

Zwei Studien zur Rolle des Spektrums bei der Sehleistung

• *Gelbglas* • *Nachtfahrt* • *Dämmerungssehstärke* • *Bildschirm* • *chromatische Aberration*
• *Akkommodationsdynamik*

Zusammenfassung

Das Forschungsthema "Auge und Arbeit" ist in den 20 Jahren des Wirkens von Prof. H. Krueger am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie (IHA) aus vielen Blickwinkeln behandelt worden. In einem ersten Teil wird ein kurzer Abriss über die Entwicklungen und Forschungsarbeiten gegeben, die am IHA zum Thema Auge und Arbeit durchgeführt wurden. Im Anschluss daran wird über zwei unveröffentlichte Experimente berichtet, aus denen auch die Breite des methodischen Spektrums der durch Prof. Krueger initiierten Forschung ersichtlich wird. Im ersten Experiment wird mittels eines standardisierten Verfahrens die Wirkung gelb getönter, zur Reduktion der Blendung bei Nachtfahrten gedachter Gläser, auf die Sehfunktion untersucht. Aus den Resultaten kann geschlossen werden, dass die Verwendung dieser Gläser bei Nachtfahrten nicht zu empfehlen ist. Mit einer technisch aufwendigen Eigenentwicklung wurden im zweiten Experiment dynamische Eigenschaften der Akkommodation bei der Stimulation mit spektralreduziertem Licht untersucht. Die Resultate dieser Studie können als Hinweis verstanden werden, dass die Einschränkung des Lichtspektrums auf ein schmales Band keine Auswirkung in Bezug auf die Akkommodationsdynamik zeigt. Moderne Lichtquellen wie Ampeln, Grossbildanzeigen oder Head-mounted-displays sind deshalb nicht unbedingt als Potenzial für Störungen der Akkommodationsdynamik zu sehen.

Praktische Relevanz

In der einen Studie wird die Praxistauglichkeit eines auf dem Markt angebotenen Gelbglases in Zweifel gezogen, das zur Reduktion von Blendung bei Nachtfahrten eingesetzt wird. In der anderen Studie wird gezeigt, dass das Licht von Anzeigen mit Leuchtdioden (z. B. Ampeln, Grossbildschirme, Head-mounted-displays), die Akkommodationsdynamik nicht beeinflusst.

Deux études sur le rôle du spectre dans la performance visuelle

• *filtre jaune* • *conduite de nuit* • *vision mésopique* • *écran* • *aberration chromatique* • *dynamique de l'accommodation*

Résumé

A l'institut d'hygiène et de physiologie du travail (IHA) la vision au travail a été étudié par une grande gamme de point de vue dans les 20 ans d'activité du professeur Krueger. Après avoir donné une petite revue des développements et de la recherche du professeur Krueger dans le champ de la vision au travail, deux études inédites vont être présentées, les quelles aussi démontrent l'ampleur et la diversité des méthodes de la recherche par lui initié. Dans une première étude, nous allons démontrer, que des verres jaunes, utilisés pour réduire l'éblouissement, ne sont pas convenable pour la conduite de nuit. Un test de dépistage à été utilisé dans le cadre de cette étude. A l'aide d'un instrument sophistiqué nous avons étudié le rôle du spectre dans la dynamique de l'accommodation. Les résultats de cette étude nous montrent que la réduction du contenu spectrale n'influence pas la dynamique de l'accommodation. Nous croyons donc, que les sources lumineuses modernes, comme elles sont utilisés dans des feux de circulation, des panneaux d'affichage à grande taille ou dans des head-mounted-displays ne causent pas nécessairement des problèmes pour la dynamique de l'accommodation.

Importance Pratique

Dans une première étude nous allons démontrer que des filtres jaunes ne sont pas favorable pour la conduite de nuit. Dans une deuxième étude nous montrons que la lumière émise par des écrans à diode lumineuse (comme des feux de circulation, des panneaux d'affichage à grand taille ou des head-mounted-displays) ne provoque pas des dérangements de la dynamique de l'accommodation.

Two studies of the role of light spectrum in visual performance

· *yellow filter* · *night driving* · *mesopic vision* · *display* · *chromatic aberration* · *dynamics of accommodation*

Summary

Prof. Krueger has paid particular attention to various aspects of "vision at work" during his 20 years at the Institute of Hygiene and Applied Physiology (IHA). This report starts by summarizing scientific research and developments at the IHA relating to vision at work and goes on to present findings from two unpublished studies, which also demonstrate the breadth of the methodical approach used by Professor Krueger in his investigations.

Study 1: Yellow filters for night driving

Background: Yellow filters, for which it is claimed that they reduce glare from headlights of oncoming vehicles at night, are available on the market. It is not clear how they are supposed to achieve this effect because the light transmission through these filters (approx. 80%) is too high to effectively reduce headlight luminance. We conducted a study using the recommendations of the German Ophthalmologic Society to assess mesopic acuity (ability to see in the twilight range). Measurements were performed with and without yellow filters and with and without a glare source.

Method: A total of 25 subjects took part in the first experiment. Subjects performed a test aiming to assess mesopic acuity. Mesopic acuity defines the luminance contrast required to pass a given acuity test successfully under mesopic conditions. A Nyktometer 500 instrument was used for this purpose. Mesopic acuity was assessed with and without yellow filters in random order. Measurements were then repeated in the presence of a glare source incorporated into the Nyktometer 500.

Results: In general, we can state that the yellow filter does not improve mesopic acuity under either one of the experimental conditions. On the contrary, yellow filters were found to reduce mesopic acuity in several cases.

Conclusions: We cannot recommend the use of yellow filters, as our findings failed to reveal any improvement in measured visual function when they are worn. As with other lenses, yellow filters may constitute a potential risk under certain circumstances: the quality of the filter can deteriorate with time (e.g. because of surface scratches) and the frame and the filter itself could cause additional injuries in an accident.

Study 2: Spectral distribution of light and accommodation dynamics

Background: Many sources of artificial light are used nowadays at workplaces and also during leisure activities. Chromatic aberrations in the human eye caused by the spectral

content of this light can adversely affect accommodation. Previous studies have demonstrated the effect of a particular spectral distribution on static accommodation function. The dynamics of accommodation are an important factor determining visual performance at many workplaces. For example, flight controllers frequently need to adjust viewing distance. In this second study we investigated the effect of a narrow band light source (light-emitting diodes) on the dynamics of accommodation.

Method: Seven subjects took part in the second experiment, which involved continuous recording of accommodation during performance of a task in which the test person had to focus successively on objects situated at two different distances, which were known to the test person. Three different narrow-band light sources (red, blue and yellow-green) were used. Dynamic performance was expressed in terms of speed and latency of accommodation.

Results: In general, we found no statistical significant correlation between latency and speed of accommodation and spectral distribution of the light source used. Slight differences in performance were found when comparing results obtained with the yellow-green (586 nm) light source to those obtained with the red (635 nm) and blue (470 nm) sources.

Conclusions: In a task where an observer focuses on objects situated at a known viewing distance, narrow band light sources such as those found in light-emitting diodes, e.g. in traffic lights, do not give rise to dynamic accommodation problems. It is not known whether these results could be repeated in a study involving a larger number of subjects (e.g. 100). It seems possible that yellow-green light could affect performance.

Practical Relevance

The first study shows that yellow filters claiming to reduce headlight glare cannot be recommended for night driving. The second study shows that visual displays using light-emitting diodes (e.g. traffic lights, large-format or head-mounted displays) do not affect the dynamics of accommodation.

Einleitung

Die Forschung rund um das Auge bei der Arbeit hat am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie (IHA) der ETH Zürich ca. um 1980 ihren Ursprung. Damals berichteten Läubli, Hünting und Grandjean H. (1980) in einem Tagungsband über die Prävalenz von Störungen der Sehfunktion und über Sehbeschwerden bei visuellen Tätigkeiten in Büros, die mit unterschiedlichen technischen Mitteln der Datenverarbeitung ausgestattet waren. Es war die Zeit zu Beginn des Siegeszuges der Bildschirme. Im selben Tagungsband findet sich ein Aufsatz von Krueger (1980) über heute der Ergonomie oder der Arbeitsphysiologie zuzuordnende Aspekte des Sehens bei der Arbeit am Bildschirm. Er berichtete über eigene Laborexperimente und über theoretische Berechnungen zur Akkommodation, zur Schärfentiefe, zu Blickbewegungen, zum Lesen und zur subjektiven Beurteilung von Zeichengrößen bei der Darstellung von Text. Diese Publikation ist in mindestens zweierlei Hinsicht charakteristisch für Prof. Kruegers Wirken. Zum einen war Krueger stets bemüht, so viele Aspekte wie möglich zur Erklärung von Beobachtungen zu berücksichtigen, die unter Laborbedingungen kontrolliert variiert werden konnten. Zum anderen fällt bei der Publikation die Breite der experimentellen Techniken sowie die Breite des multidisziplinären Wissens auf, aus dem Erklärungen für die Beobachtungen geschöpft werden. Zur Zeit dieser Publikation war Prof. Krueger mit der Sehforschung bestens vertraut, wie unter anderem seine Dissertation (Krueger 1968) und seine Habilitation (Krueger 1974) Zeugnis ablegen. Auch war er stets bemüht, Erkenntnisse aus der Forschung in die Praxis umzusetzen, mit dem Ziel, die Gesundheit bei der Arbeit zu erhalten und zu fördern. Dabei war es ihm immer ein Anliegen, den Betroffenen einen verständlichen Zugang zu den arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zu bieten (z. B. Krueger 1979), um ihnen eine Möglichkeit in die Hand zu geben, selber an der Verbesserung der Arbeitsbedingungen mitwirken zu können.

Nach seinem Ruf an die ETH Zürich übernahm Professor Krueger das IHA am 1.10.1983. Die Qualitätsbeurteilung von Bildschirmen war zu diesem Zeitpunkt immer noch ein Schwerpunkt am IHA, was willkommene Industrieaufträge ein-

brachte. Die Gunst der Stunde wurde genutzt um nach Methoden zu forschen, mit denen eine valide Beurteilung der Belastungsfaktoren bei der Arbeit am Bildschirm durchgeführt werden kann. Nicht selten dienten Resultate dieser Forschungsanstrengungen als Diskussionsgrundlage für Standards bei der Qualitätsbeurteilung, wie dies beispielsweise bei der vergleichenden Bewertung objektiver und subjektiver Verfahren für die Bestimmung von Reflexionen am Bildschirm (Menozzi 1988) der Fall war.

