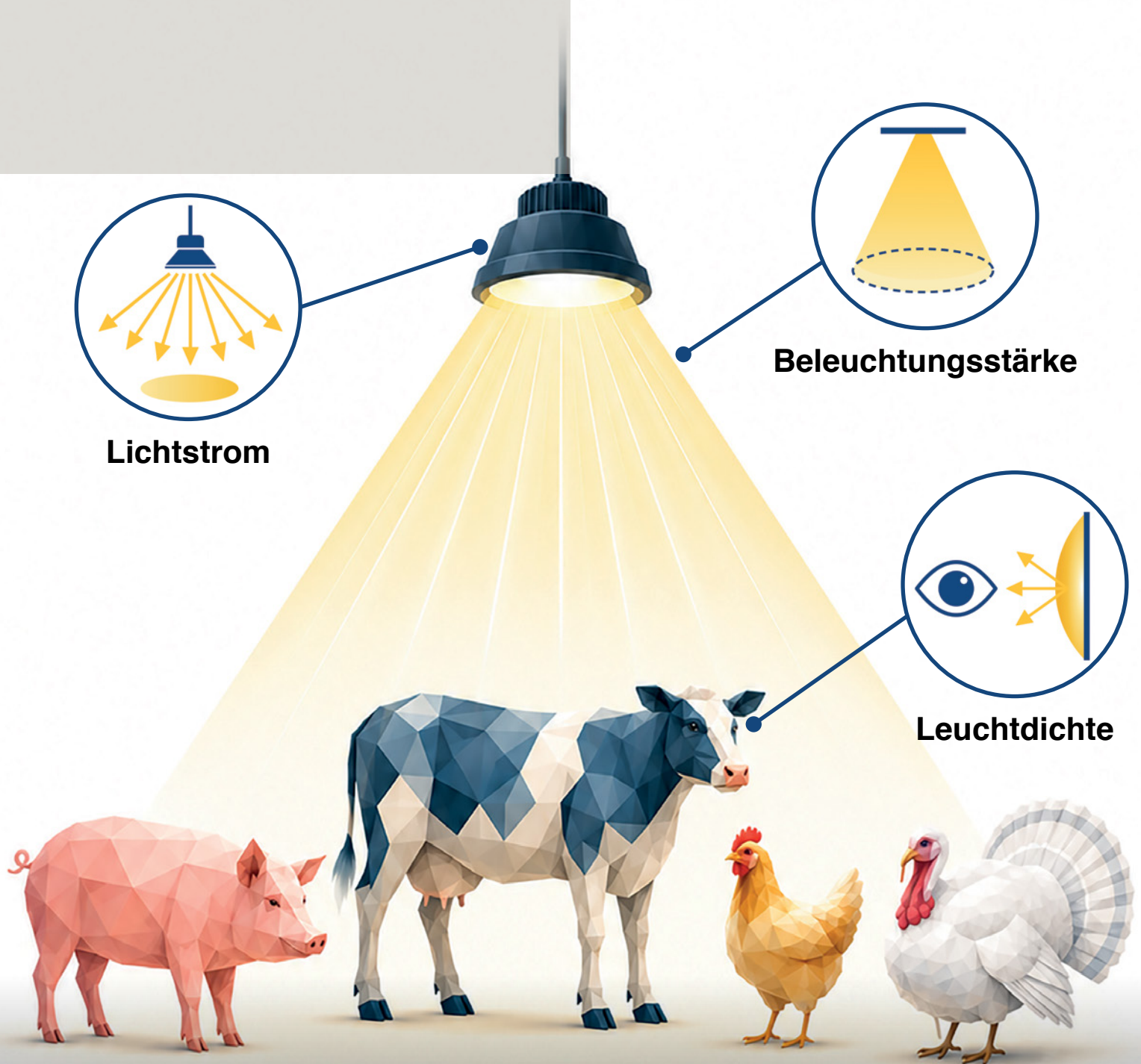


Licht und Beleuchtung in der Nutztierhaltung

Verstehen, messen und bewerten



Licht und Beleuchtung in der Nutztierhaltung

Verstehen, messen und bewerten

Autoren

- Dr. Kathrin Toppel, Ida Krüwel – Hochschule Osnabrück
- Prof. Dr. Daniel Werner – Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Campus Weihenstephan
- Dr. Gurubaran Raveendran, Nils Neugebauer – Big Dutchman International GmbH
- Dr. Birgit Spindler – Tierärztliche Hochschule Hannover

Unter Mitwirkung der Mitglieder des DLG-Ausschusses Technik in der Tierhaltung.

Titelbild: © StanGe, Hochschule Osnabrück. Bild generiert mit Hilfe von KI (ChatGPT, 2026)

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Herausgeber:

DLG e.V.

Fachzentrum Landwirtschaft und Lebensmittel
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

1. Auflage, Stand: 10/2026

© 2026

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder (auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung) sowie Bereitstellung des Merkblattes im Ganzen oder in Teilen zur Ansicht oder zum Download durch Dritte nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main, Tel. +49 69 24788-209, m.biallowons@dlg.org

Inhalt

1.	Einleitung	4
2.	Wesentliches zum Sehsinn der Nutztiere	4
3.	Gesetzliche Grundlagen	5
4.	Lichttechnische und physikalische Grundlagen	7
4.1	Strahlungsphysikalische Kenngrößen	8
4.2	Lichttechnische Kenngrößen	8
4.3	Lichtfarbe und Farbwiedergabe	10
4.4	Lichtflackern/-flimmern	11
5.	Lampen und Leuchtmittel	12
6.	Lichttechnische Messung und Bewertung	15
6.1	Messung und Bewertung der Beleuchtungsstärke	16
6.2	Messung und Bewertung der spektralen Lichteigenschaften	18
6.3	Messung und Bewertung der Flimmereigenschaften von Lampen	18
6.4	Messgeräte zur spektralen und zeitlichen Lichtbewertung	20
7.	Quellen	20

1. Einleitung

Licht und Beleuchtung sind mehr als nur die Betrachtung von Wellen und Teilchen. In der Nutztierhaltung hat Licht einen unmittelbaren Einfluss auf das Verhalten, die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit der Tiere und ist damit ein zentraler Baustein einer tiergerechten Haltung. Nutztiere wie Rind, Schwein und Geflügel sind tagaktiv, ihre Orientierung erfolgt in erster Linie über das Umgebungslicht. Ist nicht genügend natürliches Licht vorhanden, muss mittels einer künstlichen Beleuchtung unterstützt werden. Neben der Sicherstellung ausreichender Helligkeit rücken heute vor allem Aspekte wie Lichtintensität und -farbe, Tageslänge, Flimmerfreiheit und ein gezieltes Lichtmanagement in den Fokus, um Tierwohl, Produktivität und Energieeffizienz gleichermaßen sicherzustellen bzw. zu verbessern.

Licht ist darüber hinaus nicht nur dafür verantwortlich, dass Mensch und Tier die Umwelt sehen und wahrnehmen können, sondern beeinflusst über nicht bildgebende Sinneszellen im Körper unter anderem den Schlaf-Wach-Rhythmus/Ruhe-Aktivitäts-Rhythmus (circadianer Rhythmus). Licht wird somit zum Sehen benötigt, steuert physiologische Vorgänge und beeinflusst den biologischen Rhythmus. Die Gesundheit, das Wohlergehen sowie die Leistungsfähigkeit von Mensch und Tier werden maßgeblich durch Licht beeinflusst.

Die eingesetzte Beleuchtungstechnik in der Nutztierhaltung hat sich über die vergangenen Jahre deutlich verändert. Während ursprünglich Glühlampen dominierend waren, folgten darauf Nieder- und Hochdruckentladungslampen (z. B. Leuchtstofflampen). Sowohl Glühlampen als auch Entladungslampen sind bzw. werden in der EU schrittweise vom Markt genommen. Mittlerweile kommt überwiegend LED-Technologie zum Einsatz. Diese technische Entwicklung ist nicht ausschließlich unter energetischen und ökonomischen Gesichtspunkten, sondern auch aus Tierwohl-Sicht zu betrachten.

Dieses Merkblatt soll dazu beitragen, wesentliche Parameter und Eigenschaften von Leuchtmitteln und Beleuchtung in der Nutztierhaltung aufzuzeigen. Im Fokus stehen hierbei insbesondere die spektrale Zusammensetzung, die Flickerfrequenz und die Lichtintensität. Für Anwender im Nutztierbereich ist es von Bedeutung, diese Parameter genauer zu kennen, deren Anforderungen, Einflussgrößen und Mess- sowie Bewertungsgrößen zu verstehen und zu erfassen. Die DLG-Merkblattreihe Beleuchtung und Beleuchtungstechnik in Ställen geht auf die tierartspezifischen Besonderheiten ein und gilt als Ergänzung zu diesem Grundlagenmerkblatt.

Weil das Sehvermögen der Tiere vom Sehvermögen des Menschen abweicht, ist es notwendig, unter Zuhilfenahme physikalischer Messmethoden den Faktor Licht so zu erfassen, dass die Wirkung auf das Tier möglichst präzise eingeschätzt werden kann. Das Merkblatt soll daher sowohl Personen mit direktem Tierkontakt wie Landwirte und bestandsbetreuende Personen, aber auch die beratende und behördliche Ebene wie beispielsweise Betriebsberater und Amtsveterinäre gleichermaßen ansprechen. Es soll für die unterschiedlichen Gruppen klar werden, was benötigt wird und vor allem wie gemessen und bewertet wird.

2. Wesentliches zum Sehsinn der Nutztiere

Der Sehsinn von Geflügel, Schwein und Rind unterscheidet sich im Vergleich zum Menschen aufgrund der Anzahl und spektralen Empfindlichkeit der Zapfen sowie des Verhältnisses der beiden Arten von Sehzellen – Zapfen zu Stäbchen.

Die Zapfen sind für das Farbsehen und die Sehschärfe von Bedeutung. Das menschliche Auge verfügt über Zapfen für die Farbbereiche rot, grün und blau und ist ein sogenannter „Trichromat“. Schweine und Rinder sind „Dichromaten“ mit jeweils zwei Zapfentypen (ca. 440–450 nm (violett-blau) und 550–560 nm (gelbgrün)). Geflügel hat vier verschiedene Zapfentypen mit maximalen Empfindlichkeiten bei etwa 415 nm (violett), 455 nm (blau), 508 nm (grün) und 571 nm (gelbgrün) und ist damit „tetrachromatisch“. Zudem hat Geflügel eine UV-Wahrnehmung im Bereich von 360–380 nm (UV-A). Im Vergleich zu den Nutztierarten Rind und Schwein kann daraus für Geflügel eine besondere Bedeutung des Spektrums abgeleitet werden. Zusätzlich enthalten die Zapfen des Geflügels Öltropfen, welche die spektrale Trennschärfe (Kontrastsehen) erhöhen.

Als weitere Sehzellen ermöglichen die Stäbchen das Schwarz-Weiß-Sehen in der Dämmerung bzw. bei gedämpfter Lichtintensität. Rinder verfügen über einen höheren Stäbchenanteil als Schweine und Geflügel, wodurch ihre

Dämmerungssehfähigkeit verbessert ist. Ein weiterer Parameter ist die Flimmer-Fusions-Frequenz, die darstellt, ab welcher Frequenz von aufeinanderfolgenden Lichtreizen kein Flimmern mehr wahrgenommen wird. Diese liegt bei bis zu 60 Hz beim Menschen, was vergleichbar ist mit Rindern. Für Schweine werden bis zu 80 Hz angegeben, für Geflügel beträgt diese circa 120 Hz. Mit abnehmender Lichtintensität wird auch die Flimmer-Fusions-Frequenz herabgesetzt, d. h. das Risiko für wahrgenommenes Flimmern wird reduziert.

Der Mensch unterscheidet sich somit im Sehsinn von den Nutztierarten. Dies hat zur Folge, dass die menschliche Wahrnehmung nicht mit der von Rind, Schwein und Geflügel vergleichbar ist. Neben den Unterschieden der Sinneszellen im Auge unterscheidet sich auch die Anordnung der Augen am Kopf. Geflügel, Schweine und Rinder weisen seitlich am Kopf angeordnete Augen auf. Das Gesamtgesichtsfeld beträgt beim Rind etwa 330°, beim Schwein etwa 310° und beim Huhn 300–340°. Der binokulare Bereich (von beiden Augen abgedeckt) ist mit 20–50° beim Huhn, 35–50° beim Schwein und 51° beim Rind relativ klein (Vergleich Mensch: 120° binokular überlappend). Dies führt zu eingeschränkter Tiefenwahrnehmung beim Geflügel, aber hoher peripherer Sensitivität. Plötzliche Lichtwechsel oder Schatten können daher Fluchtreaktionen auslösen. Schweine hingegen können Objekte auf unterschiedliche Entfernungen nicht scharf fokussieren (akkommodieren), da die Linse im Auge eine sehr hohe Steifigkeit bzw. eine geringe Elastizität aufweist. Objekte in der Distanz erscheinen somit für ein Schwein eher unscharf bzw. verschwommen. Der Ausgleich erfolgt unter anderem über Annäherung und die Erkundung mit dem Rüssel.

