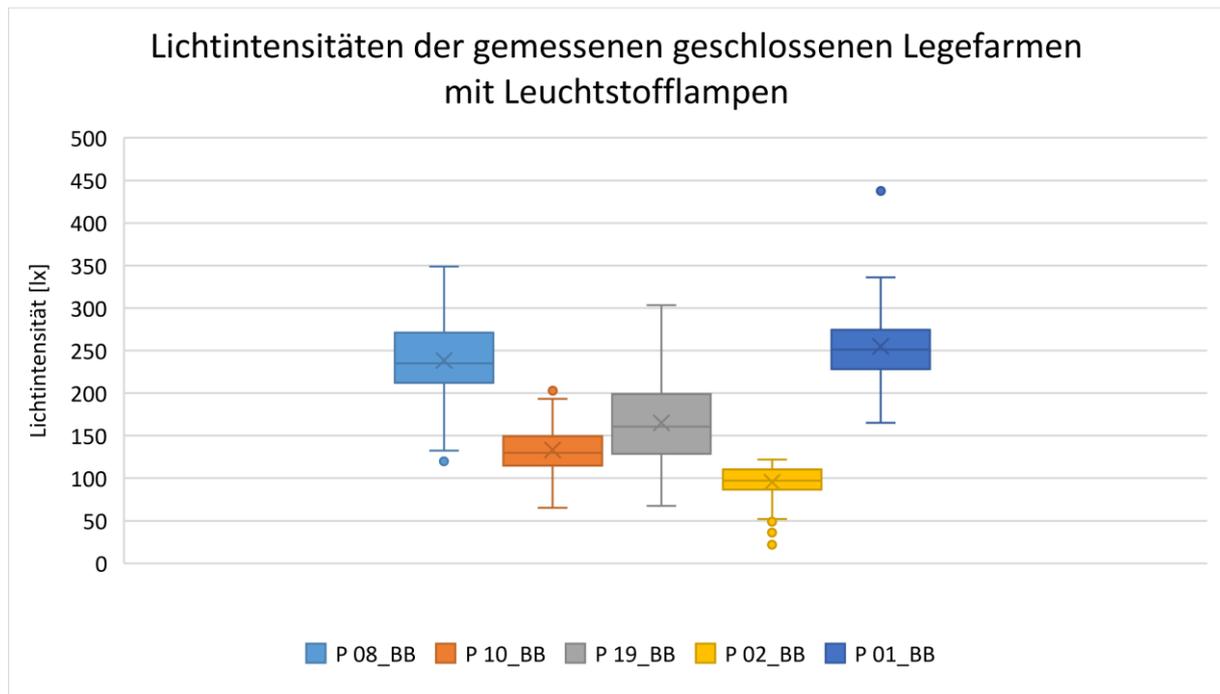


Abbildung 33: Übersicht der Lichtintensitäten [lx] in den gemessenen geschlossenen Ställe für Putenelertierhennen. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

#### Lichtintensitäten in Offenställen bei geöffneten Jalousien und ausgeschalteter Beleuchtung

Die nachfolgend dargestellten Grafiken, Abbildung 34 bis Abbildung 42, zeigen die Lichtintensitäten in verschiedenen Stallbereichen bei geöffneten Jalousien und ausgeschalteter Beleuchtung zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten. Die Lichtprogramme wurden betriebsindividuell eingestellt und bei den Lichtmessungen nicht berücksichtigt. Aus den Lichtmessungen ergaben sich sehr heterogene Lichtverhältnisse in den untersuchten Offenställen von mindestens 20 lx bis maximal 1658 lx. Es wird deutlich, dass auf den offenen Stallseiten in der Regel eine höhere Lichtintensität gemessen wurde als in weiteren Stallinnenbereichen. Bei tiefstehender Sonne am Abend und am Morgen konnte es in der Stallmitte zu höheren Lichtintensitäten kommen, wie Abbildung 36 exemplarisch zeigt. Zur Veranschaulichung der Lichtverhältnisse ist der Einfluss der tiefstehenden Sonne in Abbildung 54 als Lichtstreifen dargestellt. Schattenwürfe durch Baumstreifen (vergleiche Abbildung 37) spiegeln sich in Abbildung 36 in der rechten Abteilmitte durch niedrigere Lichtintensitäten wider. Haltungseinrichtungen wie Nester können ebenfalls einen Schatten werfen, weshalb die rechte Abteilseite vor den Nestern in Abbildung 36 zum Zeitpunkt der Lichtmessungen dunkler war als die linke Abteilseite. Bei klarem Himmel und Sonnenschein konnten, wie in Abbildung 40 dargestellt, sehr hohe Lichtintensitäten in einem Offenstall im Oktober gemessen werden. Die einseitig hohe Sonneneinstrahlung wird in Abbildung 41 deutlich, welche aber durch den Schattenwurf von Futtersilos reduziert wurde. Folglich hatte die tägliche Wetterlage (Bewölkung und Niederschlag) Einfluss auf die Lichtintensitäten im Stall.

Die Lichtmessungen wurden an die Serviceperioden der Betriebe angepasst, sodass nicht für jeden Monat eine Lichtmessung in einem Offenstall vorlag, aber jahreszeitliche Unterschiede dennoch herausgestellt werden konnten. Tendenziell waren die Lichtintensitäten in den Herbst- und Wintermonaten niedriger (vergleiche Abbildung 34, Abbildung 39, Abbildung 42) als in den Frühlings- und Sommermonaten (vergleiche Abbildung 35, Abbildung 36, Abbildung 38).

Eine Übersicht der gemessenen Offenställe ist in Abbildung 43 in Box Plots dargestellt. Extreme Streuungen der Lichtintensitäten des Stalls P 12\_BB und P 18\_BB waren auf eine hohe Sonneneinstrahlung der offenen Stallseiten zurückzuführen.

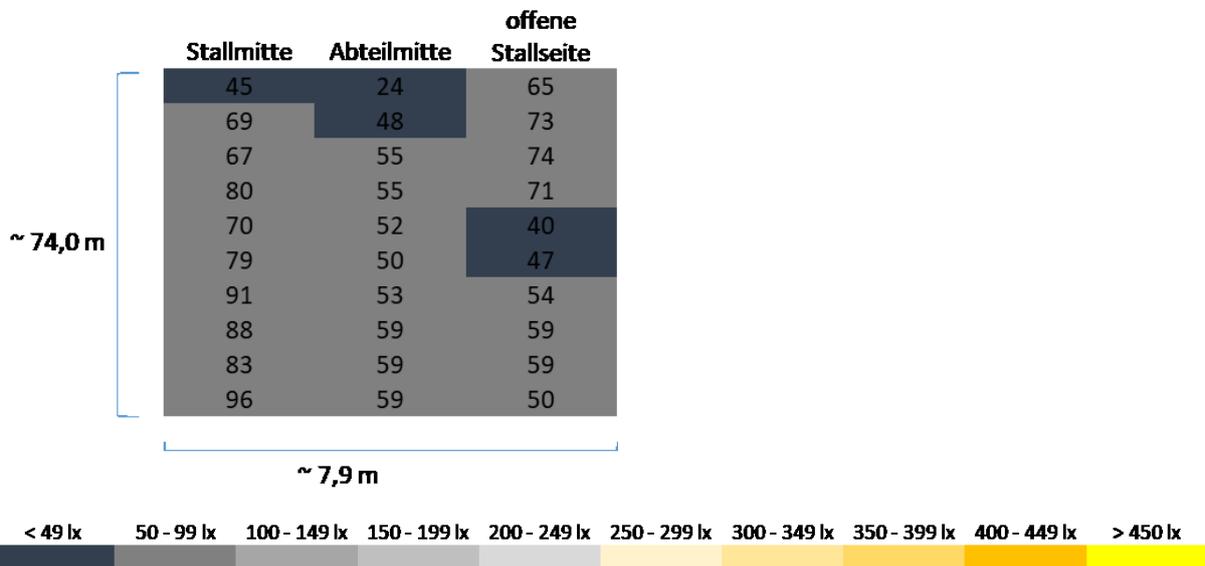


Abbildung 34: Februar: Offenstall P 11\_BB (n= 62), min.: 24 lx; max.: 96 lx; Median: 59 lx;  
 Fläche Messpunkt: 8,8 – 9,9 m<sup>2</sup>; Messdatum: 08.02.2022, 12:30 Uhr (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

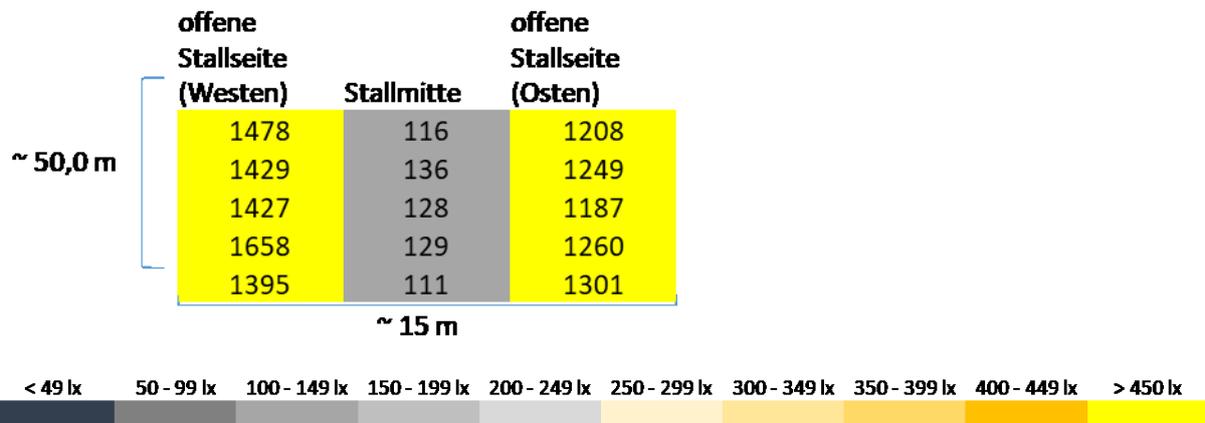


Abbildung 35: März: Offenstall P 12\_BB (n= 15), min.: 111 lx; max.: 1658 lx; Median: 1249 lx;  
 Fläche Messpunkt: 47,1 – 50,2 m<sup>2</sup>; Messdatum: 03.03.2022, 13:00 Uhr (© StanGe, Hochschule Osnabrück)



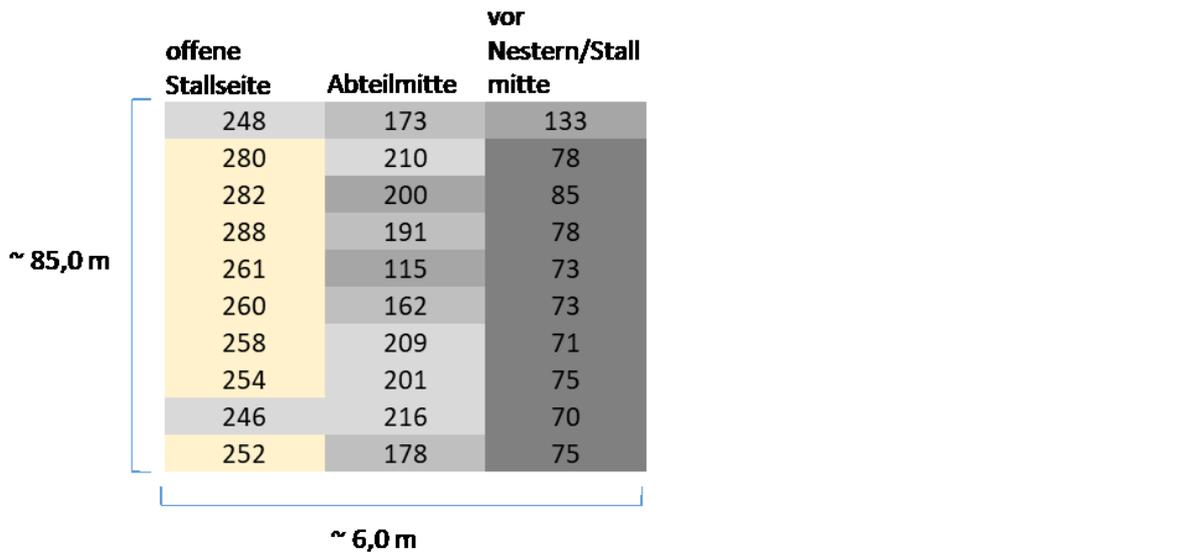


Abbildung 38: Juni: Offenstall P 04\_BB (n= 30), min.: 70 lx; max.: 288 lx; Median: 195 lx;  
 Fläche Messpunkt: 16,1 – 17,8 m<sup>2</sup>; Messdatum: 23.06.2022, 13:00 Uhr (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

