

Eye-Tracking an Operatorarbeitsplätzen – Ableitungen von Gestaltungsmöglichkeiten für ergonomische Leitstände

Roberto Kockrow, Sven Binkowski, Annette Hoppe

Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus/ Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/
Arbeitspsychologie, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus, Tel: +49 (0) 355/69-4879,
Fax: +49(0) 355/69-4866, kockrow@tu-cottbus.de, www.tu-cottbus.de/awip

Kurzfassung: Durch Eye-Tracking und softwareergonomische Studien kann die Visualisierungsmittelausstattung in Leitwarten hinsichtlich der menschengerechten Gestaltung überprüft werden. Eine große Anzahl von Visualisierungen im horizontalen und vertikalen Sehbereich sowie in tiefengestaffelter Aufstellung belastet die arbeitenden Operatoren sowohl physisch als auch psychisch. Aufgrund des begrenzten Blick- und Gesichtsfeldes des Menschen muss die Ausrichtung und Dimensionierung von Anzeigegeräten besonders gut auf die technischen, organisatorischen und menschlichen Erfordernisse abgestimmt werden. Im Folgenden werden ergonomische Ansätze vorgestellt, die diese Anforderungen berücksichtigen und die Grenzen der Visualisierungsmöglichkeiten aufzeigen. Dabei wird auf eine breite Datenbasis aus ergonomischen Untersuchungen in Kraftwerksleitzentralen sowie einer laufenden Reihe von Blickerfassungsstudien an Leitständen zurückgegriffen.

Keywords: Eye-Tracking, Blickerfassung, Blickfeld, Leitwarte, Ergonomie, Visualisierung

1 Motivation

Bedingt durch die sich vollziehende Energiewende werden auch neue Anforderungen an Operatoren gestellt, da Überwachungs- und Steuerungshandlungen aufgrund der Einspeisung erneuerbarer Energiequellen aufwendiger und zeitkritischer werden. Durch das Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus wurden mit Hilfe eines Eye-Tracking-Systems verschiedene Operatorarbeitsplätze in Kraftwerksleitwarten analysiert.

Operatorarbeitsplätze in Leitwarten sind generell geprägt durch eine hohe Anzahl von oftmals tiefengestaffelt positionierten Visualisierungsmitteln. Nach DIN EN ISO 11064-4 sind mehr als vier Monitore mit max. 25 Zoll an modernen Operatorarbeitsplätzen ohne Wechsel der Sitzposition für Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten nicht ergonomisch nutzbar. Durch allgemeine Überwachungsanzeigen kann die Visualisierung vervollständigt werden. Bei Wartenneu- und Umbauten ist jedoch tendenziell die Installation einer größeren Anzahl von Visualisierungsmitteln zu beobachten. Als Gründe hierfür werden oft die Notwendigkeit einer umfangreichen Prozessvisualisierung im Falle unvorhersehbarer Störungen, ein hohes Sicherheitsbedürfnis oder die Komplexität des Systems genannt. Auch wenn der Wechsel der Sitzposition ermöglicht wird, ist davon auszugehen, dass die stark erhöhte Anzahl an Anzeigen und Visualisierungselementen sowohl physische als auch psychische

Beanspruchungen begünstigt. Wichtig wird daher die menschengerechte Gestaltung der Arbeitsmittel, um negative Beanspruchungen zu verringern und die Verfügbarkeit der Anlage zu optimieren.

Ziele der Untersuchung sind zum einen die Bewertung der software-ergonomischen Qualität und die Identifikation angewandter Bedienstrategien. Die erhobenen Eye-Tracking-Daten erlauben zum anderen die Auswertung von Nutzungshäufigkeiten der vorhandenen Visualisierungsmittel. Die Untersuchung fand sowohl in Leitwarten mit hoher als auch geringerer Visualisierungsmitteldichte statt. Zwei der drei bislang untersuchten Leitwarten wiesen eine Tiefenstaffelung der Anzeigen auf. In der dritten untersuchten Leitwarte stand nur eine Bildwand für die zu erledigenden Bedien- und Beobachtungsaufgaben zur Verfügung. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen zur Visualisierungsmittelnutzung wurden Überlegungen angestellt, wie eine optimale Gestaltung von Wartenarbeitsplätzen erfolgen sollte und entsprechende Gestaltungsempfehlungen unter Berücksichtigung ergonomischer Parameter mit dem Praxisziel der Minimierung von Bedienfehlern sowie negativen Beanspruchungen gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Grundlagen des Eye-Tracking und der Blickbewegungen

Im Bereich des Eye Tracking haben sich zwei wesentliche Arten von Blickerfassungssystemen entwickelt (Hammoud 2007). Zum einen existieren kopfgetragene Aufnahmeverfahren, bei denen über eine Kopfeinheit Daten erfasst werden. Die Bewegungsfreiheit bleibt uneingeschränkt erhalten, so dass sich diese Systeme besonders eignen, wenn die Arbeitsaufgabe die Nutzung mehrerer Arbeitsmittel oder eine große Übersichtswahrnehmung erfordert. Zum anderen gibt es desktopbasierte Aufnahmeverfahren, bei denen die Kameras zur Augenerfassung an einem Bildschirm montiert sind und berührungslos die Blickbewegungen der Probanden erfassen. Da der untersuchte Visualisierungsbereich nur auf diesen Bildschirm lokalisiert ist, konnte ein derartiges Gerät für die durchgeführte Untersuchung nicht verwendet werden.

