

Wie sehen Legehennen? – Möglichkeiten und Grenzen der Lichtsteuerung

27.02.2018 Universität Hohenheim

Dipl. Ing. D. Kämmerling, Dr. med. vet. S. Döhring, M.Sc. A. Uhlenkamp, Prof. Dr. R. Andersson,
Hochschule Osnabrück, StanGe

Einleitung

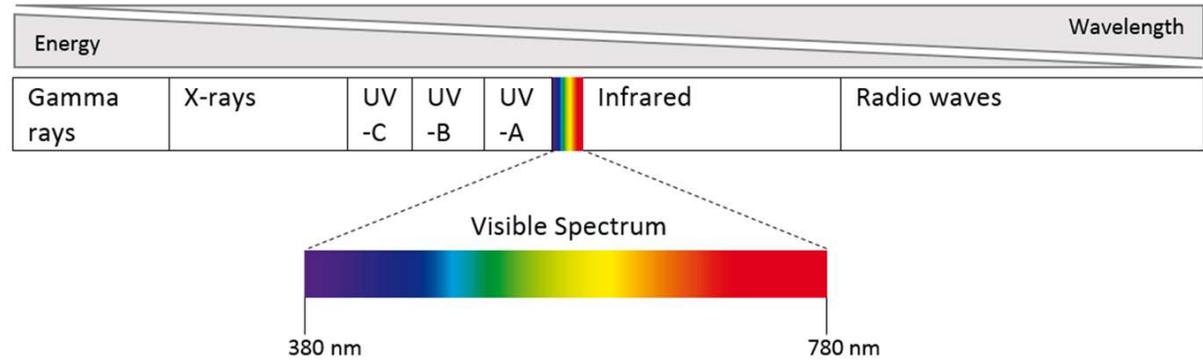
- Beleuchtung → Bedarf/ Bedürfnisse den Tieren entsprechend
(TierSchG 2014)
 - künstliches Licht → flackerfrei
(§ 4. Abs. 1(9) TierSchNutzV 2014)
 - z.B. Altgebäude Legehennen ohne 3 % Fensterfläche
künstliche Beleuchtung → natürlichem Licht entsprechend
 - Broiler, Puten, Junghennen...
„...durch eine dem **natürlichen Licht** so weit wie möglich
entsprechende künstliche Beleuchtung...“
(§ 13(3) TierSchNutzV 2014)
- ➔ Was ist „natürliches Licht“ in der Natur ?
- ➔ Welche Anforderungen hat Geflügel an die künstliche Beleuchtung ?

Einleitung

Licht hat drei Effekte auf den Vogel (LEWIS und MORRIS 2000)

Auge	Zirbeldrüse & Retina	Hypothalamus
Wahrnehmung (Sehen) → Stäbchen = S/W → Zapfen = Farbe	Tag/Nacht Rhythmus Tagesabhängiges Verhalten	Sexualhormone (Reife)

Was ist Licht ?



- elektromagnetisches Spektrum
→ Licht ist eine Form von Energie
- Merkmale von Licht bei Leuchtmitteln
 - Lichtspektrum (Wellenlängen in W/m^2 pro nm)
 - Lichtfarbe (Kelvin)
 - Frequenz (Hz)
 - Lichtintensität (Lumen, Candela, Lux)



- + Licht
- + Anatomie
- + Physiologie
- + Verarbeitung

= Wahrnehmung

Wahrnehmung unterscheidet sich zw. Mensch und Vogel

Mensch

- Zapfentypen: 3

→ **3 dimensionale** Farbenfindung

- Zapfen der Netzhaut nehmen Licht der Wellenlängen von **400 nm–750 nm** wahr (AUGUSTIN 2007)



Geflügel

- Zapfentypen: 5

→ **4 - 5 dimensionale** Farbenfindung

- Zapfen der Netzhaut nehmen Licht der Wellenlängen von **~ 320 nm– 780 nm** wahr

z.B. Angaben für Wellenlängen UV-A :

- ab 380 nm (SAUNDERS et. al. 2008)
- ~ 380 nm (PRESCOTT und WATHES 1999)
- ab 350 nm (LEWIS und MORRIS 2006)
- Enten: Ab 326 nm (BARBER et al. 2006)



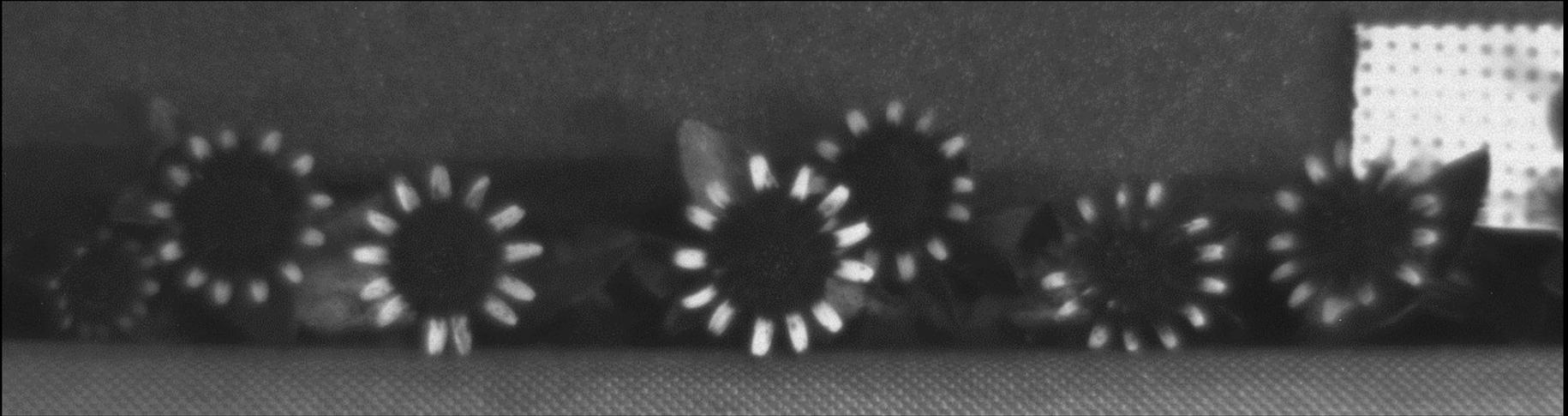
Flimmerfusionsfrequenz:

zw. 20 und 60 Hz

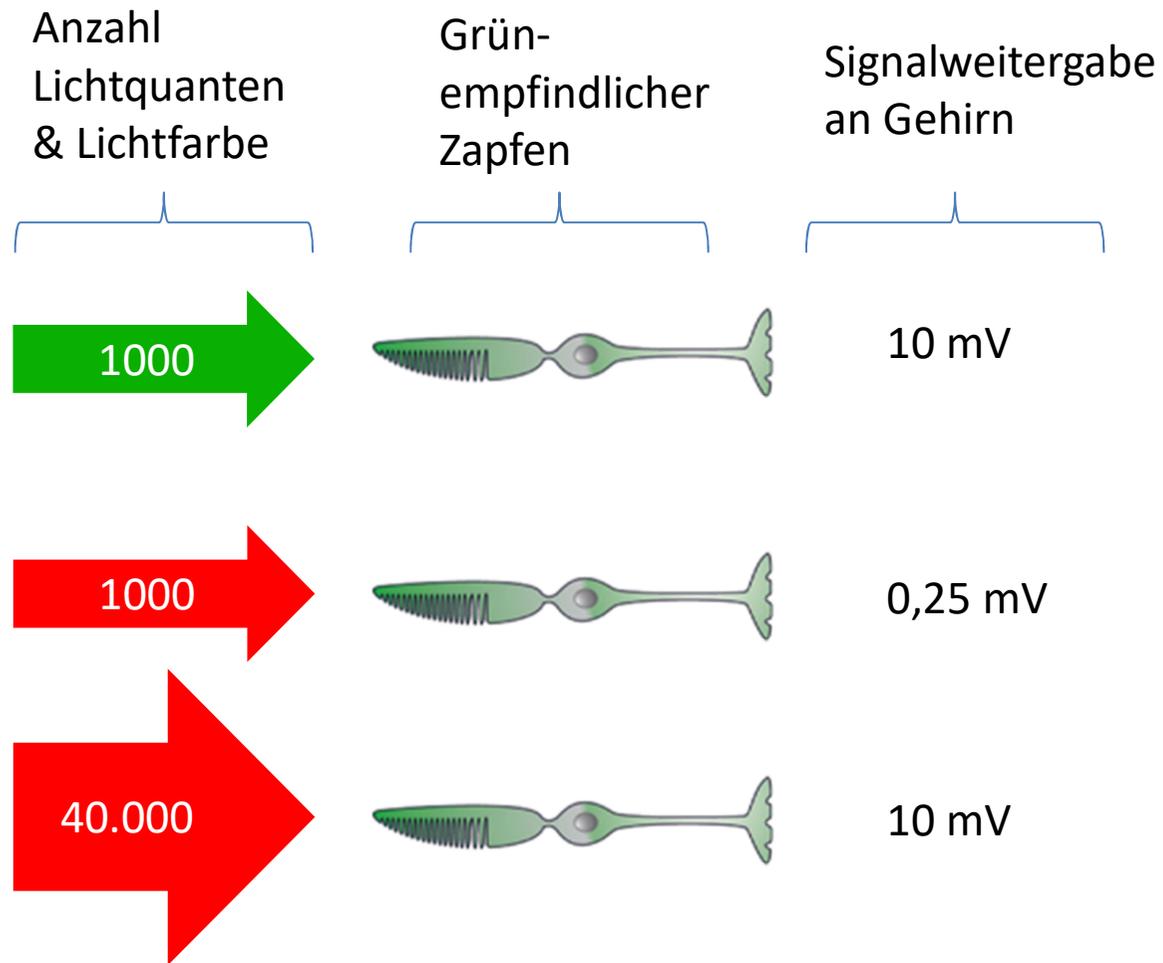
Flimmerfusionsfrequenz:

