

# Augenphysiologische Reaktion auf Schreck – Perspektive für den Arbeitsschutz durch Eye- Tracking

## ABSTRACT

Eye-Tracking und Pupillometrie bieten einen umfangreichen Einblick in Wahrnehmung und Erleben von Personen in verschiedensten Kontexten. So lassen sich aus den Pupillen- und Blickbewegungsdaten beispielsweise Informationen über Aufmerksamkeitsprozesse, visuelle Suchmechanismen, kognitive Beanspruchung oder Erregung gewinnen. Da augenphysiologische Reaktionen sehr anfällig für Störvariablen sind, finden Datenerhebungen bislang nur in standardisierten Experimentaldesigns unter kontrollierten Helligkeitsbedingungen und stabiler Kopfposition statt. Zur Nutzbarmachung dieser Erkenntnisse für Alltagssituationen wurde ein mobiles Eye-Tracking-System zum Einsatz gebracht. In 2 alltagsnahen Einzelfallstudien (während einer Autofahrt und einer kleinen handwerklichen Tätigkeit) fanden sich spezifische Muster in den Pupillendaten, wenn Probanden in eine Schrecksituation versetzt wurden. Die Daten lassen die Vermutung zu, dass dieses Muster mit steigender „echter Bedrohung“ für den Organismus stärker ausgeprägt ist. Weiterführende Studien diesbezüglich sind in Vorbereitung. Gegenwärtig erfolgt die Entwicklung geeigneter Filter, mit denen sich diese Muster in Echtzeit in einem alltagstypischen Eye-Tracking-Datenstrom identifizieren lassen. Ziel ist die Entwicklung eines Algorithmus, der schreckbezogene augenphysiologische Reaktionen in Echtzeit nutzbar gestalten lässt. Dieser Algorithmus kann Anwendung in verschiedenen arbeitsbezogenen und industriellen Kontexten finden, z.B. als ergänzendes Sicherheitssystem im Umgang mit autonomen Systemen oder Mensch-Roboter-Kollaborationen sowie als ergonomische Einrichtung.

**Keywords:** *Eye-Tracking, Pupillometrie, Augenphysiologie, Schreckreaktion*

# 1 EINFÜHRUNG

## 1.1 ZIELSTELLUNG

Pupillendaten geben Aufschluss über verschiedenste physiologische und kognitive Mechanismen des Menschen (eine ausführliche Zusammenfassung hierzu findet sich in Einhäuser, 2017). Um ein Beispiel zu nennen: Kahneman und Beatty fanden 1966 heraus, dass der Pupillendurchmesser mit der Anzahl der zu merkenden Items korreliert. Weitere Zusammenhänge finden sich in den Bereichen Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Emotionen, etc. (Vgl. Einhäuser, 2017).

Ziel der in dieser Arbeit vorgestellten Versuche ist es, solche augenphysiologischen Vorgänge im Rahmen alltäglicher Arbeitsprozesse nutzbar zu machen. Spezieller Fokus liegt hierbei auf Veränderungen der Pupillengröße aufgrund von Erschrecken bzw. Überraschung. Zum Beispiel in der Gestaltung sicherer Mensch-Roboter-Kollaborationen kann ein vielversprechendes Anwendungsfeld dieser Forschung liegen. Unerwartetes Roboterverhalten und die reaktive Pupillenveränderung des kollaborierenden Menschen könnte mithilfe von Pupillometrie und eines entwickelten Detektionsalgorithmus frühzeitig erkannt werden und einen Not-Halt des Systems auslösen. Sowohl Kontaktvermeidung von Roboter und Mensch als auch eine erhöhte Flexibilität von MRK-Arbeitsräumen würden als Vorteile eines solchen Systems resultieren. Auch in weniger komplexen Arbeitssituationen können augenphysiologisch basierte Sicherheitssysteme in ähnlicher Art und Weise die bisherigen Arbeitsschutzeinrichtungen komplettieren oder den Arbeitskomfort verbessern.

Zur Verwirklichung eines eben dargestellten Systems bedarf es folgender Voraussetzungen:

- a) Die Pupillenreaktion auf einen Schreck/eine Bedrohung muss innerhalb einer angemessen kurzen Latenzzeit auftreten,
- b) diese Reaktion muss von innerhalb eines kontinuierlichen Rohdatenstroms detektierbar sein, und
- c) diese Reaktion muss von anders verursachten Pupillenreaktionen unterscheidbar sein.