Die physiologischen Unterschiede zwischen den Tierarten führen zu spezifischen Anforderungen an das Messen und Bewerten der Beleuchtung. Um diese Anforderungen technisch korrekt umzusetzen, ist es notwendig, die grundlegenden lichttechnischen Parameter zu verstehen und mit geeigneten Messgeräten zuverlässig zu erfassen.

3. Gesetzliche Grundlagen

In der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung muss bei den gesetzlichen Vorgaben zu Licht und Beleuchtung zwischen zwei Anwendungsfällen unterschieden werden. Der erste Anwendungsfall bezieht sich auf die Mindestanforderungen für die Tiere. Die Stallung bzw. Haltungsumgebung ist hierbei der Lebensraum der Tiere und die Vorgaben müssen während des Aufenthalts der Tiere im Stall dauerhaft erfüllt sein. Allgemeine Vorgaben werden über das Tierschutzgesetz (TierSchG) sowie tierartspezifisch über die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSch-NutztV) bzw. die entsprechenden Ausführungshinweise benannt (siehe Tabelle 1). Der Verordnung ist unter den allgemeinen Anforderungen für Haltungseinrichtungen (diese gelten für alle Nutztierarten) zu entnehmen, dass Ställe mit Vorrichtungen ausgestattet sein müssen, die jederzeit eine Inaugenscheinnahme der Tiere durch ausreichende Beleuchtung und einen Zugriff auf alle Nutztiere durch die mit der Fütterung und Pflege betrauten Personen ermöglichen (Pflicht einer Beleuchtungsanlage). Vorhandene Beleuchtungseinrichtungen sind mindestens einmal täglich auf ihre Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Festgestellte Mängel sind unverzüglich zu beheben. Ist dies nicht möglich, müssen andere Vorkehrungen zum Schutz der Gesundheit und des Wohlergehens der Tiere getroffen werden und die Mängel sind spätestens dann zu beheben, bevor neue Tiere eingestallt werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die tägliche Beleuchtungsintensität und Beleuchtungsdauer an die entsprechenden Bedürfnisse der Tierart anzupassen sind. Bei Geflügel muss laut TierSchNutzTV das künstliche Licht zudem flackerfrei sein und dem tierartspezifischen Wahrnehmungsvermögen entsprechen.

Im zweiten Anwendungsfall sind die Mindestanforderungen für den Menschen zu berücksichtigen. Die Stallung ist dabei als Arbeitsstätte des Landwirts/Herdenmanagers zu bewerten. Entsprechend sind die Anforderungen nur bei Tätigkeit der Personen im Stall zu erfüllen. Formuliert werden diese Anforderungen in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR A3.4 „Beleuchtung und Sichtverbindung nach Außen“) sowie in der DIN EN Norm 12464-1 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“ (siehe Tabelle 2). Die technischen Regeln sind gesetzlich verpflichtend und verfolgen das Ziel, eine den Arbeitsbedingungen angepasste Beleuchtung als Grundvoraussetzung zu schaffen, um Unfällen vorzubeugen. Die DIN EN Norm beschreibt die anerkannten Regeln der Technik und behandelt die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen unter Berücksichtigung

- der Sehleistung von Personen mit normalem Sehvermögen
- der Sehleistung von Personen auf normal korrigiertem Sehvermögen
- des Sehkomforts.

Tabelle 1: Ausgewählte Mindestanforderungen lichttechnischer Kenngrößen für ausgewählte Tierarten nach nationaler Rechtsgrundlage

Tierart	Mindestanforderungen der TierSchNutzV ¹ , Ausführungshinweise/LAV ²
Legehennen	• 8 Std. ununterbrochene Dunkelphase mit weniger als 0,5 lx • wenn möglich ausreichende Dämmerungsphase • Hellphase > 20 lx auf Augenhöhe • Frequenz ≥ 120 Hz (flackerfreie Beleuchtung) • Kunstlicht möglichst tageslichtähnlich; monochromatisches (einfarbiges) Licht nur im Ausnahmefall
Masthühner	• 80 % der Nutzfläche mit min. 20 lx mittlere Beleuchtungsstärke • ab 7. Tag nach Einstellung bis spätestens 3. Tag vor Schlachtermin ein 24-stündiges Lichtprogramm, das sich am natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus orientiert und mindestens eine sechsstündige ununterbrochene Dunkelperiode gewährleistet (Dämmerlichtperioden werden nicht berücksichtigt)
Schweine	• 8 Std. Beleuchtung, künstliche Beleuchtung, wenn natürlicher Lichteinfall zu gering ist • 80 lx mittlere Beleuchtungsstärke und Tagesrhythmus angeglichen im Aufenthaltsbereich der Schweine • 40 lx mittlere Beleuchtungsstärke in klar abgegrenzten Liegebereichen • gleichmäßige Beleuchtung, die jedes Schwein erreicht • Licht zur Orientierung außerhalb der Beleuchtungszeit
Rinder (hier: Kälber)	• > 80 lx Lichtstärke im Aufenthaltsbereich • Mindestens 10 Stunden tägliche Hellphase • Anpassung an den Tagesrhythmus

¹ Stand: 2021² Stand: 2023 (Legehennen), 2023 (Masthühner), 2024 (Schweine), 2023 (Rinder)**Tabelle 2:** Ausgewählte Mindestanforderungen an die Arbeitsstättenbeleuchtung auf tierhaltenden Betrieben

Bereich der Sehaufgabe / Tätigkeit	Mindestanforderungen der DIN 12464
Laden und Beförderung von Waren, Handhabungsgeräten und Maschinen	• 200 lx als mittlere Beleuchtungsstärke mit einer Gleichmäßigkeit von $U_0 = 40$¹ • Farbwiedergabeindex $R_a = 80$ und eine Blendungsbegrenzung von $R_{UGL} = 25$
Gebäude für Nutztiere	• 50 lx als mittlere Beleuchtungsstärke mit einer Gleichmäßigkeit von $U_0 = 40$ • Farbwiedergabeindex $R_a = 40$
Ställe für kranke Tiere oder Kälber	• 200 lx als mittlere Beleuchtungsstärke mit einer Gleichmäßigkeit von $U_0 = 60$ • Farbwiedergabeindex $R_a = 80$ und eine Blendungsbegrenzung von $R_{UGL} = 25$
Futterzubereitung; Molkerei; Reinigung der Geräte	• 200 lx als mittlere Beleuchtungsstärke mit einer Gleichmäßigkeit von $U_0 = 60$ • Farbwiedergabeindex $R_a = 80$ und eine Blendungsbegrenzung von $R_{UGL} = 25$

¹ Die Gleichmäßigkeit $U_0 = 40$ bedeutet, dass die dunkelste Stelle auf der betrachteten Fläche mindestens 40 % der mittleren Beleuchtungsstärke erreicht.

Dabei legt die Norm keine bestimmten Lösungen fest. Sie erlaubt es Planern, neue Techniken miteinzubinden und innovative Beleuchtungsanlagen zu berücksichtigen. Die Beleuchtung kann dabei durch Tageslicht, künstliches Licht oder durch eine Kombination von beiden erfolgen. Hauptmerkmale des Lichtklimas sind nachfolgend aufgeführt und in Kapitel 4 definiert:

- Leuchtdichteverteilung
- Beleuchtungsstärke
- Blendung
- Lichtrichtung
- Lichtfarbe

- Farbwiedergabe
- Flimmern
- Tageslicht.

Die ASR sowie die DIN EN 12464-1 sind in vielen Inhalten ähnlich oder sogar gleichlautend. Ein Gutachten der Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) bewertet, dass die kleinen Abweichungen ohne wesentlichen Aufwand für die betriebliche Praxis wechselseitig angeglichen werden können. Als lichttechnische Kenngrößen werden im Bereich der Landwirtschaft für die Tätigkeiten, Arbeitsplätze zum Beschicken und Bedienen von Förder- einrichtungen und Maschinen, für Behandlungsstände der Tiere sowie für Melkstände 200 lx als Mindestwert der mittleren Beleuchtungsstärke aufgeführt. Zudem werden Vorgaben zur Farbwiedergabe sowie zur Blendung benannt.

Darüber hinaus werden an den Raum, in dem die Aufgabe oder Tätigkeit ausgeführt wird, zusätzliche Anforderungen hinsichtlich der Wahrnehmung von Objekten und Personen in diesem Raum gestellt. Alle aufgeführten Angaben beziehen sich auf übliche Annahmen zu Sehbedingungen. Liegen erschwerte Bedingungen vor (z. B. Aufgabendetails ungewöhnlich klein oder kontrastarm, lange Ausführung der Arbeit, wenig Tageslicht usw.) wird eine Erhöhung um eine Stufe in der Beleuchtungsstärkeskala empfohlen (eine Stufe entspricht bspw. der Erhöhung von 20 auf 30 lx).

4. Lichttechnische und physikalische Grundlagen

Licht ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung und ist definiert in einem Wellenlängenbereich von 380–780 nm. Dieser sogenannte VIS-Bereich (visible Spectrum, s. Abbildung 1), der zwischen der UV-Strahlung und der Infrarot-Strahlung liegt, ruft beim Menschen ein Hell- und Farbempfinden hervor und gilt somit allgemein für das menschliche Auge als sichtbar.

Die Grenzen des sichtbaren Spektralbereichs sind jedoch nicht scharf zu ziehen – die Übergänge sind fließend. Zudem verändern sich die Sehfähigkeit und die Lichtempfindlichkeit aufgrund von Alterungsprozessen des menschlichen Auges über die Lebenszeit hinweg. Insbesondere für den kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums (Blaulicht) nimmt die Durchlässigkeit der Linse mit dem Alter ab. Es ist zu beachten, dass sich i. d. R. alle lichttechnischen Angaben und Kenngrößen rein auf das Sehvermögen des Menschen beziehen. Bei den meisten Säugetieren sind der sichtbare Bereich und der Aufbau des Auges vergleichbar zum Menschen. Daher

können zumindest die Alterungsprozesse auch für das Auge der Säugetiere angenommen werden. Insbesondere der Sehbereich beim Geflügel unterscheidet sich deutlich von dem des Menschen (siehe Kapitel 2). Ein lichttechnisches Empfinden des Menschen (z. B. mit Helligkeit und Farbeindruck) kann somit nicht 1:1 auf das Tier, besonders nicht auf das Geflügel, übertragen werden.

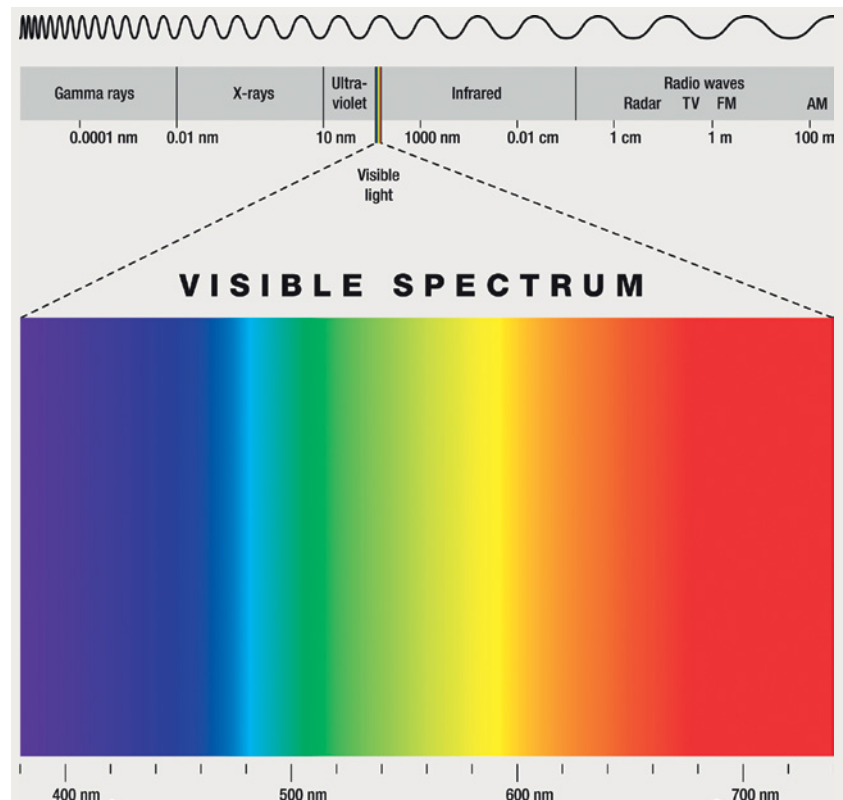


Abbildung 1: Für den Menschen sichtbarer Bereich (VIS) des elektromagnetischen Spektrums (© StanGe Hochschule Osnabrück, Lizenz erworben von iStock 2022)

4.1 Strahlungsphysikalische Kenngrößen

Strahlungsphysikalische Kenngrößen werden auch als radiometrische Größen bezeichnet und dienen der quantitativen Beschreibung elektromagnetischer Strahlung, d. h. der Menge und Stärke von Licht werden Messwerte zugrunde gelegt. Mit Hilfe dieser Kenngrößen ist die allgemeine und nicht nur die auf das menschliche Sehvermögen begrenzte Bewertung von Lichtquellen, die Planung von Beleuchtungssystemen und die Analyse von Licht-Materie-Wechselwirkungen möglich. Im Wesentlichen sind hierzu die vier Kenngrößen Strahlungsfluss, Strahlstärke, Bestrahlungsstärke sowie Strahldichte zu nennen.