~ 160 Hz

UV-A Perzeption verändert die Wahrnehmung



Einzelne Zapfen sind Farbenblind



verändert nach FRINGS und MÜLLER 2014

Verteilung der Zapfen sehr unterschiedlich zwischen Arten

Zapfenart	Anteil Zapfen (%)		
	Mensch ¹⁾	Huhn ²⁾	Sperling ³⁾
UVS/VS	0	8,5	5-10
Blau	4	12,6	5-10
Grün	32	21,1	15-20
Rot	64	17,1	15-20
Doppelzapfen	0	40,7	40-50

¹⁾ Hußmann (2007)
²⁾ Kram et al. (2010)
³⁾ Bowmaker et al. (2008)

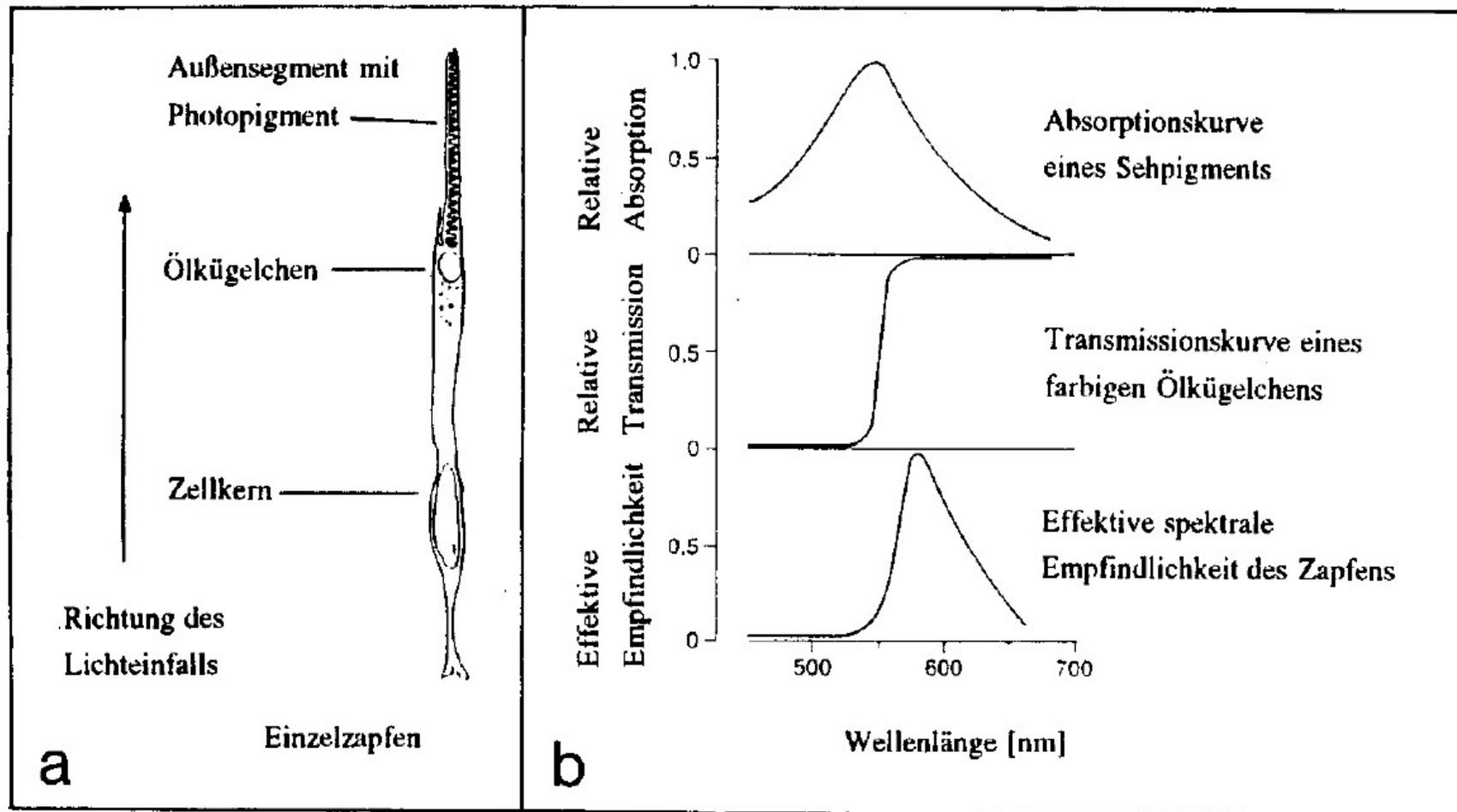


Abb. 1 a: Schema eines Einzelzapfens aus einer Vogelretina. — Schematical drawing of a bird's single cone (*Gallus gallus domesticus*; nach WALDVOGEL 1990). b: Beispiel, wie die Anwesenheit eines gefärbten Ölkügelchens die effektive Empfindlichkeit eines Zapfens im Vergleich zur Absorptionseigenschaft seines Photopigments ändern kann (nach MCFARLAND 1989). — Example showing how the presence of a colored oil droplet may change the effective spectral sensitivity of a cone as compared to the absorption characteristics of the photopigment.

MAIER (1994)

Tag- bzw. Nachtsehen

		Mensch		Huhn	
		Mill.	%	Mill.	%
Stäbchen	Nacht-sehen Schwarz / Weiß	120	95	1,3	15
Zapfen	Tag-sehen Farbsehen	6	5	7,5	85

(CEBULLA et al. 2012)

Rezeptorempfindlichkeit in Abhängigkeit der Leuchtdichte (cd/m²)

	Mensch	Huhn
Stäbchen (Skotopisch)	< 0,032	0,2 - 0,8 (0,5 Lux)
Stäbchen & Zapfen (Mesopisch)	0,032 - 32	1,9 - 6 (ca. 2 Lux)
Zapfen (Photopisch)	> 32 (ca. 20 Lux)	> 14 (8 Lux)

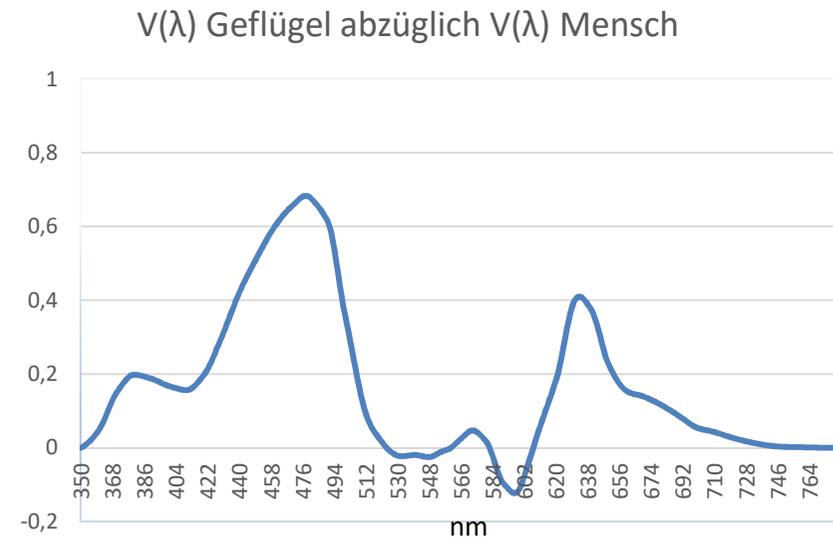
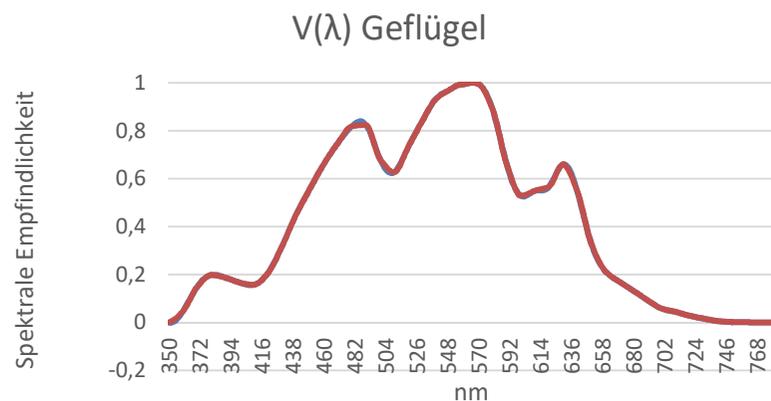
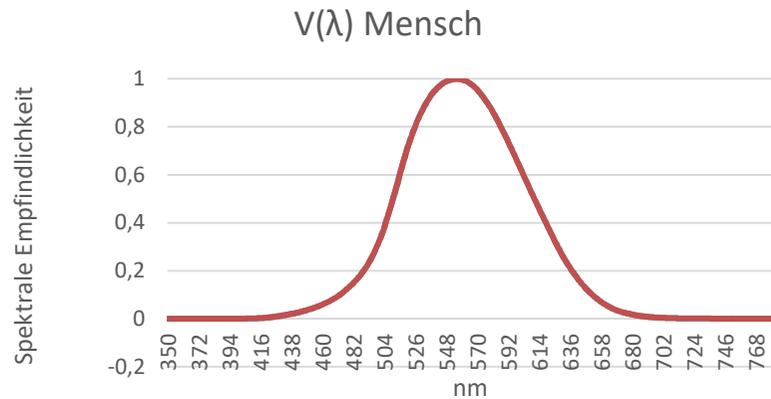
(AUGUSTIN 2001)