Die hier vorgestellten Messungen stellen eine erste Erprobung der Voraussetzungen a) und b) dar. Die Settings sind aus diesem Grund möglichst alltagsnah gestaltet, lassen jedoch aufgrund der zeitkritisch erfassten Schreckmomente einen Kausalschluss auf die Pupillenreaktion zu.

## **1.2 STAND DER FORSCHUNG – AUGENPHYSIOLOGISCHE REAKTION AUF SCHRECK**

Die bisherige Forschung liefert noch keine Erkenntnisse über Pupillenveränderungen während einer gesundheitsgefährdenden oder gar lebensbedrohlichen Situation. Es gibt jedoch einige wenige Erkenntnisse, die im Rahmen von sicheren Laborexperimenten gefunden wurden. So untersuchten Snowden et al. (2016) die Veränderung des Pupillendurchmessers als Reaktion auf affektive Bilder, angsteinflößende vs. neutrale Bilder. Die Daten zeigen keine großen Unterschiede zwischen den Reaktionen auf angsteinflößende oder neutrale Bilder. Eine Reaktion verursacht durch Erschrecken ist hier nicht sichtbar. Eine weitere Studie führten Partala & Surakka (2003) durch. Hier wurden auditive Reize genutzt, die negativ erregend, positiv erregend oder neutral sein konnten. Die Lichtverhältnisse waren das ganze Experiment über konstant, sodass keine Pupillenveränderungen durch Lichteinwirkung verursacht sein konnten. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sich die Pupille als Reaktion auf einen auditiven Stimulus weitet. Bei emotionalen Reizen ist diese Weitung größer als bei neutralen Reizen.

Beide Studien verdeutlichen, dass die Pupille auf erregende Reize reagiert. Hier wurde jedoch Bildmaterial verwendet, keine „echten“ Reize, die eine Gesundheitsgefährdung suggerieren könnten. Außerdem stammen diese Daten aus hochstandardisierten Settings mit kontrollierten Lichtverhältnissen. Außerdem werden die Messergebnisse mehrerer Probanden gemittelt, gefiltert und bereinigt dargestellt.

## **2 DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE**

### **2.1 METHODIK / DATENERHEBUNG**

Die Datenerhebung der Pupillendaten innerhalb der nachfolgenden Studien erfolgte mit dem System „Tobii Pro Glasses 2“ (Tobii AG, Schweden). Es handelt sich hierbei um einen mobilen Datentracker, der eine Aufzeichnung von Blickbewegungs- und Pupillendaten mit einer Samplingrate von 100Hz erlaubt. Eine Frontkamera filmt dabei den Blickbereich der Testperson. Diese Aufzeichnung ermöglicht die Erfassung der Helligkeit im Blickbereich der Testperson und liefert somit wichtige Informationen zur Interpretation der Daten.

### **2.2 SCHRECK WÄHREND AUTOFAHRT**

Im Rahmen einer Einzelfallerhebung fand im Januar 2017 eine Eye-Tracking-Messung auf einer ca. 35-minütigen Autofahrt statt. Es handelte sich dabei um eine fast täglich gefahrene Route.

Abbildung 1 zeigt den Pupillendurchmesser des linken Auges (in mm) während eines einminütigen Zeitfensters.

