

Untersuchung der Wärmeverteilung von menschlichen Augen

Aydin ÜNLÜ, Tobias HOFFMANN, Nils Darwin ABELE, Karsten KLUTH

*Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen,
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57068 Siegen.*

Kurzfassung: Bei konzentrierter Bildschirmarbeit können sowohl trockene Augen als auch sogenannte „brennende“ Augen entstehen, welche als unangenehm empfunden werden. Diese Symptomatik wird vor allem dann festgestellt, wenn die Augen z.B. mit Kühlmasken oder mit Augentropfen gekühlt werden. Allerdings bieten diese Kühlungsmaßnahmen nur eine kurzfristige Lösung. Auf Basis der Grundlagen der Augenphysiologie und den bereits durchgeführten Augentemperaturmessungen wurde bei 15 Probanden die Wärmeverteilung bei konzentrierter Bildschirmarbeit untersucht und bei einem Probanden aufgezeigt, welche Kühlwirkung mit Augentropfen erreicht werden kann.

Schlüsselwörter: Augentropfen, Augenlider, Augeninnenwinkel, Augenoberfläche, Wärmeverteilung, Verdunstung

1. Studien zur Augenwärme

Durch die Digitalisierung der Arbeitswelt leiden immer mehr Menschen an Augenbeschwerden, welche auf konzentrierte Bildschirmarbeit zurückzuführen sind. Diese Augenbeschwerden werden insbesondere durch die Reduzierung der Lidschlagrate bei konzentrierter Arbeit ausgelöst. Die Lidschlagreduzierung unterbindet die Benetzung der Augenoberfläche mit Tränenflüssigkeit und fördert somit die Austrocknung der Hornhaut, die wiederum als „brennend“ empfunden wird (Ünlü 2022).

Allerdings wird die Augenwärme auch durch die Blutversorgung der Augenlider, der Augenmuskeln und durch die Augen selbst verursacht. Hier ist vor allem der Blutfluss mit den Messgrößen Druck, Geschwindigkeit sowie Temperatur ein wichtiger Indikator. Die Augen werden über die Aderhaut und Netzhaut mit Blut versorgt, sodass Wärme entsteht und übertragen wird (siehe Abbildung 1). Mittlerweile existieren zahlreiche Verfahren zur Messung des Augenblutflusses. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Augenblutversorgung unterschiedlich sein kann, z.B. durch eine Durchmesserschwankung der Blutgefäße (Bach 2003).

Verschiedene Studien stellen einen Zusammenhang zwischen dem Blutfluss und der Augentemperatur nach. Die Untersuchung von Cohen et al. (2021) zeigt hierzu, dass aus einer verzögerten Durchblutung eine Reduzierung der Gewebetemperatur resultiert. In einer weiteren Studie wird gezeigt, dass eine Erhöhung der Körperkern-temperatur um 1 °C einen Anstieg der Augentemperatur um 0,98 °C verursacht (Purslow et al. 2007). Auch eine Blutflussanregung über eine Capsaicin-Lösung führt nach Itokawa et al. (2020) zu einer Erwärmung des Ober- und Unterlids um 0,20 °C bis 0,23 °C und der Hornhaut um 0,3 °C.

Die Augenlider dienen nicht nur zur Reinigung der Hornhaut mithilfe von Tränenflüssigkeit, sondern regulieren die Wärmeübertragung der Augen mit jedem Lidschlag.

Zudem gleicht die Tränenflüssigkeit die Unebenheiten der Hornhautepithel aus und verringert damit die Reibung zwischen Augenlider und Hornhaut. Lidschläge werden u.a. durch die Aktivierung des musculus orbicularis oculi, dem schnellsten Muskel des menschlichen Körpers, ausgeführt (Waldeyer 2012). Demzufolge können brennende Augen neben der Blutversorgung auch durch eine gestörte Benetzung der Augenoberfläche verursacht werden. Diese ist wiederum auf reduzierte Lidschläge oder eine geringe bzw. schnelle Verdunstung der Tränenflüssigkeit zurückzuführen (Göbbels 1996; Ziemssen 2005).

