

# Visualisierungsmitteldichte in Leitwarten

Roberto Kockrow, Annette Hoppe

Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg,  
Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie,  
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus,  
T: +49 (0)355/ 69-4879, E: kockrow@b-tu.de, www.tu-cottbus.de/awip

## **Kurzfassung:**

Mittels breit angelegter Eye-Tracking-Studien wurden durch das Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie der BTU Cottbus-Senftenberg eine Vielzahl von unterschiedlich stark visualisierten Leitstandarbeitsplätzen analysiert. Ziel war es, Nutzungsgewohnheiten und –verhalten der Operatoren sowie die Verwendungsintensitäten der vorhandenen Visualisierungsmittel zu erfassen. Die Studien fanden während des bestimmungsgemäßen Betriebs in Kraftwerksleitwarten des Kooperationspartners Vattenfall Europe AG statt. Über eine große Stichprobe konnten so generalisierbare Erkenntnisse gewonnen, Empfehlungen für eine adäquate Prozessvisualisierung abgeleitet und die Visuelle Komfortzone der Operatortätigkeit definiert werden.

**Keywords:** Visuelle Komfortzone, Leitwarten, bedarfsgerechte Visualisierung, Ergonomie

*Hinweis: Werden Personen- oder Funktionsbezeichnungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht ein und stellt keine Diskriminierungsabsichten dar.*

## **1 Herausforderung**

In der heutigen Arbeitswelt laufen viele Produktionsprozesse und –verfahren automatisiert ab. Die Steuerung und Koordination aller Prozessabläufe erfolgt bei (teil-)automatisierten Systemen meist zentralisiert in Leitwarten an sogenannten Supervisory Control Systems oder Prozessführungssystemen. Kernaufgaben des Leitwartenpersonals (auch Operatoren genannt) können dabei grob mit Informationsbeschaffung, Problemidentifikation, Entscheidungsfindung und Manipulationshandlungen zusammengefasst werden (vgl. Riera & Debernard 2003). Damit einher geht eine Verlagerung von physischen hin zu eher psychisch wirkenden Belastungsquellen, da körperliche Aktivitäten zu Großteilen von kognitiv fordernden Tätigkeiten abgelöst werden. Ein ursprünglich manuell zu öffnendes Ventil wird nun, wie die gesamte restliche Anlage auch, zentral von einem Leitstand per Mausklick gesteuert. Dabei kann die Informationsrückkopplung im Gegensatz zur physischen Anwesenheit des Bedieners bei manueller Handhabung einzig über den visuellen Sinneskanal erfolgen. Umso wichtiger ist eine adäquate Informationsrepräsentation, welche bestmöglich bei den auszuführenden Tätigkeiten unterstützt und das Situationsbewusstsein des Operators fördert.

## 1.1 Supervisory Control

Kennzeichnend sind ein hoher Automatisierungsgrad und eine deutliche Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine (Computersystem) (vgl. Herczeg 2006). Die Anforderungen, welche an die Operatoren in derartigen Arbeitssystemen gestellt werden, haben großen Einfluss auf die Verfügbarkeit sowie den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen. An den Leitständen arbeiten die Operatoren oft unter Verwendung einer Vielzahl von digitalen Visualisierungsmitteln (DVM). Typische Anzeigesysteme sind Monitore und tiefengestaffelt präsentierte Großbilddarstellungen, welche in Form von Rückprojektionen, Flachbildtechnologien, Mosaikdarstellungen oder in seltenen Fällen durch Auflichtprojektionen realisiert sein können. Der fortlaufende Automatisierungsfortschritt sowie die zunehmende Zentralisierung führen häufig zu einer sukzessiven, funktionalen Erweiterung der Arbeitsplätze. Mit jeder Evolutionsstufe kommen dabei häufig neue Unterstützungssysteme mit Ein- und Ausgabegeräten (meist DVM) hinzu, welche durch den Operator überwacht und bedient werden müssen. Dies führt in Einzelfällen dazu, dass das gesamte Blickfeld des Operators mit komplexen Prozessvisualisierungen ausgefüllt ist. Bei Neubauvorhaben werden derartige „Best-Practice“-Lösungen zudem häufig als Muster herangezogen, da in einschlägigen Regelwerken und Normen keine empfohlene Obergrenze für die Anzahl von DVM definiert ist. Oftmals wird auf systemimmanente und situative Faktoren des Arbeitssystems verwiesen, auf dessen Basis die Visualisierungsmitteldichte gerechtfertigt werden soll (vgl. Bockelmann et al. 2012). Dem ist nicht zu widersprechen, jedoch richtet sich der Fokus dieser Überlegung nur auf die technischen Faktoren.

