



Prävention von negativen gesundheitlichen Auswirkungen bei Lichtflimmern durch LEDs

Bericht für die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM)

Bearbeiter:

TU Ilmenau

Fakultät Maschinenbau

Fachgebiet Lichttechnik

Dr.-Ing. C. Vandahl

Prof. Dr. sc. nat. Ch. Schierz

Fachliche Begleiterin bei der BG ETEM:

Dr. sc. S. Hubalek

Ilmenau, 30.06.2023

Inhalt

| | | |
|------|--|----|
| 1 | Einführung in die Thematik | 3 |
| 2 | Entstehung von Lichtflimmern | 3 |
| 3 | Auswirkungen von Lichtflimmern..... | 3 |
| 3.1 | Wahrnehmung von Lichtflimmern | 3 |
| 3.2 | Stroboskopeffekt | 4 |
| 3.3 | Geisterbilder | 4 |
| 3.4 | Stroboskopeffekt an rotierenden Maschinenteilen | 4 |
| 3.5 | Gesundheitliche Auswirkungen | 5 |
| 4 | Gesetzliche Regelungen | 5 |
| 5 | Beurteilung einer Beleuchtungsanlage | 6 |
| 5.1 | Anhaltspunkte für den Verdacht auf Lichtflimmern | 6 |
| 5.2 | Möglichkeiten der einfachen Bewertung ohne Messgeräte | 6 |
| 5.3 | Stroboskopeffekte an bewegten Maschinenteilen | 7 |
| 5.4 | Überprüfen der technischen Daten der Leuchte..... | 7 |
| 5.5 | Verwendung von Messgeräten, Prüfung durch Messlabore..... | 8 |
| 5.6 | Überprüfung der Netzqualität..... | 8 |
| 6 | Maßnahmen zur Beseitigung von Lichtflimmern | 8 |
| 7 | Beurteilung von Arbeitsplätzen hinsichtlich Flimmergefahr | 8 |
| 7.1 | Kritische kleine Sehdetails, sich bewegende Sehobjekte, schnelle Blickwechsel | 8 |
| 7.2 | Bewegte Teile an Maschinen oder Arbeitsmitteln, die zur Unfallquelle werden können | 8 |
| 7.3 | Veränderbare (dimmbare) Beleuchtung | 9 |
| 8 | Auswahl geeigneter Leuchten | 9 |
| 8.1 | Für normale Anforderungen ohne Dimmung der Leuchten..... | 9 |
| 8.2 | Für normale Anforderungen mit Dimmung der Leuchten | 9 |
| 8.3 | Für alle kritischen Arbeitsplätze nach Kapitel 7 | 9 |
| 9 | Literatur | 10 |
| 10 | Anhang..... | 11 |
| 10.1 | Glossar | 11 |
| 10.2 | Gefährdungsbeurteilung | 11 |
| 10.3 | Hinweise dafür, dass Mitarbeitende durch Lichtflimmern beeinträchtigt sein können | 12 |
| 10.4 | Ausschlusskriterien für die Verwendung von gepulstem (bzw. flimmerndem) Licht | 12 |
| 10.5 | Checkliste für die Leuchtauswahl | 13 |
| 10.6 | Bild A1: Verschiedene zeitliche Verläufe der Lichtmodulation | 14 |
| 10.7 | Bild A2: Verschiedene Methoden der Lichtdimmung bei LED-Beleuchtung | 15 |

1 Einführung in die Thematik

Das Flimmern von Lichtquellen mit seiner die Menschen beeinträchtigenden Wirkung, ist seit der Einführung des Wechselstroms zu Beleuchtungszwecken ein Thema der wissenschaftlichen und öffentlichen Berichterstattung. Bereits in den Leitsätzen für die Beleuchtung mit künstlichem Licht aus dem Jahr 1935 steht: „Zeitliche Schwankungen müssen so langsam oder so schnell vor sich gehen, dass sie vom Auge nicht als störend empfunden werden“ [6]. Die fortwährende Weiterentwicklung der Lichtquellen und ihrer Betriebsgeräte reduzierte die durch den Betrieb mit Wechselstrom bedingten Schwankungen und machte ab den 1980er Jahren durch die elektronischen Vorschaltgeräte für die Leuchtstofflampen eine qualitativ gute flimmerfreie Beleuchtung möglich.

Inzwischen hat sich die lichtemittierende Diode (LED) als Lichtquelle für Beleuchtungszwecke durchgesetzt. Wird die LED mit dem passenden Betriebsgerät geeignet angesteuert, ermöglicht sie eine sehr gute flimmerfreie Lichtqualität. Sie ist grundsätzlich eine gute und energieeffiziente Lichtquelle, deren Möglichkeiten aber manchmal aus Kosten- und Effizienzgründen mangelhaft in Produkten umgesetzt werden.

Wenn die LED mit konstantem Strom (Gleichstrom) betrieben wird, ist die Beleuchtung flimmerfrei. Trotzdem muss die Verwendung zeitlich modulierten Lichtes nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, wenn es so gestaltet ist, dass negative Auswirkungen auf den Menschen vermieden werden.

2 Entstehung von Lichtflimmern

Lichtflimmern ist eine sich periodisch wiederholende Veränderung des Lichtstroms von Lichtquellen, was entsteht, wenn die Lichtquellen nicht mit konstantem Strom (Gleichstrom) betrieben werden. Man spricht dann mitunter auch von einem gepulsten Betrieb, bei dem die Lichtquelle in kurzen Abständen an- und ausgeschaltet wird. Technische Kennzahlen zur Beschreibung dieser periodischen Lichtänderung sind die Frequenz und die Modulationstiefe. Erläuterungen dazu finden sich in Bild A1 im Anhang.

Der Pulsbetrieb wird auch zum Dimmen von Leuchtdioden benutzt. Bei der sogenannten Pulsweitenmodulation (PWM) wird die Länge der Lichtpulse umso kürzer, je weiter gedimmt wird. Wird die LED mit konstantem Strom (Gleichstrom) betrieben und gedimmt, kommt die Konstantstrom-Reduzierung (CCR Constant Current Reduction) zum Einsatz. Details zu den Dimm-Methoden können in den Erläuterungen zu Bild A2 im Anhang nachgelesen werden.

