

Rakoczi, Gergely

Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels

Csanyi, Gottfried [Hrsg.]; Reichl, Franz [Hrsg.]; Steiner, Andreas [Hrsg.]: *Digitale Medien - Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre. Münster u.a. : Waxmann 2012, S. 87-98. - (Medien in der Wissenschaft; 61)*



Quellenangabe/ Reference:

Rakoczi, Gergely: Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels - In: Csanyi, Gottfried [Hrsg.]; Reichl, Franz [Hrsg.]; Steiner, Andreas [Hrsg.]: *Digitale Medien - Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre. Münster u.a. : Waxmann 2012, S. 87-98 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-83014 - DOI: 10.25656/01:8301*

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-83014>

<https://doi.org/10.25656/01:8301>

in Kooperation mit / in cooperation with:



WAXMANN
www.waxmann.com

<http://www.waxmann.com>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Digitale Medien –
Werkzeuge für exzellente
Forschung und Lehre

Gottfried Csanyi
Franz Reichl
Andreas Steiner (Hrsg.)

Digitale Medien – Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre



Waxmann 2012
Münster/New York/München/Berlin

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Medien in der Wissenschaft, Band 61

ISSN 1434-3436

ISBN 978-3-8309-2741-9

© Waxmann Verlag GmbH, 2012

Postfach 8603, 48046 Münster

www.waxmann.com

info@waxmann.com

Umschlaggestaltung: Pleßmann Design, Ascheberg

Titelfoto: © Technische Universität Wien

Satz: Stoddart Satz- und Layoutservice, Münster

Druck: Hubert & Co., Göttingen

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier,
säurefrei gemäß ISO 9706



Printed in Germany

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt

Gottfried S. Csanyi, Franz Reichl, Andreas Steiner
Editorial – eine leser/innen/orientierte Einführung 11

Der Exzellenz-Begriff in Forschung und Lehre – kritisch betrachtet

Gabi Reinmann
Was wäre, wenn es keine Prüfungen mit Rechtsfolgen mehr gäbe?
Ein Gedankenexperiment 29

Barbara Rossegger, Martin Ebner, Sandra Schön
Frei zugängliche Bildungsressourcen für die Sekundarstufe.
Eine Analyse von deutschsprachigen Online-Angeboten und der
Entwurf eines „OER Quality Index“ 41

Christoph Richter, Heidrun Allert, Doris Divokey, Jeannette Hemmecke
Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre.
Eine gestaltungsorientierte Perspektive (Workshop) 58

Martina Friesenbichler
Excellence bottom-up. Überlegungen zu einem
individualisierten Exzellenz-Ansatz (Learning Café) 60

Digitale Medien als Erkenntnismittel für die Forschung

Andrea Back, Maria Camilla Tödli
Narrative Hypervideos: Methodenentwurf zur Nutzung
usergenerierter Videos in der Wissenskommunikation 65

Jutta Pauschenwein
„Sensemaking“ in a MOOC (Massive Open Online Course) 75

Gergely Rakoczi
Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und
Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels 87

Olaf Zawacki-Richter
Eine vergleichende Impactanalyse zwischen Open-Access- und
Closed-Access-Journalen in der internationalen Fernstudien-
und E-Learning-Forschung 99

Peter Judmaier, Margit Pohl
Mikrowelten als Abbild der Realität im
Game Based Learning (Praxisreport) 110

Julia Kehl, Guillaume Schiltz, Andreas Reinhardt, Thomas Korner
„Innovate Teaching!“ Studierende mit einem Ideenwettbewerb an der
Lehrinnovation beteiligen (Praxisreport) 114

*Daniela Pscheida, Thomas Köhler, Sabrina Herbst, Steve Federow, Jörg
Neumann*
De-Constructing Science 2.0. Studien zur Praxis
wissenschaftlichen Handelns im digitalen Zeitalter (Workshop) 118

*Michael Bender, Celia Krause, Andrea Rapp, Oliver Schmid,
Philipp Vanscheidt*
TextGrid – eine virtuelle Forschungsumgebung für
die Geisteswissenschaften (Workshop) 124

Forschungsbasiertes Lehren und Lernen

*Nicole Sträßling, Nils Malzahn, Sophia A. Grundnig,
Tina Ganster, Nicole C. Krämer*
Sozialer Vergleich. Ein wirkungsvoller Anreiz in
community-basierten Lernumgebungen? (Workshop) 129

Christoph Richter, Heidrun Allert
Design als epistemischer Prozess (Poster) 132

Stefanie Siebenhaar
E-Portfolio-Einsatz im Lehramtsstudiengang Deutsch.
Produkt – Auswahl – Kompetenz (Poster) 134

Digitale Medien als Werkzeuge in Lehre und Forschung

Thomas Bernhardt, Karsten D. Wolf
Akzeptanz und Nutzungsintensität von Blogs
als Lernmedium in Onlinekursen 141

Claudia Bremer
Open Online Courses als Kursformat?
Konzept und Ergebnisse des Kurses „Zukunft des Lernens“ 2011 153

Helge Fischer, Thomas Köhler
Gestaltung typenspezifischer E-Learning-Services.
Implikationen einer empirischen Untersuchung 165

<i>Nadja Kaeding, Lydia Scholz</i> Der Einsatz von Wikis als ein Instrument für Forschung und Lehre	176
<i>Christian Kohls</i> Erprobte Einsatzszenarien für interaktive Whiteboards	187
<i>Marc Krüger, Ralf Steffen, Frank Vohle</i> Videos in der Lehre durch Annotationen reflektieren und aktiv diskutieren	198
<i>Julia Liebscher, Isa Jahnke</i> Ansatz einer kreativitätsfördernden Didaktik für das Lernen mit mobilen Endgeräten	211
<i>Frank Ollermann, Karina Schneider-Wiejowski, Kathrin Loer</i> Handgeschriebene vs. elektronisch verfasste Studierenden-Essays – ein Bericht aus der Praxis	223
<i>Melanie Paschke, Nina Buchmann</i> Verantwortungsvolles Handeln in der Wissenschaft. Vermittlung durch Blended-Learning, Rollenspiel und Cognitive Apprenticeship	232
<i>Alexander Tillmann, Claudia Bremer, Detlef Krömker</i> Einsatz von E-Lectures als Ergänzungsangebot zur Präsenzlehre. Evaluationsergebnisse eines mehrperspektivischen Ansatzes	235
<i>Sandra Hübner, Ullrich Dittler, Bettina Leicht, Satjawan Walter</i> LatteMATHEiato – oder wie Video-Podcasts eingesetzt werden, um heterogenes Mathematik-Vorwissen auszugleichen (Praxisreport)	250
<i>Iver Jackewitz</i> Wider die Monolithis – IT-Freiheit in Forschung und Lehre an der Universität Hamburg (Praxisreport)	253
<i>Michael Jeschke, Lars Knipping</i> Web 2.0 am Übergang Schule – Hochschule. Ein Studierendenportal und seine Prosumenten (Praxisreport)	259
<i>Miriam Kallischnigg</i> Perspektiven der Vereinbarkeit von Spitzensport und beruflicher Karriereplanung dank Blended-Learning-Arrangement in der akademischen Ausbildung für Spitzensportler/innen (Praxisreport)	263
<i>Marianne Kamper, Silvia Hartung, Alexander Florian</i> Einführung in die E-Portfolio-Arbeit mit einem Online-Kurs. Erfahrungen und Folgerungen (Praxisreport)	266