## 1.2 Der Mensch im automatisierten Umfeld

Der in diesem Umfeld tätige Mensch, welcher permanent, oft unter hohem Zeit- und Verantwortungsdruck, sichere und richtige Entscheidungen treffen muss, wird dabei nur ungenügend berücksichtigt. Es kann jedoch angenommen werden, dass es eine Handhabbarkeitsgrenze gibt, da die menschliche Wahrnehmung einer Vielzahl von physischen und kognitiven Determinanten unterliegt. Zu nennen sind dabei physiologisch begründet vor allem das limitierte Gesichtsfeld, das begrenzte Auflösungsvermögen des menschlichen Auges bzw. dessen Sehschärfe sowie die gehemmte Farbwahrnehmung im peripheren Blickfeld. Dazu kommt auf kognitiver Ebene die extrem eingeschränkte Kapazität des Ultrakurz- und Kurzzeitgedächtnisses und daraus resultierend, die geringe Menge parallel handhabbarer und zu verarbeitender Informationen. Diese Effekte sind bereits weitreichend erforscht und Bewertungsgrundlagen durch verschiedene Maßzahlen oder Modelle definiert. Hilfreich dabei sind beispielsweise grundlegende ophthalmologische Erkenntnisse nach Snellen, von Graefe und Landolt oder das Human-Processor-Model nach CARD ET AL. (1983). Unter Berücksichtigung dieses Wissens können belastungsoptimale Leitwartenarbeitsplätze gestaltet werden. In jedem Fall sollte auf der physiologischen Ebene die Erkennbarkeit, Unterscheidbarkeit und Lesbarkeit von Informationen gegeben sein, während auf psychischer Ebene Faktoren wie Klarheit und Interpretierbarkeit relevant sind. Damit wird die ergonomische Softwaregestaltung als ein weiterer Fachbereich tangiert, der hier jedoch nicht weiter beleuchtet werden soll.

## 2 Eye-Tracking-Studien

Das Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie der BTU Cottbus-Senftenberg führte mehrere Blickerfassungsstudien in verschiedenen Kraftwerksleitwarten und im Kraftwerkssimulator durch. Dabei wurden zwei Kernziele verfolgt: Zum einen sollten anhand der Ergebnisse dieser Studie eine ergonomische Qualitätsbewertung der jeweils verwendeten Prozessleitsoftware erfolgen. Ferner war jedoch auch geplant, unterschiedlich stark visualisierte Leitstände hinsichtlich der Nutzungsquantität und damit verbundener Nutzungsstrategien zu analysieren. Eine wesentliche Kontrollvariable war die Anzahl von DVM, welche zur Bedienung und Beobachtung des Prozessleitsystems installiert waren. Die dafür verfügbare Visualisierungsmittelmenge variierte an den analysierten Leitständen von insgesamt acht bis 16 DVM. Eine Tiefenstaffelung wurde an allen Arbeitsplätzen vorgefunden, wobei in der zweiten Tiefenebene in allen Fällen mit Großbilddarstellungen unter Verwendung von Rückprojektionen gearbeitet wurde.

### 2.1 Methodik

Die Studien wurden unter Verwendung des Eye Trackers „Dikablis“ der Firma Ergoneers GmbH durchgeführt. Das Gerät arbeitet auf Basis der Cornea-Reflex-Methode und zeichnet die Augenbewegungen mit 25 fps (frames per second) auf. Es ermöglicht durch seine kopfgetragene, brillenähnliche Datenerfassungseinheit die volle Bewegungsfreiheit des Probanden, wodurch eine Analyse während des Leitstandbetriebs möglich wurde. Zudem verfügte das genutzte System über eine Funkübertragung, sodass der Proband vollkommen frei in seinem Arbeitsumfeld agieren konnte. Um dem Gerät die notwendigen Orientierungspunkte für eine standardisierte Datenauswertung zu liefern, wurden im Blickfeld des jeweiligen Probanden Marker in Kartenform angebracht, welche vom System automatisiert erkannt und als Referenz für die Definition relevanter, auszuwertender Interessenbereiche im visuellen Umfeld des Probanden (sog. Area of Interest; AOI) notwendig waren. Diese Markerkarten wurden sinnfällig so platziert, dass eine Beeinträchtigung der Probanden bei deren Prozessführungsaufgaben ausgeschlossen werden kann. Die aufgezeichneten Daten erlauben u. a. Aussagen zu Blickverläufen, Blickfrequenzen und Blickdauern für jedes AOI. So ist es möglich, für jedes beliebige und als AOI definierte Visualisierungsmittel entsprechende Nutzungsindizes zu generieren.

