

Untersuchung der Polarität der Informationsvisualisierung zur Entscheidungsunterstützung des Menschen im Kontext von Industrie 4.0

Jochen NELLES, Sinem KUZ, Christopher M. SCHLICK

*Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Im Forschungsprojekt „Hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und Sensorik“ wird u. a. das Zusammenwirken zwischen Arbeitspersonen und einem selbstoptimierenden Feinplansystem untersucht. Eine Zielsetzung dabei ist, mithilfe hochauflösender und konsolidierter Daten die Abweichungen zwischen Planung und Realität in der Fertigung und daraus resultierende manuelle Überplanungen zu verringern. Ein vielversprechender Ansatz ist die gezielte Unterstützung des Fertigungssteuerers – in seiner Rolle als Entscheidungsträger – anhand von Handlungsempfehlungen. Das in der Entwicklung befindliche Assistenzsystem wird in einer Vorstudie hinsichtlich der Polarität der Informationsvisualisierung untersucht.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine Interaktion, Selbstoptimierendes Feinplansystem, Automation, Assistenzsystem, Produktionsplanung und -steuerung, Industrie 4.0

1. Einleitung

Heutige Produktionssysteme sind geprägt durch komplexe Materialflüsse und eine hohe Varianz der Fertigungs- und Montageprozesse. Zugleich gewinnen die logistischen Leistungsmerkmale Liefertermintreue und Lieferzeit an Bedeutung, da diese beim Kunden als Differenzierungsmerkmal wahrgenommen werden (Schuh & Stich 2011). Bei produzierenden Unternehmen bestehen trotz der fortgeschrittenen Software-Entwicklung, bedingt durch eine starke Vereinfachung von komplexen Sachverhalten im Modell und einer schlechten Datenqualität, Defizite hinsichtlich der Reaktionsfähigkeit auf unvorhergesehene Ereignisse wie Eilaufträge, Maschinenstörungen oder Krankheit (Brackel 2009).

Aufgrund dieser mangelnden Reaktionsfähigkeit, sowie einer eingeschränkten Aktualität und Pflege der Daten, sind die Mitarbeiter auf eine manuelle Überplanung angewiesen. Dieser manuelle Eingriff in die Fertigungssteuerung verstärkt die ohnehin schon bestehende Abweichung zwischen Planung und Realität. Zusätzlich zu den teilweise fehlerhaften Daten in der Fertigungssteuerung wird die Verständlichkeit durch eine mangelnde Transparenz der Steuerungslogiken und komplexe, schwer verständlicher IT-Strukturen beeinträchtigt.

Die Kombination aus manuellen Überplanungen durch Mitarbeiter und intransparente Algorithmen in Systemen zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS), wie Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Execution Systems (MES) und Advanced Planning and Scheduling Systems (APS), die jeden Tag neue Auftragsreihenfolgen für die Produktionsressourcen errechnen, sorgt dafür, dass

weder in den Planungssystemen noch in der Realität der Fertigung ein einheitliches Verständnis über Auftragsreihenfolge und -fortschritt vorliegt. Darüber hinaus fehlt den Fertigungssteuerern ein Überblick über die Wirkzusammenhänge zwischen den Regelgrößen Termintreue, Bestand, Durchlaufzeit und Auslastung.

Deshalb müssen innovative Assistenzsysteme entwickelt werden, die ein einheitliches Verständnis von Planung und Realität in der Fertigung fördern. Der Ansatz, die in der Produktionsplanung und -steuerung etablierte Software zu verbessern, stößt dabei häufig an seine Grenzen und kann die Flexibilitätsanforderungen in vielen Situationen nicht erfüllen. Ein Ansatz, um die Planungsgüte und Transparenz zu erhöhen, sowie manuelle Überplanungen durch Mitarbeiter zu verringern, ist eine gezielte Unterstützung des Fertigungssteuerers durch ein Entscheidungsunterstützungssystem. Somit können die spezifischen Fähigkeiten und Fertigkeiten von Mensch und Maschine optimal kombiniert werden.