<i>Silke Kirberg, Babett Lobinger, Stefan Walzel</i> International, berufsorientiert und virtuell. Ein Praxisreport zur grenzüberschreitenden Lernortkooperation	270
<i>Elke Lackner, Michael Raunig</i> Die Avantgarde der Lehr-Lernmaterialien? Lehren lehren mit E-Books (Praxisreport)	273
<i>Gudrun Marci-Boehncke, Anja Hellenschmidt</i> Experten für das Lesen – Evaluation eines Blended-Learning- Angebots für Bibliothekarinnen und Bibliothekare. Vorteile, Chancen und Grenzen (Praxisreport)	276
<i>Holger Rohland</i> Akzeptanzunterschiede bei E-Learning-Szenarien? (Praxisreport)	280
<i>Hartmut Simmert</i> Erfahrungen bei der Nutzung des Lern- und Content- Management-Systems „OPAL“ als Lehrarrangement: Ausgangssituation 1992 und Status Quo 2012 (Praxisreport)	284
<i>Frank Vohle, Gabi Reinmann</i> Die mündliche Prüfung üben? Dezentrales Online-Coaching mit Videoannotation für Doktoranden (Praxisreport)	294
<i>Alexander Florian, Silvia Hartung</i> Die Initiative „Keine Bildung ohne Medien!“. Implementationsoptionen für die Hochschule (Workshop)	298
<i>Eckhard Enders, Markus Breuer</i> Koordinative Kompetenzen durch digitales Spielen (Poster)	301
<i>Karin Probstmeyer</i> Vermittlung von Gender- und Diversity-Kompetenz unter Verwendung webbasierter Lernplattformen (Poster)	304
<i>Heiko Witt</i> Ein Publikumsjoker für die Lehre (Poster)	306

Community Building durch Soziale Medien

<i>Sandra Hofhues, Mandy Schiefner-Rohs</i> Doktorandenausbildung zwischen Selbstorganisation und Vernetzung. Zur Bedeutung digitaler sozialer Medien	313
<i>Tanja Jadin</i> Social Web-Based Learning: kollaborativ und informell. Ein exemplarischer Einsatz einer Social-Media-Gruppe für die Hochschullehre ..	324

<i>Annkristin Kohn, Joachim Griesbaum, Thomas Mandl</i> Social-Media-Marketing an Hochschulen. Eine vergleichende Analyse zu Potenzialen und dem aktuellen Stand der Nutzung am Beispiel niedersächsischer Hochschulen	335
<i>Heike Wiesner, Antje Ducki, Svenja Schröder, Hedda Mensah, Ina Tripp, Dirk Schumacher</i> KMU 2.0 – gestaltbare Technologien und Diversity im KMU-Kontext	351
<i>Hannah Hoffmann, Philipp Schumacher, Jens Ammann</i> Selbstreguliertes und praxisorientiertes Lernen in der Lehrerbildung. Lehr-Lern-Materialien als Schnittstellen zwischen Universität und Schule (Praxisreport)	365
<i>Tamara Ranner, Gabi Reinmann</i> Herausforderungen beim Aufbau einer Professional Community für den organisationsübergreifenden Wissensaustausch (Praxisreport aus dem Bereich der Fahrlehrerbildung)	369
<i>Jörn Loviscach</i> Lerngruppen auf Zuruf für populäre Online-Lernangebote? (Workshop)	373
E-Assessment	
<i>Heiner Barz, Anja Kirberg, Samuel Nowakowski</i> ePortfolio as Assessment Instrument: Introducing the Project “ePortfolio for Human Resources”	377
<i>Peter Baumgartner, Reinhard Bauer</i> Didaktische Szenarien mit E-Portfolios gestalten. Mustersammlung statt Leitfaden	383
<i>Alexander Caspar, Damian Miller</i> MC-LaTeX-Webkationen. Online-Multiple-Choice-Aufgaben in der mathematischen Grundausbildung der ETH Zürich	393
<i>Anja Eichelmann, Eric Andrés, Lenka Schnaubert, Susanne Narciss, Sergey Sosnovsky</i> Interaktive Fehler-Finde- und Korrektur-Aufgaben. Eine Akzeptanz- und Usability-Studie bei Sechst- und Siebtklässlern	401
<i>Klaus Himpsl-Gutermann</i> Ein 4-Phasen-Modell der E-Portfolio-Nutzung. Digitale Medien als integraler Bestandteil von universitären Weiterbildungslehrgängen	413

<i>Daniel R. Schneider, Benno Volk, Marco Lehre, Dirk Bauer, Thomas Piendl</i> Der Safe Exam Browser. Innovative Software zur Umsetzung von Online-Prüfungen an der ETH Zürich	431
<i>Ioanna Menhard, Nadine Scholz, Regina Bruder</i> Lehr- und Prüfungsgestaltung mit digitalen Kompetenzportfolios. Einsatzmöglichkeiten und Chancen (Praxisreport)	442
<i>Esther Paulmann, Roland Hallmeier</i> Erfahrungen mit E-Prüfungen an der FAU (Praxisreport)	445
<i>Yvonne Winkelmann</i> E-Assessment – auf den Inhalt kommt es an! (Praxisreport)	448
<i>Corinna Lehmann</i> Etablierung eines Lösungsansatzes zur Schaffung einer hochschulübergreifenden Infrastruktur für E-Assessment- Angebote (Poster)	452
<i>Nadine Scholz, Ioanna Menhard, Regina Bruder</i> Studierendensicht auf ein digitales Kompetenzportfolio. Erste Ergebnisse des Projektes dikopost (Poster)	455