- Der Strahlungsfluss Φ beschreibt die gesamte emittierte Strahlungsleistung in alle Richtungen pro Zeiteinheit (Energienmenge) und wird mit der Einheit Watt [W] angegeben. Als praktisches Beispiel ist hier eine Glühlampe mit 60 W elektrischer Anschlussleistung zu benennen. Diese emittiert, im sichtbaren sowie im infraroten Spektralbereich, mit einem Strahlungsfluss von etwa 57 W.
- Die Strahlstärke I wird in Watt pro Steradian [W/sr] angegeben und definiert die Intensität der Quelle bezogen auf den „Abstrahlwinkel“. Diese ist der Quotient aus dem emittierten Strahlungsfluss einer Punktlichtquelle bezogen auf einen dazugehörigen Raumwinkel. Bei einem Laserpointer ist bspw. der Abstrahlwinkel sehr klein und hierdurch die Strahlstärke sehr hoch.
- Die Bestrahlungsstärke E ist wiederum der unabhängig von einer Richtung auf eine Fläche treffende Strahlungsfluss Φ . Mit der Einheit W/m^2 berechnet sich diese Größe als Quotient aus dem Strahlungsfluss Φ und einer definierten Fläche A . Die mittlere Bestrahlungsstärke der Sonne auf die Erdoberfläche an einem klaren Tag beträgt etwa $1.000 W/m^2$. Dies bedeutet, dass auf jeden Quadratmeter ein Strahlungsfluss von 1.000 Watt trifft.
- Die vierte Kenngröße ist die Strahldichte L . Diese wird mit der Einheit $W/(sr \cdot m^2)$ angegeben und berechnet sich als Quotient des abgestrahlten Strahlungsflusses zum Produkt aus Flächenelement und Raumwinkel. Diese Größe ist entscheidend für die visuelle Wahrnehmung und die Bewertung von Leuchtdichten, da erst mit dieser Kenngröße physikalisch objektiv die ankommende Lichtmenge beschrieben werden kann.

Als Beispiel kann hier das Tageslicht auf einem See betrachtet werden. Steht die Sonne recht tief, entsteht auf der Wasseroberfläche durch eine gerichtete Reflexion oftmals ein heller Lichtfleck. Die Bestrahlungsstärke der Sonne (Strahlungsfluss pro Fläche bzw. m^2) ist in der weiten Umgebung identisch ($1.000 W/m^2$). Aber dort, wo die Strahlung auf Materie trifft und mit dieser interagiert (gebündelt und reflektiert wird) wirkt es vom Helligkeitseindruck wesentlich intensiver.

Die Interaktion zwischen Licht und Materie wird bei den optischen Eigenschaften in die drei wesentlichen Prozesse (Wechselwirkungen) Absorption, Transmission und Reflexion unterteilt. Bei der **Absorption** wird ein Teil des Lichts von der Materie aufgenommen und in andere Energieformen, meist Wärme, umgewandelt. Materialien mit hoher Absorption erscheinen dunkel oder schwarz. Bei der **Reflexion** wird Licht an der Oberfläche eines Materials zurückgeworfen. Glatte, glänzende Oberflächen wie Spiegel reflektieren Licht gerichtet, während raue Oberflächen es diffus streuen. Bei der **Transmission** kann Licht durch ein Medium hindurchgelangen. Transparente Materialien wie Glas oder Wasser lassen große Teile des Lichts weitgehend passieren, wobei die Intensität je nach Dicke und Materialeigenschaften abnimmt. Das bedeutet auch, dass die verschiedenen Materialien von Lichtöffnungen und Fenstern im Stall unterschiedliche Filtereigenschaften haben. Zum Beispiel lassen Materialien wie einfaches Fensterglas UV-Strahlung hindurch, wohingegen Polycarbonat UV-Strahlung aus dem Lichtspektrum herausfiltert.

4.2 Lichttechnische Kenngrößen

Vergleichbar zu den strahlungsphysikalischen Kenngrößen (Strahlungsfluss, Strahlstärke, Bestrahlungsstärke, Strahldichte) sind vier lichttechnische (photometrische) Grundgrößen aufzuführen. Namentlich sind dies Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke sowie Leuchtdichte (siehe Abbildung 2).

Der Lichtstrom Φ mit der Einheit Lumen [lm] beschreibt vergleichbar zum Strahlungsfluss, die mit dem menschlichen Sehvermögen gewichtete Strahlungsleistung, d. h. es wird gemessen, wie viel Licht von einer Lampe zu allen Seiten abgegeben wird, welches der durch den Menschen wahrgenommenen Helligkeit entspricht. Zur Gewichtung wird hierbei das photometrische Strahlungsäquivalent K_M mit 683 lm/W sowie die $V(\lambda)$ -Funktion genutzt. Das photometrische Strahlungsäquivalent beschreibt, wie viele abgegebene Lumen auf jedes Watt der abgegebenen elektromagnetischen Strahlungsleistung der Lichtquelle entfallen. Die $V(\lambda)$ -Funktion beschreibt die spektrale Hellempfindlichkeit

des menschlichen Auges. Dies ist notwendig, da gleiche spektrale Strahldichten verschiedener Wellenlängen unterschiedlich hell wirken (vgl. Abbildung 3). Diese spektrale Hellempfindlichkeit des Auges wurde von der CIE (Internationale Beleuchtungskommission) für den 2° und 10° Normalbeobachter gemessen und standardisiert. Die $V(\lambda)$ -Kurve gilt dabei nur für das Helligkeitssehen bei einer Adaptationsleuchtdichte (ugs. Anpassung Auge an hell/dunkel) $L > 30 \text{ cd/m}^2$, bei der die Zapfen auf der Netzhaut aktiv sind. Die $V'(\lambda)$ -Kurve gilt für einen Leuchtdichtebereich $L < 0,003 \text{ cd/m}^2$, bei dem die Stäbchen als wirksame Empfänger angesprochen werden. Im Leuchtdichtebereich $0,003 \text{ cd/m}^2 < L < 30 \text{ cd/m}^2$, dem mesopischen Bereich (Dämmersehen), verschiebt sich die spektrale Empfindlichkeitskurve mit kleiner werdender Adaptationsleuchtdichte auch zu kleineren Wellenlängen. Das Maximum der $V(\lambda)$ -Funktion liegt beim helladaptierten Auge des Menschen (photopischer Bereich) bei 555 nm, für das dunkeladaptierte Auge des Menschen (skotopischer Bereich) bei 507 nm. Diese Verschiebung ist auch als „Purkinje-Effekt“ bekannt.

Vergleichbar zum zuvor beschriebenen Beispiel mit einer 60 W Glühlampe emittiert diese einen Lichtstrom von etwa 900 lm. Eine moderne LED-Leuchte, die im größten Anteil des für den Menschen sichtbaren Spektrums emittiert, benötigt für einen vergleichbaren Lichtstrom von 900 lm nur 10 W elektrische Anschlussleistung.

Die **Lichtstärke** ist die photometrische Größe, die den Lichtstrom beschreibt, der von einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung innerhalb eines Raumwinkels ausgestrahlt wird. Diese wird in Candela [cd] gemessen, wobei ein Candela einem Lumen pro Steradian [lm/sr] entspricht. Eine leistungsstarke LED-Taschenlampe kann mit einem fokussierten Lichtstrahl eine Lichtstärke von über 1.000 cd emittieren.

Die wohl bekannteste und meistverwendete lichttechnische Grundgröße ist die **Beleuchtungsstärke E**. Angegeben wird diese in der Einheit lux [lx] bzw. [lm/m^2]. Vergleichbar zur Bestrahlungsstärke gibt auch die Beleuchtungsstärke nur an, wie viel Lichtstrom auf einer Fläche ankommt. Zur Bewertung eines wahrnehmbaren Helligkeitseindrucks wird die Leuchtdichte, die die Interaktion mit Materie (Reflexion, Absorption und Transmission) beinhaltet, benötigt.

Die vierte lichttechnische Grundgröße ist die **Leuchtdichte**. Durch die Interaktion mit Materie ist dies die einzige Kenngröße, die vom Auge wahrgenommen wird und den Helligkeitseindruck bestimmt. Gemessen wird die Leuchtdichte in Candela pro Flächeneinheit (cd/m^2). Die Leuchtdichte liefert somit als einzige Kenngröße detaillierte Information über die Orts- und Richtungsabhängigkeit des von einer Lichtquelle abgegebenen Lichtstroms. Die

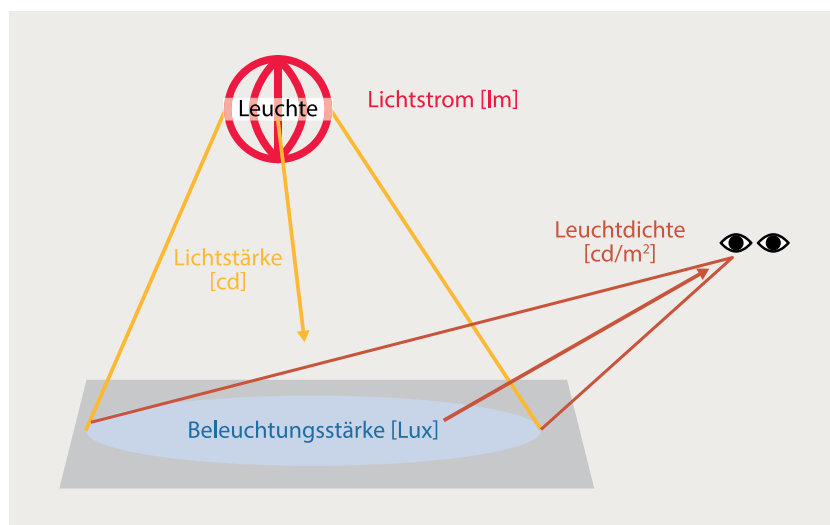


Abbildung 2: Photometrische Kenngrößen Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte (© StanGe Hochschule Osnabrück)

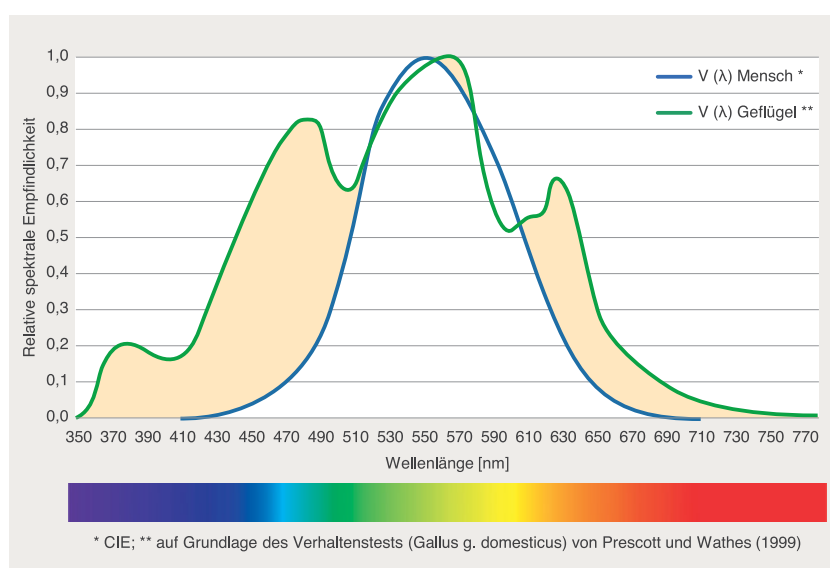


Abbildung 3: Spektrale Hellempfindlichkeit im Unterschied zwischen Mensch und Geflügel (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Leuchtdichte einer Fläche bestimmt dabei, mit welcher Flächenhelligkeit das Auge die Fläche wahrnimmt, und hat von allen photometrischen Größen den unmittelbarsten Bezug zur optischen Sinneswahrnehmung. In der Außenbeleuchtung wird die Leuchtdichte daher oftmals als Planungsgröße verwendet.

4.3 Lichtfarbe und Farbwiedergabe

In welcher Farbe eine Fläche (z. B. Futter oder Artgenosse) erscheint, hängt von der spektralen Zusammensetzung des auf den Gegenstand fallenden Lichts, der spektralen Zusammensetzung des vom Gegenstand reflektierten Lichts und von den individuellen Eigenschaften des Sehsinns des Betrachters ab. So erscheint beispielsweise ein Maiskorn im Futter in der Farbe Gelb, wenn das darauf fallende Licht die Farbe Gelb im Spektrum enthält, es gelb reflektiert und der Betrachter das Gelb als Farbe feststellen kann (vgl. Abbildung 4).