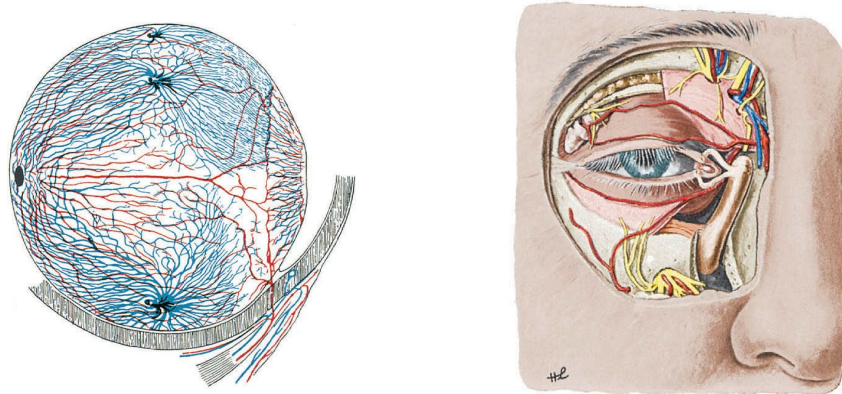


Abbildung 1: *Gefäße der Aderhaut und Verbindungen mit der Bindehaut und episkleralen Gefäßen (links); Nerven, Blutgefäße, Tränendrüse, Tränensack und Tränennasengang am Auge (rechts) (Waldeyer 2012)*

Die Verdunstung beschreibt dabei den Übergang der Tränenflüssigkeit in den gasförmigen Aggregatzustand, der durch die thermische Konvektion und Strahlung zwischen der Umgebung sowie der Augen in Richtung tieferen Temperaturen ausgelöst wird (Böckh & Wetzel 2017). Mapstone (1968) untersuchte hierzu den Zusammenhang zwischen Umgebungs- und der Hornhauttemperatur. Die Korrelation weist eine Reduzierung der Hornhauttemperatur im Mittel um 0,15 °C pro 1 °C Umgebungstemperatur nach. Abusharha et al. (2016) stellten fest, dass mit einer Abnahme der Umgebungstemperatur von 25 °C auf 5 °C die Augentemperatur von ca. 35 °C auf 31 °C sinkt. In einer weiteren Studie stellten Petznick et al. (2013) dar, dass mit einer Zunahme der Luftfeuchtigkeit von 45 % auf 65 % die gemittelte Augentemperatur von 34,9 °C auf 35,2 °C ansteigt.

2. Augenwärmeverteilung bei konzentrierter Bildschirmarbeit

Die Messung der Augenwärmeverteilung bei konzentrierter Bildschirmarbeit, wurde mit einem Probandenkollektiv von 15 Versuchspersonen (drei weibliche und zwölf männliche Probanden, Durchschnittsalter: 32 ± 3 Jahre) durchgeführt. Zur Gewährleistung einer behaglichen Raumbedingung wurde dabei eine Temperatur von 23,7 °C ± 0,9 °C und eine Luftfeuchtigkeit von 41,9 % ± 2,8 % sowie eine Beleuchtungsstärke von 765 lx am Bildschirmarbeitsplatz gemessen und konstant gehalten (Frank 1975; Cakir A & Cakir G 2000).

Zur Bildschirmarbeit wurde eine bildschirmbasierte Konzentrationsaufgabe von Jacobs (2015) herangezogen. Die Aufgabe bestand darin, innerhalb von 15 Min., Zahlen von 1 bis 20, die ungeordnet visualisiert wurden, über Interaktionen mit einer

Computer-Maus (Cursorbewegung und Mausklick) in aufsteigender Reihenfolge anzuordnen. Die Aufgabe wurde nach jedem Sortiervorgang neu gestartet.

Zur Identifizierung der Augenwärme wurde die Infrarot-Wärmebildkamera „FLIR T250“ verwendet. Am Anfang und ab 7,5 min sowie zum Ende der Messung wurde die Wärmeverteilung der Augen sowie die Körperkerntemperatur der Probanden erfasst. Die Körperkerntemperatur der Probanden belief sich im Mittel auf $36,7\text{ °C} \pm 0,4\text{ °C}$. Zusätzlich wurde anhand einer lehrstuhlintern entwickelten kamerabasierten Software die Lidschlagrate, die Lidspalte und der Kopfabstand des Nutzers zum Bildschirm erfasst. Schließlich wurden die Probanden einer standardisierten Befragung unterzogen.