Die Pupillenerkennung wird durch einen schwachen Infrarotimpuls möglich, mit dem das Auge des Probanden bestrahlt wird. Dessen Brechpunkt auf der Hornhaut kann von der IR-sensiblen Augenkamera erfasst werden (Cornea-Reflex-Methode). Somit wird der Pupillenmittelpunkt bestimmt und durch Kombination mit dem erfassten Feldvideo die Generierung des Blickpunktes möglich. Um Blickkennwerte relevanter Bereiche im Blickfeld des Probanden, so genannte Interessenbereiche oder Areas of Interest (AOI), statistisch auswerten zu können, ist die Platzierung von definierten Markern im untersuchten Arbeitsbereich nötig. Diese werden automatisiert erkannt und bilden in Form von zugewiesenen kartesischen Koordinaten im Bild Referenzpunkte für die Zuweisung von AOI.

Augenbewegungen werden nach RÖTTING als die Bewegungen des Augapfels bezeichnet, die durch Beobachtung bzw. Eye-Tracking-Methoden erfassbar sind. Diese Bewegungen werden zu Blickbewegungen, wenn mit ihnen die Aufnahme visueller Informationen verbunden ist (Rötting 2001, S.14). Fixationen, also Ruheperioden des Auges zwischen den als Sakkaden bezeichneten Blicksprüngen, ermöglichen die visuelle Verarbeitung eines

Reizes im Bereich schärfsten Sehens (fovealer Bereich). In diesem Bereich sind Sehschärfe und Detailgrad maximal. Die Informationsaufnahme ist nur bei ruhendem Auge möglich. Augen- und Blickbewegungen sind jedoch ständig erforderlich, da das Blickfeld des Menschen begrenzt und die Sehleistung des Auges für verschiedene Bereiche des Blickfeldes unterschiedlich gut ausgeprägt ist.

2.2 Anthropometrische Bedingungen zur Visualisierungsgestaltung

Aufgrund der sehr kleinen Fläche der Fovea centralis ist auch der Bereich schärfsten Sehens mit einem Öffnungswinkel von ca. 2° horizontal und 1° vertikal um den Fixationsort sehr begrenzt (Issing, 1986, S.15). In etwa entspricht dies der Größe des Daumennagels bei ausgestrecktem Arm. Die gedachte Linie durch die Pupille und die Fovea centralis wird Sehachse genannt. In einem Bereich von ca. $4^\circ - 5^\circ$ um die Sehachse befindet sich der parafoveale Wahrnehmungsbereich (auch optimales Blickfeld, vgl. Abb. 1; a_{opt}), in dem auf Grund der Abnahme der Stäbchen eine Minderung der Sehschärfe um bis zu 50% in den Bereichen um 5° erfolgt. Trotzdem ist die Sehleistung in diesem Areal noch ausreichend gut. Dahingehend ist es im extrafovealen Wahrnehmungsbereich ($\pm 15^\circ$) gerade noch möglich, brauchbare visuelle Informationen aufzunehmen (a_{max}). An ihn schließt sich der periphere Wahrnehmungsbereich an, welcher sich durch ein hohes zeitliches Auflösungsvermögen auszeichnet und besonders sensitiv für Bewegungen und Veränderungen der Umwelt ist. Das periphere Sehen liefert viele Informationen, die zur Auslösung und Steuerung von Blickbewegungen dienen. So bewirken als potentiell interessant interpretierte Reize im Wahrnehmungsbereich Blicksprünge, welche zur Ausrichtung des fovealen Bereichs auf das Sehobjekt dienen.