Eine Fläche erscheint weiß, wenn sie alle Lichtfarben reflektiert, und schwarz, wenn sie alle absorbiert. Ein Artgenosse mit weißem Fell oder Gefieder erscheint also nur dann als weiß, wenn alle Lichtfarben im sichtbaren Lichtspektrum enthalten sind. Im Auslauf mit natürlichem Tageslicht erscheint bspw. das Fell oder Gefieder für den Menschen und die Tiere weiß, weil im natürlichen Tageslicht alle Lichtfarben enthalten sind. Da für das Geflügel auch ein Teil der UV-A-Strahlung wahrnehmbar ist, reflektiert das Gefieder der Artgenossen dieses unter natürlichem Licht ebenfalls. Wenn in der künstlichen Beleuchtung im Stall kein UV-A-Anteil enthalten ist und das Material der Lichtöffnungen UV-A-Licht herausfiltert, ist es möglich, dass Geflügel ihre Artgenossen im Stall anders wahrnehmen als im Auslauf oder einfallendes natürliches Tageslicht von Auslaufluken (siehe Abbildung 5).

Sichtbares Licht für den Menschen

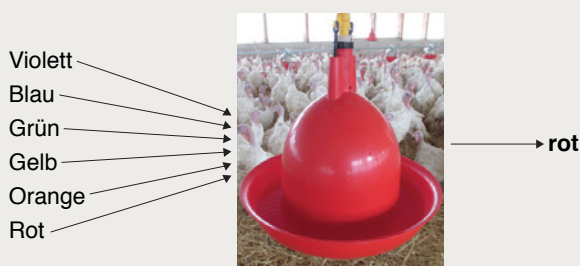
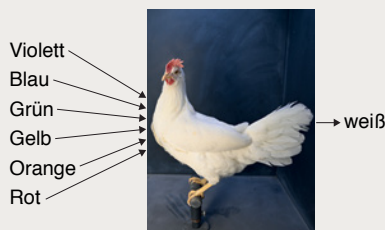


Abbildung 4: Farbwahrnehmung des Menschen am Beispiel einer Tränke (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Sichtbares Licht für den Menschen



Sichtbares Licht für das Geflügel

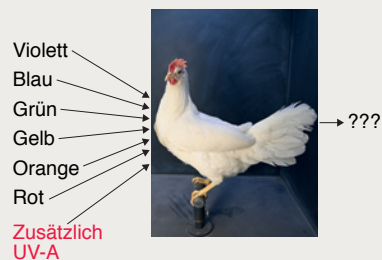


Abbildung 5: Unterschiede in der Farbwahrnehmung zwischen Mensch und Tier am Beispiel eines Huhns (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Um die Lichtfarbe und die Möglichkeit der Farbwiedergabe von Lichtquellen abzubilden, gibt es unterschiedliche Maßzahlen. Dazu zählen die Farbtemperatur (T_{cp} in der Einheit Kelvin) und der Farbwiedergabeindex (Ra bzw. CRI). Diese wurden für die menschliche Wahrnehmung entwickelt und können nicht 1:1 auf das Sehen von Nutztieren übertragen werden. Hersteller sind nach DIN EN 12464-1 dazu angehalten, verifizierte Daten zu diesen beiden Maßzahlen bereitzustellen. Nicht selten wird auch mit diesen geworben oder argumentiert.

Die Farbtemperatur (T_{cp} , engl. Correlated Color Temperature, kurz CCT) soll eine Aussage über die Empfindung der Lichtfarbe einer Lichtquelle für den Menschen geben. Für die Festsetzung dieser Farbskala wurde ein sogenannter schwarzer Körper (auch schwarzer Strahler oder planckscher Strahler genannt) als Vergleichsobjekt genutzt. Dieser nimmt bei bestimmten Temperaturen immer dieselben Farben an. Die Farben erstrecken sich bei niedrigen Temperaturen von dunkelrot über rot, orange, gelb und weiß sowie bei sehr hohen Temperaturen bis hellblau. So lassen sich den Lichtfarben von Lichtquellen bei Übereinstimmung mit dem schwarzen Körper dessen Temperaturen in der Einheit Kelvin [K] zuordnen. Künstliche Lichtquellen wie Glühlampen haben in der Regel eine Farbtemperatur von 2.800 K, Leuchtstoffröhren können sich von 2.800 bis 8.000 K erstrecken und LEDs von etwa 2.800 bis weit über

10.000 K. Natürliche Lichtquellen wie das Tageslicht variieren je nach Tageszeit und Bewölkung von 5.500 bis 8.000 K. Die DIN EN 12464-1 unterscheidet dabei in drei Gruppen: Tageslichtweiß (> 5.300 K), Neutralweiß (3.300 K bis 5.300 K) und Warmweiß (< 3.300 K). Die Farbtemperatur einer Lichtquelle sagt nur etwas über die farbliche Erscheinung des Lichtes aus, nicht aber über die Farbwiedergabeeigenschaften oder die spektrale Zusammensetzung des Lichtes. Die Verwendung dieses Parameters ist für den menschlichen Gebrauch gedacht. Die Wahl der Lichtfarbe ist subjektiv und wird je nach persönlichen Präferenzen der Menschen unterschiedlich empfunden. Die Farbtemperatur bietet keine Garantie dafür, dass zwei Leuchtmittel mit der gleichen Farbtemperatur dasselbe Lichtspektrum emittieren (vgl. Abbildung 6). Auch zwei Leuchtmittel desselben Herstellers und Lampentyps können unterschiedliche Lichtspektren emittieren, wenn die Leuchtmittel z. B. aus unterschiedlichen Chargen stammen.

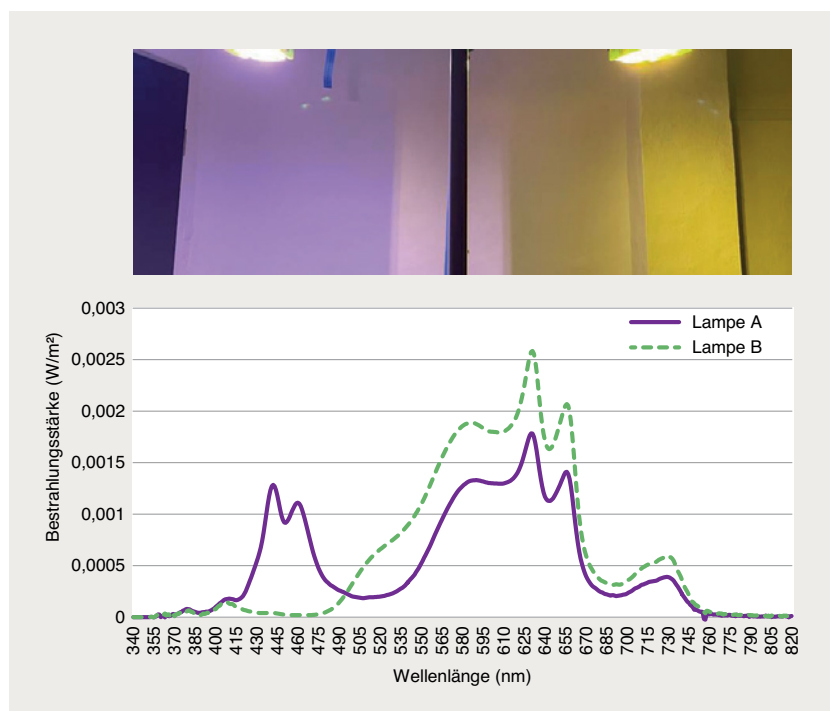


Abbildung 6: Beispiel für gleiche Farbtemperatur bei unterschiedlichem Lichtspektrum (links: Lampe mit Einstellung A, rechts: Lampe mit Einstellung B); oben abgebildet die dazugehörigen spektralen Verlaufskurven mit Peaks in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen des sichtbaren Lichts (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Um einen natürlichen Farbeindruck eines Gegenstandes zu erhalten, muss im Licht, welches den Gegenstand beleuchtet, das ganze sichtbare Spektrum des Betrachters vorhanden sein. Sobald eine Farbe im Spektrum fehlt, kann ein Gegenstand, der diese Farbe aufweist, farblich nicht zugeordnet werden und würde für einen Menschen grau erscheinen. Der Farbwiedergabeindex R_a (engl. Color Rendering Index, kurz CRI) soll genau dieses Phänomen beschreiben und eine Aussage über die Farbwiedergabemöglichkeiten von Lichtquellen ermöglichen. Er gibt an, wie stark sich die Farbe eines Objektes bei der Beleuchtung mit einer bestimmten Lichtquelle ändert. Als Referenz wird je nach erforderlicher Farbtemperatur der schwarze Körper oder das natürliche Tageslicht herangezogen. Je nach Vorgehensweise und Norm werden beispielsweise 8 oder 14 Testfarben verwendet und unter den Lichtquellen verglichen. Ein Farbwiedergabewert von 100 bedeutet keine Abweichung zwischen der getesteten Lichtquelle und der Referenz. Je niedriger der R_a einer Lichtquelle ist, desto größer sind die Abweichungen. Für Innenräume, in denen Menschen sich längere Zeit aufhalten, sollen Lichtquellen mit einem $R_a \geq 80$ verwendet werden. Für Rind, Schwein und Geflügel gibt es bisher keine Ziel- oder Grenzwerte für den R_a . Eine Übertragung der Grenzwerte für den Menschen auf die Tiere ist nicht möglich, da nur das für den Menschen sichtbare Lichtspektrum berücksichtigt wird.

4.4 Lichtflackern/-flimmern

Lichtflimmern, -flackern oder -flickern sind Begriffe, die einen sichtbaren Effekt von Schwankungen der Lichtintensität oder spektralen Verteilung im Zeitverlauf beschreiben. Die Begriffe werden oft synonym verwendet, beschreiben aber genaugenommen unterschiedliche Effekte. Flimmern bezeichnet regelmäßige (periodische), schnelle Helligkeitsschwankungen (z. B. durch Netzspannung oder die Betriebsweise von LEDs). Flackern hingegen beschreibt unregelmäßige, pulsierende Schwankungen (z. B. bei einer Kerzenflamme oder einem Wackelkontakt). Flicker ist ein englischer Begriff, der allgemein für beide Effekte genutzt wird. Der Fachbegriff für Lichtflimmern/-flackern lautet „zeitliche Lichtmodulation“ (engl. temporal light modulation, kurz TLM). Ob ein Individuum eine Lichtquelle als flackernd oder flimmernd wahrnimmt, also ob TLM wahrnehmbar sind, hängt mit dem Sehsinn des jeweiligen Individuums zusammen. Die Grenze, ab wann einzelne Lichtreize als kontinuierlich und nicht mehr flimmernd wahrgenommen werden können, nennt sich Flimmerfusionsfrequenz (engl. critical fusion frequency, kurz CFF). Das Wahrnehmen flimmernder Lichtquellen hängt jedoch nicht allein von der Frequenz der Lichtmodulation ab. Auch die Helligkeit der Umgebung hat einen Einfluss darauf, ab wann Lichtreize als kontinuierlich wahrgenommen

men werden können. Mit abnehmender Lichtintensität wird auch die Flimmer-Fusions-Frequenz herabgesetzt, d. h. das Risiko für wahrgenommenes Flimmern wird reduziert.

Häufig werden für die Bewertung von TLM die Modulationstiefe (engl. Modulation Depth, kurz MD, wird auch Flickerprozent oder Modulationsgrad genannt) und der Flickerindex herangezogen. In Abbildung 7 ist dargestellt, wie diese berechnet werden. Allerdings sind diese beiden Parameter für die Bewertung der Wirkung von moduliertem Licht auf den Menschen und das Tier isoliert betrachtet nur bedingt geeignet, da die Modulationsfrequenz keine Berücksichtigung findet. Jedoch liegt der Vorteil in der Berücksichtigung der Kurvenform der Lichtmodulation, was es zu einer objektiven Messgröße losgelöst von der menschlichen visuellen Wahrnehmung macht.

