

## Die Visuelle Komfortzone an Operatorarbeitsplätzen

Roberto KOCKROW, Annette HOPPE

*Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie,  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg  
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus*

**Kurzfassung:** Im Zuge fortschreitender Automatisierung wird Leitständen in Leitwarten auch künftig eine große Bedeutung zugesprochen. Diese Operatorarbeitsplätze sind oftmals mit einer großen Anzahl von Visualisierungselementen ausgestattet, um dem Operator viele Informationen für die Beherrschung möglichst aller Betriebssituationen zu geben. Nicht selten sind dabei Visualisierungskonstellationen zu beobachten, welche durch den Operator mit Hinblick auf seine psychologischen und kognitiven Wahrnehmungsgrenzen nicht vollumfänglich nutzbar sein können.

Um das Nutzerverhalten der Leitstandsfahrer evaluieren zu können, wurde an bestehenden Leitstandarbeitsplätzen in Kraftwerksleitwarten eine breit angelegte Blickerfassungsstudie durchgeführt. Im Fokus der Studie stand die Analyse des Bedien- und Beobachtungsverhaltens der Operatoren in Abhängigkeit der Anzahl verfügbarer digitaler Visualisierungsmittel. Unabhängig davon ließ sich über alle Probanden die Ausprägung einer Visuellen Komfortzone nach mathematisch-statistischer Auswertung der erhobenen Blickerfassungsdaten nachweisen.

**Schlüsselwörter:** Visuelle Komfortzone, Arbeitsplatzgestaltung, Leitstand, Operatortätigkeit, Blickverhalten

### 1. Problembeschreibung und Zielstellung

Viele Industriezweige sind zunehmend gekennzeichnet durch automatisierte Prozessabläufe, welche zentralisiert in Leitwarten gesteuert werden. Für die Operatoren findet dadurch eine Entkopplung vom realen Geschehen statt, wodurch eine Visualisierung relevanter Prozessgrößen notwendig wird. Dies erfolgt im Allgemeinen abstrahiert und aggregiert auf Anzeigegeräten wie z. B. Bildschirmen oder Großbildprojektionen (vgl. Herczeg 2005). Oft ist zu beobachten, dass Leitstandarbeitsplätze mit einer großen Anzahl an Visualisierungselementen ausgestattet werden. Dies führt im Extremfall dazu, dass das Blickfeld des am Leitstand arbeitenden Operators mit Prozessvisualisierungen nahezu ausgefüllt ist. Weiterhin kann sich die räumliche Ausdehnung des Arbeitsplatzes bei großer Anzahl digitaler Visualisierungsmittel (DVM) als problematisch erweisen, da ausgedehnte Sehabstände die Erkennung von Detailinformationen durch die Operatoren erschweren. Hauptgrund dafür sind Eigenschaften des menschlichen Sehapparates, welche die Auflösungs- und Akkommodationsfähigkeit physiologisch determinieren.

Kontinuierliche Messdaten und diskrete Meldungen für Status- bzw. Alarmsignalisierungen werden auf den Anlagen- und Prozessdarstellungen grafisch codiert visualisiert oder als Listeneinträge dargestellt. Dies bedingt permanente Anpassungen der visualisierten Inhalte und führt zu einer hohen

Informationsdynamik. Für den Operator sind diese Informationen die Entscheidungsgrundlage für eventuelle Steuerungs- und Bedieneingriffe zur Erfüllung seiner Aufgaben (vgl. Riera & Debernard 2003). Seine grundlegenden Verantwortlichkeiten bilden die Überwachung der Prozessentwicklungen, die Identifikation kritischer Systemereignisse und die Entscheidungen, ob und welche Bedieneingriffe vollzogen werden müssen. Hauptziel ist die Gewährleistung des bestimmungsgemäßen Betriebs unter Berücksichtigung der Sollvorgaben und strategischen Zieldefinitionen (vgl. Kaber & Endsley 1997). Die Prozessautomatik initiiert Schritte, welche vom Operator zugelassen oder manuell korrigiert werden können, um kritischen Betriebszuständen entgegen zu wirken oder Unfälle zu vermeiden.