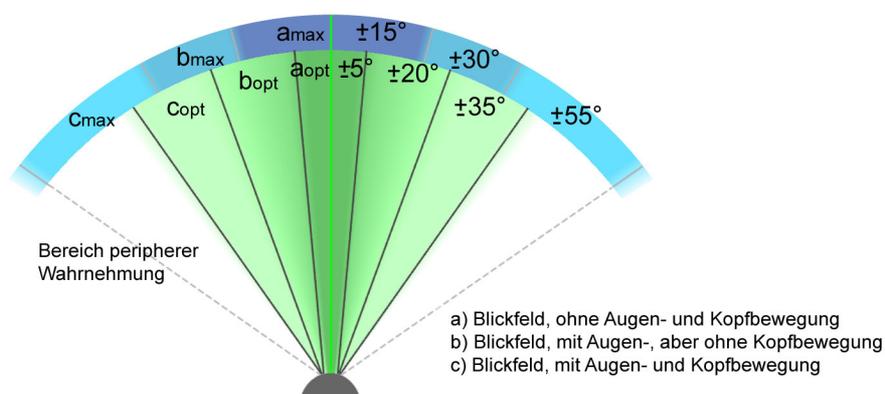


Abbildung 1: Blickfeldwinkel in optimaler und maximaler Auslenkung

Neben dem Gesichtsfeld, in dem Sehreize entdeckt werden können, ist für die Überwachungstätigkeit das Blickfeld von besonderer Bedeutung. Innerhalb des Blickfeldwinkels können Sehinformationen fixiert und die Anzeigen genau wahrgenommen werden. Eine optimale Erfassbarkeit durch Augenbewegung ohne zusätzliche Kopfbewegung liegt bei bis zu $\pm 20^\circ$ für die horizontale Auslenkung (b_{opt}). Bei einer Unterstützung durch den Hals-/Nackенbereich kann das Blickfeld bei einer angenehmen Auslenkung auf $\pm 35^\circ$ erweitert werden (VDI/VDE 3546). Optimal bzw. angenehm bezieht sich hierbei auf eine dauerhaft zumutbare Arbeitsgestaltung (vgl. Rohmert & Rutenfranz, 1975, S. 12), die zu keiner negativen Beanspruchung auch bei längerer Belastungsdauer führt und die Anforderungen des Standes von Wissenschaft und Technik erfüllt. Natürlich

sind durch stärkere Auslenkungen größere Blickfeldwinkel erreichbar, jedoch entstehen durch die Belastung der Hals- und Nackenmuskulatur Beanspruchungen, die bei längerer Exposition zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können. Im Mittel klagen 46,1% aller Erwerbstätigen in Deutschland über Beschwerden im Nacken- und Schulterbereich (vgl. SUGA, 2010, S. 67), wovon ein nicht unerheblicher Teil auf nicht ergonomisch ausgelegte Sehaufgaben zurückgeführt werden kann.

Sowohl die physiologischen Wahrnehmungsgrenzen des Auges als auch die Körperhaltung und Rahmenbedingungen müssen bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen berücksichtigt werden. So sind beim geraden Sitzen der Kopf ($10-15^\circ$) sowie das Auge ($15-20^\circ$) leicht zum Rumpf geneigt. Dies entspricht einer entspannten Körperhaltung. Somit ergibt sich die Absenkung der Sehachse zur Horizontalen um $25-35^\circ$. (Schmidtke, 1993, S. 507-508, DIN EN ISO 9241-5) Dementgegen wird auch eine um $10-15^\circ$ gesenkte Blicklinie für die Arbeit mit Visualisierungsmitteln als günstig angesehen. Durch leichte Augenbewegungen kann das vertikale Blickfeld hierbei um $+5^\circ$ bis -30° um die horizontale Sehachse abgedeckt werden. Ohne Augen- und Kopfbewegung kann der Mensch Informationen in einem Bereich von $\pm 15^\circ$ um diese Blickachse wahrnehmen (Grandjean, 1996, S. 46-48).

Bereits in aufrechter Körperhaltung ergeben sich für die Augenhöhe deutliche Unterschiede aufgrund der statistischen Verteilung von Körpermaßen. Die in der Ergonomie verbreitet berücksichtigten anthropometrischen Maße werden durch das 5. und das 95. Perzentil begrenzt. Für eine potenzielle beidgeschlechtliche Nutzergruppe im Alter zwischen 18 und 65 Jahren ergibt sich im Sitzen zwischen der geringsten Augenhöhe (1180mm) und der größten (1345mm) eine deutliche Differenz von 16,5cm. Im Fall der stehenden Arbeitshaltung sind es sogar 30,5cm (DIN 33402). Hierdurch ergeben sich sehr unterschiedlich Blick- und Betrachtungswinkel, die nicht in allen Situationen durch regulierbare Arbeitsmittel ausgeglichen werden können. Für Schuhe muss zusätzlich zu den anthropometrischen Maßen ein Zuschlag von 30mm (DIN 33402-2 Beiblatt 1) für die Sohlendicke Berücksichtigung finden. In weiterer Abhängigkeit von der Anzahl und der Größe von Visualisierungsmitteln müssen für alle Nutzer im 5.-95. Perzentilbereich menschengerechte Arbeitsbedingungen hergestellt werden, die eine angemessene physische Belastung ermöglichen.