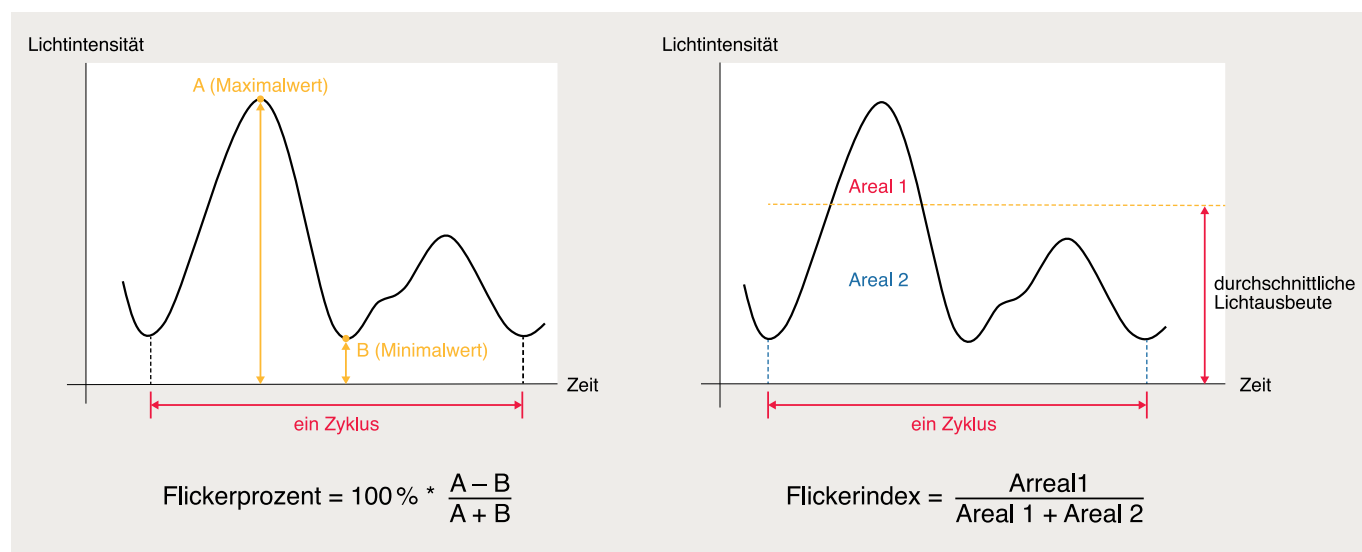


Abbildung 7: Berechnung von Flickerprozent und Flickerindex (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Seit 2021 gelten erstmals Mindestanforderungen an die Lichtmodulation von Lichtquellen (EU 2021/341). Diese beziehen sich auf die Parameter P_{st}^{LM} und SVM.

P_{st}^{LM} steht für Perceptibility Short Term Light Modulation und soll das für den Menschen sichtbare Flimmern im Frequenzbereich 0,3 bis 80 Hz erfassen. SVM steht für Stroboscopic Visibility Measure und soll Stroboskopeffekte bewerten. Dies sind visuelle Erscheinungen, die im Zusammenhang mit bewegten und rotierenden Objekten auftreten. Ein P_{st}^{LM} oder ein SVM von 1 bedeutet, dass der beobachtete Effekt gerade an der Wahrnehmungsschwelle des Menschen liegt. Die Hälfte der normalen Beobachter (Menschen) könnte den entsprechenden Effekt wahrnehmen und die andere Hälfte nicht mehr. Die Mindestanforderungen für Leuchtmittel nach der EU Öko-design-Verordnung sollen deshalb eine $P_{st}^{LM} \leq 1$ und einen $SVM \leq 0,4$ erfüllen (EU 2021/341). Da sich der P_{st}^{LM} auf einen Frequenzbereich unter 80 Hz beschränkt und sich auch der SVM nur auf den Sehsinn von Menschen bezieht, eignen sich diese Mess- und Bewertungsverfahren nur bedingt für die Wahrnehmbarkeit bei Rind und Schwein, nicht aber für die Bewertung der Wahrnehmbarkeit von Lichtmodulation durch Geflügel. In der aktuellen Diskussion werden zusätzlich modellbasierte Bewertungsgrößen wie die Avian Flicker Visibility Metric (AFVM) herangezogen. Diese Ansätze befinden sich jedoch weiterhin im Forschungsstatus und sind insbesondere für Geflügel bislang nicht ausreichend experimentell validiert. Die wissenschaftliche Bewertung der Flickerwahrnehmung bei Vögeln basiert derzeit überwiegend auf verhaltensbasierten Methoden, beispielsweise der Bestimmung der Flicker Fusion Frequency (FFF/CFF). Eine direkte Validierung von AFVM oder vergleichbaren Modellen fehlt bislang, weshalb eine unkritische Anwendung dieser Ansätze zu Fehlinterpretationen führen kann.

5. Lampen und Leuchtmittel

Leuchtmittel lassen sich in Temperaturstrahler, Entladungslichtquellen und Halbleiterlichtquellen (LED) einteilen. Temperaturstrahler wie Glüh- und Halogenlampen spielen heute nur noch eine untergeordnete Rolle. Neben der im Vergleich zu LED-Lampen geringen Lichtausbeute mit etwa 10 lm/W bis 25 lm/W ist auch die Nutzungsdauer mit

rund 1.000 bis 5.000 Betriebsstunden vergleichsweise kurz. Zudem besteht bei Geflügel das Risiko für wahrnehmbare zeitliche Lichtmodulation (TLM), deren Flimmerfusionsfrequenz bei ca. 120 Hz liegt. Glühlampen werden mit der in Europa üblichen Netzspannung von 50 Hertz (Hz) betrieben und flackern durch die physikalische Funktionsweise des Wechselstroms mit einer Frequenz von 100 Hz. Die klassischen Leuchtstofflampen funktionieren mit konventionellen Vorschaltgeräten typischerweise bei 100 Hz. Für die menschliche Wahrnehmung sind sowohl Glühlampe als auch Leuchtstofflampe als flimmerfrei zu bewerten, nicht aber für das Geflügel (vgl. Kapitel 2).

Entladungslichtquellen wie Leuchtstofflampen erzeugen Licht dagegen nicht über eine erhitzte Wolframwendel, sondern über einen Entladungsvorgang ionisierter Gase in einem Glasrohr. Zusammensetzung und Druck des Gasgemischs beeinflussen dabei unmittelbar das resultierende Lichtspektrum. Gegenüber Temperaturstrahlern stellen sie einen deutlichen technologischen Fortschritt dar und erreichen Lichtausbeuten bis etwa 120 lm/W sowie Lebensdauern bis zu 50.000 Stunden. Heute stellen LED-Systeme (Light Emitting Diodes) den Standard in der Stallbeleuchtung dar. Weiße LEDs können unter Idealbedingungen auf Bauteilebene mehr als 250 lm/W erreichen und sind bei ausreichender Wärmeableitung grundsätzlich sehr langlebig. Lebensdauerangaben wie L80/B10 @ 50.000 h bedeuten, dass nach 50.000 Betriebsstunden mindestens 90 % der Leuchten noch mindestens 80 % ihres ursprünglichen Lichtstroms liefern.

Bei der Planung neuer Beleuchtungssysteme sowie bei Stallneu- oder Umbauten ist eine fachkundige Lichtplanung sinnvoll, um spätere Probleme hinsichtlich Lichtverteilung, Blendung, Dimmung oder Energieeffizienz zu vermeiden.

Beim Austausch älterer Lampentechnik erscheinen sogenannte Retrofit-Produkte häufig attraktiv, also LED-Lampen für bestehende Fassungen oder Alt-Leuchten. Der Einsatz solcher Systeme ist jedoch kritisch zu bewerten. Insbesondere in geschlossenen Altgehäusen können thermische Überlastungen auftreten, die die Lebensdauer der LED deutlich reduzieren oder im Extremfall zu Brandrisiken führen können. Zusätzlich sind Aspekte der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), der Normenkonformität sowie mögliche Garantieeinschränkungen zu berücksichtigen. Retrofit-Lösungen sind deshalb nur dann sinnvoll, wenn Vorschaltgeräte, Steuerungssysteme und thermische Umgebung nachweislich kompatibel sind. Andernfalls empfiehlt sich die Umstellung auf vollständige Systemleuchten mit abgestimmtem LED-Treiber. Sind die elektrischen und thermischen Komponenten kompatibel, rückt die räumliche Lichtwirkung in den Fokus. Die Leuchte selbst, also Gehäuse, Optik und Abdeckung, bestimmt maßgeblich die Lichtverteilung und damit Gleichmäßigkeit, Schattenbildung und Blendung im Stall. Gleichzeitig muss die Lichttechnik an die Stallgeometrie angepasst werden, um die erforderliche Beleuchtungsstärke in den relevanten Tierbereichen zu erreichen.

Die tatsächlich erreichbare Beleuchtungsstärke im Tierbereich wird physikalisch durch Transmission, Reflexion und Absorption beeinflusst. Eine hohe Transmission der Leuchtenabdeckung ist dabei anzustreben, da möglichst viel Licht aus der Leuchte austreten soll. Helle, matte Stalloberflächen erhöhen die Reflexion und verbessern dadurch die Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung. Verschmutzungen sowie gealterte oder trübe Abdeckungen erhöhen dagegen die Absorption und führen zu einer messbaren Reduktion des Lichtstroms.

Entscheidend ist jedoch immer das Gesamtsystem aus LED-Chip, Treiber (Betriebsgerät) und Leuchtengehäuse. Insbesondere in landwirtschaftlichen Betrieben wirken Temperatur, Feuchtigkeit, Staub, Schadgase sowie Reinigungschemikalien unmittelbar auf die Lebensdauer der Systeme ein. Deshalb sind beständige Materialien, geeignete Dichtungen sowie passende Schutzarten zwingend erforderlich. Für Stallanwendungen werden häufig Schutzarten wie IP65 oder IP66, Schutzklasse II sowie Stoßfestigkeiten von mindestens IK08, besser IK10 empfohlen.

Zusätzlich ist eine hohe Überspannungsfestigkeit des Treibers erforderlich. Insbesondere lange Leitungen, große elektrische Verbraucher wie Ventilatoren oder Fütterungsanlagen sowie häufige Schaltvorgänge können in landwirtschaftlichen Stromnetzen Spannungsspitzen verursachen. Daher werden Überspannungsfestigkeiten von mindestens 4 kV, besser ≥ 6 kV empfohlen.

Der Widerstand des Lichtsystems gegenüber Umwelteinflüssen beeinflusst unmittelbar die Lichtqualität im Stall. Geringe Farbabweichungen zwischen einzelnen Leuchten sorgen für ein gleichmäßiges Lichtbild. Die Bewertung erfolgt häufig über den SDCM-Wert („MacAdam“). Werte von ≤ 3 gelten für das menschliche Auge als nahezu identisch wahrnehmbar.

Für Auswahl und Einsatz der Systeme sind zudem relevante Normen und Zertifikate zu berücksichtigen. Dazu zählen unter anderem Anforderungen an elektrische Sicherheit, Schutz gegen Staub und Wasser, Stoßfestigkeit, elektromagnetische Verträglichkeit sowie photobiologische Sicherheit. Zusätzlich sollten Hersteller Nachweise zur Beständigkeit gegenüber Ammoniak und Reinigungsmitteln sowie Angaben zur zulässigen Umgebungstemperatur und Dimmfähigkeit der Leuchten bereitstellen (bspw. auch DLG-Prüfung von Lampen und Leuchtmitteln).

In Bestandsanlagen kommen häufig ältere Dimmertechniken wie Phasenanschnitt oder Phasenabschnitt zum Einsatz. Moderne LED-Treiber sind damit jedoch oft nicht vollständig kompatibel. Dies kann zu Flackern, instabilem Dimmverhalten oder einer reduzierten Lebensdauer der Leuchten führen (siehe Abbildung 8).

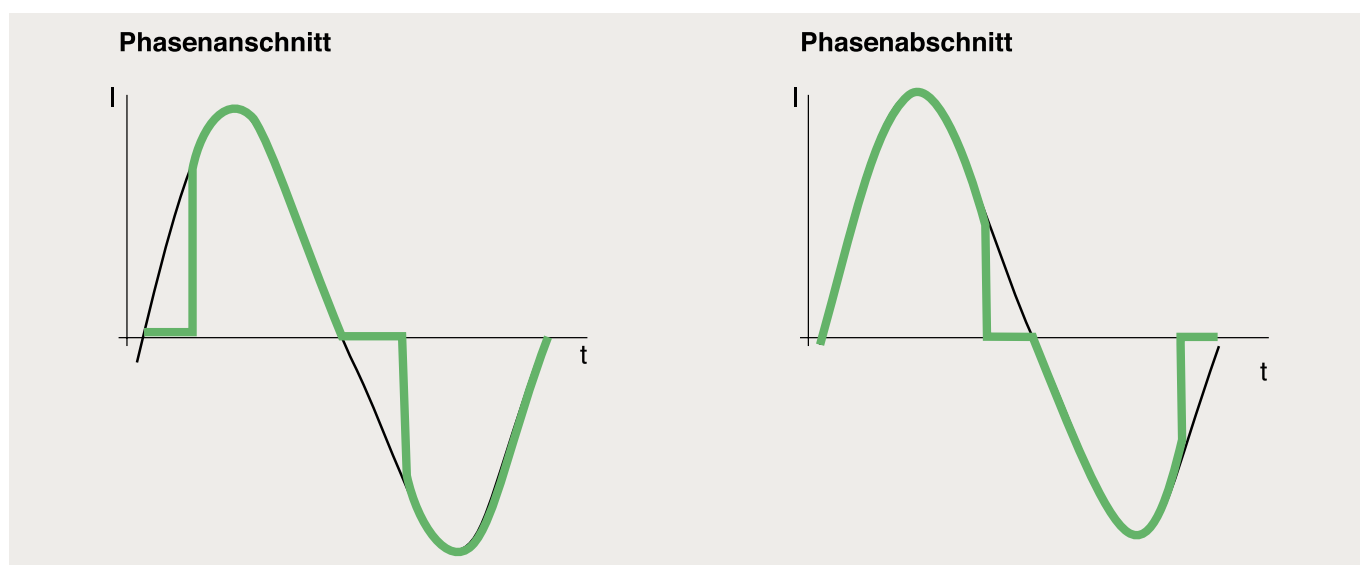


Abbildung 8: Vergleich der beiden älteren Dimmertechniken Phasenanschnitt (links) und Phasenabschnitt (rechts). Dargestellt ist, wie Teile der Wechselspannung zur Helligkeitsregelung abgeschnitten werden. Diese Verfahren werden häufig in älteren Stallanlagen eingesetzt, sind jedoch nicht immer mit modernen LED-Treibern kompatibel (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Im Gegensatz zu älteren Dimmertechniken nutzen moderne LED-Systeme meist entweder eine Stromregelung (analoges Dimmen; siehe Abbildung 9) oder die Pulsweitenmodulation (PWM) zur Helligkeitssteuerung. Bei einer Stromregelung wird der Strom zur LED kontinuierlich reduziert. Dadurch leuchtet die LED dauerhaft, jedoch mit geringerer Helligkeit. Bei sehr niedrigen Einstellungen kann es dabei zu ungleichmäßiger Lichtabgabe oder Farbveränderungen kommen. Bei der Pulsweitenmodulation (PWM) bleibt die LED hingegen immer gleich hell, wird jedoch sehr schnell ein- und ausgeschaltet. Die wahrgenommene Helligkeit entsteht durch das Verhältnis zwischen

