

Augenbelastung und deren Auswirkung auf die individuelle Augenphysiologie

Aydin ÜNLÜ, Nils Darwin ABELE, Karsten KLUTH

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

Kurzfassung: Etwa jede zweite deutsche berufstätige Person arbeitet an einem Bildschirmarbeitsplatz. Studien zufolge leiden ca. 40% der Bildschirmarbeitenden unter Sehbeschwerden und Augenschmerzen. Ein Grund ist im Wesentlichen die drastische Reduzierung der Lidschlagrate bei konzentrierter Arbeit. Das Ziel besteht darin, die Augenbelastung am Bildschirm und die Auswirkung auf die individuelle Augenphysiologie zu beschreiben. Dazu wird ein Einblick in die Messverfahren zur Lidschlag Erfassung und die Möglichkeiten zur Lidschlaganregung gegeben und der Zusammenhang zwischen der Augenbelastung und der Augenbeanspruchung arbeitswissenschaftlich diskutiert.

Schlüsselwörter: Augenbelastung, Augenphysiologie, Lidschlag, Lidschlagrate, Lidschlag Erfassung, Lidschlaganregung

1. Einleitung

Mit der Digitalisierung der Arbeitswelt und einer alternden Bevölkerung, leiden immer mehr Menschen an Augenbeschwerden, welche auf unangemessene Augenbelastungen am Bildschirmarbeitsplatz zurückzuführen sind. Durch Einführung der Bildschirmarbeitsverordnung und entsprechenden Maßnahmen, wie zum Beispiel einer ergonomischen Einrichtung des Arbeitsplatzes im Hinblick auf die Beleuchtung, konnten einige Beschwerden minimiert werden (Cakir et al. 2013).

Dennoch zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass Augenbeschwerden wie beispielsweise trockene Augen aufgrund einer Lidschlagreduzierung verursacht werden können. Diese Lidschlagreduzierung unterbindet dabei die Benetzung der Augenoberfläche mit Tränenflüssigkeit und fördert somit die Austrocknung der Hornhaut bzw. Verdunstung der Tränenflüssigkeit (Nolting 2011).

Trockene Augen entstehen dabei nicht nur durch die Reduktion der Lidschlagrate (LSR), sondern können auch bedingt durch die unterschiedlich ausgeprägte Augenphysiologie des Menschen entstehen. Die Augenphysiologie umfasst dabei alle Prozesse, an denen das Auge beteiligt ist, wie zum Beispiel die Augenlider, die Augenanatomie (Muskulatur, Pupille, Hornhaut usw.) sowie die Tränen (Müller 2006).

Die Augenlider (Ober- und Unterlid) besitzen je nach Individuum unterschiedlich ausgeprägte Meibomdrüsen (siehe Abbildung 1, rechts). Diese Drüsen verteilen die Tränenflüssigkeit fünf- bis zehnmal pro Minute über den Lidschluss. Die Augenlider werden in der Regel für 5 Sekunden geöffnet. Bei Konzentrationsphasen kann die Öffnung der Augenlider allerdings bis zu ca. 12 Sekunden andauern (Liu et al. 2006). Die Dysfunktion der Meibomdrüsen gehört zu den häufigsten Ursachen für trockene Augen (Sachsenweger 2003) und kann durch die sogenannte Interferometrie ermittelt werden (Arnold 2010).

In Abhängigkeit augenphysiologischer Eigenschaften eines Individuums können unterschiedliche Beanspruchungen der Augen entstehen. Zudem müssen Konzentration, Geschlecht, Alter und ethnische Herkunft betrachtet werden. Beispielsweise erkranken Frauen eher an trockenen Augen als gleichaltrige Männer (siehe Abbildung 1, links). Besonders deutlich ist dieser Unterschied in der Altersgruppe der 45- bis 59-Jährigen zu erkennen (Yazdani et al. 2001).