Curriculum

<i>Damian Miller, Oliver Lang, Daniel Labhart, Sonja Burgauer</i> Individualisierung trotz „Großandrang“ (Praxisreport)	461
<i>Erwin Bratengeyer, Gerhard Schwed</i> Zertifizierung von Blended Learning Studienprogrammen (Praxisreport)	473

Plagiatsprüfung

<i>Katrin Althammer, Ute Steffl-Wais</i> Wer sucht, der findet!? Die Wirtschaftsuniversität Wien auf der Suche nach mehr wissenschaftlicher Integrität (Praxisreport)	479
Die Gutachter und Gutachterinnen	483
Programmkomitee	485
Autorinnen und Autoren	487

Eye Tracking in Forschung und Lehre Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels

Zusammenfassung

Die kognitiven Prozesse eines Menschen ähneln einer „Black box“, da sie nicht direkt messbar sind. Die Eye-Tracking-Technologie bietet die Möglichkeit, über die Augenbewegungen an diese Prozesse heranzukommen und gilt seit langer Zeit als vielversprechendes Erkenntnismittel der Wissenschaft. Durch die Fortschritte in der Computertechnologie sowie in der digitalen Bild- bzw. Informationsverarbeitung erfuhr Eye Tracking einen weiteren spürbaren Schub, woraufhin vielfältige Forschungsgebiete entstanden – so auch in Zusammenhang mit neuen Medien der Wissenschaft. In diesem Artikel werden nun diese in Hinblick auf Nutzungsmöglichkeiten, Potenziale und Synergieeffekte aufgezeigt, aber auch Grenzen der Technologie diskutiert – die scheinbar trotz der Jahrhunderte langen Entwicklung der Blickerfassung weiter bestehen.

1 Einleitung

Da die Augen als gerichtete Empfänger bewusst auf interessante Umwelt-Reize gelenkt werden können (auch „Spotlight of Attention“ genannt), bilden sie für die Informationsaufnahme bzw. -verarbeitung von Medienreizen ein faszinierendes Forschungsfeld. Man erhofft sich durch Untersuchung der Augenbewegungen Einsichten in sonst verborgene kognitive Prozesse des Menschen zu gelangen. Mit Eye Tracking (im deutschen Sprachraum auch „Blickregistrierung“ bezeichnet) steht nun ein Werkzeug zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Augenbewegungen aufgezeichnet werden können, um diese in weiterer Folge für die Analyse des visuellen Verhaltens, des Aufmerksamkeitsfokus, der Selektionsentscheidungen oder gar der Lernprozesse zu verwenden. Als Grundlage der Eye-Tracking-Forschung werden zwei fundamentale Annahmen definiert: Erstens legt die Unmittelbarkeithypothese (*immediacy assumption*) fest, dass kognitive Auswertungsprozesse unmittelbar direkt bei der visuellen Aufnahme erfolgen. Zweitens definiert die Auge-Geist-Hypothese (*eye-mind-assumption*) erweiternd, dass sich Objekte nur solange im visuellen Fokus des Menschen behalten werden, bis Interesse besteht bzw. diese kognitiv ausgewertet werden. Diese Annahmen besitzen aber nur solange Gültigkeit, bis ein situativer Zusammenhang existiert. Eye-Tracking-Studien haben daher sicherzustel-

len, dass ihre Aufgabenstellungen bzw. die kontextuelle Einbettung der Stimuli dem Forschungsvorhaben Rechnung tragen (Bente, 2005).

Die Untersuchungsmethode der Blickerfassung ist bereits mehr als 100 Jahre alt, da erste systematische Beobachtungen der Augenbewegungen 1878 von Javal dokumentiert wurden (Bente, 2005). Diese brachten die – immer noch gültige – Erkenntnis, dass visuelle Prozesse nicht kontinuierlich sind, sondern in einer abrupten Staccato-artigen Abfolge von Fixationen (Ruhephasen) sowie Sakkaden (visuelle Sprünge zum nächsten Objekt der Aufmerksamkeit) ablaufen. Fortschritte in der Computertechnologie sowie in der digitalen Bildverarbeitung begünstigten die Entwicklung von präzisen und nicht invasiven Messsystemen, mit deren Hilfe viele verschiedenartige Anwendungsgebiete erschlossen werden konnten. Somit eignet sich die Blickerfassung auch für die wissenschaftliche Erforschung der Wirkung bzw. des Einflusses von Neuen Medien. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages werden nun Nutzungsmöglichkeiten von Eye Tracking in der Forschung und Lehre thematisiert, Synergieeffekte bzw. Potenziale diskutiert sowie die Frage gestellt, ob die scheinbaren Versprechungen zur Deutung von kognitiven Prozessen eingehalten werden konnten oder ob Eye Tracking weiterhin als verheißungsvolles Erkenntnismittel zu handhaben ist.

2 Die Eye-Tracking-Technologie

Ähnlich anderen digitalen Messtechniken gibt es auch in der Eye-Tracking-Forschung verschiedenartige technologische Ansätze für die Aufzeichnung der Augenbewegungen. Die Wahl der Blickregistrierungsmethode hat einen direkten Einfluss auf das Studiendesign sowie auf die Qualität bzw. Art der aufgezeichneten Daten. Zustimmend mit Bente (2005) impliziert die Methodenauswahl somit auch den Interpretationsprozess und in weiterer Folge auch die möglichen Erkenntnisse.

