

# Eye-Tracking Studien in Leitwarten – Evaluation einer ‚Visuellen Komfortzone‘ für Operatortätigkeiten

Der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und  
Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen  
Universität Cottbus-Senftenberg vorgelegte Dissertation zur Erlangung des  
akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

von

M.Sc. Roberto Kockrow

geboren am 03. Dezember 1978 in Cottbus

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Uwe Meinberg
Gutachterin:	apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. paed. Annette Hoppe
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Weiteres Mitglied	Dipl.-Ing. Dietmar Haake (externer Praxisberater ohne Gutachterfunktion)

Tag der mündlichen Prüfung: 29.07.2014

Cottbus, im August 2014





**Forschungsberichte**

**Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie**

Herausgeberin: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. paed. Annette Hoppe

**Roberto Kockrow**

**Eye-Tracking Studien in Leitwarten –  
Evaluation einer ‚Visuellen Komfortzone‘  
für Operatortätigkeiten**

**Shaker Verlag  
Aachen 2014**

**Bibliografische Information 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.

Zugl.: Cottbus-Senftenberg, BTU, Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3022-8

ISSN 1869-1501

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

---

## Vorwort

Mit dem Thema: *Eye-Tracking Studien in Leitwarten – Evaluation einer „Visuellen Komfortzone“ für Operatortätigkeit*, liegt erneut ein interessanter Band vor, welcher im Rahmen der Schriftenreihe *Forschungsberichte Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie* publiziert wird und der die beiden Bereiche inhaltlich und methodisch gut verbindet. Diese Arbeit ist sowohl von hervorragender wissenschaftlicher Aussage als auch von großer Praxisrelevanz geprägt und kann in der universitären Lehre, in die konkrete Gestaltung von Arbeitsplätzen in Leitwarten und für die Konzipierung neuer arbeitswissenschaftlicher Vorgaben angewendet werden.

Im Zuge der technischen Veränderungen der letzten Jahre entstanden immer mehr hochautomatisierte Arbeitsplätze. Gerade in der energieerzeugenden und –verteilenden Branche, in Feuerwehr- und Alarmempfangsstellen, bei der Flugüberwachung und in der Industrieproduktion sind Leitstandsarbeitsplätze nicht mehr wegzudenken. Das erfordert neue Anpassungen der Mitarbeiter an diese neuen Arbeitsbedingungen. Visuellen Anpassungen kommt dabei eine große Bedeutung zu. Um die komplexen Arbeitsprozesse beherrschbar zu gestalten, wurde in der Vergangenheit verstärkt auf neue technische Entwicklungen und damit auf zunehmende Automatisierung gesetzt. Mit dem Beginn der Technikstressforschung an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg wurde eine neue interdisziplinäre Forschungsarbeit begonnen, die sich intensiv mit der Untersuchung und Gestaltung moderner Mensch-Maschine-Schnittstellen in Soziotechnischen Systemen mit wissenschaftlichen Methoden auseinandersetzt. Ziel der Forschung ist es arbeitsbegleitende Analysen durchzuführen, konkrete Daten zu erheben, Gestaltungsempfehlungen abzuleiten und bei der Implementierung in der Praxis beratend mitzuwirken. Deshalb erfolgt die wissenschaftliche Arbeit in drei Säulen:

1. der Grundlagenforschung,
2. der Feldforschung und
3. der Modell- und Konzeptentwicklung.

Gerade die Untersuchung und Bewertung von menschbezogenen Daten gestaltet sich dabei oft sehr schwierig. Neue Mess- und Auswertungsverfahren müssen für die Interpretation von großen Datenmengen erarbeitet, die Objektivität der Ergebnisse gesichert und die Generalisierbarkeit geprüft werden.

---

An diese interessante Schnittstelle knüpft die hier vorliegende wissenschaftliche Arbeit an und wurde in der 2. Forschungssäule, der Feldforschung angesiedelt. Der Autor setzt sich zum Ziel, mit Hilfe des Eye-Trackings große Datenmengen zu erfassen, um eine mögliche *Visuelle Komfortzone* für diese Arbeitsplätze in der aktuellen Praxis zu evaluieren. Dazu musste das Messverfahren angepasst und eine große Probandenzahl gewonnen werden. Mehrjährige Studien in der energieerzeugenden Praxis konnten erfolgreich initiiert und abgeschlossen werden. Sehr gut gelöst wurden die Auswertung der riesigen Datenmengen und die statistisch wissenschaftliche Aufarbeitung. Durch die praxisnahe und kompetente Interpretation der Daten konnten Erkenntnisse sowohl für die zukünftige Gestaltung der vorhandenen und untersuchten Arbeitsplätze gefunden werden, als auch eine souveräne wissenschaftliche Beschreibung mit der Evaluation der *Visuellen Komfortzone* geschaffen werden, die eine sehr gute Vorgabe für die Gestaltung solcher Arbeitsplätze möglich macht. Damit liegt eine hervorragende Arbeit vor, die eine Richtlinie zur Gestaltung visueller Arbeitsmittel an Leitstandsarbeitsplätzen darstellt und aus arbeitswissenschaftlicher Sicht gesichert vorgibt.