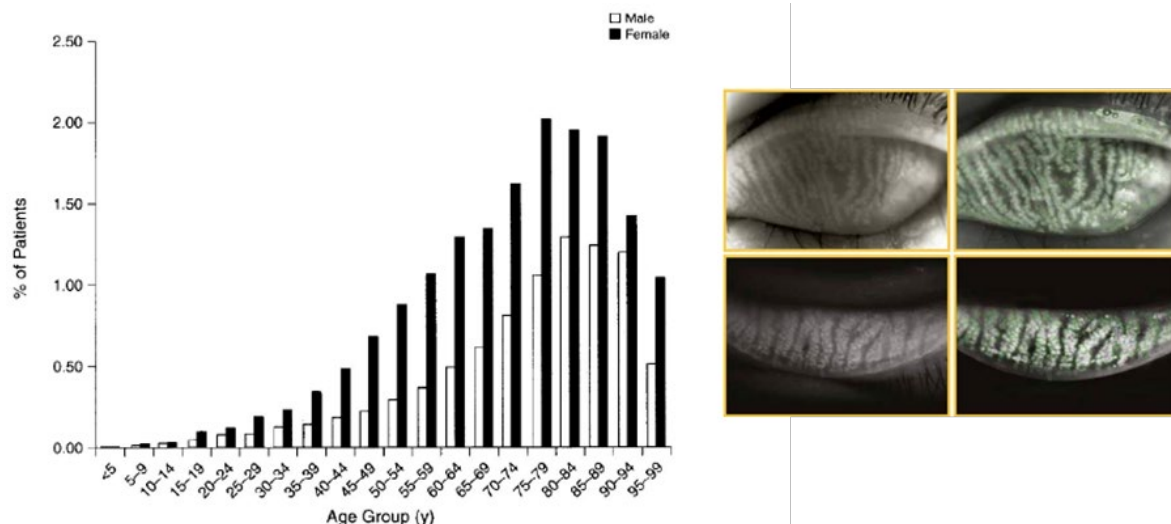


Abbildung 1: Links: Diagnose von trockenen Augen in Bezug auf Alter und Geschlecht (Yazdani et al. 2001); Rechts: Veranschaulichung der Meibomdrüsen als Infrarotaufnahme (eyemed-Augenärzte, letzter Zugriff 08.12.21).

Die LSR wird auch durch die Komplexität einer Aufgabe verändert (Doughty 2001). Experimente von Freudenthaler et al. (2003) verdeutlichen anhand gemittelter Lidschläge (LS) beim Lesen mit $7,9 \pm 3,3$ LS/min sowie bei einer Konversation mit $21,5 \pm 5,6$ LS/min (Ziemssen et al. 2005) diesen Zusammenhang. Zudem können Umgebungsbedingungen, wie Beleuchtung, Luftqualität und Temperatur, die Austrocknung der Augen beeinträchtigen. Hier spielt die Lichtempfindlichkeit eine wichtige Rolle (Cakir et al. 2013). Beheizte Räume können einerseits die Verdunstung des Tränenfilms begünstigen (Barnaure et al. 2007) und andererseits die Lipidzusammensetzung, d.h. die Oberflächenspannung im Tränenfilm, verändern (Heidari et al. 2020). Dieser Sachverhalt beeinflusst wiederum die Tränenfilmstabilität.

2. Lidschlaguntersuchungen

In der Literatur werden drei Arten des Lidschlags unterschieden: Der reflektorische Lidschlag (zum Beispiel ausgelöst durch Luftzug), der unwillkürliche Lidschlag sowie der willkürliche Lidschlag. Eine Sonderform nehmen dabei unvollständige Lidschläge ein (Nolting 2011). Als Lidschlagparameter sind Lidschlagintervall, Lidschlagamplitude und die Lidschlagdauer bekannt. Da der Lidschlag aus einer Lidschluss- und einer Lidöffnungsphase besteht, kann deren Dauer bzw. Geschwindigkeit auch getrennt bestimmt werden. Diese Parameter werden als Indikatoren für die Augenbelastungen verwendet (Joos et al. 2002). Ein Grenzwert liefert die maximale Zeit, die das Auge ohne Beschwerden offengehalten werden kann (Nakamori et al. 1997). Sie ist auch bekannt als Schmerzempfindlichkeitsgrenze.