2.1 Aufzeichnungsverfahren und -systeme

Keines der aktuell verfügbaren Eye Tracking Systeme verfügt über alle Anforderungen eines idealen Messverfahrens, die in Scott und Findlay (1993) deklariert wurden. Die technischen Lösungen unterscheiden sich hinsichtlich der Genauigkeit, der Auflösung, der Dynamik und der Art der aufgezeichneten Augendaten. Die klassische Literatur zu Eye Tracking unterscheidet hierbei drei verschiedene Ansätze (Duchowski, 2003). Beim ersten Aufzeichnungsverfahren werden direkt auf den Augapfel der Testpersonen Kontaktlinsen angebracht, die mit einer magnetisch induzierten Spule in einem Magnetfeld verbunden werden. Die Bewegungen des Auges generieren proportionale Spannungen,

die präzisen Aufschluss über die Orientierung der Bewegungen geben. Diese Messtechnik hat eine sehr hohe Genauigkeit, eine gute Samplerate, ermöglicht Rotationsmessungen der Augen bietet jedoch aufgrund des intrusiven Chakarekters keine realen Untersuchungsszenarien. Bei der elektrookulografischen Messmethode werden aus den Potenzialdifferenzen zwischen der Netzhaut (negativer Pol) sowie der Hornhaut (positiver Pol) die Orientierung der Augenbewegungen errechnet. Die invasiven Hautelektroden, die um die Augen herum angebracht werden müssen, weisen eine gute Datenrate auf, besitzen aber nur eine grobe räumliche Auflösung, wodurch die Genauigkeit der Messung und somit die Zuordnung der fixierten Objekte nur schwer möglich ist. Die weitesten verbreiteten Verfahren sind reflexionsbasierte Messtechniken, bei denen die Augen der Probanden mit schwachem Infrarotlicht ausgeleuchtet werden und durch bestimmte Geometrie der Reflexionspunkte (korneale Reflexion) die Blickorientierung errechnet. Unterschiedliche Hersteller von Eye Trackern messen dabei verschiedene Reflexionsbereiche (Pupillen, Limbus, etc.). Diese Messmethode ermöglicht eine nicht invasive Anwendung, weist eine hohe Auflösung, gute Genauigkeit und ausreichende Samplerate auf (Rey, 2009; Scott & Findlay, 1993).

Die Integration dieser Messverfahren in Eye Tracking Geräte unterscheiden sich in Hinblick auf ihre Intrusivität sowie Mobilität. Abbildung 1 zeigt verschiedene Arten von Eye Trackern. Ein intrusives sowie stationäres System (Abb. 1a) fixiert den Kopf der Testperson mittels einer Kinnstütze, um Kopfbewegungsartefakte herauszufiltern. Im Gegensatz dazu stehen zwei Typen von mobilen Überkopfsysteme, die den Bewegungsfreiraum der Probanden nicht einschränken. Head-mounted-Displays (HMD, siehe Abb. 1b) übertragen die visuelle Umwelt via integrierte Displays – die Aufzeichnung erfolgt dabei mit integrierter Blickregistrierung. Headsets (Abb. 1c) erfassen den Blick über transparente Spiegel und ermöglichen dabei eine freie Sicht auf den Stimulus. Nicht invasive und somit berührungsfreie Systeme (*Remote Eye Tracker*) sind entweder in Bildschirmen integriert (Abb. 1d) oder sind als Standalone Lösungen konzipiert (Abb. 1e), die je nach Studiendesign unterschiedlich aufgestellt werden können. Der Bewegungsfreiraum des Kopfes liegt bei diesen Ansätzen in einem Bereich von etwa 30 x 15 x 20 Zentimeter bei einer Distanz von ungefähr 60 Zentimeter vom Eye Tracker.

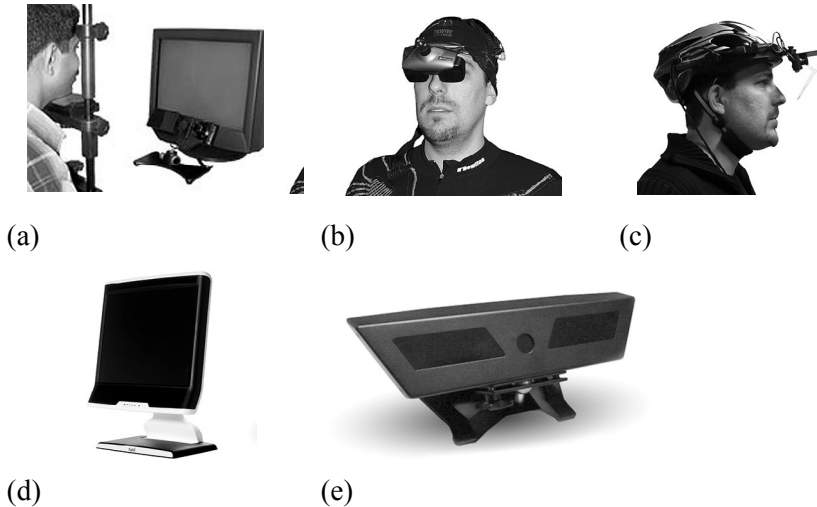


Abb. 1: Verschiedenartige technologische Ansätze der Blickregistrierung

2.2 Der Analyseprozess von aufgezeichneten Augenbewegungen

Die Auswertungsphase der Blickbewegungen erfolgt anhand statischer und/oder dynamischer Visualisierungen. Die am weitesten verbreiteten statischen Visualisierungen sind Heatmaps sowie Gaze Plots. Ersteres überlagert den Stimulus mit farbcodierten Informationen, wie etwa mit der Verweildauer. Wie in Abbildung 2a ersichtlich ist, weisen rote Bereiche intensive Betrachtungen auf, hingegen wurden transparente Abschnitte visuell ignoriert. Gaze Plots – auch Blickpfade genannt (Abb. 2b) – visualisierten den Fixationsablauf der Testpersonen mittels Graphen. Die Kreise der Darstellung bilden die räumliche Position der Fixationen ab, die Nummerierungen dieser entsprechen der Reihenfolge, die Größe des Kreises visualisiert die Dauer der Fixation. Hingegen repräsentieren die Kanten des Graphen die Sakkaden. Weitere statische Analyseverfahren aggregieren Augendaten über Personen, räumliche Cluster, Interessensobjekte (*Areas of Interest*, AOI), Zeit oder Metriken wie Gesamtverweildauer, benötigte Zeiten für die erste Fixation, Pupillendilatation, Lidschlagfrequenz oder Rotationsgrade (Rosbergen et al., 1997). Dynamische Visualisierungen – BeeSwarms oder Gaze Replays – überlagern ablaufende Videos mit Symbolen für die Fixationen bzw. Sakkaden und ermöglichen somit die Analyse von sich bewegenden Stimuli (Holmqvist et al., 2011; Rey, 2009).