3 Auswirkungen von Lichtflimmern

Lichtflimmern kann unter bestimmten Bedingungen vom Menschen wahrnehmbar werden. Dabei können verschiedene Effekte auftreten, die in

- direkt wahrnehmbares Flimmern,
- Stroboskopeffekte und
- Geisterbilder

unterschieden werden.

3.1 Wahrnehmung von Lichtflimmern

Nicht jedes Lichtflimmern ist durch den Menschen wahrnehmbar. Je mehr Lichtpulse pro Sekunde dargeboten werden, desto höher ist die Frequenz des Lichtes (Bild A1 im Anhang) und desto schwieriger sind die Lichtpulse vom Auge noch auseinanderzuhalten. Ab einer bestimmten Frequenz sind sie nicht mehr getrennt zu sehen, sie verschmelzen zu einer konstanten Lichtwahrnehmung. Diese Grenzfrequenz heißt Flimmerverschmelzungsfrequenz. Für statische Situationen, in denen sich weder die beleuchteten Gegenstände noch das Beobachteraue bewegen, liegt die Flimmerverschmelzungsfrequenz unter 90 Hz (90 Pulse pro Sekunde). Sie wird noch kleiner, wenn die Modulationstiefe kleiner wird (Bild A1, E im Vergleich zu D). Es gibt individuelle Unterschiede zwischen Personen. Insbesondere nimmt die Flimmerempfindlichkeit mit zunehmendem Alter ab.

Bereiche im äußeren, peripheren Gesichtsfeld sind flimmerempfindlicher. So ist es möglich, dass man eine Lichtquelle flimmern sieht, wenn man sie nicht direkt anschaut, das Flimmern beim direkten Hinsehen aber verschwindet.

3.2 Stroboskopeffekt

In nicht statischen Situationen, bei denen sich beleuchtete Gegenstände oder das Beobachteraue bewegen, kann auch ein Lichtflimmern bei Frequenzen größer als 90 Hz als Flimmern gesehen werden. Es treten dann sogenannte Geisterbilder oder der Stroboskopeffekt auf.

Bewegt sich eine Lichtquelle oder ein beleuchtetes Objekt relativ zur Blickrichtung, entsteht sein Bild auf der Netzhaut des Auges nacheinander an verschiedenen Stellen. Lässt die zwischenzeitige Lichtunterbrechung dieses Bild als räumlich unterschiedlich erscheinen, gibt es einen Stroboskopeffekt. Sind die Unterbrechungen sehr klein oder schwach, verschmelzen sie zu einem einzigen Eindruck.

Ein Beispiel für einen Stroboskopeffekt durch ein selbstleuchtendes Sehobjekt ist ein mit Pulsweitenmodulation betriebenes vorbeifahrendes LED-Fahrzeugrücklicht. Seine „Lichtblitze“ werden nacheinander auf verschiedene Stellen der Netzhaut abgebildet und erzeugen die Wahrnehmung, als ob Lichtpunkte auf einer Schnur aufgereiht wären („Perlschnureffekt“). Der Effekt ist auch bei einem bewegten Gegenstand unter gepulstem Licht zu sehen. Ein Beispiel ist der fliegende Tennisball in einer Sporthalle mit PWM-gedimmter LED-Beleuchtung oder die bewegte Hand in Bild 1.

Bei relativ langsam bewegten Objekten (wie in Bild 1) sind bei Pulsationsfrequenzen über 2 000 Hz keine Stroboskopeffekte mehr sichtbar.

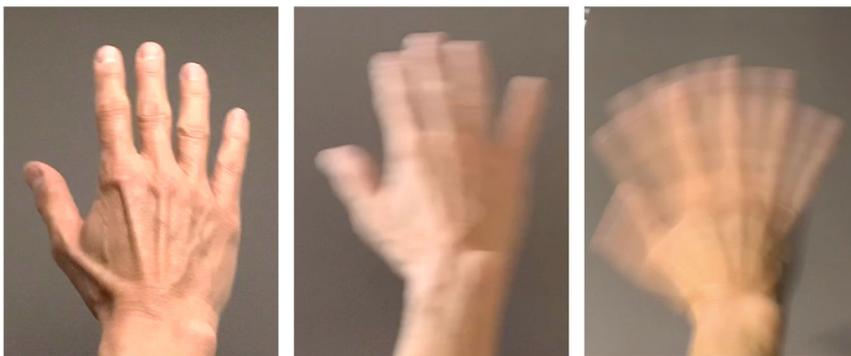


Bild 1: links: unbewegte Hand, Mitte: die bewegte Hand erscheint weiterhin als ein einzelnes Objekt, rechts: die Finger der Hand sind durch den Stroboskopeffekt mehrfach wahrnehmbar

3.3 Geisterbilder

Geisterbilder entstehen wie beim Stroboskopeffekt dadurch, dass eine periodisch gepulste Lichtquelle ein Bild nacheinander auf verschiedene Stellen der Netzhaut erzeugt. Diesmal erfolgt die räumliche Auftrennung aber nicht durch die bewegte Lichtquelle, sondern durch das bewegte Auge und damit die bewegte Netzhaut. Aufgrund der Sehphysiologie können nur direkt betrachtete kontrastreich gepulste Lichtquellen zu Geisterbildern führen. Details siehe LiTG-Schrift [8].

Geisterbilder können bei einem sehr kurzen direkten Blick in eine Lichtquelle entstehen. Die Leuchte erscheint dann als Mehrfachbild. Auch hier spricht man mitunter vom Perlschnureffekt. Die Wahrnehmung dieser Geisterbilder kann störend sein.

3.4 Stroboskopeffekt an rotierenden Maschinenteilen

Bei flimmerndem Licht können Stroboskopeffekte und damit Bewegungstäuschungen eines sich bewegenden Teils (z. B. Spannfutter einer Drehmaschine, Bohrmaschine oder Sägeblatt einer Kreissäge) auftreten und zur Gefährdung führen. Eine Gefährdung entsteht dadurch, dass rotierende Maschinenteile als schein-

bar in die falsche Richtung, in falscher Geschwindigkeit drehend oder im Extremfall sogar stillstehend gesehen werden. Diese Wahrnehmungstäuschungen können zu schweren Unfällen führen. Diese Effekte sind auch bei sehr hohen Pulsationsfrequenzen möglich.

