

# Bedarfsorientierte Beleuchtung im Rinderstall

**Daniel Werner, Fachhochschule Bielefeld**

Michael Bentler, Fachhochschule Bielefeld

Prof. Dr. Eva Schwenzfeier-Hellkamp, Fachhochschule Bielefeld

Landeskontrollverband Tirol

Projekt Bildungsoffensive Herdenmanagement

Vortragsveranstaltung zum Thema Tierwohl

22.11.2019



**FH Bielefeld**  
University of  
Applied Sciences

# Motivation einer bedarfsorientierten Beleuchtung

- Energiebedarf der Beleuchtung liegt im landwirtschaftlichen Bereich oftmals deutlich unter 10 % des Gesamtenergiebedarfs
  - Lohnt sich hier eine energieeffiziente LED-Beleuchtung oder die energetische Sanierung der Bestandsbeleuchtung?
- Klassische Amortisationsbetrachtungen zeigen nur die halbe Wahrheit
  - Betrachtungen zur Lichtwirkung und -wahrnehmung fehlen
- Licht wird zum Sehen benötigt, steuert physiologische Vorgänge und beeinflusst die biologischen Rhythmen
  - Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit, Aktivität und Tiergesundheit
  - Gute Tierbeobachtung und -kontrolle



## Daniel Werner

- Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen am Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse
- Laborverantwortlicher Mitarbeiter der Fachhochschule Bielefeld für das Labor Intelligente Licht- und Energiesysteme
- Promotion an der Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg  
(Dr. agr. - verteidigt am 04.11.2019)



# Inhalt

- **Stand von Wissenschaft und Technik**
  - Lichtwirkung bei Mensch und Tier
  - Sehvermögen von Mensch und Tier
- **Licht- und Beleuchtungstechnik**
  - Lampen und Leuchten
  - Gefahren durch Retrofit
  - Praxisbeispiele
- **Bedarfsorientierte Beleuchtungsplanung**
  - Forschungsvorhaben I\_LED\_Milchvieh
  - Beleuchtungsstärke vs. Leuchtdichte und Kontraste
- **Fazit, Ausblick und Empfehlungen der Autoren**

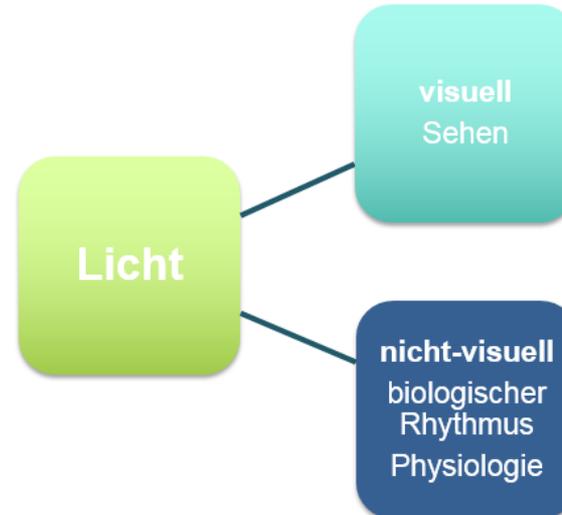
# Lichtwirkung bei Mensch und Tier

## • Licht...

- ist die Grundlage des Sehens
- wirkt auf photosensitive Ganglienzellen in der Retina
- steuert den Zeitgeber bzw. die „innere Uhr“ und so:
  - den Tag/Nacht- & Jahres- Rhythmus
  - Wohlbefinden
  - Stoffwechsel
  - Hormonbildung
  - Wachstum
  - Fruchtbarkeit
  - Milchbildung



[eigene Darstellung]



# Sehvermögen von Mensch und Rind

Vergleichsaspekt	Mensch	Rind
Farbsehvermögen	Trichromat	Dichromat
Maximale Sensitivität der Zapfen	S- Zapfen: 430 nm	S- Zapfen: 455 nm
	M- Zapfen: 535 nm	M/L- Zapfen: 554 nm
	L- Zapfen: 565 nm	
Sehschärfe	1'	7' - 24'
Verhältnis Stäbchen zu Zapfen	2 : 1 (zentraler Bereich)	2 - 3 : 1 (zentraler Bereich)
	30 : 1 (Randbereich)	4 - 6 : 1 (Randbereich)
Dunkeladaption	7 min (Zapfen)	30 min (Zapfen)
	30 min (Stäbchen)	k. A. (Stäbchen)
Sehbereich	180 - 200 Grad monokular	330 Grad monokular
	120 - 140 Grad binokular	50 Grad binokular

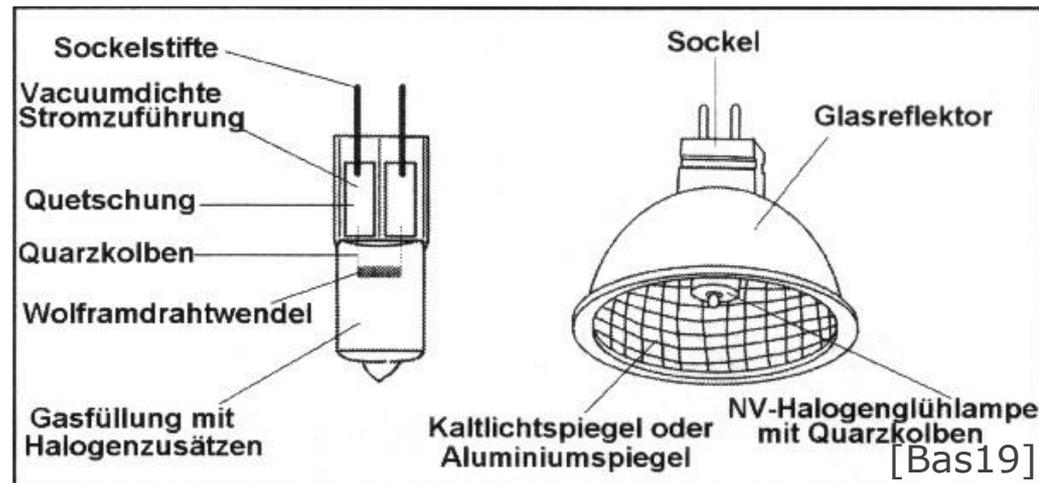
[Fri14] [Win09] [Jac98] [Koe88] [Mou14] [Phi01]

# Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Lichtwirkung bei Mensch und Tier
  - Sehvermögen von Mensch und Tier
- **Licht- und Beleuchtungstechnik**
  - Lampen und Leuchten
  - Gefahren durch Retrofit
  - Praxisbeispiele
- Bedarfsorientierte Beleuchtungsplanung
  - Forschungsvorhaben I\_LED\_Milchvieh
  - Beleuchtungsstärke vs. Leuchtdichte und Kontraste
- Fazit, Ausblick und Empfehlungen der Autoren

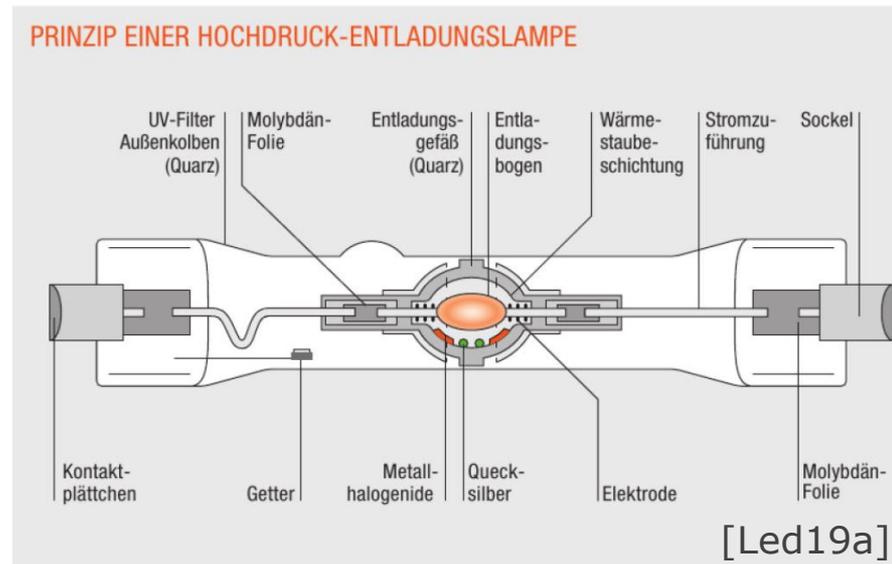
# Aufbau und Funktionsweise thermischer Strahlungsquellen