Parallel – ein weiteres Kennzeichen für Prof. Kruegers Arbeitsweise – zur Forschung rund um den Bildschirmarbeitsplatz wurde die in München begonnene Untersuchung der Akkommodation und Vergenz weiter geführt. Forschungsergebnisse fanden vor allem in der Ergophthalmologie Eingang. Der Anerkennung Prof. Kruegers Fachkompetenz ist es zu verdanken, dass seit 1996 das Institut den im Lernzielkatalog der Schweizerischen Ophthalmologischen Gesellschaft aufgenommenen Refraktionskurs für Augenärzte anbieten kann.

Kurz nach seiner Berufung nach Zürich eröffnete Prof. Krueger einen weiteren Ast der Forschung über das Auge bei der Arbeit. Die damals sehr kontrovers diskutierte Wirkung von Leuchtstofflampenlicht auf das Auge wurde mit einem vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Projekt eingehend untersucht (Schierz 1993). Das Thema Beleuchtung ist heute zu einer bedeutenden Kompetenz des IHA avanciert.

Wie in allen Bereichen der Forschung, die Prof. Krueger behandelte, würde die Auflistung der untersuchten Fragestellungen Bände füllen. Oft reichte die zeitliche Kapazität seiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kaum aus, die Erkenntnisse aus der von ihm initiierten Forschung in Fachzeitschriften zu publizieren. Über zwei bisher unveröffentlichte Berichte wird im Folgenden berichtet.

Einfluss gelb getönter Gläser auf das mesopische Kontrastsehen mit und ohne Blendung

Ausgangslage

Autofahren bei Nacht ist für das Auge eine besondere Herausforderung. Das

niedrige Beleuchtungsniveau erfordert ein mesopisches Sehen, bei dem Sehfunktionen eine im Vergleich zum Tagessehen reduzierte Leistung erbringen. Beispielsweise liegt unter mesopischen Sehbedingungen v. a. bei älteren Autofahrern eine gegenüber dem Tagessehen (photopisches Sehen) stark reduzierte Sehschärfe vor (Sturr 1990). Des Nachts wirken die Scheinwerfer entgegenkommender Autos als Blendquellen und erschweren somit die Schaufgabe zusätzlich.

Der Markt bietet gelb getönte Gläser und Vorsatzfilter für Brillen an, die eine Entschärfung der Blendsituation beim nächtlichen Autofahren bewirken und somit die Sehbedingungen verbessern sollen. Es wird behauptet, dass das gefilterte Licht die Kontrastwahrnehmung begünstigt und dass es den Regelmechanismus der Akkommodation besser unterstützt als ungefiltertes Licht. Bis heute konnten die Vorteile gelb getönter Gläser und Filter beim nächtlichen Autofahren nicht wissenschaftlich nachgewiesen werden. Weniges ist hierzu aus der Literatur bekannt. Wolffsohn (2000) fasst die Ergebnisse von acht Untersuchungen zum Thema zusammen. Es stellt sich heraus, dass gelb getönte Gläser dann von Vorteil sind, wenn Objekte vor einem blauen Hintergrund, wie dies beispielsweise der blaue Himmel darstellt, gesehen werden.

Die durch eine gelb getönte Brille wahrgenommenen Lichtverhältnisse werden subjektiv als heller eingestuft (Chung 1999). Dieser Effekt wird der spektralen Charakteristik der Lichtreaktion der Pupille zugeschrieben. Im Vergleich zur spektralen Empfindlichkeit des Auges bei photopischen Bedingungen (V_p) ist die Charakteristik der Lichtreaktion der Pupille zum blauen Ende des Spektrums hin verschoben. Gelb getönte Gläser reduzieren sowohl das für die Lichtreaktion der Pupille als auch das für die Helligkeitswahrnehmung verantwortliche Licht. Die Lichtreaktion der Pupille ist jedoch in stärkerem Masse betroffen als die Helligkeitswahrnehmung, wodurch der grössere Helligkeitseindruck entsteht. Gemäss Aussagen von Chung (1999) kann hierbei der Helligkeitseindruck um $0.39 \log \text{ cd/m}^2$ erhöht sein.

Negative Einwirkungen gelb getönter Gläser sind denkbar. Getönte Gläser

bewirken eine Verschiebung der Farb-
wahrnehmung und reduzieren die Men-
ge des ins Auge fallenden Lichtes.
Zudem können die Gläser verkratzen,
wodurch bei Personen, die beim Auto-
fahren sonst keine Brillen tragen, eine
zusätzliche Störung der Sehbedin-
gungen entsteht.

Die Deutsche Ophthalmologische Ge-
sellschaft (DOG) empfiehlt eine Prüfung
der "Dämmerungssehschärfe" zur Fahr-
eignungsbegutachtung im Strassen-
verkehr (DOG 2003). In dem von der
DOG vorgeschlagenen Prüfverfahren,
wird unter mesopischen Bedingungen
der Kontrast mit und ohne Blendquelle
ermittelt, der für das Erkennen eines
Landoltringes mit fester, vorgegebener
Visusanforderung notwendig ist.

In der folgenden Studie wurde das
Prüfverfahren bei 25 Versuchspersonen
einmal mit und einmal ohne vorgesetz-
tem, gelb getöntem Glas angewendet.

Untersuchungsgut, Methode und Versuchs- personen

Das für die Untersuchung verwendete
Glas wird auf dem Markt als Aufsatz
für Brillen vertrieben. Ein weiteres Pro-
dukt mit derselben optischen Wirkung
wird auch als Tönung für das persönli-
che Korrekturglas angeboten. Die
Transmissionscharakteristik des Auf-
satzes, fortan Gelbglas genannt, wur-
de unter Zuhilfenahme eines Spektral-
photometers (Photo Research, CC-PR-
650) bestimmt. Dazu wurde die spek-
trale Zusammensetzung des Lichtes
einer Xenon Hochdrucklampe mit dem
Spektrum des Lichtes der Lampe nach
Filterung durch das Gelbglas vergli-
chen. Die Transmissionscharakteristik
des Gelbglasses ist Bild 1 zu entnehmen.
Es handelt sich um ein Kantenfilter mit
einer 50% Transmission bei 522 nm. Die
Gesamttransmission des Filters im Be-
reich zwischen 380 nm und 780 nm be-
trägt 80%. Eine Transmissions-
bestimmung mit Hilfe eines Photome-
ters (LMT 1002, Krochmann, Berlin) bei
klarem Himmel ergab 77%. Alle Mes-
sungen wurden orthogonal zur Ober-
fläche des Glases vorgenommen.

Für die Ermittlung der Dämmerungs-
sehschärfe mit und ohne Blendung
wurde ein Nyktometer 500, der Fa.
Rodenstock eingesetzt (Nachfolge-

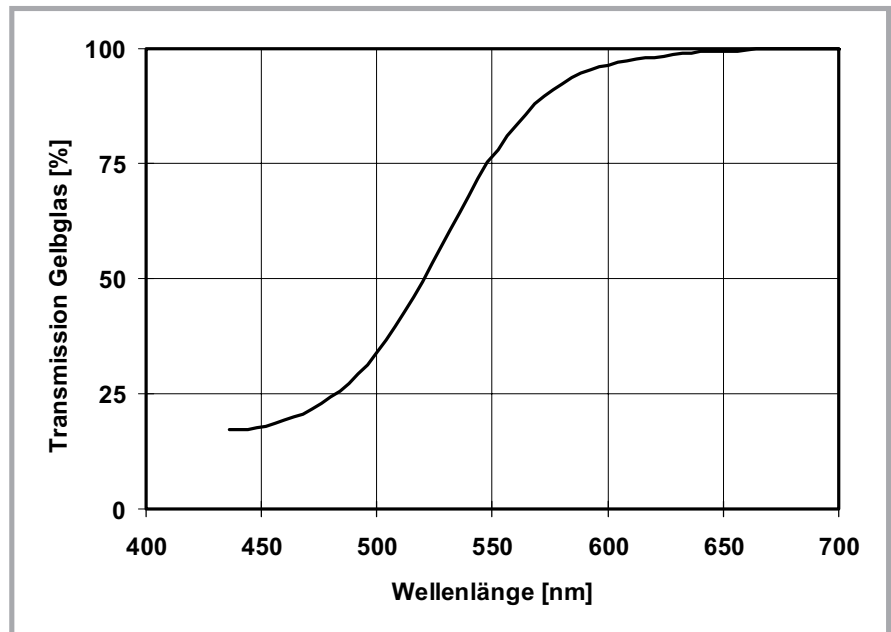


Bild 1: Transmissionsspektrum des verwendeten, gelb getönten Glases (Gelbglas). 50% Transmis-
sion bei 522 nm. Gesamttransmission (380 nm bis 780 nm) = 80%

Figure 1: Spectral transmission of yellow filter used in test. 50% transmission at 522 nm. Total
transmission (380 nm – 780 nm) = 80%

Illustration 1: Transmission spectrale du verre jaune. Transmission à 522 nm = 50%. Transmission totale
= 80%

modelle nun vertrieben von der Firma
Vistec AG, Olching, D). Die Blend-
situation wird im Gerät mittels einer
punktförmigen (Durchmesser < 20°)
Blendquelle simuliert, die im linken Ge-
sichtsfeld bei 3° dargeboten wird. Die
auf der Höhe der Hornhaut durch die
Blendlichtquelle erzeugte Beleuch-
tungsstärke beträgt 0,35 lx. Im Gerät
werden Landoltringe der Visusanfor-
derung von 0,1 mit photometrischem
Kontrast (Verhältnis der Leuchtdichte
des schwarzen Landoltringes zum
weißen Hintergrund) von 1:23, 1:5,
1:2,7, 1:2, 1:1,66 und 1:1,46 angeboten.
Die Leuchtdichte des Hintergrundes
beträgt 0,032 cd/m². Bei der Untersu-
chung mit Blendung wird diese auf 0,1
cd/m² erhöht. Das Nyktometer 500 bie-
tet die Möglichkeit, Minuslinsen zur
Kompensation der sog. Nachtmyopie
einzusetzen. Die Nachtmyopie wird im
Versuch nicht korrigiert, da diese bei
Autofahrten in der Regel auch nicht
kompensiert wird. Stattdessen wird die
Korrekturmöglichkeit für die Kompen-
sation einer nicht korrigierten Myopie
verwendet.