3.5 Gesundheitliche Auswirkungen

Durch die Möglichkeit Lichtflimmern als Flimmern, Stroboskopeffekt oder Geisterbilder wahrzunehmen, bestehen gesundheitliche Risiken, die unterschiedlich häufig und in unterschiedlicher Stärke der Auswirkung auftreten. Mögliche kurzfristige, nach wenigen Sekunden entstehende gesundheitliche Auswirkungen von Lichtflimmern, wie z. B. das Risiko epileptischer Anfälle, sind mit sichtbarem Flimmern, also im Bereich von etwa 3 Hz bis 80 Hz verbunden (siehe auch DGUV-I 250-001 „Berufliche Beurteilung bei Epilepsie und nach erstem epileptischem Anfall“ [1]). Auswirkungen durch Langzeitexpositionen, wie z. B. Unwohlsein, Kopfschmerzen und Beeinträchtigung der Sehleistung sind weniger offensichtlich und sind auch bei nicht als Flimmern sichtbaren Frequenzen bis 200 Hz bei empfindlichen Personen möglich [4].

Studien zeigten, dass Lichtflimmern die Sehleistung vermindern kann, da es die Steuerung der natürlichen Augenbewegungen beeinträchtigt. Diese werden unter Lichtflimmern deutlich ungenauer als unter konstantem Licht [5]. Die Dauer für eine Sehaufgabe wurde unter Lichtflimmern länger, obwohl die Testpersonen kein Flimmern erkennen konnten. Flimmernde Leuchten könnten auch ablenkend wirken und dadurch die Arbeitsleistung verringern.

Lichtflimmern kann zu Sehbeschwerden (asthenopischen Beschwerden) führen. Diese werden durch eine Überbeanspruchung der Augen verursacht. Symptome dafür sind Augenrötung, Augenbrennen, vermehrter Tränenfluss, das Gefühl von „Sandkorn im Auge“, Lidzucken, verschwommenes Sehen, erhöhte Blendempfindlichkeit und im Extremfall Kopfschmerzen. Mit zunehmendem Alter nehmen sie an Häufigkeit zu.

Nur wenige Studien haben bisher die gesundheitlichen oder neurophysiologischen Auswirkungen untersucht, die mit Lichtflimmern durch LED verbunden sind. Sie zeigen Einflüsse auf Behaglichkeit, Ermüdung und Aktivierung.

Nicht alle Personen sind von negativen Auswirkungen zeitlicher Lichtmodulation gleichermaßen betroffen [13]. Welche Personengruppen es stärker trifft und die damit Risikogruppen bilden, ist bislang weitgehend unbekannt. Allgemein gelten junge Personen als empfindlicher für die Flimmerwahrnehmung, da viele physiologische Prozesse mit zunehmendem Alter langsamer werden.

Viele Migränepatienten reagieren sehr empfindlich auf Licht, insbesondere auf Blendung. Helle Lichtquellen lösen eher Migränekopfschmerzen aus, wenn sie flimmern; niedrige Flimmerfrequenzen sind meist irritierender als hohe. Verschiedene Studien haben bei Lichtflimmern Unterschiede im EEG (Elektroenzephalogramm) von Migränepatienten im Vergleich zu migränefreien Personen festgestellt. Etwa 25 % bis 50 % der Migränepatienten geben Lichtflimmern als Auslöser für Migräne an.

4 Gesetzliche Regelungen

Die Technische Regel für Arbeitsstätten (ASR) A3.4 verlangt, dass Lichtflimmern nicht zu Unfallgefahren (z. B. durch Stroboskopeffekt) oder Ermüdung führen darf. Die neueste DIN EN 12464-1:2021 [15] weist darauf hin, dass Beleuchtungssysteme so geplant werden sollten, dass sie die negativen Auswirkungen von Flimmern und Stroboskopeffekten im gesamten Dimmbereich vermeiden.

Zur Bewertung von direkt gesehendem Lichtflimmern dient ein Verfahren, das die Frequenzabhängigkeit der Flimmerverschmelzungsfrequenz berücksichtigt. Die mit dem Verfahren ermittelte Kenngröße heißt P_{st}^{LM} (ausgesprochen: P-s-t-L-M, für Short-Term-Light-Modulation). Ein Wert von $P_{st}^{LM} = 1$ bedeutet, dass ein durchschnittlich empfindlicher Beobachter das Flimmern mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % erkennt. Bei kleineren Werten ist diese Wahrscheinlichkeit kleiner. Die Ökodesignrichtlinie der EU [11] fordert für LED Netzspannungslichtquellen unter Vollastbetrieb $P_{st}^{LM} \leq 1$. Dies gilt auch für organische lichtemittierende Dioden (OLEDs). Diese Grenze wird von den meisten Lichtquellen eingehalten, da diese mit Frequenzen über 100 Hz betrieben werden, für die direkte Wahrnehmung aber nur Frequenzen bis 90 Hz relevant sind.

Der SVM-Wert (Stroboscopic Visibility Measure) bewertet die Wahrnehmung des Stroboskopeffekts in einem Frequenzbereich von 80 Hz bis 2 000 Hz. Ein Wert bei 1,0 bedeutet auch hier, dass ein durchschnittlicher Beobachter den Effekt mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % erkennt. Die Ökodesignrichtlinie der EU [11], welche seit 1. September 2021 gilt, fordert für LED und OLED-Netzspannungslichtquellen unter Vollastbetrieb einen $SVM \leq 0,9$ (ab 1. September 2024: $SVM \leq 0,4$). Dass man hier eine Erkennungswahrscheinlichkeit von unter 50 % fordert, kann damit begründet werden, dass nicht nur der durchschnittliche Beobachter, sondern auch Risikogruppen (wie z. B. Epileptiker und Migränepatienten) geschützt werden sollen.