- Glüh-, Halogen- oder Xenonlampen
- Geringe Lebensdauer  
(laut Herstellerangaben ca. 1.000 Std. für Glühlampen)
- Schlechter Wirkungsgrad  
(nur ca. 5 % der elektrischen Leistung wird in Licht umgewandelt)
- Sehr gute Farbwiedergabe ( $R_a$  Wert nahe 100)



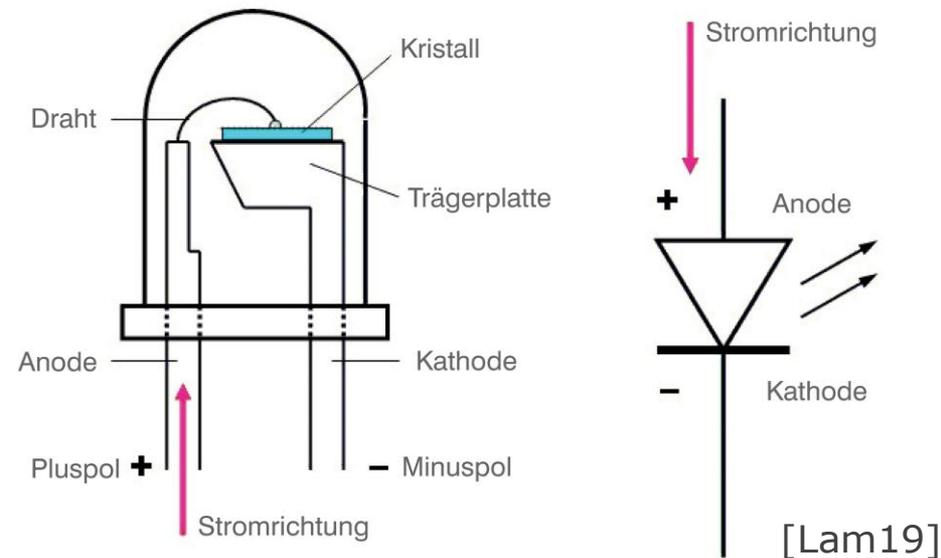
# Aufbau und Funktionsweise von Nieder- und Hochdruckentladungslampen

- „Energiespar-“ und Leuchtstofflampen sowie Lampen auf Natrium-, Quecksilber- und Metallhalogendampfbasis
- Mittlere und lange Werte für die Lebensdauer (30.000 – 35.000 Std.)
- Mittlerer Wirkungsgrad (ca. 25 % der elektrischen Leistung wird bei Leuchtstofflampen in Licht umgewandelt)
- Sehr schlechte (Natriumdampf) bis gute (Metallhalogendampf) Farbwiedergabe



# Aufbau und Funktionsweise einer LED

- engl.: *light-emitting diode* - dt.: Licht-emittierende Diode
- Halbleiterbauelement, das nach dem Wirkungsprinzip der Elektrolumineszenz elektromagnetische Strahlung in Form von Licht emittiert
- Lange Lebensdauer (laut Herstellerangaben bis zu 50.000 Std.)
- Hoher Wirkungsgrad (ca. 50 % der elektr. Leistung wird in Licht umgewandelt)
- Mittlere bis gute Farbwiedergabe ( $R_a > 80$ )



# Bauformen verschiedener LEDs

## Gedrahtete LEDs

(z.B. 3 mm oder 5 mm)



[Led19b]

## SMD LEDs

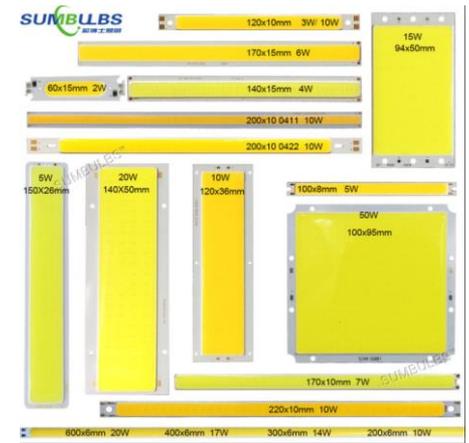
(Surface-mounted-device)



[Bri19]

## COB LEDs

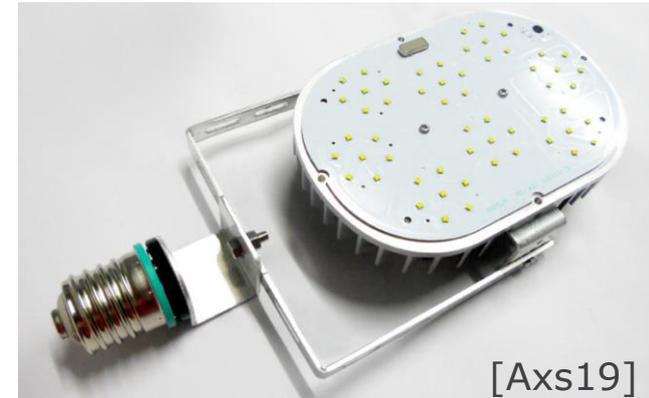
(Chip-on-board)



[Ali19]

# Retrofit-Lampen und mögliche Gefahren

- Gefahr durch elektrischen Schlag
- Unzulässige Erwärmung
- Funkentstörung wird nicht eingehalten
- Schutzklasse II wird nicht eingehalten
- Geänderte Lichtverteilungskurve → Blendungsgefahr
- Beleuchtungsstärken zu gering (ASR - Technische Regeln für Arbeitsstätten)
- Luft- und Kriechstrecken zu gering
- Schutzart (IP) wird nicht erreicht
- Längsausdehnung zu groß
- Zu hohes Gewicht



[Axs19]



[Pri19]

# Thermische Überhitzung von Retrofit-Lampen

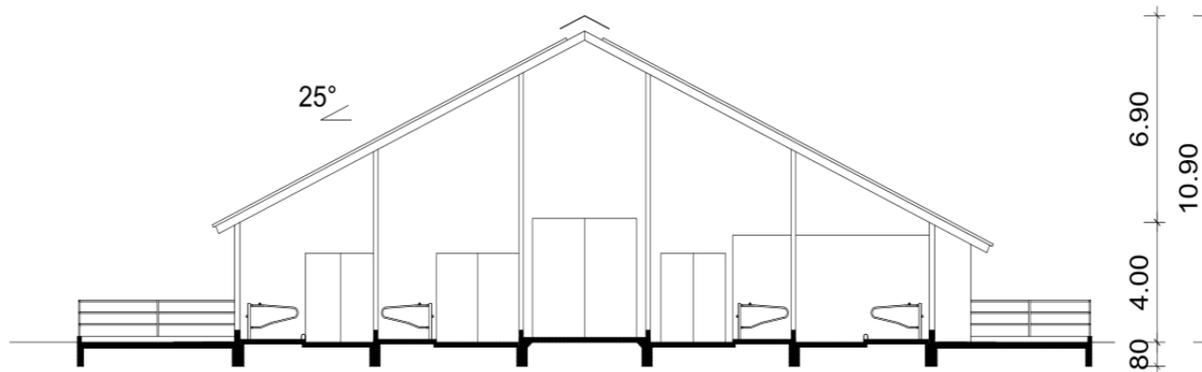


Thermische Überhitzung durch erhöhte Schmutzbelastung [Fas19a]



Thermische Überhitzung eines LED-Spots [Fas19a]

# Praxisbeispiel 1: Milchviehstall 1.400 m<sup>2</sup>



Leuchtentyp	Verwendete Leuchtenanzahl	Installierte Leistung pro Fläche [W/m <sup>2</sup> ]
Hochdruckdampfleuchte 250 W	40	7,1
Hochdruckdampfleuchte 400 W	14	4,0
Langfeldleuchte 2x 58 W	70	5,5
LED Langfeldleuchte	104	2,9
LED Flächenstrahler	24	2,0

# Überschlagsrechnung

Energieverbrauch in der Landwirtschaft wird für eine effiziente Milchviehhaltung mit **400 kWh/Kuh** pro Jahr angenommen

- Fall 1: Hochdruckdampf Lampe 250 W (7,1 W/m<sup>2</sup> für 1.400 m<sup>2</sup> mit 108 Kühen)
  - $1.400 \text{ m}^2 \times 7,1 \text{ W/m}^2 = 9.940 \text{ W}$
  - $9.940 \text{ W} / 108 \text{ Kühe} = 92 \text{ W/Kuh}$
  - $92 \text{ W/Kuh} \times 8 \text{ Std. Beleuchtung pro Tag} \times 365 \text{ Tage} = \mathbf{269 \text{ kWh/Kuh}}$
- Fall 2: LED Flächenstrahler (2,0 W/m<sup>2</sup> für 1.400 m<sup>2</sup> mit 108 Kühen)
  - $1.400 \text{ m}^2 \times 2,0 \text{ W/m}^2 = 2.800 \text{ W}$
  - $2.800 \text{ W} / 108 \text{ Kühe} = 26 \text{ W/Kuh}$
  - $26 \text{ W/Kuh} \times 8 \text{ Std. Beleuchtung pro Tag} \times 365 \text{ Tage} = \mathbf{75,92 \text{ kWh/Kuh}}$

# Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Lichtwirkung bei Mensch und Tier
  - Sehvermögen von Mensch und Tier
- Licht- und Beleuchtungstechnik
  - Lampen und Leuchten
  - Gefahren durch Retrofit
  - Praxisbeispiele
- **Bedarfsorientierte Beleuchtungsplanung**
  - Forschungsvorhaben I\_LED\_Milchvieh
  - Beleuchtungsstärke vs. Leuchtdichte und Kontraste
- Fazit, Ausblick und Empfehlungen der Autoren

# Forschungsvorhaben: I\_LED\_Milchvieh

- Entwicklung einer Intelligenten LED Leuchte für die Funktionsbereiche „Fressen“, „Laufen“ und „Liegen“ in der Milchviehhaltung
- I\_LED\_Milchvieh\_I: Laufzeit 3 Jahre - endet am 31.07.2017
- I\_LED\_Milchvieh\_II: Laufzeit 2 Jahre - endet am 31.12.2019



Die Förderung erfolgte aus  
Mitteln des Zweckvermögens  
des Bundes bei der  
Landwirtschaftlichen  
Rentenbank



# Praktische Umsetzung einer bedarfsorientierten Beleuchtung

- **Liegeboxenlaufstall des VBZL Haus Düsse**

- 21 Hochboxen und 18 Tiefboxen
- Automatisches Melksystem
- Fressplatz-Liegeboxenverhältnis 1:1

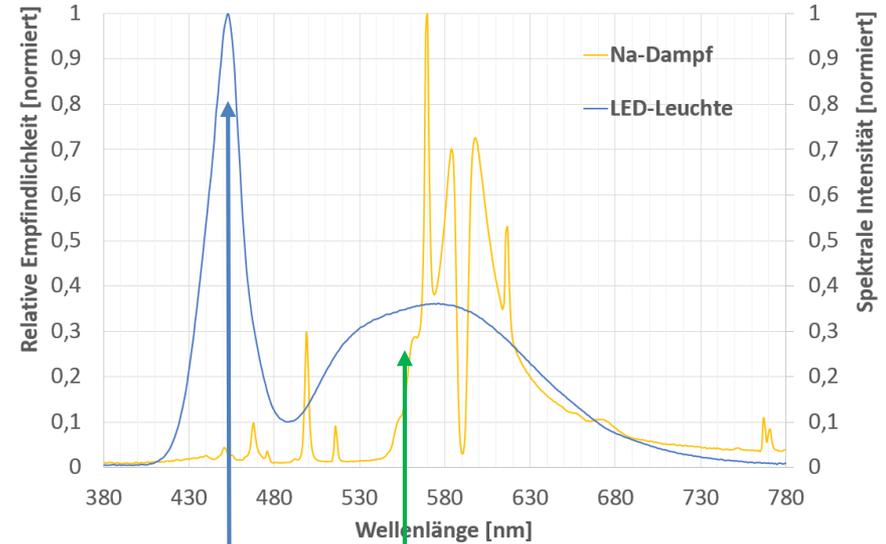
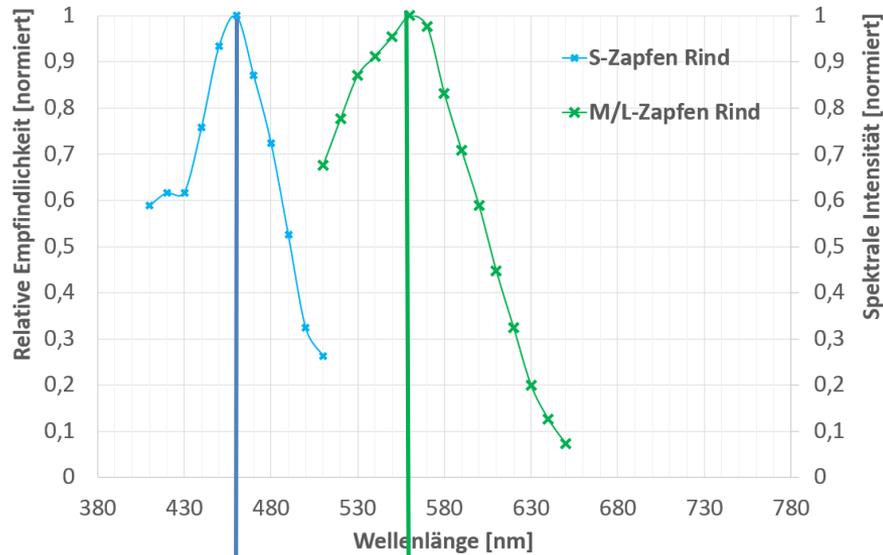
- **2 vergleichende Beleuchtungssituationen**

- Bestandsbeleuchtung (Na.-Dampf)
- Neu entwickelte LED-Beleuchtung



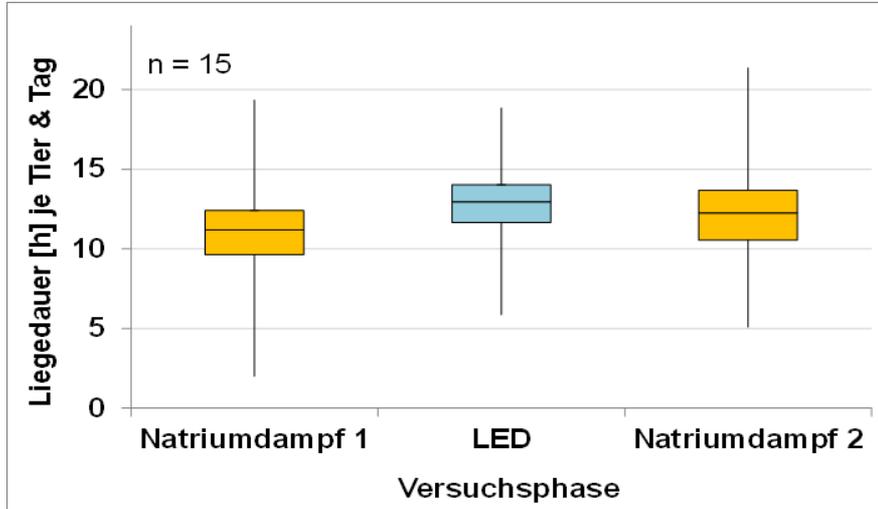
[eigene Aufnahme]

# Anpassung des Leuchtspektrums auf das Sehvermögen des Rindes

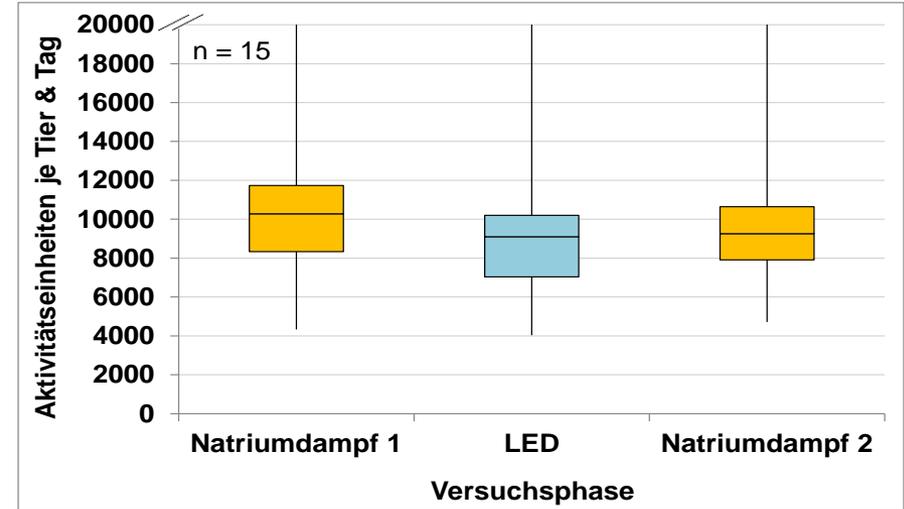


[eigene Darstellung]