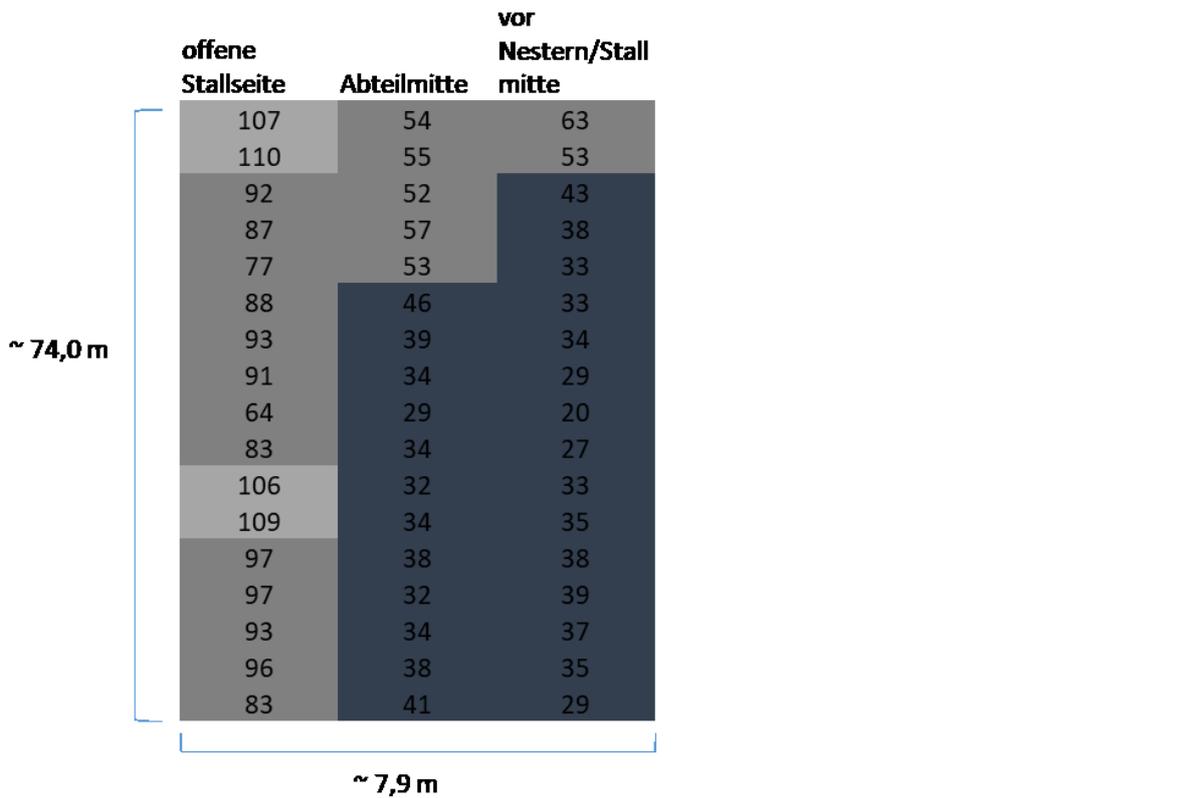


Abbildung 39: September: Offenstall P 11\_BB (n= 51), min.: 20 lx; max.: 110 lx; Median: 43 lx;  
 Fläche Messpunkt: 10,8 – 11,9 m<sup>2</sup>; Messdatum: 27.09.2022, 09:45 Uhr (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

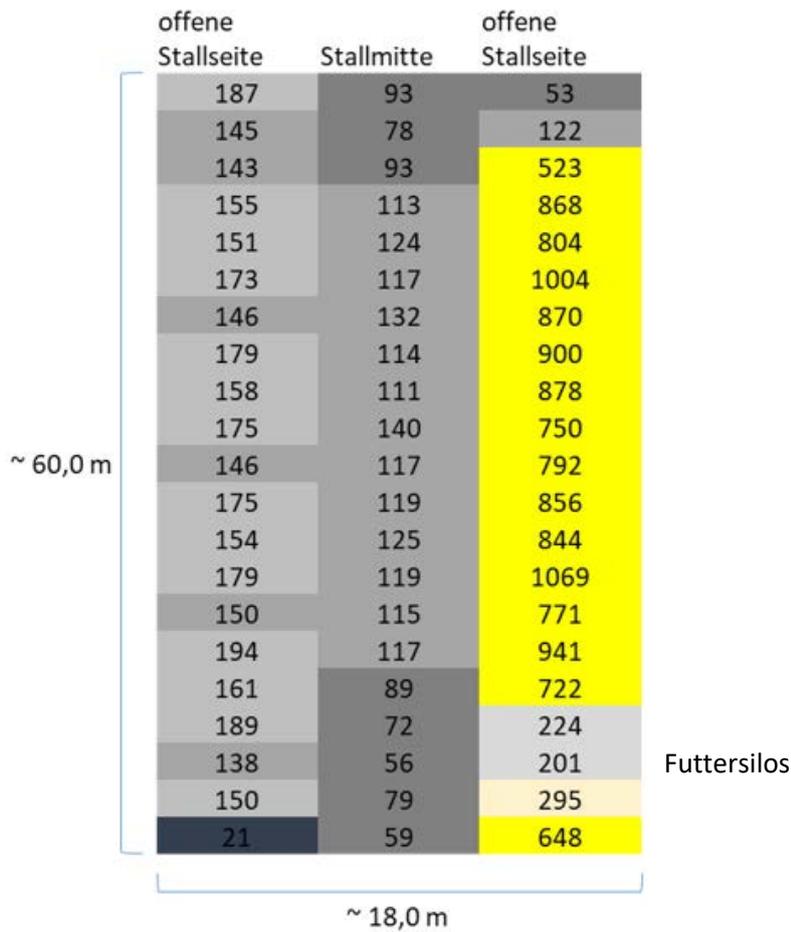


Abbildung 40: Oktober: Offenstall P 18\_BB (n= 63), min.: 21 lx; max.: 1069 lx; Median: 151 lx;  
 Fläche Messpunkt: 16,5 – 17,9 m<sup>2</sup>; Messdatum: 18.10.2022, 12:30 Uhr (© StanGe, Hochschule Osnabrück)



Abbildung 41: natürlicher Lichteinfall im Offenstall  
 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

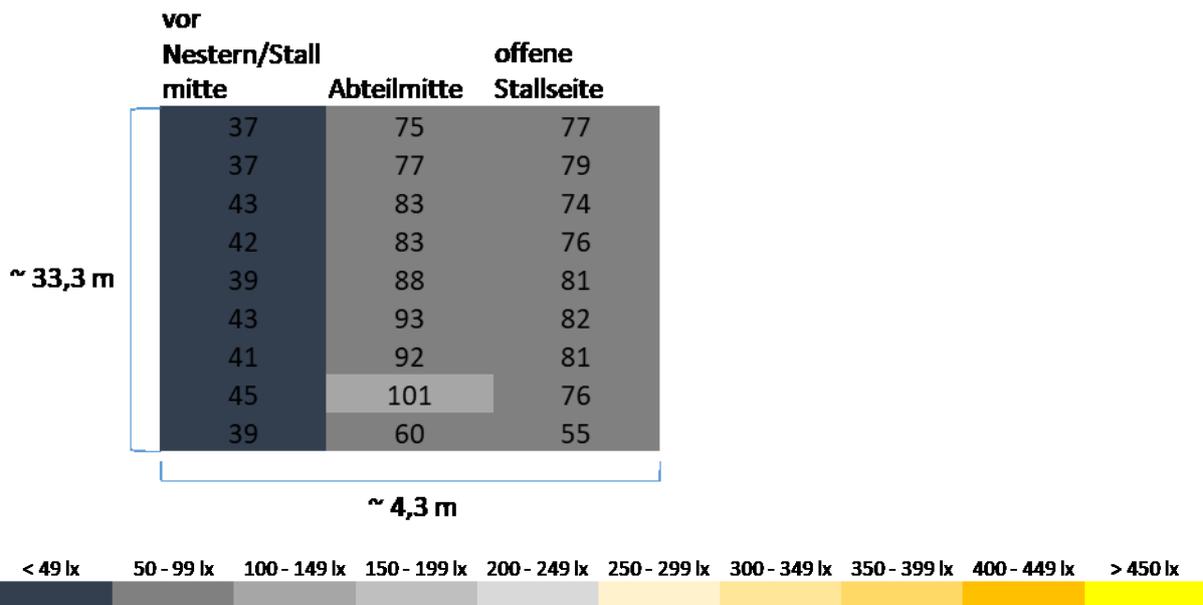


Abbildung 42: Dezember: Offenstall P 06\_BB (n= 27), min.: 37 lx; max.: 101 lx; Median: 76 lx; Fläche Messpunkt: 4,7 – 5,8 m<sup>2</sup>; Messdatum:, 19.12.2022, 10:00 Uhr (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

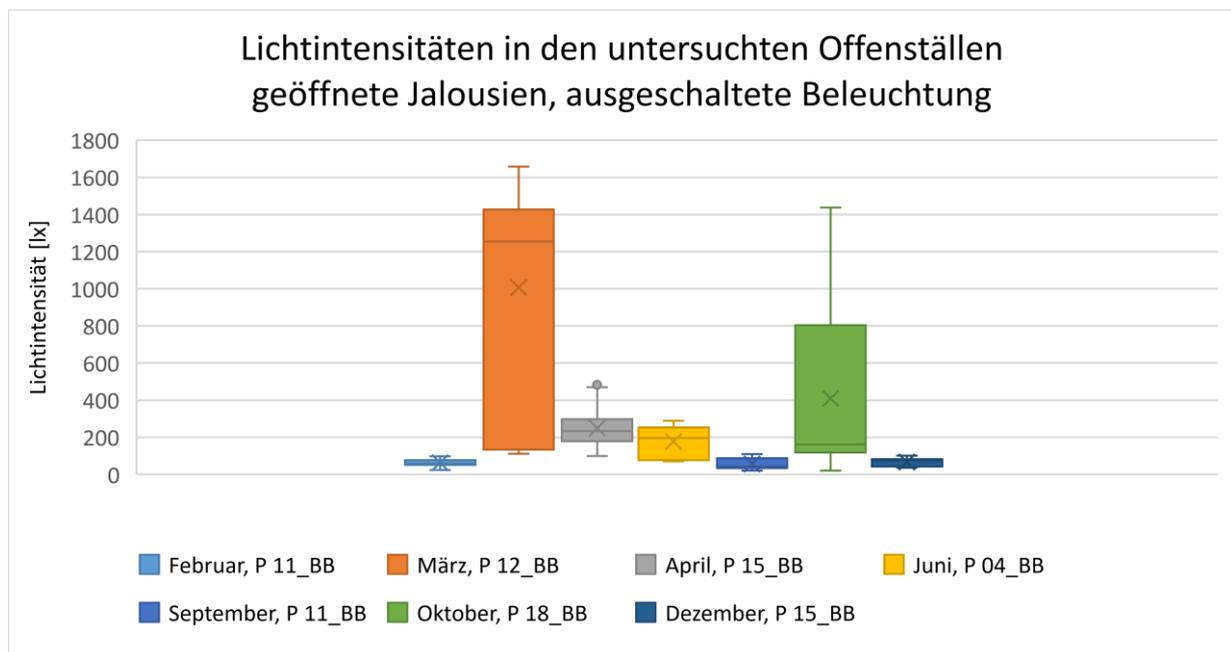


Abbildung 43: Lichtintensitäten [lx] in den untersuchten Offenställen in monatlicher Reihenfolge dargestellt. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

#### Vergleich von Messungen bei unterschiedlichen Licht- und Lüftungseinstellungen am selben Tag

In Abbildung 44 und Abbildung 46 sind Ergebnisse von Lichtmessungen des Offenstalls P 11\_BB am selben Tag (08.02.2022) bei unterschiedlichen Licht- (Licht an- beziehungsweise ausgeschaltet) und Lüftungseinstellungen (Jalousien geöffnet beziehungsweise geschlossen) dargestellt. Es wurde der gesamte Stall gemessen, sodass der Sonneneinfall von zwei offenen Stallseiten in die Messungen einfluss. Unabhängig von der Jalousieeinstellung war die Lichtintensität in der Stallmitte (zwischen den LED-Reihen) am höchsten, was wahrscheinlich auf die geringe Sonneneinstrahlung im Winter zurückzuführen war. Deutlich geringere Lichtintensitäten wurden im Stall bei

geschlossenen Jalousien und ausgeschalteter Beleuchtung (circa 12 lx) gemessen. Selbst im Winter konnte Tageslicht durch die Jalousiefolien transmittieren, sodass keine gänzliche Dunkelheit (0 lx) herrschte.