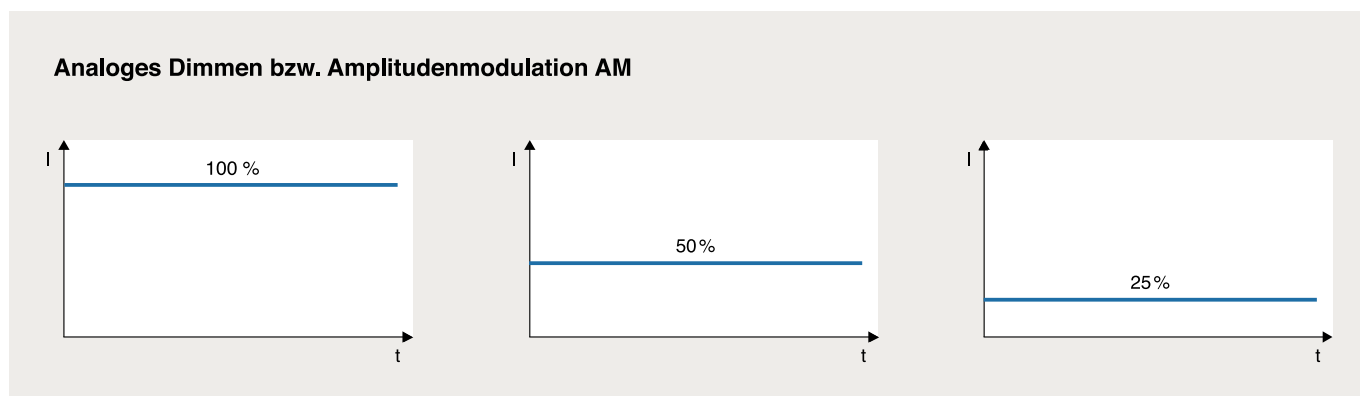


Abbildung 9: Darstellung des analogen Dimmens. Mit sinkendem Dimmwert wird der Strom zur LED kontinuierlich reduziert. Die LED bleibt dauerhaft eingeschaltet, leuchtet jedoch schwächer. Die y-Achse zeigt den Strom (I), die x-Achse den zeitlichen Verlauf (t) (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Ein- und Ausschaltzeit. Bei ungünstiger Einstellung können dabei Flimmererscheinungen auftreten. In der Praxis werden häufig Hybridverfahren eingesetzt, die Stromregelung und PWM kombinieren, um eine stabile Lichtregelung auch bei niedrigen Helligkeiten zu ermöglichen. Der eingestellte Dimmwert (%) ist dabei nicht direkt proportional zur tatsächlichen Beleuchtungsstärke im Stall. Diese hängt zusätzlich von der Stallgeometrie, den Leuchten, der Verschmutzung und den Reflexionen ab. Deshalb dürfen verschiedene Ställe nicht allein anhand des Dimmwerts verglichen werden. Die tatsächliche Beleuchtungsstärke muss immer vor Ort gemessen werden.

PWM erlaubt sehr präzise niedrige Helligkeiten, birgt aber bei ungünstiger Parametrierung Flimmerrisiken (siehe Abbildung 10).

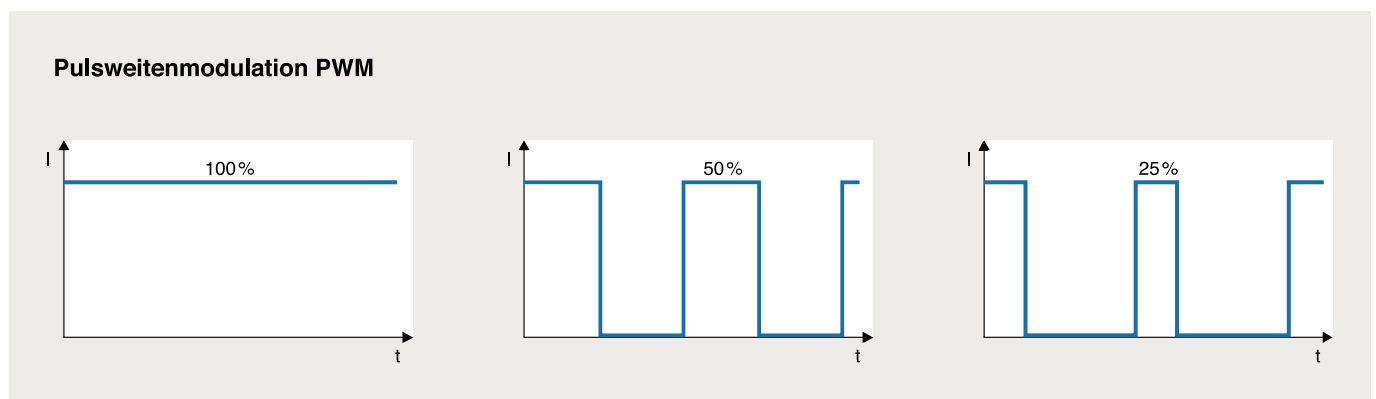


Abbildung 10: Darstellung der Pulsweitenmodulation (PWM). Die LED wird sehr schnell ein- und ausgeschaltet. Die wahrgenommene Helligkeit entsteht durch unterschiedlich lange Ein- und Ausschaltzeiten. Die y-Achse zeigt den Strom (I), die x-Achse den zeitlichen Verlauf (t) (© StanGe Hochschule Osnabrück)

In der Praxis werden daher oft Hybridverfahren (AM + PWM) eingesetzt (siehe Abbildung 11), um die Vorteile beider Ansätze zu kombinieren und ihre Schwächen zu minimieren.

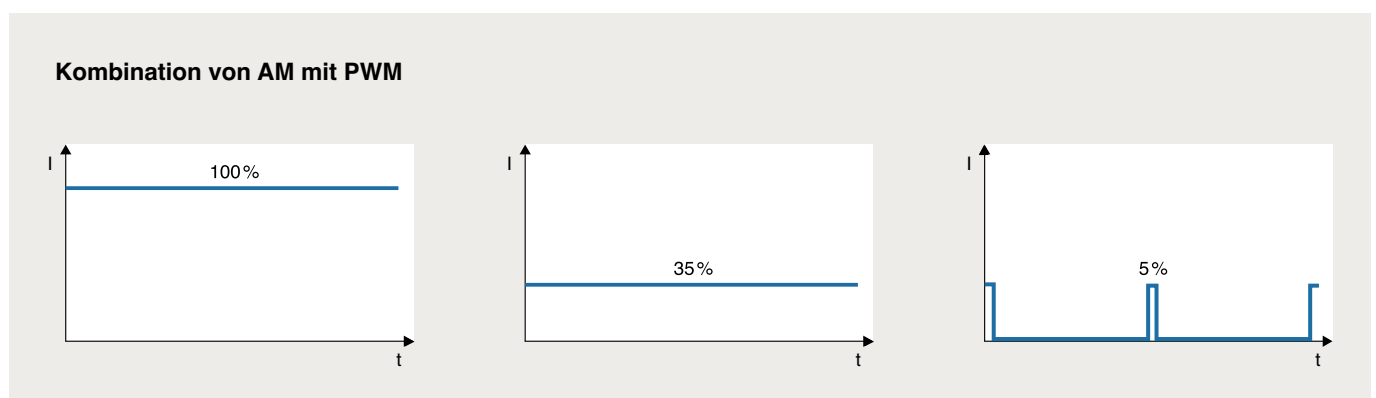


Abbildung 11: Darstellung eines Hybridverfahrens aus analogem Dimmen und PWM. Dabei wird der LED-Strom reduziert und zusätzlich gepulst, um stabile niedrige Helligkeiten mit geringerem Flimmerrisiko zu ermöglichen. Die y-Achse zeigt den Strom (I), die x-Achse den zeitlichen Verlauf (t) (© StanGe Hochschule Osnabrück)

6. Lichttechnische Messung und Bewertung

Für die Durchführung einer lichttechnischen Messung in der Nutztierhaltung gibt es verschiedene Gründe und somit auch unterschiedliche Ansätze in der Quantität sowie Qualität der Durchführung.

In der einfachsten Variante möchte der Tierhalter nur einen schnellen Überblick zur aktuellen Situation erhalten. Mit diesem grundlegenden Überblick kann das eigene Management optimiert und oftmals auch ein bevorstehender Leuchtentausch zeitlich vorgeplant werden.

In einer weiteren Variante kann die (fachliche) Bewertung der Beleuchtungssituation bspw. im Rahmen einer Beratungsleistung, eines Audits oder einer Kontrolle erfolgen. Hier sind höhere Ansprüche an Quantität sowie Qualität zur Mess- und Bewertungsstrategie zu setzen.

In einer dritten Variante erfolgt die Validierung der Lichtsituation nach Inbetriebnahme einer neuen oder teilmoder-
nisierten Beleuchtungsanlage. Hierzu reicht keine einfache Überprüfung der momentanen IST-Situation aus, sondern in dieser Variante sollten repräsentative und nachvollziehbare Messungen über mehrere Lichtstufen/-
programme hinweg wiederholend durchgeführt werden. Ein Ziel ist es dabei auch bspw. besonders kritische (niedrige) Dimmstufen auf Flimmerfreiheit zu testen und Rampenzeiten (Zeit, die das Licht braucht, um von einer Helligkeitsstufe zur nächsten zu wechseln) sowie Gruppensequenzen (programmierte Abläufe, bei denen mehrere Lampengruppen nacheinander oder zeitlich versetzt geschaltet werden) im realen Ablauf zu verifizieren. Alle Einstellungen, Messwerte und Szenen sollten in einem ausführlichen, nachvollziehbaren Protokoll für eine erleichterte Wartung und für eine Sicherung der Gewährleistungsansprüche sowie zur Reproduzierbarkeit der Messung dokumentiert werden. In einem Messprotokoll sollten dabei folgende Punkte aufgeführt werden:

- Datum, Uhrzeit, Messdurchführender
- Objekt- und Lagebezeichnung
- Angaben zur installierten Beleuchtungstechnik (inkl. Prüfzeichen und Konformitätskennzeichnung wie z. B. CE-Kennzeichen, TÜV, DEKRA; Angabe zur Zertifizierung des Herstellungsverfahrens)
- Verwendetes Lichtmessgerät (Typ, Seriennummer, ggf. Kalibrierungsdatum)
- Raumskizze mit Messpunkten
- Messhöhe, Umgebungsbedingungen
- Alle gemessenen Einzelwerte (Tabelle) sowie berechnete Gesamtwerte ($\bar{E}_m$, E_{min} , U_0)

6.1 Messung und Bewertung der Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist, wie zuvor beschrieben, die meistverwendete lichttechnische Grundgröße und gibt an, wie viel Lichtstrom auf einer Fläche ankommt. Der große Vorteil dieser „einfachen“ Grundgröße ist, dass diese verhältnismäßig einfach zu erfassen ist. Zur Erfassung der Beleuchtungsstärke (siehe Kapitel 4.2) in der Stallumgebung sollte ein Beleuchtungsstärkemessgerät (Photometer, ugs. Luxmeter) eingesetzt werden.

Wie jedes Messgerät besitzt auch jedes Photometer eine Messabweichung – die Differenz zwischen dem gemessenen Wert (Anzeigewert) und dem wahren Wert der Messgröße. Zur Bewertung dieser Qualität teilt die DIN 5032-7 Beleuchtungsstärkemessgeräte in folgende Klassen ein (siehe Tabelle 3). Die Angabe zur Qualitätsklasse findet sich in der Betriebsanleitung oder in der Typenbezeichnung.