(LISNEY 2011)

Flackern

Autor	CFF	cd/m ²	Art	Methode
Nuboer et al. 1992	105	?	Gallus gallus	Verhaltenstest
Jarvis et al. 2002	71,5	-	Gallus gallus	Verhaltenstest
Railton et al. 2009	95,4 Hz	3000 mcd/m ²	Gallus gallus	Verhaltenstest
Lisney et al. 2011	90- 100 Hz	1375 cd/m ²	Gallus gallus	Verhaltenstest
Lisney et al. 2012	119 Hz	2740 cd/m ²	Gallus gallus	Elektroretinogramm
Boström et al. 2016	146 Hz	-	Trauerschnäpper (Sperlingsvogel)	Verhaltenstest
Dodt, Wirth 1953	143 Hz	-	Taube	Elektroretinogramm

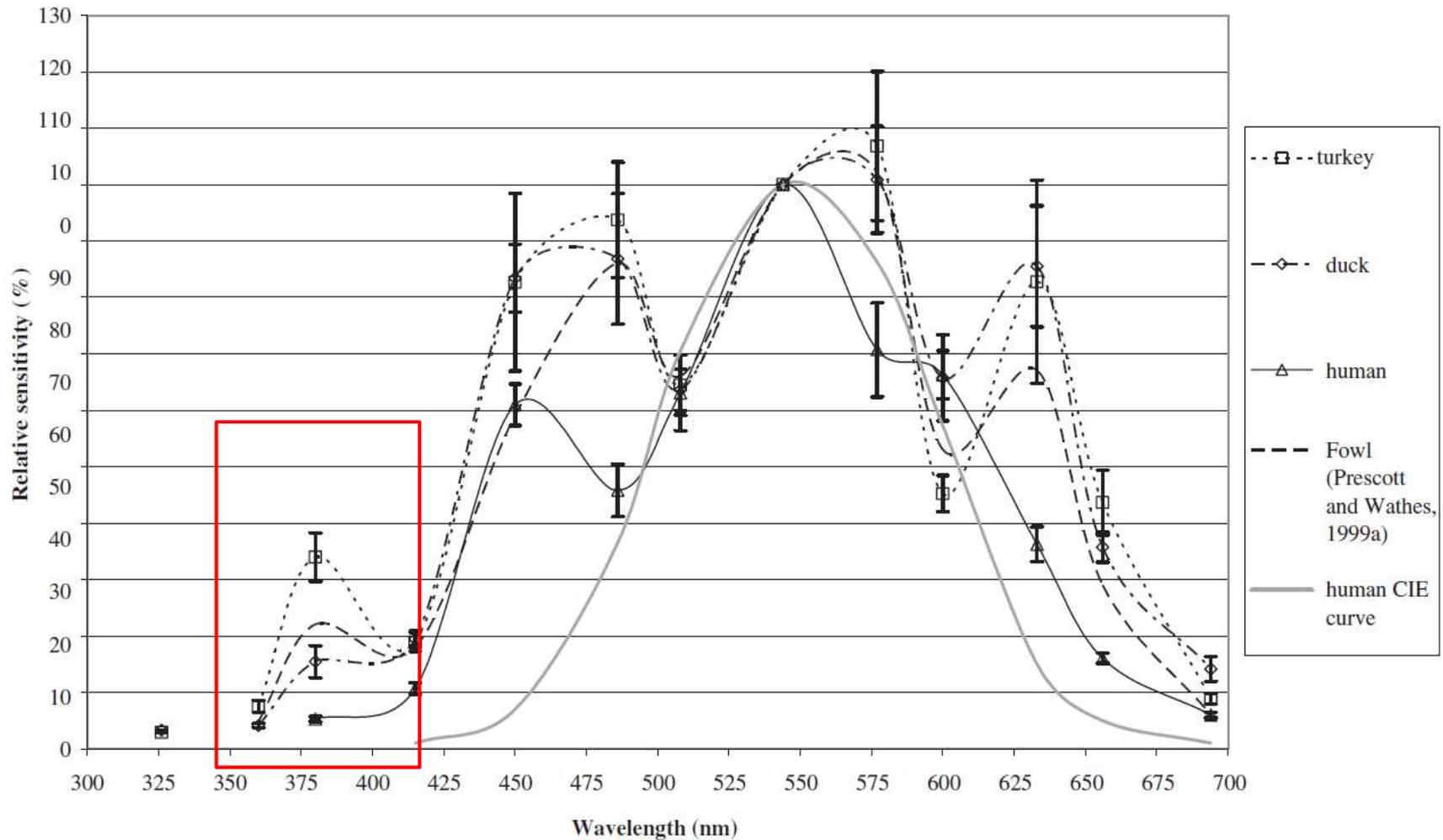
Unterschiede in der Wahrnehmung der spektralen Hellempfindlichkeit zw. Geflügel und Mensch



Negativ Werte = Mensch nimmt Wellenlängen prozentual besser wahr

Positiv Werte = Vogel nimmt Wellenlängen prozentual besser wahr

Vergleich der spektralen Empfindlichkeit Pute, Ente, Huhn und Mensch



(BARBER et al.2006)

Tageslicht bei Leuchtmittel

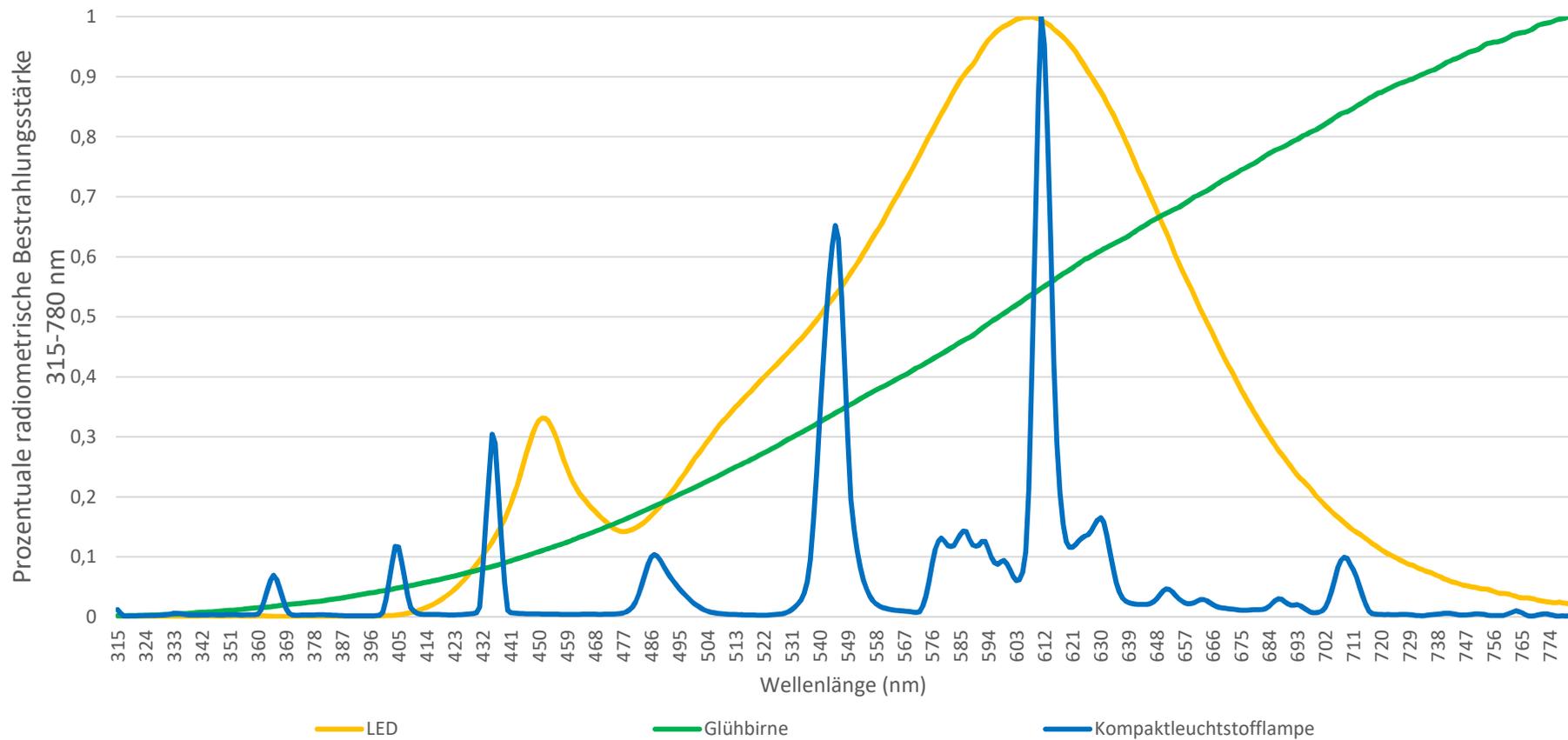
Merkmale:

- Lichtspektrum (Wellenlängen in W/m^2 pro nm)
- Lichtfarbe (Kelvin)
- Frequenz (Hz)
- Lichtintensität (Lumen, Candela, Lux)

→ Leuchtmittel sind auf das Sehvermögen des Menschen ausgerichtet

Lichtspektrum

Wellenlänge bzw. Spektrum am Beispiel verschiedener Leuchtmittel



Entspricht Spektrum „natürlichem Licht“ ?