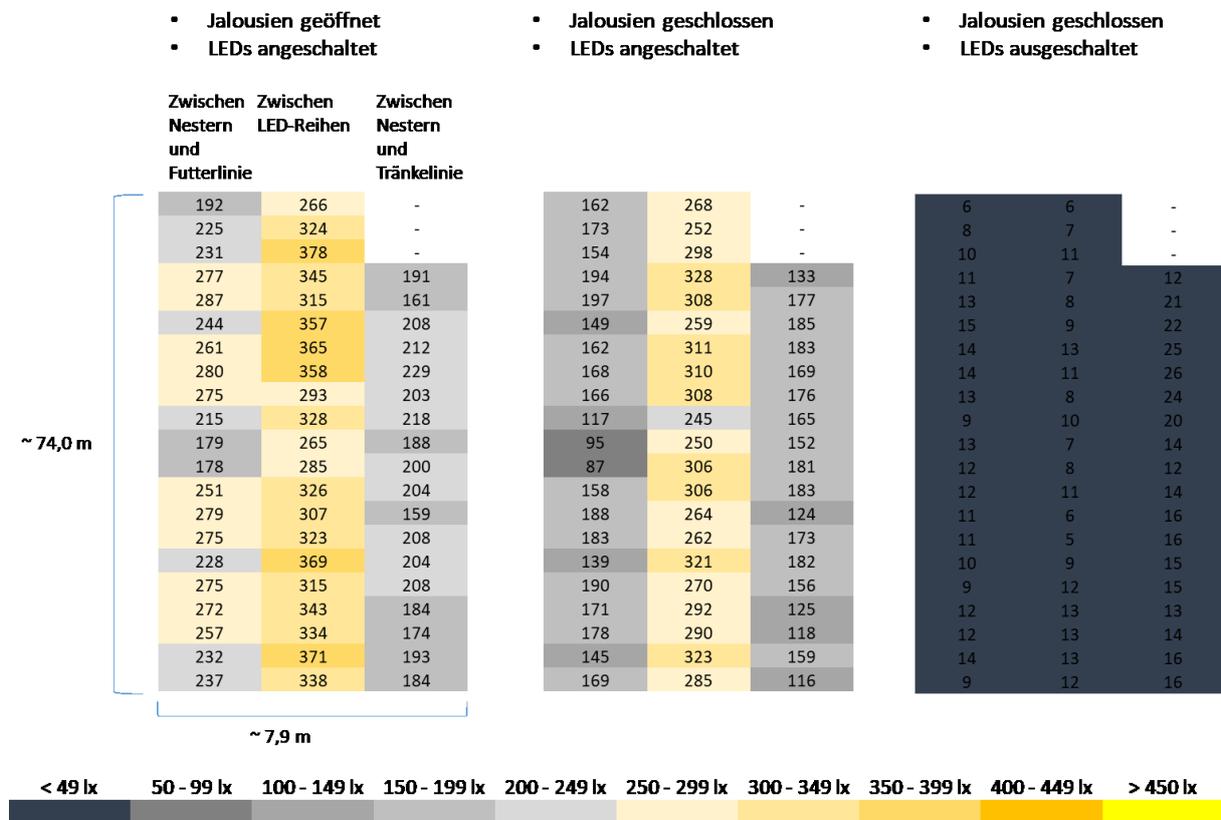


Abbildung 44: Lichtintensität im offenen Stall P 11\_BB (n= 60); Jalousien geöffnet, LEDs angeschaltet: min.: 159 lx; max.: 378 lx; Median: 259 lx; Jalousien geschlossen, LEDs angeschaltet: min.: 87 lx; max.: 328 lx; Median: 182 lx; Jalousien geschlossen, LEDs ausgeschaltet: min.: 5 lx; max.: 26 lx; Median: 12 lx; Fläche Messpunkt: 8,2 – 10,1 m<sup>2</sup>; Messdatum: 08.02.2022 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

In Abbildung 45 und Abbildung 46 ist die Lichtintensität in einem Abteil eines offenen Stalls für Puteneltern-tierhennen bei geöffneten Jalousien und eingeschalteter Beleuchtung (maximalste Lichtintensität zu erwarten) im Vergleich zu geschlossenen Jalousien mit ausgeschalteter Beleuchtung (minimalste Lichtintensität zu erwarten) am selben Tag (27.04.2022) dargestellt. In dem Abteil waren zwei Lampenreihen installiert, sodass die Lichtintensität in der Abteilmittle bei angeschaltetem Licht am höchsten war (max.: 594 lx). Bei ausgeschaltetem Licht lässt sich ein deutlicher Lichtgradient von der offenen Seite des Stalls (linker Wandbereich) zu den Nestern erkennen. Auffällig ist, dass trotz geschlossener Jalousie teilweise Lichtintensitäten > 200 lx gemessen werden konnten, was auf die Lichtdurchlässigkeit von weißer Jalousiefolie bei klarem Himmel hindeutet.

Abbildung 46 zeigt exemplarisch, wie die Lichtintensitäten in Offenställen durch das Öffnen oder Schließen und An- oder Ausschalten der Beleuchtung am selben Tag veränderbar sind.

- Geöffnete Jalousien
- Angeschaltete Leuchtstofflampen

- Geschlossene Jalousien
- Ausgeschaltete Leuchtstofflampen

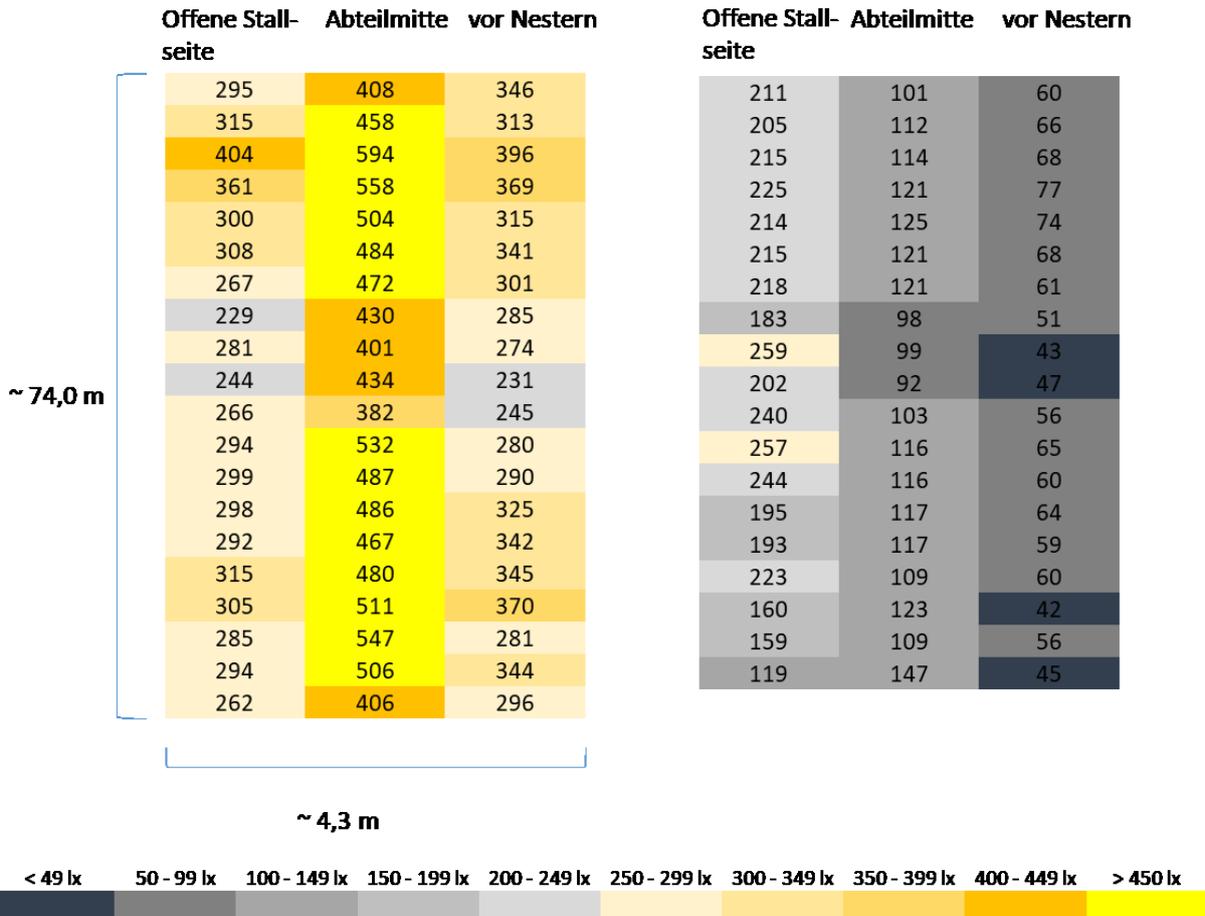


Abbildung 45: Lichtintensität im offenen Stall P 15\_BB (n= 60; 57); Jalousien geöffnet, Leuchtstofflampen angeschaltet: min.: 229 lx; max.: 594 lx; Median: 333 lx; Jalousien geschlossen, Leuchtstofflampen ausgeschaltet: min.: 42 lx; max.: 259 lx; Median: 116 lx; Fläche Messpunkt: 4,9 – 6,1 m<sup>2</sup>; Messdatum: 27.04.2022 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

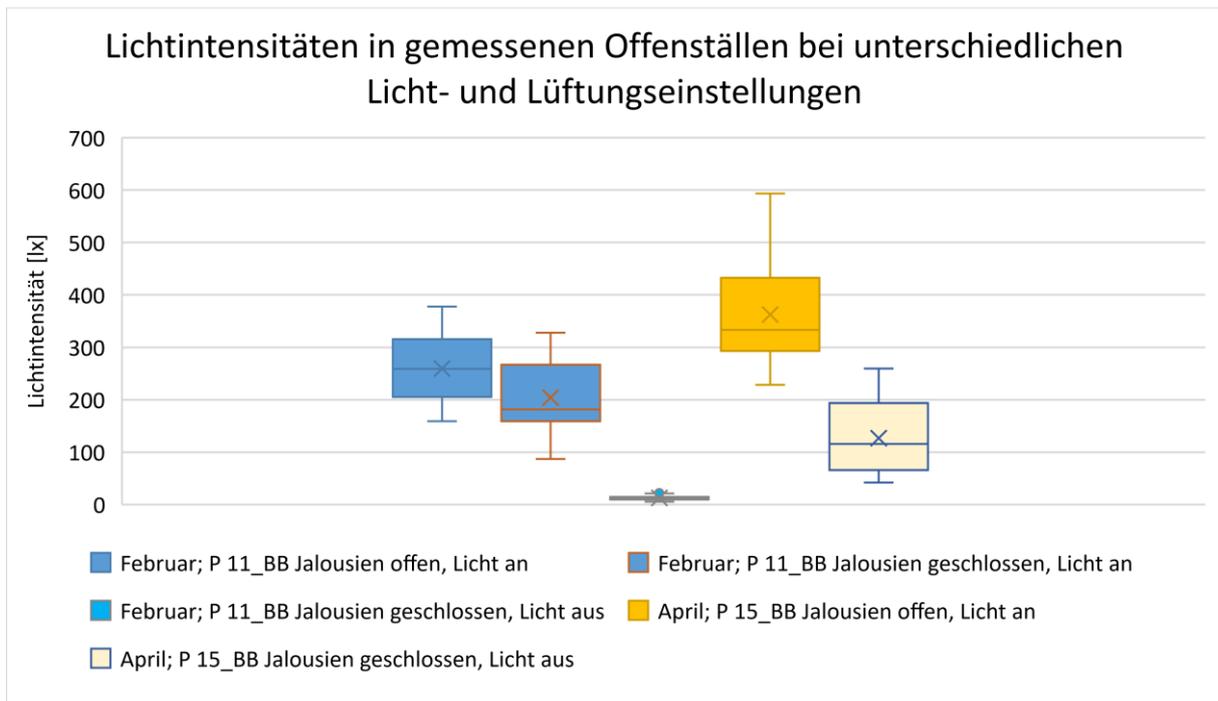


Abbildung 46: Gemessene Lichtintensitäten [lx] am selben Tag und Stall bei unterschiedlichen Licht- und Lüftungseinstellungen. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

#### Lichtintensitäten in denselben Ställen zu unterschiedlichen Jahreszeiten

In Abbildung 47 und Abbildung 49 sind die Lichtmessungen im Offenstall P 04\_BB aus November 2021 und Juni 2022 gegenübergestellt. Die Lichtmessungen wurden unter den gleichen Lichtbedingungen, bei geöffneten Jalousien und angeschalteten Leuchtstofflampen durchgeführt. Der jahreszeitliche Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Lichtintensität im Offenstall wird deutlich. Die Lichtintensitäten unterscheiden sich bei den durchgeführten Messungen um circa 300 lx. Trotz der Abteillbreite von circa 4,3 m kann im Sommer ein Lichtgefälle festgestellt werden, das durch den Sonnenlichteinfall auf der offenen Wandseite erklärt werden kann.