2.1 Lidschlagerfassung

Kamerabasierte Programme können im Rahmen einer Gesichts- bzw. Augendetektion Lidschläge erkennen und eine LSR berechnen (Cohn et al. 2003). Neben einem kamerabasierten Erfassungssystem, das auf einer Eye-Tracking-Technologie beruht, können mit EOG (Elektrookulographie), EMG (Elektromyographie) sowie mit EEG (Elektroenzephalographie) Lidschläge untersucht werden. Bei der EOG werden Patch-Elektroden direkt an das Auge platziert und die Augenbewegungen oder Veränderungen der Netzhaut durch die Veränderung der elektrischen Spannung zwischen den Elektroden gemessen (Ziemssen et al. 2005). Mithilfe der EMG werden elektrische Aktivitäten der Augenmuskeln untersucht. Das EEG misst über am Kopf applizierte Elektroden die Hirnströme (Kulke et al. 2016).

Innerhalb des Forschungsgebiets der Lidschlagerfassung (LSE) und Gesichtserkennung existieren zahlreiche Programmierungen auf Basis der Programmiersprache „Python“ und der Bibliothek „OpenCV“. In Abbildung 2 (links) wird eine LSE beispielhaft veranschaulicht. Basierend auf der Arbeit von (Soukupova & Jan 2016) wird bei einer LSE eine Beziehung zwischen der Augenbreite und der Augenhöhe ermittelt (Eye Aspect Ratio, EAR). Zunächst werden Gesicht sowie Augen erkannt und sechs für das Auge charakteristische Messpunkte platziert. Der Abstand zwischen den Messpunkten ermöglichen die Berechnung der EAR.

Auf Basis dieser Berechnung wurde das Programm „iVision Guard“ zur LSE sowie zur Lidschlaganregung (LSA) eingesetzt. Das Beispiel in Abbildung 2 (rechts) zeigt eine LSR-Messung und verdeutlicht eine LSR-Änderung während einer Bildschirmarbeit. Die Messung der LSR befindet sich anfänglich auf 10 LS/min und sinkt unterhalb einer empfohlenen Grenze. Nach einer Warnmeldung des Programms wird die LSR auf 40 LS/min bewusst gesteigert.

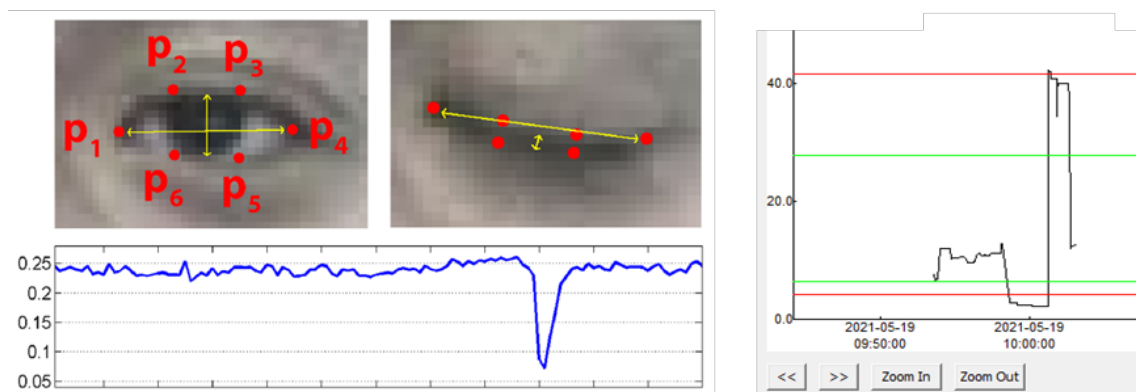


Abbildung 2: Links: EAR-Berechnung (Soukupova & Jan, 2016); Rechts: Messung mit iVision (iVision Guard, letzter Zugriff 08.12.21).