Tageslichtmessungen

Vier Standorte

- unter freiem Himmel (A)
- am Waldrand (B)
- im Gebüsch (C)
- im Wald (D)

Monate: 12 Monate

Tage: 2 Tage/ Monat

Uhrzeiten: 6-8-10-12-14-16-18-20-22 Uhr

Lichtmessung

kalibriertes Spektrometer 300-1000 nm

Messung: 90 ° Lotrecht

Streuscheibe: +/- 85 Grad

S-X4 Light analyser, Fa. Gigahertz-Optik

Messpunkt A



Messpunkt B



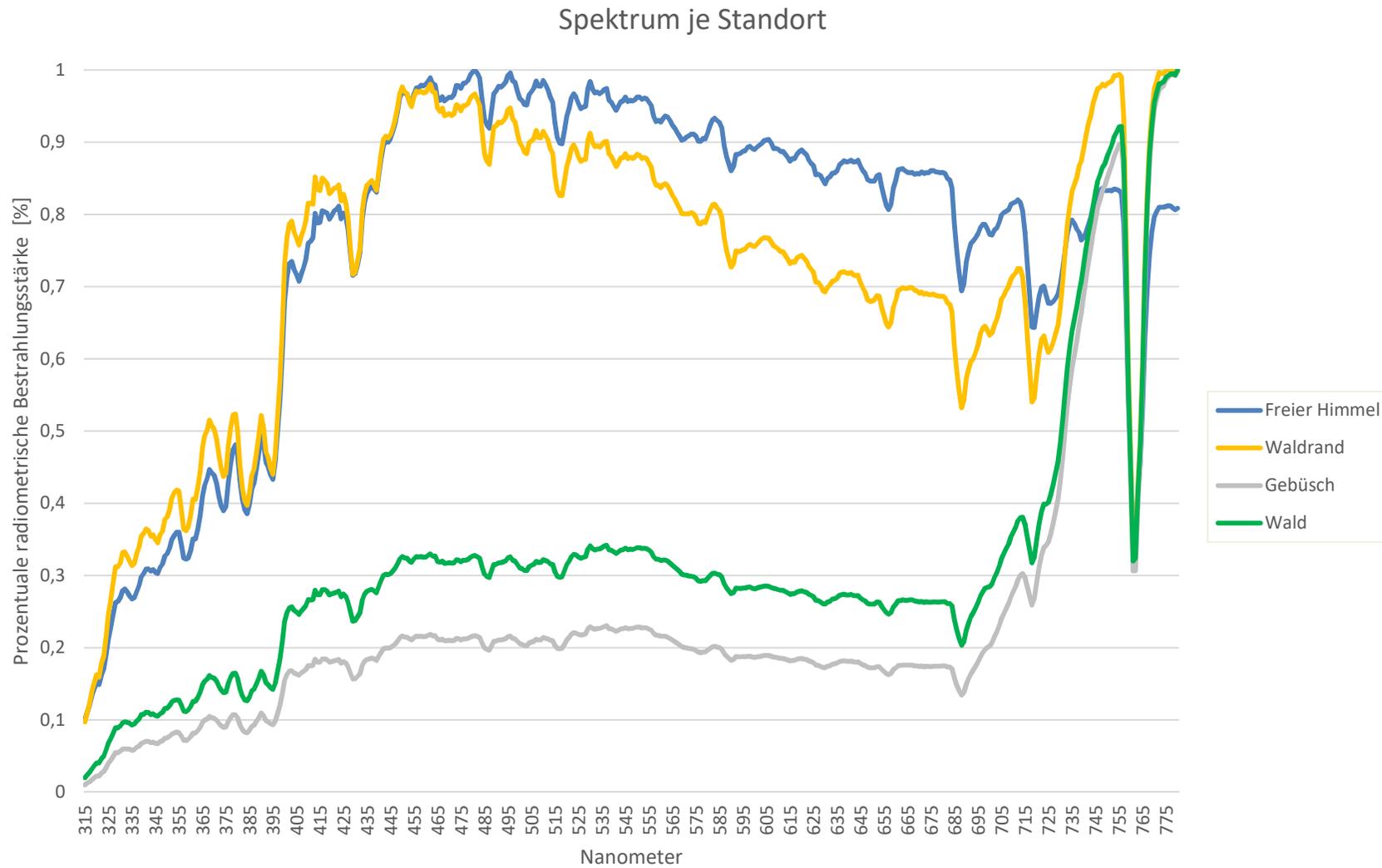
Messpunkt C



Messpunkt D



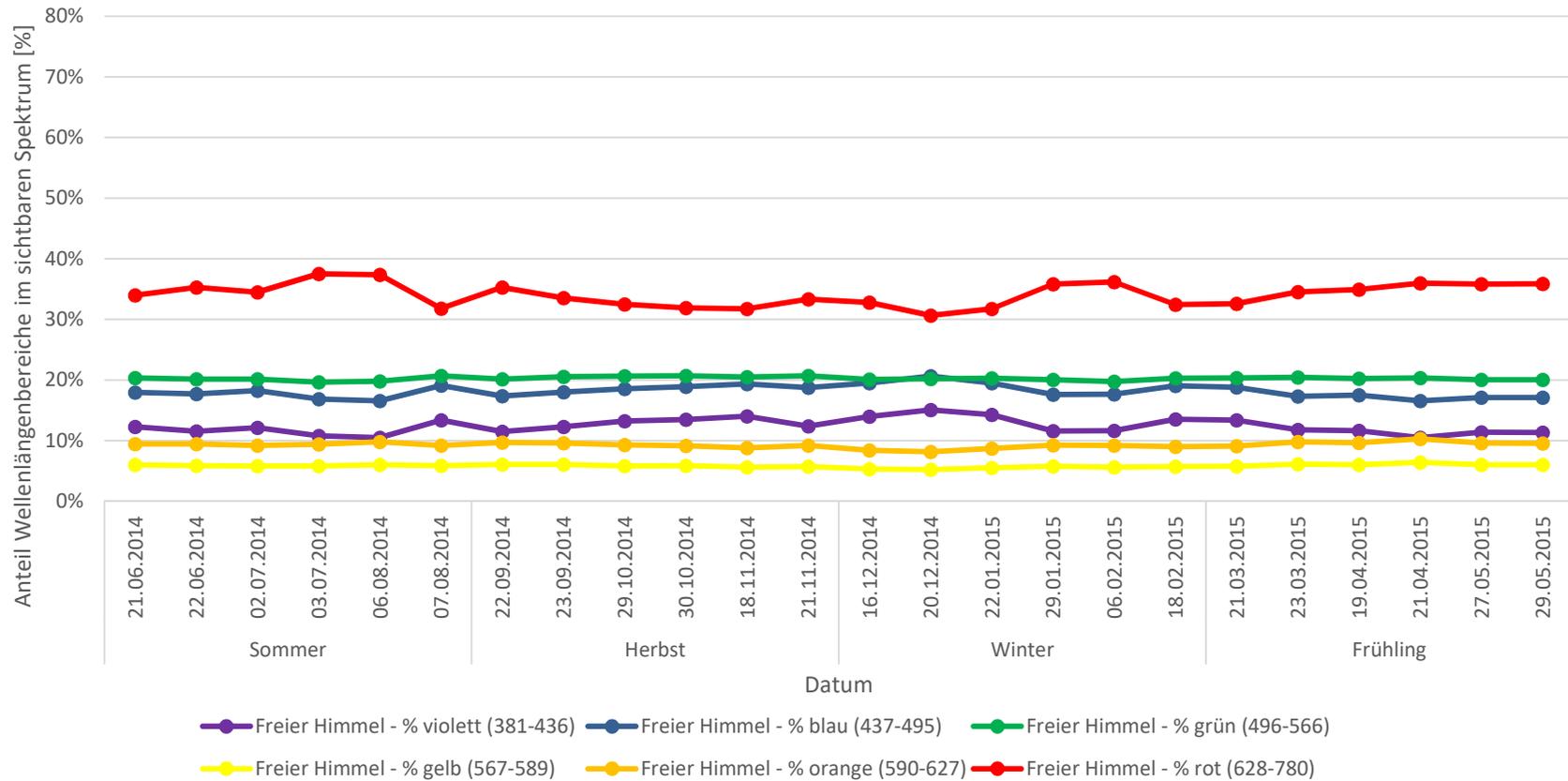
Unterschiede im Spektrum je Standort



Freier Himmel

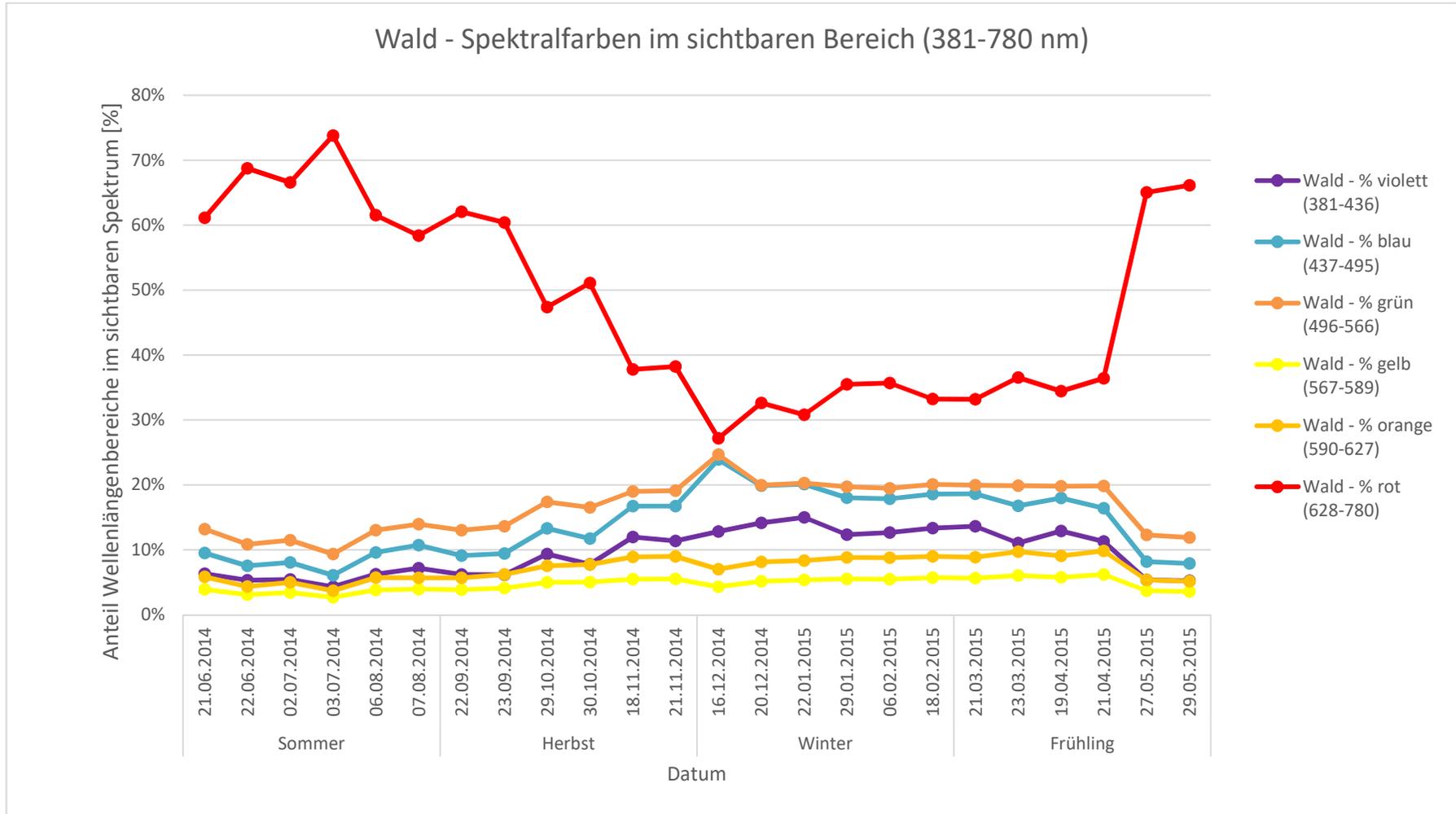
	\bar{x}	min	max
% violett (381-436 nm)	12,40%	10,51%	15,09%
% blau (437-495 nm)	18,15%	16,54%	20,65%