In der Fachliteratur und in Normenwerken sind für Leitwarten keine spezifisch definierten Maximalangaben als Begrenzung der Anzahl zu überwachender Visualisierungsmittel je Operator zu finden (vgl. DIN EN ISO 11064-4). Formulierungen diesbezüglich beschreiben im Allgemeinen lediglich Empfehlungen. Unstrittig ist, dass die zu bewältigende Arbeitsaufgabe und die Dynamik der Informationsvisualisierung bestimmende Kriterien für eine Entscheidung bezüglich der Visualisierungsmittelmenge bilden. Für eine effektive und effiziente Erfüllbarkeit der jeweiligen Operatoraufgaben sollte eine pauschale Minimalausstattung als Visualisierungsstrategie daher abgelehnt werden. Überlegungen bezüglich der maximalen Visualisierungsmittelausstattung müssen aber insbesondere deswegen getätigt werden, da die menschliche Wahrnehmung biologisch determiniert ist. Neben physisch bedingten Einschränkungen erweist sich auch die kognitive Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns als begrenzt. Durch eine nicht adäquate Informationsrepräsentation können so negative Beanspruchungen entstehen (vgl. Kaber & Endsley 1997; auch Wickens 2000; Schlick et al. 2010). Hinzu kommt, dass derart hochautomatisierte Anlagen meist einen hohen Komplexitätsgrad besitzen, wodurch ein hohes kognitives Leistungsniveau für die Überwachungs- und Steuerungsaufgaben erforderlich ist.

Aus diesem Grund wurden mehrere Eye-Tracking-Studien in Leitwarten durchgeführt und auftretende Effekte bezüglich des Blickverhaltens sowie der angewandten Bedienstrategien für die Interaktion an derart komplexen Mensch-Maschine-Schnittstellen in Abhängigkeit der vorhandenen Dichte an Visualisierungsmitteln analysiert. Ziel der Studien war es, durch eine differenzierte Datenerhebung Erkenntnisse über das selbstbestimmte Nutzerverhalten der Operatoren in Abhängigkeit vorherrschender Rahmenbedingungen zu gewinnen und die Ausprägung einer vermuteten Visuellen Komfortzone an komplex visualisierten Leitstandarbeitsplätzen zu prüfen (vgl. Kockrow 2014). Dazu wurden erfahrene Operatoren in bestehende Arbeitssysteme mit einem Bottom-Up-Ansatz untersucht.

## **2. Methodisches Vorgehen**

Die Studien wurden während des realen Betriebs in Leitständen von Braunkohlekraftwerken des Praxispartners Vattenfall Europe AG durchgeführt. Zunächst bildeten nur Abschnitte des bestimmungsgemäßen Normalbetriebs den Untersuchungsgegenstand, die jeweils zu vergleichbaren Tageszeiten mit dem Eye-Tracking-System analysiert wurden. Aus organisatorischen Gründen war es nur bedingt möglich, besondere Betriebszustände unter realen Bedingungen zu erfassen. Aus diesem Grund wurde ein Teil der Studie zur Erfassung derartig

spezieller Szenarien an einem Kraftwerkssimulator nachgestellt, um generalisierbare Aussagen treffen zu können.

Die Operatoren arbeiteten jeweils dreißig Minuten mit der kopfgetragenen Datenerfassungseinheit am Leitstand. Zur Anwendung kam ein funkgestütztes, kabelloses Blickfassungssystem, welches die Cornea-Reflex-Methode benutzt und sowohl Augenbewegungen als auch die frontale Umgebung des Probanden aufzeichnet. Die Identifikation des Pupillenmittelpunktes erfolgt automatisch durch Infrarotunterstützung, wodurch die Blickachse des Probanden erfasst und sein Blickverhalten ausgewertet werden kann. Der Ablauf vor Ort erfolgte standardisiert anhand definierter Materialien, beginnend bei Probandeninformation und -instruktion, Justierung und Messung.

Insgesamt 86 Operatoren konnten unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen für die Studie als Probanden gewonnen werden. Dabei wurden neun Leitwarten mit 18 unterschiedlich stark visualisierten Leitständen analysiert. Der Altersdurchschnitt lag bei 45,5 Jahren (Alterspanne 29-59 Jahre; 75,6% männliche Probanden). Alle Probanden besaßen eine mehrjährige Erfahrung beim Umgang mit dem jeweils genutzten Prozessleitsystem. Mit Monitor- und Bildwandebene beinhalteten die untersuchten Visualisierungskonstellationen acht bis 16 insgesamt vorhandene DVM. In allen Warten wurden diese DVM tiefengestaffelt organisiert.