Um die Validität der erfassten Eye-Tracking-Daten zu festigen, wurden ergänzende Interviews vor und nach der Messphase geführt. Dies erfolgte zum einen als standardisiertes Interview, bei dem die Operatoren als Erfahrungsträger bezüglich der implementierten Funktionalitäten und ergonomischen Qualitätseinschätzungen befragt wurden. Auch Explorationsgespräche lieferten wertvolle Hinweise im Sinne der Kernziele. Der Versuchsablauf und das Blickverhalten des Probanden konnten am abgelegenen positionierten Messnotebook in Echtzeit durch den Versuchsleiter beobachtet werden. So ließen sich markante Verhaltensweisen identifizieren, die im Nachgang der Messung für ein besseres Verständnis hinterfragt wurden.

Die geteilte Zielstellung erwies sich als vorteilhaft, da die Analyse des Nutzerverhaltens durch die Schwerpunktsetzung der Interviews auf die ergonomische Softwarequalität in den Hintergrund rückte. Dadurch können Effekte der experimentellen Reaktivität (auch Hawthorne-Effekt), wonach sich Probanden bei bekanntem Studienfokus potenziell

erwartungsgemäß verhalten, nahezu ausgeschlossen werden. Es ist demnach davon auszugehen, dass die erhobenen Daten bezüglich Blickbewegung und DVM-Nutzung verzerrungsfrei sind und ein normales Probandenverhalten widerspiegeln.

## **2.2 Durchführung der Studien**

Die Blickdatenerhebung erfolgte mittels des Dikablis Eye-Trackers und dauerte ca. 30 Minuten. Insgesamt nahmen 96 Probanden (Realbetrieb N = 86, Simulator N = 8, ausgeschlossen: 2) an 18 Leitstandarbeitsplätzen während des Normalbetriebs an den Blickerfassungsuntersuchungen teil. Es konnten männliche (75,6%) und weibliche (24,4%) Probanden berücksichtigt werden. Eine geschlechtsspezifisch differenzierte Betrachtung erfolgte nicht. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 45,5 Jahre bei einer Altersspanne von 23 bis 59 Jahren. Zudem konnten acht Probanden in einer weiterführenden Simulatorstudie auch bezüglich des Blickverhaltens in besonderen Betriebssituationen analysiert werden. Alle Probanden waren männlich und zwischen 29 und 59 Jahre alt ( $\bar{x}$  44,3 Jahre). Sie verfügten über mehrjährige, praktische Erfahrung mit dem Prozessleitsystem, welches am Simulator installiert war.

## **2.3 Datenaufbereitung**

Zur Aufbereitung und Auswertung der Blickerfassungsdaten wurden die zum Dikablis-System gehörigen Tools Dikablis Analysis, Dikablis Marker Detector und des Analysetools DLab genutzt. Zuerst war eine manuelle Nachbearbeitung der automatisch erfolgten Pupillenerkennung notwendig. Insbesondere bei Brillenträgern reduzierte sich durch die Eigenschaften der Brillengläser die Erkennungsrate der automatischen Pupillenerkennung. Der Nachbearbeitungsschritt erfolgte in dem dafür vorgesehenen Dikablis-Tool, wobei das Bild der Augenkamera framewise analysiert und der Pupillenmittelpunkt manuell festgelegt werden musste. Eine willentliche Beeinflussung der Messergebnisse ist dabei ausgeschlossen, da kein synchroner Bezug zum Feldvideo verfügbar war. Danach erfolgten die automatisierte Erkennung der an den Arbeitsplätzen angebrachten Markerkarten sowie die Festlegung relevanter AOI, deren Position durch Bindung an diese Markerkarten eindeutig definierbar war. Dazu wurden im Feldvideo sichtbare DVM grafisch als Bildausschnitte nachgezeichnet und systematisch benannt. Sporadisch auftretende Übertragungsstörungen wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Unter Verwendung der Auswertungssoftware DLab wurden alle Parameter, z.B. Fixationsfrequenz, kumulierter Blickdauer, Fixationskennwerte und Blickhäufigkeiten probandenspezifisch berechnet. Die danach vorliegenden Datensätze wurden zur weiteren Verarbeitung in das Programm MS Excel importiert und zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit normiert. Mittels eines zweckbezogen implementierten, Trigger gesteuerten Datenerfassungstools mussten Umschalt- und Bedienvorgänge anhand der aufgezeichneten Feldvideos im Nachgang erfasst werden, da eine Protokollierung seitens des Leitsystems aus technischen Gründen nicht möglich war. Zudem erfolgte eine statistische Auswertung aller Daten unter Verwendung verschiedener Analysemethoden mit SPSS. Dabei erwies es sich als sinnvoll, die Stichprobe zu differenzieren und beispielsweise nach Probanden mit statischer Sitzposition oder starker Bewegung am Arbeitsplatz zu separieren. Darauf basierend wurden auch die DVM klassifiziert, wobei eine Teilung in operatornah gelegene a-DVM und