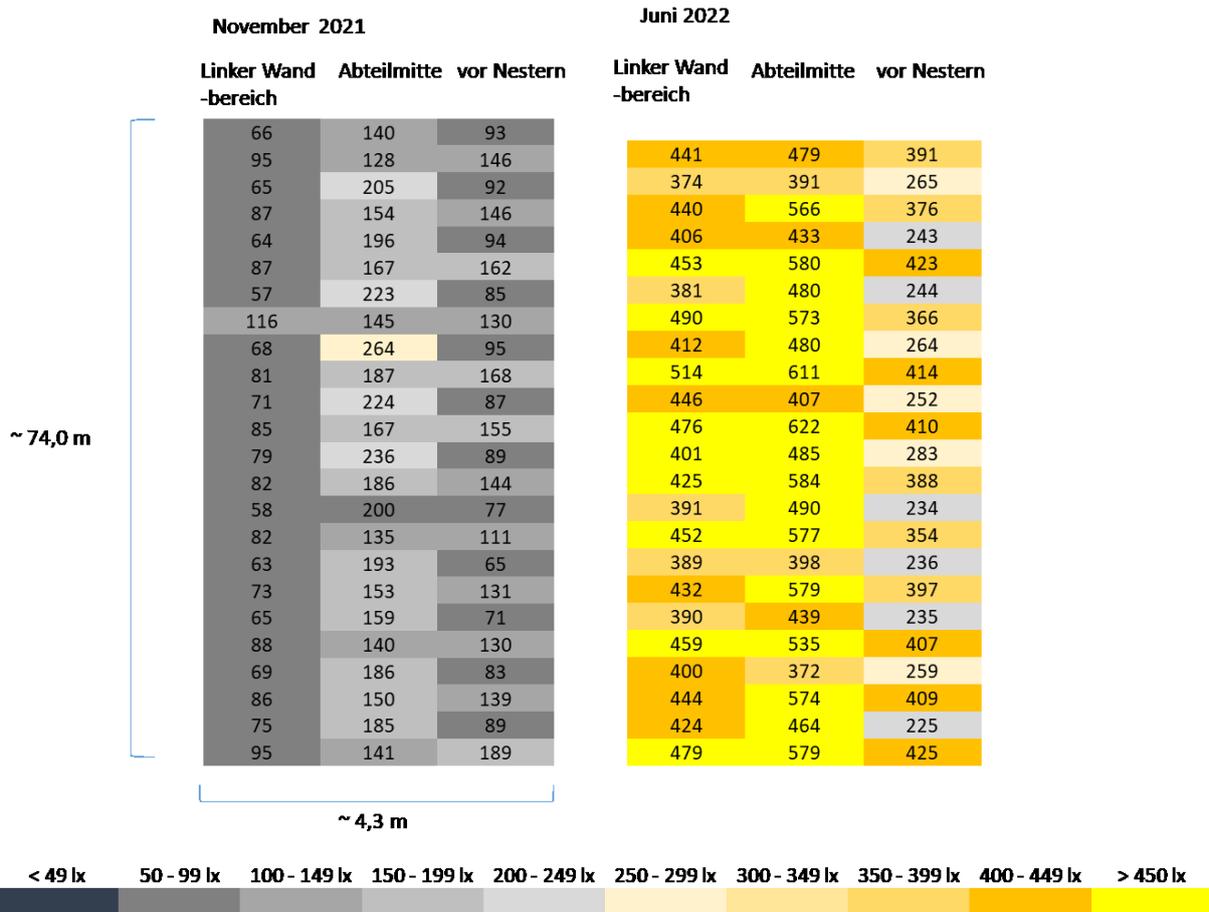


Abbildung 47: Lichtintensität im offenen Stall P 04\_BB (n= 72; 69) bei geöffneten Jalousien und angeschalteten Leuchtstofflampen im November: min.: 57 lx; max.: 264 lx; Median: 113 lx; Juni: min.: 225 lx; max.: 622 lx; Median: 423 lx; Fläche Messpunkt: 4,0 – 5,2 m<sup>2</sup>; Messdatum: 04.11.2021; 23.06.2022 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

In Abbildung 48 und Abbildung 49 sind Lichtmessungen im Offenstall P\_11 BB bei den gleichen Licht- und Lüftungseinstellungen (geschlossenen Jalousien, angeschalteten LEDs) dargestellt, die im Februar 2022 und September 2022 in den gleichen Messarealen durchgeführt wurden. In der Stallmitte im Bereich der LEDs konnte wiederholt die höchste Lichtintensität gemessen werden, die zu beiden Wandseiten abnahm. Ein Einfluss der Sonnenstrahlung konnte beim Vergleich dieser Messungen nicht festgestellt werden.

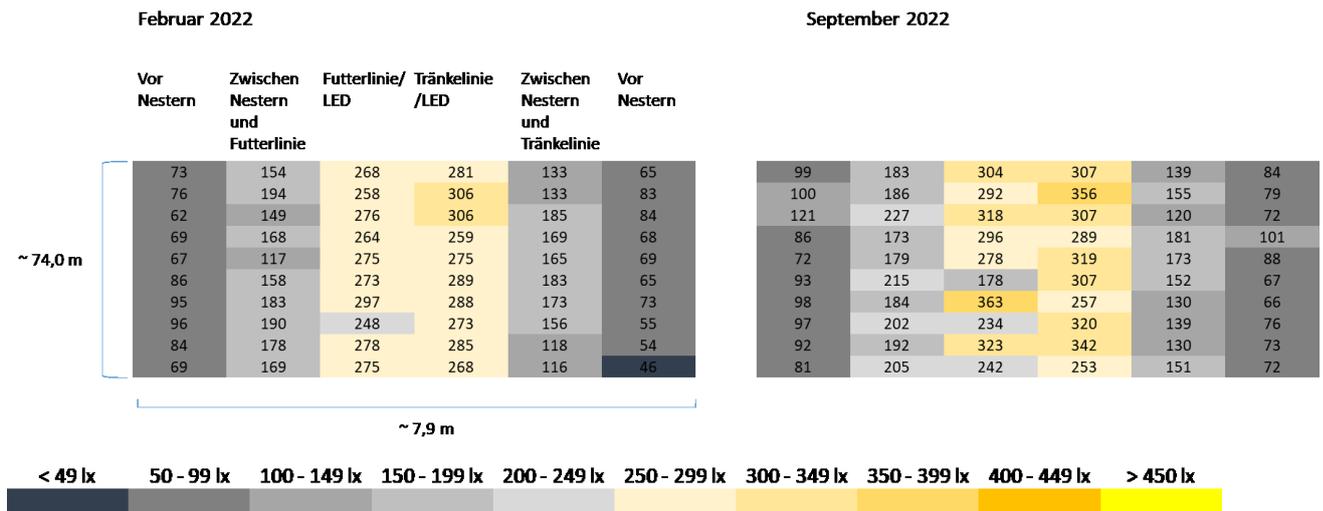


Abbildung 48: Lichtintensität im offenen Stall P 11\_BB (n= 60; 60) bei geschlossenen Jalousien und angeschalteten LEDs im Februar: min.: 46 lx; max.: 306 lx; Median: 166 lx; September: min.: 66 lx; max.: 363 lx; Median: 176 lx; Fläche Messpunkt: 9,2 – 10,1 m<sup>2</sup>; Messdatum: 08.02.2022; 27.09.2022 (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

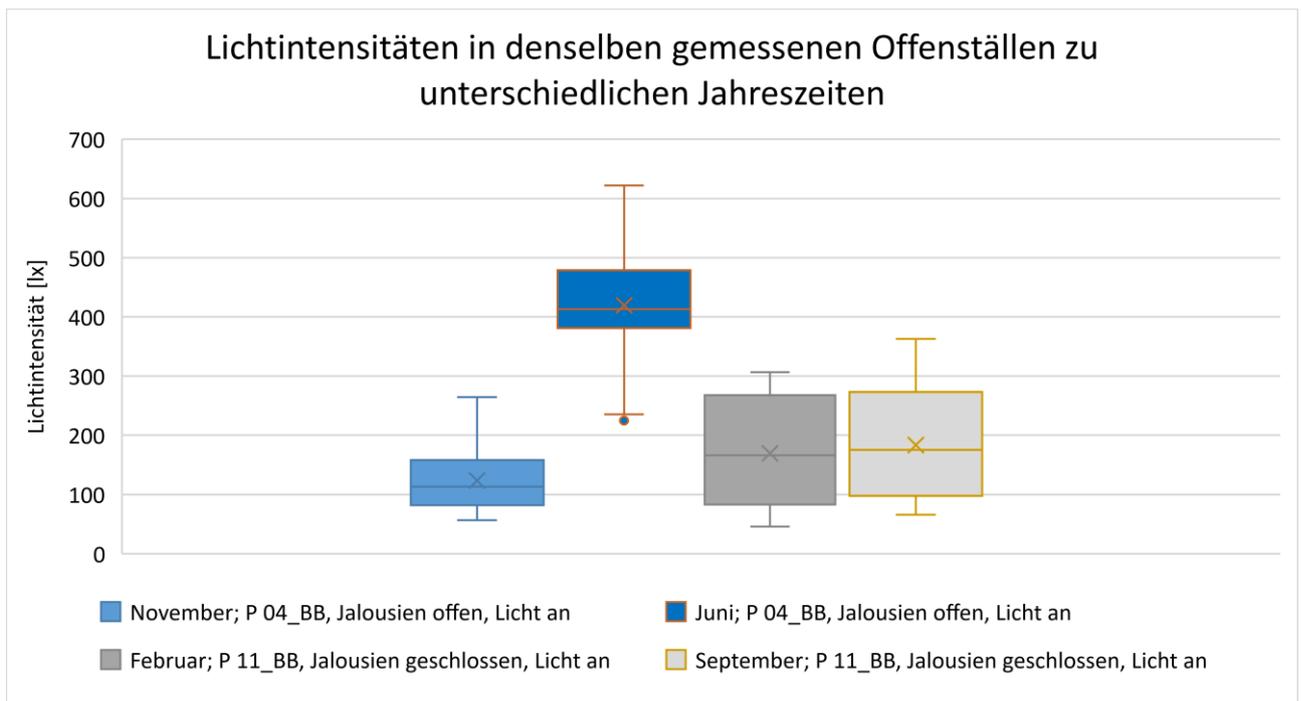


Abbildung 49: Gemessene Lichtintensitäten [lx] in den selben Ställen bei gleichen Licht- und Lüftungseinstellungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Je Box-Whisker-Plot: Median, Mittelwert (x), 1. Quartil, 3. Quartil, Minimum, Maximum, Ausreißer (°) (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

## 5.4. Frequenz

In Abbildung 50 ist ein Auszug der Frequenzen der untersuchten Lampentypen in Brandenburg im Vergleich zu der geforderten Mindestfrequenz für die Geflügelhaltung abgebildet. Es wird deutlich, dass die gemessenen LEDs über der geforderten Mindestfrequenz von Geflügel (160 Hz) liegen und somit der Annahme unterliegen, als flackerfrei für Geflügel eingestuft werden zu können. Die gemessenen Leuchtstofflampen wiesen alle eine Frequenz von 100 Hz auf und lagen somit unter der

geforderten Mindestfrequenz von 160 Hz. Folglich werden Leuchtstofflampen wahrscheinlich als flackernd von Puten wahrgenommen.

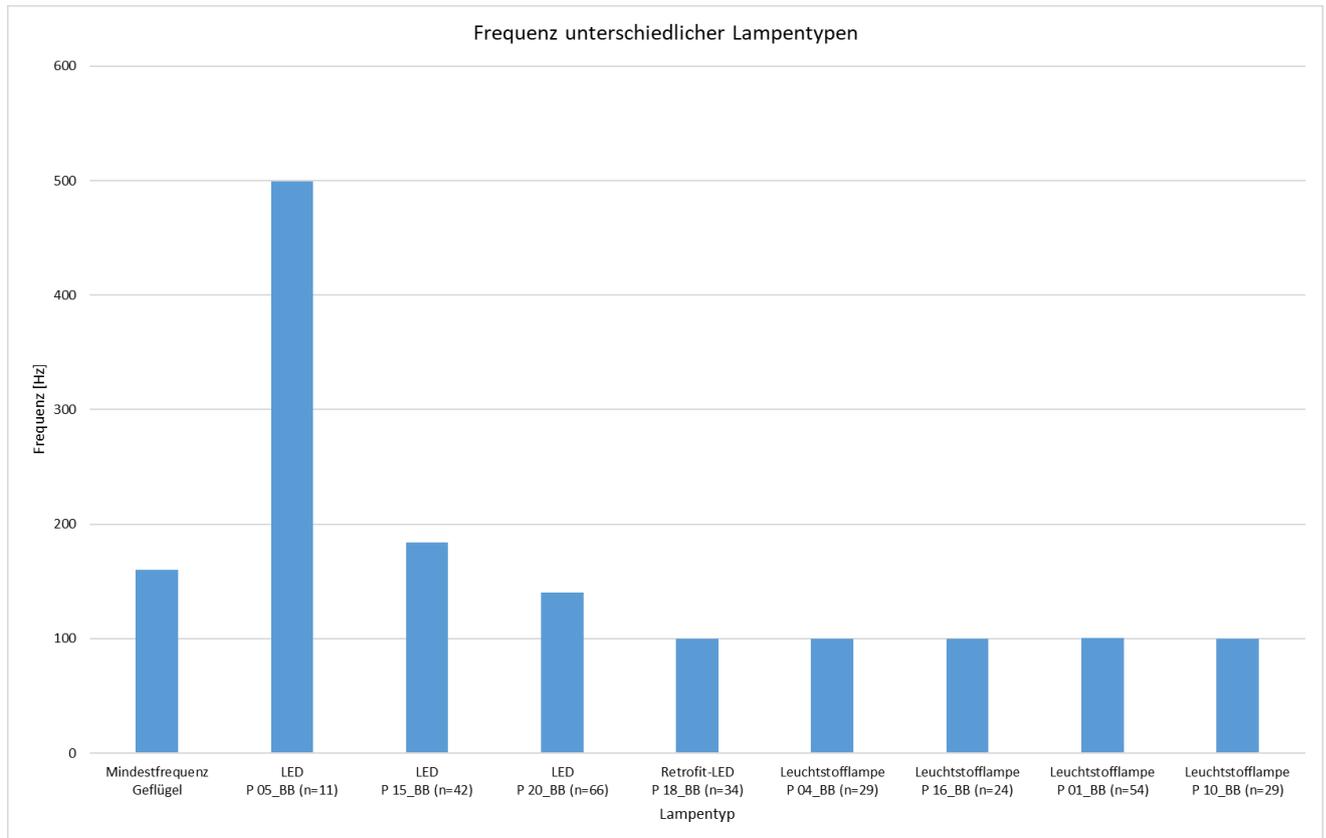


Abbildung 50: In dem Modellvorhaben gemessene Frequenzen [Hz] unterschiedlicher erfasster Lampentypen (© StanGe, Hochschule Osnabrück)

Eine Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse ist der Tabelle 4 4 zu entnehmen. Die Ergebnisse gliedern sich in die allgemeinen Ergebnisse und werden detaillierter unter den Parametern: Spektrum, Lichtintensität und Frequenz erläutert. Auf Grundlage der Literaturrecherche werden Empfehlungen für die Praxis abgeleitet, da in dem Modellvorhaben keine ethologischen Untersuchungen durchgeführt wurden.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse

