

Untersuchung stroboskopartiger Effekte von PWM-gesteuerten LED-Leuchten

Dipl.-Ing. Dmitrij Polin, Prof. Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik

1. Motivation

Zur Dimmung von LED-Leuchten werden am häufigsten zwei Verfahren verwendet: Die Konstantstromregelung und die Pulsweitenmodulation (PWM). Bei vielen LED-Typen und LED-Anwendungen wie Film- und TV-Beleuchtung, Shop-Beleuchtung, Museum- und Hotelbeleuchtung führt die Stromänderung zur visuell wahrnehmbaren Veränderung des emittierten Spektrums, was in manchen Anwendungen nicht akzeptabel ist. Für viele preissensitive Anwendungen wie Kfz-Innen- und Außenbeleuchtung und Bürobeleuchtung ist die Schaltung zur Stromänderung zu teuer. Deshalb wird meistens die PWM zur Dimmung vorgezogen. Dabei wird der Strom durch die LED mit einer festgelegten Frequenz an- und ausgeschaltet. Aufgrund der Trägheit der lichtempfindlichen Rezeptoren im Auge wird eine mittlere Helligkeit der LED nach dem Talbot-Gesetz wahrgenommen. Diese kann über das Verhältnis von An- zu Auszeit stufenlos eingestellt werden.

Um das Flimmern zu vermeiden muss die PWM-Frequenz über der Flimmerverschmelzungsfrequenz also weit über 100 Hz liegen. Das hochfrequente An- und Ausschalten hoher Ströme führt allerdings zu Bildung starker elektromagnetischer Felder und damit zur potentiellen Störung von Elektrogeräten in der Nähe der Leuchte, da die Leuchtenhersteller zum guten Teil aus Kostengründen die Leitungsabschirmung sparen. Aus diesem Grund wählen viele Leuchtenhersteller eine möglichst geringe PWM-Frequenz.

Bei schnellen Augenbewegungen oder bei schnellen Bewegungen von Gegenständen, wie beispielsweise bei Ventilatoren, schnellen Handbewegungen beim Schreiben und Malen kommt es jedoch zu stroboskopartigen Effekten, welche umso auffälliger sind, je geringer die PWM-Frequenz. Aus diesem Grund ist es wichtig, eine bestimmte Frequenz und ein bestimmtes Puls-Pausen-Verhältnis experimentell zu bestimmen, bei der visuellen Erscheinungen wie Flimmern und stroboskopische Erscheinungen nur noch leicht wahrnehmbar sind.

2. Versuchsaufbau- und -organisation

Für den Versuch wurde ein neues Arbeitszimmer mit folgenden Merkmalen eingerichtet.

- Büro mit weißen Wänden (s. Abb. 1), abgedeckte Fenster (kein Licht von außen)
- Arbeitsplatz: weißer Tisch, Notebook
- Deckenleuchte mit 8 PWM-gesteuerten LEDs, 11 PWM-Einstellungen, diffuse Beleuchtung
- $E = 250 \text{ lx}$ auf Tischoberfläche bei jeder Einstellung



Abb. 1: Versuchszimmer

Die Versuchsorganisation hatte folgende Aspekte:

- LEDs (weiß, 8 x Citizen CL-L233-MC13W1-C, $T = 4000\text{ K}$, $R_a = 85$)
- Treiberelektronik: PWM-Steuerung mit einstellbarem Strom
- 11 Testsignale (5 PWM-Frequenzen: 100, 200, 300, 400, 1000 Hz, 2 Tastverhältnisse: 20% und 50 % und Konstantstrom)
- Randomisierte Reihenfolge, gleiche Reihenfolge für alle Probanden

Es sind insgesamt 37 Probanden (23 Männer, 14 Frauen) mit folgender Altersstruktur:

Alter: 22 bis 61 Jahre

- 21 Probanden bis 30 Jahre
- 11 Probanden 30 bis 40 Jahre
- 5 Probanden über 40 Jahre

Die Probandenbewertung erfolgte bei jeder Einstellung beim Ausführen unterschiedlicher Tätigkeiten (s. Abb. 2-5):