Die Messungen zeigen, dass sich infolge der Konzentrationsaufgabe die Wärmeverteilung am Auge und insbesondere an den Augenlidern vergrößerte (siehe Abbildung 2). Die Wärmequelle befand sich zu Beginn in den Augeninnenwinkeln (AIT) – am Nasenrücken. Die Augentemperaturen lagen im Mittel bei $36,5\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$. Um eine vergleichbare Darstellung der Wärmeverteilung zu erhalten, wurde die Skalierung der Wärmebilder auf den Minimalwert der Augentemperaturen von 35 °C angepasst.

Die Temperaturen an der Augenoberfläche (AOT) stieg durch die Konzentrationsaufgabe auf einen Mittelwert von $0,5\text{ °C}$ an. Der Maximalwert der AOT lag bei $1,8\text{ °C}$. Die Temperaturen an den Augeninnenwinkeln stiegen auf einen Maximalwert von 1 °C an. Bei den drei weiblichen Versuchspersonen wurde im Vergleich zum männlichen Probandenkollektiv im Mittel eine um $0,5\text{ °C}$ höhere AIT gemessen. Die subjektive Befragung ergab, dass hinsichtlich der konzentrierten Bildschirmarbeit ein minimaler Temperaturanstieg eine unbehagliche Wärmempfindung führen kann.

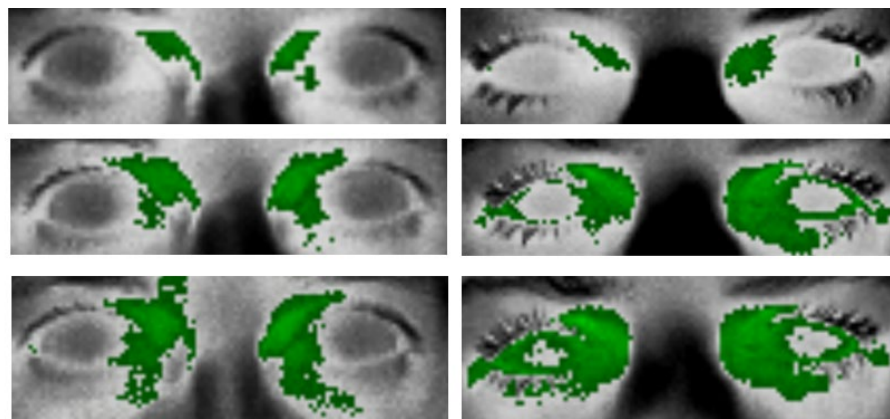


Abbildung 2: Augenwärmeverteilung bei konzentrierter Bildschirmarbeit bei Temperaturen über 35 °C (links: männliche Versuchsperson, rechts: weibliche Versuchsperson)

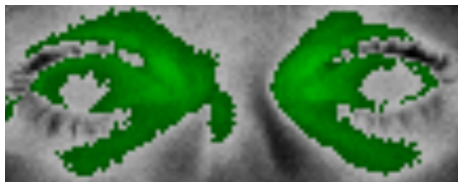




3. Augenwärmeverteilung unter Verwendung von Augentropfen

Um die Kühlwirkung von Augentropfen erkenntlich zu machen, wurde die Augenwärmeverteilung einer Versuchsperson im Anschluss an die Verabreichung von Augentropfen untersucht. Dazu wurde der Versuchsperson Augentropfen in das rechte Auge verabreicht und anschließend im 21-Sekunden-Takt eine Wärmebildaufnahme gemacht. Nach einer zweiminütigen Pause wurden Augentropfen in das linke Auge verabreicht und weitere Wärmebildaufnahmen im 21-Sekunden-Takt erstellt.

Die Messungen zeigen, dass die Temperaturen an den Augeninnenwinkeln von 36,5 °C für beide Augen auf 35,9 °C (rechtes Auge) und auf 36,3 °C (linkes Auge) sanken. Bemerkenswert ist, dass, obwohl für das rechte Auge Tropfen verabreicht wurden, die Temperatur auch am linken Auge abfiel. Dies wurde vermutlich aufgrund der Verbindung beider Augen, durch Tränenweg und Abfluss der Tränenflüssigkeit in die Nasenhaupthöhle verursacht. Letztlich sanken beide Temperaturverläufe auf 35,7 °C und pendelten sich auf eine Temperatur von 36 °C ein.