2.3 Anforderungen für die Erkennbarkeit von Visualisierungsmitteln

Die Positionierung von Visualisierungsmitteln ist weiterhin von der dargestellten Zeichengröße und dem Sehabstand abhängig. Anhand der Sehwinkel kann zudem die Dimensionierung von Anzeigen abgeleitet werden. Umgekehrt vergrößern sich bei einer großen Anzahl von Visualisierungsmitteln auf Grund der horizontalen und vertikalen Sehfelderweiterung der Sehabstand und der Betrachtungswinkel. Dieser sollte möglichst mit einem 90° -Winkel auf die Projektionsebene auftreffen (DIN EN ISO 11064-4).

Diese Anforderungen können in der Horizontalen nur durch Wölbung, in der Vertikalen durch Neigung der Visualisierungsmittel zum Arbeitsplatz gewährleistet werden. Die Wölbung des Pultes sollte sich ungefähr an der ausgeführten Wölbung der Bildwand orientieren. Für die Neigung sind Arbeitshaltung und Körpergröße der potentiellen Nutzer zu berücksichtigen.

Für die Ablesbarkeit von Anzeigen und Skalen wird in Abhängigkeit des Sehabstandes eine minimale Zeichengröße von 12 Winkelminuten für Großbuchstaben gefordert (Charwat, 1994, S.393). Für größere Textdarstellungen werden 15-20 Winkelminuten empfohlen (DIN EN ISO 11064-4, DIN EN 894-2). Die Empfehlungen der DIN EN ISO 9241-303 berücksichtigen zudem die Lesbarkeit von Fließtexten, was im Kontext von Prozessleitsystemen jedoch keine Relevanz besitzt. Ist die Zeichengröße fix, muss der Sehabstand entsprechend angepasst werden. Eine optimale Mindestzeichenhöhe für Ziffern wird für Abstände von 1,50m mit $\geq 9,5\text{mm}$ und bei 3,00m mit $\geq 16,0\text{mm}$ angegeben (Schmidtke, 1989, S. 69). Diese Sehabstände sind vom Alter der Probanden unabhängig, da ausgehend von einer medizinisch angemessenen Sehhilfe bei Beeinträchtigungen des Visus davon ausgegangen werden kann, dass eine relativ gleichbleibende, optimale Sehschärfe erreicht wird. Berücksichtigung muss jedoch die Beeinträchtigung des Sehvermögens aufgrund einer altersbedingten Abnahme des Adaptionsvermögens finden.

Weiterhin sollte die Pultplatte eine Mindestbreite von 1600mm und eine Tiefe von 800mm aufweisen (BGI 650). Für ergonomisch optimale Arbeitsbedingungen ist ein Wechsel von Steh- und Sitzposition für die Arbeit angeraten. Dazu muss der Tisch entsprechend höhenregulierbar gestaltet sein (650mm – 1250mm nach DIN EN 527-1). Für die sitzende Position ist für ausreichend Beinfreiheit und die Vermeidung von Stoßstellen, insbesondere im Kniebereich, zu achten. Die zum Operator gerichtete Tischkante sollte mit großem Radius abgerundet sein, um das Abdrücken von Blutgefäßen bei Armauflage zu vermeiden.

3 Methodik

Um die mehrdimensionale Zielstellung im speziellen Arbeitssystem Leitwarte hinreichend erfüllen zu können, fanden mehrere Methoden zur Datenaufnahme Verwendung. Schwerpunkte bildeten dabei eine Blickerfassungsstudie, Probandeninterviews sowie eine ausführliche Analyse und Bewertung der Softwareergonomie.

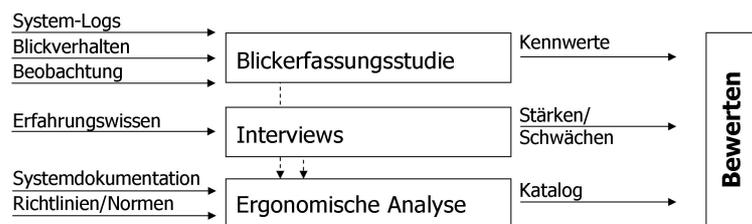


Abbildung 2: Methodik der Untersuchung

Primär wurde die Eye-Tracking-Studie mit dem Dikablis-Blickerfassungssystem der Firma Ergoneers GmbH durchgeführt. Ursprünglich für den Automotivebereich entwickelt, stellt das verwendete Blickerfassungssystem Dikablis Wireless auch für Bedien- und Beobachtungsaufgaben an Leitständen ein geeignetes Werkzeug zur Datenaufnahme dar. Diese erfolgte während der Arbeit am Leitstand mit einer Art Brille, welche sowohl den Arbeitsbereich als auch das Auge des jeweiligen Probanden in separaten Videostreams aufnimmt. Dabei ist eine Echtzeitüberwachung der Aufnahme möglich, welche die permanente Validierung der Messgenauigkeit ermöglicht. Nach einer zeitaufwendigen Auswertungsprozedur sind mit diesen Daten Aussagen zu Areas of Interest ableitbar. Für jedes AOI können z. B. Fokussierungshäufigkeit, Blickfrequenz oder Verweildauer statistisch aufbereitet und entsprechend bewertet werden. Als freiwillige Probanden stellten sich

