

Untersuchung der erforderlichen Abbildungsgrößen von Personen auf Kamera-Monitor-Systemen mobiler Maschinen nach einer Cognitive Work Analysis des Arbeitsbereiches

Shuaixin QI¹, Marino MENOZZI¹, Peter NICKEL²

¹ *Human Factors Engineering Group, ETH Zürich,
Scheuchzerstrasse 7, CH-8092 Zürich, Schweiz*

² *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin, Germany*

Kurzfassung: Bei mobilen Maschinen ermöglichen Kamera-Monitor-Systeme (KMS) die Sicht auf Aktionsbereiche, die der Direktsicht von Maschinenführern/-innen verborgen bleiben. Um die Erkennbarkeit von Fußgängern auf KMS zu gewährleisten, geben Regelwerke eine Mindesthöhe (MH) der Personenabbildung auf den Monitoren vor, die auf den Annahmen einer üblichen Sehdistanz zum Monitor und der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestsehschärfe basiert. Aufgrund dieser nicht an die reale Betriebspraxis angepassten Annahmen bei der Festlegung der MH besteht weiterhin ein begründetes Unfallrisiko. Ein Forschungsprojekt wird erforderliche MH unter Einbezug der realen Arbeitsbedingungen durch Arbeitssystemanalyse, Simulations- und Feldexperimente bestimmen. Hier werden das Projekt und erwartete Ergebnisse beschrieben.

Schlüsselwörter: Kamera-Monitor-System, Arbeitsschutz, mobile Maschine, Cognitive Work Analysis

1. Einleitung

Kamera-Monitor-Systeme (KMS) erweitern oder ersetzen Funktionen von Spiegeln, wie z. B. Rückspiegeln. Bei mobilen Maschinen ermöglichen Spiegel oder KMS die Sicht auf Aktionsbereiche, die Maschinenführern und Maschinenführerinnen verborgen bleiben. Um die Erkennbarkeit von Objekten und Fußgängern bei KMS zu gewährleisten, geben Regelwerke (DIN EN ISO 16001:2018) eine Mindesthöhe (MH) der Abbildung von Objekten und Fußgängern auf den Monitoren von KMS vor. Danach soll die MH eines auf dem Monitor abgebildeten Prüfobjektes 7 mm bzw. mindestens 10 % der Bildschirmhöhe betragen. Die MH von 7 mm basiert auf den Annahmen einer üblichen Sehdistanz zum Monitor von ca. 1 m (ISO 16505:2019, Tab. B.3) und einer gesetzlich vorgeschriebenen Mindestsehschärfe von 1.0 (Terzis, 2016).

Die Sehaufgabe beim Führen von Maschinen ist allerdings nicht mit der Sehaufgabe bei der Sehschärfeprüfung zu vergleichen. Jegen-Perrin et al. (2016) untersuchten bereits verschiedene Einflussgrößen auf die Erkennungsrate von Fußgängern auf *statischen* Monitorbildern im Labor. Sie kommen zum Schluss, dass eine MH von 7 mm für eine sichere Erkennbarkeit der Fußgänger auf dem Monitor zu klein bemessen ist. In der Studie bleiben jedoch diverse Faktoren unberücksichtigt, die bei der realen Arbeit im Feld vorzufinden sind und welche eine MH von 7 mm ebenso infrage stellen.

In der realen Arbeit entstehen durch Bewegungen von Personen und Objekten im Umfeld mobiler Maschinen und durch das Manövrieren des Fahrzeuges bewegte Monitorbilder. Wie u. a. aus Untersuchungen von Demer & Amjadi (1993) bekannt ist, ist die Erkennungsleistung für bewegte Sehobjekte geringer als für statische. Beim Erkennen eines in der frontparallelen Ebene des Beobachters und mit einer Geschwindigkeit von $10^\circ/\text{s}$ (Sehwinkel pro Sekunde) bewegten Objektes wird die Sehleistung gegenüber dem Erkennen eines statischen Objektes halbiert. Übliche Rotationsgeschwindigkeiten z. B. von Baggern liegen bei 10 Umdrehungen pro Minute, was $60^\circ/\text{s}$ entspricht. Zudem bewegen sich die Objekte auf einem KMS und sie haben einen geringeren Kontrast als die Landoltringe auf der Sehtafel. Auch sind die zu erkennenden Fußgänger von anderen Objekten umgeben, was zum sogenannten „crowding“ Effekt führt, welcher die Sehleistung verringert (Pelli et al., 2004).