entfernter positionierten b-DVM erfolgte. In der Ableitung dieser Schritte wurde auf Basis statistischer Verfahren zudem ein Nutzungsindex  $N_i$  berechnet. So konnte eine abgestufte Nutzungsintensität wiedergegeben werden, die Rückschlüsse auf die Relevanz des DVM im untersuchten Prozessverlauf erlaubte. (Für eine detaillierte Beschreibung und Herleitung durchgeführter Aufbereitungsschritte siehe Kockrow 2014)

### 3 Ausgewählte Ergebnisse

Es konnte nachgewiesen werden, dass alle DVM im Arbeitsprozess integriert wurden, dabei jedoch keine gleichmäßige Blickbelegung für die vorhandenen Visualisierungsmittel an den Arbeitsplätzen zu beobachten war. Vielmehr konnte die Bildung eines Hauptaktivitätsbereichs belegt werden, welcher zudem vornehmlich für Bedienhandlungen Verwendung fand. Veränderte sich die Sitzposition des Probanden nicht oder nur geringfügig, stagnierte die Ausdehnung dieses Hauptaktivitätsbereichs unabhängig von der Anzahl verfügbarer DVM. Entgegen der Vermutungen führte eine größere Anzahl von DVM auch nicht zu einer verringerten Bildumschaltfrequenz. Das wäre zu erwarten gewesen, da mehr verfügbare DVM Raum für grundlegende Übersichtsvisualisierungen bieten und relevante Fließbilder permanent aufgeschaltet bleiben könnten. Die Studie falsifizierte diese Hypothese. Es wurde aber eindeutig nachgewiesen, dass DVM im direkten Umfeld der Sitzposition des Operators im Arbeitsprozess bevorzugt benutzt werden. Befunde dafür lieferten sowohl die aus den Blickkennwerten abgeleiteten, unterschiedlich ausgeprägten Nutzungsintensitäten der Visualisierungsmittel als auch die Charakteristik der protokollierten Bedien- und Umschalthandlungen. Da die Monitorebene an den untersuchten, ergonomisch gestalteten Arbeitsplätzen eine abgesenkte Position im Blickfeld des Operators einnahm, wurde unter Bezug auf eine natürliche, beanspruchungsoptimale Körperhaltung (vgl. Merkel & Schmauder 2012, Schmidtke 1993) eine bevorzugte Nutzung dieser Visualisierungsmittel vermutet. Die intensivere Nutzung der Monitorebene konnte anhand der aufgezeichneten und errechneten Blickkennwerte stichhaltig belegt werden. Beispielhaft ist dies für einen untersuchten Arbeitsplatz in Abbildung 1 zu erkennen.

