

# Beanspruchung und Fehlererkennung in der Prozessüberwachung

Denise Gramß<sup>1</sup>, Dorothea Pantförder<sup>2</sup>, Karin Schweizer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Braunschweig, <sup>2</sup>Universität Kassel, <sup>3</sup>Universität Mannheim

## Zusammenfassung

Die Überwachung komplexer Produktionsprozesse führt zu einer Vielzahl von Informationen, die auf diversen Monitoren dargestellt werden. Dies kann in einer erhöhten Beanspruchung des Operators resultieren. Die vorliegende Studie untersucht den Nutzen von dreidimensionalen Datenvisualisierungen und deren Effekt auf die Beanspruchung des Operators sowie die damit verbundene Fehlererkennung in der Prozessüberwachung.

## 1 Einleitung

Immer mehr zunehmende Komplexität und steigende Zahl von Prozessinformationen können die Überwachung von Produktionsprozessen erschweren. Die Überfüllung der Bildschirme und die unübersichtliche Anordnung von Prozessdaten kann die Überwachungstätigkeit des Operators beeinträchtigen. Des Weiteren besteht in einem teilautomatisierten System häufig nur ein unvollständiges mentales Modell seitens des Operators. Eine Möglichkeit, dennoch eine adäquate Überwachung eines Prozesse gewährleisten zu können, ist die Verbesserung der Informationsdarstellung sowie die Interfacegestaltung. Die Visualisierung von Daten erfolgt in konventionellen Mensch-Maschine-Systemen mit Diagrammen und Tabelle. Viele Informationen werden dem Operator dargeboten, die er aufnehmen, verarbeiten und integrieren muss, um Informationen über den aktuellen Prozesszustand zu erhalten. Dabei kann, resultierend aus der Überforderung des Operators und einem unzureichenden mentalen Modell, eine Vielzahl Fehler auftreten. Smallman et al. (2001) untersuchte bereits die Verwendung von dreidimensionalen Darstellungen, um die Darbietung von Daten der menschlichen Informationsverarbeitung anzupassen. Die Autoren verweisen auf förderliche Aspekte der dreidimensionalen Darstellung. Die Untersuchung zeigte, dass das Hinzufügen einer dritten Dimension und somit die Integration von Daten zu einer Reduzierung der Beanspruchung führen kann. Außerdem entsteht durch die Verwendung eines dreidimensionalen Displays eine Vertrautheit und Vereinfachung des Verständnisses der abgebildeten Daten.

Bereits Wickens & André (1990) verwiesen auf den Vorteil der räumlichen Nähe inhaltlich zusammenhängender Information (PCP). Dreidimensionale Datenvisualisierung kann somit durch die Integration von Informationen förderlich für die Überwachungstätigkeit eines Operators sein. Informationen die inhaltlich verbunden sind, d.h. sich aufeinander beziehen, können von einer dreidimensionalen Darstellung profitieren. Dies gilt jedoch nicht für unabhängige Daten.

Eine Möglichkeit Fehler in der Prozessüberwachung zu mindern ist der Einsatz von dreidimensionalen Visualisierungen, die die Arbeit des Operators vereinfachen (Pantförder et al. 2009) und somit auch die Beanspruchung bei der Überwachungstätigkeit reduzieren kann. Resultierend aus einer verminderten Beanspruchung während der Arbeitsaufgabe, ist anzunehmen, dass in kritischen Situationen besser reagiert werden kann. Das Entdecken problematischer Prozesszustände sollte aufgrund der integrierten Darstellung und der damit verbundenen reduzierten Beanspruchung vereinfacht werden.