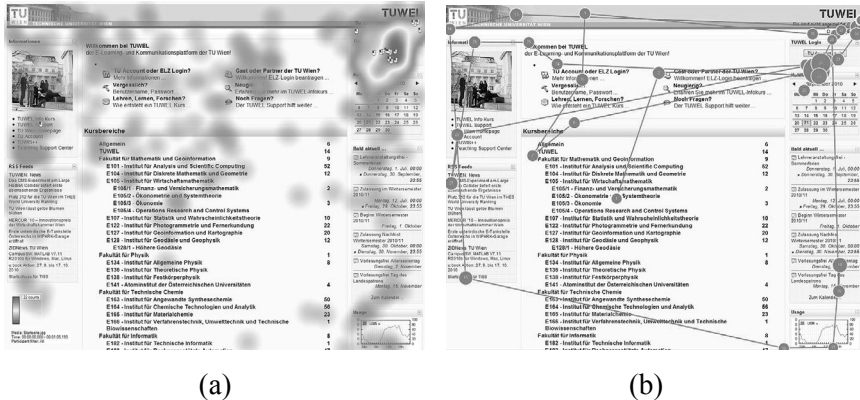


Abb. 2: Visualisierungen für den Analyseprozess aufgezeichneter Blickdaten

3 Nutzungsmöglichkeiten sowie Potenziale von Eye Tracking

Mittlerweile wird Eye Tracking in vielen Anwendungsgebieten im Rahmen zahlreicher Grundlagen- als auch anwendungsbezogenen Studien eingesetzt. In diesem Abschnitt erfolgt nun die Darstellung typischer Exempel, welche aktuelle Nutzungsmöglichkeiten sowie die genutzten Potenziale der Technologie aufzeigen.

3.1 Eye Tracking in der Forschung

Die überwiegende Mehrheit des Einsatzes von Eye Tracking erfolgt im Rahmen von forschungsbasierten Studien, bei welchen sich die Technologie als subsidiäres Erkenntnismittel etablierte und zu exzellenten Forschungsergebnissen führte. Neben zahlreichen medienwirksamen Publikationen aus dem Bereich der Automobilindustrie – beispielsweise die Studie von (Singh et al., 1999), wobei per Blickerfassung die Müdigkeit von AutofahrerInnen ermittelt – oder aus dem Anwendungsgebiet der Marketingforschung – wie etwa die Eye-Tracking-Studie nach (Eisen, 1986 zitiert nach Kain, 2007), die die Wirkung von Produkt-, Verpackung-, Regal- oder Ladengestaltung bei der Kaufentscheidung von Konsument/inn/en untersuchte – entwickelten sich auch Bereiche, die wertvolle Erkenntnisse für digitale Medien in der Lehre und Forschung liefern.

An erster Stelle sei die medienpsychologische Forschung genannt, die sich auf die Beziehung zwischen den visuellen Umweltreizen sowie den (verdeckten) kognitiven Prozessen fokussiert und Eye Tracking besonders für Grundlagenforschung heranzieht. Anhand verschiedener Medientypen bzw. ihrer

Konstellation werden die Medienwirkung bzw. Nutzung per spezifische Augenbewegungen untersucht. Eine der dabei am umfassendsten untersuchten Anwendungsgebiete ist jene der Leseforschung. Als Beispiel kann hierbei die im großen Rahmen durchgeführte Studie des Poytner Instituts der Stanford Universität (Edwards, 2000) zur Untersuchung der visuellen Explorationsstrategien beim Lesen von sowohl online als auch Printmedien. Dabei stellte man entgegen der Annahme der Dominanz von Abbildungen eine Prävalenz für textbasierte Medienelemente fest. Überdies konnte aus den aufgezeichneten Augendaten abgeleitet werden, dass Leser/inn/en aufgrund des interaktiven Charakters der online Medien erst die Texte visuell exzerpieren, sobald sie diese aktiv selbst auswählten (mussten) und somit höheres Involvement aufbrachten. Bei Printmedien entstand dies eher aufgrund von Platzierung und Zufall. Demnach müssten nach Bente (2005) formale Gestaltungsaspekte bei Zeitungsseiten einen größeren Einfluss haben. Im Gegensatz zu dieser Erkenntnis stehen aber die zahlreichen Usability-Untersuchungen, die aufzeigen, dass die Fixationen der Medieninhalte auch in online Systemen stark von der Gestaltung bzw. Benutzerfreundlichkeit abhängen. Federführende Arbeiten von Nielsen und Pernice beschreiben unterschiedliche Betrachtungsmuster in Abhängigkeit von Layoutierung, Gestaltungsprinzipien sowie kontextueller Randbedingungen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet von Eye Tracking, das im direkten Zusammenhang zu Neuen Medien steht, ist der Forschungsbereich von Interface-Technologien, bei welcher die menschlichen Augen als Eingabe- bzw. Steuerungsmedien genutzt werden. Eine Übersicht der Potenziale lieferte zunächst Edwards (1998), demnach könnten Eye Tracker als Tastatureingaben, Sensorren für Mauszeiger, als Lesehilfen, Bildschirmlupen sowie als Eingabeunterstützung von Trainings- und Analyseprogrammen dienen. Als reale Anwendungsbeispiele können die Forschungsstudien *EyeWindows* von Fono & Vertegaal (2005) sowie *EyeTouch* von Topal et al. (2008) genannt werden. Erstere benutzte zur Auswahl von Fenstern mehrerer Computerprogramme den visuellen Fokus der Benutzer/innen, während zweitere die Augenbewegungen als Steuerung eines Mauszeigers umsetzte und somit die BenutzerInnen zum direkten Interaktionsgerät umfunktionierte. Trotz der ernüchternden Ergebnisse sind bereits im Bereich der Barrierefreiheit Eye-Tracking-Systeme entstanden die Benutzereingaben sowie Kommunikationsprozesse von Menschen mit Behinderung erfolgreich unterstützen.