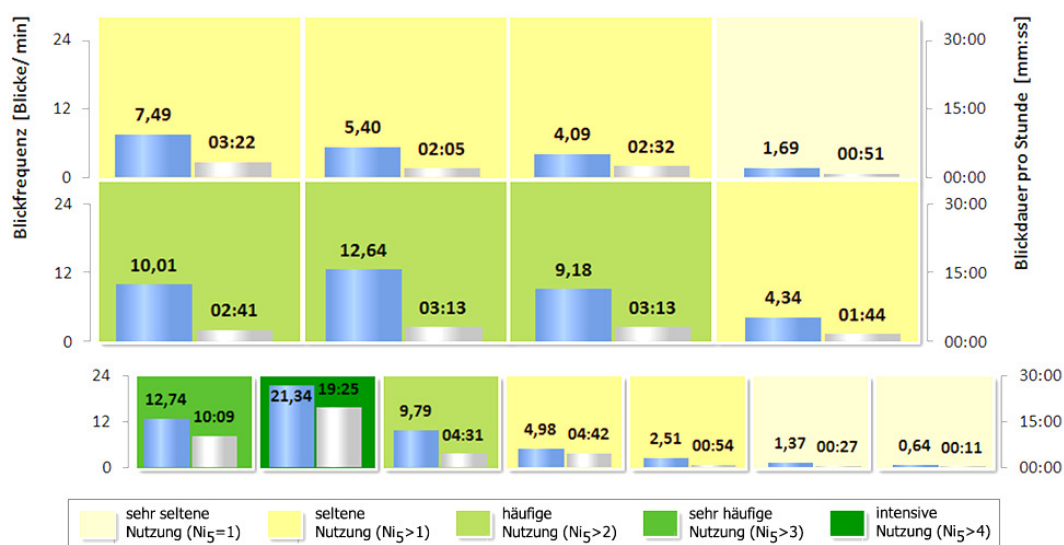


Abbildung 1: Darstellung der Nutzungsintensitäten an einem der analysierten Leitstände

Die Hintergrundfarbe repräsentiert dabei eine aus dem Nutzungsindex abgeleitete Gesamtrelevanz jedes DVM, welche unter Berücksichtigung der Blickfrequenz (Blicke/ Min, linker Balken) sowie der Blickdauer pro Stunde (Angabe in mm:ss, rechter Balken) errechnet wurde. Dabei kodieren fünf Farben die Nutzung des jeweiligen DVM in einem Ampelsystem. Ein errechneter Nutzungsindex von  $N_i > 2$  für ein DVM führte dazu, dass es dem Hauptaktivitätsbereich zugerechnet wurde. Auf diesem begründet sich die nachfolgend definierte, Visuelle Komfortzone der Operatortätigkeit.

Auch die bevorzugte Nutzung der Monitorzeile als Arbeitsebene für manipulative Bedienhandlungen war nachweisbar, während die tiefengestaffelte Visualisierungsebene mit den Großbildvisualisierungen eher die Rolle als Übersicht gebende Elemente zukam. Vereinzelt sind jedoch auch auf diesen DVM Aktionen nachweisbar. Auf operatornah positionierten DVM war dabei ungeachtet der Tiefenebene eine erhöhte Blickbelegung nachweisbar.



Abbildung 2: Anzahl der DVM  $> 1/n$  als Visuelle Komfortzone über alle untersuchten Konfigurationen (schematische Darstellung, linksseitig geordnet)

Auch für besondere Betriebszustände konnten ähnliche Effekte belegt werden, die sich in der durchgeführten Simulatorstudie zeigten. Trotz besonderer Anforderungen bei einem simulierten Anfahrprozess eines Kraftwerkblocks konnte der Hauptaktivitätsbereich über beide Tiefenebenen nachgewiesen werden. Interessante Veränderungen dieses Nutzerverhaltens wurden durch das herbeigeführte, für die Probanden jedoch unvorhersehbare, Störereignis im Prozessablauf hervorgerufen. Innerhalb kürzester Zeit wurde der Hauptaktivitätsbereich aufgelöst. Während der Informationsbeschaffung zur Analyse und Bewertung der Sachlage erfolgte eine nahezu gleichförmige Abtastung aller DVM.

In Folge aller statistischen Befunde konnte so die Visuelle Komfortzone der Operatortätigkeit definiert werden:

„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).

Damit eine Ausprägung dieser Visuellen Komfortzone erfolgen kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- ausreichend hoher Automatisierungsgrad,
- individualisierbare Prozessvisualisierung,
- organisatorische Freiheitsgrade.