Zur Datenaufbereitung wurden Blickkennwerte für jedes DVM des Prozessleitsystems generiert, welche dafür als Area of Interest (AOI) zu definieren waren. Zudem musste ein Nutzungsschwellwert gebildet werden, der in Abhängigkeit der Anzahl vorhandener DVM durch Bildung des Reziproken ermittelt wurde. Dieser stellt die Basis für die Kategorisierung der ermittelten Blickfrequenzen und anteilige Blickdauern dar (siehe Kockrow 2014). Die Bestimmung von Bedien- und Umschaltvorgängen erfolgte durch Sichtung und manuelle Auswerten der Feldvideos. Dazu wurde ein auf MS Excel basierendes, triggergesteuertes VBA-Tools entwickelt. Sämtliche aufbereitete Daten wurden unter Verwendung des Programme SPSS v.21 nach mathematisch-statistischen Kriterien geprüft und entsprechende Ableitungen formuliert (vgl. Kockrow 2014).

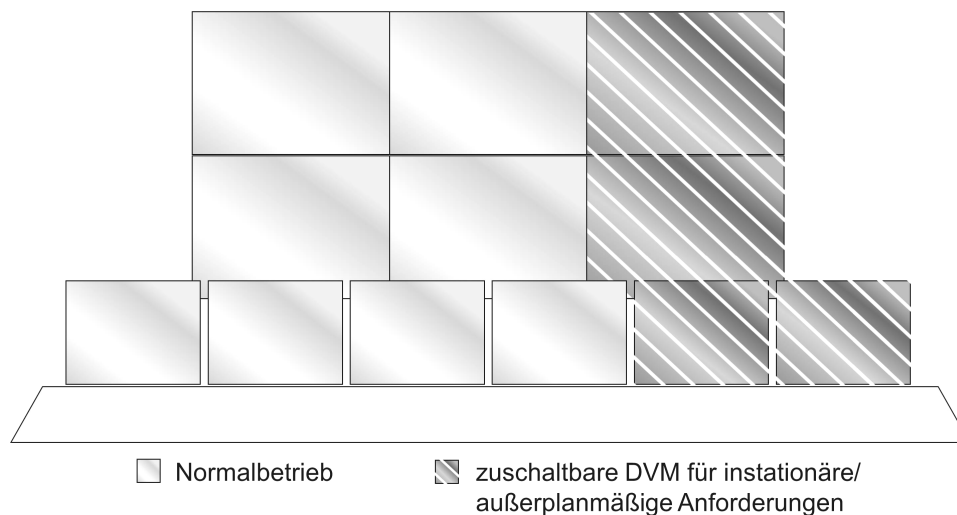
### 3. Ergebnisse

Nach Analyse aller erhobenen Daten war es möglich, Effekte bezüglich der Visualisierungsmittelnutzung durch die Operatoren zu erkennen. So konnte deutlich gezeigt werden, dass eine erhöhte Anzahl von Visualisierungselementen nicht zwingend zu einer gesteigerten Beobachtungsdichte führt. Im Allgemeinen ist jedoch zu sagen, dass installierte DVM auch genutzt werden. Wie vermutet, war aber die Ausprägung eines Hauptaktionsraumes an allen Arbeitssystemen zu beobachten, welcher im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb nie mehr als fünf Monitore und fünf Bildwandsegmente beinhaltete, meist sogar deutlich geringer ausfiel. Nachweisbar waren stark differierende Nutzungsspannen von teils extrem exponierten Blickkennwerten bis hin zu sehr sporadischen Fixationen entfernt positionierter DVM. Dabei werden Monitor- und Bildwandebene für verschiedene Handlungen in unterschiedlicher Intensität genutzt. Monitore finden offensichtlich bevorzugt für Manipulationshandlungen Verwendung.