Abb. 2: Maus anschließen

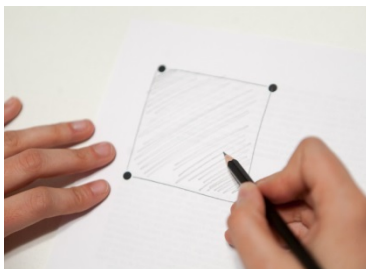


Abb. 3: Schraffierung



Abb. 4: Wörter zählen und unterstreichen

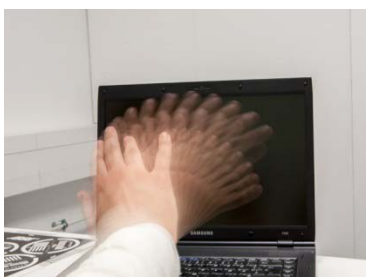


Abb. 5: Handbewegung

Die Bewertung der Auffälligkeit vom Flimmern oder Stroboskopeffekten erfolgte auf einer Skala von -2 bis 2 mit

* - 2 – nicht wahrnehmbar

* + 2 – sehr deutlich wahrnehmbar

3. Ergebnisse der Bewertung

Das untere Diagramm in der Abb. 6 zeigt das erste Ergebnis bei einem Tastverhältnis von 20% bei 5 Frequenzen (100, 200, 300, 400, 1000 Hz). Dort erreicht man die Skalierung -1 (leicht wahrnehmbar) bei schnellen aber typischen Handlungen wie Schraffierungen (Malen), Handbewegen und „Maus anschließen“ bei einer Frequenz zwischen 300 Hz und 400 Hz.

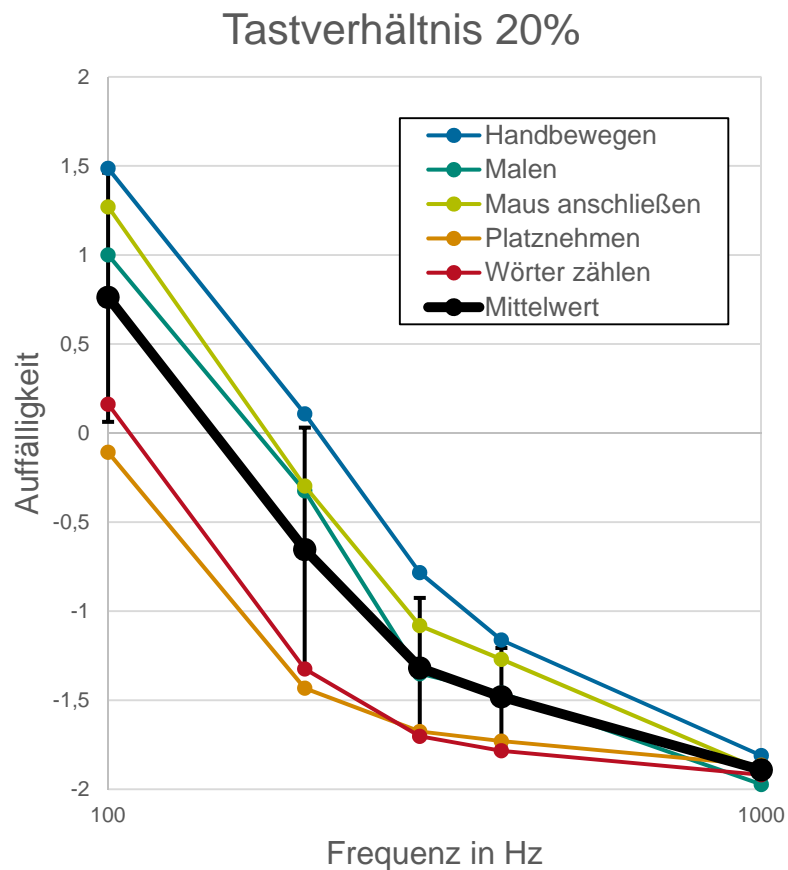


Abb. 6: Ergebnisse der Auffälligkeit