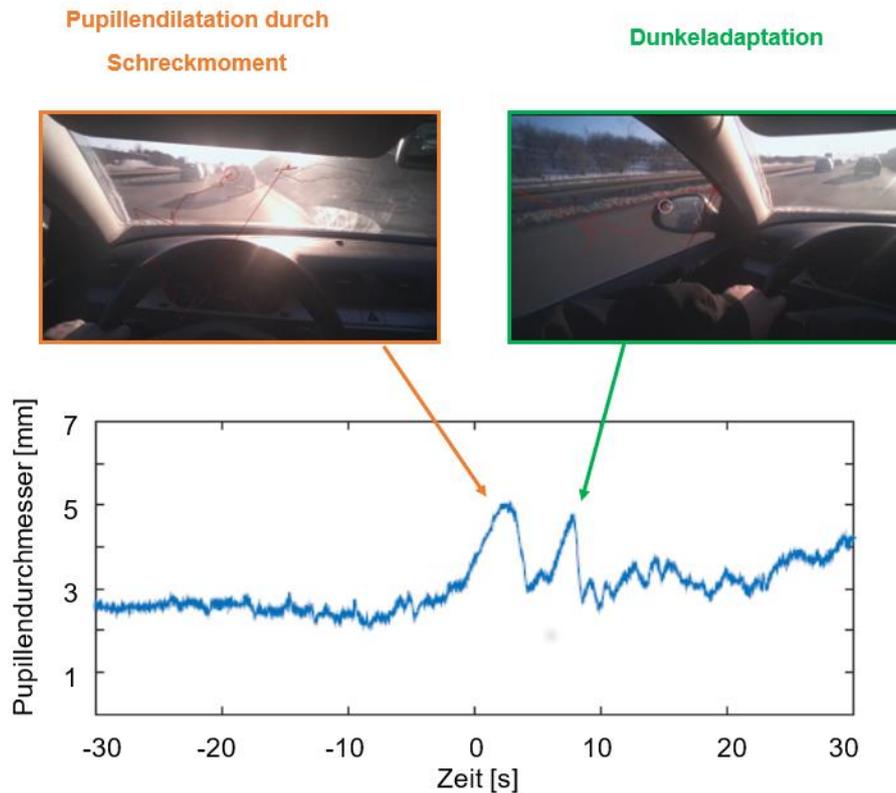


Abbildung 1: Pupillendurchmesser innerhalb 60s Autofahrt mit zwei kritischen Ereignissen (Schreckmoment zum Zeitpunkt 0)

Quelle: eigene Darstellung

Zum Zeitpunkt 0 ereignete sich ein Schreckmoment, verursacht durch das plötzliche Bremsen des vorausfahrenden Fahrzeugs. Zu diesem Zeitpunkt ist ein starker Anstieg des linken Pupillendurchmessers um 2,51 mm zu beobachten (von einem vorherigen Durchschnittswert der vorhergehenden 30s von 2,58 mm auf einen Maximalwert von 5,09 mm). Etwa 2,6 s nach dem Schreckmoment erreicht die Pupillenreaktion dabei ihren Maximalwert. Direkt im Anschluss an den Schreckmoment erfolgte vom Fahrer ein Blick in den dunkler gelegenen Seitenspiegel. Dies ist in Abbildung 1 in Form eines zweiten Maximalwerts (4,81 mm) zu sehen.

### 2.3 SCHRECK WÄHREND HANDWERKLICHER TÄTIGKEIT

Auf Basis der durch die Autofahrt gewonnenen Daten, fanden im November 2017 halbstandardisierte Versuche statt. Insgesamt 9 Probanden nahmen an der Erhebung teil (100% männlich, Durchschnittsalter 34,2 Jahre (SD=5,0)). Von Insgesamt 12 Probanden mussten 3 ausgeschlossen werden (bei 2 Probanden kam es zu technischen Störungen, sodass der Schreckmoment nicht ausgelöst wurde, bei einem Probanden wurden um den Schreckmoment herum unzureichend Pupillendaten erfasst).

Die Aufgabe der Probanden bestand in der Demontage und anschließenden Montage einer alten Mehrfachsteckdose. Nach etwa 4 Minuten erfolgte ein Schreck (5 Probanden hörten plötzlich einen sehr lauten Ton, 4 Probanden sahen plötzlich ein Objekt auf sich zufliegen). Der Versuch fand in einer Industriehalle unter alltagsnahen Bedingungen statt. 3 Fragebögen erfassten im Anschluss an die Aufgabe Daten zu Demographie, Umgang mit dem mobilen Eyetracker (Usability) und zur Versuchssituation. Die Inhalte und Ergebnisse des letzteren Fragebogens sind in Tabelle 1 abgebildet.