## 2 Beanspruchung von Operatoren bei Überwachungstätigkeiten

Moderne Prozessüberwachung findet meist über Darstellungen von Prozessdaten auf einer Vielzahl von Bildschirmen statt, so dass die Operatoren für die Überwachungstätigkeit nicht in räumlicher Nähe zum technischen System sein müssen. Komplexe Prozesse werden simultan über verschiedene Monitore verfolgt und auftretende kritische Situationen müssen durch Eingreifen des Operators korrigiert werden. Operatoren in einer Leitwarte haben aber häufig neben der Überwachungsaufgabe, weitere Tätigkeiten. So entstehen vielfache Arbeitsanforderungen als Wirkgrößen, die sich auf die Beanspruchung des Operators auswirken. Dies kann unter anderem zu Stress führen, besonders wenn erhebliche Abweichungen zwischen Anforderungen der Arbeitsaufgabe und dem Leistungsvermögen des Beschäftigten bestehen. Übersteigen die Anforderungen der Arbeitsaufgabe das Leistungsvermögen, kann dies in Befürchtungen, die Arbeitsaufgabe nicht bewältigen zu können, resultieren. Eine solche Situation tritt auf, wenn bei einer erforderlichen Bedienung zu viele Informationen auf den Operator einströmen, die dieser nicht oder nur ungenügend analysieren und bearbeiten kann. Beanspruchung entsteht somit aus der Beziehung zwischen Ressourcen des Operators und den Anforderungen, die sich dem Operator durch die Aufgabe stellen (Wickens & Hollands 2000). Eine Möglichkeit, die Beanspruchung während der Arbeitsaufgabe zu mindern, ist der Aufbau eines angemessenen mentalen Modells über den ablaufenden Prozess (Schweizer et al. 2009). Des Weiteren kann durch die Darbietung integrierter Information in 3D (Vogel-Heuser et al. 2007) eine Entlastung des Operators angestrebt werden. Die Verwendung dreidimensionaler Darstellungen kann das Verständnis und die Fehlererkennung erhöhen (Beuthel 1997; Hoppe et al. 2004) sowie die mentale Beanspruchung reduzieren.

## 3 Experiment

Das im Folgenden beschriebene Experiment untersucht, anhand einer ausgewählten Fallstudie die Förderlichkeit einer 3D-Visualisierung, zum einen für den Aufbau von Prozesswissen des Operators während des Trainings und zum anderen während der Prozessführung. An einer studentischen Stichprobe wurde der Einfluss von verschiedenen Visualisierungsarten (2D und 3D) auf die erlebte Beanspruchung während einer Überwachungsaufgabe untersucht. Die Leistung der Versuchsteilnehmer wurde durch die Art der Reaktion (Treffer und Fehler) bewertet.

### 3.1 Beschreibung der Fallstudie: Kontinuierliche Hydraulikpresse

Aufgrund der Vorkenntnisse der Autoren wurde für die Evaluation der Anwendungsfall der kontinuierlichen Hydraulikpresse gewählt (Vogel-Heuser 2008). Mit Hilfe der Hydraulikpresse werden Holzwerkstoffplatten unterschiedlichster Art, z. B. Span- und Faserplatten, hergestellt. Eine mit Leim versetzte Materialmatte läuft in die kontinuierliche Hydraulikpresse ein und wird zwischen zwei umlaufenden Stahlbändern auf die gewünschte Dicke gepresst. Die für den technologischen Prozess erforderliche Wärme wird über Rollenstäbe von der Heizplatte auf die Stahlbänder übertragen und wird von diesen auf die Materialmatte übertragen. Die Hydraulikpresse besteht über ihre gesamte Länge aus hintereinander angebrachten Pressrahmen. Jeder Rahmen besteht aus mehreren Hydraulikzylindern, die den Druck auf das Material ausüben, um dieses auf die gewünschte Dicke zu pressen. Zwischen zwei Pressrahmen wird die Dicke des Materials indirekt über die Distanz/Abstand der beiden Stahlbänder an den Außenseiten gemessen. Die Soll-Distanz wird durch das Erhöhen bzw. das Reduzieren des Drucks erreicht. Alle Daten/Informationen aus dem Prozess, wie z.B. die Temperatur der Heizplatten, die Distanz der Stahlbänder sowie der Druck auf das Material werden kontinuierlich gemessen und in der Leitwarte angezeigt. Da der beschriebene Prozess derzeit noch nicht vollständig automatisch regelbar ist, muss der Operator in der Lage sein, auf Basis der angezeigten Prozesswerte sowie seines Prozesswissens, korrigierend in den Prozess eingreifen.

Der Prozess wurde in vier Diagrammen auf zwei Bildschirmen visualisiert. Die Beurteilung einer Situation erforderte stets die Beobachtung aller Diagramme, die je nach Problem unterschiedliche Abweichungen zeigten. In den 2D-Bedingungen wurden die einzelnen Messwerte durch Linien dargestellt, während in der 3D-Visualisierung die Daten in Form einer Fläche (Surfaceplot) dargeboten wurden (Abbildung 1). Beide Visualisierungsarten zeigten die gleichen Prozessinformationen an. Während in 3D die farbliche Kodierung direkt auf dem Verlauf der Fläche abgetragen wurde, war in 2D der farbliche Verlauf als Balken am unteren Rand des Diagramms dargestellt. Die 3D-Visualisierung integrierte somit im Sinne des PCP die Darstellung der Messwerte sowohl durch die Form der Fläche als auch deren farbliche Kodierung. In den 2D-Bedingungen musste die Integration von der Person selbst geleistet werden.

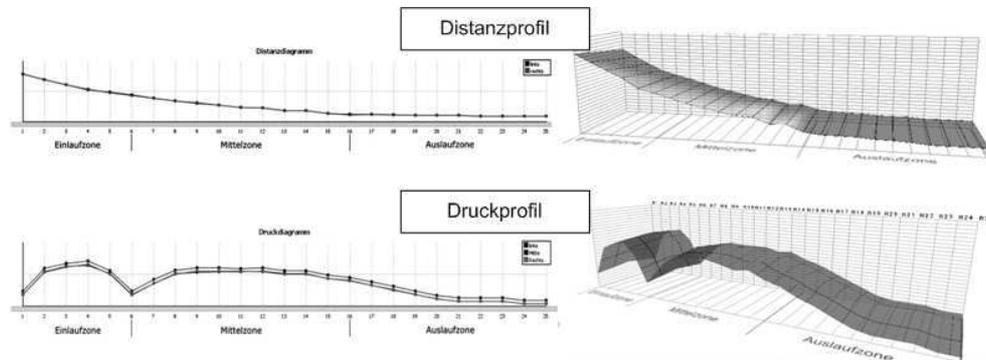


Abbildung 1: 2D- und 3D-Diagramme für Druck und Distanz

## 3.2 Entwicklung der Versuchsumgebung

In dem im Folgenden beschriebenen Experiment hatten die Versuchspersonen die Aufgabe die Rolle des Operators zu übernehmen und den technischen Prozess der kontinuierlichen Hydraulikpresse zu beobachten und evtl. Stelleingaben vorzunehmen. Neben dem Beobachten und Führen des Prozesses hat der Operator in einer Leitwarte noch weitere Tätigkeiten, die ihn von seiner Hauptaufgabe ablenken. Zu diesen Tätigkeiten gehören das Führen eines Produktionsprotokolls oder das Gespräch mit Kollegen, z.B. Wartungstechnikern. Dies ist das Resultat einer im Vorfeld durchgeführten Arbeitsanalyse in der Leitwarte der kontinuierlichen Hydraulikpresse. Um das Experiment realitätsnäher und somit komplexer zu gestalten wurden diese Tätigkeiten auch in das Versuchsdesign integriert. Das Experiment wurde in vier Phasen gegliedert: das audiovisuelle Training, die Explorationsphase, die Trainingsphase und die Bedienphase. Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf des Experiments. Während des audiovisuellen Trainings wurden die Versuchspersonen in die Funktionsweise der Hydraulikpresse geschult. Es wurden, die für das Experiment relevanten Prozessinformationen und deren Beziehungen untereinander beschrieben sowie die Probleme, die bei diesem Prozess auftreten können, deren Ursache und die geforderte Reaktionen.

In der anschließenden Explorationsphase hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit sich mit der Versuchsumgebung vertraut zu machen und die im audiovisuellen Training gezeigten Problemsituationen mittels unterschiedlicher Trainingsvarianten zu erlernen. Es wurden drei verschiedene Trainingsvariationen in Kombination mit 2D- und 3D-Visualisierungen evaluiert:

- Training mit Standbild: Zwei bis drei statische Bilder zeigten eine problematische Situation in verschiedenen Ausprägungen.
- Training mit Slider: Mittels Slider konnten problematische Situationen dynamisch betrachtet werden. Über den Schieberegler konnte die Versuchsperson den zeitlichen Ablauf eines Problems individuell bestimmen und sich so den dynamischen Ablauf einprägen.

- Training mit Slider und Interaktion: Zusätzlich zum Slider hatte die Versuchsperson die Möglichkeit mit der dargestellten Visualisierung aktiv zu interagieren. Als Interaktionsmöglichkeit wurde das Drehen der Diagramme ausgewählt.

In der nächsten Phase, der Trainingsphase, hatte der Proband die Möglichkeit das erlernte Wissen zu testen. Er hatte nun den Prozess zu führen und auf Problemsituationen zu reagieren. In dieser Phase erhielt der Proband nach seiner Reaktion ein Feedback über die Korrektheit seiner Eingaben.

In der abschließenden Bedienphase, die aus zwei Durchgängen mit den gleichen Problemsituationen in randomisierter Reihenfolge bestand, mussten die Versuchspersonen, wie bereits in der Trainingsphase, den Prozess beobachten, Problemsituationen erkennen und Stelleingaben tätigen. Sie bekamen nun jedoch kein Feedback mehr. In dieser Phase wurden die Reaktionszeiten gemessen und mit den zugehörigen Stelleingaben aufgezeichnet. Während der Bedienphase hatte die Versuchsperson ebenfalls zusätzliche Aufgaben wie das Erstellen eines Produktionsprotokolls sowie einem Chat, der das Gespräch mit Kollegen symbolisieren sollte.

Nach Abschluss der Testphase wurden den Probanden verschiedene Fragebögen zur Erfassung von Beanspruchung, Präsenz sowie zur Selbstwirksamkeit vorgelegt. Zur Messung der Beanspruchung wurden ausgewählte Items des NASA-Task Load Index (TLX) von Hart & Staveland (1998) eingesetzt. Präsenz wurde anhand eines eigens für die Untersuchung entwickelten Fragebogens erfasst (Gramß et al. 2008). Auch Selbstwirksamkeit wurde mit einem selbstkonstruierten Fragebogen erhoben.

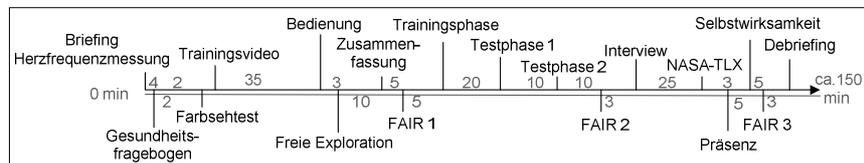


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des Experiments

### 3.3 Hypothese

Wir nehmen an, dass die Überwachung eines Prozesses mit einer dreidimensionalen Datenvisualisierung zu einer reduzierten mentalen Beanspruchung beim Operator führt. Des Weiteren nehmen wir an, dass aufgrund dieser verringerten Beanspruchung weniger Fehler bei der Prozessüberwachung auftreten.

### 3.4 Stichprobe

Die Untersuchung wurde mit 70 Personen durchgeführt (34 männlich, 36 weiblich). Die Teilnehmer waren Studenten verschiedener Fachrichtungen, aus vier verschiedenen Universitäten. Der überwiegende Teil der Versuchspersonen studierte Naturwissenschaften (32) und

technische Studiengänge (21). Außerdem haben Studenten der Geisteswissenschaft (7) und der Informatik (7) teilgenommen. Einige Personen konnte aufgrund ihrer Studienrichtung nicht eingeordnet werden (3). Alle Versuchspersonen waren ohne Vorkenntnisse über den beschriebenen Prozess.

| Dimension der Visualisierung | Training mit Standbild | Training mit Slider | Training mit Slider und Interaktion |
|------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 2D                           | Gruppe 1               | Gruppe 2            | ---                                 |
| 3D                           | Gruppe 3               | Gruppe 4            | Gruppe 5                            |

*Tabelle 1: Versuchsdesign – Trainingsvariationen und Dimensionen*

Alle Probanden wurden nach ihrer Erfahrung im Umgang mit 3D befragt. 39 Teilnehmer gaben an, bereits Erfahrungen mit 3D gesammelt zu haben. Diese umfasst sowohl Spiele als auch Software wie zum Beispiel Architektursoftware. Die übrigen 31 Versuchspersonen konnten auf keinerlei Erfahrung mit 3D zurückgreifen.

### 3.5 Erhobene Variablen

#### Richtige und fehlerhafte Reaktionen

Die Reaktionen der Versuchspersonen wurden mit Hilfe von Logfiles aufgezeichnet. In den Testphasen wurden verschiedene problematische und unproblematische Situationen gezeigt. Beim Auftreten einer kritischen Situation sollte die Versuchsperson eingreifen und das Problem korrigieren. Für die Bewertung der Leistung wurde zwischen Treffern und Fehlern unterschieden. Treffer bezeichnet die richtige Reaktion auf ein auftretendes Problem während Fehler sowohl das Nicht-Reagieren als auch die falsche Reaktion auf das jeweilige Problem umfassen. Die Art des Fehlers wurde für die Auswertung in diesem Beitrag nicht unterschieden. Die Reaktionen in beiden Testphasen wurden zusammenfassend betrachtet.

#### Beanspruchung

Die erlebte Beanspruchung wurde mit ausgewählten Items des NASA-Task Load Index (TLX) (Hart & Staveland 1988) erhoben. Es wurden verschiedene Bereiche der Beanspruchung erhoben. Dazu gehören neben der zeitlichen, geistigen und visuellen Beanspruchung auch Anstrengung und Frustration. Des Weiteren wurde über alle Beanspruchungsarten ein Summerscore gebildet, der die erlebte Gesamtbeanspruchung kennzeichnet.

## 4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse zur Beanspruchung in den verschiedenen Versuchsgruppen bzw. den verschiedenen Visualisierungsarten dargestellt (4.1). Anschließend soll die gemessene Beanspruchung im Zusammenhang mit richtigen und fehlerhaften Reaktionen betrachtet werden (4.2).

## 4.1 Visualisierung und Beanspruchung

Zur Untersuchung der Beanspruchung wurden die Daten des NASA-TLX für die verschiedenen Versuchsgruppen verglichen. Dazu wurde zunächst eine ANOVA für die einzelnen Skalen durchgeführt. Es zeigte sich lediglich ein signifikanter Unterschied für die zeitliche Beanspruchung ( $F=4.631$ ;  $p<.005$ ). Für den Vergleich einzelner Versuchsgruppen wurde ein Bonferroni-Test durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, signifikante Unterschiede zwischen der 2D-Slider-Bedingung und dem 3D-Standbild ( $p<.01$ ) sowie der 3D-Slider-Bedingung ( $p<.05$ ). Personen in der 2D-Slider-Bedingung geben eine signifikant höhere Beanspruchung an als der Personen der anderen beiden Gruppen. Außerdem konnte beim Vergleich von 2D Slider zu 3D-Slider mit Interaktion eine Tendenz in dieselbe Richtung ausgewiesen werden ( $p=.067$ ). Personen, die mit 2D Slider arbeiteten geben somit eine höhere zeitliche Beanspruchung an als die Gruppen mit 3D Darstellungen während der Überwachungsaufgabe. Neben den einzelnen Skalen der Beanspruchung, wurde außerdem auch ein Summenscore für Beanspruchung berechnet, in den alle Skalen in gleicher Weise einfließen und summiert wurden. Für die Summe der Beanspruchung wurde ebenfalls eine ANOVA durchgeführt, welche einen tendenziellen Unterschied auswies ( $F=1.916$ ;  $p=.119$ ). Ein Bonferroni-Test ergab einen tendenziellen Unterschied zwischen 2D Slider und 3D-Slider mit Interaktion ( $p=.114$ ). Personen in der Interaktionsgruppe gaben somit eine geringere Gesamtbeanspruchung an.

Im nächsten Schritt wurden die Gruppen gleicher Visualisierung (2D und 3D) zusammengefasst und mit einem T-Test auf Unterschiede geprüft. Die Gruppen mit 3D Slider und Interaktion wurde aufgrund der Besonderheit der Interaktion in diesen Berechnungen nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigten wiederum für die zeitliche Beanspruchung einen signifikanten Unterschied von 2D und 3D ( $t=3.804$ ;  $p<.01$ ). In den Gruppen mit 2D wurde somit eine höhere zeitliche Beanspruchung wahrgenommen als in 3D. Auch für den Summenscore der Beanspruchung wurde ein 2D-3D-Vergleich untersucht. Hierbei ergab sich lediglich eine Tendenz ( $t=1.685$ ;  $p=.098$ ) für einen möglichen Unterschied. Auch hier erreichten Personen mit 2D-Visualisierungen höhere Werte. Es kann also angenommen werden, dass 2D zu einer tendenziell höher erlebten Gesamtbeanspruchung führt, sich aber vor allem auf die zeitliche Beanspruchung negativ auswirkt.

## 4.2 Beanspruchung und Problemerkennung

Zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen Beanspruchung und den Reaktionen (Treffer und Fehler) wurde jeweils eine Korrelation nach Pearson berechnet. Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Korrelation von Fehlern mit visueller ( $r=.261$ ;  $p<.05$ ) und mit zeitlicher Beanspruchung ( $r=.266$ ;  $p<.05$ ). Bei höher erlebter visueller und zeitlicher Beanspruchung wurden somit auch mehr Fehler gemacht. Zusätzlich konnte eine Korrelation der Gesamtbeanspruchung, also des Summenscores der Beanspruchung, mit den Fehlern ausgewiesen werden ( $r=.239$ ;  $p<.05$ ). Personen, die eine höhere Gesamtbeanspruchung angeben, machen mehr Fehler in der Überwachungsaufgabe. Die Berechnung des Zusammenhangs zwischen Treffern und den verschiedenen Skalen der Beanspruchung ergab nur negative Korrelationen. Für die visuelle ( $r=-.224$ ;  $p=.064$ ) und zeitliche Beanspruchung ( $r=-.227$ ;  $p=.061$ ) sowie für die erlebte Frustration ( $r=-.215$ ;  $p=.061$ ) konnten Tendenzen ausgewiesen werden. Au-

Berdem zeigte sich eine signifikante Korrelation der Gesamtbeanspruchung mit den Treffern in der Überwachungsaufgabe ( $r=-.250$ ;  $p<.05$ ). Personen, die weniger Gesamtbeanspruchung erlebten, erkannten in den Testphasen häufiger eine problematische Situation.

Der Zusammenhang von zeitlicher Beanspruchung und Treffern (Genauigkeit der Reaktion) ist in Abbildung 3 für alle Versuchsgruppen dargestellt.

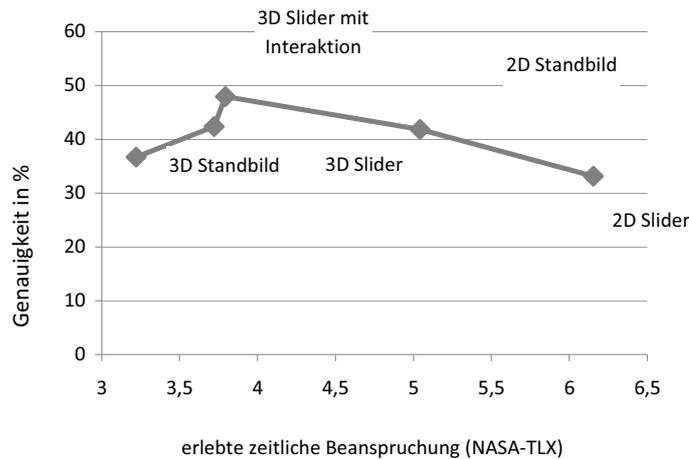


Abbildung 3: Zusammenhang von Genauigkeit (Treffern) und zeitlicher Beanspruchung in den Versuchsgruppen

Personen der 2D-Slider Bedingung erlebten eine höhere zeitliche Beanspruchung und zeigten gleichzeitig die wenigsten richtigen Reaktionen im Vergleich zu den anderen Gruppen. Abbildung 3 veranschaulicht außerdem, dass die Genauigkeit der Reaktion in den Gruppen mit 3D Visualisierungen höher war, verbunden mit gleichzeitig geringerer erlebter zeitlicher Beanspruchung.

## 5 Diskussion

Im ersten Schritt konnten wir zeigen, dass bei der Überwachung von dreidimensionalen Darstellungen im Vergleich zu 2D eine geringere Beanspruchung erlebt wird. Besonders die zeitliche Beanspruchung spielt bei der Unterscheidung beider Visualisierungsarten eine wichtige Rolle. Im zweiten Schritt konnten Zusammenhänge zwischen Fehlern und der erlebten Beanspruchung ausgewiesen werden. Neben der zeitlichen Beanspruchung kann auch die erhöhte visuelle Beanspruchung zu vermehrten Fehlern in der Überwachungsaufgabe führen. Negative Korrelationen von Beanspruchung und Treffern verweisen darauf, dass die Reduzierung der Beanspruchung mit einer Verbesserung der Leistung und mit einer besseren Problemerkennung verbunden ist. In der Bedingung 2D-Slider war die Genauigkeit, also die

Anzahl der Treffer, am geringsten und gleichzeitig die zeitliche Beanspruchung am höchsten. Die Ergebnisse weisen daraufhin, dass die Beanspruchung durch die Implementierung von dreidimensionalen Darstellungen zum Zwecke der Prozessüberwachung reduziert werden kann. Die überwiegend schwachen Korrelationen zeigen jedoch, dass in diesem Bereich noch Verbesserungen der Darstellungsweise notwendig sind, um die Beanspruchung in der Überwachungstätigkeit deutlich zu reduzieren.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Das in diesem Beitrag beschriebene Experiment untersuchte den Einfluss von 2D- und 3D-Prozessdatenvisualisierungen und unterschiedlicher Trainingsvarianten auf die Fehlererkennung und die Beanspruchung bei der industriellen Prozessführung. Es konnte gezeigt werden, dass eine 3D-Visualisierung zu einer geringeren Beanspruchung beim Operator führt.