Bei branchenüblichen IT-Strukturen greifen die Arbeitspersonen manuell auf diverse Systeme wie ERP und MES zu und führen, häufig unter Zuhilfenahme eines APS-Systems und weiteren Programmen wie MS Excel, die Planung aus. Diese Art der Fertigungssteuerung ist gekennzeichnet durch die manuelle Ausführung der vier Stufen Informationsaufnahme, Informationsanalyse, Entscheidungsfindung/Handlungsauswahl und Handlungsausführung (Parasuraman et al. 2000).

In diesem Forschungsprojekt werden eine IT-Struktur, eine Datenbank zur Konsolidierung der Daten sowie eine hochauflösende Sensorik entwickelt und bei den Anwenderunternehmen sowie in einer Demonstrationsfabrik implementiert, die, aufbauend auf und ergänzend zu etablierten Fertigungssteuerungssystemen, den Menschen als Entscheider unterstützen. Hierbei besteht gemäß dem Modell von Parasuraman et al. (2000) eine mehrstufige Automatisierung hinsichtlich der Informationsaufnahme, der Informationsanalyse und einer Unterstützung, die bei der Entscheidungsfindung/Handlungsauswahl durch den Mitarbeiter hilft. Auf Grundlage der rechnergestützten Empfehlung von Maßnahmen/Handlungsempfehlungen obliegt es dem Fertigungssteuerer – in seiner zentralen Funktion als Entscheidungsträger – Handlungsempfehlungen auszuwählen und die daraus resultierenden Handlungsausführung der empfohlenen Maßnahmen/Handlungsempfehlungen zu veranlassen (Abb. 1).

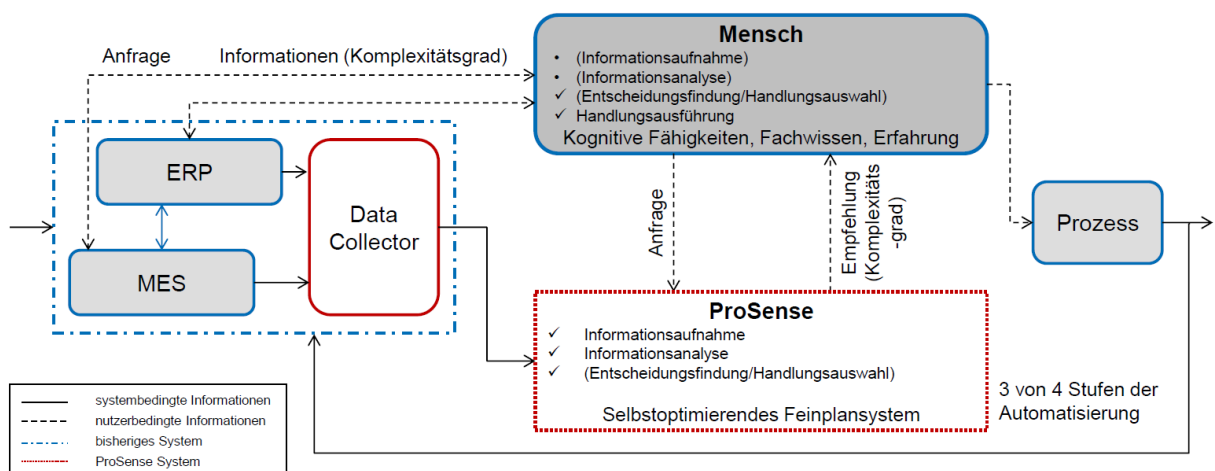


Abbildung 1: Vertikale Mensch-Maschine Kooperation und Entscheidungsunterstützung durch das Assistenzsystem (Eigene Darstellung, nach Millot et al. 2011).

Neben den zentralen Fragestellungen nach der Gebrauchstauglichkeit und der Informationsvisualisierung des in der Entwicklung befindlichen innovativen Assistenzsystems, sind eine erwartungskonforme Benutzerführung und die Gewährleistung eines transparenten Systemverhaltens weitere essentielle Fragestellungen. Deshalb sollen in einer Vorstudie die Gebrauchstauglichkeit und eine mögliche Informationsvisualisierung des Assistenzsystems untersucht werden.

2. Methodik

Diese Vorstudie fokussierte sich zunächst auf die Gebrauchstauglichkeit und untersuchte – unter Berücksichtigung der Polarität – insbesondere die Effizienz der Anwendung des innovativen Assistenzsystems. Auch wenn einschlägige Literatur aufzeigt, dass eine positive Polarität die Lesbarkeit erhöht (Zuffi et al. 2007), ist der Entwurf des Assistenzsystems bislang nicht auf eine Informationsvisualisierung mit positiver Polarität festgelegt.