# Versuch I - Einfluss Spektrum auf das Verhalten (Winter 2015/16)



Vergleich der Liegedauer in Stunden je Tier und Tag

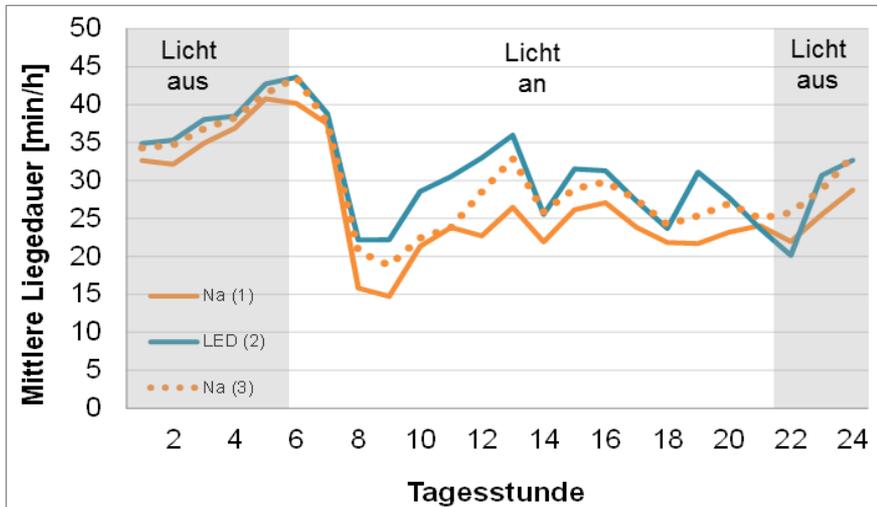


Vergleich der Aktivitätseinheiten je Tier und Tag

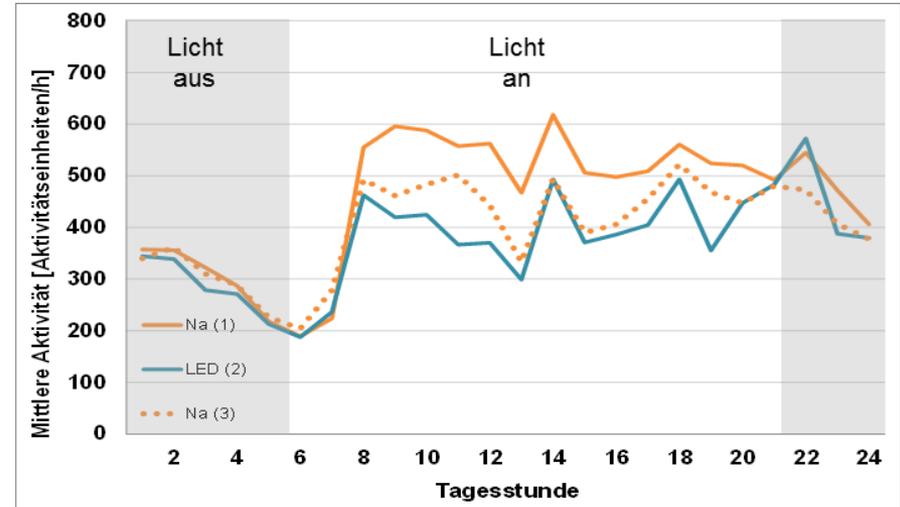
→ signifikanter Effekt der LED-Beleuchtung auf das Liegeverhalten und die Aktivität

[Ber18]

# Versuch I - Einfluss Spektrum auf das Verhalten (Winter 2015/16)



Mittlere Liegedauer (in min/h) im Verlauf über 24 Stunden in den drei Versuchsphasen

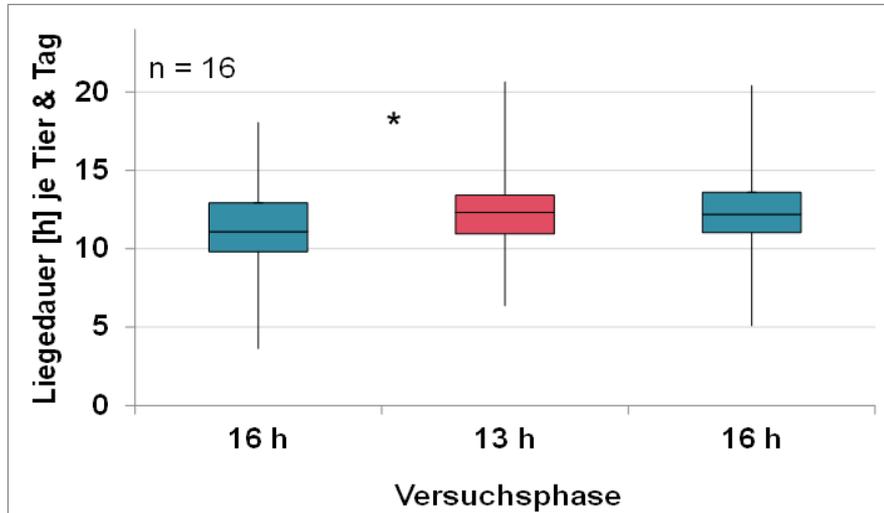


Mittlere Aktivität (Aktivitätseinheiten/h) im Verlauf über 24 Stunden in den drei Versuchsphasen

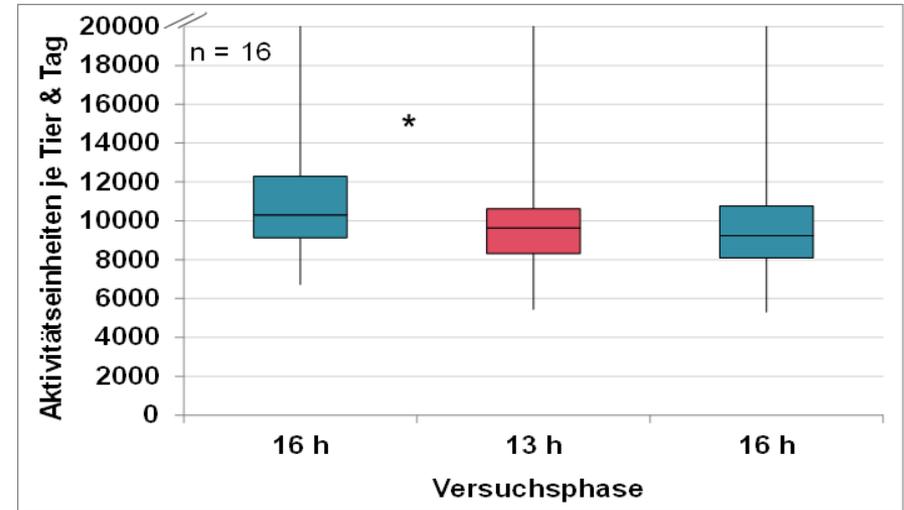
→ signifikanter Effekt der LED-Beleuchtung auf das Liegeverhalten und die Aktivität

[Ber18]