Der anhand der Blickkennwerte und Nutzungseigenschaften nachweisbare und sich herausprägende Hauptaktivitätsbereich wurde als „Visuelle Komfortzone“ definiert: *„Die Visuelle Komfortzone ist ein individuell gewählter Hauptaktionsbereich*

von Operatoren an dynamischen Leitständen mit hohem Automatisierungsgrad, welcher durch erhöhte Blickbelegung charakterisiert ist und für Bedien- bzw. Beobachtungshandlungen im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb einer prozesstechnischen Anlage bevorzugt genutzt wird“ (Kockrow 2014, S.140). Sie teilt die visuelle Arbeitsfläche ungeachtet einer möglichen Tiefenstaffelung, wobei DVM außerhalb dieses Bereichs weniger als Arbeitsmittel für Bedienhandlungen, sondern häufiger als Übersicht gebende Darstellungen genutzt werden.

Derartige Effekte wurden an den untersuchten Kraftwerksleitständen beobachtet, treten aber mit hoher Wahrscheinlichkeit auch an Operatorarbeitsplätzen in anderen Anwendungskontexten und generell bei Leitwarten mit einer großen Anzahl an Visualisierungsmitteln auf. Denkbar sind Prozessleitwarten in verfahrenstechnischen Anlagen oder in Bereichen der chemischen Industrie. Damit sich die Visuelle Komfortzone ausprägen kann, müssen bestimmte Grundvoraussetzungen bezüglich vorhandener Rahmenbedingungen erfüllt sein. So muss es dem Operator zunächst möglich sein, seine Arbeitsumgebung und seine Aktionen relativ selbstbestimmt zu gestalten. Aus diesem Grund ist ein hoher Automatisierungsgrad der Anlage notwendig, bei dem der Operator zumeist Überwachungsfunktionen bekleidet und seine visuelle Arbeitsumgebung darauf ausrichtet. Ebenso wichtig ist die Möglichkeit, die Belegung der DVM nach persönlichen und momentan geltenden Präferenzen zu individualisieren. Als dritte Voraussetzung benötigt der Operator auch organisatorische Freiheitsgrade bei der Arbeitsgestaltung. Werden diese Freiräume geboten, so ist es wahrscheinlich, dass diese Optionen durch den Operator dafür genutzt werden, eine subjektiv beanspruchungsoptimale und effizient nutzbare Arbeitsumgebung zu schaffen.



**Abbildung 1:** Empfohlene DVM-Ausstattung auf Basis der Ergebnisse

Um auch Aussagen bezüglich nicht-bestimmungsgemäßer Betriebszustände treffen zu können, war mangels realer Betriebsszenarien deren Analyse in einem Kraftwerkssimulator initiiert worden. Dabei mussten die Probanden einen Anfahrprozess steuern, welcher durch ein unvorhersehbares Störereignis gefährdet wurde. Trotz der gesteigerten Anforderungen an den Operator während des Anfahrbetriebs wurde die Ausprägung einer vergleichbaren, Visuellen Komfortzone nachgewiesen. Mit Eintreten des Störereignisses veränderte sich jedoch auch sofort das Blickverhalten, was durch eine annähernde Gleichverteilung der

Nutzungsintensitäten auf der Monitorebene deutlich erkennbar wurde. Doch auch hier zeigte sich, dass insbesondere weit entfernt positionierte DVM nur sporadisch genutzt wurden, während notwendige Tätigkeiten zur Störungsbeseitigung auf operatornahen DVM erfolgten. In der Ableitung der Ergebnisse zeigte diese Simulatorstudie, dass alle anfallenden Bedien- und Beobachtungsanforderungen bei der Bewältigung eines Worst-Case-Szenarios durch den Operator mit sechs Monitoren und vier bis sechs Großbildsegmenten zufriedenstellend handhabbar waren.