Für das Experiment wurden die Probanden randomisiert in zwei Gruppen (positive, negative Polarität) aufgeteilt. Der Sehabstand beträgt ca. 600 mm. Das Experiment besteht in einer Suchaufgabe auf einem Touch-Monitor. Es wurde eine Tabelle (mit fünf Zeilen und fünf Spalten) mit dreistelligen Zahlen in vier unterschiedlichen Sehwinkeln (16, 20, 24 und 28°) präsentiert. Bei der verwendeten Schriftart handelt es sich um die im Assistenzsystem vorgesehene Schriftart Ubuntu. Die Probanden hatten die Aufgabe, so schnell und genau wie möglich eine zuvor auf dem Monitor eingeblendete Zahl zu finden und auf den Touch-Monitor zu tippen. Gemessen wurde die Suchzeit bis zum ersten Tippen des Touch-Monitors. Das Experiment bestand aus 80 Durchgängen, bei denen jede Schriftgröße randomisiert 20-mal auftrat. Je nach zugeteilter Gruppe wurde das Experiment mit negativer oder positiver Polarität durchgeführt (Abb. 2).

	1	2	3	4	5
A	764	158	657	467	487
B	294	348	960	456	087
C	756	621	754	855	327
D	168	687	476	029	197
E	168	687	476	029	972

Abbildung 2: Darstellung der verwendeten Versuchsumgebung mit negativer Polarität (rechts) und positiver Polarität (links).

Die Sehschärfe sowie das Farbsehen wurden mit Hilfe des Optovist und der Software Rodabase von der Vistec AG Vision Technologies erhoben. Bei dem verwendeten Touch-Monitor handelt es sich um den Elo Touch-Monitor ET1715L-8CWA-1-G der Elo Touch Solutions Inc. mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixel,

einer Abmessung von 338 x 270 mm und einem Rahmen in dunkelgrau. Mit dem Multi Test Master Laserliner der Umarex GmbH & Co KG wurde in unmittelbarer Front des Probanden (bei ausgeschaltetem Monitor) eine Beleuchtungsstärke von 905 lux gemessen. Das Labor, in dem das Experiment durchgeführt wurde, verfügt über keine Fenster und wird mit Leuchtstoffröhren beleuchtet. Die Leuchtstoffröhren wurden 15 min vor der Messung der Beleuchtungsstärke und vor der Versuchsdurchführung angeschaltet.

Die Auswertung der Vorstudie erfolgt anhand objektiver Methoden (Erhebung der Suchzeiten und Anzahl der Fehler) und Selbstauskunft der Probanden (Fragebögen zur mentalen Beanspruchung mit Hilfe des NASA-TLX (Hart & Staveland 1988) sowie zum Computerwissen mit Hilfe des TECOWI und PRACOWI (Richter et al. 2009)).

An der Vorstudie nahmen 15 Probanden (weiblich = 6) mit einem durchschnittlichen Alter von $M = 25,933$ ($SD = 4,23$, Spannweite = 16) teil. Alle Probanden waren normalsichtig oder verwendeten Sehhilfen und verfügten über Farbsehen.

Bei dem Versuchsdesign handelt es sich um ein 2x4-mixed design. Als unabhängige Variablen wurden als zweistufiger Zwischensubjektfaktor die Polarität (negativ, positiv) und als vierstufiger Innersubjektfaktor der Sehwinkel (16, 20, 24 und 28') betrachtet. Die verwendete Schriftgröße in Punkt (pt) wurde in Relation der ppi des verwendeten Bildschirms in den in Bogenminuten (') gemessenen Sehwinkel, den die Zeichenumrisse am Augpunkt des Betrachters aufspannen (sog. angulare Zeichenhöhe) umgerechnet (Jochems 2010). Nach Umrechnung der verwendeten Schriftgröße erhält man für den vierstufigen Innersubjektfaktor eine angulare Zeichenhöhe von 16, 20, 24 und 28'. Nach DIN EN ISO 9241-303 muss die angulare Zeichenhöhe mindestens 16' betragen und soll für Büroarbeit zwischen 20' und 22' liegen. Als abhängige Variablen wurden die Suchzeit in ms, die mentale Beanspruchung und das praktische und theoretische Computerwissen näher analysiert.