Operatorinnen und Operatoren in den untersuchten Kraftwerksleitwarten zur Verfügung, welche mit dem Blickerfassungssystem am Leitstand arbeiteten. Bedingt durch unterschiedliche Erfahrungen und Gewohnheiten konnte der individuelle Umgang mit dem Prozessleitsystem und der am Arbeitsplatz verfügbaren Arbeitsmittelausstattung erfasst werden.

Zur Fundierung dieser Daten fanden Interviews mit den Probanden statt, welche sich hauptsächlich auf Funktionalitäten und Eigenschaften der Prozessleitsoftware bezogen. Zudem wurde von den Probanden eine subjektive Benotung bestimmter Software-ergonomischer Grundanforderungen erbeten, um eine erfahrungsbezogene Bewertung des Systems nach individuellen Benutzungsanforderungen zu ermöglichen. Es erwies sich als zwingend notwendig, die Interviews zu führen, da eine ergonomische Bewertung zum einen umfassende Systemkenntnis, zum anderen Expertenwissen zu software-ergonomischen Gestaltungsgrundsätzen erforderlich macht. Die Interviews wurden anhand eines Leitfadens geführt, welcher sich an den ISONORM-Fragebogen anlehnte (Prümper & Anft, 1993). Nicht alle Kategorien konnten dabei unverändert auf Prozessleitsysteme angewendet werden, wodurch einige Detailfragen auf die speziellen Softwareanforderungen adaptiert werden mussten. Diese Anpassungen waren vor allem für Kriterien der Individualisierbarkeit, Steuerbarkeit und Fehlertoleranz nötig, um Funktionalitäten im speziellen Kontext sinnfölig zu hinterfragen. Die Interviews lieferten als standardisierte Methode aufgrund des definierten Ablaufes und Wortlautes vergleichbare Ergebnisse für alle untersuchten Systeme.

Die Interpretation der erhobenen Daten wurde durch die Kombination der gewonnenen Ergebnisse aus beiden methodischen Teilbereichen möglich. Sie flossen in die ergonomische Prüfung der Software ein, welche durch ein Expertenteam am Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie für entsprechende Softwareanalysen durchgeführt wurden. Die untersuchten Leitwarten ermöglichten durch die unterschiedliche Visualisierungsmittelmenge zudem interessante Ableitungen bezüglich Bedienstrategien und Nutzungsgewohnheiten.

Die Studie wurde bislang in zwei Kraftwerken der Vattenfall Europe AG durchgeführt. Insgesamt nahmen 40 Probandinnen und Probanden in drei Leitwarten teil. Um auch für die Blickerfassungsdaten eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, fand die Studie in den Kraftwerksleitwarten unter adäquaten Betriebsbedingungen statt. Daten wurden unter normalen Betriebsbedingungen in der Spätschicht mit den etwas ruhiger verlaufenden, operativen Anforderungen erhoben. Die Studie wird derzeit in zwei weiteren Kraftwerken fortgesetzt und der Datensatz durch die Untersuchung von voraussichtlich 55 Probandinnen und Probanden in sechs Leitwarten vervollständigt. Die Auswertung und Verknüpfung der Daten mit den Ergebnissen dieser Untersuchungsabschnitte ist zum Jahresende 2012 geplant.

4 Ergebnisse und Ableitungen

Es zeigte sich, dass die zur Arbeit mit dem System angewandten Bedienstrategien der Benutzer abhängig von der Visualisierungsmitteldichte variieren. Zudem konnte abgeleitet werden, dass eine größere Anzahl an Visualisierungsmitteln nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Beobachtungsdichte führt. Die Messergebnisse belegen, dass die Bereitstellung verhältnismäßig weniger Anzeigeräte am Leitstandsarbeitsplatz durch eine erhöhte