Dem Buch als Geleit und dem Autor zur Anerkennung

**Annette Hoppe**

Leiterin der Kooperativen Forschungsstelle Technikstress (KFT)

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>13</b>
1.1	<i>Problemstellung.....</i>	<i>14</i>
1.2	<i>Zielstellung .....</i>	<i>15</i>
1.3	<i>Abgrenzung .....</i>	<i>17</i>
<b>2</b>	<b>Stand der Wissenschaft – der Operator in der Leitzentrale .....</b>	<b>19</b>
2.1	<i>Supervisory Control .....</i>	<i>20</i>
2.1.1	Historische Entwicklung von Leitständen .....	20
2.1.2	Moderne Leitstände .....	21
2.1.3	Prozessleittechnik .....	22
2.1.4	Anforderungen an den Operator .....	25
2.1.5	Bedienermodelle .....	30
2.2	<i>Visuelle Wahrnehmung als Grundlage für die Operatortätigkeit.....</i>	<i>40</i>
2.2.1	Der visuelle Informationskanal.....	41
2.2.2	Blick- und Augenbewegungen .....	48
2.2.3	Blickbewegungsparameter und deren Interpretation.....	50
2.2.4	Anatomische Grenzen der visuellen Wahrnehmung.....	51
2.3	<i>Domänenspezifisches Blickverhalten.....</i>	<i>54</i>
2.3.1	Erkenntnisse aus anderen Forschungsdomänen .....	55
2.3.2	Ableitungen für die Operatortätigkeit .....	57
2.4	<i>Kognitionspsychologische Grundlagen der Operatortätigkeit.....</i>	<i>59</i>
2.4.1	Situationsbewusstsein und mentale Modelle.....	60
2.4.2	Aufmerksamkeit .....	62
2.4.3	Zusammenhang zwischen kognitiven Prozessen und Blickverhalten ....	63
2.4.4	Kognitive Grenzen .....	65
2.5	<i>Ausgewählte Einflussgrößen auf die Operatortätigkeit.....</i>	<i>68</i>
2.5.1	Betriebszustand.....	68
2.5.2	Arbeitsplatzdesign .....	69
2.5.3	Komplexität des Systems .....	72
2.5.4	Weitere Einflussparameter .....	74
<b>3</b>	<b>Hypothesenbildung .....</b>	<b>76</b>

**4 Methodik.....81**

4.1 Messverfahren für Blickfeldstudien..... 81

4.2 Versuchskonzeption..... 83

4.3 Methodisches Vorgehen bei der Versuchsdurchführung ..... 86

4.3.1 Genutzte Hardware ..... 86

4.3.2 Praxisprojekt ..... 87

4.3.3 Rahmenbedingungen bei der Datenaufzeichnung..... 89

4.4 Datenaufbereitung ..... 92

4.4.1 Aufbereitung der Daten aus Messungen im Realbetrieb ..... 93

4.4.2 Aufbereitung der Daten aus dem Simulatorversuch ..... 97

4.5 Gütekriterien..... 98

**5 Ergebnisse und Hypothesenprüfung .....102**

5.1 Hypothesenkomplex H1 ..... 102

5.1.1 (H1 a) Verteilungsdifferenzen..... 102

5.1.2 (H1 b) Hauptaktivitätsbereich..... 104

5.1.3 (H1 c) Stagnation des Hauptaktivitätsbereichs ..... 112

5.2 Hypothesenkomplex H2 ..... 117

5.2.1 (H2 a) Intensivere Nutzung der Monitorebene ..... 117

5.2.2 (H2 b) Anwendungsfelder Tiefenebenen ..... 123

5.3 Hypothesenkomplex H3 ..... 125

5.3.1 (H3 a) Abhängigkeit des Umschaltverhalten ..... 125

5.3.2 (H3 b) Umschalhandlungen im Hauptaktivitätsbereich..... 128

5.3.3 (H3 c) Bedieneingriffe im Hauptaktivitätsbereich..... 130

5.4 Hypothesenkomplex H4 ..... 132

5.4.1 (H4 a) Erhöhte Blickfrequenz in besonderen Situationen..... 133

5.4.2 (H4 b) Erweiterung des visuellen Aktionsraumes in besonderen Situationen ..... 134

5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse..... 138

<b>6</b>	<b>Ableitungen und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>142</b>
6.1	<i>Allgemeine Ableitungen.....</i>	<i>142</i>
6.2	<i>Die Visuelle Komfortzone.....</i>	<i>146</i>
6.2.1	Automatisierungsgrad als Grundvoraussetzung .....	146
6.2.2	Individuelle Konfigurierbarkeit der Informationsbelegung als Grundvoraussetzung.....	147
6.2.3	Organisatorische Freiheitsgrade der Arbeitsgestaltung als Grundvoraussetzung.....	147
6.2.4	Ausprägung der Visuellen Komfortzone an den untersuchten Arbeitsplätzen .....	148
6.3	<i>Bedarfsgerechte Visualisierung .....</i>	<i>150</i>
6.3.1	Szenario: Normalbetrieb.....	151
6.3.2	Szenario: Instationäre Zustände .....	153
6.3.3	Szenario: Störungsereignis .....	154
6.3.4	Technische Überlegungen .....	154
6.4	<i>Ableitung eines vereinfachten Verfahrens als Orientierungsmessung.....</i>	<i>155</i>
6.5	<i>Methodenkritik und Fehlerdiskussion .....</i>	<i>156</i>
	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>160</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>164</b>