3.2 Eye Tracking in der Lehre

Im Vergleich zur Forschung nimmt der (praxisorientierte) Einsatz von Eye Tracking in der Lehre eine marginale Rolle ein. Eye-Tracking-Geräte sind nach aktuellem Stand kaum in Systemen, Geräten sowie Infrastruktur des Lehralltags

integriert, vereinzelt Eye Tracker sind in Laboratorien von Instituten bzw. Forschungseinrichtungen sowie in Assistenztechnologien von barrierefreien Arbeitsplätzen im Einsatz. An dieser Stelle werden daher jene exemplarischen Studien präsentiert, die Blickregistrierungssysteme als lehrbegleitendes sowie lehrunterstützendes Werkzeug – mit dem Ziel den Lernprozess von SchülerInnen, Studierenden sowie Lehrenden zu verbessern – einsetzen. Die Mehrzahl dieser lehrrelevanten Studien sind Usability-Untersuchungen, die sich auf die Optimierung von (Online-)Lernsystemen bzw. – Materialien von Schulen sowie Hochschulen fokussieren. Als Beispiele seien hier die in Kapitel 3.3 beschriebenen Publikationen des Autors sowie die Studie von Panke et al. (2006) zu nennen. Letztere untersuchte die Augenbewegungen von Testpersonen beim Einsatz eines E-Learning-Portals in der Hochschullehre, um Layout- sowie Strukturoptimierungspotenziale abzuleiten. Zwei vielzitierte Artikel zum Thema Eye Tracking in der Lehre sind von Pivec et al. (2006) und Wang et al. (2006). Ersteres entstand aus dem AdeLE-Projekt, welches als Ziel hatte ein Monitoring-Framework zu entwickeln, das anhand der registrierten Blickbewegungen sowie der visualisierten Inhalte eine Datenbank erstellt und adaptiv je nach Lernenden ein feingranulares E-Learning-Angebot generiert. Fehlende Abschlussberichte lassen jedoch ein Erliegen des Projekts vermuten. Die zweite Studie umfasste einen empathischen Software-Agenten, welcher anhand der Pupillenöffnung den Status der Aufmerksamkeit bzw. Motivation der Lernenden ableitete und als reaktives Tutoring-System entsprechende affektive Meldungen absetzte, um das Lernverhalten aufrechtzuerhalten. Die Autoren wiesen zwar auf eine Förderung des Lernverhaltens durch (mehr attentionales) Feedback hin, betonten jedoch, dass das entwickelte Eye-Tracking-Gerät auf Dauer unbequem zu tragen war und somit dem Wunsch eines praxisorientierten Einsatzes nicht nachkam. Abschließend sei das angehende Projekt *ELBE* erwähnt (Thoma et al., 2012), das mittels Eye Tracking die Blickbewegungen von Laien sowie Expert/inn/en beim Ausfüllen von Multiple-Choice-Fragen vergleicht und diese gezielt auf kognitive Lernprozesse abbildet.

3.3 Eye-Tracking-Studien des Autors

In diesem Kapitel werden exemplarische Eye-Tracking-Studien des Autors vorgestellt, die im Zusammenhang zur Lehre mit Neuen Medien stehen.

Usability Studie zum User/innen-Verhalten beim E-Learning: Das Ziel der Studie aus Rakoczi (2010) war es praxisorientierte Erkenntnisse zu exzerpieren, die zur Erhöhung der visuellen Effizienz von digitalen Kursräumen herangezogen werden können. Mittels eines nichtinvasiven bildschirm-integrierten Eye Trackers (Abb. 1d) wurden Augenbewegungen beim Lernprozess mit multimedialen Lernmaterialien, die innerhalb des Lernmanagementsystems Moodle

präsentiert wurden, aufgezeichnet. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine Untersuchung der Aufmerksamkeitsverteilung auf unterschiedlichen Seiten einer E-Learning-Umgebung sowie die Bestimmung der Reihenfolge visuell erfasster Medientypen. Weitere Studienergebnisse umfassten den Einfluss von Komplexität der Inhalte sowie des Involvements auf das visuelle Benutzerverhalten.

Iteratives Testverfahren für die Optimierung der Lernplattform: Die überwiegende Anzahl an Eye-Tracking-Usability-Studien werden als isolierte Individualuntersuchungen durchgeführt, da Ergebnisse in der Regel nicht erneut mit der Blickregistrierung überprüft werden. Um die methodische Lücke zu schließen wurde im Rahmen der Studie (Rakoczi, 2012a) eine iterative Methode implementiert, um Ergebnisse einzelner Iterationen zu vergleichen. Dadurch können die deduzierten Usability Verbesserungen erneut überprüft werden. Als visuellen Stimulus für diese iterative Untersuchung wurde eine zentral eingesetzte E-Learning-Plattform einer Technischen Universität (mit insgesamt mehr als 28.000 Studierenden) verwendet. Obwohl zahlreiche allgemein gültige Verbesserungen für die Benutzerfreundlichkeit der Lernplattform abgeleitet werden konnten, erwies sich das entwickelte Testverfahren (für einen Einsatz in der Praxis) als Zeit-intensiv sowie die Eye-Tracking-Metriken zum Vergleich als (eher) ungeeignet.

Mobiles Eye Tracking in der Ausbildung von Sportlehrer/inne/n: Eine mobile Anwendung der Blickfassung wurde in der Studie (Rakoczi, 2012b) umgesetzt, bei welcher das Blickverhalten von angehenden Sportlehrer/inne/n bei der Beobachtung von Schüler/inne/n untersucht wurde. Mit Hilfe eines mobilen Eye Trackers (Abb. 1c) wurden Bewegungshandlungen im Rahmen von Leibesübungen aufgezeichnet und nach Grundlagen der sportdidaktischen Lehr-Lern-Forschung ausgewertet. Die Studie ergab eine signifikante Optimierung des eigenen Selbstinformationsgewinns, die über Reflexionsprozesse des eigenen Blickverhaltens erreicht werden konnten. Weiters konnte auch eine Steigerung der Entscheidungskompetenz der angehenden Sportlehrer/innen in Hinblick auf Wahrnehmung von Bewegungsrhythmus, -fluss, -präzision sowie Kontrolle der Einhaltung des Gleichgewichts von Schüler/inne/n erzielt werden.

4 Diskussion

Über den Erkenntnisgewinn sowie Grenzen der Eye Technologie reflektierten bereits namhafte Vertreter, wie etwa (Jacob & Karn, 2003). Es scheint, dass der Blickregistrierung trotz großer technologischer Fortschritte der endgültige Durchbruch als „Werkzeug des Alltags“ nicht gelingt. Die verheißungsvollen Potenziale sowie strikte Grenzen scheinen stets die gleichen zu bleiben.