Bildwechselfrequenz ausgeglichen wird. In Abhängigkeit des Betriebszustandes der zu steuernden Anlage kann dies sowohl negative als auch positive Effekte generieren. Im planmäßigen Betrieb, bei dem die Operatortätigkeit überwiegend durch Beobachtungshandlungen geprägt ist, besteht eine erhöhte Gefahr langer, aktivierungsarmer Phasen. Unter Umständen können solche Abschnitte bereits bei einer Länge von 10-20min zu herabgesetzter Wachsamkeit bzw. Signalentdeckungsleistung führen (DIN 10075-2, 2000). Sind bei geringer Anzahl von Visualisierungsmitteln jedoch vermehrt Aufschaltungen von Anlagenbildern erforderlich, um den Prozessüberblick zu erhalten, trägt dies dazu bei, durch kognitive Aktivierung in diesen Phasen Operatoren aktiv am Prozess zu halten und einem Wachsamkeitsverlust entgegen zu wirken. Negativ würde eine derartige Konstellation von Visualisierungsmitteln wirken, wenn aufgrund unplanmäßiger Betriebszustände eine umfassende Prozessübersicht erforderlich ist. Steht nur eine begrenzte Visualisierungsmittellanzahl zur Verfügung, bewirkt das notwendige permanente Umschalten von Anlagenbildern hohe kognitive Beanspruchungen, da eine große Anzahl von Kennwerten und Entwicklungstrends für regulierende Steuerungseingriffe im Kurzzeitgedächtnis gehalten werden müssen.

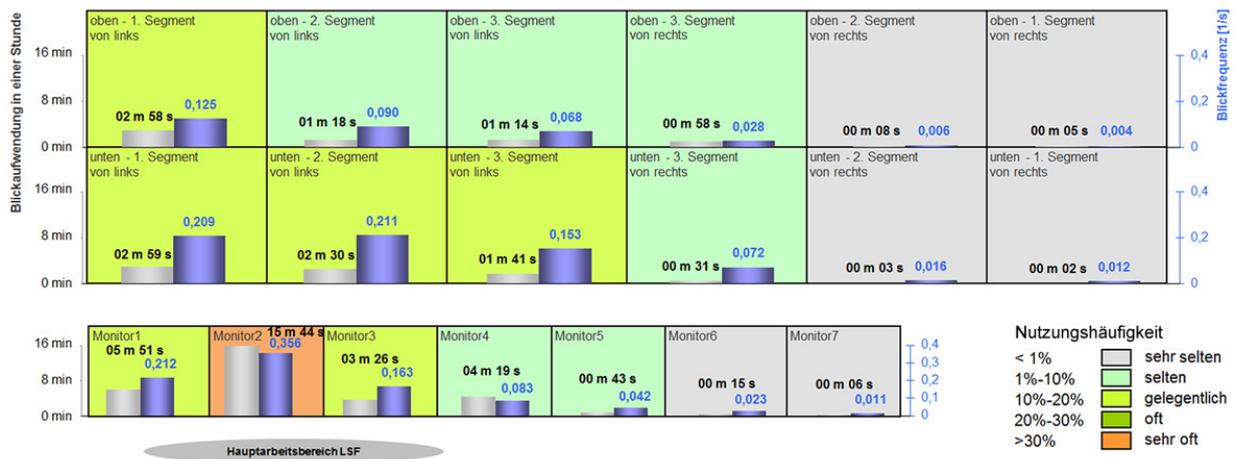


Abbildung 3: Visuelle Nutzungshäufigkeit eines untersuchten Operatorarbeitsplatzes

Die durchgeführte Studie belegt, dass bei tiefengestaffelten Anzeigen unabhängig von der Anzahl zur Verfügung stehender Visualisierungsmittel (Monitore, Bildwandsegmente in Rückprojektion) neben vier Monitoren im Hauptarbeitsbereich der Operatoren höchstens vier Bildwandsegmente intensiver genutzt werden. Bedienhandlungen werden dabei verstärkt auf den nahe der Sitzposition im zentralen Blickfeld gelegenen Visualisierungselementen durchgeführt. Dies gilt ebenso für intensive Beobachtungshandlungen kritischer oder potentiell anfälliger Prozesse, bei denen erfahrungsgemäß schnelles und gezieltes Eingreifen erforderlich werden kann. Die Blickfassungsergebnisse zeigen zudem, dass entfernt positionierte Anzeigen eher für Kontrollblicke im Beobachtungsprozess als sekundäre Anzeigen herangezogen werden.

In Prozessleitsystemen sollten Symbole und Schriftzeichen bei gleicher Hierarchiestufe identisch gestaltet sein. In allen Leitwarten stellten sich die ermittelten Zeichenhöhen auch bei kürzestem vorhandenen Sehabstand als zu gering im Vergleich zu der empfohlenen, minimalen Zeichengröße dar. Dies wurde vor allem bei Großbildprojektionen beobachtet. Keiner der Befragten sah dies jedoch als problematisch an, da die Les- und Erkennbarkeit

der Zeichen (ggf. bei Nutzung entsprechender Sehhilfen) trotzdem eindeutig möglich war. Dies traf zum Beispiel selbst bei einer Zeichenhöhe von 8mm und einem Sehabstand von 2,80m zu, was einem Blickwinkel von ca. 8 Winkelminuten entspricht und die minimal geforderten 12' für Skalen nach CHARWAT deutlich unterschreitet. Diskussionen mit Operatoren ließen erkennen, dass eine deutlich größere Zeichengröße jedoch eher unerwünscht ist, da die ohnehin komplexen Anlagenbilder dadurch überfrachtet wirken würden. Nach Meinung der Operatoren wäre so die allgemeine Übersichtlichkeit gefährdet, der sie eine hohe Bedeutung zuerkennen.