Diese genannten Regelungen gelten nicht für Leuchten. Hersteller qualitativ hochwertiger Leuchten orientieren sich allerdings an den Vorgaben und geben die Messwerte auch im Datenblatt an. Wenn nicht anderes angegeben, gelten diese für den nicht gedimmten Betrieb der Leuchte. Bei Dimmung mit Pulsweitenmodulation kann sich das Flimmern allerdings verstärken. Derzeit ist unklar, ob die aktuellen Grenzwerte auch für den gedimmten Betrieb der Leuchte sinnvoll sind. Zu beachten ist ebenfalls, dass trotz Einhaltung der Grenzwerte Stroboskopeffekte an schnell rotierenden Maschinenteilen auftreten können, da die Regelungen diesen Anwendungsfall nicht im Fokus haben.

5 Beurteilung einer Beleuchtungsanlage

5.1 Anhaltspunkte für den Verdacht auf Lichtflimmern

Erste Anhaltspunkte für mögliche Probleme, die durch Lichtflimmern auftreten können, sind Beschwerden der Beschäftigten, insbesondere wenn sie bei einer neu oder verändert in Betrieb genommenen Beleuchtungsanlage auftreten. Die Kritik muss sich dabei nicht ausschließlich auf die Beleuchtung beziehen. Augenbeschwerden sind sehr unspezifisch und lassen oft auch andere Ursachen vermuten, beispielsweise die Klimaanlage, Luftqualität oder Geräusche.

Folgende Aussagen der Beschäftigten können der Hinweis auf Lichtflimmern sein:

- Wahrnehmbares Flimmern der Leuchte
- Wahrnehmbares Flimmern in der Peripherie des Sehbereiches, d. h. im äußeren Sehbereich, neben der Blickrichtung
- Mehrfachbilder bei bewegtem Blick oder bewegten Objekten
- Irritationen beim Erkennen von bewegten Objekten
- Aussagen, die auf Phantombilder oder Perlschnur-Erscheinungen bei kleinen leuchtenden Punkten hinweisen
- Ablenkung durch Lichtquellen oder beleuchtete Objekte
- Sehbeschwerden, insbesondere beim Lesen, verschwommenes Sehen
- Augenrötung, Augenbrennen, vermehrter Tränenfluss, „Sandkorn im Auge“
- Lidzucken
- erhöhte Blendempfindlichkeit
- Kopfschmerzen
- Unwohlsein
- vermehrtes Auftreten von Migräne
- bei Beleuchtung ausschließlich mit Tageslicht treten die genannten Probleme nicht auf

5.2 Möglichkeiten der einfachen Bewertung ohne Messgeräte

Eine einfache qualitative Möglichkeit für die Überprüfung des Lichtflimmerns ist, etwa 30° an der fraglichen Lichtquelle vorbeizusehen. Dort ist das menschliche Auge besonders flimmerempfindlich.

Um den Stroboskopeffekt zu beurteilen, haben sich schnelle Auf- und-Ab-Bewegungen der Hand mit gespreizten Fingern vor den Augen bewährt (Bild 1). Die fragliche Lichtquelle soll dabei die Hand sichtbar beleuchten. Eine andere Methode ist, einen Schreibstift oder einen federnden Maßstab am Ende zu fassen und diesen wie einen Fächer schnell vor den Augen hin und her zu bewegen (Bild 2).

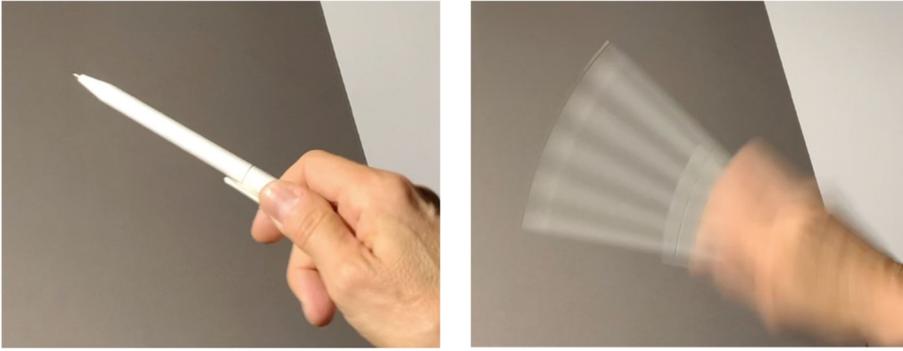


Bild 2: links Schreibstift unbewegt, rechts: bei schneller Bewegung des Stiftes wird dieser mehrfach wahrgenommen: Stroboskopeffekt ist vorhanden.

Um Geisterbilder zu sehen sind schnelle Augenbewegungen erforderlich, während nur sehr kurz zur fraglichen Lichtquelle geblickt wird. Man führt gewissermaßen eine schnelle Augenbewegung über die Leuchte hinweg durch. Der Effekt ist in Bild 3 veranschaulicht.

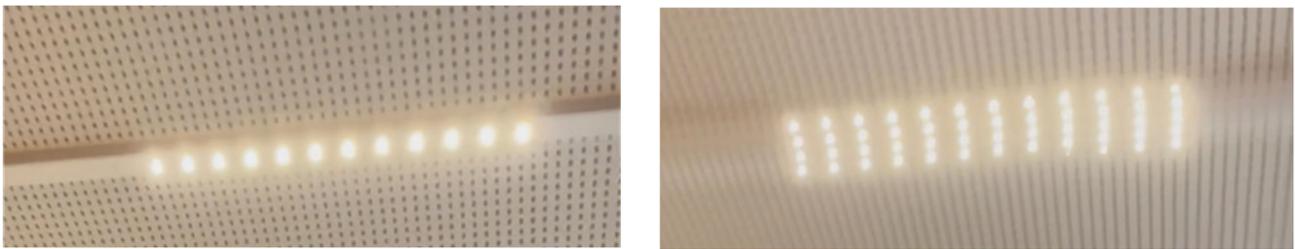


Bild 3: Wahrnehmung von Geisterbildern beim schnellen Blick über eine Leuchte, links: Ansicht der Leuchte bei unbewegtem Blick, rechts: bei schneller Bewegung des Blicks über die Leuchte (im Bild von oben nach unten) werden die einzelnen LEDs mehrfach wahrgenommen (Geisterbilder bzw. Perlschnureffekt).