Tabelle 1: Fragebogen zur Versuchssituation, N=9, Skala 1= „überhaupt nicht“ bis 7= „sehr“

Quelle: *Eigene Darstellung*

Item	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Konzentration während Aufgabe	6.1	0.60	5	7
Vertieftes Arbeiten an der Aufgabe	5.8	1.20	5	7
Spaß bei der Aufgabe	5.2	1.20	4	7
Subjektives Erschrecken	4.8	1.39	2	6

Das reaktive Verhalten auf den Schreckstimulus bestand bei allen Probanden darin, nach der Quelle des Reizes zu suchen. Dies geschah durch eine schnelle Sakkade zur Reizquelle und deren anschließenden Fixation. Nach wenigen Sekunden blickten die Probanden dann wieder auf das Werkstück und beendeten ihre Aufgabe. Da der Arbeitsplatz möglichst gleichmäßig ausgeleuchtet wurde, sind hier keine starken Pupillenreaktionen aufgrund von Helligkeitsveränderungen durch die Fixationspunktverschiebung zu erwarten.

Die Pupillendaten aller Probanden sind in Abbildung 2 dargestellt (die Rohdaten wurden nach der Methode von Lüdtke et al. (1998) von Artefakten bereinigt – der verwendete Cut-off-Wert betrug 0,1mm).