% grün (496-566 nm)	20,25%	19,67%	20,70%
% gelb (567-589 nm)	5,83%	5,23%	6,40%
% orange (590-627 nm)	9,29%	8,16%	10,27%
% rot (628-780 nm)	34,07%	30,66%	37,52%

Messpunkt Freier Himmel. Spektralfarben im sichtbaren Bereich (381-780 nm)



Wald

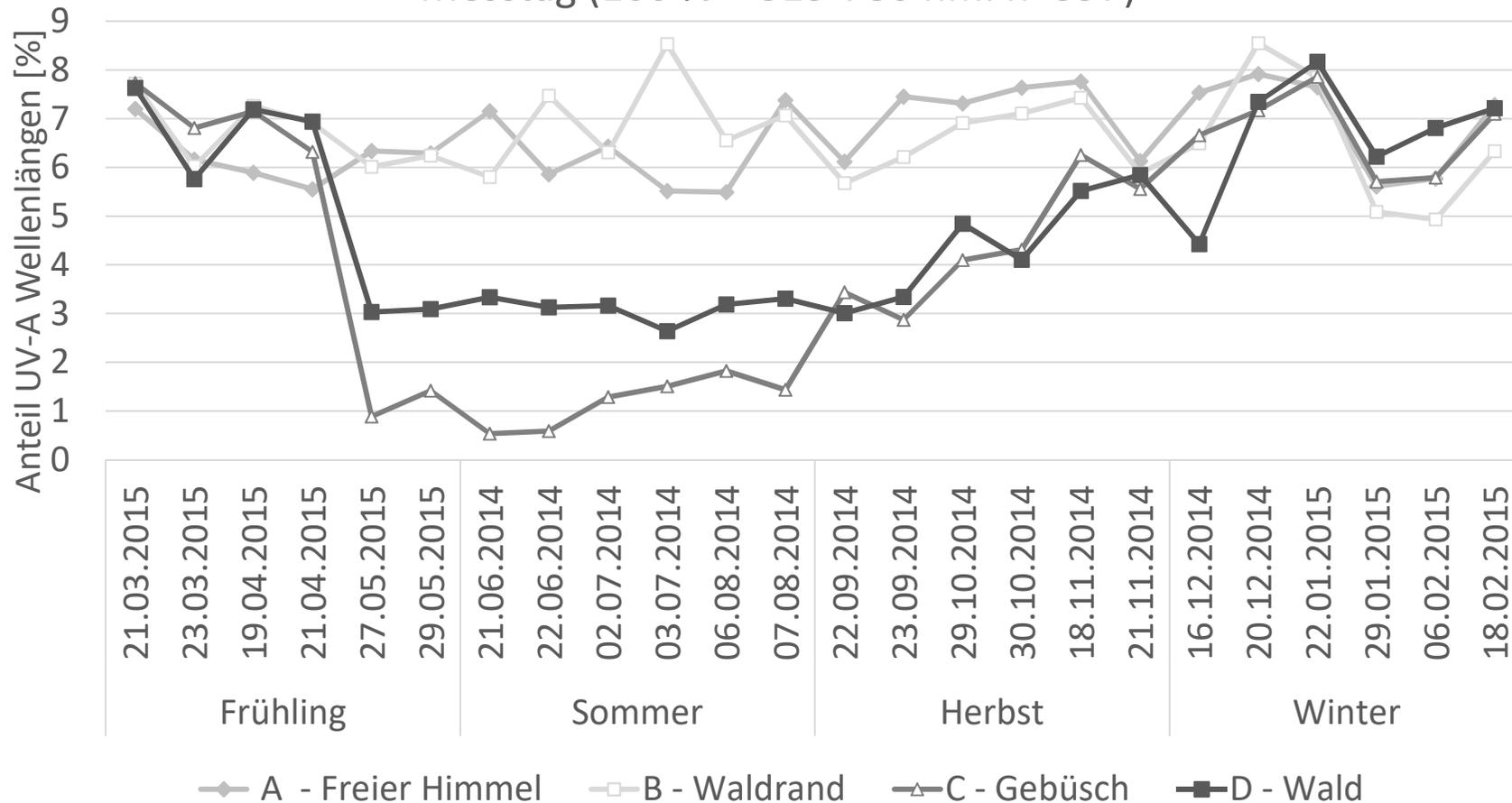
	\bar{x}	min	max
% violett (381-436 nm)	9,49%	4,31%	15,01%
% blau (437-495 nm)	13,88%	6,10%	23,92%
% grün (496-566 nm)	16,61%	9,36%	24,69%
% gelb (567-589 nm)	4,70%	2,71%	6,23%
% orange (590-627 nm)	7,24%	3,73%	9,83%
% rot (628-780 nm)	48,09%	27,20%	73,80%



UV-A Anteil (315-380 nm) in Abhängigkeit von Ort und Messtag

	\bar{x}	min	max
Freier Himmel	6,6	5,5	7,9
Waldrand	6,7	4,9	8,5
Gebüsch	4,3	0,5	7,9
Wald	5,0	2,6	8,2