Tabelle 3: Qualitätsklassen von Beleuchtungsstärkemessgeräten nach DIN 5032-7

Qualitätsklasse	Gerätebeschreibung
Klasse L	Geräte mit höchster Güte für die Anwendung unter Laborbedingungen
Klasse A	Geräte mit hoher Güte
Klasse B	Geräte mit mittlerer Güte
Klasse C	Geräte mit geringer Güte

Einfachste Beleuchtungsstärkemessgeräte der Klasse C dienen nur der groben Orientierung, kosten etwa 50–150 € und weisen eine Genauigkeit von ± 10 –15 % auf. Diese Qualität ist für die einfachste Variante, in der Landwirte bzw. Farmmanager nur einen schnellen Überblick zur aktuellen Situation erhalten möchten, ausreichend. Im Rahmen einer Beratungsleistung, eines Audits oder einer Kontrolle sowie der Validierung der Beleuchtungsanlage ist der Einsatz eines Klasse B Messinstruments mit einer Genauigkeit von ± 5 % für etwa 200–600 € zu empfehlen. Zusätzlich sollte das Messgerät im Rhythmus von 2 Jahren kalibriert werden. Messgeräte der Klasse A weisen eine Genauigkeit von etwa ± 2 –3 % auf, kosten ca. 600–2.500 €, sind oftmals sehr empfindlich gegenüber

Feuchte, Schmutz, Staub sowie Schadgasen aus der Stallumgebung und daher für den intensiven Einsatz in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung eher nicht geeignet.

Als weitere wichtige Qualitätsmerkmale eines guten Beleuchtungsstärkemessgerätes gelten die $V(\lambda)$ -Anpassung (Sensor entspricht Augenempfindlichkeit), die Cosinus-Korrektur (korrekte Messung bei schrägem Lichteinfall), die Farbkorrektur (Genauigkeit bei verschiedenen Lichtfarben), ein ausreichender Messbereich von etwa 0,1–200.000 lx sowie die Möglichkeit zur Kalibrierung. Handyapps und/oder Aufsätze für mobile Endgeräte verfügen über keine $V(\lambda)$ -Anpassung, keine Cosinus-Korrektur und sollten auf Grund zu hoher Messunsicherheiten (± 20 –50 % Abweichung möglich) nicht verwendet werden.

Bei der Beleuchtungsstärkemessung selbst sollte der Raum in ein gleichmäßiges Raster unterteilt werden. Es empfiehlt sich dabei, dass das Raster bzw. die Messpunkte nicht deckungsgleich mit der Leuchtenpositionierung sind. Bei kleinen Räumen ($< 20 \text{ m}^2$) wird mindestens ein 3×3 Messraster (9 Messpunkte) empfohlen. In mittleren Räumen (20 – 100 m^2) sollten die Punkte des Messrasters maximal 3 m Abstand zueinander aufweisen. Bei großen Räumen mit über 100 m^2 kann ein Rasterabstand von bis zu 5 m angenommen werden. An jedem Messpunkt ist der Wert der horizontalen Beleuchtungsstärke in der Bezugsebene (bodennah bis max. 0,2 m Höhe) zu dokumentieren. Sollten vertikale Beleuchtungsstärken an bspw. Wänden erfasst werden, sind diese separat zu dokumentieren. Horizontale und vertikale Beleuchtungsstärke sollten nicht gemittelt oder in irgendeiner Weise miteinander verrechnet werden, da dies unterschiedliche Bezugsebenen sind und der Grunddefinition der Beleuchtungsstärke (Lichtstrom pro Fläche) widerspricht. Punktuell stark abweichende Messwerte, z. B. erfasst im Schatten der Stalleinrichtung, sind besonders zu kennzeichnen und in den weiteren Berechnungen nicht zu berücksichtigen. Alle zu berücksichtigenden Messwerte werden anschließend als arithmetischer Mittelwert zusammengefasst. Der erfasste Minimalwert (nur zu berücksichtigende Messwerte – kein erfasster Wert im Schatten der Stalleinrichtung) ist abschließend durch den arithmetischen Mittelwert zu teilen und ergibt somit den Wert der Gleichmäßigkeit U_0 (vgl. Tabelle 2).

Die häufigsten Fehler bei der Messdurchführung sind:

- **Schrägstellung des Sensors**
- **Schattenwurf des Messenden auf den Sensor**
- zu kurze Einbrenndauer (min. 30 Minuten)
- Störung durch Fremdlichtquellen (Tageslicht, Außenbeleuchtung, ...)
- ungeeignetes Messraster
- veraltete oder qualitativ minderwertige Messtechnik

Kurz zusammengefasst lässt sich die Messdurchführung für jede Messung Schritt für Schritt wie folgt zusammenfassen:

Vorbereitung

- Beleuchtungsanlage einschalten, 30 Minuten einbrennen lassen
- Tageslicht ausschließen (Rollos schließen) oder dokumentieren
- Lichtmessgerät aus Tasche nehmen, 10 min akklimatisieren lassen (eingeschaltet)
- Nullpunkt-Abgleich durchführen (Sensor abdecken)

Messpunkte markieren

- Raster auf Papier skizzieren
- Optional: Messpunkte mit Kreide markieren
- Nummerierung für Protokoll

Messungen durchführen

- Sensor waagrecht in definierter Höhe positionieren
- Körper nicht über Sensor beugen (Schatten vermeiden)
- Wert ablesen, wenn stabil (5–10 sec. warten) Wert notieren

Auswertung

- Arithmetischen Mittelwert berechnen ($\bar{E}_m$)
- Minimalwert identifizieren ($E_{\min}$)
- Gleichmäßigkeit berechnen ($U_0 = E_{\min} / \bar{E}_m$)
- Mit (Norm-)Anforderungen vergleichen

6.2 Messung und Bewertung der spektralen Lichteigenschaften

Die Bewertung tiergerechter Beleuchtung basiert primär auf der spektralen Zusammensetzung des Lichts. Entscheidend ist dabei die spektrale Leistungsverteilung (engl. Spectral Power Distribution, SPD), welche die Verteilung der Lichtenergie über die einzelnen Wellenlängen beschreibt. Dadurch können beispielsweise Blau-, Grün-, Rot- oder UV-Anteile gezielt analysiert werden. Im Gegensatz dazu beschreibt die Beleuchtungsstärke (Lux) lediglich die Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges und erlaubt keine Aussage über die spektrale Zusammensetzung des Lichts.

Hersteller von Leuchten erfassen das Spektrum üblicherweise unter definierten Laborbedingungen direkt an der einzelnen Leuchte. Dabei werden kalibrierte Spektrometer eingesetzt, um die spektralen Eigenschaften der Lichtquelle unabhängig von Stallumgebung, Reflexionen oder Tageslicht zu bestimmen. Diese Messungen dienen vor allem der technischen Charakterisierung und dem Vergleich unterschiedlicher Leuchtsysteme.

Für die praktische Bewertung im Stall ist jedoch nicht nur die einzelne Leuchte entscheidend, sondern das tatsächlich am Tier ankommende Mischlicht. Dieses wird zusätzlich durch Stallgeometrie, Reflexionen, Verschmutzungen, Tageslicht sowie die Überlagerung mehrerer Leuchten beeinflusst. Daher sollten spektrale Messungen im Stall auf Tierhöhe und an mehreren Messpunkten durchgeführt werden. Ziel ist hierbei nicht die Vermessung jeder einzelnen Leuchte, sondern die Bewertung der realen Lichtumgebung aus Sicht der Tiere.

Für solche praxisnahen Messungen eignen sich insbesondere mobile Spektrometer wie das BTS256-EF oder vergleichbare Handmessgeräte. Einfache Luxmeter oder Smartphone-Apps sind hierfür nicht geeignet, da sie keine spektrale Analyse ermöglichen. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, sollten Messungen unter stabilen Betriebsbedingungen erfolgen sowie Fremdlicht, Tageslicht, Reflexionen oder Verschmutzungen möglichst minimiert oder dokumentiert werden. Wiederholungsmessungen helfen zusätzlich dabei, Schwankungen zu reduzieren.

Die Bewertung erfolgt anhand der spektralen Verteilung, der Lage und Intensität einzelner Emissionsbereiche sowie der spektralen Kontinuität des Lichts. Ein möglichst ausgewogenes und kontinuierliches Spektrum wird dabei meist als vorteilhaft angesehen. Ergänzend können farbmimetrische Größen wie die korrelierte Farbtemperatur (CCT) und der Farbwiedergabeindex (CRI) betrachtet werden. Diese basieren jedoch auf der menschlichen visuellen Wahrnehmung und sind für die Bewertung tiergerechter Beleuchtung nur eingeschränkt geeignet.

6.3 Messung und Bewertung der Flimmereigenschaften von Lampen

Neben der spektralen Zusammensetzung ist auch das zeitliche Verhalten von Licht eine wichtige Eigenschaft von Beleuchtungssystemen. Dabei geht es insbesondere um Helligkeitsschwankungen (Flicker bzw. Flimmern), die durch die Ansteuerung moderner LED-Systeme entstehen können. Zur Erfassung dieser Eigenschaften werden zeitaufgelöste Messungen der Lichtintensität mit Flickermessern oder Photodioden-Systemen durchgeführt.

Moderne spektrale Lichtmessgeräte können zusätzlich sowohl spektrale als auch zeitliche Eigenschaften gleichzeitig erfassen. Diese Messgeräte sind mitunter sehr teuer und bei der Durchführung der Messverfahren durch Laien können viele Fehler gemacht werden.

Hersteller untersuchen das Flickerverhalten einzelner Leuchten üblicherweise unter definierten Laborbedingungen. Für die praktische Bewertung im Stall ist jedoch entscheidend, wie sich das tatsächliche Licht am Tier verhält. Dieses wird zusätzlich durch Dimmung, elektrische Installation, Steuerungssysteme sowie die Überlagerung mehrerer Lichtquellen beeinflusst. Daher sollten Flickermessungen direkt im Stall und auf Tierhöhe durchgeführt werden. Ziel ist dabei nicht die Vermessung jeder einzelnen Leuchte, sondern die Bewertung der realen Lichtumgebung aus Sicht der Tiere.

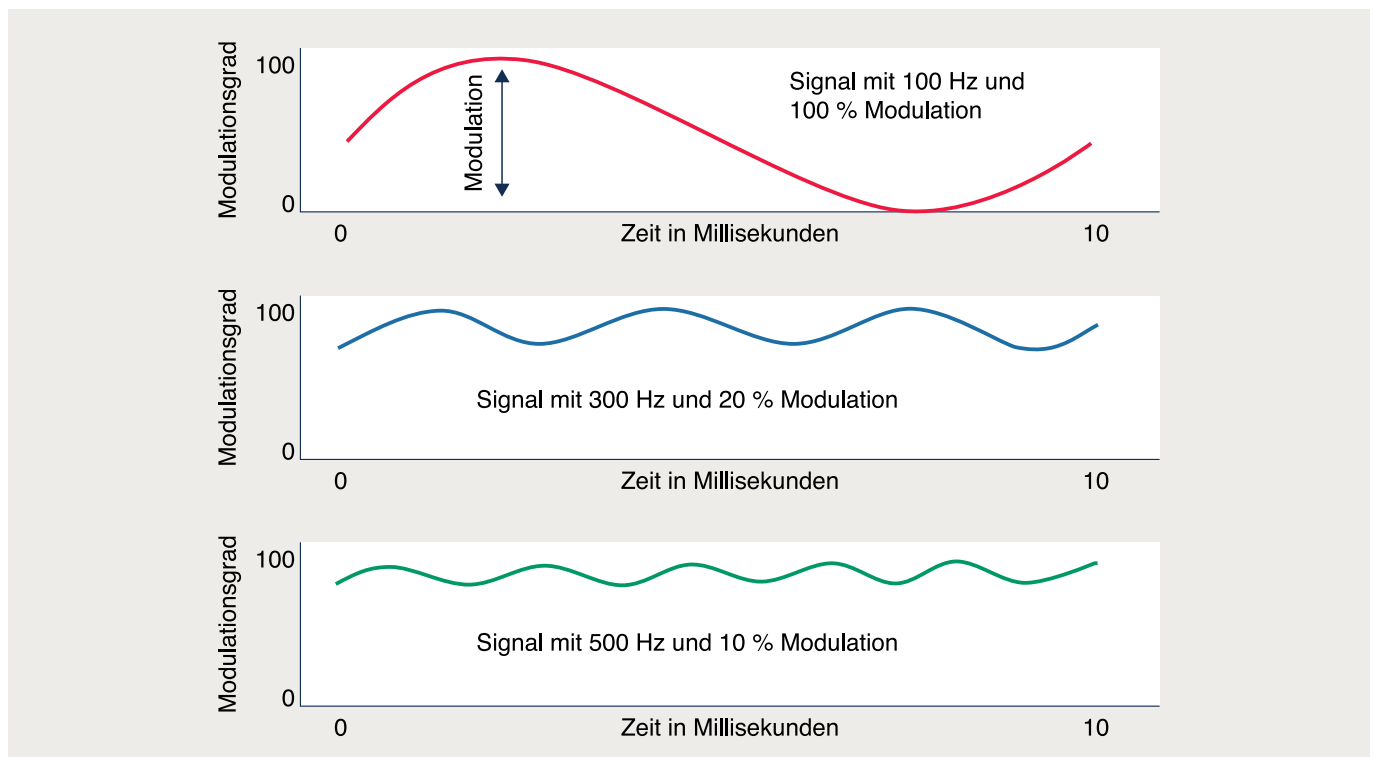


Abbildung 12: Beispiele für die zeit aufgelöste Messung der Lichtintensität, exemplarisch am Parameter Modulationsgrad (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Die Messungen sollten unter stabilen Betriebsbedingungen erfolgen. Dabei wird das Messsystem kalibriert und der Sensor in einer definierten Position im Lichtfeld ausgerichtet. Die Lichtintensität wird mit hoher Abtastrate über einen ausreichend langen Zeitraum aufgezeichnet, um sowohl niederfrequente als auch hochfrequente Modulationen zuverlässig zu erfassen. Zusätzlich sind Messungen an mehreren Positionen im Stall sinnvoll, um räumliche Unterschiede und Schwankungen der Lichtverhältnisse zu berücksichtigen. Fremdlicht oder elektrische Störungen sollten möglichst minimiert oder dokumentiert werden. Die Bewertung erfolgt anhand von Kenngrößen wie der Modulationstiefe (Flicker Percentage), dem Flickerindex sowie der Modulationsfrequenz. Ergänzend können weiterführende Parameter wie PstLM oder SVM zur Beschreibung von Flimmer- und Stroboskopeffekten betrachtet werden. Entscheidend ist jedoch nicht die isolierte Betrachtung einzelner Werte, sondern die kombinierte Analyse von Amplitude, Frequenz und Signalform, da diese gemeinsam das zeitliche Verhalten der Lichtquelle bestimmen.