Zur Ermittlung der Dämmerungs-
sehschärfe werden bei einer fest-
gehaltenen Kontraststufe vier Landol-
ringe unter monokularen Bedingungen
dem rechten Auge dargeboten. Die
Lage der Öffnung des Landoltringes
wird zufällig gewählt. Um die Prüfung
bei einer Kontraststufe zu bestehen,
muss der Prüfling drei von vier Darbie-
tungen erkennen. Das gängige Kriteri-
um bei der Visusprüfung ist drei von
fünferkannte Sehzeichen. Das hier ver-
wendete drei von vier Kriterium ist kon-
servativer und führt zwar zu einer
Visusverschlechterung von 0,55 Zeilen
auf einer log-Visustafel (Petersen 1993)
ist dafür empfindlicher (kleinere Stan-
dardabweichung, Petersen 1993).

Jede Versuchsperson führte vier Ver-
suchsblöcke durch. Im ersten Block
wurde die Dämmerungssehschärfe
ohne vorgeschaltetes Gelbglas be-
stimmt. Beim zweiten Block erfolgte die
Prüfung mit Gelbglas. Das Gelbglas
wurde zwischen dem Auge des Beob-
achters und dem Nyktometer 500 ein-
gesetzt. Im dritten und vierten Block

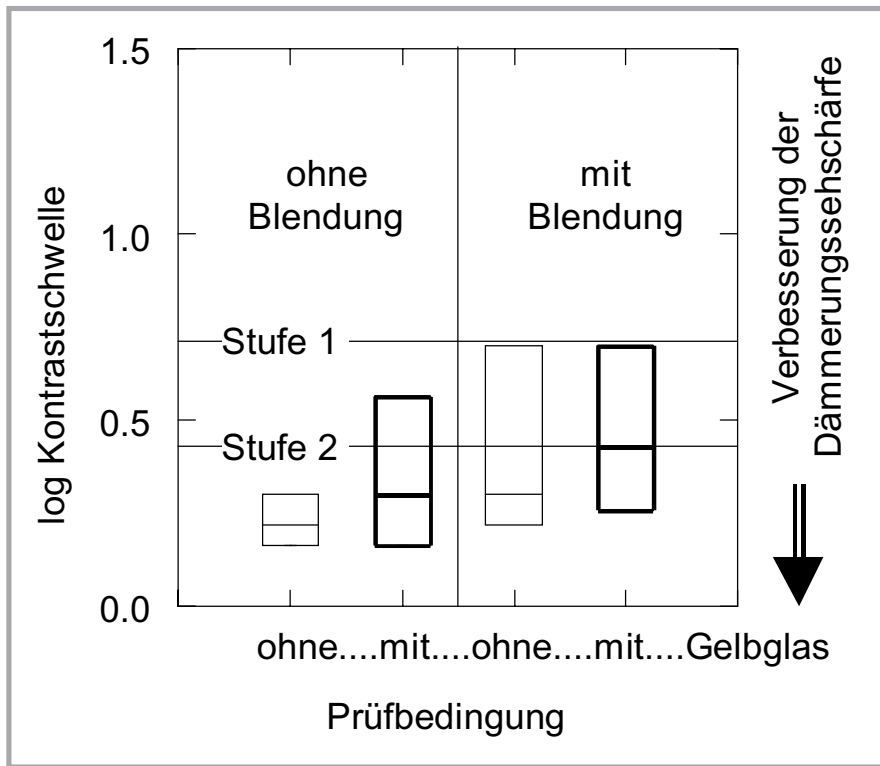


Bild 2: Boxplot Darstellung der Kontrastschwellen bei den Prüfbedingung ohne und mit Gelbglas sowie ohne und mit Blending. 25 Versuchspersonen. Prüfung monokular, rechtes Auge. Die Dämmerungssehstärke verbessert sich von oben nach Unten in dieser Darstellung. Stufe 1: Empfehlung der DOG (2003) für allgemeine Lenker. Stufe 2: Empfehlung der DOG (2003) für Fahrlehrer und Lenker von Fahrzeugen für die Fahrgastbeförderung

Figure 2: Box plot representation of contrast threshold assessed with and without yellow filters, and with and without glare. 25 subjects. Monocular viewing, right eye. Diagram shows improvement of mesopic acuity from top to bottom. „Stufe 1“: German Ophthalmologic Society recommendation (DOG 2003) for normal drivers. „Stufe 1“: German Ophthalmologic Society recommendation (DOG 2003) for driving instructors and drivers of public passenger vehicles

Illustration 2: Représentation type box-plot de la sensibilité au contraste (acuité mésopique) sans et avec filtre jaune et sans et avec éblouissement. L'acuité mésopique améliore de en haut à en bas. «Stufe 1»: recommandation de la société Allemande d'ophtalmologie (DOG 2003) pour les conducteurs normaux des voitures. «Stufe 1»: recommandation de la société Allemande d'ophtalmologie (DOG 2003) pour les maître conducteurs et les conducteurs des transports de passagers

wurden die Prüfungen bei eingeschalteter Blendlichtquelle wiederholt. Aufgrund der notwendigen Adaptationszeit wurden die Versuche ohne Blendquelle stets vor den Versuchen mit Blendquelle durchgeführt. Die Versuche erfolgten mit und ohne Gelbglas in zufälliger, ausbalancierter Reihenfolge. Zur Adaptation verweilen die Versuchspersonen 15 Minuten vor Versuchsbeginn in völliger Dunkelheit. Die Reihenfolge der Kontrastwerte wurde in jedem Block pseudo-zufällig gewählt.

Vor Versuchsbeginn wurde die Refraktion des rechten Auges mit einem Autorefraktometer (Nidek, AR-1000) bestimmt. Korrekturbrillen wurden mit einem Scheitelbrechwertmessgerät (Nidek LM820) ausgemessen. Differenzen im Sphärenäquivalent zwischen den Werten der Autorefraktion und der Korrekturbrille (rechtes Auge) wurden auf 0,5 dpt genau mit den Minuslinsen zur Kompensation der Nachtmyopie korrigiert. Die Sehschärfe des rechten Auges wurde für Fern (5m) mit einer

Landoltringtafel bestimmt. Die Sehschärfebestimmung erfolgte mit Korrektur.

Insgesamt nahmen 30 ETH Angehörige am Versuch teil. Bei fünf der Versuchspersonen war es nicht möglich, die Dämmerungssehstärke zu bestimmen. Deren Daten werden nicht weiter berücksichtigt. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 22 J und 60 J, mit einem Median bei 31 J. Nachdem Zweck und Methode des Versuches und ethische Fragen erörtert worden waren, wurde das Einverständnis der Personen zur Teilnahme am Versuch eingeholt.

Bei 15 der 25 Versuchspersonen betrug die Sehschärfe für Fern 2,0. Fünf Versuchspersonen wiesen eine Sehschärfe von 1,33 auf. Die restlichen Versuchspersonen hatten eine Sehschärfe von 0,8. Bei drei der Versuchspersonen wurde eine Farbsinnstörung (Ishihara, 17 Tafeln) festgestellt.

Resultate

Wie die DOG (2003) schreibt, ist der Begriff Dämmerungssehstärke irreführend. Eigentlich handelt sich hierbei um eine unter mesopischen Bedingungen ermittelte Kontrastschwelle. Die Kontrastschwelle ist der kleinste Kontrastwert, bei dem die Visusprüfung unter den obengenannten Bedingungen bestanden wird. Für die weitere Behandlung der Resultate wird der Kehrwert der Kontrastschwellen logarithmiert.

Eine Boxplot Darstellung der Kontrastschwellen ist in Bild 2 wiedergegeben. Die Medianwerte der Daten aus Bild 2 sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Wie Bild 2 zu entnehmen ist, liegen die geringsten interindividuellen Unterschiede bei der Bedingung ohne Gelbglas und ohne Blending vor. Sowohl Blending als auch das Gelbglas erhöhen die Kontrastschwelle. Ein Wilcoxon Vorzeichenrangtest zeigt, dass unter der Bedingung ohne Gelbglas ein signifikanter Unterschied in der Kontrastschwelle zwischen mit und ohne Blending besteht ($p=0,043$, zweiseitig). Unter Verwendung des Gelbglases ist der Medianwertunterschied zwischen den Kontrastschwellen mit und

Tabelle 1: Medianwerte der Kontrastschwellen aus Bild 1 (obere Zeile) und dazugehörige, photometrische Kontraste in der unteren Zeile. 25 Versuchspersonen. Prüfung monokular, rechtes Auge

Table 1: Median of contrast threshold (Figure 1 - upper line) and corresponding photometric contrast (lower line). 25 subjects. Monocular testing, right eye

Tableau 1: Médian de la sensibilité au contraste du graphe de la illustration 1 (première ligne) et contraste photométrique correspondant (deuxième ligne). 25 sujets. Tests monocular, œil droit

	ohne Blendung		mit Blendung	
	Gelbglas		Gelbglas	
	ohne	mit	ohne	Mit
Log	0,220	0,301	0,301	0,431
10 ^(log)	1,66	2,0	2,0	2,7

ohne Blendung grösser als der Unterschied der Medianwerte bei der Bedingung ohne Gelbglas. Der Unterschied ist aber nicht signifikant. Sowohl mit als auch ohne Blendung ist die Kontrastschwelle beim Tragen des Gelbglases grösser als ohne Gelbglas. Mit einem Wilcoxon Vorzeichenrangtest kann nachgewiesen werden, dass unter der Bedingung ohne Blendung die Kontrastschwelle durch das Verwenden des Gelbglases signifikant erhöht wird ($p=0,044$, einseitig). Die Erhöhung der Kontrastschwelle durch das Gelbglas lässt sich bei Blendung nur als Tendenz ($p=0,11$, einseitig) nachweisen.