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

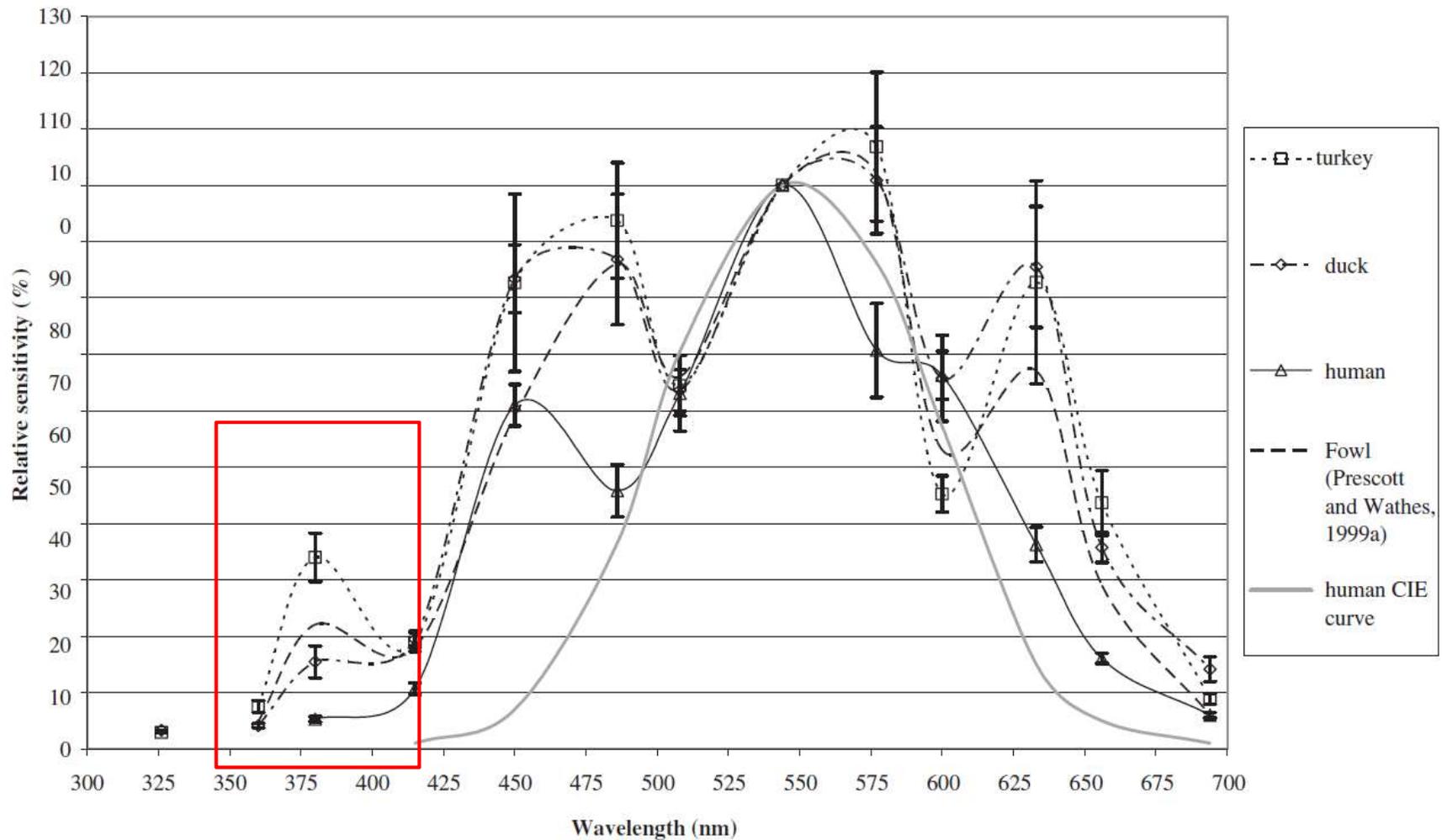


Definition von Tageslicht bzw. „natürliches Licht bei Geflügel“

- Allg. Definition von „nat. Licht“ nicht möglich
- Definition von „Licht“ nach Standort sehr gut möglich
- Übertragbarkeit der Werte abhängig vom natürlichen Habitat

Tierart	Nat. Habitat	UV-A Anteil
Huhn	<ul style="list-style-type: none"> • Habitat: Dschungel subtropische Wälder Südostasiens → Messort Wald / Gebüsch ? • Jahreszeit → Sommer 	Ca. 2 %
Pute	<ul style="list-style-type: none"> • Habitat: Mischwald + Steppen südmexikanische Steppen, Waldränder und lichte Wälder → Messorte: Wald, Waldrand, Freier Himmel • Jahreszeit → Ganzes Jahr 	Ca. 5 %

Vergleich der spektralen Empfindlichkeit Pute, Ente, Huhn und Mensch



(BARBER et al.2006)

Lichtfarbe (Kelvin)

→ Wahrnehmung von Farben ist abhängig von der anatomischen Ausstattung

→ Bei Menschen: Einteilung der Lichtfarben (CIE 15:2004)



Lichtquelle

Farbtemperatur in Kelvin

warmweiß

unter 3300 K

neutralweiß

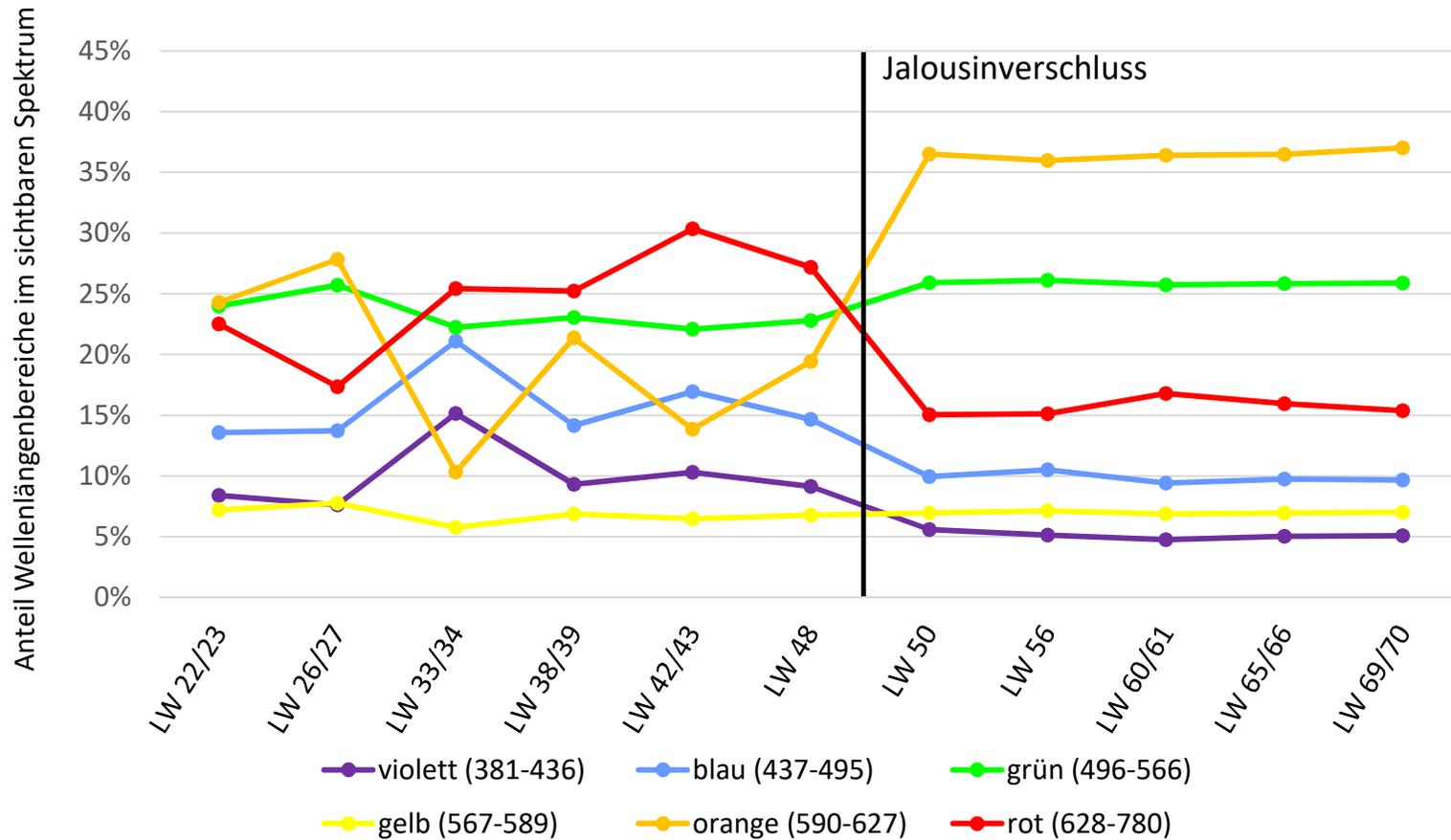
3300 – 5000 K

tageslichtweiß (auch kaltweiß)

über 5000 K → Für Geflügel nicht übertragbar

Interaktion zw. Leuchtmittel und Sonnenlicht

Anteil der Wellenlängenbereiche im sichtbaren Spektrum (100% = 381-780 nm)
Mittelwerte je Messtermin (n=5/Tag); Gruppe 2 – Fenster Außengang



Frequenz (Hz)

Mindestens 160 Hz

- bei Leuchtstofflampen
→ elektronisches Vorschaltgerät (EVG)

- bei LED Technik

Methode d. elektronischen Steuerung und Dimmung

→ Probleme Frequenz ?

z.B. bei Pulsweitenmodulation (pwm)