Weniger geeignet ist die Verwendung der Kameras, z. B. von Smartphones. Die in den Displays bei Lichtflimmern manchmal sichtbaren bewegten Streifen entstehen durch Interferenz der Lichtfrequenz mit der Taktung der Kamera bei der Abtastung der Bildzeilen. Jede Kamera hat andere Methoden dies zu unterdrücken. Es ist daher möglich, trotz Lichtflimmern keine Streifen zu sehen oder Streifen zu sehen, auch wenn der Mensch ein Lichtflimmern gar nicht wahrnehmen kann.

5.3 Stroboskopeffekte an bewegten Maschinenteilen

Diese Effekte sind durch Beobachtung der bewegten Teile in bestimmten Frequenzbereichen direkt erkennbar. Um diese herauszufinden, muss die Drehzahl bzw. die Geschwindigkeit der Teile variiert werden., beispielsweise durch Einschalten der Maschine, weil beim Anlaufen die Auswirkungen verschiedener Geschwindigkeiten beobachtet werden können.

Treten Stroboskoperscheinungen an sich drehenden oder bewegten Maschinenteilen auf, ist schnelles Handeln erforderlich. Die Maschine darf aufgrund der Unfallgefahr in Zusammenwirken mit der Beleuchtungsanlage nicht betrieben werden. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind insbesondere ungeschützte Teile relevant, wie bei Kreissägen, Bohr-, Dreh-, Stoß- und Fräsmaschinen, etc.

5.4 Überprüfen der technischen Daten der Leuchte

Idealerweise sind die Kennzahlen SVM und P_{st}^{LM} im Datenblatt der Leuchte oder des Betriebsgerätes genannt. Alternativ bleibt nur die Möglichkeit, die Daten beim Hersteller zu erfragen.

5.5 Verwendung von Messgeräten, Prüfung durch Messlabore

Inzwischen gibt es auf dem Markt Messgeräte, die die relevanten Kennzahlen SVM und P_{st}^{LM} messen können. Es ist jedoch zu beachten, dass an Arbeitsplätzen meist nur orientierende Messungen möglich sind, da hier oft Fremdeinflüsse nicht vermieden werden können. Tageslicht sollte bei der Messung nicht vorhanden sein. Auch sind im Allgemeinen mehrere Leuchten im Raum und es ist schwierig, das Licht einer einzelnen Leuchte zu messen.

Bei dem Verdacht auf Lichtflimmern, sollte daher eine der verwendeten Leuchten abgenommen und in einem dafür spezialisierten Messlabor unter definierten Messbedingungen untersucht werden. Wenn das nicht möglich ist, muss die Situation vor Ort von einem Experten beurteilt werden. Die Gutachterliste der LiTG e. V. (<https://www.litg.de/Service/LiTG-Gutachterliste.html>) verweist auf geeignete Experten mit dem Spezialgebiet „Messen von Lichtflimmern“.

5.6 Überprüfung der Netzqualität

Sollten sich im Gebäude elektrische Anlagen befinden, die aufgrund einer fehlerhaften Installation oder nicht vorschriftsmäßiger Entstörung Rückwirkungen auf das Stromnetz haben, kann auch das zum Flimmern von Lichtquellen führen. Ist die Leuchte selbst als Ursache für Lichtflimmern ausgeschlossen, sollte ein Experte die Netzqualität analysieren.

6 Maßnahmen zur Beseitigung von Lichtflimmern

Für Neuanlagen ist die Checkliste für die Leuchtauswahl in Anhang 10.4 zu berücksichtigen.

Organisatorische und personenbezogene Maßnahmen sind kaum möglich, es sei denn es werden eigene Räume für besonders flimmerempfindliche Risikogruppen mit speziell ausgewählten Leuchten ausgestattet. Auch das Arbeiten in Fensternähe mit viel Tageslicht liefert eine optimale Beleuchtung für flimmerempfindliche Personen, da das Tageslicht von Natur aus flimmerfrei ist.

Letztlich kann ein kritisches Lichtflimmern am Arbeitsplatz nur durch die Installation eines neuen qualitativ hochwertigeren Beleuchtungssystems beseitigt werden. Das heißt, es ist bereits bei der Beschaffung der Beleuchtungssysteme und ihrer Betriebsgeräte auf Flimmerfreiheit zu achten.

In der ASR A3.4 wird darauf hingewiesen, dass eine Alternative bei einer bestehenden Anlage sein kann, die Leuchten abwechselnd an die drei Phasen des Stromnetzes anzuschließen. Diese Empfehlung ist für Leuchtstofflampen weiterhin gültig. Auch bei LEDs kann dieser phasenverschobene Betrieb zu einer Reduzierung der Flimmerwirkung führen. Zur Vermeidung von Stroboskopeffekten an drehenden oder bewegten Maschinenteilen ist diese Maßnahme aber nicht geeignet.

7 Beurteilung von Arbeitsplätzen hinsichtlich Flimmergefahr

Negative Auswirkungen von Lichtflimmern sind möglich, wenn an den Arbeitsplätzen die folgenden Kriterien gegeben sind:

7.1 Kritische kleine Sehdetails, sich bewegende Sehobjekte, schnelle Blickwechsel

Beim Sehen von kleinen Details (wie z. B. in Zahntechnischen Laboren, bei Uhrmachern und Goldschmieden) kommt es darauf an, den Blick konzentriert auf diese lenken zu können. Blickwechsel zwischen den Details können durch flimmerndes Licht erschwert sein. Sind die Sehobjekte selbst noch in Bewegung und müssen diese schnell und zuverlässig erkannt werden, ist besonders auf flimmerfreie Beleuchtung zu achten.

7.2 Bewegte Teile an Maschinen oder Arbeitsmitteln, die zur Unfallquelle werden können

Geht von bewegten Werkzeugen (Sägeblättern, Bohrern, Fräswerkzeugen, etc.), Arbeitsmitteln oder sonstigen Teilen eine Unfallgefahr aus, müssen diese in ihrer Bewegung jederzeit richtig eingeschätzt werden können. Werden die bewegten Teile mit flimmerndem Licht beleuchtet, kann das richtige Erkennen gestört

sein. Daher dürfen hier nur LED-Leuchten eingesetzt werden, die mit Gleichstrom (Konstantstrom) betrieben und (wenn notwendig) auch nur durch Konstantstrom-Reduzierung gedimmt werden.