Risikofaktoren des Arbeitsalltages können ebenfalls die visuelle Leistung der Maschinenführerinnen und Maschinenführer beeinträchtigen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass auch die psychische Belastung der Maschinenführerinnen und Maschinenführer durch Mehrfachtigkeit beeinflusst ist. Aufgrund der beschränkten mentalen Ressourcen (Wickens, 2008) werden bei einer Mehrfachtigkeit den einzelnen Aufgaben weniger Ressourcen zugeteilt als im Vergleich zur Abarbeitung einer einzelnen, isoliert durchgeführten Aufgabe. Die psychische Beanspruchung kann auch durch Verarbeitung vergangener und zu erwartender Ereignisse beeinflusst sein (Meier & Zimmermann, 2015).

Aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen bei einer Sehschärfeprüfung und einer Sehaufgabe im Führerstand einer Maschine ist es noch fraglich, ob und inwieweit die im Führerstand erbrachte Sehleistung aus der bei der Sehschärfeprüfung ermittelten Sehschärfe vorausgesagt werden kann. Somit ergeben sich Zweifel, ob eine MH von 7 mm für ein sicheres Erkennen von Personen auf dem KMS ausreicht.

Diesen Fragen stellt sich ein Forschungsprojekt der DGUV Forschungsförderung, das von der Human Factors Engineering Group der ETH Zürich bearbeitet wird. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung unterstützt die Projektarbeiten. Dieses Projekt bezweckt die experimentelle Herleitung der erforderlichen MH einer auf einem KMS dargestellten Person. Sie soll mit hinreichender Sicherheit vom Fahrzeugführer oder von der Fahrzeugführerin rechtzeitig erkannt werden, um einen Zusammenstoß von ihr mit dem Fahrzeug bzw. der Maschine zu verhindern. Zudem werden im Projekt weitere Gestaltungshinweise formuliert, die zur Risikominderung bei betriebspraktischer Verwendung von KMS beitragen.

2. Methoden

2.1 Literaturstudien und Cognitive Work Analysis (CWA)

In der ersten Phase des Projektes werden zunächst die relevante arbeitswissenschaftliche Fachliteratur gesichtet und Unfalldaten analysiert. Im Projekt werden Untersuchungen unter realitätsnahen und realen Arbeitsbedingungen durchgeführt und somit verschiedene Arbeitsaufgaben einschließlich der Bedingungen, unter denen sie ausgeführt werden (z. B. Arbeitsplatz, Arbeitsmittel und Arbeitsumgebung) berücksichtigt. Deshalb werden neben systematischen Literaturstudien noch betriebspraktische Erfahrungen eines Expertenkreises, bestehend aus z. B.

Maschinenführern, Fußgängern, Experten aus den Unfallversicherungsträgern (UVT), Herstellern von KMS und Maschinen, einbezogen. Typische Risikofaktoren des Arbeitsalltags, die zu kritischen Anforderungen bei der Erkennbarkeit von Fußgängern auf KMS führen, werden identifiziert.

Außerdem werden der Einsatz des KMS und sein Umfeld mit einem ganzheitlichen Ansatz analysiert. Dazu wird die bewährte, standardisierte arbeitswissenschaftliche Methode der „Cognitive Work Analysis“ (CWA; Bisantz & Burns, 2016) eingesetzt. Ziel der CWA ist die Identifizierung der Begrenzungen („Constraints“) bei der betriebspraktischen Verwendung des KMS. Dieser Arbeitsschritt ist dem Festlegen der Grenzen der Maschine im Rahmen einer Risikobeurteilung ähnlich, bezieht sich hier allerdings auf Grenzen im Sinne eines ergonomischen Arbeitssystems und auf Aufgaben und Anforderungen zur Nutzung von KMS. Die Ergebnisse der CWA zeigen die Begrenzungen im Arbeitssystem auf und dienen der Beschreibung verschiedener Arbeits- und Fahraufgaben und der Bedingungen, unter denen sie in experimentellen Studien ausgeführt werden sollen.

2.2 Simulation von Risikoszenarien

Die erforderliche MH können nur begrenzt in Untersuchungen im realen Arbeitsalltag ermittelt werden. Wegen des damit verbundenen Unfallrisikos werden Studien in simulierten Szenarien für Fahr- und andere Arbeitsaufgaben ergänzt. Einige Erkenntnisse aus Versuchen im Simulator lassen sich in die Realität übertragen. Dies wurde zum Beispiel für das Geschwindigkeitsverhalten (Godley et al., 2002; Reed & Green, 1999), den Nachweis von Fahrfehlern und Spurtreue (Shechtman et al., 2009), und der Wirkung von Alkohol (Helland et al., 2013) und dem Rauschmittel THC auf das Fahrverhalten (Veldstra et al., 2015) nachgewiesen.