So muss das Prozessleitsystem einen ausreichend hohen Automatisierungsgrad besitzen, welcher den Operator nicht permanent in eine Bedienfunktion zwingt. Die analysierten Leitsysteme ermöglichten den Automatikbetrieb, wobei die Prozessüberwachung und Steuerung von (Teil-)Prozessen innerhalb definierter Toleranzen durch das System übernommen wurde. Die Operatoren überwachten die Prozessabläufe, griffen anhand ihres gewonnenen Erfahrungswissens aber auch prospektiv in das Prozessgeschehen ein, um sich tendenziell anbahnenden Störungsereignissen frühzeitig entgegen zu wirken oder den optimalen Prozessablauf sicher zu stellen. Diese Möglichkeit ist für die Ausprägung der Visuellen Komfortzone ebenso wichtig wie organisatorische Freiheitsgrade bei der Gestaltung der Bedien- und Beobachtungsumgebung. So erfuhren die Operatoren keinerlei Fremdbestimmung bei den zu tätigenen Bedienhandlungen und konnten den Beobachtungsprozess ohne organisatorisch bedingte, zeitliche oder örtliche Zwänge koordinieren. Auch diese Freiheitsgrade sind erforderlich, um die Ausprägung eines Hauptaktivitätsbereichs am Leitstandarbeitsplatz zu ermöglichen. Zuletzt bildet ein ausreichend hohes Maß an Individualisierbarkeit des Prozessleitsystems eine weitere wesentliche Voraussetzung. Es ist notwendig, dass der Operator eine individuell präferierte Visualisierungskonfiguration durch Aufschalten situativ relevanter Prozessgrafiken herstellen kann. Bei den analysierten Arbeitsplätzen wurden entsprechende Prozessleitsysteme mit einer hohen software-ergonomischen Güte eingesetzt. Es ist unwahrscheinlich, dass beispielsweise an Überwachungsarbeitsplätzen mit ortsfest instrumentierten Anzeigen (z. B. Leitstände in Kernkraftwerken, Flugsicherungssysteme, Rettungsleitsysteme) oder bei Verkehrsmitteln (Fahrzeuge, Schiffe, Cockpits oder Schienenfahrzeuge) die benötigte Dynamik der Informationsvisualisierung erreicht wird und sich eine Visuelle Komfortzone ausprägt.

#### **4 Ableitungen für die Visualisierungsmitteldichte**

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse scheint für die sichere Beherrschung normaler Betriebssituationen bei Vorhandensein der oben genannten Bedingungen eine Visualisierungsmittelkonstellation von vier Monitoren und vier Übersicht gebenden Großbildprojektionen ausreichend. Das entspricht dem Vorschlag gemäß DIN EN ISO 11064-4 und auch ungefähr der, unabhängig von der DVM-Anzahl ausgeprägten,

nachgewiesenen Visuellen Komfortzone. Auch darüber hinaus installierte DVM werden im Bedien- und Beobachtungsprozess genutzt, wobei die charakteristischen Blickkennwerte sowohl eine geringe Nutzungshäufigkeit als auch Nutzungsfrequenz belegen. Zudem ist mit Hinblick auf die menschlichen Determinanten mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen, dass die DVM außerhalb der Visuellen Komfortzone vollumfänglich nutzbar sind. Allein auf Basis der Sehentfernung in Kombination mit der einheitlichen Schriftgröße auf den Prozessvisualisierungen scheint es logisch, dass entfernt positionierte DVM nicht im Detail abgelesen und erfasst werden können. Diesbezüglich gab es eine Vielzahl gleich lautender Aussagen der Operatoren, wonach nicht die spezifischen Werte, sondern bestimmte neuralgische Punkte der entfernten Fließbilder visuell abgetastet werden. Anhand von z.B. Farbkodierungen und Darstellungseigenschaften betreffender Objekte könnte dabei unter Verwendung von Erfahrungswissen der Status des jeweiligen Prozesses erkannt und bewertet werden. Eine detailgenaue Ablesbarkeit des Wertes spielt oft eine untergeordnete Rolle. Dies kann auch als Begründung gewertet werden, warum operatorenfern positionierte DVM nur sporadisch mit Kontrollblicken abgetastet werden. Zusätzlich liefert diese Überlegung auch eine Begründung, warum ein ausreichend hohes Automatisierungsniveau vorherrschen muss, damit Operatoren eine Visuelle Komfortzone ausprägen können. Visualisierungselemente, die aufgrund einer räumlichen Distanz jedoch nicht einmal nach diesem Schema ausgewertet werden können, scheinen daher nicht sinnvoll. Zudem können sie als Belastungsfaktor wirken, wenn irrelevante Informationen der im Blickfeld befindlichen Visualisierungsmittel durch permanente, kognitive Filterung ausgeblendet werden müssen, um die Ressourcen des Operators auf die jeweiligen Aufgaben zu fokussieren.