Seit Anbeginn der Blirckregistrierung wird der Kostenpunkt als wesentliches Kriterium genannt. Hohe Anschaffungs-, Wartungs- sowie Folgekosten – wie etwa die Entwicklungskosten – sind nicht selten in der Höhe von 30.000 Euro zu erwarten sind. Das engagierte Team des OpenEye-Projekts versprach in diesem Zusammenhang einen Eye Tracker im Selbstbau in der Höhe von ca. 900 Dollar mit einem OpenSource-Toolkit als Softwarelösung (Li et al., 2006). Das Projekt wird aber seit Jahren nicht mehr weiterentwickelt, ähnliche Ansätze wie von Topal et al. (2008) sind befristete universitäre Projekte. Der zweite Aspekt, welcher den Durchbruch der Technologie verhindert, ist der hohe Aufwand sowohl für die Datenerhebung als auch -auswertung. Nielsen und Pernice (2010) empfehlen eine Teilnehmerzahl von 39 Proband/inn/en, die jedoch nur von budgetstarken Projekten (annähernd) erreicht werden. Durchschnittliche Eye Tracking Untersuchungen erfolgen mit rund 10-12 Teilnehmenden. Bereits Jacob und Karn (2003) bemängelte diesen Umstand, welcher von der Interpretationsproblematik der Analysephase gar weiter verschärft wird. Die optisch ansprechenden Visualisierungen gängiger Eye-Tracking-Analysesoftware verleiten (ungeübte) Forscher/innen zu schnellen unbegründeten Falschaussagen. Wie Nielsen und Pernice (2010) betont, sind die Ergebnisse vieler akademischen Studien nicht ernst zu nehmen, da in den meisten Fällen die registrierten Augenbewegungen nicht mit anderen Protokollen – wie Thinking Aloud, retrospektivischer Nachanalyse, Log Files oder Mausclicks verifiziert wurden. Zahlreiche Quellen weisen darauf hin, dass die Interpretationsphase von Eye-Tracking-Untersuchungen eine hohe Expertise und daher umfassende Erfahrung seitens der auswertenden Person abverlangt. Des Weiteren existieren für die Interpretation keine Standards oder allgemein gültige Korrelationsframeworks für Augenmetriken und ihren (kognitiven) Bedeutungen. Ansätze der systematischen Erfassung von Eye-Tracking-Metriken sowie ihrer Interpretation sind beispielweise in Duchowski (2002) und Jacob und Karn (2003) skizziert, dennoch bleibt die Abhängigkeit zur Aufgabenstellung bzw. zum visuellen Stimulus als hemmende Dimension erhalten.

Die Trennung von Augenfixationen vom in der Einleitung definierten „Spotlight of Attention“ stellt für die Datenauswertung ebenfalls ein signifikantes Problem dar (Duchowski, 2002). Demnach ist es möglich, einen Punkt zwar visuell zu fixieren, die Aufmerksamkeit aber bei einem ganz anderen Punkt zu haben. Ein aufgezeichneter Blickpfad kann demzufolge zwar zeigen, welche Regionen betrachtet wurden, ob sie jedoch bewusst kognitiv verarbeitet wurden, ist nicht feststellbar. Bente (2005) fügt diesem Ansatz richtiger Weise hinzu, dass Eye Tracking nicht in der Lage ist den Grund für die Nicht-Betrachtung bestimmter Bereiche zu erklären. Methodische Erklärungen schwächeln auch dahingehend, dass Augenbewegungen nicht per se als Selektionsprozesse zu interpretieren sind, da sie im Prinzip ein Resultat vorangegangener kognitiver Prozesse sind.

Ein großer Synergieeffekt von Eye Tracking besteht darin, dass auch reale Systeme als visuellen Stimulus herangezogen werden können, wodurch nahezu alle Artefakte untersucht werden können. Dies beschert der Interpretationsphase – insbesondere für Usability Untersuchungen – mehr zu berücksichtigende Determinanten, die wiederum die Anzahl der Fehlerquellen erhöhen (Holmqvist et al., 2011). Durch etwaige Einschränkungen der Aufgabenstellung wiederum, blendet man indirekt mögliche visuelle Wege aus. Dennoch sind in der Eye-Tracking-Forschung aufgabengeleitete Studiendesigns häufiger anzutreffen, als jene die freies Explorieren ermöglichen. Als häufiger Diskussionspunkt wird in diesem Zusammenhang etwa das Dilemma der Konkurrenzbeziehung zwischen Medientypen behandelt, da sich stets die Frage stellt, ob aus einer „isolierten“ Betrachtung einzelner Medienelementen überhaupt gültige Aussagen gewonnen werden können. Als ein weiterer hemmender Faktor kommt hinzu, dass Augenbewegungen von sehr hoher Varianz geprägt sind. Da der Mensch per se sehr individuell sein kann so sind auch – wie (Holmqvist et al., 2011) betonen – ihre Betrachtungsmuster, Selektionsprozesse, Orientierungsphasen individuell und daher kompliziert zu aggregieren. Auch anatomische Faktoren wie Kontaktlinsen, Brillen, starker Makeup, diverse Augencharakteristika wie etwa hängende Lider, dunkle oder lange Wimpern, schmale Augen oder hochfrequenter Lidschlag können die Blickregistrierung verhindern. Trotz dieser Individualität hat es aber die Eye-Tracking-Methodologie geschafft (bei sorgfältigem Studiendesign) allgemein gültige Aussagen zum visuellen Verhalten aufzuzeigen, beispielsweise im Zusammenhang mit visuellen „Magneten“ oder „Stolpersteinen“.

Die Mobilität bzw. Intrusivität als langjährige Limitierung kann man hingegen endgültig als „gelöst“ betrachten. Aktuelle Systeme agieren nahezu barrierefrei, und – wie Studien belegen – ermöglichen sie nach kurzen Eingewöhnungsphasen (von wenigen Minuten) eine authentische Untersuchung, die auch außerhalb von Laboratorien durchgeführt werden können. Der aktuelle Trend der Entwicklung geht deutlich in Richtung leichter mobiler Applikationen, die wie bei Topal et al. (2008) in Brillen integriert werden. Zwar weisen diese Geräte eine noch verhältnismäßig niedrige Auflösung auf, stellen aber schon ihre Praxistauglichkeit unter Beweis. Im Gegensatz bedarf es bei Eye Tracking als Interface-Technologie noch Weiterentwicklung. Das unter dem „Midas Touch Problem“ bekannte Phänomen ist in aktuellen Lösungen weiterhin nicht behoben. Dieses besagt, dass Augenbewegungen teilweise willkürlich bzw. motorisch ablaufen und nicht von gewollten unterschieden werden können, wodurch unbeabsichtigte Aktionen gesetzt werden. Überdies ist die Geschwindigkeit der Augenbewegungen signifikant höher als bei anderen Eingabemethoden, die wiederum mit der geringeren Präzision der Lokalisierung zu ungünstigen Effekten führen. Die Lösungsansätze wie (in etwa 500 Millisekunden lange) Verweilpausen des Blickes oder längeres Unterdrücken des Lidschlages (als Mausclick) sind unnatürlich und resultieren