Die Wärmebildaufnahmen in Tabelle 1 zeigt, dass sich die Wärmeverteilung durch die Verabreichung von Augentropfen verkleinert. Allerdings verdeutlicht Bild E, dass die Kühlwirkung der Augentropfen mit der Zeit nachlässt. Der Proband empfindet auch subjektiv eine Wiedererwärmung der Augenlider nach kurzer Zeit. Diese Wärmeempfindung spiegelt sich auch in der Darstellung der Wärmeverteilung wider, wie ein Vergleich von Bild A und Bild E in Form einer allmählichen Rückbildung der Wärme zeigt.

Tabelle 1: Änderung der Augenwärmeverteilung durch die Verabreichung von Augentropfen

Wärmebildaufnahme	Beurteilung
A 	Ausgangslage der Augen mit flächiger Wärmeverteilung. Temperaturen über 35 °C werden grün und unter 35 °C grau dargestellt.
B 	Nach der Verabreichung von Augentropfen für das rechte Auge wird die Wärmeverteilung am rechten Auge reduziert.
C 	Ausgangslage vor der Augentropfen-Verabreichung für das linke Auge. Die Wärmeverteilung des rechten Auges bleibt weiterhin gering. Die Wärmeverteilung des linken Auges ist im Vergleich zu Bild A gering.
D 	Nach der Verabreichung von Augentropfen für das linke Auge. Die Wärmeverteilung des linken Auges reduziert sich unmittelbar. Die Wärmeverteilung des rechten Auges bleibt weiterhin gering.
E 	Nach ca. 2 Minuten wird die Wärmeverteilung am rechten Auge im Vergleich zu Wärmebild D größer. Die Wärmeverteilung am linken Auge ist weiterhin gering.

4. Diskussion

Die Ergebnisdarstellung zeigt während einer konzentrierten Bildschirmarbeit und unter behaglichen Umgebungsbedingungen eine Vergrößerung der Wärmeverteilung an den Augenlidern und Augeninnenwinkeln. Aus den Wärmebildern wird ersichtlich, dass die Wärmequelle an den Augeninnenwinkeln entsteht. Aus diesem Grund werden auch sogenannte Kühlpads (Kühlmasken) insbesondere für warme Augenlider eingesetzt. In nachfolgenden Untersuchungen sollten nicht nur die Wärmenstehung der Augenlider und der Augeninnenwinkeln erforscht werden, sondern auch die Wirkung von verschiedenen Kühlungsmaßnahmen.

Die Augenwärme kann durch individuelle Verdunstung bzw. Austrocknung der Augen begünstigt werden. In diesem Zusammenhang wird vermutet, dass auch durch die Augentrockenheit, eine Reibungswärme aufgrund der Lidschlagbewegung entstehen kann. Hierzu kann angenommen werden, dass Augentropfen nicht nur kurzfristig die Augenoberfläche abkühlen, sondern auch eine schmierende Wirkung ergeben. Die Ergebnisse der Augenwärmeverteilung haben unter Verwendung von Augentropfen gezeigt, dass eine Kühlwirkung kurzfristig erreicht wird, sich dennoch die Augen auf eine geringere Temperatur im Vergleich zur Anfangstemperatur einpendeln.

Eine weitere Fragestellung zur Erforschung der subjektiven Wahrnehmung von Augenbrennen bezieht sich auf die Augenrezeptoren. In kommenden Arbeiten sollte auch geklärt werden, inwieweit sich die Augenrezeptoren der Probanden unterscheiden und an welchem Augenorgan die Temperaturempfindung am höchsten ist. Aus dieser Überlegung kann eine gezielte Kühlungsmaßnahme entstehen, womit beispielsweise das Auftreten von brennenden Augen an der Bildschirmarbeit gezielt gelindert werden kann.

Abgesehen von Bildschirmarbeit kann ein Brennen der Augen auch bei verstärkten Umgebungseinflüssen, wie einer Lärmeinwirkung und im Rahmen der Bewältigung neuer bzw. mehrerer Konzentrationsaufgaben in Form von informatorischen Belastungen, auftreten. Dieser Zustand ist zudem tagesformabhängig, sodass aufgrund der Konzentrationsschwankung auch ein Bezug zur Ermüdungskurve hergestellt werden kann. Zu untersuchen ist hierzu die Unterscheidung der Augenwärmeverteilungen, z.B. hinsichtlich des Mittagstiefs bzw. nach einer eingenommenen Mahlzeit.