Bei Eintreten von Störungen zeigte sich jedoch deutlich, dass vorhandene DVM aktiver und gesamtheitlich zur Informationsbeschaffung und situativen Bewertung herangezogen werden. Die Störungsbehebung stellt einen verhältnismäßig geringen Anteil der Bedien- und Beobachtungstätigkeit dar, ist jedoch auch der Anteil mit hohem Zeit-, Entscheidungs- und Verantwortungsdruck. Die richtige Einschätzung der Situation durch den Operator ist essenziell für sein sicheres und lösungsorientiertes Reagieren. Um dies gewährleisten zu können, ist eine größere Visualisierungsmittellanzahl notwendig. Aus den Studien konnte abgeleitet werden, dass sechs Monitore und sechs Großbildprojektionen gute Rahmenbedingungen für diese Erfordernisse bilden.

In der Konsequenz könnte eine bedarfsgerechte und situationsabhängige Visualisierungsmittellanzahl optimale Bedingungen für die Operatoren bieten. Während in beiden Tiefenebenen je vier DVM im ungestörten Anlagenbetrieb zur Verfügung stehen, könnte die Visualisierungsmitteldichte im Störfall durch Zuschalten von je zwei DVM in den Ebenen erweitert werden. Die in Abbildung 3 illustrierte Idee hätte mehrere Vorteile und entspricht den menschlichen Wahrnehmungseigenschaften. In automatisch gefahrenen, normalen Betriebszuständen, welche den Alltag des Operators zu großen Teilen prägen, kann eine geringere Anzahl verfügbarer DVM zur Vermeidung von Monotonie beitragen. Der Operator könnte in diesem Szenario benötigte Prozessinformationen nicht durch Übersichtsabtastung entfernter DVM gewinnen, sondern müsste diese durch sequenziellen Aufruf entsprechender Prozessvisualisierungen auf den vorhandenen DVM sammeln. So wird er aktiv am Prozess gehalten und einem Absinken seiner Vigilanz damit entgegengewirkt (vgl. auch Meyer 2006).



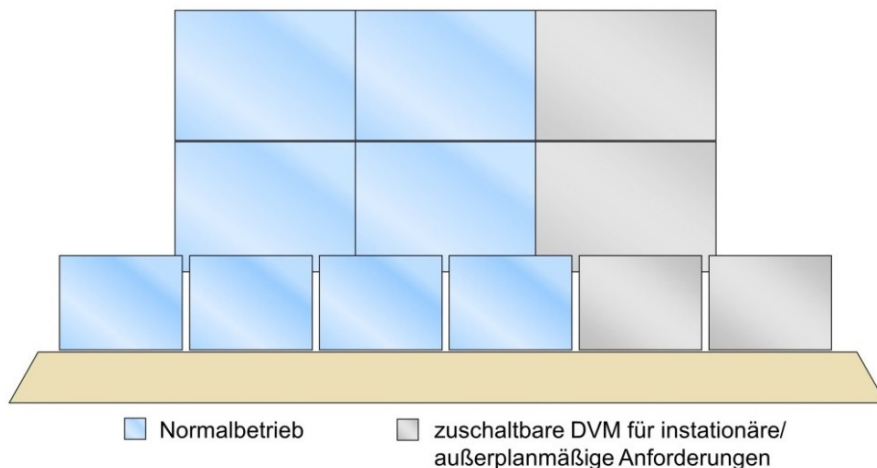


Abbildung 3: Vorschlag einer bedarfsgerecht wählbaren DVM-Ausstattung für Leitstände

Diese Visualisierungskonstellation kann in besonderen Betriebszuständen und vor allem bei nicht vorhersehbaren Störereignissen zu enormen Beanspruchungen führen. Um alle benötigten Informationen zu erhalten, müssten Anlagenbilder sequenziell aufgeschaltet und analysiert werden, Informationen verfügbar gehalten und gewonnene Erkenntnisse als Basis von Entscheidung und Handeln verknüpft werden. Dies stellt eine extreme Herausforderung für das kapazitiv begrenzte Kurzzeitgedächtnis dar. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit von Fehlhandlungen und -entscheidungen. Für diese besonderen Situationen ist es also notwendig, zusätzliche Visualisierungsmittel zur Verfügung zu stellen, um eine schnelle und korrekte Informationsgewinnung zur Aktualisierung des Situationsbewusstseins im Kontext der aufgetretenen Ereignisse zu gewährleisten.