Ergebnis	Schlussfolgerung/ mögliche Auswirkungen	Empfehlungen	Literatur
<b>Technik; Stallbau</b>			
Leuchtstofflampen noch am häufigsten in Altbauten installiert (10/17 Ställen), LEDs (6/17 Ställen) und Retrofit-LEDs (1/17 Ställen)	Zunehmende Umrüstung von Leuchtstofflampen auf LEDs. Leuchtstofflampen werden im September 2023 ausgephast. Aufgrund der abweichenden Lichtspektren können historische Versuchsergebnisse unter Leuchtstofflampen nicht mit aktuellen Ergebnissen unter LED-Beleuchtung verglichen werden. Bei Einbau von Retrofit-LEDs erlischt die Garantie und der Versicherungsschutz.	Umrüstung auf energieeffizientere LEDs	(DLG e.V. 2018)
Unterschiedliche Lampentypen (Leuchtstofflampe, LED) und Dimmbarkeit (ja/nein) der Lampen in der Aufzucht- und der Produktionsfarm	Nach Bogner et al. (1984) dauert bei Puten ein Teil der sensiblen Phase während der Prägung 72 h an. Die Küken lernen im Rahmen der Prägung unter anderem Kennzeichen ihrer Artgenossen und ihrer Umwelt, aufgrund dessen sie sich später ihre Vorlieben für Farben und Formen bewahren. Folglich kann der Umstellungsstress verstärkt werden, da die Tiere unter Umständen auf Umweltbedingungen unter anderen Lichtbedingungen geprägt wurden.  Es ist anzunehmen, dass Puten, die an eine graduelle Lichtreduktion gewöhnt sind, auf einen plötzlichen Lichtwechsel mit „Stress“ reagieren.	Verwendung der gleichen Lampen in der Aufzucht-, der Mast- oder der Elterntierfarm	(Bogner et al. 1984)

Ergebnis	Schlussfolgerung/ mögliche Auswirkungen	Empfehlungen	Literatur
<b>Technik; Stallbau</b>			
Jalousiefolien in den Offenställen sind lichtdurchlässig	Bei Beschädigungspicken wird aktuell unter anderem die Reduktion des Lichts empfohlen, am effektivsten bei einer Minimierung auf < 5 lx.  Bei Verwendung lichtdurchlässiger Jalousien können Lichtbedingungen und folglich das Tierverhalten nicht kontrolliert werden.	Verwendung von lichtundurchlässigen Jalousien	(Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2018b; Dalton et al. 2013)
Unter den 17 untersuchten Ställen, hatte ein Stall einen Außenklimabereich.	Außenklimabereiche sind bei Altbauten in Brandenburg sehr selten.	Nach Berk et al. (2006) und Spindler (2007) können Außenklimabereiche die Tiergesundheit verbessern, sodass diese für Puten empfehlenswert sind.	(Berk et al. 2006; Spindler 2007)
In einem von elf geschlossenen Ställen war ein Lichtband in Form von Glasfenstern verbaut. Zehn von elf geschlossenen Ställen hatten keine Lichtbänder.	Ausschließlich Haltung unter Kunstlicht.  Es war kein UV-A-Licht zur Erfüllung von biologischen Ansprüchen des Geflügelauges vorhanden, da Lichtbänder (Glas, Kunststoff) UV- A-Licht herausfiltern.	Umrüstung auf LEDs inklusive eines UV-A-Anteils (Vollspektrumlampen)	(Reimers et al. 2022; Tuchinda et al. 2006)

Ergebnis	Schlussfolgerung/ mögliche Auswirkungen	Empfehlungen	Literatur
<b>Spektrum</b>			
Leuchtstofflampen haben ein schmalbandiges Spektrum, v.a. drei ausgeprägte Banden (Farben).	Kein tageslichtähnliches Spektrum, aber: Eine Langzeitstudie zur Frühmortalität bei Putenküken zeigte eine geringere Mortalität bei Küken unter Leuchtstofflampen mit UV-A-Anteil im Gegensatz zu warmweißen Leuchtstofflampen.	Umrüstung auf LEDs aufgrund höherer Energieeffizienz. Zudem altern Leuchtstofflampen mit UV-A-Anteil schneller als Leuchtstofflampen ohne UV-A-Anteil	(Günther 2013; Kämmerling et al. 2018)
LEDs haben breiteres Spektrum als Leuchtstofflampen, da mehr Farben im Spektrum enthalten sind.	Das Spektrum ist nicht tageslichtähnlich, aufgrund des fehlenden UV-A-Anteils.	Umrüstung auf Vollspektrumlampen ist aus biologischer Sicht empfehlenswert. Aber bei Puten sind derzeit noch keine ethologischen Untersuchungen zu Auswirkungen von Vollspektrumlampen (LEDs) bekannt.	(Lewis und Morris 2006; Kämmerling et al. 2018)
Eine Vermischung von Kunst- und Tageslicht in Offenställen ist möglich.	Es entstehen heterogene Lichtverhältnisse durch die Vermischung von zwei Lichtquellen (Sonne, Lampe). Eine heterogene Vermischung von zwei Kunstlichtquellen (Schwarzlichtlampe, Leuchtstofflampe) verstärkte Federpicken in einer Studie mit Legehennen.	Die Vermischung von Lichtquellen sollte vermieden werden.	(Spindler et al. 2020)

Eine spektrale Verschiebung des Sonnenlichts ist durch die Transmission farbiger Jalousiefolien möglich.	Die Filterung von Licht konnte bereits bei organischen Materialien gezeigt werden.  Die Haltungsumwelt (Gegenstände, Artgenossen, Futter) erscheint in abweichenden Farben, sodass Verhaltensabweichungen möglich sind (Federpicken, reduzierte Futteraufnahme).	Die Verwendung von lichtundurchlässigen Jalousien ist empfehlenswert.	(Kämmerling et al. 2017)
<b>Ergebnis</b>	<b>Schlussfolgerung/ mögliche Auswirkungen</b>	<b>Empfehlungen</b>	<b>Literatur</b>
<b>Lichtintensität</b>			
Im Vergleich zwischen den gemessenen geschlossenen Ställen ist die Lichtintensität sehr heterogen. Schwankungen Median: 31 lx – 235 lx; min. 20 lx – max. 520 lx	Puten werden unter sehr unterschiedlichen Lichtintensitäten gehalten, sodass der Faktor Licht unbedingt beim Vergleich von tierbezogenen Daten berücksichtigt werden sollte.	Für vergleichbare Ergebnisse sollte eine speziesspezifisch geeignete Lichteinheit festgelegt werden, um die Lichtverhältnisse objektiv und standardisiert zu beurteilen.	(Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2018a; Kämmerling et al. 2018)
Bei gleicher Dimmstufe wurden unterschiedliche Lichtintensitäten in den gemessenen Ställen festgestellt.	Empfehlungen zur Reduktion der Lichtintensität in Prozentstufen (vergleiche Empfehlungen zur Verhinderung von Federpicken und Kannibalismus bei Jung- und Legehennen) führen zu unterschiedlichen Lichtintensitäten in den Ställen, sodass Reduktion des Pickgeschehens möglicherweise nicht erzielt wird. Je nachdem ob die Tiere auf die alleinige Reduktion oder auf eine bestimmte Lichtintensität reagieren.		

Im Vergleich zwischen den gemessenen offenen Ställen war die Lichtintensität sehr heterogen: Schwankungen des Median von 76 lx – 1249 lx sind möglich (Jalousien offen, Lampen ausgeschaltet) min. 37 lx – max. 1658 lx	Schwankungen der Sonnenlichtintensität können immer auftreten und variieren je nach Standort, Uhrzeit und Jahreszeit. Lichtintensitäten ähnelten der Messungen in einer anderen Studie, in der eine höhere Mortalität in Offenställen im Vergleich zu geschlossenen Ställen festgestellt wurde.	Starke Lichtintensitätsschwankungen sollten vermieden werden. Beschädigungspicken ist multifaktoriell, sodass neben dem Licht weitere Faktoren in Betracht gezogen werden sollten.	(Duggan et al. 2014; Kämmerling et al. 2017)
<b>Ergebnis</b>	<b>Schlussfolgerung/ mögliche Auswirkungen</b>	<b>Empfehlungen</b>	<b>Literatur</b>
<b>Lichtintensität</b>			
Die Lichtintensität verändert sich im Offenstall täglich mit dem Verlauf der Sonne.	Die Ausleuchtung sollte, wie in der TierSchNutzV (Hühnervögel) gefordert, möglichst gleichmäßig erfolgen. Im Offenstall ist das nicht möglich.	Unter Berücksichtigung der natürlichen Habitatverhältnisse nicht erstrebenswert.	(TierSchNutzV 2021)
<b>Frequenz</b>			
Durchschnittlich wurden folgende Frequenz gemessen: Leuchtstofflampen: 100 Hz LEDs: > 180 Hz	Gemessene Leuchtstofflampen liegen unter der für Geflügel geforderten Mindestfrequenz von 160 Hz, was wahrscheinlich nicht flackerfrei für Geflügel ist.	Umrüstung auf flackerfreie LEDs	(Lisney et al. 2011; Lisney et al. 2012; Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2018)

## 5.5. Lichteinbrüche durch technische Schwachstellen

In offenen und geschlossenen Ställen kann es zu verschiedenen unerwünschten Lichteinbrüchen kommen, die sich unter Umständen auf das Tierverhalten auswirken können. Insbesondere Sonnenschein kann bei technischen Schwachstellen zu solchen führen. In Abbildung 51 sind Löcher im Dachüberstand abgebildet, die bei Sonnenschein Lichtflecken im Stall hervorrufen konnten. Es sind exemplarisch 17 Lichtflecken auf einer Stallfläche von 31,5 m<sup>2</sup> abgebildet. Diese wurden in dem gesamten Abteil gesichtet und nicht einzeln gezählt. Die Lichtflecken hatten einen Durchmesser von circa 2,5 cm bis 5 cm. Diese Lichteinbrüche konnten nur bei hellem Sonnenschein beobachtet werden, sodass die Entdeckung der Lichtflecken eher zufällig passierte. Bei einer Bedeckung der Sonne verschwanden diese. Prinzipiell kann jedes Loch in der Bausubstanz oder Jalousiefolie bei Sonnenschein zu einem Lichtfleck führen.

Im Dezember bei bewölktem Himmel wurde kein Lichtfleck durch ein Loch in der Jalousiefolie (Abbildung 53) hervorgerufen.

Lichtstreifen (Abbildung 54) konnten bei tiefstehender Sonne beobachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lichtflecken ist in Offenställen aufgrund des direkten Sonnenlichteinfalls höher.



*Abbildung 51: Löcher im Dachüberstand als Ursache für Lichtflecken im Stall (© StanGe, Hochschule Osnabrück)*



*Abbildung 52: Lichtflecken auf dem Stallboden  
aufgrund von Löchern im Dachüberstand  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)*



*Abbildung 53: Loch in einer Jalousiefolie resultierte im Dezember nicht in sichtbarem Lichtfleck auf Stallboden  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)*



*Abbildung 54: Lichtstreifen aufgrund von tiefstehender Sonne am Morgen  
(© StanGe, Hochschule Osnabrück)*

In den untersuchten geschlossenen Ställen wurde kein gerichteter Tageslichteinfall festgestellt, der zu Lichtpunkten oder -streifen führte. In geschlossenen Ställen kann allerdings eine defekte Lampe zu Lichtkegeln führen, wenn diese bei der Dimmung nicht korrekt angesteuert wird. Ein, wie im Zentrum in Abbildung 55 oder rechts in Abbildung 56, entstehender Lichtkegel fällt nur bei der Reduktion der Helligkeit auf. Je niedriger die Dimmstufe, desto höher war die Lichtintensitätsdifferenz (maximale Differenz circa  $0,00006 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ ; 8 lx). Kurzzeitige Lichtkegel können durch das Öffnen der Stalltür entstehen, wie der rechte Lichtkegel in Abbildung 55 veranschaulicht. Dies dürfte aber nicht als technische Schwachstelle bewertet werden. In vier Ställen wurden bei den Betriebsbesuchen der gemessenen Abteile defekte Lampen (jeweils 3, 2, 1, 1)

notiert. Dabei handelte es sich um eine Momentaufnahme. Die Lichtmessungen wurden in der Serviceperiode durchgeführt. In diesem Zeitraum werden unter anderem Wartungsarbeiten durchgeführt und defekte Lampen ausgetauscht. Je nach Arbeitsaufwand (gute Erreichbarkeit durch niedrige Deckenhöhe) können defekte Lampen auch während des Durchgangs getauscht werden. Bei Leuchtstofflampen konnte teilweise ein „Wabern“ festgestellt werden, dass auf die Alterung der Lampen zurückzuführen war und in einer geringeren Lampeneffizienz resultierte. Die Lichtausbeute wird mit der Zeit reduziert, da Quecksilber in der Beschichtung des Glaskörpers gebunden wird, welches dann nicht mehr für die Entladung zur Lichterzeugung verfügbar ist. Zudem führt die Quecksilber-Verunreinigung zu einer Vergrauung des Glaskörpers (Mulder und van Heusden 1983). Quecksilber wird bereits nach 2000 Betriebsstunden im Glaskörper gebunden (Santos Abreu 2012), sodass eine Abnahme der Gaskonzentration vor der angegebenen Betriebsdauer (bis zu 16.000 h (Osram o.J.)) in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen und Schalzhäufigkeiten möglich ist.