2.2 Lidschlaganregung

Bezugnehmend auf eine LSA zeigt die Untersuchung von Ziemssen et al. (2005) eine Verbesserung der LSR durch akustische und optische Warnsignale. Dabei wurde während einer Sortieraufgabe am Bildschirmarbeitsplatz ein Piepton generiert und ein schematisiertes Auge angezeigt. Die LSE während der Bildschirmarbeit erfolgte kamerabasiert. Die Auswertung ergab keinen Unterschied zwischen akustischem und visuellem Signal sowie keine signifikante Veränderung oder Verschlechterung der Sortieraufgabe.

Die Arbeit von Nolting (2011) weist eine signifikante Steigerung der LSR als Folge einer visuellen Animation mit unterschiedlichen Animationsfrequenzen. Hierzu wurde ein Experiment mit standardisierten Bildschirmarbeitsplätzen und einem aus 22 Personen bestehenden Probandenkollektiv durchgeführt. Die Raumtemperatur von 21,1°C und die Luftfeuchtigkeit bei 50,7% wurden konstant gehalten. Während der Konzentrationsaufgabe wurden die Lidschläge der Probanden per Videoaufnahme erfasst. Zur LSA wurde ein schematisiertes Auge am Bildschirm dargestellt, welches mit einstellbarer Animationsfrequenz rot aufleuchtet und blinzelt. Eine Steigerung der LSR durch Verdunkelung des Bildschirms konnte nicht nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu den obigen Untersuchungen wurde in der Patentschrift von Zamorsky & Hartenau (2005) ein Verfahren beschrieben, bei dem die Probanden die LSE nicht wahrnehmen konnten. Hierzu wurden die Probanden minimalen Grafikveränderungen ausgesetzt. Dabei wurden die Auswirkungen von Anzeigehelligkeit, -farbe, -beleuchtung sowie -kontrast bezogen auf die LSR untersucht. Dieses Verfahren zeigte eine LSR-Steigerung der Augen, ohne dass der Betrachter das fremdgesteuerte Blinzeln bewusst bemerken konnte.

3. Arbeitswissenschaftliche Betrachtung

In Folge der Betrachtung der Augenbelastung sowie der Augenphysiologie wird ersichtlich, dass je nach augenphysiologischen Charakteristiken unterschiedliche Augenbeanspruchungen entstehen. Die arbeitswissenschaftliche Betrachtungsweise in Abbildung 3 verdeutlicht exemplarisch den Zusammenhang zwischen der Augenbelastung und den individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten von jüngeren und älteren Personen. Es wird angenommen, dass bei gleichbleibender Augenbelastung jüngere Personen geringere Augenbeanspruchungen aufweisen (B1) als ältere Personen (B2). In Abhängigkeit der Arbeitszeit können dabei die Augenbelastungen je nach Tagesform bzw. Leistungsbereitschaft unterschiedlich gut oder schlecht verarbeitet werden (Δa). Eine Augenentlastung kann in Betrachtung des Belastungs-Beanspruchungskonzeptes entweder durch Anpassung der Belastung an das Individuum oder durch Verbesserung der Augenphysiologie realisiert werden, d.h. mit einer Verbesserung der Augenfeuchtigkeit durch Lidschlaganregung. Auch eine Akkommodationsänderung, die durch einen Blickrichtungswechsel zu Kurz- und Weitsicht oder die Verdunkelung des Bildschirms hervorgerufen wird, kann Augenbelastungsfaktoren reduzieren und zur Erholung beitragen.