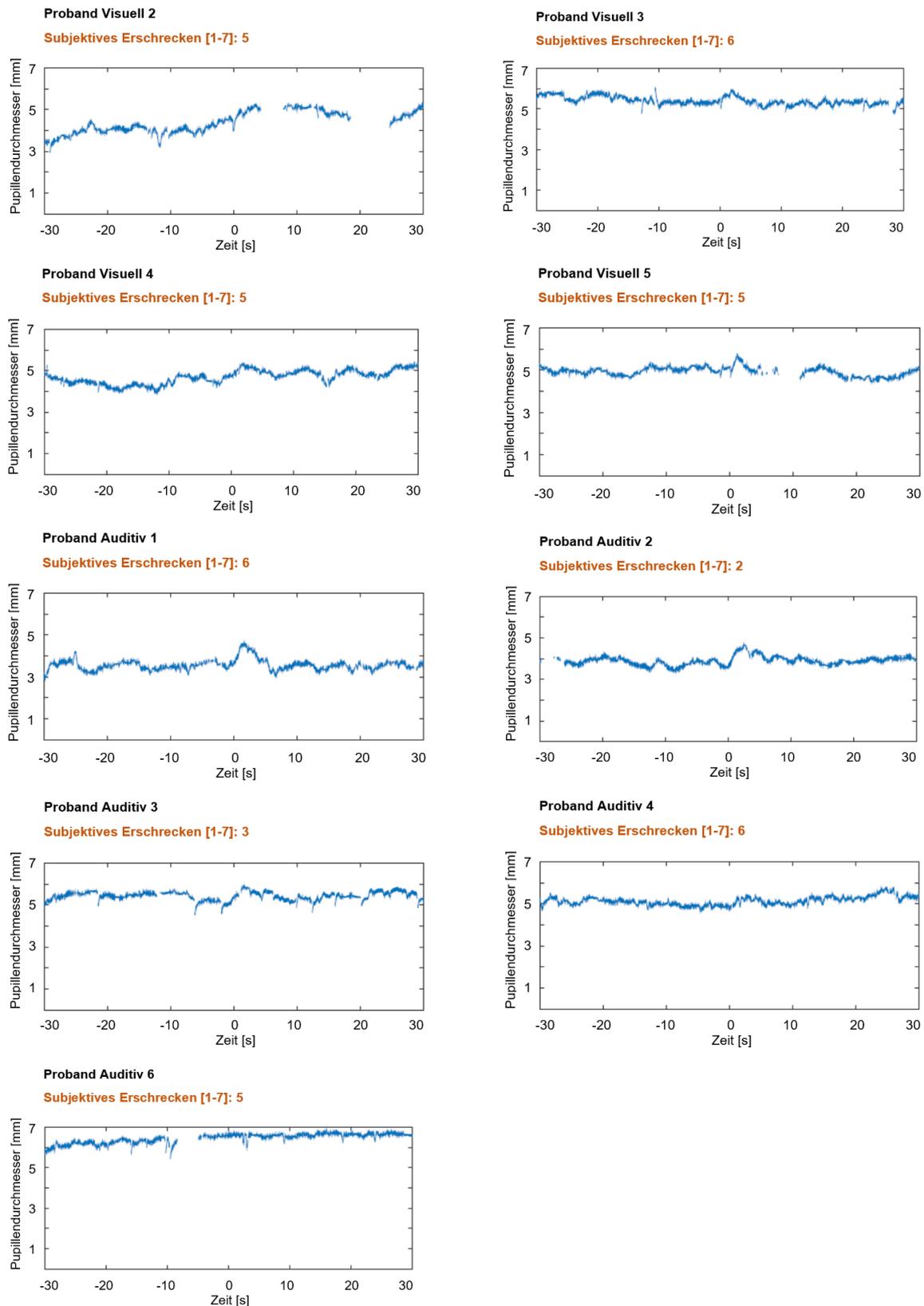


Abbildung 2: Pupillendurchmesser linkes Auge innerhalb 60s handwerklicher Tätigkeit (Schreckmoment zum Zeitpunkt 0), subjektives Erschrecken auf Skala 1 bis 7

Quelle: eigene Darstellung

Um die Praktikabilität des zuvor beschriebenen Schreck-Detektionssystems zu simulieren, wurden die Daten der Probanden wie Einzelfälle behandelt. Die Unterschiede zwischen den visuell und auditiv erschreckten Probanden sind neben den individuell bedingten Datenunterschieden nur von geringer Bedeutung und werden in diesem Kurzbeitrag deshalb keine Erwähnung finden.

Für eine Kurzauswertung der Pupillendaten, werden im Folgenden die Daten der Probanden A1 und A4 ausgewertet: Beide Graphen bilden den Pupillendurchmesser des linken Auges in einem einminütigen Zeitfenster ab. Auch hier markiert der Zeitpunkt 0 den Schreckmoment. Bereits ohne genauere Untersuchung wird bei Proband A1 eine ähnliche Pupillendilatation (Weitung der Pupille) sichtbar, wie jene aus der Autofahrt-Studie (Proband A1 zeigte in dieser Versuchsreihe die stärkste Reaktion auf den Schreck). Hingegen ist bei Proband A4 keine eindeutige Reaktion sichtbar. Beide Probanden gaben auf der 7-stufigen Skala zum subjektiven Erschrecken eine „6“ an. Außerdem erhielten beide Probanden den auditiven Schreckreiz. Eine mögliche Ursache in den Unterschieden könnte die unterschiedliche Baseline-Pupillengröße sein. Steinhauer et al. (2004) beschreiben die Abhängigkeit der Veränderungsfähigkeit der Pupille von deren vorhergehenden Pupillengröße. Für unser Beispiel hieße dies, dass die größere Pupille von Proband A4 eine geringere schreckbedingte Dilatation zeigen könnte als die kleinere Pupille von Proband A1. Beim Blick auf die Pupillenreaktionen der anderen Probanden finden sich ähnliche Zusammenhänge: Je kleiner die Pupille vor dem Schreckstimulus war, desto deutlicher ist eine Dilatation erkennbar. Es scheinen hier also hinsichtlich der augenphysiologischen Reaktivität große interindividuelle Unterschiede vorzuliegen.

Eine augenphysiologische Schreckreaktion wie im Autofahrt-Versuch ließ sich allerdings auch bei Probanden mit kleiner Baseline-Pupillengröße nicht replizieren.

### **3 ENTWICKLUNG EINES FILTERINDEX**

Angelehnt an den Pupillary Unrest Index (PUI, Lütke et al., 1998) wurde ein Filterindex zur Identifizierung einer Schreckreaktion auf Basis der erhobenen Daten entwickelt. Dieser Index quantifiziert die Schwankung des Pupillendurchmessers innerhalb eines Zeitfensters von 100ms bzw. 500ms. Abbildung 3 veranschaulicht den Index für ein 500ms - Zeitfenster.