Im Folgenden werden die ermittelten Kontrastschwellen mit den Empfehlungen der DOG verglichen. In Bezug auf die Nachtfahrttauglichkeit legt die DOG (2003) zwei Anforderungsstufen für die sog. Dämmerungssehstärke fest. Fahrer von Fahrzeugen zur Fahrgastbeförderung sowie Fahrlehrer müssen mit und ohne Blendung eine Kontrastschwelle von 1:2,7 oder besser erreichen (in Bild 2 mit Stufe 2 bezeichnet), während andere Fahrer eine von 1:5 oder besser erreichen müssen (in Bild 2 mit Stufe 1 bezeichnet). In log Einheiten ausgedrückt, betragen die beiden Werte bei Vorzeichenumkehr 0,431 bzw. 0,699. Diese Werte lassen sich mittels t-Test mit den hier bestimmten Kontrastschwellen vergleichen. Der Mittelwert der logarithmierten Kontrastschwellen ist unter allen Bedingungen signifikant

($p<0,05$) besser als 0,699 (entspricht Stufe 1, d. h. Kontrast 1:5). Keiner der Mittelwerte ist signifikant besser ($p>0,05$) als 0,431 (entspricht Stufe 2, d. h. Kontrast 1:2,7).

Einen geringfügig unterschiedlichen Ausgang nimmt die Auswertung der Daten, wenn nur Personen mit normalem Farbsinn berücksichtigt werden. Es ändert sich die Aussage über die Erhöhung der Kontrastschwelle beim Tragen des Gelbglases unter der Prüfbedingung ohne Blendung. Der ursprünglich signifikante Unterschied in der Kontrastschwelle wird nicht signifikant.

Es konnte kein signifikanter Unterschied der Kontrastschwellen zwischen jungen ($d<36$ J) Versuchspersonen ($n=17$) und älteren (>36 J) Versuchspersonen ($n=8$) nachgewiesen werden.

Diskussion

Die Transmission des verwendeten, auf dem Markt erhältlichen Gelbglases, beträgt etwa 80%. Es ist unwahrscheinlich, dass eine Reduktion der Lichtmenge bei mesopischen Sehbedingungen eine Verbesserung der Sehverhältnisse bringt. Ebenso ist unwahrscheinlich, dass eine 20%ige Reduktion des Scheinwerferlichtes eines entgegenkommenden Fahrzeuges eine Blendung verhindert, denn von den Scheinwerfern gehen sehr hohe Lichtströme aus

(vgl. dazu PAL 2003). Der Nutzen des Gelbglases für Nachtfahrten ist deshalb zweifelhaft.

Der Nutzen des Gelbglases sollte für das Sehen von Objekten verschiedener Grösse untersucht werden. Adrian (1965) hat gezeigt, dass bei niedrigen Leuchtdichten (ca. 0,31 cd/m²) die Sehschärfe am blauen Ende des Spektrums grösser ist als am roten Ende. Das Abschneiden des dem roten Ende zugewandten Lichtanteiles könnte aus signaltheoretischen Überlegungen eine Erhöhung der Sehschärfe bei geringen Leuchtdichten bringen. Allerdings ist noch unklar, welche Detailgrösse für das Fahren (bei Nacht) von Bedeutung ist. Auf jeden Fall ist bekannt, dass die Sehschärfepfung keine valide Aussage in Bezug auf die Fahrtüchtigkeit erlaubt (Charman 1997). Somit erscheint unwahrscheinlich, dass das Erkennen kleinster Details für das Fahren wichtig ist.

Werden die ohne Gelbglas gewonnenen Daten betrachtet, so macht auch diese Untersuchung die Notwendigkeit einer Bestimmung der Kontrastschwelle mit Blendung deutlich, denn die interindividuellen Unterschiede werden bei Blendung markant grösser. Interessant erscheint die Tatsache, dass die Einführung des Gelbglases einen ähnlichen Effekt auf die interindividuellen Unterschiede zeigt, wie die Durchführung der Prüfung unter Blendung. Eine Erklärung für diese Ähnlichkeit könnte die Wirkung des Gelbglases auf das Sehsystem liefern: Das Vorschalten des Gelbglases reduziert den spektralen Lichtanteil, der für das Nachtsehen von Bedeutung ist (vgl. Transmission Gelbglas aus Bild 1). Vermutlich leistet das Nachtsehsystem (Stäbchen) auch unter Blendung keinen wesentlichen Beitrag zur Dämmerungssehstärke. Da unter beiden Bedingungen das Sehen auf das Tagessehsystem (Zapfen) zurückzuführen ist, ergeben sich bei der Durchführung der Prüfung mit Gelbglas vergleichbare interindividuelle Unterschiede in den Ergebnissen, wie bei Untersuchungen ohne Gelbglas aber mit Blendung.

Eine Reihe weiterer Gründe lassen vermuten, dass der Einsatz eines Gelbglases beim Autofahren nicht vorbehaltlos zu empfehlen ist. Das Tragen eines Glases birgt Gefahren. Das Glas kann

bei einem Unfall brechen und somit das Auge verletzen. Eine ähnliche Gefahr geht vom Gestell des Glases aus. Kratzer oder Staub und andere Schmutzpartikel auf dem Glas führen zur Streuung von Licht und können die Sehbedingung verschlechtern. Wie Chung (1999) berichtet, führt Gelbglass zur Vergrößerung der Pupille, wodurch Katarakt und Refraktionsfehler die Qualität des Netzhautbildes weiter reduzieren.

Alles in Allem muss von einer unbedenklichen Verwendung des Gelbglasses bei Nachtfahrten abgeraten werden.

Schmalbandiges Spektrum und Akkommodationsdynamik

Ausgangslage

Der spektrale Inhalt des Lichtes, das von einem Sehobjekt ausgeht, wirkt auch in Bezug auf die Steuerung der Akkommodation Fragen auf. Gouras (1981, 1991) gelang der Nachweis, dass bei der Stimulation der Netzhaut durch Licht mit einer Wellenlänge von 500 nm die neuronale Aktivität gewisser Bipolarzellen auf ein Minimum sinkt. Wenn die Akkommodationsregelung mit der Aktivität der Bipolarzellen zusammenhängt, könnte bei Stimulation mit Licht einer Wellenlänge von 500 nm die Akkommodationsregelung ungenau werden, da die Signaldynamik schlecht ist (konstantes Rauschen bei verringerter Amplitude). Für eine als statisch zu erachtende Sehaufgabe stellte Schierz (1993) fest, dass die Empfindlichkeit der Regelung der Akkommodation vom spektralen Inhalt des Lichtes abhängt. Es liegt auf der Hand anzunehmen, dass auch die Dynamik der Akkommodation eine spektrale Abhängigkeit aufweist und somit als Ursache für Sehbeschwerden angenommen werden kann, vor allem dann, wenn die Sehaufgabe einen häufigen und raschen Wechsel der Akkommodation voraussetzt. Derartige Sehbedingungen sind häufig anzutreffen. Ein Beispiel liefert die Arbeit unter Leuchtstofflampenlicht. Das Spektrum von Leuchtstofflampen weist schmalbandige, herausragende Spitzen auf. Ein Extremfall der Kunstlichtbeleuchtung liegt bei lichtsensitiven Produktions-

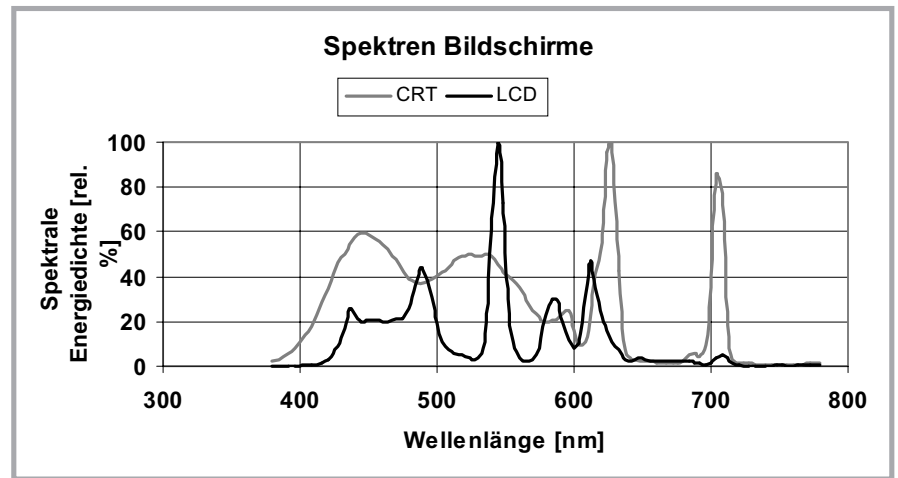


Bild 3: Relative spektrale Verteilung des weissen Bildschirmlichtes bei einer Kathodenstrahlröhre (CRT, EIZO T562-T, graue Kurve) und bei einem Flüssigkristallbildschirm (LCD, Dell Inspirion 8000, schwarze Kurve). Die Leuchtdichte für Weiss bei CRT bzw. LCD beträgt 87 cd/m² bzw. 122 cd/m². Der Farbort gemäss CIE 1931 (x;y) liegt für Weiss beim CRT bei (x;y)=(0,28; 0,30) und beim LCD (x;y) = (0,32; 0,36)

Figure 3: Spectral distribution of white light emitted from a cathode ray tube display (CRT, EIZO T562-T, gray line) and from a liquid crystal display (LCD, Dell Inspirion 8000, black line). The luminance for white emitted from the CRT and LCD is 87 cd/m² and 122 cd/m² respectively. CIE 1931 (x;y) coordinates for white are (0.28; 0.30) for CRT and (0.32; 0.36) for LCD

Illustration 3: Distribution spectrale d'un point lumineux blanc d'un écran à rayon cathodique (CRT, EIZO T562-T, courbe grise) et d'un écran à cristaux liquide (LCD, Dell Inspirion 8000, courbe noire). La luminosité du CRT et du LCD est de 87 cd/m² et de 122 cd/m². Les coordonnées CIE 1931 (x;y) de la couleur blanche sont (0,28; 0,30) chez le CRT (0,32; 0,36) chez le LCD

techniken, z. B. bei der Herstellung von Platinen und integrierten Schaltkreisen vor, wo monochromatisches Licht zum Einsatz kommt. Ein weiteres Beispiel stellt die Arbeit mit dem Bildschirm dar. Wie Bild 3 zu entnehmen ist, weisen die Spektren zweier technologisch unterschiedlicher Farbbildschirme schmalbandige Spitzen auf. Zur Bestimmung der Spektren aus Bild 3 wurde ein Spektralphotometer (Photo Research, CC-PR-650) mit einem Messfeld von 2° verwendet. Das Photometer wurde mit weissem Licht (D65) aus einer Ulbrichtkugel (ILT Berlin) geeicht, bei welcher der Lichtstrom der Lampe konstant gehalten wird. Die Messung an einem Kathodenstrahlröhrenbildschirm (CRT) der Firma EIZO (Typ T562-T) ergab für eine weisse Fläche eine Leuchtdichte von 87 cd/m² und ein Farbort (CIE 1931) bei (x;y)=(0,28;0,30). Bei einem Flüssigkristallbildschirm (LCD) der Firma Dell (Typ Inspirion 8000) betrug die Leuchtdichte einer

weissen Fläche 122 cd/m² und der Farbort (CIE 1931) war bei (x;y)=(0,32;0,36).