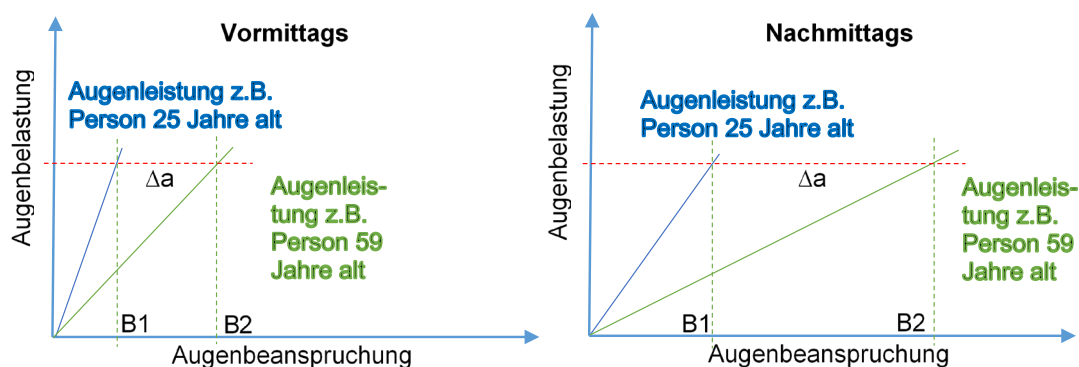


Abbildung 3: Betrachtung der zeitlichen Variabilität der Augenbeanspruchung bei konstanter Augenbelastung und unterschiedlicher Augenleistungsbereitschaft in Anlehnung an Rohmert & Luczak 1975.

4. Diskussion

Eine Analyse von verschiedenen wissenschaftlichen Beiträgen und medizinischen Fachartikeln hat ergeben, dass derzeit keine gesamtheitliche Betrachtung der Augenbelastungsfaktoren in Bezug auf die individuelle Augenphysiologie vorliegt.

Untersuchungen zeigen zwar einen kurzfristigen Anstieg der LSR durch akustische und optische Warnsignale für bestimmte Augenbelastungen, wie zum Beispiel festgelegte Aufgabenstellung und Umgebungsbedingungen, verdeutlichen allerdings nicht inwieweit die individuelle Augenphysiologie (Tränengehalt, Lidschlagverhalten) sowie die kognitiven Eigenschaften sich auf die subjektive Empfindung der einzelnen Probanden auswirken. Es zeigen sich auch unterschiedliche LSR bei der Untersuchung des Lidschlagverhaltens im Zuge von Bildschirmarbeiten. Zudem existiert bis dato kein Programm, das mehrere Kameras zugunsten eines größeren Messraums im Rahmen der Nutzung mehrerer Bildschirme gekoppelt auswertet. Darüber hinaus liegt keine Datenbank mit Bezug zu Augenbelastungsfaktoren vor. Es wird empfohlen, ein Erfassungs- und Reizsystem zu entwickeln, welches zur Grundlagenforschung eingesetzt werden kann, um relevante Stimulationen autark und kombiniert hinsichtlich einer LSA zu untersuchen.

In einer Feldstudie sind mit dem Erfassungs- und Reizsystem unter standardisierten Bedingungen Arbeitsszenarien und Belastungsfaktoren für die Augen zu erproben. Aufgrund einer validen LSE ist das System subliminal zu gestalten. Zudem ist der Einfluss von abwechslungsreicher bis monotone Arbeit oder Anwendung in verschiedenen Bürosituationen (Einzel- bzw. Mehrpersonenbüro) zu evaluieren. Erforscht werden sollte auch inwieweit eine Stimulation zur Lidschlagaktivierung von den Anwendern akzeptiert wird.