eine niedrige Akzeptanz der User/innen (Duchowski, 2002). Abschließend sei aber noch angeführt, dass Erkenntnisse über Augenwegeungen bzw. Fixationspräferenzen für die Vorselektion von Datenmengen durchaus sinnvoll erscheinen. Als Erweiterung von Eingabemechanismen sind nützliche Synergieeffekte – wie etwa die kontextuelle Einblendung weiterführender Informationen zu (länger) fixierten Objekten – durchaus denkbar.

5 Fazit

Der sinnvolle Einsatz der Blickregistrierung kann durchaus als hilfreiches Erkenntnismittel für Neuen Medien herangezogen werden. Die Potenziale liegen auf der Hand, denn die gewonnen Erkenntnisse können durchwegs für die Entwicklung von lern-förderlichen Strukturen verwendet werden – beispielsweise für die Entwicklung von lern-förderlicher Lernumgebungen, optimierten Lernmaterialien, lern-effektives Kursdesign und dem Lernverhalten kontextuell abgestimmten (Software-)Agenten. Als Beispiel sei hier die Leseforschung genannt, der Eye Tracking als Beweismittel für den Einfluss von Textgestaltung, inhaltlichen Gliederungen, Satzstrukturen, Typographien sowie anderen formalen Aspekten diene. Als letzte wesentliche Frage ist nunmehr zu stellen: Wie sind neue Erkenntnisse an Zuständige, Verantwortliche oder gar Lehrende zu kommunizieren, die möglicherweise einen initialen Mehraufwand darstellen und erst nach ihrer Anwendung die lern-förderliche Strukturen entfalten?

Literatur

- Bente, G. (2005). Erfassung und Analyse des Blickverhaltens. In R. Mangold, P. Vorderer, & G. Bente (Hrsg.), *Lehrbuch der Medienpsychologie* (S. 297-324). Göttingen: Hogrefe.
- Duchowski, A.T. (2003). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London, Großbritannien: Springer.
- Edwards, G. (1998). *New Software Makes Eyetracking Viable: you can Control Computers with your Eyes*. Proceedings of CSUN Conference '98.
- Edwards, G. (2000). *Stanford Poynter Eyetrack Project*. Abgerufen am 03.02.2012 von Eyetools Inc.: <http://http://eyetracking.stanford.edu/>
- Fono, D. & Vertegaal, R. (2005). EyeWindows: evaluation of eye-controlled zooming windows for focus selection. *CHI '05 Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (S. 151-160). Portland, USA: ACM Press.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & Van de Weijer, J. (2011). *Eye Tracking – A Comprehensive Guide to Methods and Measures*. New York: Oxford University Press.
- Jacob, R.J. & Karn, K.S. (2003). Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises. In: Hyona, Radach,

- & Deubel, (Hrsg.), *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research* (S. 573-603).
- Kain, S. (2007). *Erfassung der Aufmerksamkeitsverteilung auf Webseiten. Grundlagen, Konzepte, Methoden*. Saarbrücken: VDM-Verlag.
- Li, D., Babcock, J. & Parkhurst, D.J. (2006). openEyes: A low-cost head-mounted eye-tracking solution. *Proceedings of the ACM Eye Tracking Research and Applications Symposium* (S. 95-100). San Diego, CA: ACM Press.
- Nielsen, J. & Pernice, K. (2010). *Eye Tracking Web Usability*. Berkeley, CA: New Riders Press.
- Panke, S., Studer, P. & Kohls, C. (2006). Use & Usability: Portalevaluation mit Eye-Tracking und Logfile-Daten. *DeLFI 2006* (S. 267-278). TU Darmstadt.
- Pivec, M., Trummer, C. & Pripfl, J. (2006). Eye Tracking Adaptable e-Learning and Content Authoring Support. *Informatica*, 30 (1), S. 83-86.
- Rakoczi, G. (2010). *Userverhalten beim E-Learning – Eine Eye Tracking Studie des Lernsystems Moodle*. Saarbrücken: VDM-Verlag.
- Rakoczi, G. (2012a). *Benefits and Challenges of Iterative Eye Tracking Tests: Evaluation of gaze data to enhance an e-Learning Platform's Design and Usability*. Publikation in Vorbereitung.
- Rakoczi, G. (2012b). *Blickbewegungsverläufe (mobiles Eye-Tracking) als Element sportdidaktischer Lehr-Lern-Forschung*. Publikation in Vorbereitung.
- Rey, G.D. (2009). *E-Learning: Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Rosbergen, E., Pieters, R. & Wedel, M. (1997). Visual attention to advertising: A segment-level analysis. *Journal of Consumer Research*, 24, S. 305-314.
- Scott, D. & Findlay, J.M. (1993). Visual search and VDUs. In: D. Brogan, A. Gale & K. Carr (Hrsg.), *Visual Search 2* (S. 301-307).
- Singh, S. & Papanikolopoulos, N.P. (1999). Monitoring driver fatigue using facial analysis techniques. *IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems* (S. 314-318). Tokyo, Japan.
- Thoma, G.B., Dalehefte, I.M. & Schmidt, M.A. (2012). *Projekthomepage des IPN – Leibnitz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik. Projekthomepage ELBE „Erfassung kognitiver Lernprozesse und Blickbewegungen mittels Eyetracker“*. Verfügbar unter: <http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/elbe/index.html>.
- Topal, C., Gerek, Ö.N. & Dogan, A. (2008). A head-mounted sensor-based eye tracking device: eye touch system. *ETRA '08: Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications* (S. 87-90). Savannah, GA: ACM.
- Wang, H., Chignell, M. & Ishizuka, M. (2006). Empathic Tutoring Software Agents Using Real-time Eye Tracking. *ETRA '06: Proceedings of the 2006 Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (S. 73-78).