Nebst der üblichen Büroarbeit sind Bildschirme auch bei Kontrollaufgaben vorzufinden, die einen häufigen Wechsel des Blickes zwischen Nah und Fern erfordern, wie beispielsweise bei der Flugraumüberwachung in der Nähe des Flugfeldes oder auf dem Flugfeld selbst. Der Flugverkehrsleiter im Tower des Flughafens Zürich wechselt alle 5 s den Blick vom Monitor zu einem Objekt in der Ferne und umgekehrt und vollführt dabei eine Änderung der Akkommodation von ca. +2 dpt bzw. -2 dpt (Menozzi 2000).

Die möglichen Auswirkungen eines partikulären Spektrums auf die Akkommodation können mannigfaltige Symptome hervorrufen, die von subjektiven Beschwerden bis zu objektivierbaren Abweichungen reichen können. Bei Arbeitsplätzen mit Sehobjekten in

unterschiedlichen Entfernungen sind zeitliche Parameter der Akkommodation von Interesse. Im folgenden Versuch wird die Abhängigkeit der Latenz und der Geschwindigkeit der Akkommodation von der Wellenlänge des Lichtes untersucht. Im Versuch wird die Sprungantwort der Akkommodation bei Sehzeichen mit unterschiedlichem spektralen Inhalt untersucht. Der Versuch wurde im Zusammenhang mit der Fragestellung durchgeführt, ob ein partikuläres Spektrum bei Anzeigen, die in der Flugraumüberwachung im Tower eingesetzt werden, Ursache für Akkommodationsstörungen sein kann. Wie oben erwähnt, erfordert die Sehaufgabe im Tower ein Hin- und Herblicken zwischen zwei Objekten, die sich in zwei vorgegebenen Entfernungen befinden. Dabei ist dem Beobachter die Entfernung der Objekte aus Erfahrung bekannt.

Untersuchungsgut, Methode und Versuchspersonen

Die Versuchsanordnung ist schematisch in Bild 4 wiedergegeben. Das Auge des Beobachters blickt über einen Strahlteiler sowohl in die Einrichtung zur Darbietung der Sehreize als auch in das Gerät für die kontinuierliche Registrierung der Akkommodation (Akkommodometer, s. Krueger 1982). Die Sehreize werden abwechselungsweise hinterleuchtet, sodass jeweils nur eines der beiden Sehreize sichtbar ist. Die Akkommodationsanforderung für das nähere Sehzeichen beträgt 2,21 dpt, entsprechend einer Sehdistanz von 45 cm. Das entferntere Sehzeichen wird in einer Entfernung von 96 cm dargeboten, was einer Akkommodationsanforderung von 1,04 dpt entspricht. Das Umschalten der Hintergrundbeleuchtung der beiden Sehzeichen übernimmt ein PC. Derselbe PC registriert die Signale des Akkommodometers, woraus die aktuelle Akkommodationseinstellung berechnet wird.

Die Sehzeichen bestehen aus einem Landoltring, der von einem Siemensstern umgeben ist (s. Detailansicht von T in Bild 4). Die beiden Sehzeichen sind derart dimensioniert, dass deren Sehwinkelgrösse gleich ist. Der Durchmesser des Siemenssternes beträgt $2,4^\circ$ und die Visusanforderung für den eingebetteten Landoltring beträgt 0,2. Der

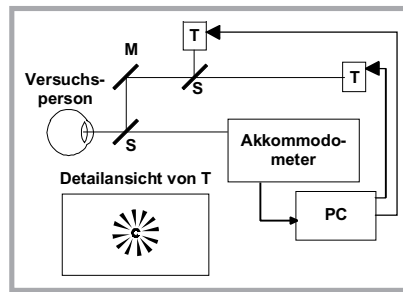


Bild 4: Schematische Darstellung der Vorrichtung zur Darbietung der Sehreize und zur kontinuierlichen Registrierung der Akkommodation. S = Strahlteiler, M = Vollspiegel, T = Sehzeichenkasten mit Sehzeichen und Hintergrundbeleuchtung

Figure 4: Schematic design of device used for presenting the targets (T = targets and background light, M = mirror, S = beam splitter) and of device used for recording accommodation („Akkommodometer“, PC)

Illustration 4: représentation schématique de l'appareil pour la projection des cibles (T = cibles et fonds lumineux, M = miroir, S = démis - miroir) et de l'appareil pour l'enregistrement de l'accommodation

Aufbau des Sehzeichens ermöglicht das Erkennen des Landoltringes auch bei einer Defokussierung um ca. 1,2 dpt (Faustregel: Halbierung der Sehschärfe bei Defokussierung um 1 dpt, s. z. B. Diepes 1975). Die Rolle des Siemenssternes besteht darin, dem Auge auch bei starker Defokussierung einen Hinweis über den Ort des Zentrums des Fixationsreizes zu geben. Die Sehzeichen sind auf einer transparenten Folie angebracht, die auf einer diffus strahlenden Oberfläche platziert ist. Das diffuse Licht wird von je sieben roten, sieben gelbgrünen und sieben blauen Leuchtdioden (LEDs) erzeugt. Mittels Kippschalter ist es möglich, ein Set von sieben gleichfarbigen LEDs ein- und auszuschalten. Die Wellenlängen der roten, gelbgrünen bzw. blauen LEDs betragen 635 nm, 586 nm bzw. 470 nm. Die Halbwertsbreite des Spektrums ist bei allen LEDs gleich und beträgt 70 nm. Die durch die LEDs erzeugten Hintergrundleuchtdichten sind je nach

Farbe unterschiedlich. Sie betragen für das nahe Sehzeichen 14 cd/m^2 , 18 cd/m^2 und 6 cd/m^2 (rot, gelbgrün blau) und für das ferne Sehzeichen 28 cd/m^2 , 25 cd/m^2 und 8 cd/m^2 . Der Leuchtdichteunterschied zwischen dem nahen und fernem Sehzeichen ist erforderlich um den Unterschied in Transmission und Reflexion des Strahlteilers auszugleichen, über den die beiden Sehzeichen kombiniert werden.

Die Aufgabe der Versuchsperson ist es, das Sehzeichen zu fixieren und bestmöglich scharf einzustellen. Gemäss Stark (1994) gewährleistet diese Instruktion eine hinreichend gute Verlässlichkeit in Bezug auf die Genauigkeit der eingestellten Akkommodation. Nachdem die Versuchsperson bestätigt, das Sehzeichen scharf zu sehen, wird zu einem zufällig gewählten Zeitpunkt die Hintergrundbeleuchtung des einen Sehzeichens abgeschaltet und die des anderen eingeschaltet, sodass das Sehzeichen eine sprunghafte Änderung der Akkommodationsanforderung durchführt. Die Registrierung der Akkommodation beginnt 4,8 s vor und dauert bis 3,2 s nach dem Umschalten der Hintergrundbeleuchtung. In zufälliger Reihenfolge wird eine Sprungantwort für Fern – Nah oder Nah – Fern bei jeder der drei obengenannten Farben der Hintergrundbeleuchtung aufgezeichnet. Bei jeder Einstellung werden drei bis fünf Messungen pro Versuchsperson durchgeführt. Vor den Versuchen werden zu Trainingszwecken die verschiedenen Reizeinstellungen mehrmals gegeben.

Aus den aufgezeichneten Daten wird in einem ersten Schritt der Zeitpunkt für das Einsetzen der Akkommodation bestimmt. Hierzu wird eine Häufigkeitsverteilung der Akkommodationseinstellung für ein Intervall kurz vor der Reizänderung berechnet. Die Häufigkeitsverteilung dient zur Ermittlung einer Schwelle. Der Zeitpunkt an dem die Akkommodation nach erfolgter Reizänderung die Schwelle erstmals übersteigt, wird als Zeitpunkt für das Einsetzen der Akkommodation definiert. Die Differenz dieses Zeitpunktes zum Zeitpunkt der Reizänderung wird als Latenzzeit der Akkommodation definiert. Aus dem Akkommodationssignal wird die erste Ableitung nach der Zeit gebildet, woraus sich die Geschwindigkeit der Akkommodation ergibt. Der

Maximalwert im Geschwindigkeitsverlauf wird fortan zu Vergleichszwecken herangezogen. Vor der Auswertung werden die registrierten Daten geglättet. Dieses erfolgt über das Fourierbild der Daten, indem Frequenzen über 48,7 Hz eliminiert werden ("cutoff").

Sieben Personen nahmen an diesem Versuch teil. Sechs Personen waren im Alter zwischen 24 und 32 Jahren. Eine Person war 42 Jahre alt. Die Sehschärfe mit Korrektur (Landoltring, 5 m bez. 33 cm, monokular und binokular) ist bei allen Personen als normal (Visus = 1,0) zu bezeichnen. Gleiches gilt für das Binokularsehen, das mit einem Lang Stereotest (Zufallspunktemuster, Disparität 550" – 1200") und mit einem dem Maddox – Wing nachempfundenen Fusionstest mit Noten aus einem Titmus T2 Sehtestgerät untersucht wurde. Alle Versuchspersonen verfügten über eine normale (vgl. Goss 1995) und für den Versuch hinreichende Akkommodationsbreite. Die Akkommodationsbreite der 42-jährigen Person betrug 3,75 dpt.

Nachdem Zweck und Methode des Versuches und ethische Fragen erörtert worden waren, wurde das Einverständnis der Personen zur Teilnahme am Versuch eingeholt.