*Abbildung 55: Heller Lichtkegel durch falsche LED-Ansteuerung bei der Dimmung (© StanGe, Hochschule Osnabrück)*



*Abbildung 56: Lichtkegel (rechts) durch defekte Leuchtstofflampe während der Dimmphase (© StanGe, Hochschule Osnabrück)*

In Tabelle 5 sind mögliche technische Schwachstellen zusammengefasst, die sich aus den Lichtmessungen ergaben. Zudem werden Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Lichtverhältnisse dargestellt. Die Vorschläge sind in der Regel mit erhöhten Kosten verbunden, die hier nicht berücksichtigt wurden.

Tabelle 5: Anforderungskatalog an die Beleuchtung in Putenställen

Stallbautyp	Mögliche technische Schwachstellen	Überprüfung	Mögliche Auswirkungen auf das Tier	Anforderungen an Licht im Stall/ Verbesserungsvorschläge
offen, geschlossen	Alter der Lampen	Vergleich des Einbaudatums und der Herstellerangaben zu den Betriebsstunden der Lampen. Bei Leuchtstofflampen nimmt die Gaskonzentration mit steigendem Alter ab, sodass ein „wabern“ mit dem menschlichen Auge erkennbar ist.	Auswirkungen können heterogene Lichtverhältnisse/Helligkeiten im Stall sein, die möglicherweise zu einer unterschiedlichen Wahrnehmung von Artgenossen und bei Offenställen zu Federpicken führen können (Duggan et al. 2014).	Austausch der Lampen beim Erreichen der als maximal angegebenen Betriebsstunden.
offen, geschlossen	Defekte Ansteuerung der Lampen während der Dimmphase	Während der Lichtreduktion sollten die Lampen aus verschiedenen Stallbereichen beobachtet werden.	<p>Unter kontinuierlichem Licht ist der Corticosteronspiegel bei Masthühnern erhöht (Yang et al. 2022). Möglicherweise führt eine unzureichende Ruhephase während der Dunkelphase bei Puten zu Stress.</p> <p>Lichtflecken während der Dunkelphase können zu einer ungleichmäßigen Tierverteilung, möglicherweise zu Erdrückungsverlusten durch hohe zentrierte Tieransammlungen oder Verkratzungen führen.</p>	Eine stufenlose und einheitliche Dimmung der Lampen im gesamten Stall sollte möglich sein.

<b>Stallbautyp</b>	<b>Mögliche technische Schwachstellen</b>	<b>Überprüfung</b>	<b>Mögliche Auswirkungen auf das Tier</b>	<b>Anforderungen an Licht im Stall/ Verbesserungsvorschläge</b>
vor allem offen, im geschlossen Stall möglich	Lichtpunkte durch einfallendes Tageslicht	Problemstellen, zum Beispiel Löcher im Dachüberstand oder in Jalousiefolien, können bei klarem Sonnenschein während des Stalldurchganges erfasst werden.	Beobachtungen aus der Praxis bei gerichtetem Tageslichteinfall: Unruhe (Arndt et al. 2016), Lichtpunkte regen Erkundungsverhalten und Aktivität an (Meyer et al. 2021), Erkundungspicken des Gefieders kann in Federpicken/Kannibalismus resultieren. Beobachtungen aus der Praxis zeigten auch, dass eine zentrierte Aktivität zu Verkratzungen führen kann.	Schließen der direkten Lichteinfallstellen
offen	Lichtstreifen durch einfallendes Tageslicht	Beobachtung der Lichtverhältnisse zu verschiedenen Tageszeiten. Je nach Sonnenstand können sich Lichtstreifen verändern.	Beobachtungen aus der Praxis bei gerichtetem Tageslichteinfall: Unruhe (Arndt et al. 2016), Lichtpunkte regen Erkundungsverhalten und Aktivität an (Meyer et al. 2021), Erkundungspicken des Gefieders kann in Federpicken/Kannibalismus resultieren. Außerdem kann eine zentrierte Aktivität zu Verkratzungen führen.	Direkten Tageslichteinfall durch Schließen der Jalousien vermeiden, möglicherweise Anbau zusätzlicher Sonnenblende von innen
offen	Lichtdurchlässige Jalousien; unterschiedliche Jalousiefarben in einem Stall	Kontrolle der Lichtintensität bei geschlossenen Jalousien und ausgeschaltetem Kunstlicht sowie der Veränderung des Lichtspektrums durch die Jalousiefarbe (sofern diese lichtdurchlässig sind)	Bisher gibt es noch keine Untersuchungen, welche Auswirkungen eine Vermischung von Kunst- und Tageslicht beziehungsweise Veränderung des Lichtspektrums durch Folien auf die Pute haben. Futterverweigerung oder eine reduzierte Futteraufnahme sind zum Beispiel möglich.	Durch lichtundurchlässige Jalousien sind die Lichtverhältnisse besser kontrollierbar.

## 6. Diskussion

Die im Modellvorhaben durchgeführten Lichtmessungen erfolgten in unbelegten Aufzucht-, und Elterntierställen für Puten, um einen Status quo der Lichtverhältnisse in Putenställen in Brandenburg darzustellen. Die für die Studie verfügbaren Ställe wurden von den Wirtschaftspartnern des Modellvorhabens zugeteilt, sodass diese als repräsentativ zu betrachten waren. Aufgrund von sehr kurzen Serviceperioden in Mastbetrieben, waren keine Lichtmessungen in unbelegten Mastställen möglich. Eine einmalige Datenaufnahme fand daher nur in einem belegten Maststall statt. Die Putenmast erfolgt in der Regel in offenen Louisianaställen. Dieser Stalltyp wurde hinreichend im Modellvorhaben untersucht, sodass die Ergebnisse der offenen Legefarmen des Stallbautyps „Offenstall“ weitestgehend analog zu einer Mastfarm in Louisiana-Stallbauweise betrachtet werden können.

### 6.1. Stallbau/Lampenausstattung

Einer der untersuchten Ställe verfügte über einen Außenklimabereich, sodass Außenklimabereiche in der Putenhaltung in Brandenburg eher eine Ausnahme darzustellen scheinen. Generell wird der Zugang zum Außenklimabereich mit einem positiven Effekt auf die Tiergesundheit in Verbindung gebracht (Berk et al. 2006).

Der überwiegende Teil der gemessenen Ställe war noch mit Leuchtstofflampen ausgestattet. Zukünftig werden Leuchtstofflampen keine entscheidende Rolle mehr in der Beleuchtung einnehmen, da diese im September 2023 ausgephast werden (Verordnung (EU) 2019/2020 der Kommission). Diese Status quo Erhebung zeigte aber, dass historische Ergebnisse aus der Wissenschaft und Praxis nicht ohne weiteres mit aktuellen Studien verglichen werden können, da die Tiere unter anderen Lichtverhältnissen gehalten wurden und werden.

Die Untersuchungen in Brandenburg ergaben, dass teilweise in Aufzucht- und Produktionsfarmen unterschiedliche Lampen verwendet wurden. Die Jungputen sind somit vor und nach der Umstallung möglicherweise einer Haltungsumwelt mit einem veränderten Lichtspektrum ausgesetzt. Nach Bogner et al. (1984) lernen Küken im Rahmen der Prägung Kennzeichen ihrer Artgenossen und Umwelt. Aufgrund dieser bilden sie Präferenzen für Farben und Formen aus. Durch die grundlegend voneinander abweichenden Lichtspektren von Leuchtstofflampen und LEDs (Kämmerling et al. 2018) nehmen Putenküken ihre Haltungsumwelt u.U. im Aufzuchtstall und der folgenden Haltungsperiode in abweichenden Farben wahr. Umstellungen sind unter anderem durch den Transport (Sprafke et al. 2018) mit Belastungsstress für die Tiere verbunden, sodass für einen Beitrag zur Stressreduktion die gleichen Lampen in den Ställen verbaut werden sollten.

In der Regel waren die Aufzuchtställe mit dimmbaren Lampen (vier von sechs Ställen) ausgestattet, wohingegen der Großteil der Lampen in den Produktionsfarmen nicht dimmbar (neun von elf Ställen) war. Es ist anzunehmen, dass Puten, die in der Aufzucht auf eine graduelle Lichtreduktion geprägt wurden, auf einen plötzlichen Lichtwechsel in der anschließenden Haltungsperiode mit „Stress“ reagieren (Kristensen 2008), sodass eine Dimmphase beibehalten werden sollte.

Bei einem Offenstall wurden durch einen gerichteten Sonnenlichteinfall, aufgrund von Löchern im Dachüberstand, Lichtflecken auf dem Stallboden festgestellt. Beobachtungen aus der Praxis zeigen, dass punktuelle Lichtflecken Erkundungsverhalten anregen (Meyer et al. 2021), was die Tiere möglicherweise dazu anregt das Gefieder von Artgenossen unter hellen Lichtpunkten (partiell abweichende Reflexionen) zu erkunden. Ergebnisse aus Praxiserhebungen im Legehennenbereich deuten darauf hin, dass gerichteter Sonnenlichteinfall zu Unruhe führt (Arndt et al. 2016), weshalb Lichtflecken und -streifen vermieden werden sollten.

## 6.2. Lichtintensität

Die Lichtmessungen in geschlossenen Ställen ergaben unterschiedliche Lichtintensitäten bei der maximalen Dimmeinstellung (100 Prozent). In zwei geschlossenen Aufzuchtställen mit LED-Lampen wurden bspw. maximale Lichtintensitäten von 51 lx (P 20\_BB) beziehungsweise 343 lx (P 05\_BB) gemessen. Aufgrund dieser erheblichen Unterschiede der Lichtintensitäten können keine Vergleiche oder Empfehlungen für Lichtverhältnisse auf Basis von Dimmeinstellungen getroffen werden. Das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2018a) empfiehlt zum Beispiel eine Minimierung der ursprünglichen Lichtintensität auf maximal 30 – 40 Prozent bei Federpicken und Kannibalismus bei Jung- und Legehennen. Eine Reduktion auf 30 Prozent würde eine Lichtintensität von circa 15 lx beziehungsweise circa 103 lx ergeben, sofern die Abnahme linear ist. Es gilt zu prüfen, ob allein die Dimmung die Verhaltensabweichungen reduziert oder eher das Erreichen einer bestimmten Lichtintensität. Zur bessere Vergleichbarkeit sollte die tatsächliche Lichtintensität auf Tierhöhe gemessen werden. Zudem sollte für eine objektive und standardisierte Beurteilung der Lichtintensitäten in Geflügelställen eine speziesspezifische Einheit wie „Gallilux“ oder „Lichtindex“ Geflügel festgelegt werden. Mit der Einheit Lux wird die Lichtintensitäten für Geflügel unterschätzt, weil unter anderem die aviäre UV-A-Perzeption nicht berücksichtigt wird (Lewis und Morris 2006). Folglich werden die Lichtintensitäten in Offenställen aufgrund des natürlichen UV-A-Anteils im Lichtspektrum unterschätzt. Für einen Vergleich mit anderen Studien wurden die Lichtintensitäten im Modellvorhaben in Lux angegeben. Duggan et al. 2014 führten Lichtmessungen in belegten geschlossenen Putenställen unter Kunstlicht (Leuchtstofflampen) durch und zeigten Schwankungen zwischen 1 lx – 145 lx auf, wohingegen im Modellvorhaben bei maximaler Dimmstufe größere Unterschiede von 20 lx – 349 lx bei Leuchtstofflampen in geschlossenen Ställen ohne Tageslichteinfall gemessen wurden. Hingegen wurden in Offenställen in Kanada im März und April höhere Lichtintensitäten, zwischen 150 lx – 4800 lx (Duggan et al. 2014), im Vergleich zum Modellvorhaben in den gleichen Monaten gemessen. Diese betragen unter hiesigen Bedingungen zwischen 99 lx (P 15\_BB) und 1658 lx (P 12\_BB). Die Messergebnisse beider Studien verdeutlichen, dass in Offenställen von heterogeneren und höheren Lichtintensitäten auszugehen ist als in geschlossenen Ställen. Duggan et al. (2014) verzeichneten in Offenställen im Vergleich zu geschlossenen Ställen eine signifikant höhere Mortalitäts- und Merzungsrate aufgrund von Pickverletzungen.

Duggan et al. (2014) vermuteten, dass in Offenställen mit natürlichem Tageslicht und hohen Lichtintensitäten Pickgeschehen bei Puten aufgrund eines hohen visuellen Reizes durch UV-reflektierende Federn (Bartels et al. 2017) ausgelöst werden können. Die Lichtmessungen im Modellvorhaben ergaben auf gegenüberliegenden Stallseiten unterschiedlich hohe Lichtintensitäten (vergleiche Abbildung 40: P 18\_BB: 179 lx vs. 1069 lx), sodass sich die Intensität der ultravioletten Gefiederreflexionen je nach Aufenthaltsort der Pute im Stall verändern und einen möglichen Faktor für Verhaltensabweichungen wie Beschädigungspicken darstellen könnte.