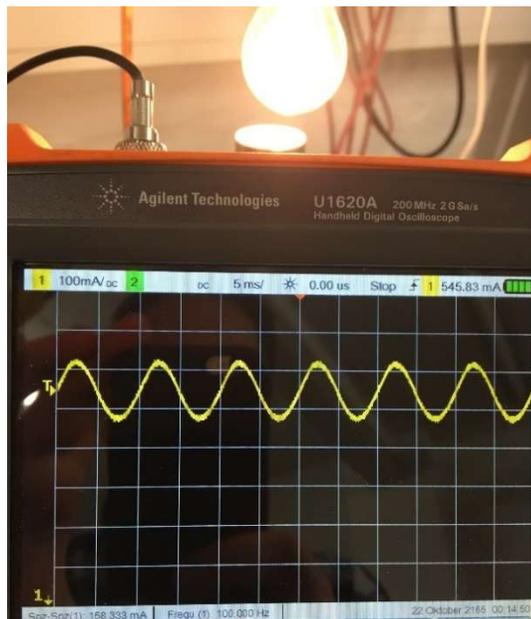
20 - 60 Hz Mensch zu 160 Hz Geflügel (~ Faktor 3)

- Mensch → 1000 Hz

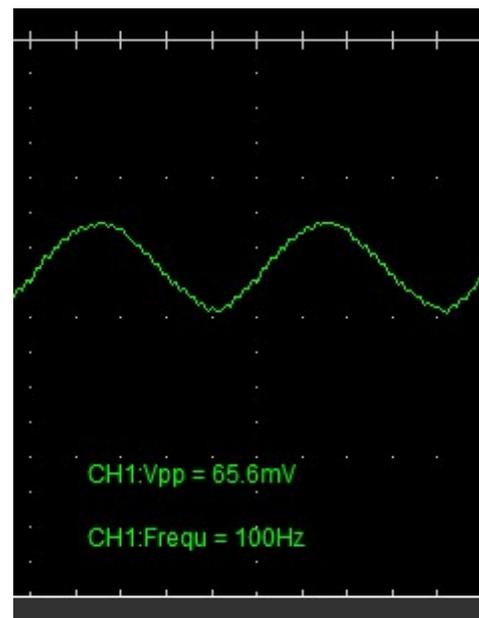
- Geflügel → ?

Frequenz (Hz)

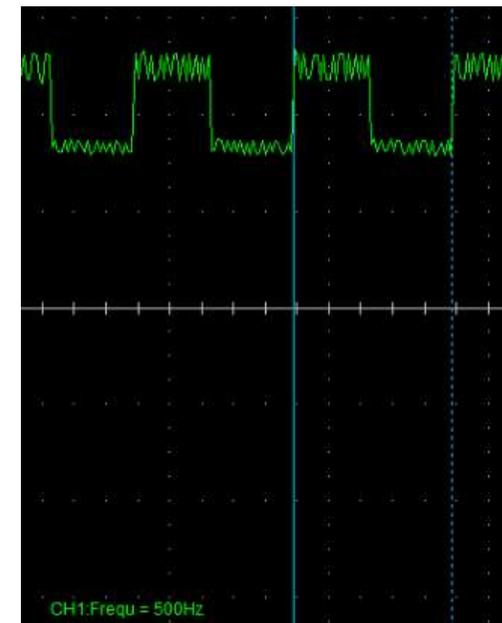
Glühbirne 40 W
Gemessene
Frequenz: 100 Hz



LED
Gemessene
Frequenz: 100 Hz



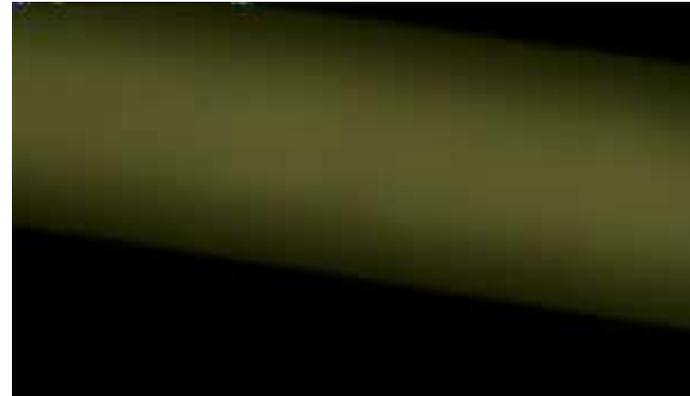
LED
Gemessene
Frequenz: 500 Hz



Glühbirne



LED-Röhre



14.06.2017 10:58:55 0024,2[ms]
000000147 EoSens mini1 [00-11-1c-
f1-71-65] Mikrotron 304x172 5000fps 194µs
V1.4.7

Philips-Master-LED



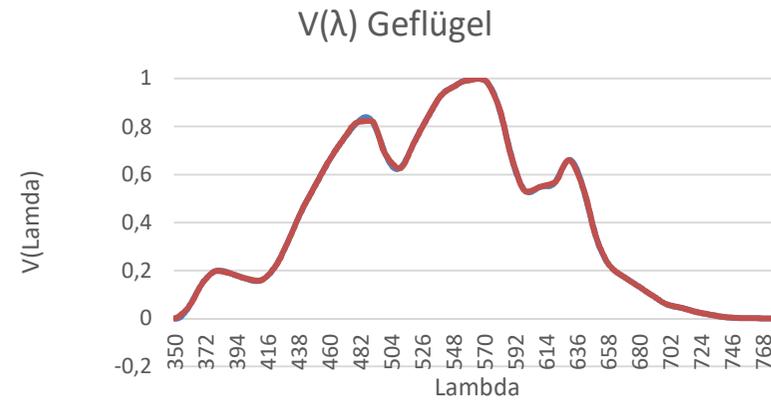
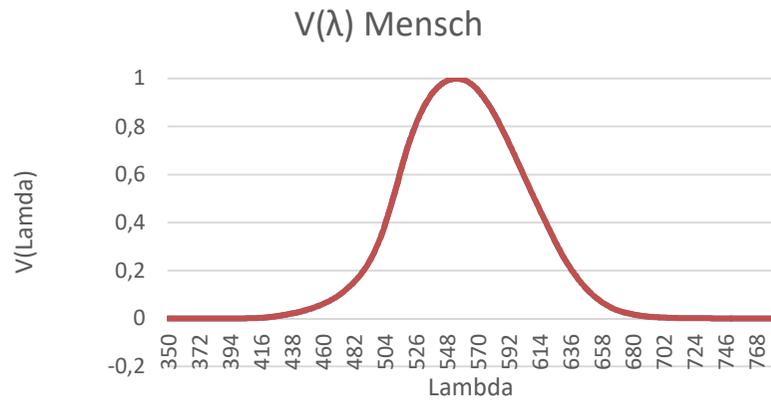
14.06.2017 11:02:09 0032,6[ms]
000000189 EoSens mini1 [00-11-1c-
f1-71-65] Mikrotron 304x172 5000fps 194µs
V1.4.7

Color LED



14.06.2017 10:55:19 0050,6[ms]
000000279 EoSens mini1 [00-11-1c-
f1-71-65] Mikrotron 304x172 5000fps 194µs
V1.4.7

Lichtintensität - Was bewerten wir mit LUX ?



$$L = K_m \int_{380nm}^{780nm} L(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda$$

K_m = „Wieviel Lumen ist ein Watt“ = $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$

Lichtintensität - Wie erheben wir LUX?

Artikel 14, EMPFEHLUNG IN BEZUG AUF HAUSHÜHNER DER ART GALLUS GALLUS,
28. November 1995

→ gemessen in drei Ebenen, jeweils im rechten Winkel zueinander

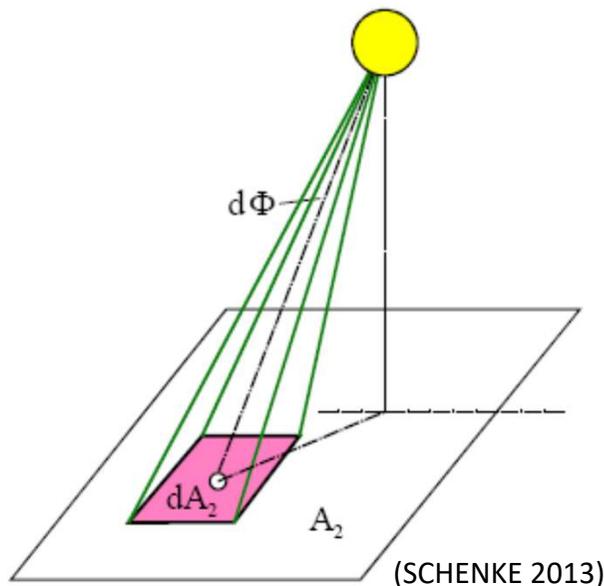
- **3 Punkt**
- **6 Punkt**
- **1 Punkt → DIN EN 5035-6**

Lichtintensität

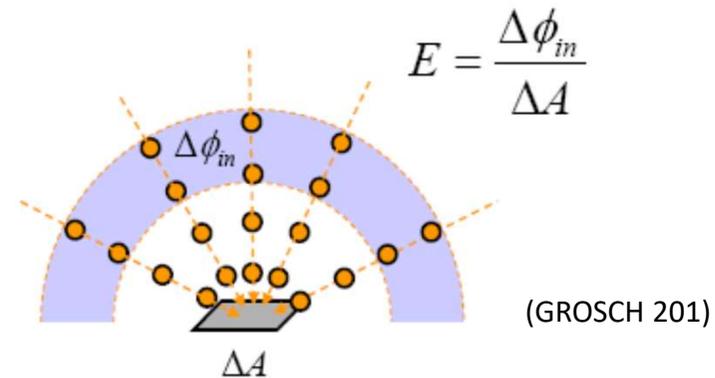
in der Praxis als Beleuchtungsstärke mit Einheit LUX

- Def.: Beleuchtungsstärke $E =$
Ankommender Lichtstrom ϕ pro Empfängerfläche ΔA

Der Lichtstrom kommt dabei aus allen Richtungen



Beleuchtungsstärkedefinition



Die Einheit der
Beleuchtungsstärke ist das
Lux (lx)

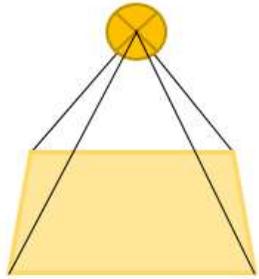
$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$$

Wieviele Photonen kommen (pro Zeit) auf der Fläche an ?