In einer weiteren Untersuchung soll geprüft werden, inwiefern sich die Kombination von unterschiedlichen Variationen des Druck- und Distanzdiagramms auf den intuitiven Zugang zur Datenvisualisierung auswirken und somit die Beanspruchung weiter reduzieren. Da sich Veränderungen in Druck und Distanz aufeinander auswirken, ist eine Integration beider Diagramme im Sinne des PCP (Wickens & André 1990) zu prüfen. Dies würde sowohl die Anzahl der verschiedenen Darstellungen mindern als auch den Zusammenhang beider Parameter verdeutlichen.

Des Weiteren soll die Verwendung alternativer grafischer Eingabemöglichkeiten untersucht werden. Es ist anzunehmen, dass auch die Anpassung der Eingabe einen positiven Effekt auf die Beanspruchung des Operators haben kann.

### Literaturverzeichnis

- Beuthel, C. M. (1997). Dreidimensionale Prozessvisualisierung zur Führung technischer Anlagen am Beispiel eines Kohlekraftwerks. Dissertation TU Clausthal.
- Gramß, D., Schweizer, K. & Mühlhausen, S. (2008). Influence of presence in three-dimensional process control. In: PRESENCE 2008, *Proceedings of the 11th. International Workshop on Presence*, CLEUP Cooperativa Libraria universitaria, Padova, S. 319-325.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988) Development of a NASA-TLX (Task load index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*, Amsterdam: North Holland, S. 139-183.
- Hoppe, S. M.; Essenberg, G. R.; Wiegmann, D. A.; Overbye, T. J. (2004). Three-Dimensional Displays as an Effective Visualization Technique for Power Systems, Technical Report, University of Illinois.
- Pantförder, D. & Vogel-Heuser, B. (2008). Versuchsdesign für eine vergleichende Evaluation des Operator-Trainings bei der Visualisierung von Prozessdaten in einer 2D- und 3D-Umgebung. In: *Ueware, Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte, VDI/VDE-Berichte 2041*, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 143—154.

- Pantförder, D., Vogel-Heuser, B. & Schweizer, K. (2009). Benefit and evaluation of interactive 3D-process data visualization for the presentation of complex problems. *HCI International 2009*, Konferenz Juli 2009
- Schweizer, K., Gramß, D., Mühlhausen, S. & Vogel-Heuser, B. (2009). Mental models in process visualization - could they indicate the effectiveness of an operator's training? *HCI International 2009*, Konferenz Juli 2009
- Smallman, H. S., St. John, M. & Oonk, H. M. (2001). Information Availability in 2D and 3D Displays. *IEEE Computer Graphics and Applications*, S.51-56.
- Vogel-Heuser, B., Schweizer, K., van Burgeler, A., Fuchs, Y. & Pantförder, D. (2007). Auswirkungen einer dreidimensionalen Prozessdatenvisualisierung auf die Fehlererkennung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, vol. 1, S. 23-34.
- Vogel-Heuser, B. (2008). Automation in wood and paper industry. In: Nof, S. Y. (Ed): *Handbook of Automation*, Springer-Verlag, New York.
- Wickens, C. D. & Andre, A. D. (1990). Proximity Compatibility and Information Display: Effects of Color, Space, and Objectness on Information Integration, *Human Factors*, vol. 32 (1), S. 61-77.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance (3rd ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Die Untersuchung ist Teil des DFG-Projekts „Präsenz, Aufmerksamkeit und Slider-Training in der Prozessvisualisierung (PAST-P)“ <http://www.es.eecs.uni-kassel.de/pastp/>

#### **Kontaktinformationen**

Denise Gramß, Technische Universität Braunschweig, Abt. Weiterbildung und Medien

E-Mail: [denisegramss@aol.com](mailto:denisegramss@aol.com)

Dorothea Pantförder, Universität Kassel, Fachgebiet Eingebettete Systeme

E-Mail [pantfoerder@uni-kassel.de](mailto:pantfoerder@uni-kassel.de)

Karin Schweizer, Universität Mannheim, Fakultät für Sozialwissenschaft

E-Mail: [kschweiz@t-online.de](mailto:kschweiz@t-online.de)