Besonders deutlich wirkt sich die zu kleine Schrifthöhe bei entfernt vom Arbeitsplatz gelegenen Visualisierungsmitteln durch die Vergrößerung des Sehabstandes aus. Sie stellt sich in diesem Fall ohne ein aktives Wechseln der Sitzposition gerade alternsbedingt als deutlich zu gering und nicht eindeutig ablesbar dar. Die Befragung der Probanden belegte dieses Defizit. Allerdings scheint das Erfahrungswissen der Operatoren hier kompensierend zu wirken. Wie auch die Blickerfassungsstudie belegt, werden auf den entfernt positionierten Visualisierungsmitteln bestimmte Spots fixiert, die als relevanter Indikator bezüglich der jeweiligen Prozessentwicklung bekannt sind. Das wertmäßig exakte Ablesen von Kenngrößen wird zweitrangig, da zusätzlich meist auch grafische Darstellungen sowie entsprechend priorisierte Hervorhebungen visualisiert werden.

Für Anzeigesysteme führen die physiologischen Vorgaben der Kopf- und Augenbewegung zu einer notwendigen Begrenzung der horizontal aufgestellten Visualisierungsmittel sowie deren Nutzungsintention. Im frontalen Bereich bei angemessener Augenbewegung (20°) kann die Visualisierung für einen mittleren Sehabstand (d) von 2,50m maximal 1,82m in der Breite betragen ($b = 2 \tan \alpha \cdot d$). Weitere 0,84m können jeweils links und rechts zugeschlagen werden, wenn eine leichte Kopfbewegung von 15° einbezogen wird. Diese sollte jedoch jeweils nur über begrenzte Zeit aufrechterhalten werden, um Überbeanspruchungen des Hals- und Nackenbereiches zu vermeiden. Die Nutzung der frontalen Visualisierung besitzt daher hohe Priorität für die Überwachung und sollte über den höchsten Zeitanteil der Sehaufgabe Verwendung finden. Die seitlichen Bereiche können für kurzzeitige Kontrollaufgaben genutzt werden. Sind mehr Visualisierungsmittel erforderlich, so ist es zwingend notwendig, für deren Betrachtung eine aktive Körperbewegung vorzusehen. Das heißt, nicht der Kopf wird gedreht, sondern der ganze Körper einschließlich Arbeitsstuhl (Drehen und/oder Rollen des Stuhls). Hierdurch ergibt sich theoretisch die Möglichkeit, die Visualisierungsmittel in einem Halb- oder Vollkreis um den Operator anzuordnen. Voraussetzung ist dabei, dass wiederum Primär- und Sekundärvisualisierungen gezielt für die Bedienstrategien genutzt werden. In der Praxis ist jedoch eine zu enge Einhausung am Arbeitsplatz aus psychologischen und kommunikativen Gründen ungünstig. Daher ist eine Erweiterung des Visualisierungskreises nahe liegend. Es entstehen jedoch Nachteile durch unterschiedliche Sehabstände und Verzerrungseffekte, da der Betrachtungswinkel in diesen Fällen unter 90° liegt. Diese sollten so weit wie möglich verringert werden, was zur Forderung einer möglichst geringen Anzahl von Anzeigegeräten führt. Ähnliches gilt auch für den vertikalen Sehbereich. Hier können Verzerrungen je nach Höhe im Blickfeld durch Kippen der Visualisierungsmittel ausgeglichen werden. Optimal wäre jedoch generell eine Individualisierbarkeit der Großprojektionen in der Höhe, wie es bei höhenverstellbaren Tischen und Monitorzeilen möglich ist, um die ergonomischen Anforderungen für unterschiedliche Körpergrößen als auch Steh- und Sitzpositionen zu erfüllen. Ebenso muss

beachtet werden, dass der Greifraum für Eingabegeräte und Schreibutensilien nach der Körperdrehung weiterhin gewährleistet ist. Daher muss der Arbeitstisch in einem äquivalenten Bogen zu den Visualisierungsmitteln aufweisen. Die Einhaltung der genannten Anforderungen bekommt bei Prozessleitständen, welche für die Visualisierung nur eine Großbildprojektion bereitstellen eine gesteigerte Relevanz, da im Bedarfsfall weder alternative Anzeigen im Nahbereich verfügbar sind noch kompensierende Bewegungsfreiräume existieren.