Treten Stroboskoperscheinungen an drehenden oder bewegten Maschinenteilen auf, ist ein schnelles Handeln erforderlich. Die Maschine darf in Zusammenwirken mit der Beleuchtungsanlage aufgrund der Unfallgefahr bei ungeschützten Teilen nicht betrieben werden (siehe ASR A3.4).

7.3 Veränderbare (dimmbare) Beleuchtung

Werden die LED-Leuchten mittels Pulsweitenmodulation (PWM) gedimmt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Flimmern wahrgenommen wird. Bei der Dimmung durch Konstantstrom-Reduzierung (CCR) ist das nicht der Fall. Details sind in Bild A2 im Anhang dargestellt.

8 Auswahl geeigneter Leuchten

8.1 Für normale Anforderungen ohne Dimmung der Leuchten

Folgende Kennzahlen sind einzuhalten:

$SVM \leq 0,9$ (ab 1. September 2024: $SVM \leq 0,4$)

$P_{st}^{LM} \leq 1$

8.2 Für normale Anforderungen mit Dimmung der Leuchten

Dimmung sollte möglichst durch Konstantstrom-Reduzierung erfolgen. Alternativ kann mit stufenweisem Schalten eine Reduktion der Beleuchtung erzeugt werden.

8.3 Für alle kritischen Arbeitsplätze nach Kapitel 7

Hier dürfen nur Leuchten, die konstanten Lichtstrom erzeugen, eingesetzt werden. Das gilt auch für den nicht gedimmten Betrieb. Dimmung darf nur durch Konstantstrom-Reduzierung (CCR) erfolgen. Alternativ kann mit teilweiser Abschaltung von Leuchten eine Reduktion der Beleuchtungsstärke erreicht werden. Dabei ist zu beachten, dass die Gleichmäßigkeit bei dieser Maßnahme erhalten bleibt. Nach ASR A3.4 Abschnitt 6.2 darf an keiner Stelle im Bereich des Arbeitsplatzes das 0,6-Fache der mittleren Beleuchtungsstärke unterschritten werden [14].

Für Arbeitsplätze mit bewegten Teilen an Maschinen gilt, dass bestehende Anlagen nicht weiterbetrieben werden dürfen, wenn sie mit gepulstem Licht beleuchtet werden.

9 Literatur

- [1] DGUV-I 250-001 „Berufliche Beurteilung bei Epilepsie und nach erstem epileptischem Anfall“
- [2] CIE Technical Note TN 006 (2016): Visual aspects of time-modulated lighting systems. CIE, Wien
- [3] CIE Technical Note TN 008 (2017): CIE Stakeholder Workshop for Temporal Light Modulation Standards for Lighting Systems. CIE, Wien.
- [4] IEEE Std. 1789 (2015): IEEE Recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers. IEEE, New York, USA.
- [5] Wilkins, A.; Veitch, J.; Lehman, B. (2010): LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update. In: 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2010). Atlanta, Georgia, USA, 12 - 16 September 2010. S. 171–178. DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618050.
- [6] DIN 5035 (1935): Leitsätze für die Beleuchtung mit künstlichem Licht. Deutscher Normenausschuss, Berlin.
- [7] LiTG (2017): Flimmern und stroboskopische Effekte von PWM-gesteuerten LED-Autoscheinwerfern. Publ. 35, Deutsche Lichttechnische Gesellschaft LiTG, Berlin.
- [8] LiTG (2022): Störungen und gesundheitliche Beeinträchtigung durch das Flimmerverhalten künstlicher Lichtquellen. Publ. 48, Deutsche Lichttechnische Gesellschaft LiTG, Berlin.
- [9] Vogels, I.M.; Sekulovski, D.; Perz, M. (2011): Visible artefacts of LEDs. Proc. CIE 27th Session. Sun City, ZA, 10.-15.7.2011. CIE Central Bureau, Wien (CIE Publikation 197), S. 42–51.
- [10] Polin, D. (2015): Flicker and stroboscopic perception of white LEDs under photopic conditions. Chap. 5.11. in: Tran Quoc Khanh, Peter Bodrogi et al. (Hg.): LED lighting. Technology and perception. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, S. 321–331.
- [11] Verordnung (EU) 2019/2020 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte. <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/2020/oj>
EU (2021): Verordnung (EU) 2021/341 (Änderung der EU V 2019/2020). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/341/oj>
- [12] EU (2015): Verordnung 2019/2015 (Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen). <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/2015/oj>
- [13] ZVEI (2017): Temporal Light Artefacts – TLA. Flimmern und Stroboskopeffekt, ZVEI Information. ZVEI, Frankfurt a. M.
- [14] ASR A3.4 (2014): Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAUA, Dortmund.
- [15] DIN EN 12464-1 (2021): Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Beuth Verlag, Berlin.
- [16] https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-label-ling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/product-database_de
- [17] DGUV-G 315-201 „Anforderungen an die Ausbildung von fachkundigen Personen für die Überprüfung und Beurteilung der Beleuchtung von Arbeitsstätten“

10 Anhang

10.1 Glossar

Gepulster Betrieb von Lichtquellen und Lichtflimmern

Im gepulsten Betrieb werden Lichtquellen nicht mit konstantem Strom (Gleichstrom) betrieben, sondern in sehr kurzen Abständen an- und ausgeschaltet. Das führt zu einer sich periodisch wiederholenden Veränderung des Lichtstroms, dem sogenannten Lichtflimmern. Der Mensch kann diese physikalische Eigenschaft nur unter bestimmten Bedingungen wahrnehmen.

Flimmern (direkt wahrnehmbares Flimmern)

Kann der Mensch das Lichtflimmern einer Lichtquelle wahrnehmen, spricht man von Flimmern.

Stroboskopeffekt

Wird ein bewegter Gegenstand mit flimmerndem Licht beleuchtet und dabei die Bewegung des Gegenstandes nicht mehr als kontinuierlich wahrgenommen, spricht man vom Stroboskopeffekt. Gegenstände oder auch Lichtquellen werden dann mehrfach gesehen, daher sagt man auch Perlschnureffekt.