# Versuch II - Einfluss Beleuchtungsdauer auf das Verhalten (Winter 2016/17)



Vergleich der Liegedauer in Stunden je Tier und Tag

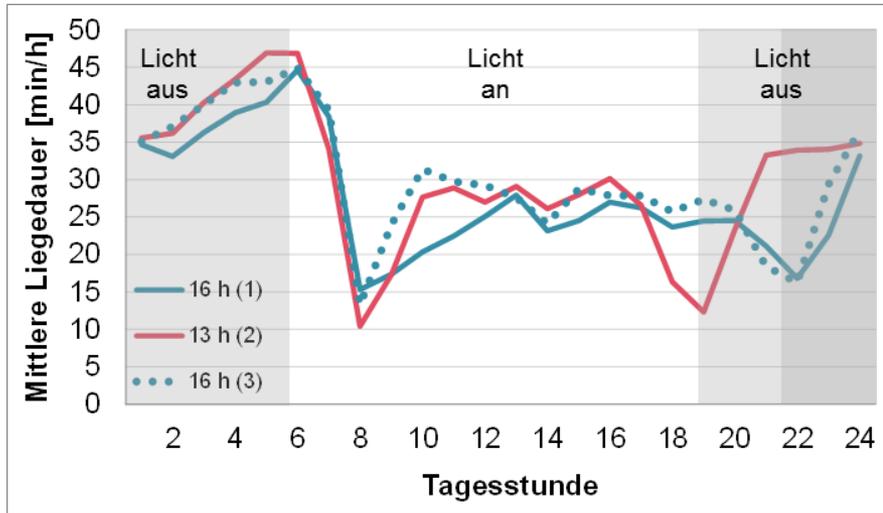


Vergleich der Aktivitätseinheiten je Tier und Tag

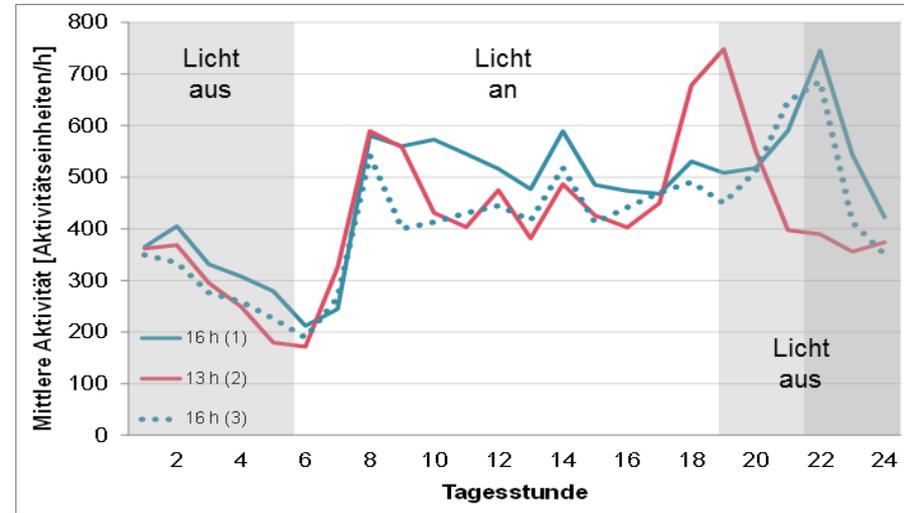
→ kein Effekt der Beleuchtungsdauer auf das Liegeverhalten und die Aktivität

[Ber18]

# Versuch II - Einfluss Beleuchtungsdauer auf das Verhalten (Winter 2016/17)



Mittlere Liegedauer (in min/h) im Verlauf über 24 Stunden in den drei Versuchsphasen

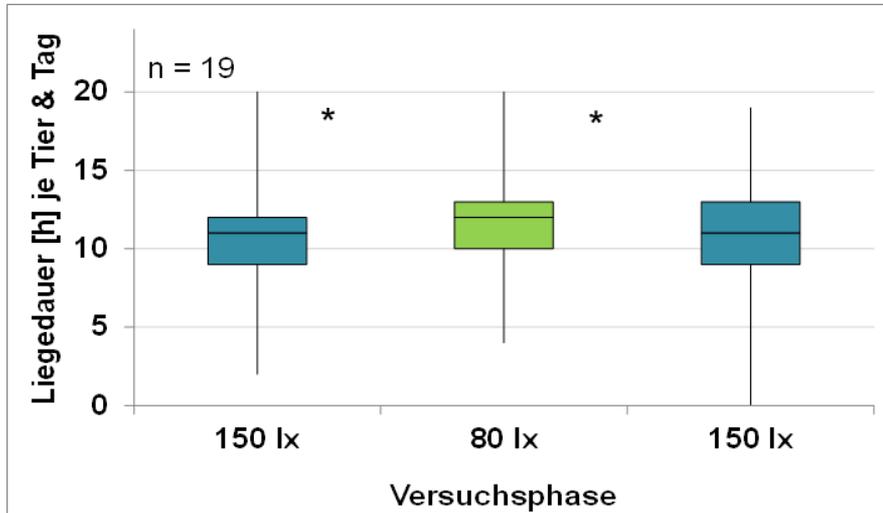


Mittlere Aktivität (Aktivitätseinheiten/h) im Verlauf über 24 Stunden in den drei Versuchsphasen

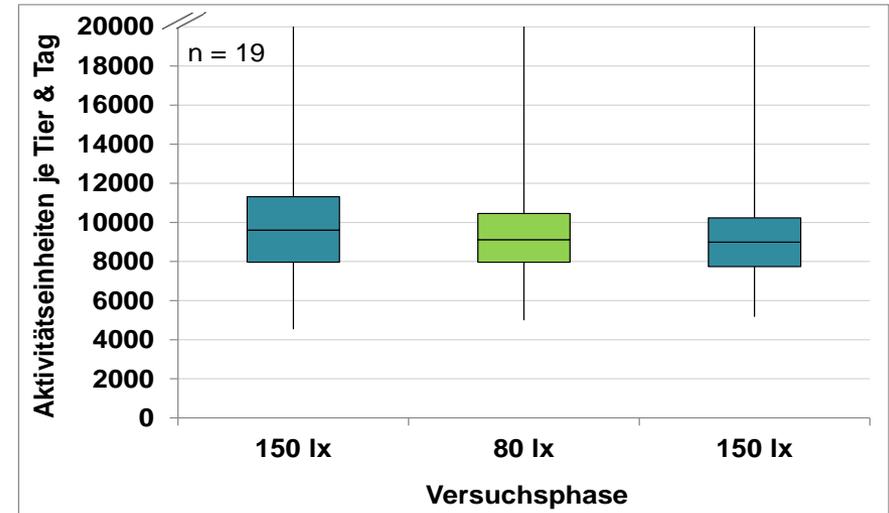
→ Verschiebung der Rhythmik

[Ber18]

# Versuch III - Einfluss Beleuchtungsstärke auf das Verhalten (Winter 2017/18)



Vergleich der Liegedauer in Stunden je Tier und Tag

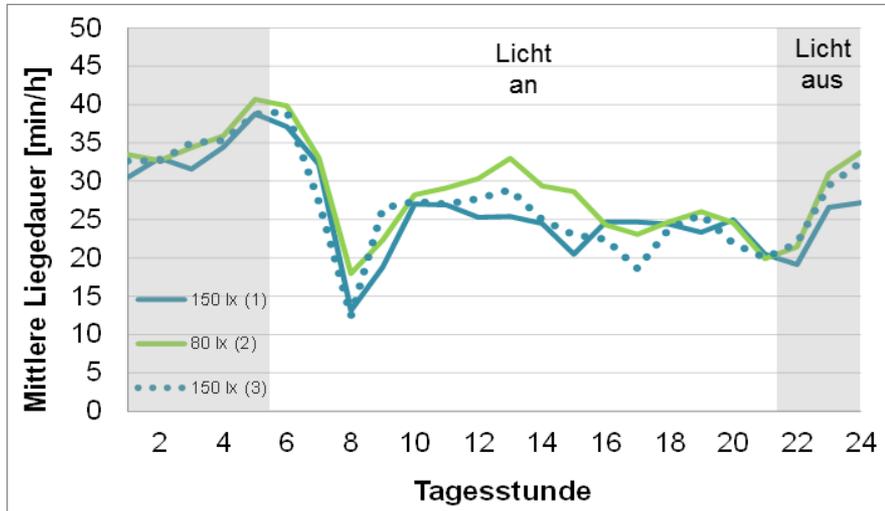


Vergleich der Aktivitätseinheiten je Tier und Tag

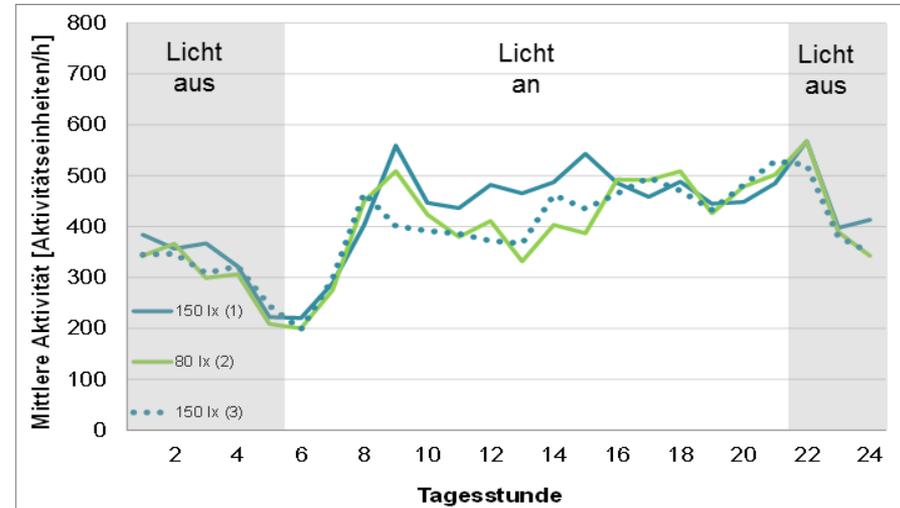
→ **Signifikanter Effekt der Beleuchtungsstärke auf das Liegeverhalten**

[Ber18]

# Versuch III - Einfluss Beleuchtungsstärke auf das Verhalten (Winter 2017/18)



Mittlere Liegedauer (in min/h) im Verlauf über 24 Stunden in den drei Versuchsphasen



Mittlere Aktivität (Aktivitätseinheiten/h) im Verlauf über 24 Stunden in den drei Versuchsphasen