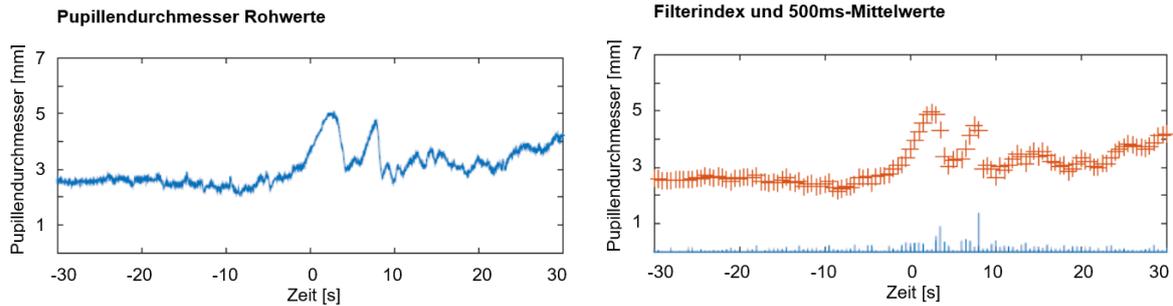


Abbildung 3: Pupillendurchmesser (links), ermittelte Durchmesser-Mittelwerte der vorangegangenen 500ms (rechts orange) und Filterindex (rechts blau) während 60s Autofahrt (Schreckmoment zum Zeitpunkt 0)

Quelle: eigene Darstellung

Der Filterindex detektiert sowohl die Dunkeladaptation als auch den Schreckmoment durch steigende Werte. Zur zuverlässigen Unterscheidung dieser Szenarien bedarf es einer stabileren und breiteren Datenbasis und einer Weiterentwicklung der Filterfunktionen.

## 4 INTERPRETATION UND AUSBLICK

Die Ergebnisse beider Studien lassen folgende wichtige Schlussfolgerungen zu:

- 1) Eine augenphysiologische Schreckreaktion während einer Autofahrt zeigte sich in Form einer Pupillendilatation über einen Zeitraum von etwa 2,5s bis zur Maximaldilatation.
- 2) Die augenphysiologische Schreckreaktion ist interindividuell höchst unterschiedlich.
- 3) Die helligkeitsbedingten Pupillenveränderungen scheinen ähnlich stark ausgeprägt zu sein wie eine Schreckreaktion. Sie stellen damit einen gewichtigen Störfaktor dar, den es in nachfolgenden Studien auszuschließen gilt. Ebenso muss ein Algorithmus zur Erkennung von Schreckreaktionen diesen Störfaktor ausgleichen können. Der Baseline-Pupillendurchmesser spielt bei der Detektion einer Dilatation eine weitere wichtige Rolle. Je stärker die Pupille zum Zeitpunkt des Schreckmomentes geweitet ist, desto geringer ist die zu erwartende Dilatation (siehe Steinhauer et al., 2004).
- 4) Die augenphysiologische Schreckreaktion war stärker ausgeprägt, als Leib und Leben (des Fahrers) gefährdet waren. Die teils kaum vorhandenen Schreckreaktionen während der handwerklichen Tätigkeit könnten also auf eine zu geringe „echte Bedrohung“ zurückzuführen sein. Eine weitere Studie in einer alltagsnahen, bedrohlich wirkenden Mensch-Roboter-Kollaboration ist hier bereits in Vorbereitung.

Eine Nutzbarmachung von Pupillometrie für Arbeitsschutz oder Ergonomie scheint ein mögliches Ziel zu sein. Es bedarf hierfür einer breiteren Datenlage in Form von augenphysiologischen Schreckreaktionen auf realistische Schreckreize (oder andere Reize)

im Arbeitsalltag. Ein zweiter wichtiger Schritt ist die Filterung von störenden Pupillenveränderungen aus einem Echtzeitdatenstrom.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Einhäuser, W. (2017): The Pupil as Marker of Cognitive Processes. In: Zhao Q. (eds) Computational and Cognitive Neuroscience of Vision. Cognitive Science and Technology. Singapore: Springer
- Kahneman D., Beatty, J. (1966): Pupil diameter and load on memory. *Science* 154(3756), 1583–1585
- Lüdtke, H., Wilhelm, B., Adler, M., Schaeffel, F., & Wilhelm, H. (1998): Mathematical procedures in data recording and processing of pupillary fatigue waves. *Vision Research*, 38, 2889-2896.
- Partala, T., & Surakka, V. (2003): Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59, 185-198.
- Snowden, R.J., O'Farrell, K.R., Burley, D., Erichsen, J.T., Newton, N.V., & Gray, N.S. (2016): The pupil's response to affective pictures: Role of image duration, habituation, and viewing mode. *Psychophysiology*, 53, 1217-1223.
- Steinhauer, S.R., Siegle, G.J., Condray, R., & Pless, M. (2004): Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *International Journal of Psychology*, 52, 77-86.