Rotierende Maschinenteile können fälschlicherweise als scheinbar verlangsamt, stehend oder rückwärts laufend erscheinen.

Geisterbilder

Geisterbilder entstehen bei einem sehr kurzen direkten Blick in eine flimmernde Lichtquelle. Die Leuchte erscheint dann als Mehrfachbild. Auch hier spricht man mitunter vom Perlschnureffekt.

Perlschnureffekt

Sowohl beim Stroboskopeffekt als auch bei Geisterbildern werden Gegenstände oder Lichtquellen mehrfach gesehen. Sie erscheinen dann wie auf einer Schnur aufgereiht.

10.2 Gefährdungsbeurteilung

Ist die Beleuchtung flimmerfrei?

Im **Büro** reicht zur Bewertung der Blick auf die Lampe bzw. etwas neben die Lampe.

Tipp: Schnelle Bewegungen eines Stiftes, dieser sollte nicht als Mehrfachbild zu sehen sein.

An Arbeitsplätzen mit **kritischen**, kleinen Sehdetails, sich bewegenden Sehobjekten und schnellen Blickwechseln sollten die Tätigkeiten von einer fachkundigen Person (beispielsweise nach DGUV-G 315-201) beobachtet bzw. nachvollzogen werden, s. Kap. 5. Auf Hinweise dafür, dass Mitarbeitende durch Flimmern beeinträchtigt sind, ist zu achten, s. Kap. 10.3.

Bei Arbeiten an rotierenden bzw. **bewegten Werkzeugen** oder schnell bewegten Maschinenteilen sind Stroboskopeffekte zu bewerten. Dazu sollen die Maschinen auch ein- und ausgeschaltet werden. Dabei können die Auswirkungen verschiedener Geschwindigkeiten beobachtet werden. **Sind Stroboskopeffekte zu beobachten, ist schnelles Handeln erforderlich. Die Maschine darf in Zusammenwirken mit der Beleuchtungsanlage nicht weiter betrieben werden, wenn ungeschützte Teile erreichbar sind.**

10.3 Hinweise dafür, dass Mitarbeitende durch Lichtflimmern beeinträchtigt sein können

| |
|---|
| Wahrnehmbares Flimmern der Leuchte |
| Wahrnehmbares Flimmern im äußeren Sehbereich, neben der Blickrichtung |
| Mehrfachbilder bei bewegtem Blick oder bewegten Objekten |
| Irritationen beim Erkennen von bewegten Objekten |
| Aussagen, die auf Phantombilder oder Perlschnur-Erscheinungen bei kleinen leuchtenden Punkten hinweisen |
| Ablenkung durch Lichtquellen oder beleuchtete Objekte |
| Sehbeschwerden, insbesondere beim Lesen, verschwommenes Sehen |
| Augenrötung, Augenbrennen, vermehrter Tränenfluss, „Sandkorn im Auge“ |
| Lidzucken |
| erhöhte Blendempfindlichkeit |
| Kopfschmerzen |
| Unwohlsein |
| vermehrtes Auftreten von Migräne |
| bei Beleuchtung ausschließlich mit Tageslicht treten die genannten Probleme nicht auf |

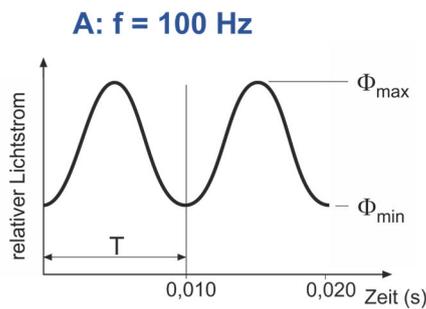
10.4 Ausschlusskriterien für die Verwendung von gepulstem (bzw. flimmerndem) Licht

| |
|--|
| Am Arbeitsplatz gibt es bewegte oder rotierende Werkzeuge, Maschinenteile oder andere schnell bewegte Arbeitsmittel. |
| Es gibt viele oder ausschließlich sehr kleine, relevante Sehdetails. |
| Bewegte Sehobjekte müssen schnell und zuverlässig erkannt werden. |
| Schnelle Blickwechsel sind notwendig. |
| Es gibt flimmerempfindliche Mitarbeitende. |
| Es gibt bereits Beschwerden (Tabelle 10.3). |

10.5 Checkliste für die Leuchtauswahl

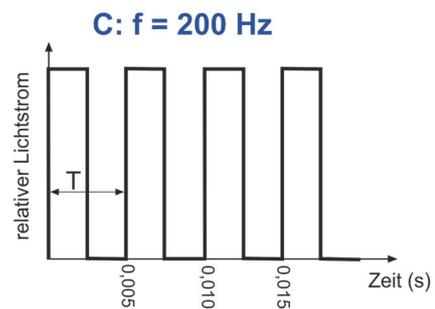
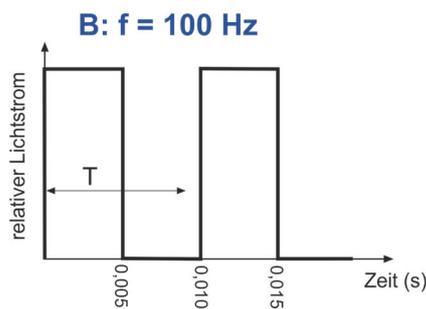
| |
|--|
| <p>Normale Anforderungen, wenn keine Dimmung der Leuchten erfolgt</p> <ul style="list-style-type: none">o $SVM \leq 0,4$o $P_{st}^{LM} \leq 1$ |
| <p>Normale Anforderungen, wenn Dimmung der Leuchten erfolgen soll</p> <ul style="list-style-type: none">o $SVM \leq 0,4$o $P_{st}^{LM} \leq 1$o Dimmung durch Stromabsenkungo Dimmung durch Pulsweitenmodulation sollte möglichst vermieden werden |
| <p>Kritische Arbeitsplätze (siehe Kapitel 7)</p> <ul style="list-style-type: none">o Betrieb der Leuchte mit konstantem Stromo Dimmung durch Stromabsenkungo keine Dimmung durch Pulsweitenmodulationo keine Verwendung von Betriebsgeräten, welche die LED mit gleichgerichteter sinusförmiger Netzspannung oder anderweitig gepulst betreiben |

