

Einflüsse von pulsweitenmodulierten Lichtquellen auf die visuelle Wahrnehmung

*Steffen Strauß, L-LAB, Paderborn
Alexander Wernicke, TU-Ilmenau*

Schlüsselwörter: "Perlschnur" Stroboskop LED Pulsfrequenz

In den letzten Jahren hat sich eine neue Lichtquelle, die LED, wegen ihres steigenden Wirkungsgrades etabliert. Ein Unterschied zu anderen Lichtquellen ist unter anderem die schnelle Schaltzeit der LED im Bereich von einigen hundert Nanosekunden. Dies ermöglicht es, sie schnell zu schalten und zu pulsen. Jedoch müssen bei Signalisierung und Beleuchtung mit gepulstem Licht auftretende Effekte berücksichtigt werden. Dieser Vortrag behandelt Vorteile gepulster Lichtquellen sowie Nachteile, die diese Technologie mit sich bringt.

Motivation für Pulsweitenmodulation

Es gibt verschiedene Gründe für die Anwendung von Pulsweitenmodulation bei LEDs. Es ist zum Beispiel kostspieliger, die oft ohnehin vorhandene Wechselspannung gleichzurichten, als sie einfach zum Betreiben von LEDs zu nutzen.

Beim Dimmen von LEDs steht man beispielsweise vor folgendem Problem:

Wie in Abbildung 1 und 2 illustriert, zeigen gleichartige LEDs ein unterschiedliches Verhalten ihrer lichttechnischen Parameter, wenn sie mit Strom unterhalb des Maximums betrieben werden. Bei einer Ansteuerung mit maximalem Strom tritt dieser Effekt nicht auf. Deshalb werden LEDs beim Dimmen mit maximalem Strom angesteuert, welcher in Intervallen ein- und ausgeschaltet wird.

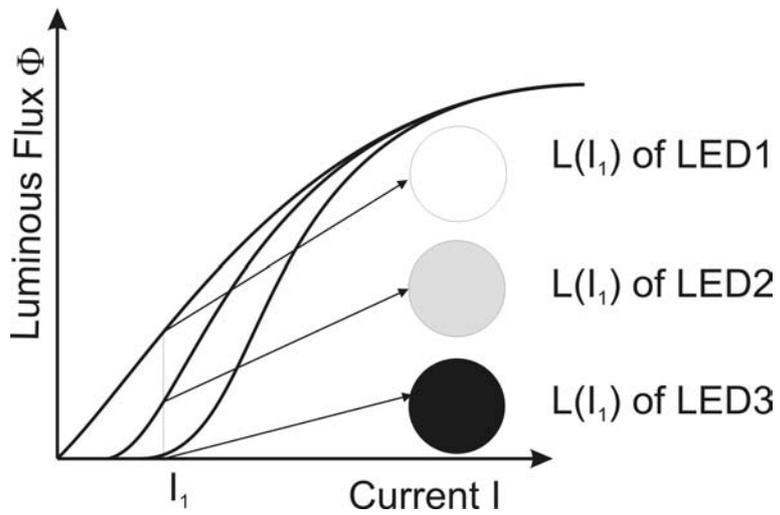


Abbildung 1 Verhalten von gleichartigen LEDs bei submaximalem Strom

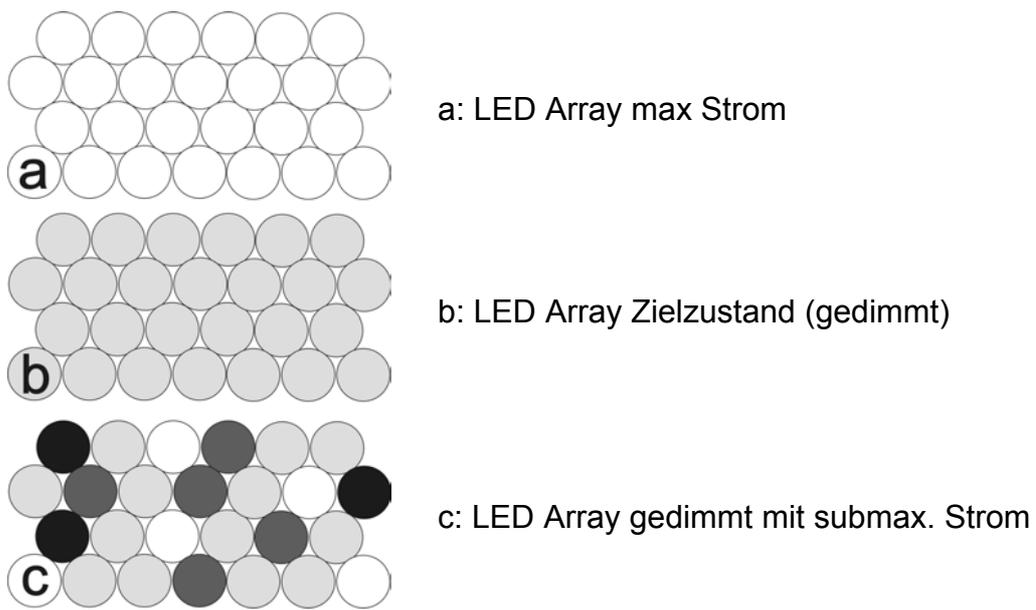


Abbildung 2 Dimmen eines LED Array mit submaximalem Strom

Bedingt durch die Trägheit des Verarbeitungsprozesses von visuellen Informationen können vom nach Bedingung nur Frequenzen zwischen 20 und 70 Hz zeitlich aufgelöst werden.

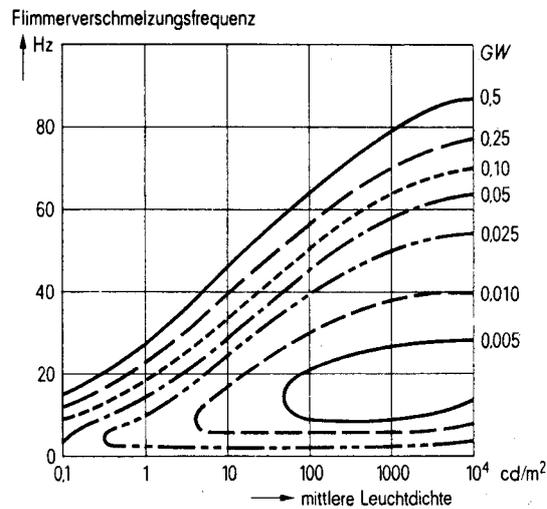


Abbildung 3 Flimmerverschmelzungsfrequenz [Hen]

Für Frequenzen oberhalb dieser Werte wird nach dem Talbotschen Gesetz das zeitliche Mittel detektiert.

$$L = \frac{\int_0^T L(t) dt}{\int_0^T dt}$$



William Henry Fox Talbot
(1800-1877)

Abbildung 4 Talbotsches Gesetz

Deshalb können LEDs über die Variation der Frequenz und das Tastverhältnis gedimmt werden.

[Hen] H.J. Hentschel, Licht und Beleuchtung: Grundlagen und Anwendungen der Lichttechnik, Heidelberg 2001, 5. revised edition, p.64

Effekte bedingt durch Pulsweitenmodulation

In der Vergangenheit wurden LEDs zu Indikationszwecken genutzt, und werden durch ihren steigenden Wirkungsgrad nun mehr und mehr auch zur Beleuchtung verwandt.

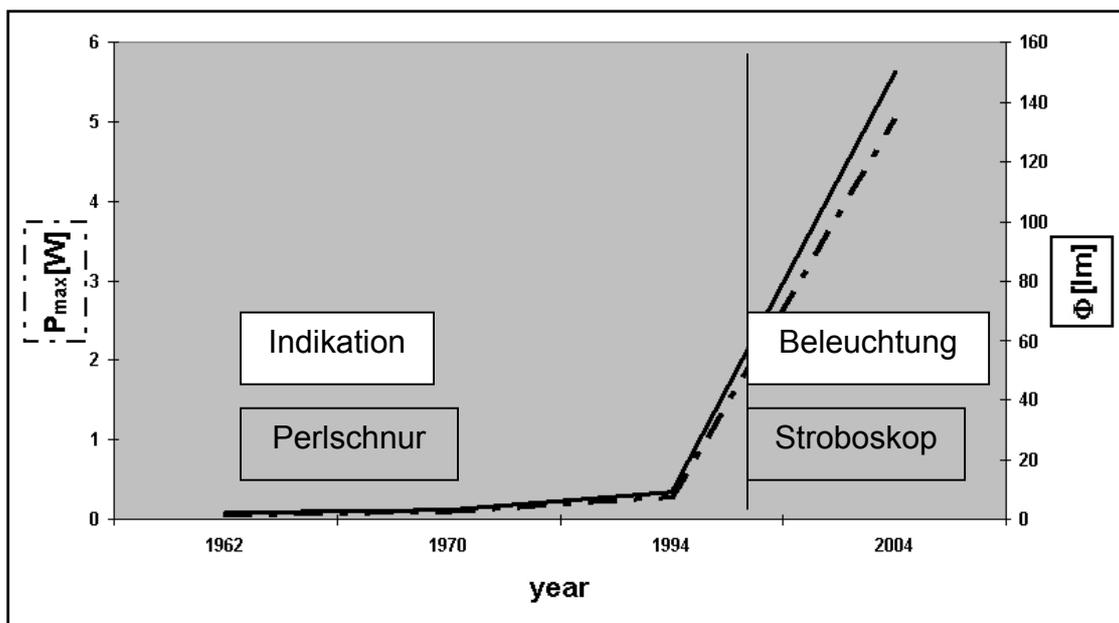


Abbildung 5 Entwicklung und resultierende Anwendung von LEDs

Durch Pulsweitenmodulation entstehen bei beiden Anwendungen Effekte.

Der Stroboskop-Effekt kann auftreten, wenn periodisch variable Strukturen mit periodisch variablen Lichtquellen beleuchtet werden, unter der Annahme, dass sie eine bestimmte Relativgeschwindigkeit haben. Ein "Perlschnur"-Effekt kann auftreten, wenn sich der Blick des Beobachter an einer gepulsten Lichtquelle vorbei bewegt.

Obwohl auch Glühlampen über Pulsweitenmodulation gedimmt werden, treten diese Effekte hier nicht auf. Der Grund hierfür liegt in der langen Schaltzeit von ca. $1/5$ s, also der Trägheit der Lampe. Sie folgt den hohen Frequenzen nicht. Im Gegensatz dazu kann die LED durch Schaltzeiten von weniger als $1\mu\text{s}$ Frequenzen bis zu 1 MHz folgen.

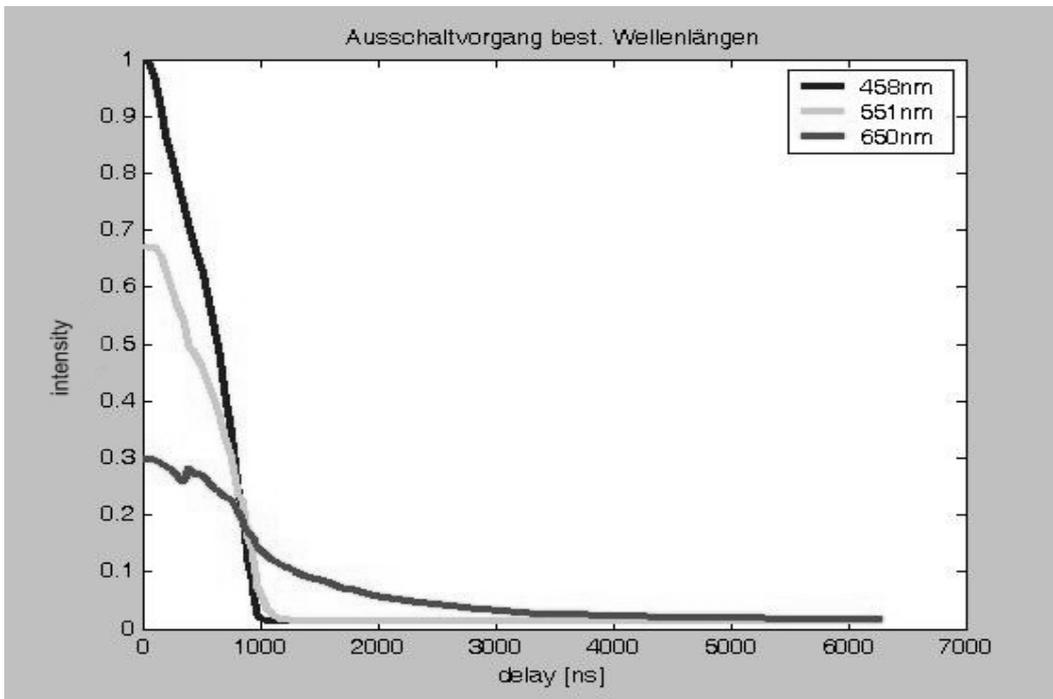


figure 6 Schaltzeit einer LED

Stroboskop Effekt

Bei Beleuchtung mit gepulstem Licht scheinen sich Elemente und Strukturen rückwärts zu bewegen oder stillzustehen.

Dieser Effekt kann bei rotierenden Elementen, die mit gepulstem Licht beleuchtet werden, auftreten. Er kann auch schon an Rädern in Straßenverkehr-Szenarien beobachtet werden, wenn diese mit Natriumdampflampen mit einer 50Hz Netzfrequenz beleuchtet werden.

Der Effekt kann auch bei einer translatorischen Bewegung relativ zu periodisch variablen Strukturen auftreten, wenn diese mit gepulstem Licht beleuchtet werden. Dieser Fall ist in Abbildung 7 illustriert.

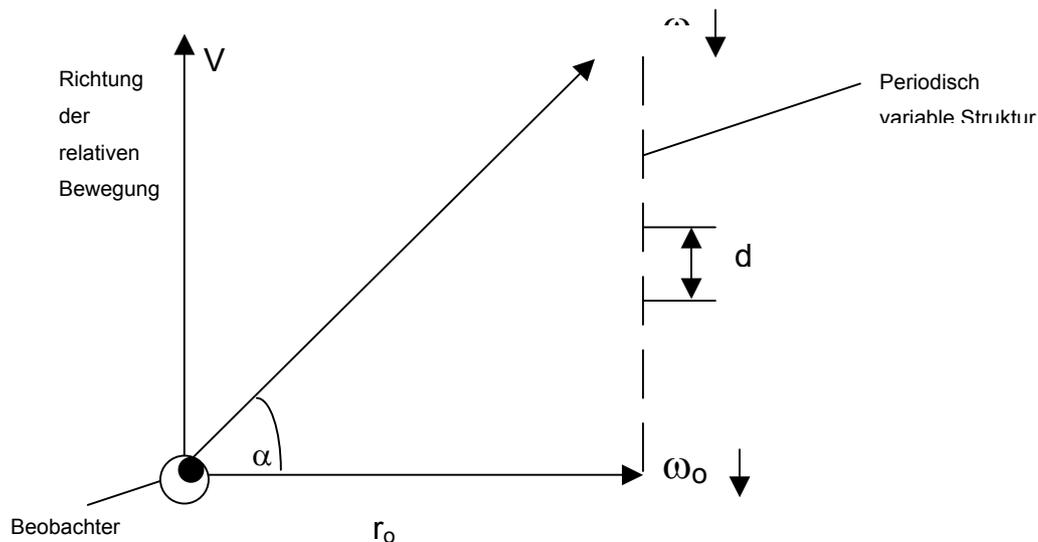


Abbildung 7 Stroboskop Effekt bei relativer translatorischer Bewegung

In Abhängigkeit der Parameter V , r_0 und d , tritt hier der Stroboskop Effekt bei kritischen Pulsweitenmodulation- Frequenzen auf.