Durchgeführt wurde eine messwiederholte ANOVA mit dem Sehwinkel als vierstufigen Innersubjektfaktor und der Polarität als zweistufigen Zwischensubjektfaktor.

3. Ergebnisse

Der Mauchly-Test auf Sphärizität ist nicht signifikant. $\chi^2(5) = 0,582$, $p = 0,0276$. Die Sphärizität kann daher angenommen werden. Bei dem Test der Innersubjekteffekte wurde (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) ein signifikanter Unterschied bei dem Faktor Schriftgröße $F(3) = 4,679$, $p = 0,007$ gefunden. Der paarweise Vergleich der Innersubjektfaktoren zeigt, dass der Unterschied zwischen Schriftgröße 10 und 12 pt signifikant ist (Abb. 3). Die Schriftgröße 12 pt führt zu signifikant kürzeren Suchzeiten als Schriftgröße 10 pt. Die mittlere Suchzeit für die Schriftgrößen 10 und 12 pt liegen hier bei $M = 5919,09$ ($SD = 1174,11$) und $M = 4987,74$ ($SD = 638,73$).

Der Test der Zwischensubjekteffekte zeigt ein nicht signifikantes Ergebnis der Polarität $F(1) = 3,540$, $p = 0,082$, jedoch lässt sich aus dem Ergebnis eine Tendenz für die positive Polarität ablesen. Zwischen den Probandengruppen traten keine Unterschiede bei der Anzahl der Fehler auf.

Weiterhin wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben mit den Werten des NASA-TLX über die Gruppen der Polarität hinweg durchgeführt. Signifikante Unterschiede in den NASA TLX Werten traten nicht auf ($t(13) = 0,637$, $p = 0,535$). Eine Korrelation zwischen den NASA TLX Werten und den TECOWI und PRACOWI Werten ist ebenfalls nicht signifikant, $r = -0,034$, $p = 0,903$ und $r = 0,123$, $p = 0,658$.

Das Ergebnis zeigt, dass die Schriftgröße 12 pt bzw. 24' zu signifikant geringeren Suchzeiten führt als Schriftgröße 10 pt bzw. 20'. Weiterhin zeigt sich eine Tendenz für geringere Suchzeiten in der positiven Polarität.

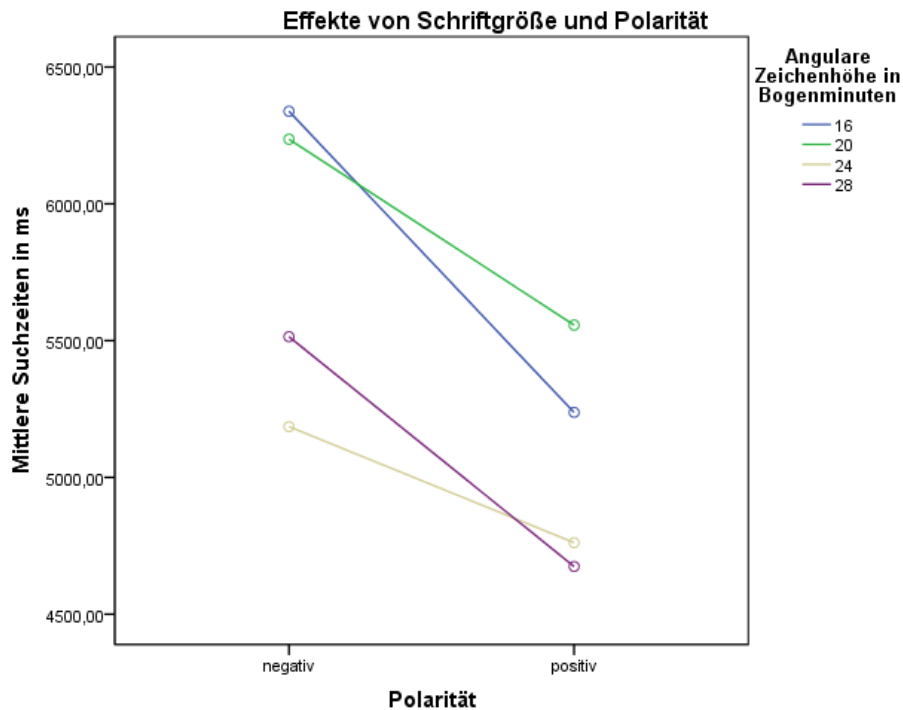


Abbildung 3: Effekte von Schriftgröße und Polarität.