→ Erhöhung der Liegedauer über die Mittagsstunden

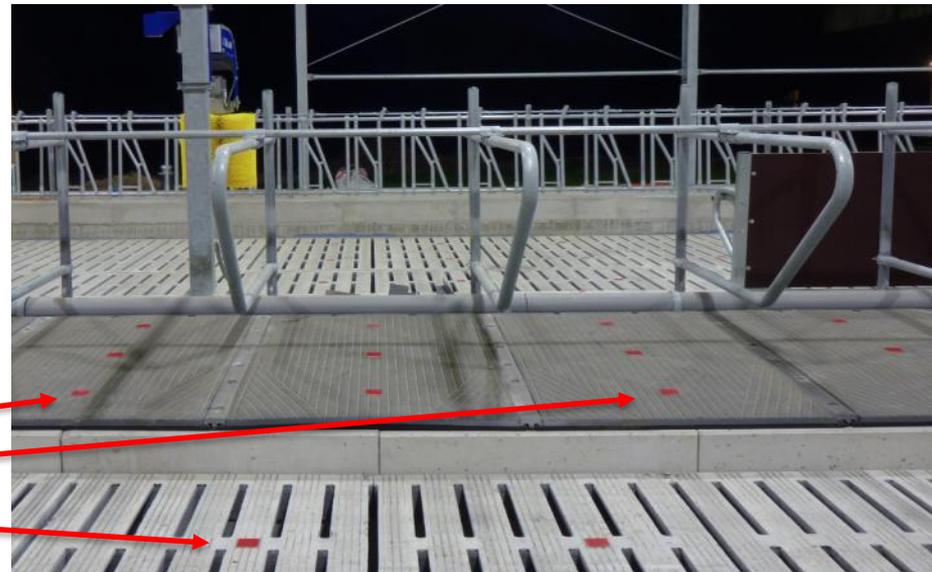
[Ber18]

# Lichttechnische Bewertung der Stallumgebung

- **Erfassung der horizontalen Beleuchtungsstärke**
  - In Bodennähe zur Überprüfung der lichttechnischen Simulationen sowie für einen ersten und schnellen Überblick



[eigene Aufnahme]

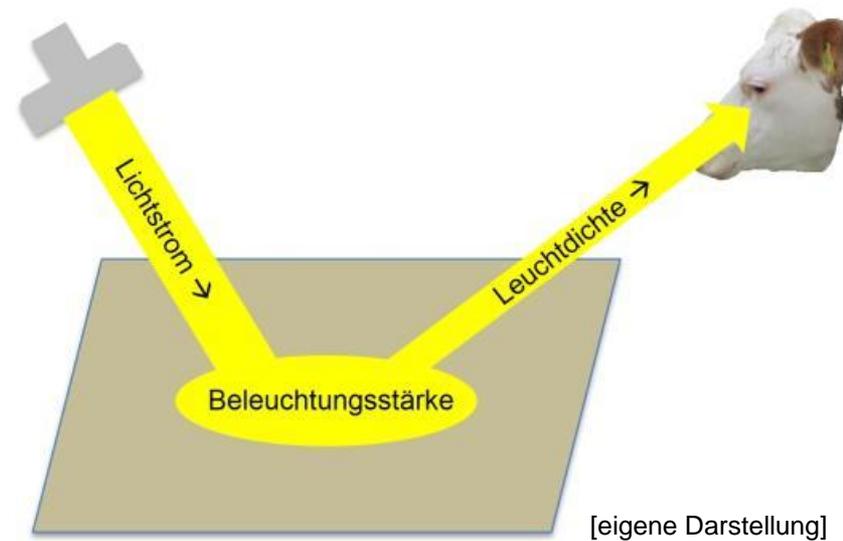


Ausgelegte Messplättchen als reproduzierbare Positionsmarkierung

[eigene Aufnahme]

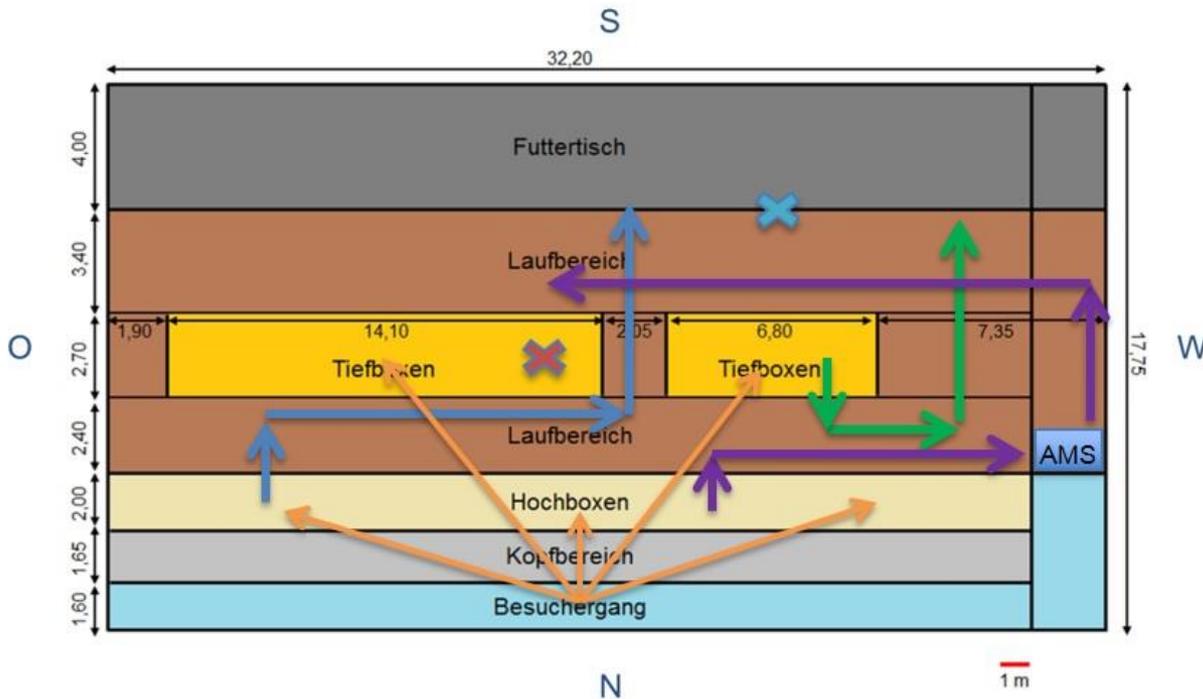
# Bedarfsorientierte Bewertung der Stallumgebung?

- **Erfassung der horizontalen Beleuchtungsstärke**
  - Klassische Betrachtung, aber nicht ausreichend für eine gute lichttechnische Gesamtbewertung
- **Definition verschiedener Szenarien**
  - Zusätzliche Erfassung von vertikalen Beleuchtungsstärken
  - Erfassung von Leuchtdichten zur Kontrastbestimmung



# Lichttechnische Bewertung der Stallumgebung

## • Szenarien:



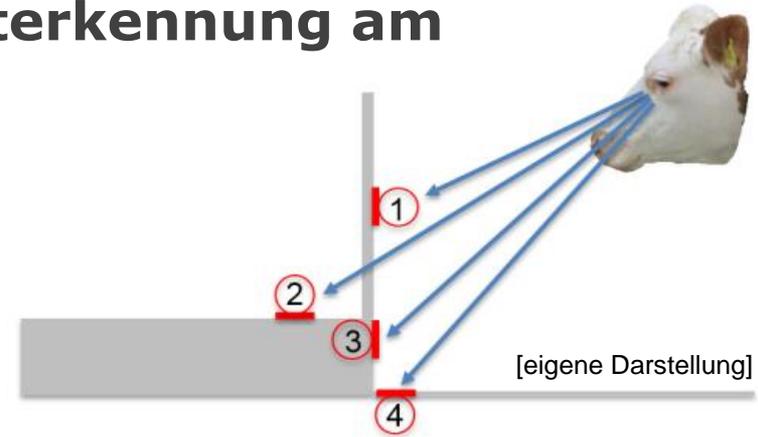
- **S1:** Kuh geht aus Hochbox zum Fressplatz
- **S2:** Kuh geht aus Tiefbox zum Fressplatz
- **S3:** Kuh geht zum automatischen Melksystem (AMS) und dann zur Kuhbürste
- **S4:** Landwirt steht im Besuchergang und führt eine visuelle Tierkontrolle durch
- **S5:** Kuh liegt und ruht in einer Tiefbox
- **S6:** Kuh frisst

[eigene Darstellung]