Resultate

Als Beispiel sind in Bild 5 Sprungfunktionen der Akkommodation dargestellt, die bei der 42-jährigen Versuchsperson registriert wurden. Je eine Messung pro Farbe der Hintergrundbeleuchtung ist für den Fern – Nah (oben) bzw. den Nah – Fern Übergang dargestellt. Der Zeitpunkt der Änderung der Akkommodationsanforderung ist bei 4,8 s. Die Achsenabschnitte der einzelnen Messkurven sind derart gewählt, dass die Kurven in etwa am Punkt des Einsetzens der Akkommodationsänderung übereinstimmen. Wie aus dem Beispiel ersichtlich ist, wird der Endzustand der Akkommodation von der Wellenlänge des Hintergrundlichtes beeinflusst. Beim Sprung Nah – Fern beträgt der Unterschied in der Sprungweite zwischen der Messung mit gelbgrünem und jener mit blauem Licht 0,8 dpt. Gemäss einer Gleichung von Flitcroft (1989) führt die chromati-

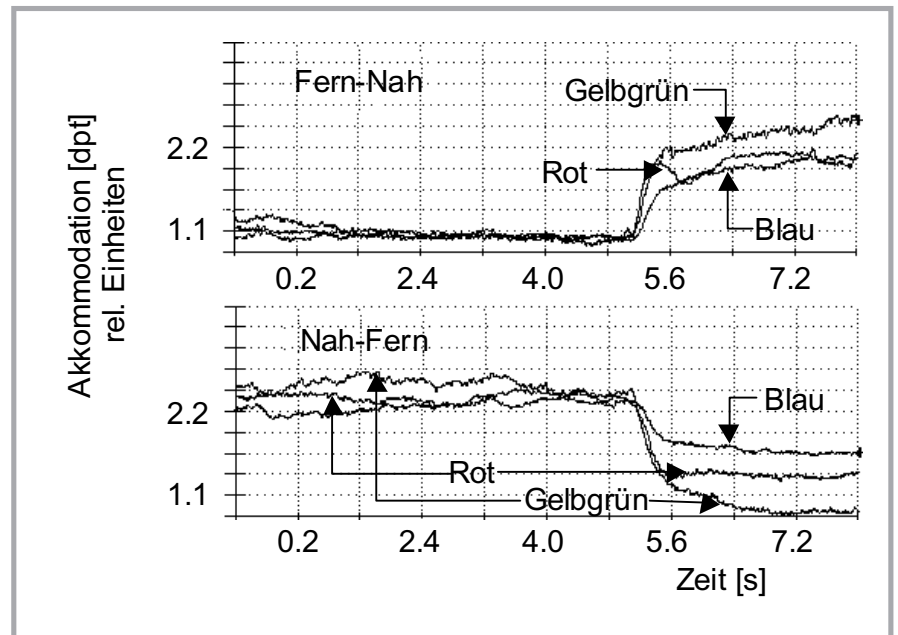


Bild 5: Beispiel (42-jährige Versuchsperson) des Verlaufes der Akkommodation bei sprunghaft geänderter Akkommodationsanforderung. Zeitpunkt der Änderung der Akkommodationsanforderung bei 4,8 s. Je eine Messung mit roter, gelbgrüner und blauer Hintergrundbeleuchtung. Obere Kurve: Sprung Fern – Nah. Untere Kurve: Sprung Nah – Fern. Willkürliche Ordinatenverschiebung der einzelnen Kurven (s. Text)

Figure 5: Specimen diagram showing accommodation curve in a 42-yearold subject exposed to sudden changes in accommodation demand occurring at 4.8 second intervals. One diagram each for red, yellow-green and blue background lighting. Upper curves relate to far-near transitions, lower curves to near-far transitions. The y axis of the individual curves has been arbitrarily adjusted (see text)

Illustration 5: Enregistrement de l'accommodation avant et après stimulation à pas (sujet de 42 ans). Changement de la demande d'accommodation à 4,8 s. Les courbes représentent un enregistrement avec fond rouge, jaune-vert et bleu. Courbes en haut: transition de l'accommodation de vision de loin à vision de près. Courbes en bas: transition de l'accommodation de vision de près à vision de loin. Les courbes sont déplacées en verticale par un montant arbitraire (voir texte)

schen Aberration des Auges zu einem Refraktionsfehler von $a_c(l) = 0,8248 - 3,5450 \cdot (0,7621^{(l-350\text{nm})/50})$, mit l der Wellenlänge des Lichtes in nm. Demzufolge ist eine Differenz in der chromatischen Aberration zwischen der im Versuch verwendeten gelbgrünen (586 nm) und der blauen (470 nm) Hintergrundbeleuchtung von ca. 0,86 dpt zu erwarten, was mit dem Wert in Bild 5 übereinstimmt. Die nach obiger Formel grösste Differenz in der chromatischen Aberration besteht zwischen der Wirkung bei blauer und bei roter Hintergrundbeleuchtung, was aber bei hiesigen Daten nicht der Fall ist. Gemäss Formel sollte die Differenz zwischen rot und blau 1,1 dpt betragen. Über diesen Widerspruch wird in einer

späteren Veröffentlichung detaillierter berichtet werden.

Wie erwähnt, wurden pro Einstellung drei bis fünf Messungen pro Versuchsperson durchgeführt. Pro Einstellung und Versuchsperson werden aus den drei bis fünf Latenzzeiten und Geschwindigkeiten Mittelwerte berechnet und für die folgenden Vergleiche benutzt. Aus Bild 6 und Bild 7 können die Mittelwerte und Standardabweichungen der Latenz und der maximalen Akkommodationsgeschwindigkeit entnommen werden, die über alle Versuchspersonen gerechnet sind. Zu den Mittelwerten für rot und gelbgrün haben sieben, zu jenem für blau sechs Versuchspersonen beigetragen. Die

Tabelle 2: Resultate der individuellen, einfachen Varianzanalysen. VP = Kürzel der Versuchsperson. p gibt die mit der Varianzanalyse ermittelte Irrtumswahrscheinlichkeit wieder. * steht für $p < 0.05$ und ** für $p < 0.01$. In der Kolonne "Richtung" wird die Sprungrichtung mit F → N (von Fern nach Nah) oder N → F (von Nah nach Fern) angegeben. Die letzte Kolonne gibt an, wie viele Messwerte pro Hintergrundfarbe Rot (R), Grüngelb (G) und Blau (B) vorliegen. "nicht a." steht für nicht ausgewertet. Die Auswertung über die zusammengefassten Absolutbeträge der Geschwindigkeit sind in der mit "beide" bezeichneten Zeile wiedergegeben

Table 2: Results of individual simple variance analyses. VP = subject. p = level of probability. * = $p < 0.05$. ** = $p < 0.01$. Row „Richtung“ = direction of change in accommodation demand: F → N = far to near and N → F = near to far. Last row indicates numbers of measurements taken against red (R), green – yellow (G) and blue (B) background. „nicht a.“ = not available. Pooled evaluations are listed in lines marked „beide“

Tableau 2: Résultats des analyses de variance. VP = sujet. p dénote le niveau de probabilité (* pour $p < 0.05$ et ** pour $p < 0.01$). «Richtung» dénote la direction de transition de l'accommodation (F → N pour vision de loin à vision de près et N → F pour vision de près à vision de loin). Le nombre de mesures prises avec un fond rouge (R), vert – jaune (G) et bleu (B) est visible dans la dernière colonne

VP	Richtung	p Latenz	P Geschw.	Anz. Fälle R/G/B
MM	F → N	*	**	5/4/5
	N → F	-	*	5/5/5
	beide	nicht a.	**	10/9/10
MV	F → N	-	-	5/5/4
	N → F	-	-	5/5/5
	beide	nicht a.	-	10/10/9
TS	F → N	-	-	5/5/5
	N → F	-	-	5/5/5
	beide	nicht a.	*	10/10/10
YB	F → N	-	-	5/4/5
	N → F	-	-	5/5/5
	beide	nicht a.	-	10/9/10
DS	beide	nicht a.	-	6/4/5
TC	beide	nicht a.	-	7/6/6
RR	F → N	nicht a.	Nicht a.	3/2/2
	N → F	nicht a.	Nicht a.	3/2/2

Werte sind normalverteilt (Schiefe und Steilheit). Der Faktor Farbe übt keinen signifikanten Einfluss auf Latenz und maximale Geschwindigkeit aus, weder bei Fern - Nah noch bei Nah - Fern-Sprüngen (einfache Varianzanalyse).

Statistische Vergleiche (t-Test mit Bonferroni Korrektur) der Werte bei gleicher Sprungrichtung zeigen keine signifikanten Unterschiede der Latenzzeiten und der Geschwindigkeiten bei unterschiedlichen Hintergrundfarben. Der Unterschied in der Latenzzeit für

Nah - Fern Sprünge zwischen den Versuchen mit rotem und jenen mit gelbgrünem Hintergrund lässt sich lediglich auf dem Niveau $p=0,11$ ($T=-2,676$, Bonferroni korrigiert) nachweisen. Ohne Berücksichtigung der Bonferroni Korrektur beträgt dabei die Irrtumswahrscheinlichkeit $p=0,037$. Es ist nicht auszuschliessen, dass der gelbgrünen Farbe eine Sonderstellung in der Akkommodationsregelung zukommt.

Eine Betrachtung der individuellen Daten lässt vermuten, dass der Einfluss

des Spektrums auf den Akkommodationsmechanismus von Person zu Person verschieden ist. Dies zeigt die grafische Gegenüberstellung der Daten zweier Versuchspersonen, die in Bild 8 und 9 wiedergegeben sind.

Da pro Einstellung und Versuchsperson mehrere Messungen vorliegen, lässt sich die Abhängigkeit der Latenzzeit und der maximalen Geschwindigkeit der Akkommodation mittels einer Varianzanalyse individuell untersuchen. Allerdings sind die Fallzahlen gering (drei – fünf), sodass die statistische Aussage mit Vorsicht zu interpretieren ist. Es werden nur Fälle betrachtet, in denen mindestens vier Messwerte pro Farbe vorliegen. Aus Tabelle 2 lässt sich entnehmen, unter welchen Bedingungen die Farbe des Hintergrundes einen signifikanten Einfluss auf die Latenz oder auf die maximale Geschwindigkeit der Akkommodation zeigt. Da sich die maximalen Geschwindigkeiten für Fern – Nah und Nah – Fern im Absolutbetrag nicht unterscheiden, wurden die Absolutbeträge zusammengefasst. Die Resultate der Varianzanalyse mit den zusammengefassten Absolutwerten sind in der mit "beide" bezeichneten Zeilen der Tabelle 2 wiederzufinden. Dasselbe Vorgehen konnte in Bezug auf die Latenzzeiten nicht angewendet werden, da diese signifikant von der Sprungrichtung abhängen.