4. Diskussion und Ausblick

In der Vorstudie wurde gezeigt, dass es mit Schriftgröße 12 pt zu signifikant kürzeren Suchzeiten kommt. Bezüglich der Polarität zeigt sich lediglich eine Tendenz für kürzere Suchzeiten in der positiven Polarität. Damit sind die vorliegenden Ergebnisse konsistent zum bisherigen Stand der Wissenschaft. So haben Buchner und Baumgartner (2007) bei einer Korrekturleseaufgabe nachgewiesen, dass positive Polarität unabhängig von der Umgebungsbeleuchtung und Farbigkeit (weiß vs. Schwarz und blau vs. Gelb) zu höheren Leistungen führt. Die fehlende Signifikanz der Ergebnisse der Vorstudie kann durch die vergleichsweise geringe Stichprobengröße ($n = 15$) erklärt werden. Es ist zu vermuten, dass bei nachfolgenden Studien und einer größeren Stichprobengröße sowohl ein signifikanter Polaritätseffekt als auch ein stärkerer Schriftgrößeneffekt zu finden ist.

Bezüglich der Untersuchung der mentalen Beanspruchung ist geplant die Pupillenweite anhand von Eye-Tracking zu erheben und zu analysieren. Darüber hinaus wird angestrebt, zukünftige Untersuchungen mit einem Prototypen des Assistenzsystems ProSense und mit Aufgaben aus dem Bereich der

Fertigungssteuerung durchzuführen. Weiterhin sollen Faktoren, die das Vertrauen in Automation beeinflussen können, wie Merkmale der Person, Merkmale der Automatisierung und Merkmale des situativen Kontextes (Hoff & Bashir 2014), und die Leistungsmerkmale der Automation (bspw. Zuverlässigkeit, Verständlichkeit, wahrgenommene Nützlichkeit) betrachtet werden (Bahner 2008).

5. Literatur

- DIN EN ISO 9241-303:2011: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen.
- Bahner, JE (2008) Übersteigertes Vertrauen in Automation: Der Einfluss von Fehlererfahrungen auf Complacency und Automation Bias, PhD Thesis. Technische Universität Berlin.
- Brackel T (2009) Adaptive Steuerung flexibler Werkstattfertigungssysteme: Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zur effizienten Produktionssteuerung unter Echtzeitbedingungen. Wiesbaden: Galber-Verlag.
- Buchner A, Baumgartner N (2007) Text-background polarity affects performance irrespective of ambient illumination and colour contrast. *Ergonomics* 50(7), 1036-1063.
- Hart S, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology* 52, 139-183.
- Hoff, KA, Bashir M (2014) Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*.
- Jochems N (2010) Altersdifferenzierte Gestaltung der Mensch-Rechner-Interaktion am Beispiel von Projektmanagementaufgaben, PhD Thesis. RWTH Aachen.
- Millot P, Debernard S, Vanderhaegen F (2011) Authority and Cooperation between Humans and Machines. In: Boy GA (Hrsg.) *The Handbook of Human-Machine Interaction*. Ausgabe 2008. 2. Aufl., Florida: Ashgate, 207-234.
- Parasuraman R, Sheridan TB, Wickens CD (2000) A model for types and levels of human interaction with automation. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30: 286-297.
- Richter T, Naumann J, Horz H (2010) Eine revidierte Fassung des Inventars zur Computerbildung (INCOBI-R). *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*. 24(1), 23-37.
- Schuh G, Stich B. (2011) *Produktion am Standort Deutschland*. Ausgabe 2011. 1. Aufl., Aachen: Druckservice Zillekens.
- Zuffi S, Brambilla C, Beretta G, Scala P (2007) Human Computer Interaction: Legibility and Contrast. 14th International Conference on Image Analysis and Processing.

Danksagung: Das Projekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von Morgen“ sowie der Förderinitiative „Intelligente Vernetzung in der Produktion – Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) betreut (FKZ: 02PJ2490).