Erläuterungen zum technischen Hintergrund und den verwendeten Begriffen



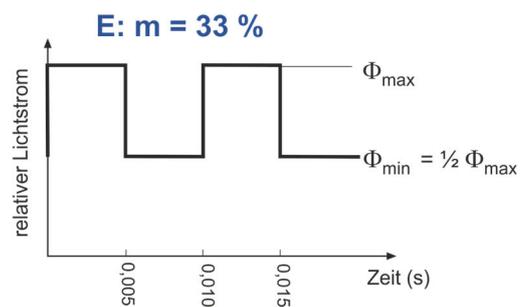
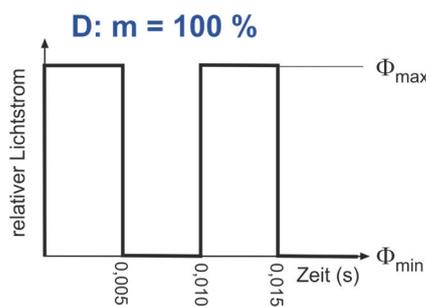
Frequenz

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{in Hz})$$



Modulationstiefe

$$m = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}} \cdot 100 \%$$



A:

Sinusförmiger Zeitverlauf mit einer Periodendauer T von 0,010 s
Die Frequenz beträgt f = 100 Hz, das entspricht 100 Pulsen pro Sekunde.

B:

Rechteckiger Verlauf mit einer Periodendauer T von 0,010 s
Die Frequenz beträgt f = 100 Hz, das entspricht 100 Pulsen pro Sekunde.

C:

Rechteckiger Verlauf mit einer Periodendauer T von 0,005 s
Die Frequenz beträgt f = 200 Hz, das entspricht 200 Pulsen pro Sekunde.

D:

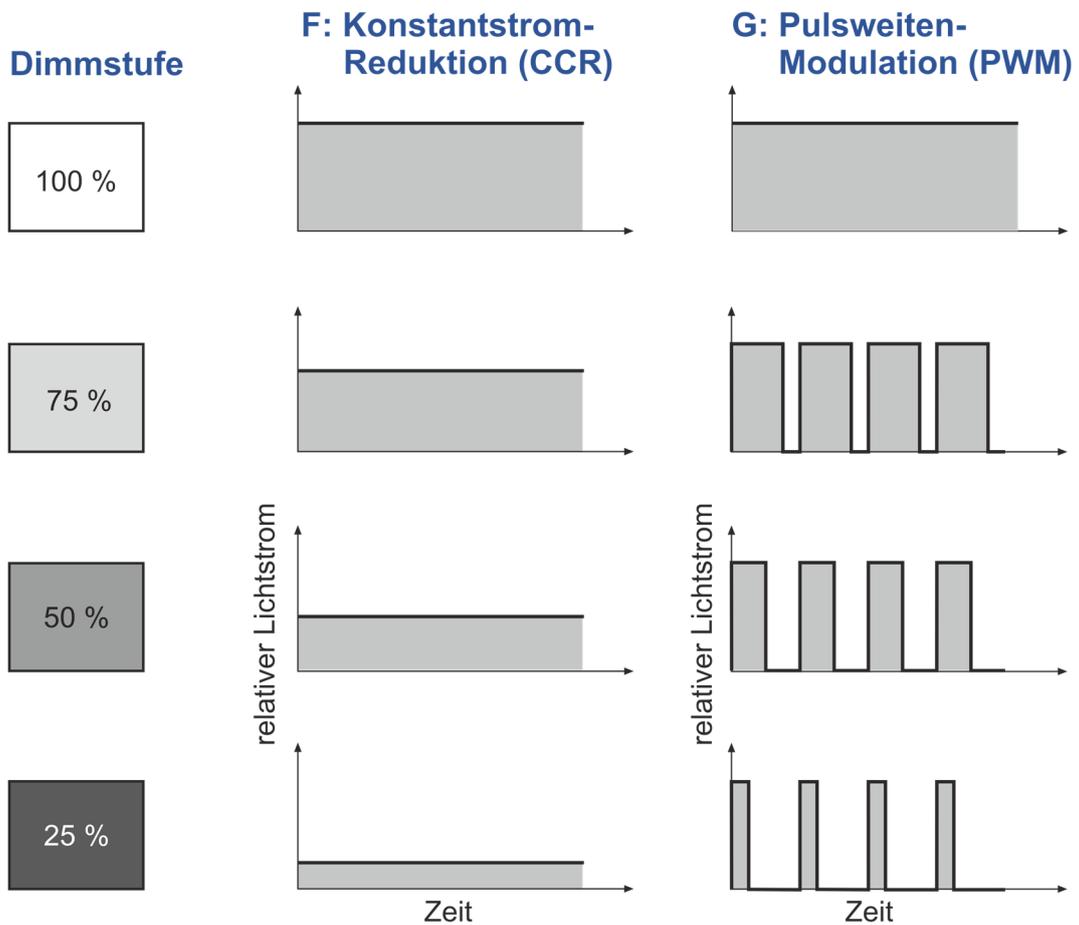
Der Lichtstrom wird zwischen Φ_{\max} und $\Phi_{\min} = 0$ moduliert
Die Modulationstiefe beträgt m = 100 %

E:

Der Lichtstrom wird zwischen Φ_{\max} und $\Phi_{\min} = \frac{1}{2} \Phi_{\max}$ moduliert
Die Modulationstiefe beträgt m = 33 %

Weitere Details in [2] und [8]

Erläuterungen zu den Methoden der Dimmung von LED-Leuchten



F: Stromabsenkung mit zeitlich konstantem Strom (Konstantstrom-Reduktion CCR), die Dimmstufe entspricht dem relativen Lichtstrom

G: Pulsweitenmodulation (PWM), die Dimmstufe entspricht dabei dem Zeitanteil, während dem die Leuchtdiode mit maximalem Strom betrieben wird. Dieser wird auch Tastgrad genannt und in Prozent angegeben.