Es stellt sich folglich die Frage, inwieweit die Anzahl verfügbarer DVM bedarfsgerecht und situationsabhängig gestaltet sein kann. Denkbar sind Installationen, welche den Permanentbetrieb mit Monitoren und Rückprojektionen in Tiefenstaffelung gewährleisten. Bei Erfordernis könnten zwei Monitore sowie zwei Großbilddarstellungen auf Knopfdruck zugeschaltet werden. Die zuletzt genannte Optionen könnten dabei auch andere Visualisierungstechnologien verwenden, was zudem einen betriebswirtschaftlichen Vorteil bieten kann. Denkbar sind hier hochqualitative Display- oder Beamertechnologien, da nur eher eine kurzzeitige Verwendung dieser Visualisierungserweiterung vorgesehen ist und kein 24/7-Betrieb angestrebt wird. Wichtig dabei ist, dass Informationen gleichartig dargestellt werden. Insbesondere Visualisierungseigenschaften wie Bildverhältnis, Schriftgrößen, Farbwiedergabe und Helligkeit der zusätzlichen DVM sollten den Permanentvisualisierungen entsprechen, um dem mentalen Modell des damit arbeitenden Operators bestmöglich zu entsprechen. Insgesamt kann ein derartiges Visualisierungskonzept einen Ansatz zur belastungsoptimalen Gestaltung komplex visualisierter und automatisierter Bedien- und Beobachtungsarbeitsplätze bieten. Notwendig ist jedoch eine kritische Prüfung der Machbarkeit für den jeweiligen Anwendungsfall.

## 5 Fazit

Die beschriebenen Studien liefern eine Reihe von Erkenntnissen, welche im Bereich von Kraftwerksleitwarten durch eine große Stichprobe abgesichert und anhand von Eye-Tracking-Messdaten quantifiziert werden konnten. Diese Quantifizierung über die subjektiven

Einschätzungen von Operatoren und Experten hinaus bietet eine belastbare Basis für Interpretationen bezüglich der optimal zu wählenden Visualisierungsmitteldichte bei Erfordernis komplexer Informationsvisualisierungen, wie sie z.B. im Kontext von Kraftwerksleitwarten zu finden sind. Zudem wird die Datengrundlage für den wissenschaftlichen Fachbereich vervollständigt, wodurch Ansätze für weitere durchzuführende Studien oder zu berücksichtigende Erkenntnisse für andere Studien formuliert wurden.

## 6 Quellen

Bockelmann, M.; Nachreiner, F.; Nickel, P. (2012): Bildschirmarbeit in Leitwarten - Handlungshilfen zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen nach der Bildschirmarbeitsverordnung. Projekt F 2249 – im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/ Berlin/ Dresden, 2012.

Burns, C. M.; Skraaning Jr., G.; Jamieson, G. A.; Lau, N.; Kwok, J.; Welch, R.; Andresen, G. (2008): Evaluation of ecological interface design for nuclear process control: Situation awareness effects. In: Human factors, Vol. 50, Nr. 4, 2008, 663-679.

Card, S. K.; Moran, T. P.; Newell, A. (1983): The psychology of human-computer interaction. Hillsdale: L. Erlbaum Associates, 1983.

DIN EN ISO 11064-4:2014:

Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen. Berlin: Beuth-Verlag, 2014.

Hénique, E.; Lindegaard, S.; Hunt, B. (2009): Design of large and complex display systems. In: Ivergård, T.; Hunt, B. (Eds.): Handbook of control room design and ergonomics: A perspective for the future. Boca Raton: CRC Press, 2009, 83-132.

Herczeg, M. (2006): Interaktionsdesign. Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.

Kockrow, R. (2014): Eye-Tracking Studien in Leitwarten - Evaluation einer ‚Visuellen Komfortzone‘ für Operatortätigkeiten. Dissertationsschrift. Aachen: Shaker Verlag, 2014. ISBN: 978-3-8440-3022-8.

Merkel, T.; Schmauder, M. (2012): Ergonomisch und normgerecht konstruieren. Berlin/ Wien/ Zürich: Beuth-Verlag, 2012.

Meyer, I. (2006): Effektivität der Prozessführung bei unterschiedlichen Oberflächen eines Prozessleitsystems. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg). Dortmund/ Berlin/ Dresden: Wirtschaftsverlag NW, 2006.

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, 2003, 255-281.

Schmidtke, H. (1993): Ergonomie. 3. Auflage, München: Hanser, 1993.