Diskussion

Sowohl die zusammengefassten wie auch die individuellen Daten legen den Schluss nahe, dass die verwendeten Spektren kaum unterschiedliche Beeinflussung der Latenz und der maximalen Geschwindigkeit der Akkommodation zeigen. Bei zwei der sieben Versuchspersonen konnten Effekte zwar nachgewiesen werden. Die Zuverlässigkeit dieses Befundes ist jedoch aufgrund der kleinen Fallzahlen gering.

Somit muss angenommen werden, dass unter den experimentellen Voraussetzungen die spektrale Verteilung des Hintergrundlichtes für die Dynamik der Akkommodation nicht von Bedeutung ist. Allerdings können damit Effekte nicht generell ausgeschlossen werden. Den Versuchspersonen wurde mittels der vor dem Experiment durchgeführten Trainingsdurchgängen die Mög-

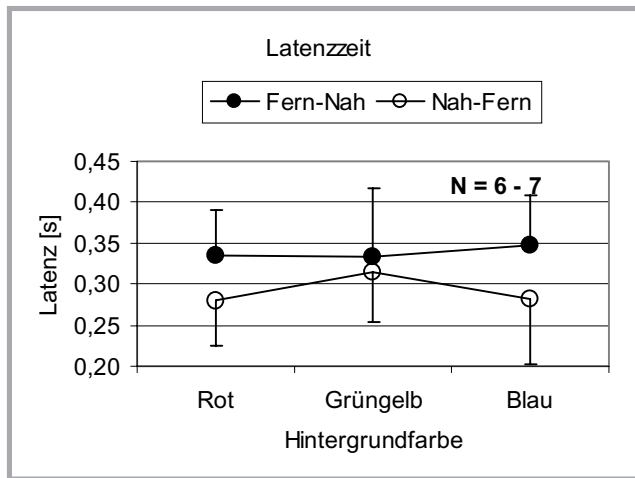


Bild 6: Mittelwert und Standardabweichung der Latenzzeit der Akkommodation in Abhängigkeit der Farbe des Lichtes des Hintergrundes. Mittelwerte über 7 Versuchspersonen bei rot und grün-gelb und über 6 Versuchspersonen bei blau

Figure 6: Mean and standard deviation of latency of accommodation as function of background color. Mean of 7 subjects (red, green-yellow) and of 6 subjects (blue) respectively

Illustration 6: Moyenne et écart type pour la latence de l'accommodation en fonction de la couleur du fonds. Moyenne sur 7 sujets (rouge, vert - jaune) respectivement sur 6 sujets (bleu)

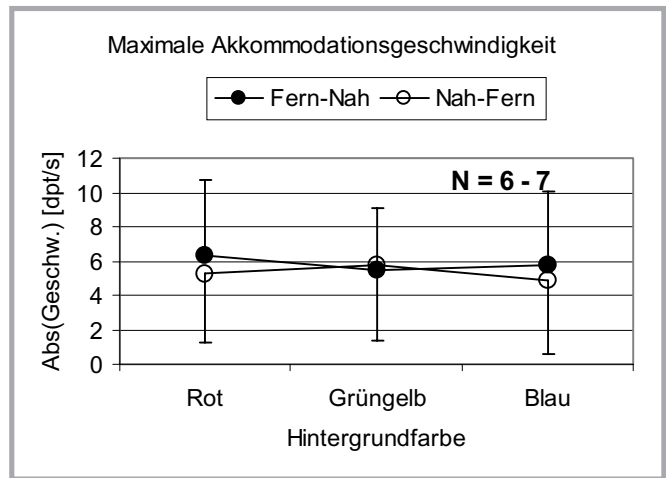


Bild 7: Mittelwert und Standardabweichung der maximalen Geschwindigkeit der Akkommodation in Abhängigkeit der Farbe des Lichtes des Hintergrundes. Mittelwerte über 7 Versuchspersonen bei rot und grün-gelb und über 6 Versuchspersonen bei blau

Figure 7: Mean and standard deviation of maximum speed of accommodation as function of background color. Mean of 7 subjects (red, green-yellow) and of 6 subjects (blue) respectively

Illustration 7: Moyenne et écart type pour la vélocité maximale de l'accommodation en fonction de la couleur du fonds. Moyenne sur 7 sujets (rouge, vert - jaune) respectivement sur 6 sujets (bleu)

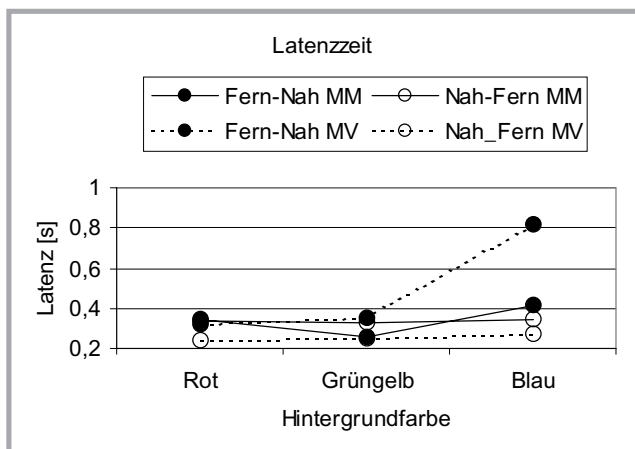


Bild 8: Mittelwert der Latenzzeit aus vier bis fünf Messungen bei den Versuchspersonen MM und MV

Figure 8: Mean of latency from four to five records of accommodation in subjects MM and MV

Illustration 8: Moyenne de la latence de l'accommodation pour les sujets MM et MV (quatre à cinq enregistrements)

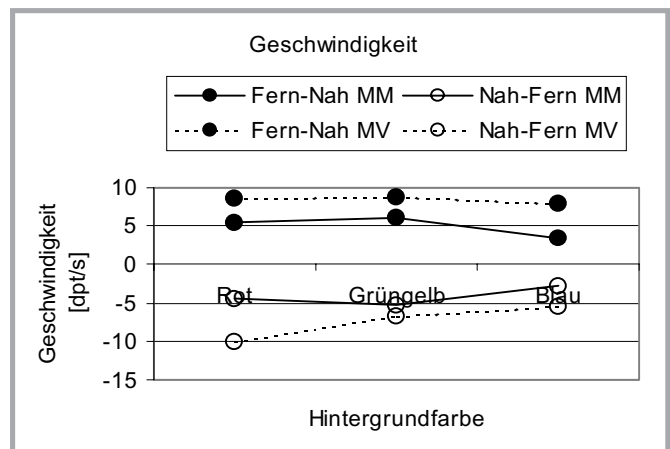


Bild 9: Mittelwert der maximalen Geschwindigkeit der Akkommodation aus vier bis fünf Messungen bei den Versuchspersonen MM und MV

Figure 9: Mean of maximum speed of accommodation from four to five records of accommodation in subjects MM and MV

Illustration 9: Moyenne de la vélocité maximale de l'accommodation pour les sujets MM et MV (quatre à cinq enregistrements)

lichkeit gegeben, sich die beiden Akkommodationsanforderungen bei Fern und Nah zu merken. Wie moderne Modelle der Akkommodationsregelung besagen (z. B. Schor 1992), wird die Akkommodation sowohl von retinotopischen

als auch von spatiotopischen Signalen gesteuert. Ein Beispiel für Ersteres bildet die Netzhautbildschärfe. Unter spatiotopische Signale fällt auch die Vorstellung einer Zielentfernung, auf welche die Akkommodation ausgerich-

tet wird. Es ist deshalb möglich, dass ein spatiotopisches Signal einen Effekt des Spektrums überdeckt hat.

Auch wenn die Ergebnisse zeigen, dass die verwendeten Spektren kaum Ein-

fluss auf die Latenz und auf die maximale Geschwindigkeit der Akkommodation ausüben, ist es dennoch möglich, dass die Akkommodationsdynamik bei Licht mit komplexerem Spektrum, z. B. wie jenes aus Bild 3, gestört ist. Vermutlich stellen komplexe Spektren bei der Regelung der Akkommodation in Zielnähe (Sollwert der Akkommodation) ein Problem dar, da für das Erreichen der EndEinstellung kein eindeutiger Sollwert für die Akkommodation vorliegt. Die Dynamik der Akkommodation muss dabei nicht notwendigerweise von der chromatischen Aberration betroffen sein. Solange die Regeldifferenz grösser als der Effekt der chromatischen Aberration ist und die dynamische Regelung auf einem Richtungssignal basiert, würde auch bei komplexen Spektren kein Einfluss feststellbar sein.

Es kann also festgehalten werden, dass bei Sehaufgaben, bei denen zwischen bekannten Sehentfernungen hin und her geblickt wird, die zentrale Wellenlänge einer schmalbandigen Lichtverteilung kaum die Latenz oder die Geschwindigkeit der Akkommodation zu beeinflussen vermag. Derartige Spektren sind im Alltag immer häufiger anzutreffen. Lichtquellen bei Ampeln, bei Grossanzeigen, wie sie z. B. für Werbezwecke verwendet werden und bei Head-mounted-displays bestehen vermehrt aus Leuchtdioden, mit Spektren, die jenen dieses Versuches sehr ähnlich sind.

Schlussbemerkungen

“Further research is needed”, war einmal en vogue, um unter anderem die Fortführung der eigenen Arbeiten zu rechtfertigen. Der Spruch trifft genau genommen für arbeitswissenschaftliche Studien immer zu, denn über den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung wird nie vollständige Gewissheit erlangt. Dieses Problem ist für die Arbeitswissenschaft von theoretischer und von praktischer Bedeutung, da eine Arbeitswissenschaft ohne gestalterische Komponente wenig Sinn macht. Es stellt sich deshalb die Frage, wie viel Gewissheit notwendig ist, um aus Resultaten einer arbeitswissenschaftlichen Studie Gestaltungsmassnahmen für die Praxis zu rechtfertigen.