Bezüglich des methodischen Herangehens kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Erhebung von Blickverhalten und Nutzungseigenschaften mehrerer Operatoren an einem Arbeitsplatz zwar verwertbare Ergebnisse, andererseits jedoch auch einen immens hohen Aufwand für die Datenerfassung und -aufbereitung produziert. Insbesondere die manuelle Pupillennacherkennung sowie die Sichtung der Videodaten für die triggergesteuerte Erfassung der Umschalt- und Bedienungshandlungen erwiesen sich hierbei als extrem zeitaufwendig. Die praktische Anwendung von Eye-Tracking zur Analyse der Visuellen Komfortzone an Arbeitsplätzen scheint daher nur wenig sinnvoll. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse bietet eine andere Herangehensweise gute Chancen für eine grobe Definition der Visuellen Komfortzone. Insbesondere die getätigten Bedienhandlungen lieferten statistische Zusammenhänge mit den DVM, welche anhand der Eye-Tracking-Daten der Visuellen Komfortzone zugeordnet werden konnten. Demnach kann die Erhebung des Bedienverhaltens eine gute Orientierung zur Identifikation der Visuellen Komfortzone liefern. An automatisierten Systemen ist das z. B. durch Auswertung von Systemprotokolldateien oder durch Beobachtungen der Operatoren möglich.

#### **4. Fazit**

Die Studie liefert eine Reihe von Kriterien, welche für eine bedarfsgerechte und ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen mit hohem Visualisierungsgrad zugrunde gelegt werden können. Insbesondere für Interpretationen bezüglich der optimal zu wählenden Visualisierungsmitteldichte bei der Erfordernis komplexer Informationsvisualisierungen, wie sie z. B. im Kontext von Leitwarten zu finden sind, können die abgeleiteten Ergebnisse wertvolle Hinweise bieten. Vorteil der beschriebenen Ergebnisse ist die analysierte, große Probandenstichprobe unter realen Bedingungen. Die Möglichkeiten des Praxispartners Vattenfall Europe Mining & Generation AG erwiesen sich hierbei von unschätzbarem Wert. Die erhobenen Daten vervollständigen die Datengrundlage für den wissenschaftlichen Fachbereich und erlauben gesicherte Ableitungen für die DVM-Ausrüstung von Warten im Kraftwerksbereich. Für detaillierte Beschreibungen der Studie und der abgeleiteten Erkenntnisse sei auf KOCKROW (2014) verwiesen.

#### **5. Literatur**

- DIN EN ISO 11064 (2011) Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen. Berlin: Beuth-Verlag.
- Herczeg M (2005) Softwareergonomie. München: Oldenbourg Verlag.
- Ivergård T, Hunt B (2009) Handbook of control room design and ergonomics: A perspective for the future. Boca Raton: CRC Press, 203-226.

- Kaber DB, Endsley MR (1997) Out-of-the-Loop Performance Problems and the Use of Intermediate Levels of Automation for Improved Control System Functioning and Safety. *Process Safety Progress*, Vol. 16/3:126–131.
- Kockrow R, Hoppe A (2014): Gestaltungsempfehlungen für Operatorarbeitsplätze – Ableitungen aus einer Eye-Tracking-Studie. In: EnInnov2014 - 13. Symposium Energieinnovation "Innehalten und Ausblick: Effektivität und Effizienz für die Energiewende". Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation (Hrsg.). Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, 311-312.
- Kockrow R, Hoppe A (2012) Anforderungen an die Erkennbarkeit visueller Informationen auf Anzeigesystemen an modernen Arbeitsplätzen. In: Hoppe A (Hrsg.) *Arbeit und Technik im Wandel*. Aachen: Shaker Verlag.
- Meyer I (2006) Effektivität der Prozessführung bei unterschiedlichen Oberflächen eines Prozessleitsystems. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund/Berlin/Dresden: Wirtschaftsverlag NW.
- Riera B, Debernard S (2003) Basic Cognitive Principles Applied to the Design of Advanced Supervisory Systems for Process Control. In: Hollnagel E (Ed) *Handbook of Cognitive Task Design*. London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 255-281.
- Rötting M (2001) Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, Band 34. Aachen: Shaker Verlag.
- Schlick CM, Luczak H, Bruder R (2010) *Arbeitswissenschaft*. 3. Ausg. Berlin-Heidelberg: Verlag Springer.
- Sheridan TB (2011) Adaptive Automation, Level of Automation, Allocation Authority, Supervisory Control, and adaptive Control: Distinctions and Modes of Adaption. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*. Vol.41, No.4:662-667.
- Wickens, CD (2000) The Trade-off of Design for Routine and Unexpected Performance: Implications of Situation Awareness. In: Endsley MR, Garland DJ (Ed) *Situation Awareness: Analysis and Measurement*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Inc., 211–225.