Gefiederreflexionen hängen zudem von der Gefiederfarbe ab. Bright (2007) stellte bei schwarzen und grauen Hühnerfedern eine vergleichsweise niedrigere Lichtreflexion im Spektralbereich von 300 nm – 700 nm in Vergleich zu weißen Federn fest. Alle untersuchten Federfarben reflektierten UV-Licht. Die Zugabe von UV-Licht hatte bei schwarzen und grauen Federn, aufgrund der sonst eher niedrigen Lichtreflexion im Verhältnis zu weißen Federn, einen höheren Effekt auf die Gefiederreflexionen. Unterschiedliche Gefiederreflexionen unter Kunstlicht (in der Regel ohne UV-Licht) und Tageslicht (mit UV-Licht) können insbesondere bei dunklem Gefieder bei Hühnern zu

Federpicken führen (Bright 2007). Puten reagieren sensitiver auf UV-A-Licht als Hühner (Barber et al. 2006), sodass zu erwarten ist, dass das weiße Gefieder von Artgenossen bei direktem Sonneneinfall stärker reflektiert als beispielsweise auf der sonnenabgewandten Seite des Stalls. Durch neue Gefiederreflexionen kann Federpicken ausgelöst werden. In der konventionellen Putenhaltung werden hauptsächlich Puten mit weißem Gefieder gehalten (Zentralverband der Deutschen Geflügelwirtschaft e.V. 2023). Punktuell sind dunkle Federn in der Praxis zu beobachten, sodass bei diesen Tieren möglicherweise bei wechselnden Lichtintensitäten zusätzlich eine höhere Wahrscheinlichkeit besteht als „Opfertier“ von Beschädigungspicken betroffen zu sein.

### 6.3. Spektrum

Aufgrund der aviären Fähigkeit UV-A-Licht wahrzunehmen (Lewis und Morris 2006), wird in den bundeseinheitlichen Eckwerten für eine freiwillige Vereinbarung zur Haltung von Mastputen ein tageslichtähnliches Kunstlichtspektrum in geschlossenen Ställen gefordert (Verband Deutscher Putenerzeuger e.V. 2013). Im Konsens zu Kämmerling et al. (2018) ging aus dem Modellvorhaben hervor, dass mit den verbauten Leuchtstofflampen (vergleiche Abbildung 6) und LEDs (vergleiche Abbildung 7) kein tageslichtähnliches Kunstlichtspektrum nachgebildet werden kann, da unter anderem kein UV-A-Anteil im Lichtspektrum der LED-Leuchten und ein geringgradiger UV-A-Anteil bei Leuchtstofflampen gemessen wurde.

Die Lichtmessungen ergaben, dass es in Offenställen bei geöffneten Jalousien und angeschaltetem Kunstlicht zu einer Vermischung der Lichtspektren kommen kann. Zudem kam es bei der Transmission von Sonnenlicht durch lichtdurchlässige Jalousiefolien zu einer Farbverschiebung des Lichtspektrums (vergleiche Abbildung 15 und Abbildung 16). Inwieweit sich Vermischungen von Kunst- und Tageslicht auf das Tierverhalten auswirken, wurde nach jetzigem Kenntnisstand noch nicht untersucht, sodass die Vermischung von zwei Kunstlichtquellen als mögliche Auswirkungen auf das Tierverhalten (zum Beispiel Futteraufnahme, Federpicken) herangezogen werden.

Es ist bekannt, dass einige Futterkomponenten UV-A-Licht reflektieren (Burkhardt 1982) und somit Vögel bei der Nahrungssuche unterstützen. Da der Sehsinn des Vogels hochentwickelt und entscheidend bei der Nahrungsauswahl ist, ist anzunehmen, dass andersartige Reflexionen von Futterpartikeln zu einer reduzierten Futteraufnahme führen können. Der gleichen Annahme folgend, stellten Lewis et al. (2000) durch die Zugabe von UV-A-Licht über separate Schwarzlichtlampen keinen Einfluss auf die Futteraufnahme bei Puten fest. Das UV-Licht einer Schwarzlichtlampe ist nur annähernd mit Tageslicht vergleichbar. Unter Tageslichtbedingungen (Jalousien offen oder geschlossen) sind, vor allem wegen des tageszeitlichen Wechsels der Lichtverhältnisse, möglicherweise abweichende Futteraufnahmen festzustellen. In diesem Modellvorhaben wurden keine Daten zum Management und zum Tierverhalten erfasst, sodass kein Zusammenhang zwischen den Lichtverhältnissen und der Futteraufnahme hergestellt werden konnte. Günther (2013) stellte in einer Langzeituntersuchung zur Mortalitätsrate in den ersten sieben Lebenstagen bei Putenküken, die unter Leuchtstofflampen mit beziehungsweise ohne UV-A-Anteil gehalten wurden, eine Differenz in der Mortalität um bis zu 250 Prozent fest. Nach Günther (2013) lag die Hauptursache für die Verluste bei den Tieren ohne UV-A-Anteil im Spektrum im Verhungern der Küken, sodass UV-A-Licht eine entscheidende Rolle bei der Futteraufnahme einzunehmen scheint. Dabei ist nicht klar, ob die visuelle Wahrnehmung oder die hormonelle Steuerung zur Futteraufnahme durch UV-A-Licht beeinflusst wird (Günther 2013). Wichtig ist, dass das Licht eine Rolle bei der Futteraufnahme zu spielen scheint, sodass Reduktionen der Futteraufnahme aufgrund von spektralen Veränderungen denkbar sind. Die daraus resultierenden Auswirkungen können sich aber mit zunehmendem Alter der Tiere relativieren.

Moinard und Sherwin (1999) stellten in einem Präferenzversuch zwischen konventioneller Beleuchtung mit Leuchtstofflampen und konventioneller Beleuchtung mit zusätzlicher UV-Quelle fest, dass Puten signifikant häufiger das Spektrum mit UV-Anteil wählten, sodass die Autoren eine Reduktion von Beschädigungspicken durch einen UV-A-Anteil im Lichtspektrum für möglich halten. Untersuchungen in Praxisbetrieben mit Legehennen konnten diese Vermutung nicht generell bestätigen. Legehennen unter Kunstlicht mit zusätzlichem UV-A-Anteil zeigten signifikant mehr Pickschäden als die Kontrollgruppe ohne UV-A-Anteil, sodass die alleinige Zugabe von UV-A-Licht im Spektrum das Tierwohl am Beispiel der Legehenne nicht verbesserte (Spindler et al. 2020). Ein Alterseffekt auf den Einfluss von Federpicken unter gemischten Lichtspektren ist denkbar. In der Studie von Moinard und Sherwin (1999) wurde der Präferenzversuch bei maximal 13 Wochen alten Puten durchgeführt, wohingegen bei den Legehennen erst in der Legeperiode ab der 27. Lebenswoche ein signifikant höherer Gefiederverlust bei den Tieren unter dem gemischten Lichtspektrum festgestellt wurde (Spindler et al. 2020).

Aus der Literatur geht hervor, dass die Vermischung von Kunstlichtquellen zu verändertem Tierverhalten führen kann. Da sich die Spektren von Kunst- und Tageslicht grundlegend voneinander unterscheiden, sollte die Vermischung der Lichtquellen als ein potentieller Faktor für Verhaltensabweichungen berücksichtigt werden. Eine Vermischung von Kunst- und Tageslicht kann durch die Verwendung lichtundurchlässiger Jalousiefolien verhindert werden. Dennoch gibt es Tage, an denen die Jalousien für die Luftzufuhr geöffnet und die Beleuchtung für eine ausreichende Helligkeit angeschaltet ist, sodass eine Vermischung von Kunst- und Tageslicht unausweichlich ist. Inzwischen bieten Stallausrüster sogenannte Vollspektrumlampen inklusive eines UV-A-Anteils an, wodurch eine homogenere Mischung von Kunst- und Tageslicht erzielt werden kann. Vollspektrumlampen erfüllen die Ansprüche des Vogelauges eher, als handelsübliche LEDs mit RGB-Spektrum, sodass für Puten in geschlossenen Ställen ein tageslichtähnlicheres Lichtspektrum eingestellt werden kann. Aktuell gibt es noch keine Langzeituntersuchungen, inwieweit sich LEDs mit einem UV-A-Anteil auf das Verhalten von Puten auswirken, sodass zunächst Versuche in Forschungseinheiten durchgeführt werden sollten, bevor Vollspektrumlampen für die Praxis empfohlen werden.

#### 6.4. Frequenz

Hinsichtlich der Frequenz sind generell LEDs zu empfehlen. Bei den untersuchten Leuchtstofflampen wurde eine durchschnittliche Frequenz von 100 Hz gemessen. Diese lag unter den geforderten 160 Hz (Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2018), sodass die Leuchtstofflampen möglicherweise aufgrund der hohen Flimmerfusionsfrequenz von Geflügel (bis zu 119 Hz (Lisney et al. 2012)) als flackernd wahrgenommen werden. Abgesehen von den gemessenen Retrofit-LEDs, lagen die übrigen untersuchten LEDs über dem wahrnehmbaren Flackerbereich von Geflügel.

Abschließend lässt sich festhalten, dass in den gemessenen Ställen heterogene Lichtintensitäten gemessen wurden. Insbesondere in Offenställen kann es durch Tageslichteinfall zu hohen Lichtintensitäten und zusätzlich zu Vermischungen von Kunst- und Tageslicht kommen. Da Licht im engen Zusammenhang zu Federpicken bei Geflügel steht, sollten in einer folgenden Studie kontrollierte Lichtbedingungen im Stall geschaffen werden. Um Puten Rückzugsmöglichkeiten im Stall anzubieten, ist eine Strukturierung des Stalls über Licht denkbar. In einer Studie von

Berk et al. (2015) wurde bei zwei Lichtintensitäten (20 lx, > 20 lx) keine Reduktion von Pickgeschehen erreicht.

Berk et al. (2015) empfehlen eine Sichtbarriere oder einen Außenklimabereich, damit gejagte Tiere sich zurückziehen können. Darauf basierend würde ein Lichtgradient mit einer Lichtintensität deutlich < 20 lx bis bspw. 25 lx und das gleichzeitige Angebot eines Außenklimabereichs eine Entzerrung von Pickgeschehen ermöglichen. Beides sollte in einer weiteren Studie untersucht werden. Um die im Modellvorhaben festgestellte Vermischung von Lichtquellen weitestgehend zu vermeiden, wäre das Anbringen von Windschutzvorhängen vor den Auslauföffnungen sinnvoll. Im Idealfall sollten im Stallinnenbereich LEDs mit einem UV-A-Anteil verbaut werden, um den Puten ein möglichst ähnliches Lichtspektrum im Stall und Außenklimabereich anzubieten.

## 7. Ausblick

Übergeordnetes Ziel in Deutschland ist der Verzicht auf das Schnabelkürzen und die Haltung von schnabelungekürzten Puten. Die Umsetzung wird durch das Auftreten von Beschädigungspicken, was multifaktorielle Ursachen haben und bei den Puten mit Schäden beziehungsweise Schmerzen verbunden sein kann, erschwert. Ein möglicher Auslöser für Beschädigungspicken können unzureichende Lichtbedingungen in den Ställen sein. Im vorliegenden Modellvorhaben sollte zunächst der Status quo von Lichtbedingungen erhoben werden, der in repräsentativen Putenställen in Brandenburg gegeben ist. Das Tierverhalten während eines Durchgangs wurde dabei nicht erfasst, sodass bislang kein Zusammenhang zwischen Licht und Tierverhalten hergestellt werden konnte. In einem nachfolgenden Modellvorhaben sollte das Verhalten der Puten mit einbezogen werden. Dabei empfiehlt es sich zu beurteilen, wie sich die Tiere verhalten, wenn ihnen Wahlmöglichkeiten zwischen lichtreduzierten und lichtintensiven Bereichen angeboten werden. Da das vorliegende Modellvorhaben teilweise sehr heterogene Lichtverhältnisse in Offenställen ergab, müssten möglichst kontrollierbare und wiederholbare Lichtbedingungen geschaffen werden. Für einen lichtreduzierten/dunklen Lichtbereich könnte der Stall abgedunkelt werden. Im Hinblick auf den hellen Lichtbereich wäre zu erwarten, dass natürliches Tageslicht die Ansprüche des Geflügelauges erfüllt. Den Puten kann beispielsweise durch einen Außenklimabereich der Zugang zu Tageslicht ermöglicht werden. Die Mortalität der Tiere und deren Gefieder-/Integumentstatus könnten dabei als Indikatoren dienen, um indirekt den Einfluss von verschiedenen Lichtbereichen auf das Tierverhalten zu erfassen.