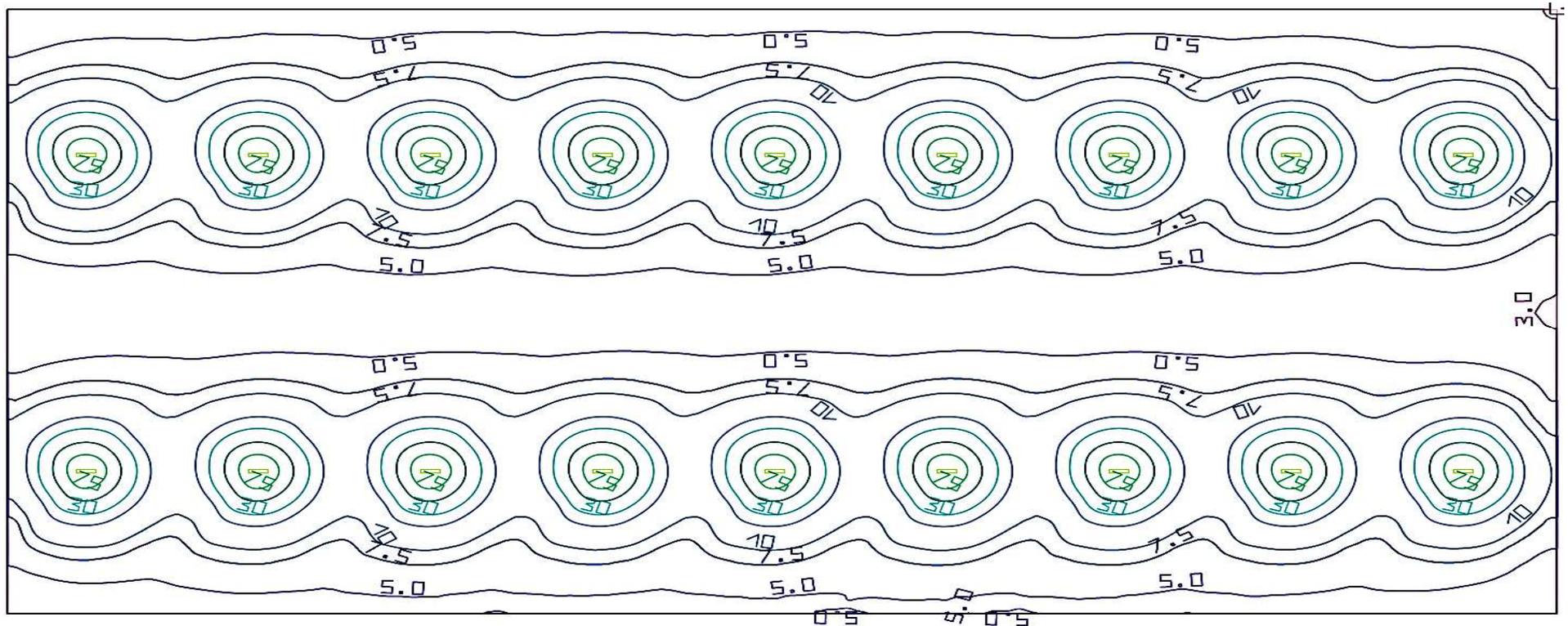
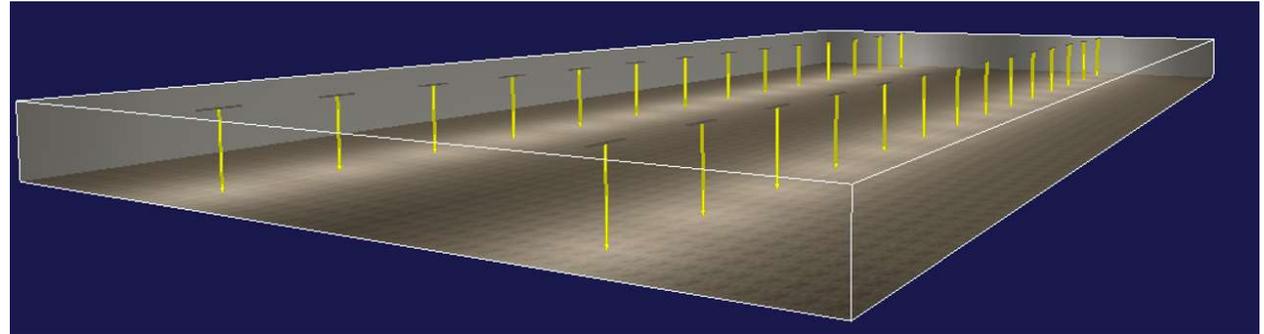
Den Helligkeitseindruck, welches das Auge empfindet,
erfasst die Beleuchtungsstärke nicht (SCHENKE 2013)

Leuchtdichte =
Helligkeitseindruck im Auge

Helligkeitsverteilung im Stall [LUX = Lumen /m²]



$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$



Helligkeitsverteilung im Legehennenstall (Beispiel – Angaben in LUX)

Nest	2	1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0	0,3	0,3	0,2
	1	0,8	1,2	1,1	1,1	1,2	3	2,5	2,9	2,9	2,9	1,9	2,6	1,8	1,8
	3	1,8	2	2,8	3,5	2	3,9	3,9	2,7	3,6	3,5	2,5	3,2	2,9	3

Lichtintensität im zweiten Stock der Volierenanlage

	To1	3	10	3	8	5	9	4	7	3	8	5	7	6	11
	To2	18	40	12	41	15	37	19	55	21	47	19	39	22	51

Nest	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
	1	0,7	0,4	0,6	1,1	0,5	1,5	2,2	1,2	0,9	1,1	0,8	1,1	1	1,1

Lichtintensität im ersten Stock der Volierenanlage

Tränkebereich	Futter und	Tu2.1	3	4	3	4	2	3	2	4	3	3	3	2	4	2
		Tu2.2	5	20	11	22	8	25	11	19	14	21	10	24	9	18
		Tu1.1	2	3	1	2	3	2	1	2	2	3	1	2	1	2
		Tu1.2	2	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	3	1

Scharraum	A	45	18	61	14	35	11	40	28	21	37	32	17	42	14
	B	40	18	57	13	34	11	35	27	19	32	29	15	38	13
	C	37	15	45	11	33	9	32	22	14	28	27	12	31	13
	D	30	12	38	9	28	7	27	19	12	23	26	11	28	11
	E	24	10	29	7	20	6	24	15	11	19	21	9	25	10
	F	15	8	20	6	17	5	14	11	9	16	18	8	19	7

mw	sd
1,7	1,3
mw	sd
18,8	16,3
mw	sd
0,3	0,5
mw	sd
5,8	6,6
mw	sd
21,5	12,0
mw	sd
11,5	13,1

Beleuchtungsintensität in Ställen

.... muss für die Deckung der Bedürfnisse ausreichen...
(§4, Abs. 9 TierSchNutzV 2014)

Bedarf/ Bedürfnisse variieren je nach Funktionskreis
z.B. Ruhen/Schlafen vs. Nahrungsaufnahme
 Eiablage vs. Erkundung

Anforderungen

Natürliches Licht: Realisierung durch Leuchtmittel

- Lichtspektrum (Wellenlänge in nm)
 - Vorhandensein aller Farben (~320-780 nm)
 - fehlt ein Spektrumbereich → Falschfarben
 - unterschiedliche Habitate = unterschiedliche Zielspektren
 - Ca. 2 bzw. 5 % UV-A Anteil (315-380 nm) im Licht
- Mensch: Lichtfarbe → nicht auf Geflügel übertragbar
- Frequenz (Hz) > 160 Hz
 - bei LED >> 160 Hz ?
- Lichtintensität
 - Bedarf der Tiere bezüglich Licht in einzelnen Funktionsbereichen klären
 - differenzierte Beleuchtung der Funktionsbereiche (z.B. Nest, Scharrbereich, Futter-/Wasserstrang)

Arbeitsschutz !

→ Expositionsgrenzwerte
für Aufenthalt unter UV-A
ist nachzuweisen

*„Richtlinie zum Schutz der Arbeitnehmer gegen
tatsächliche oder mögliche Gefährdungen ihrer
Gesundheit und Sicherheit durch Exposition gegenüber
künstlicher optischer Strahlung während der Arbeit“
(2006/25/EG)*

→ DIN EN 62471:2009-03; VDE 0837-471:2009-03

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit