

DISS. ETH NO. 17257

LuxBlick

**Messung der täglichen Lichtexposition zur Beurteilung
der nicht-visuellen Lichtwirkungen über das Auge**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTORIN DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZÜRICH

vorgelegt von
Sylvia Hubalek
Dipl.-Ing. TU München

geboren am 19.06.1973
Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Theo Wehner, Referent
Prof. Dr. Dr. Helmut Krueger, Korreferent
Prof. Dr. Christoph Schierz, Korreferent

2007

Summary

This thesis describes the non-visual biological effects caused by the light that enters the human eye. The topic is divided into three parts. The first part gives the reader a current overview of the entire area of research. The second part introduces the newly developed *LuxBlick* device. Its purpose is to record the eye's exposure to light in everyday life. Finally, the third part describes an explorative field experiment, containing, for the first time, comprehensive descriptive data on the natural exposure over the course of the day. This enabled an investigation of the effects of daily exposure to light on sleep quality, alertness and well-being.

Part A Fundamentals

Research in this area is highly topical, leading to new results again and again. Therefore, the synopsis (Boyce, 2003; CIE 158, 2004) was supplemented by the current state of research.

Accepted application fields for non-visual biological light effects are, for example, the shift of the circadian rhythm to avoid jetlag, the suppression of melatonin, the increase of alertness at night as well as the therapy to treat winter depression. These application fields pertain to selected portions of the population.

In particular, three light effects are studied that might affect large portions of the population: the effect of light on sleep quality, alertness and well-being. These potential effects of daily exposure to light have so far been argued with varying viewpoints.

When studying the effect of light, the issue of exposure and, thus, an adapted photometry play a central role. Previous findings on action-specific light spectra, spatial integration and time-dependent behaviour are summarised in a separate chapter.

Part B LuxBlick – Mobile Device to Record Light at the Eye

In order to investigate the non-visual biological effects of light at the eye, it is necessary to record the exposure to light in a differentiated way. Based on the current knowledge, two spectral sensitivity functions are being investigated: the spectral luminous efficiency function $V(\lambda)$ as well as the spectral sensitivity for melatonin suppression $c(\lambda)$.

As part of this paper, the *LuxBlick* device was developed and verified for the mobile recording of such data on the illuminance and the so-called 'blue-light' intensity. The device is complemented by a program package to process and illustrate the measured data.

Part C Explorative Field Experiment on the Daily Exposure to Light of Office Workers

In April and June 2005, the daily exposure to light of 23 office workers was measured by means of the *LuxBlick* device. At the same time, the subjects completed diaries describing their mental state. The findings can be summarised as follows:

- Exposure to light during time spent in the office:
The line of sight, type of facade, distance to facade and global irradiance (weather) have an influence on the illuminance at the eye. This influence is superposed by the subjects' behaviour.
- Daily exposure to light:
No evidence could be provided for the influence of age, sex or light sensitivity on the daily exposure to light.
The exposure to light on workdays is regular by way of comparison, whereas it varies strongly on days off.
- Sleep quality, alertness and well-being:
Much light in the morning and little light in the evening result in a lower alertness before bedtime.
A short-term increase in light intensity during the day results in a better sleep quality.
A higher amount of 'blue-light' results in increased well-being.
- Intensity parameters:
In this paper, the effective light is described by means of the intensity parameters dose, percentiles and duration over threshold as well as 'blue-light'. In the future, however, these parameters should be complemented by a measure that records deviations, interruptions, exposure amplitudes and non-linearities.

Conclusion

In this field experiment, strong evidence could be found for non-visual biological effects of the exposure to light on large portions of the population, for alertness before bedtime only. It still needs to be discussed whether light effects during the day are rather of a psychological than a physiological nature.

It could be demonstrated by means of this field experiment that both the *LuxBlick* device and the methodology developed for the field experiment provide a good basis for further investigations into non-visual biological light effects.

1 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den nicht-visuellen Wirkungen, die durch das Licht ausgelöst werden, das in das menschliche Auge fällt. Thematisch ist sie in drei Teile untergliedert. Der erste Teil bietet dem Leser einen aktuellen Überblick über das gesamte Forschungsgebiet. Im zweiten Teil wird das neu entwickelte Gerät *LuxBlick* vorgestellt. Es dient dazu, die Lichtexposition des Auges im täglichen Leben zu erfassen. Im dritten Teil wird schließlich ein explorativer Feldversuch beschrieben. Er umfasst erstmalig differenzierte, deskriptive Daten zur natürlichen Lichtexposition während des Tagesverlaufs. Auf diese Weise konnte unter anderem der Einfluss der täglichen Lichtexposition auf Schlafqualität, Aktiviertheit und Wohlbefinden untersucht werden.

Teil A Grundlagen

Die Forschung in diesem Feld ist hochaktuell und liefert immer wieder neue Erkenntnisse. Deshalb wurde die Übersichtsliteratur (Boyce, 2003; CIE 158, 2004) durch den derzeit aktuellen Forschungsstand ergänzt.

Anerkannte Anwendungsgebiete für nicht-visuelle Lichtwirkungen sind beispielsweise die Verschiebung des circadianen Rhythmus zur Vermeidung des JetLag, die Suppression von Melatonin, die Steigerung der Wachsamkeit während der Nacht, sowie die Therapie der Winterdepression. Diese Anwendungsgebiete betreffen ausgewählte Teile der Bevölkerung.

Im Speziellen werden drei Lichtwirkungen betrachtet, die breite Teile der Bevölkerung betreffen können: Der Einfluss des Lichts auf die Schlafqualität, die Aktiviertheit und das Wohlbefinden. Diese möglichen Wirkungen der täglichen Lichtexposition werden bislang kontrovers diskutiert.

Bei der Untersuchung der Lichtwirkung spielt die Frage der Exposition und damit eine angepasste Photometrie eine zentrale Rolle. Die bisherigen Erkenntnisse zu wirkungsspezifischen Lichtspektren, zur räumlichen Integration und zum zeitlichen Verhalten sind in einem separaten Kapitel zusammengefasst.

Teil B LuxBlick - mobiles Aufzeichnungsgerät für Licht am Auge

Zur Untersuchung der nicht-visuellen Wirkungen des Lichts am Auge ist es notwendig, die Lichtexposition differenziert zu erfassen. Basierend auf dem derzeitigen Wissensstand werden zwei spektrale Empfindlichkeitskurven beachtet: zum einen die spektrale Hellempfindlichkeit für das Sehen $V(\lambda)$ und zum anderen die spektrale Empfindlichkeit für die Melatonin-Suppression $c(\lambda)$.

Das Gerät *LuxBlick* wurde im Rahmen dieser Arbeit zur mobilen Aufzeichnung dieser Daten in Form der Beleuchtungsstärke und der so genannten 'Blaulicht'-Intensität

entwickelt und verifiziert. Ein Programmpaket zur Bearbeitung und Darstellung der Messdaten ergänzt das Gerät.

Teil C Explorativer Feldversuch zur täglichen Lichtexposition von Büroarbeitern

Mit dem Gerät *LuxBlick* wurde im April und Juni 2005 die tägliche Lichtexposition von 23 Büroarbeitern gemessen. Parallel dazu füllten sie Befindlichkeitstagebücher aus. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Lichtexposition während der Zeit im Büro:
Blickrichtung, Fassadenart, Entfernung zur Fassade und Globalstrahlung (Wetter) haben einen Einfluss auf die Lichtintensität am Auge. Dieser Einfluss wird durch das Verhalten der Versuchsperson überlagert.
- Tägliche Lichtexposition:
Ein Einfluss von Alter, Geschlecht oder Lichtsensitivität auf die tägliche Lichtexposition konnte nicht nachgewiesen werden.
Die Lichtexposition an Arbeitstagen ist vergleichsweise regelmäßig, während sie an freien Tagen stark variiert.
- Schlafqualität, Aktiviertheit und Wohlbefinden:
Viel Licht am Morgen und wenig Licht am Abend führt zu einer niedrigeren Aktiviertheit vor dem zu Bett gehen.
Kurzzeitig höhere Lichtwerte während des Tages führen zu einer besseren Schlafqualität.
Ein höherer 'Blauanteil' des Lichts führt zu besserem Wohlbefinden.
- Intensitätsparameter:
Die Beschreibung des wirksamen Lichts erfolgt in dieser Arbeit mit den Intensitätsparametern Dosis, Perzentile und Dauer über Schwelle sowie dem 'Blauanteil'. Sie sollten jedoch in Zukunft durch ein Maß ergänzt werden, das Schwankungen, Unterbrechungen, Expositionsamplituden und Nichtlinearitäten erfasst.

Fazit

Deutliche nicht-visuelle Wirkungen der Lichtexposition auf breite Teile der Bevölkerung konnten im Rahmen dieses Versuchs nur auf die Aktiviertheit vor dem zu Bett gehen nachgewiesen werden. Es ist zu diskutieren, ob Lichtwirkungen während des Tages mehr psychologischer als physiologischer Natur sind.

Mit dem Feldversuch konnte gezeigt werden, dass sowohl das Gerät *LuxBlick* als auch die für den Feldversuch entwickelte Methodik gute Ausgangspunkte für die weitere Untersuchung der nicht-visuellen Lichtwirkungen bieten.