5. Literatur

- Arnold S (2010) Automatisiertes Messsystem zur Quantifizierung und Charakterisierung des menschlichen Tränenfilms in-vivo. Dissertation an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Medizinische Fakultät.
- Barnaure I, Barreiro-Cotón S, Issels R D, Kasch R, Neßelmann C, Szatkowski D, Toerring-Jettenbach A G (2007) Das Zweite-kompakt: Innere Medizin. Springer-Verlag.
- Cakir A, Hart D J, Stewart T F (2013) Bildschirmarbeitsplätze: Ergonomie Arbeitsplatzgestaltung Gesundheit und Sicherheit Aufgabenorganisation. Springer-Verlag.
- Cohn J F, Xiao J, Moriyama T, Ambadar Z, Kanade T (2003) Automatic recognition of eye blinking in spontaneously occurring behaviour. *Behav Res Meth* 35:420–428.
- Doughty M (2001) Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans: during reading and video display terminal use. primary gaze, and while in conversation. *Optom Vis Sci* 78:712–725.
- eyemed-Augenärzte (2021) Trockenes Auge. Accessed Dec 08, 2021. <https://www.eyemed-berlin.de/trockenes-auge>.
- Freudenthaler N, Neuf H, Kadner G, Schlote T (2003) Characteristics of spontaneous eyeblink activity during video display terminal use in healthy volunteers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 241:914–920.
- Heidari M, Noorizadeh F, Wu K, Inomata T, Mashaghi A (2020) Das trockene Auge: Neue Ansätze für Diagnostik und Therapie. *Kompass Ophthalmologie* 6(2), 64–75.
- iVision Guard (2021) iVision Guard. Accessed Dec 08, 2021. <http://www.ivisionguard.com/pages/biofeedback-fuer-ihre-augen.php>.
- Joos M, Rötting M, Velichkovsky B M (2002) Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen Dresden.
- Kulke L V, Janette A, Oliver B (2016) Neural differences between covert and overt attention studied using EEG with simultaneous remote eye tracking. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 592.

- Liu H, Begley C G, Chalmers R, Wilson G, Srinivas S P, Wilkinson J A (2006) Temporal progression and spatial repeatability of tear breakup. *Optometry and Vision Science* 83(10), 723-730.
- Rohmert W, Luczak H (1975) Faktorenanalytische Auswertung einer Befragung zu Gesundheits- und Beanspruchungsempfinden sowie Arbeitszufriedenheit von Bahnpostbegleitern. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 36(2), 105-118.
- Müller F (2006). Untersuchungen zur kontaktfreien Applikation von Medikamenten mittels Mikrodosiersystemen-Untersuchungen zur Entwicklung eines computergestützten Arzneimittel-Dosiersystems in der Ophthalmologie. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Nakamori K, Odawara M, Nakajima T, Mizutani T, Tsubota K (1997) Blinking is controlled primarily by ocular surface conditions. *American journal of ophthalmology* 124(1), 24-30.
- Nolting J, Lindenmaier A (2011). Kann man die Lidschlagrate bei der Bildschirmarbeit steigern? Fachthemen. DOZ. Accessed Dec 08, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/321728022>.
- Sachsenweger M (Ed) (2003) Augenheilkunde. Georg Thieme Verlag.
- Soukupova T, Cech J (2016) Eye blink detection using facial landmarks. In 21st computer vision winter workshop, Rimske Toplice, Slovenia.
- Yazdani C, McLaughlin T, Smeeding J, Walt J (2001) Prevalence of treated dry eye. *Clinical Therapeutics*, 23:1672–82.
- Zamorsky M, Hartenau A (2005) Anzeigeverfahren und system, die das augenblinzeln eines benutzers durch subliminable änderung von anzeigeparamtern fördern. Wien: Patent.
- Ziemssen F, Freudenthaler N, Regnery K, Schlote T (2005) Lidschlagaktivität während der Bildschirmarbeit. Teil 1 & Teil 2 Okuläre Beschwerden und pathophysiologische Grundlagen. *Ophthalmologie* 102(1):805–811 & 102(2):895–901.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2022

ISBN 978-3-936804-31-7

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

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de