Viele Menschen leiden regelmäßig unter einer verstärkten Verdunstung des Tränenfilms, die eine Benetzungsstörung der Augenoberfläche hervorruft. Durch die Wärmeübertragung an den Augeninnenwinkeln zu den Augenoberflächen kann diese die Verdunstung auch begünstigen.

Hierzu spielt die Augendurchblutung bezogen auf die Wärme an den Augeninnenwinkeln eine wichtige Rolle. Die Augendurchblutung wird durch einen hohen Strömungsdruck sowie Volumenstrom an den Augenlidern charakterisiert. Zukünftige Untersuchungen sollten diese Durchblutungsparameter in Bezug auf eine hohe Augenbelastung analysieren. Hierzu sind zum Beispiel mit Lärm die Versuchspersonen zu belasten und eine Zeitvorgabe zur Erfüllung der Aufgabenstellung vorzugeben. Eine Schwierigkeit ist hierbei die realitätsnahe Stresssituation bzw. die Erfassung des tatsächlichen Stresslevels.

5. Literatur

- Abusharha AA, Pearce EI, Fagehi R (2016) Effect of ambient temperature on the human tear film. *Eye Contact Lens*. 42 (5): 308–312.
- Bach M (2003) *Augenärztliche Diagnostik: 7 Tabellen*. Deutschland: Thieme.
- Böckh P, Wetzel T (2017) *Wärmeübertragung. Grundlagen und Praxis*. 7.Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- Cohen G, Ben-David G, Singer R, Benyosef S, Shemesh R, Leshno A, Barkana A, Skaat A (2021) Ocular surface temperature: Characterization in a large cohort of healthy human eyes and correlations to systemic cardiovascular risk factors. *Diagnostics*. 2021, 11, 1877.
- Çakir A, Çakir G, (2000) Teilbericht Licht und Ergonomie. ERGONOMIC Institut für Arbeits- und Sozialforschung Forschungsgesellschaft mbH, Berlin.
- Frank W (1975) *Berichte aus der Bauforschung – Raumklima und Thermische Behaglichkeit*. Berlin-München-Düsseldorf: Ernst & Sohn KG.
- Göbbels M, Groß D (1996) Klinische Studie zur Wirksamkeit eines dexpanthenolhaltigen Tränenersatzmittels (Siccaprotect®) bei der Behandlung trockener Augen. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 209 (08/09), 84–88.
- Itokawa T, Okajima Y, Suzuki T, Kobayashi T, Iwashita H, Gotoda S, Tei Y, Kakisu K, Hori Y (2020) Correlation between Blood Flow and Temperature of the Ocular Anterior Segment in Normal Subjects. *Mdpi, Diagnostics* 2020, 10, 695.
- Jacobs B (2015) Unkonzentriert trotz hoher Konzentrationsfähigkeit. <http://bildungswissenschaften.uni-saarland.de/personal/jacobs/> (letzter Zugriff 13.01.2023).
- Mapstone R (1968) Determinants of ocular temperature. *Br J Ophthalmol*. 52: 729–741. doi: 10.1136/bjo.52.10.729.
- Purslow C, Wolffsohn J (2007) The relation between physical properties of the anterior eye and ocular surface temperature. *Optom Vis Sci*. 84 (3): 197–201.
- Petznick A, Tan JH, Boo SK, Lee SY, Acharya UR, Tong L (2013) Repeatability of a new method for measuring tear evaporation rates. *Optom Vis Sci*. 90 (4): 366–371.
- Ünlü A, Abele ND, Kluth K (2012) Augenbelastung und deren Auswirkung auf die individuelle Augenphysiologie. In: *Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. Proceedings des 68. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, A.5.9, GfA-Press Dortmund*
- Waldeyer A (2012) *Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*. Deutschland: De Gruyter.
- Ziemssen F, Freudenthaler N, Regnery K, Schlote T (2005) Lidschlagaktivität während der Bildschirmarbeit. Teil1: Okuläre Beschwerden und pathologische Grundlagen. *Springer Medizin Verlag*, 102: 805–811.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de