“Perlschnur” Effekt

Ein “Perlschnur” - Effekt tritt bei kritischen Pulsweitenmodulation- Frequenzen auf, wenn sich eine gepulste Lichtquelle mit einer Winkelgeschwindigkeit von ω in relativer Bewegung zu der optischen Achse des Beobachters befindet.

Die Lichtquelle bewegt sich mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit ω im Zeitintervall $[t_0, t_1]$. So bewegt sich das Bild der Lichtquelle auf der Retina von Position α_1 nach Position α_2 .

$$\omega = \dot{\alpha} = \frac{d\alpha}{dt} \longrightarrow \alpha = \int \omega dt$$

Annahme $\omega = const.$ $\longrightarrow \alpha = \omega \cdot t + \alpha_0$

Wenn die Intensität der Lichtquelle während des Zeitintervalls konstant bleibt, resultiert dies in einer Linie konstanter Intensität auf der Retina (Fall 1)

$$I_{t_0 \rightarrow t_1} = I_0 = \text{const.} \quad \longrightarrow \quad I_{\alpha_0 \rightarrow \alpha_1} = \text{const.}$$

Wenn sich die Intensität während dieses Zeitintervalls ändert, verändert sich auch die Intensität auf der Retina mit α . (Fall 2)

$$I_{t_0 \rightarrow t_1} = I(t) \quad \longrightarrow \quad I_{\alpha_0 \rightarrow \alpha_1} = I(\alpha)$$

Diese Inhomogenität kann in Abhängigkeit von Parametern detektiert werden. Einige dieser Parameter sind:

- Pulsweitenmodulation- Frequenz, Tastverhältnis, Winkelgeschwindigkeit, Größe, Leuchtdichte und Spektrum der Lichtquelle
- Dynamische Sehschärfe des Auges, Alter, Abstand, Adaptation

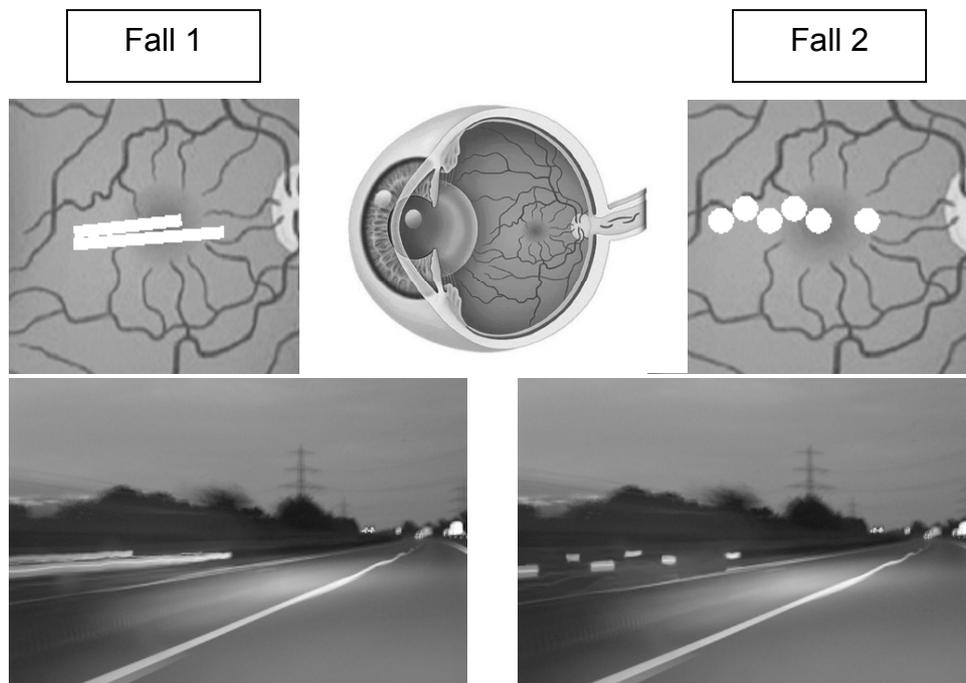


figure 8 beads effect

Aktuelle Fortschritte und Ergebnisse werden im Vortrag präsentiert.