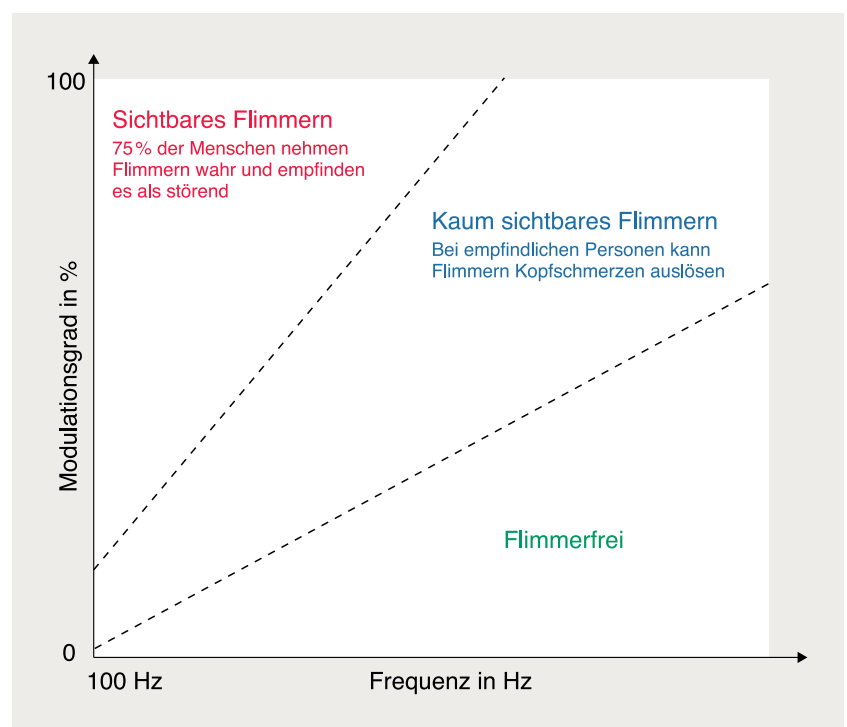


Abbildung 13: Sichtbares Flimmern in Abhängigkeit von Modulationsgrad und Frequenz. Ähnliche Darstellungsweisen werden in Apps generiert. Dabei muss beachtet werden, dass sich die Einschätzung, ob Flimmern sichtbar ist, auf die menschliche Wahrnehmung bezieht und nicht direkt auf die tierische Wahrnehmung übertragen werden kann (© StanGe Hochschule Osnabrück)

Grundsätzlich gelten geringe Modulationstiefen und hohe Modulationsfrequenzen als vorteilhaft. Sichtbare oder stark ausgeprägte Helligkeitsschwankungen sollten vermieden werden. In der Praxis werden häufig Flickerwerte von unter 5–10% sowie möglichst hohe Frequenzen im Kilohertz-Bereich als günstig angesehen, wobei derzeit keine allgemein anerkannten tierartspezifischen Grenzwerte existieren. Besonders kritisch sind niedrige Frequenzen in Kombination mit hohen Modulationsgraden.

6.4 Messgeräte zur spektralen und zeitlichen Lichtbewertung

Für die Bewertung von Licht in der Tierhaltung werden unterschiedliche Messsysteme eingesetzt, deren Qualität und Aussagekraft stark variieren. Ziel ist dabei nicht nur die Erfassung der Helligkeit, sondern insbesondere die Bewertung spektraler und zeitlicher Lichteigenschaften. Geeignete Messgeräte sind kalibriert und können neben Lux-Werten auch spektrale Daten wie die spektrale Leistungsverteilung (Spectral Power Distribution, SPD) oder Flickerkennwerte erfassen. Hochwertige Systeme stellen zusätzlich Spektral- oder Signalverläufe grafisch dar und ermöglichen dadurch eine fundierte Bewertung der Lichtqualität. Einfache Luxmeter oder Smartphone-Apps sind dagegen nur eingeschränkt geeignet, da sie meist lediglich die Helligkeit erfassen und keine Aussage über Spektrum oder Flimmerverhalten ermöglichen. Tabelle 4 gibt einen Überblick über typische Gerätekategorien und deren Eignung für die Bewertung von Beleuchtungssystemen in der Tierhaltung.

Tabelle 4: Beispiele für eine Lichtmessgeräte-bezogene Bewertung der Messung im Stall

Gerätekategorie	Beispiele	Messgrößen	Eignung Stall	Bewertung (fachlich)
Hochpräzise Spektroradiometer (Labor)	BTS2048-VL-TEC	SPD, CCT, CRI, radiometrische Größen	eingeschränkt	Sehr hohe Genauigkeit und Auflösung, Referenzsystem für wissenschaftliche Analysen
Mobile Spektrometer (State of the Art)	BTS256-EF, Asensetek	SPD, Lux, CCT, CRI, Flicker	sehr gut	Sehr gute Kombination aus Genauigkeit und Praxistauglichkeit, geeignet für Stallmessungen
Luxmeter (konventionelle)	einfache Handgeräte	Lux	gut	Nur photometrische Bewertung → keine Aussage über Spektrum, für tierbezogene Bewertung unzureichend, da auf Basis menschlichen Sehvermögens
Lichtlogger	Einfache mobile Geräte mit Funktionen Speichern und Auslesen	Lux (geschätzt)	gut	Nur photometrische Bewertung für Kontinuität der Lampenschaltung (ein/aus)
Smartphone-Apps für externe Sensoren	appgesteuerte Sensoren mit Smartphone-Verbindung via Bluetooth	Lux (geschätzt), Flicker %, Frequenz	gut bis ungeeignet	fehleranfällig, keine Kalibrierung, Technik qualitativ sehr unterschiedlich
Smartphone-Apps	App, die Sensoren des Smartphones nutzt	Lux (geschätzt)	ungeeignet	Stark fehleranfällig, keine Kalibrierung, spektrale Fehlanpassung → fachlich nicht geeignet
Flickermeter (einfach)	portable Geräte	Flicker %, Frequenz	gut	Grundbewertung möglich, aber oft begrenzter Frequenzbereich
High-End Flicker-Messsysteme	Photodiode + Oszilloskop, BTS-Systeme	vollständige Signalanalyse	eingeschränkt	Erlauben eine detaillierte Analyse (FFT, SVM, PstLM), notwendig für fundierte (gutachterliche) Bewertung

7. Quellen

Androvitsaneas, V. P., Dimitrakis, A., Kotsenos, A., 2025. Experimental Analysis of Temporal Light Artefacts in Solid-State Lighting Systems, in: 2025 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2025 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). Presented at the 2025 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2025 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEuro-pe64998.2025.11168987>. Link geprüft am 10. 6. 2026

LAV (2025): Handbuch Tierschutzüberwachung in Nutztierhaltungen. AG Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (LAV). https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00064183/Handbuch-Tierschutzkontrollen-2025-01.pdf. Link geprüft am 10. 6. 2026

Dehli, M. (2020): Lichttechnik, in: Dehli, M. (Ed.), Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe: Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen. Springer Fachmedien, Wiesbaden, pp. 579–604. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23204-7_15. Link geprüft am 10. 6. 2026

DIN EN 12464-1:2021-11 (2021): Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung

DIN EN 60598-2-24 VDE (2014): Teil 2-24: Besondere Anforderungen – Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur. Deutsche Fassung

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (2008): Elektrische Anlagen in der Landwirtschaft. VDS Verlag, Köln

Göbel, H. (2005): Optoelektronische Bauelemente. In: Einführung in die Halbleiter-Schaltungstechnik. 5. Auflage. Springer Link, Heidelberg

Licht.de (2016): licht.wissen 01 „Die Beleuchtung mit künstlichem Licht“. ISBN-Nr. PDF-Ausgabe 978-3-945220-04-7.

Licht.de (2026): Zeitplan für den Ausstieg. <https://www.licht.de/de/lichtthemen/lampenausstieg/zeitplan-fuer-den-ausstieg>. Link geprüft am 10. 6. 2026

Peterhans, E. (2015): Der Sehsinn der Tiere. Einführung in die neuronalen Grundlagen des Sehens. Haupt Verlag, Bern, Schweiz

RIS, H. R. (2024): Beleuchtungstechnik für Praktiker. 7., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Berlin: VDE Verlag GmbH

Schubert, E. F. (2006): Light-Emitting Diodes. 2. Ausgabe. ISBN 978-0-521-86538-8, Cambridge University Press, Cambridge, UK

TierSchNutzTV (2021): „Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), die zuletzt durch Artikel 1a der Verordnung vom 29. Januar 2021 (BGBl. I S. 146) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschnutztv/TierSchNutzTV.pdf>. Link geprüft am 10. 6. 2026

VERORDNUNG (EU) 2021/341 DER KOMMISSION vom 23. Februar 2021 zur Änderung der Verordnungen (EU) 2019/424, (EU) 2019/1781, (EU) 2019/2019, (EU) 2019/2020, (EU) 2019/2021, (EU) 2019/2022, (EU) 2019/2023 und (EU) 2019/2024 in Bezug auf Ökodesign-Anforderungen an Server und Datenspeicherprodukte, Elektromotoren und Drehzahlregelungen, Kühlgeräte, Lichtquellen und separate Betriebsgeräte, elektronische Displays, Haushaltsgeschirrspüler, Haushaltswaschmaschinen und Haushaltswaschtrockner sowie Kühlgeräte mit Direktverkaufsfunktion. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32021R0341>. Link geprüft am 10. 6. 2026

Waldorf, J. (2020): Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung, 3. Ausgabe ZVEI. URL <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/leitfaden-planungssicherheit-in-der-led-beleuchtung-3-ausgabe>. Link geprüft am 10. 10. 2025

Wosnitza, F., Hilgers, H. G. (2012): Beleuchtungstechnik. In: Wosnitza, F., Hilgers, H. G. (Eds.), Energieeffizienz und Energiemanagement: Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8671-2_7. Link geprüft am 10. 6. 2026

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2021): Lichtmodulation. Temporal Light Artefacts und Wechselwirkungen mit technischen Geräten. Fachverband Licht. Frankfurt am Main, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/November/Lichtmodulation_Temporal_Light_Artefacts_2021_11_30/Informationsschrift_Lichtmodulation_Final_2021-11.pdf. Link geprüft am 10. 6. 2026

DLG-Merkblätter. Wissen für die Praxis.

- DLG-Merkblatt 438
**Beleuchtung und Beleuchtungstechnik
im Geflügelstall**
- DLG-Merkblatt 422
**Alarmierungs- und Sicherungseinrichtungen
in Stallanlagen**
- DLG-Merkblatt 420
Beleuchtungstechnik für Schweineställe
- DLG-Merkblatt 415
**Beleuchtung und Beleuchtungstechnik
im Rinderstall**
- DLG-Merkblatt 414
Reinigung von Solaranlagen auf Ställen

Download unter [dlg.org/merkblaetter](https://www.dlg.org/merkblaetter)



DLG e.V.
Mitgliederservice
Eschborner Landstraße 122 • 60489 Frankfurt am Main
Deutschland
Tel. +49 69 24788-205
info@dlg.org • [dlg.org](https://www.dlg.org)