5 Fazit

Die durchgeführte Eye-Tracking-Studie belegt, dass eine größere Anzahl an Visualisierungsmitteln nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Beobachtungsdichte führt. Erkennbar sind jedoch angepasste Bedienstrategien, die in Abhängigkeit der jeweiligen Betriebssituation sowohl positive als auch negative Effekte bewirken können. Im analysierten planmäßigen Betriebszustand werden lediglich einige der bereitgestellten Visualisierungselemente intensiv genutzt. Die Verringerung der Anzeigegeräte am Arbeitsplatz wurde jedoch von den Operatoren mehrheitlich nicht gewünscht bzw. als negative Entwicklung bewertet. Daher sollten Aspekte wie eine effektive und effiziente Aufgabenerfüllung sowie die Gewährleistung ergonomischer Grundprinzipien Berücksichtigung finden. An bereits übermäßig stark visualisierten Leitständen muss ein quantitativer Rückbau durch intensive Aufklärungsarbeit und ein angepasstes Bedienungstraining unterstützt werden. Nur so lässt sich vermeiden, dass Widerstände gegenüber neuen Überwachungs- und Bedienkonzepten auftreten.

Die Untersuchungen ergaben, dass bereits durch die Positionierung der Visualisierungselemente ergonomisch teils stark variierende Rahmenbedingungen erzeugt werden. So kann eine Wölbung bzw. Neigung der Anzeigegeräte deutlich zu konformen Sehabständen beitragen. Die Abstimmung der Gestaltung der Arbeitsmittel ist dabei jedoch von vielen Parametern abhängig, deren menschengerechte Optimierung nicht immer gleichgerichtet ist. Eine konsequente Anpassung auf das Blickfeld und die Erkennbarkeit führt zu der Erfordernis größerer Körperbewegungen. Um Fehl- und Zwangshaltungen auszuschließen, ist eine sorgfältige Abstimmung der einzelnen ergonomischen Parameter notwendig. Durch Wölben des Arbeitstisches und der Tiefenvisualisierung, sowie Neigung von Geräten können nur einige Anforderungen erfüllt werden. Letztlich sollte eine weitgehende Individualisierbarkeit der einzelnen Arbeitsmittel gegeben sein, um eine adäquate physische und psychische Beanspruchung zu gewährleisten. Da Sehaufgaben bei der Tätigkeit der Operatoren in Leitwarten fast über die gesamte Arbeitszeit stattfinden, diese systemkritisch sind und direkten Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg des Betriebes haben, müssen ergonomische Parameter stärker in Gestaltungsprozesse einfließen.

6 Literatur

BGI 650: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze. Leitfaden für die Gestaltung. VGB/ BAuA, 2011

Charwat, H.J.: Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation. 2, verb. Aufl., München: Oldenbourg, 1994

DIN 33402-2: Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte. 2005

DIN 33402-2 Beiblatt 1: Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte; Beiblatt 1: Anwendung von Körpermaßen in der Praxis. 2006

DIN EN 527-1: Büromöbel - Büro-Arbeitstische - Teil 1: Maße. 2011

DIN EN 894-2: Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 2: Anzeigen. 2008

DIN EN ISO 9241-5: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung. 1999

DIN EN ISO 9241-303: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen. 2008

DIN EN ISO 10075-2: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze. 2000

DIN EN ISO 11064-4: Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen. 2011

Grandjean, E.: Fitting the task to man. A textbook of occupational ergonomics. 4. Auflage. London: Taylor and Francis, 1996

Hammoud, R.I.: Passive Eye Monitoring. Algorithms, Applications and Experiments. Berlin: Springer Verlag, 2007

Issing, L. J.; Mickasch, H.; Haack, J. (Hrsg): Blickbewegung und Bildverarbeitung. Kognitionspsychologische Aspekte visueller Informationsverarbeitung. Frankfurt/Main: Verlag Peter Lang, 1986

Prümper, J. & Anft, M.: ISONORM 9241/10. Beurteilung von Software auf Grundlage der Internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241/10. 1993.

http://www.ergo-online.de/site.aspx?url=html/service/download_area/titel.htm

Rohmert, W. und Rutenfranz, J.: Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn: Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, 1975

Rötting, M.: Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, Band 34. Aachen: Shaker Verlag, 2001

Schmidtke, Heinz: Ergonomische Prüfung von technischen Komponenten, Umweltfaktoren und Arbeitsaufgaben – Daten und Methoden. München: Carl Hanser Verlag, 1989

Schmidtke, Heinz: Arbeitsplatzgestaltung. In: Schmidtke, Heinz (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl., München: Hanser, 1993

SUGA, Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2010. Unfallverhütungsbericht Arbeit. Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2010

VDI/VDE 3546-5: Konstruktive Gestaltung von Prozessleitwarten. Anordnung von Monitoren. 1991