# Leuchtdichtemessung zur Kontrasterkennung am Fressgitter

## • Betrachtete Flächen

- 1) Fressgitter
- 2) Futtertisch
- 3) Stoßstufe
- 4) Bodenbelag



Bewertungsfläche	Natriumdampfbeleuchtung	LED-Beleuchtung
	Messtechnisch erfasste Leuchtdichte L [cd/m <sup>2</sup> ]	
Position 1	2,4	2,3
Position 2	4,2	4,2
Position 3	3,2	1,3
Position 4	2,4	0,7
	Berechneter Michelson-Kontrast $K_M$	
Position 1 zu 2	-0,27	-0,29
Position 1 zu 3	-0,14	0,28
Position 1 zu 4	0,00	0,53

# Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Lichtwirkung bei Mensch und Tier
  - Sehvermögen von Mensch und Tier
- Licht- und Beleuchtungstechnik
  - Lampen und Leuchten
  - Gefahren durch Retrofit
  - Praxisbeispiele
- Bedarfsorientierte Beleuchtungsplanung
  - Forschungsvorhaben I\_LED\_Milchvieh
  - Beleuchtungsstärke vs. Leuchtdichte und Kontraste
- **Fazit, Ausblick & Empfehlungen der Autoren**

# Fazit und Empfehlungen der Autoren

- Glühlampen (geringe Effizienz) und Retrofit-Produkte (Gefahrenpotentiale) sind für die Stallbeleuchtung nicht geeignet
- LED-Leuchten bieten großes Potenzial, da diese energieeffizient sind und ein bedarfsorientiertes Licht emittieren
- Lichtspektrum besitzt größten Einfluss auf das Verhalten der Tiere, bei LED-Beleuchtung signifikante Erhöhung der Liegedauer
- Variation der Beleuchtungsdauer bewirkt eine Verschiebung der Rhythmik
- Geringere Beleuchtungsdauer bewirkt erhöhte Liegedauer über Mittagszeit

# Fazit und Empfehlungen der Autoren

- Leuchtdichtebetrachtungen unerlässlich für eine umfassende Bewertung
- 2 unterschiedliche Messstrategien weiterentwickeln:

## **Strategie 1** für den Landwirt zur groben Kontrolle der Beleuchtung

- Horizontale Beleuchtungsstärkemessung ausreichend

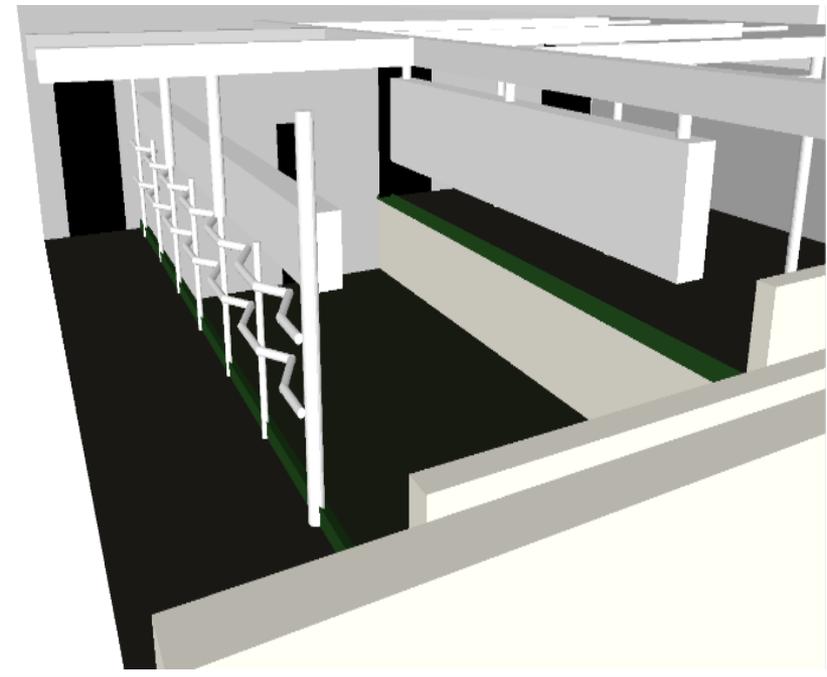
## **Strategie 2** zur detaillierten Betrachtung der Beleuchtungssituation sowie zur Schwachstellenanalyse

- Erfassung von Beleuchtungsstärke (horizontal und vertikal), Leuchtdichte und Kontrasten in bedarfsorientierten Szenarien

# Ausblick: Beleuchtung im Melkstand

Melkstand des Landwirtschaftszentrum Haus Düsse

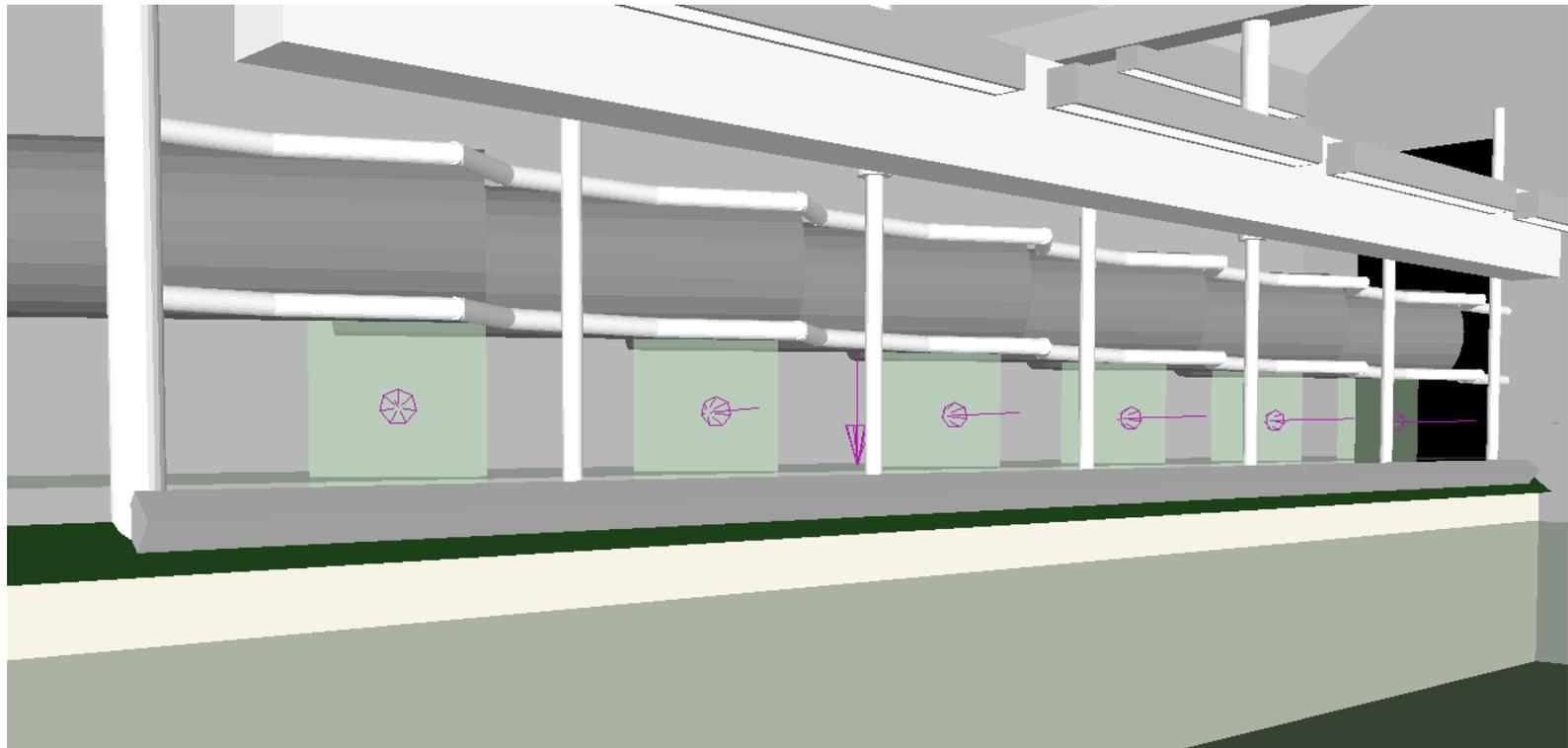
- Forschungsvorhaben Inno\_LED\_Livestock
- Zwei Melksysteme - insgesamt 14 Melkplätze  
(Fischgräten und Side-by-Side-Melkstand)