## Abkürzungsverzeichnis

cd	Candela
CIE	Internationale Beleuchtungskommission; Commission internationale de l'éclairage
Hz	Hertz
K	Kelvin
LED	Leuchtdiode; Light Emitting Diode
LIG	Lichtindex Geflügel
lm	Lumen
lx	Lux
MLUK	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz
MSGIV	Ministerium für Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz
nm	Nanometer
UV	ultraviolett
W	Watt

## Literatur-/ Quellenverzeichnis

- Arndt, C.; Weseloh, T.; Kämmerling, J. D.; Döhring, S.; Andersson, R. (2016): Ausstieg Schnabelkürzung bei Legehennen. Einfluss von Lichtmodifikationen (UV-Licht) auf das Auftreten von Federpicken und Kannibalismus von Jung- und Legehennen in Praxisbetrieben. In: *Abschlussbericht 29.02.2016*.
- Baer, Roland; Barfuß, Meike; Seifert, Dirk (Hg.) (2016): Beleuchtungstechnik. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft. 4. Auflage. Berlin: Huss-Medien GmbH.
- 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. DOI: 10.1080/00071660600753870.
- Bartels, T.; Lütgeharm, J-H; Wähner, M.; Berk, J. (2017): UV reflection properties of plumage and skin of domesticated turkeys (*Meleagris gallopavo f. dom.*) as revealed by UV photography. In: *Poultry Science* 96 (12), S. 4134–4139. DOI: 10.3382/ps/pex256.
- Berk, J.; Hinz, T.; Wartemann, S. (2006): Tierverhalten, Tierleistungen und Tiergesundheit in einem Putenmaststall mit Außenklimabereich. In: *Landbauforschung Völknerode* (56), S. 159–171.
- Berk, J.; Stehle, E.; Bartels, T. (2015): Einfluss der Lichtqualität auf die Prävalenzen von Beschädigungspicken und Kannibalismus bei nicht schnabelgekürzten Puten. In: *Schlussbericht*.
- Bogner, Hermann; Grauvogl, Anton; Andreae, Ulrich (Hg.) (1984): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. 185 Abbildungen, 40 Tabellen. Stuttgart: Ulmer (Tierzuchtbücherei).
- Bright, A. (2007): Plumage colour and feather pecking in laying hens, a chicken perspective? In: *British Poultry Science* 48 (3), S. 253–263. DOI: 10.1080/00071660701370483.
- Burkhardt, D. (1982): Birds, berries and UV. A note on some consequences of UV vision in birds. In: *Naturwissenschaften* 69 (4), S. 153–157. DOI: 10.1007/BF00364887.
- Cebulla, Colleen M.; Zelinka, Chris P.; Scott, Melissa A.; Lubow, Martin; Bingham, Amanda; Rasiah, Stephen et al. (2012): A Chick Model of Retinal Detachment: Cone Rich and Novel. In: *PLoS one* 7 (9), e44257. DOI: 10.1371/journal.pone.0044257.
- Dalton, H. A.; Wood, B. J.; Torrey, S. (2013): Injurious pecking in domestic turkeys: development, causes, and potential solutions. In: *World's Poultry Science Journal* 69 (4), S. 865–876. DOI: 10.1017/S004393391300086X.
- DLG e.V. (2018): DLG-Merkblatt 438 Beleuchtung und Beleuchtungstechnik im Geflügelstall. Online verfügbar unter <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/technik/technik-tierhaltung/dlg-merkblatt-438>, zuletzt geprüft am 27.04.2023.
- Duggan, G.; Widowski, T.; Quinton, M.; Torrey, S. (2014): The development of injurious pecking in a commercial turkey facility. In: *Journal of Applied Poultry Research* 23 (2), S. 280–290. DOI: 10.3382/japr.2013-00860.
- Frings, Stephan; Müller, Frank (2019): Biologie der Sinne. Vom Molekül zur Wahrnehmung. 2. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Google (o.J.): Screenshot Google Maps, zuletzt geprüft am 23.05.2023.
- Graue, J. (2022): Lampen in Mastbetrieben, 2022. Telefonat an L. Reimers.
- Günther, R. (2013): Influence of Light Quality on Early Poult Mortality. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/ronald-guenther/publication/259366212\\_influence\\_of\\_light\\_quality\\_on\\_early\\_poult\\_mortality](https://www.researchgate.net/profile/ronald-guenther/publication/259366212_influence_of_light_quality_on_early_poult_mortality).
- Günther, R. (2022): Lichtmessungen Mastfarm, 2022. Telefonat an L. Reimers.

- IEEE Power Electronics Society; Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE-SA Standards Board; IEEE Xplore (Online service) (2015): IEEE recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Online verfügbar unter <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=7118616>.
- Jonas, J. B.; Schneider, U.; Naumann, G. O. (1992): Count and density of human retinal photoreceptors. In: *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie* 230 (6), S. 505–510. DOI: 10.1007/BF00181769.
- Kämmerling, D.; Döhring, S.; Uhlenkamp, A.; Andersson, R. (2018): Lighting of Poultry Houses to Meet the Needs of Bird Eyes. In: *Lohmann Information* 52 (1).
- 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*. DOI: 10.2376/0005-9366-16034.
- Kristensen, H. H. (2008): The effects of light intensity, gradual changes between light and dark and definition of darkness for the behaviour and welfare of broiler chickens, laying hens, pulltes and turkeys. In: *Scientific Report for the Norwegian Scientific Committee for Food Safety*. Online verfügbar unter <https://vkm.no/download/18.1b70ef9115d3ac37645b2b5/1500030302470/7643446bd0.pdf>.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2020): Leitfaden Geflügelhaltung.
- Lehman, Brad; Wilkins, Arnold; Berman, Sam; Poplawski, Michael; Johnson Miller, Naomi (2011): Proposing measures of flicker in the low frequencies for lighting applications. In: IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2011. 17 - 22 Sept. 2011, Hyatt Regency Phoenix & Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona. 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). Phoenix, AZ, USA, 9/17/2011 - 9/22/2011. Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Power Electronics Society; IEEE Industry Applications Society. Piscataway, NJ: IEEE, S. 2865–2872.
- Lewis, P. D.; Perry, G. C.; Sherwin, C. M.; Moirard, C. (2000): Effect of ultraviolet radiation on the performance of intact male turkeys. In: *Poultry Science* 79 (6), S. 850–855. DOI: 10.1093/ps/79.6.850.
- Lewis, Peter; Morris, Trevor (2006): Poultry lighting. The theory and practice. Andover: Northcot.
- Li, Diyan; Zhang, Long; Yang, Mingyao; Yin, Huadong; Xu, Huailiang; Trask, Jessica S. et al. (2014): The effect of monochromatic light-emitting diode light on reproductive traits of laying hens. In: *Journal of Applied Poultry Research* 23 (3), S. 367–375. DOI: 10.3382/japr.2013-00746.
- licht.de, Fördergemeinschaft Gutes Licht; Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (2013): Leitfaden zur DIN EN ISO 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. 2. korr. Aufl. Karlsruhe: Engelhardt und Bauer. Online verfügbar unter <https://opus.htwg-konstanz.de/frontdoor/index/index/docId/680>.
- Lisney, T. J.; Ekesten, B.; Tauson, R.; Håstad, O.; Odeen, A. (2012): Using electroretinograms to assess flicker fusion frequency in domestic hens *Gallus gallus domesticus*. In: *Vision research* 62, S. 125–133. DOI: 10.1016/j.visres.2012.04.002.
- Lisney, Thomas J.; Rubene, Diana; Rózsa, Jani; Løvlie, Hanne; Håstad, Olle; Ödeen, Anders (2011): Behavioural assessment of flicker fusion frequency in chicken *Gallus gallus domesticus*. In: *Vision research* 51 (12), S. 1324–1332. DOI: 10.1016/j.visres.2011.04.009.

- Mailyan, E.; van Schie, T.; Heijmans, M.; Nixey, C.; Buddiger, N.; Günther, R. et al. (2019): Putensignale. Praxisleitfaden für die Putenhaltung. Zutphen: Roodbont Publishers Agricultural Publishers (Poultry signals).
- Meyer, Meaghan M.; Johnson, Anna K.; Bobeck, Elizabeth A. (2021): Laser Enrichment Device Stimulates Broiler Laser-Following Behavior While Increasing Individual Bird Locomotion and Pen-Wide Movement. In: *Front. Anim. Sci.* 2, Artikel 784408. DOI: 10.3389/fanim.2021.784408.
- MLUK Brandenburg (2022): Tierschutzplan. Hg. v. MLUK Brandenburg. Online verfügbar unter <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/landwirtschaft/tierzucht-und-tierhaltung/tierschutzplan/>.
- Mohammed, H.; Ibrahim, M.; Saleem, Al-Sadik (2016): Effect of different light intensities on performance, welfare and behavior of turkey poult. In: *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research* 3 (1), S. 18–23.
- Moinard, C.; Sherwin, C.M (1999): Turkeys prefer fluorescent light with supplementary ultraviolet radiation. In: *Applied Animal Behaviour Science* 64 (4), S. 261–267. DOI: 10.1016/S0168-1591(99)00043-X.
- Moorgut Kartzfehn (Hg.) (2021): Informationen zur Putenmast.
- Mulder, B. J.; van Heusden, S. (1983): Mechanism of Glass Darkening by a Low Pressure Mercury Discharge. In: *J. Electrochem. Soc.* 130 (2), S. 440–449. DOI: 10.1149/1.2119728.
- Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2018): Anforderungen an Kunstlicht in Geflügel haltenden Betrieben.
- Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2018a): Empfehlungen zur Verhinderung von Federpicken und Kannibalismus bei Jung- und Legehennen.
- Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2018b): Empfehlungen zur Vermeidung des Auftretens von Federpicken und Kannibalismus bei Puten.
- Osram (o.J.): Leuchtstofflampen T8 | OSRAM DS. Online verfügbar unter [https://www.osram.de/ecat/Leuchtstofflampen%20T8-Leuchtstofflampen-Lampen-OSRAM%20Produkte/at/de/GPS01\\_3122380/](https://www.osram.de/ecat/Leuchtstofflampen%20T8-Leuchtstofflampen-Lampen-OSRAM%20Produkte/at/de/GPS01_3122380/), zuletzt aktualisiert am 05.06.2023, zuletzt geprüft am 05.06.2023.
- Prescott, N. B.; Wathes, C. M. (1999): Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*). In: *British Poultry Science* 40 (3), S. 332–339. DOI: 10.1080/00071669987412.
- Prescott, N. B.; Wathes, C. M.; Jarvis, J. R. (2003): Light, vision and the welfare of poultry. In: *Animal welfare (South Mimms, England)* 12 (2), S. 269–288. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/233637942\\_Light\\_vision\\_and\\_the\\_welfare\\_of\\_poultry](https://www.researchgate.net/publication/233637942_Light_vision_and_the_welfare_of_poultry).
- Reimers, L.; Redantz, A.; Andersson, R. (2022): Licht ins Dunkel bringen. In: *DGS-Magazin* (3), S. 18–20.
- Ris, Hans Rudolf (2008): Beleuchtungstechnik für Praktiker. Grundlagen - Lampen - Leuchten - Planung - Messung. 4. Aufl. Berlin, Offenbach, Aarau: VDE-Verl.; AZ-Verl.
- Salomon, Franz-Viktor; Achilles, Winnie (Hg.) (2008): Anatomie für die Tiermedizin. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Enke. Online verfügbar unter <https://swbplus.bsz-bw.de/bsz283259892idx.htm>.
- Santos Abreu, A. (2012): Einfluss von Metalloxidschutzschichten auf die Quecksilberaufzehrung in Leuchtstofflampen. Messung und Modellierung. Zugl.: Augsburg, Univ., Diss., 2012. Berlin:

- Mensch & Buch Verl. Online verfügbar unter <http://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/2121>.
- Spindler, B. (2007): Pathologisch-anatomische und histologische Untersuchungen an Gelenken und Fußballen bei Puten der Linie B.U.T Big 6 bei der Haltung mit und ohne Außenklimabereich. In: *Dissertation*.
- Spindler, Birgit; Weseloh, Tammo; Eßer, Christina; Freytag, Sarah Katharina; Klumbeck, Lea; Kemper, Nicole; Andersson, Robby (2020): The Effects of UV-A Light Provided in Addition to Standard Lighting on Plumage Condition in Laying Hens. In: *Animals : an open access journal from MDPI* 10 (6). DOI: 10.3390/ani10061106.
- Sprafke, Helena; Palme, Rupert; Schmidt, Paul; Erhard, Michael; Bergmann, Shana (2018): Effect of Two Transport Options on the Welfare of Two Genetic Lines of Organic Free Range Pullets in Switzerland. In: *Animals : an open access journal from MDPI* 8 (10). DOI: 10.3390/ani8100183.
- Thoran, D. (2022): Lampen auf Mastbetrieben, 2022. Telefonat an L. Reimers.
- TierSchG (2021): Tierschutzgesetz. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/>, zuletzt geprüft am 24.06.2022.
- TierSchNutzV (2021): Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschnutzv/>, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- Tuchinda, Chanisada; Srivannaboon, Sabong; Lim, Henry W. (2006): Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses. In: *Journal of the American Academy of Dermatology* 54 (5), S. 845–854. DOI: 10.1016/j.jaad.2005.11.1082.
- Verband Deutscher Putenerzeuger e.V. (2013): Bundeseinheitliche Eckwerte für eine freiwillige Vereinbarung zur Haltung von Mastputen.
- Verordnung (EU) 2019/2020 der Kommission: zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 244/2009, (EG) Nr. 245/2009 und (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission.
- Yang, Yang; Cong, Wei; Liu, Jie; Zhao, Mindie; Xu, Peirong; Han, Wanwan et al. (2022): Constant light in early life induces fear-related behavior in chickens with suppressed melatonin secretion and disrupted hippocampal expression of clock- and BDNF-associated genes. In: *Journal of animal science and biotechnology* 13 (1), S. 67. DOI: 10.1186/s40104-022-00720-4.
- Zentralverband der Deutschen Geflügelwirtschaft e.V. (2023): Schwerpunkt: Tiergesundheit. Stuttgart: Ulmer.

**Ministerium für Landwirtschaft,  
Umwelt und Klimaschutz  
des Landes Brandenburg**

Referat Öffentlichkeitsarbeit,  
Internationale Kooperation

Henning-von-Tresckow-Straße 2 - 13, Haus S  
14467 Potsdam

Telefon: 0331 866-7237  
E-Mail: [bestellung@mluk.brandenburg.de](mailto:bestellung@mluk.brandenburg.de)



[mluk.brandenburg.de](http://mluk.brandenburg.de)  
[agrar-umwelt.brandenburg.de](http://agrar-umwelt.brandenburg.de)  
[vimeo.com/mlukbrandenburg](https://vimeo.com/mlukbrandenburg)  
[twitter.com/MLUKBrandenburg](https://twitter.com/MLUKBrandenburg)