Diese Frage ist, wenn überhaupt, nicht einfach zu beantworten, denn die Frage kann von unterschiedlichen Blickwinkeln, z. B. Ethik, Moral, Politik, Ökologie oder Ökonomie, angegangen werden. Aus jedem der Blickwinkel kann zum einen an der Existenz einer endgültigen Antwort gezweifelt werden. Zum anderen lassen sich die einzelnen Lösungen nicht notwendigerweise gegeneinander abwägen oder in Übereinstimmung bringen.

Nebst dieser horizontalen Vielfalt erschwert eine vertikale Differenzierung der Untersuchungsmethode die Erforschung der Beziehung zwischen Ursache und Wirkung. Wie im Experiment über die Akkommodationsdynamik kann die Ursache – Wirkung – Beziehung auf der Ebene der Funktionsänderung untersucht werden. Ebenso ist denkbar, das Anwendungsfeld im Labor zu simulieren und die Beziehung anhand einer kontrollierten Aufgabe zu untersuchen, wie dies der Studie zum Gelbglass zugrunde liegt. Ein vermutterter Zusammenhang lässt sich auch im Feld untersuchen, zum Beispiel mittels epidemiologischer Forschung. Alle wissenschaftlichen Methoden haben ihr Dafür und Dagegen. Laborbedingungen lassen eine bessere Kontrolle der Einflussfaktoren im Vergleich zu Felduntersuchungen zu. Aber auch im Labor ist diese Kontrolle nicht eine absolute. Da Versuchspersonen das Laborumfeld als solches wahrnehmen, führen Laboruntersuchungen zu spezifischen Ergebnissen, die von den Ergebnissen vergleichbarer Feldstudien abweichen. Ein gravierender Nachteil der Feldstudien ist die Unmöglichkeit, Einflussfaktoren hinreichend zu identifizieren.

Wie soll unter diesen Umständen Arbeitswissenschaft sinnvoll betrieben werden? Meiner Ansicht nach ist es die “gesunde” Mischung aller Vorgehensweisen, kombiniert mit einer Portion Intuition, das was das Erfolgsrezept der Arbeitswissenschaft ausmacht. Zu dieser Ansicht bin ich nach jahrelanger Observation von Prof. Kruegers Vorgehen gelangt. Bei gegebener Richtigkeit der Rezeptur ergeben sich zwei Hinweise für eine förderliche Entwicklung der Arbeitswissenschaft. Zum ersten erscheint es günstig zu sein, wenn bei einer Problemlösung sowohl alle Teildisziplinen wie auch alle möglichen

Vorgehensweisen berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang nimmt der Arbeitswissenschaftler oft die Rolle eines Mediators ein, der zwischen Disziplinen vermittelt und Synergien bewirkt. Diese notwendige Offenheit gegenüber Allem birgt allerdings die Gefahr, dass auch “unwissenschaftliches” einen günstigen Nährboden findet. Als unwissenschaftliches wird hier z. B. verstanden, dass Daten und Methoden von Studien nicht offengelegt werden, dass die wissenschaftliche Diskussion verweigert wird, oder dass ein reduziertes Auffassungsvermögen für Überlegungen Anderer besteht. Zum zweiten erscheint mir für den Erfolg der Arbeitswissenschaft wichtig, dass auch Studien veröffentlicht werden, bei denen trotz sorgfältiger Durchführung, keine nachweisbaren Effekte gefunden werden. Auch negative Befunde tragen zum Erfahrungsschatz bei.

Schliesslich kommt auch die Arbeitswissenschaft nicht ohne Persönlichkeiten aus, die mit Hilfe ihres wissenschaftlichen Know-hows und ihrer erfolgreichen Intuition die Geschicke dieser Disziplin zu lenken im Stande sind. Sie stellen oft auch eine Art oberste Instanz dar, deren Meinung in wissenschaftlichen Fragestellungen eine herausragende Stellung einnimmt. Auf diese Persönlichkeiten lastet eine moralische Verpflichtung, die sie gegenüber der arbeitswissenschaftlichen Gesellschaft als Ganzes wahrnehmen müssen.

Literatur

- Adrian W. Kokoschka S.:** zur Abhängigkeit der fovealen Sehschärfe von der Wellenlänge des Lichtes. *Lichttechnik*, 1965: 17(3); 32a – 38a 1965
- Charman W. N.:** Vision and driving - a literature review and commentary. *Ophthalmic Physiological Optics*, 1997: 17(5); 371 – 391 1997
- Chung S., Pease P. L.:** Effect of yellow filters on pupil size. *Optometry and Vision Science*, 1999: 77(1); 59 – 62 1999
- Diepes H.:** Refraktionsbestimmung. Verlag Bode GmbH & Co. KG, Pforzheim, 1975
- DOG:** Empfehlung der DOG und des BVA zur Fahreignungsbegutachtung für den Strassenverkehr, 3.2.3 Dämmerungsehschärfe und Blendempfindlichkeit, Stand Januar 2003
- Flitcroft D. I.:** The interactions between chromatic aberration, defocus and stimulus chromaticity: implications for visual physiology and colorimetry. *Vision Research* 29(3); 349 – 36 1989
- Goss D. A.:** Ocular Accommodation, Convergence, and Fixation Disparity. Second edition. Butterworth - Heinemann, Boston etc. 1995
- Gouras P., Zrenner E.:** Color coding in primate retina. *Vision Research*, 1981: 21; 1591 – 1598 1981
- Gouras P.:** Vision and Visual Dysfunction. Macmillan Press, Houndmills 1991 Band 6, 163 – 197 1991
- Krueger H.:** Untersuchung zum Konvergenz- Akkommodations- Pupillen-Regelkreises des menschlichen Auges mit einem kontinuierlich aufzeichnenden Pupillo- und Akkommodometer. Inauguraldissertation, Ludwig-Maximilians-Universität, München 1968

Krueger H.: Experimentelle Untersuchungen zur Beurteilung verschiedener Schriftarten, Habilitationsschrift, Technische Universität München, München 1974

Krueger H., Müller-Limmroth W.: Arbeiten mit dem Bildschirm – aber richtig!, Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München 1979

Krueger H.: Ophthalmological aspects of work with display workstations, In: Grandjean E., Vigliani E. (Editoren), Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, Taylor & Francis, London 1980

Krueger H., Hessen J.: Objektive, kontinuierliche Messung der Refraktion des Auges, Biomedizinische Technik: 27(6); 142 – 147 1982

Läubli Th., Hünting W., Grandjean E.: Visual impairments in VDU operators related to environmental conditions. In: Grandjean E., Vigliani E. (Editoren), Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, Taylor & Francis, London 1980

Menozi M., Krueger H.: Reflexschutz für Bildschirme: Beurteilungsgrundlagen, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1988/3: 42 (14 NF); 160 – 164 1988

Menozi M., Näpflin U., Stüdeli T.: Expertise über eine neue Flugstreifenanstellung im Tower. SE-00-04, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH Zürich, Zürich 2000

PAL: Progress in Automobile Lighting Volume 10 der Reihe Darmstädter Lichttechnik Herausgeber: Prof. Dr. H.-J. Schmidt-Clausen, Technische Universität Darmstadt Verlag: Herbert Utz Verlag, München 2003

Petersen J.: Die Zuverlässigkeit der Bestimmung der Sehschärfe mit Landoltringen, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1993

Schierz Ch.: Wirkung von Linienspektren auf die Akkommodation des Auges, Dissertationsarbeit Nr. 10362, ETH Zürich, Zürich 1993

Schor C. M., Alexander J., Cormack L., Stevenson S.: Negative feedback control model of proximal convergence and accommodation. Ophthalmic and Physiological Optics. 12(4); 307 – 318 1982

Stark L. R., Atchison D. A.: Subject instruction and methods of target presentation in accommodation research. Investigative Ophthalmology & Vision Science, Feb. 1994: 35(2); 528 – 537 1994

Sturr J. F., Taub H. A.: Performance of Young and Older Drivers on a static Acuity Test under Photopic and Mesopic Luminance Condition, Human Factors, 1990: 32(1); 1- 8 1990

Wolffsohn J. S., Cochrane A. L., Khoo H., Yoshimitsu Y., Wu S.: Contrast is enhanced by yellow lenses because of selective reduction of short wavelength-light, Optometry and Vision Science; 77 (2), 73-81 2000

Anschrift des Verfassers

PD Dr. sc. nat. Marino Menozi

Sehforschung

Institut für Hygiene & Arbeitsphysiologie

ETH Zürich

Clausiusstr. 25

CH-8092 Zürich

E-Mail: menozzi@iha.bep.ETHZ.ch

Arbeiten mit Faktor Licht.

Seit Jahren beschäftigen wir uns intensiv mit dem Thema "Produktivitätsfaktor Licht".

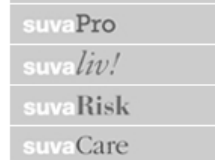
Siteco bietet seinen Kunden Lichtlösungen für ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze und motivierte Mitarbeiter.

Wir danken Herrn Prof. Krueger für seine fachliche Unterstützung in den vergangenen Jahren - insbesondere auf unserem Symposium "light for vitality" im November 2003 - und wünschen ihm für seinen wohlverdienten Ruhestand alles Gute.



SITECO Schweiz AG · Airport Business Center 62
CH-3123 Bern-Belp · Fon +41 31 8 18 28 28
Fax +41 31 8 18 28 20 · Mail info@siteco.ch

siteco
Beleuchtungstechnik



suva

Suva - Postfach - CH-6002 Luzern
Tel. +41 41 419 5835 - Fax +41 41 419 5728
grundlagen@suva.ch
URL: <http://www.suva.ch>

"Ein regelmässiger Sehtest hilft Unfälle verhüten"

Unter dieser Vision konnten wir in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH unser neues, computerbasiertes Sehtestsystem "Vision at work" VAW realisieren.

Wir haben während der Entwicklungsphase bei der ETH viele neue Kontakte geknüpft und so viele interessante neue Erkenntnisse gewonnen, die wir beim Umsetzen des neuartigen Sehtests umsetzen konnten.

Wir danken Herrn Prof. Krueger für die sehr angenehme Partnerschaft und fruchtbare Zusammenarbeit und wünschen ihm noch viele glückliche Jahre im Ruhestand.