# Ausblick: Beleuchtung im Melkstand

Unterschiedliche Beleuchtungskonzepte

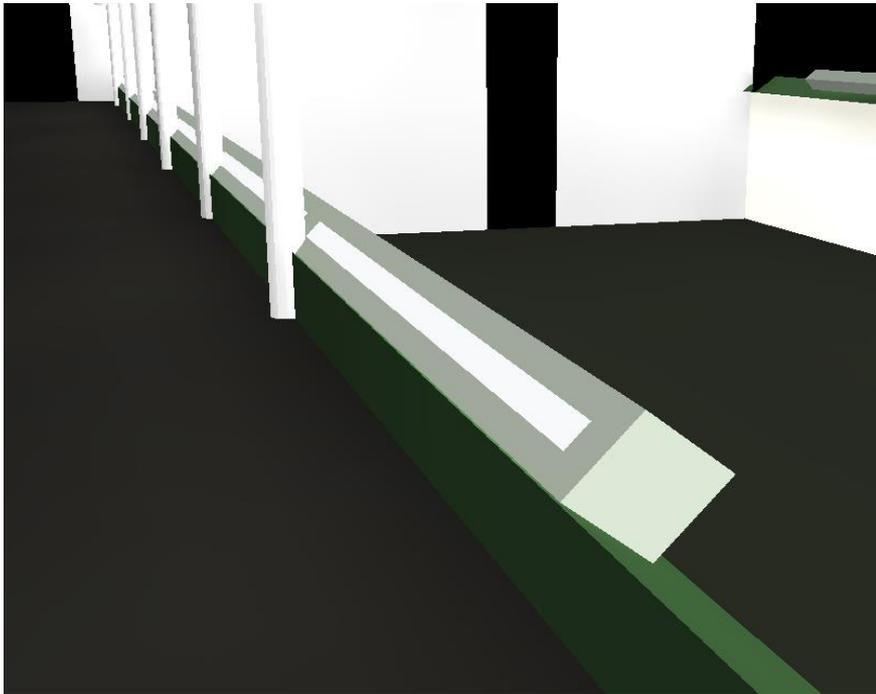
- Grundbeleuchtung
- Arbeitsbeleuchtung



# Ausblick: Beleuchtung im Melkstand

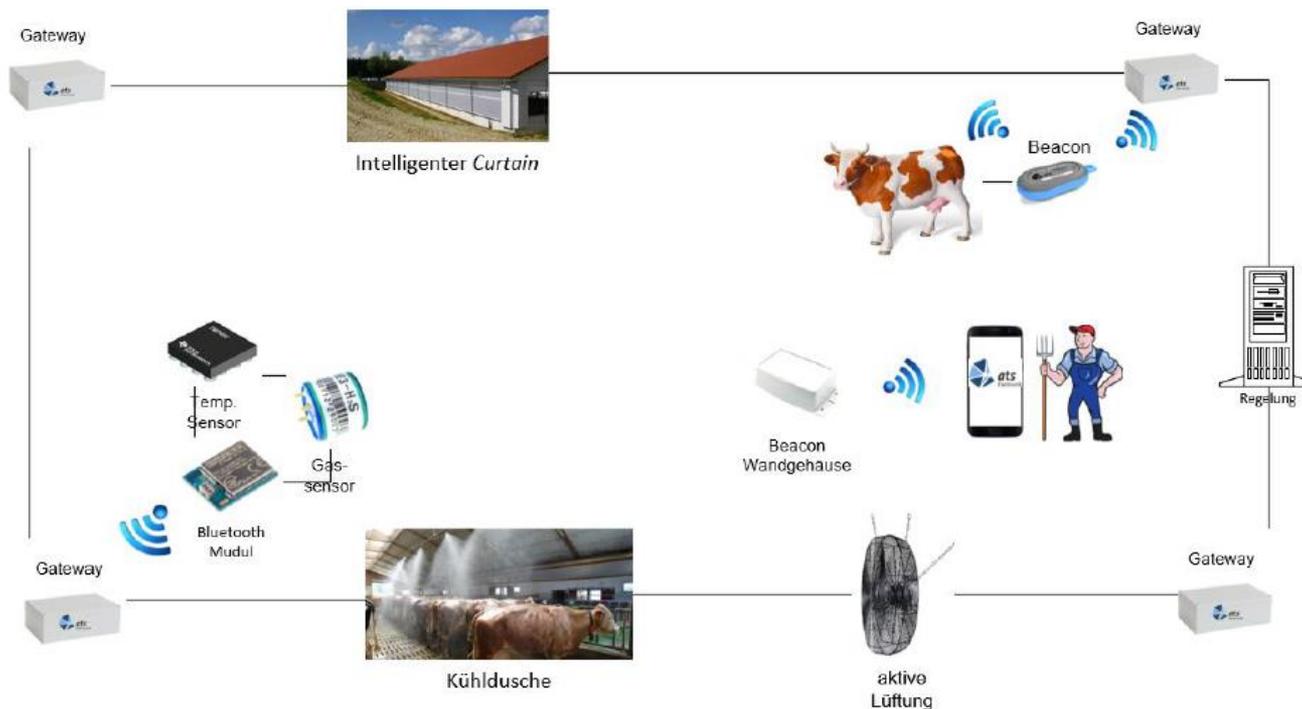
Unterschiedliche Beleuchtungskonzepte

- Grundbeleuchtung
- Arbeitsbeleuchtung



# Ausblick: Stallklima

iCurS - 3 jähriges Forschungsvorhaben mit Start September 2019



# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

## **Bei weiteren Fragen können Sie uns wie folgt erreichen:**

Daniel Werner, Dipl.-Ing. (FH)  
daniel.werner@fh-bielefeld.de  
0521-106 7385



**FH Bielefeld**  
University of  
Applied Sciences

# Quellen

- [Ali19] <https://www.aliexpress.com/item/Sumbulbs-DC-12V-10W-20W-30W-50W-200W-COB-LED-Chip-Light-Source-DIY-Car/32815652454.html>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Axs19] <http://axs2lighting.axess1.com/hilumz-diamonz-68w-cree-xb-d-6500-lumen-led-retrofit-kit.html>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Bas19] <http://basics-de.de/Lexikon/GluehlampenBatterien/GluehlampenNiedervoltHalogen/GluehlampenNiedervolthalogen.htm>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Ber18] Bernhart, K.; Werner, D.; Greif, M.; Eßelmann, C.; Schwenzfeier-Hellkamp, E.; Reiter, K.: Einfluss von unterschiedlichen Lichtspektren, Lichtlängen und Beleuchtungsstärken auf das Verhalten von Milchkühen, 50. internationalen Tagung Angewandte Ethologie, Freiburg i. Br., 22.-24.11.2018
- [Bri19] <https://www.bridgelux.com/products/smd-products>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Ene14] <http://energieblog.info/2012/05/led-leuchtmittel-brauchen-kuehlung/>, letzter Zugriff 01.09.2014
- [Fas19a] <http://fastvoice.net/wp-content/uploads/2012/08/led-schmutz-on.jpg>, letzter Zugriff 12.01.2019
- [Fas19b] <http://fastvoice.net/wp-content/uploads/2013/03/spot-einzelteile1.jpg>, letzter Zugriff 12.01.2018
- [Fri14] Frings, S.; Müller, F.: Biologie der Sinne. Vom Molekül zur Wahrnehmung. Springer Spektrum, Heidelberg, 2014
- [Itw18] <http://www.itwissen.info/Lampensockel-lamp-socket.html>, letzter Zugriff 12.01.2018
- [Jac98] Jacobs, G. H.; Deegan, J. F.; Neitz, J.: Photopigment basis for dichromatic color vision in cows, goats, and sheep. In Vision Research, 1998
- [Koe88] Kölmel, H. W.: Die homonymen Hemianopsien. Klinik und Pathophysiologie zentraler Sehstörungen. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1988

# Quellen

- [Lam19] <https://www.lampe.de/magazin/leuchtdiode>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Led19a] <https://www.ledvance.de/produkte/produktwissen/hochdruckentladungslampen/professionelles-wissen/index.jsp>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Led19b] <https://www.ledsupply.com/blog/how-does-a-5mm-led-work/>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Mou14] Mounaix, B. et al.: Cattle behaviour and the human-animal relationship. Variation factors and consequences in breeding, Le Rheu, 2014
- [Phi01] Phillips, C. J. C.; Lomas, C. A.: The Perception of Color by Cattle and its Influence on Behavior. In Journal Dairy Science, 2001
- [Pri19] <http://prismatec.eu/energie-managment/energie-management-dienstleistungen/knowledge/energie-optimierung>, letzter Zugriff 12.11.2019
- [Sch13] Schneider, M.; Fachhochschule Bielefeld; 2013
- [Tri14] Trilux: LED Basiswissen; Trilux Akademie; 2014
- [Win09] Winckler, C. in Hoy, S. Hrsg.: Nutztierethologie. 35 Tabellen. Ulmer, Stuttgart, 2009