Techniken der virtuellen Realität (VR) erlauben, eingebettet in ein Human Factors-Konzept zur systematischen Anwendungsentwicklung, realitätsnahe Simulationen von Risikoszenarien. VR-Simulationen können eine realitätsnahe Interaktion mit der virtuellen Welt mit hoher Immersion und Gefühl von Präsenz ermöglichen (Grabowski, 2020). Im Bereich der Mensch-Maschinen-Interaktion wurden bereits VR-Simulationen für Probandenstudien eingesetzt. Die Befunde der Simulationen waren übertragbar und quantitative Messungen der Simulationsexperimente waren vergleichbar mit Normenwerten von Feldstudien (Bhagavathula et al., 2018; Deb et al., 2017; Singh et al., 2015).

Vor den Feldstudien des Projekts werden kontrollierbare VR-Simulationen für definierte Arbeits- und Manövrieraufgaben durchgeführt. Neben der Gestaltung der virtuellen Umgebung wird ein vorhandener Simulator mit Baumaschinensitz und manövrierspezifischen Bedienelementen sowie mit einem KMS nachgerüstet. Aus den mit der CWA gewonnenen Tätigkeitsanalysen wird die minimal notwendige Hardwarekonfiguration abgeleitet und ermittelt, ob z.B. eine VR-Brille mit einer Bewegungsplattform zu kombinieren ist, um visuelle, akustische, haptische und vestibuläre Stimuli beim Führen der Maschine zu replizieren. Das KMS eingebettet in Arbeitsszenarien kann ggf. in der Simulation virtuell implementiert werden. Die Simulationen werden mit Fachexperten bezogen auf Aspekte ökologischer Validität diskutiert und erforderliche Modifikationen werden iterativ umgesetzt.

2.3 Simulationsexperimente

Für die Bestimmung der Variablen in Simulationsexperimenten werden die Ergebnisse der Literaturstudien und CWA berücksichtigt. Techniken zu Beobachtungs- und Befragungsanalysen werden entworfen und mit Expertenkreisen diskutiert. Als arbeitswissenschaftliche Methoden kommen Belastungs- und Beanspruchungsanalysen sowie weitere Verhaltensanalysen und Instrumente der Usability-Evaluation zum Einsatz (z. B. zur Erfassung von Arbeitsleistung und -qualität, Blickbewegungen, Präsenzzempfinden).

Für die Simulationsexperimente werden ausgebildete Maschinenführerinnen und -führer als Versuchspersonen rekrutiert. Die gesammelten Daten werden ausgewertet und Ergebnisse werden im Hinblick auf eine Validierung im Feld interpretiert.

2.4 Feldexperimente

Mithilfe von den aus Simulationsexperimenten gewonnenen Ergebnissen werden Feldstudien konfiguriert. Damit sollen dann auch Befunde aus Simulationsexperimenten in realitätsnahen Arbeitsumgebungen validiert werden. Das ist aus Gründen des Unfallrisikos nur für eine Auswahl möglich, wie z. B. einen möglichen Effekt unterschiedlicher Bekleidung für das Erkennen von Fußgängern knapp außerhalb des Gefahrenbereiches der Maschine.

Feldexperimente werden zunächst erprobt und anschließend an realen Arbeitsplätzen z.B. im Tiefbau durchgeführt. Als arbeitswissenschaftliche Methoden kommen dabei etwa Beobachtungsstudien, Tätigkeits- und Blickbewegungsanalysen sowie Instrumentarien aus der Systemergonomie und Usability zum Einsatz.

Für die Feldstudien wird eine Balance angestrebt zwischen einer möglichst breiten Auswahl von Einsatzbereichen für KMS zur Personenerkennung und einer Vergleichbarkeit einzelner Feldstudien untereinander sowie mit den Simulationsexperimenten. Die bei gleichartigen Einsatzszenarien ermittelten Ergebnisse werden sowohl untereinander als auch mit den Ergebnissen der Simulationsexperimente verglichen.

3. Erwartete Ergebnisse

Das Forschungsprojekt liefert für den Arbeitsschutz in der betrieblichen Praxis relevante und direkt umsetzbare Ergebnisse. Neue und zuverlässige Vorgaben werden für eine erforderliche MH zur sicheren Erkennung von Personen und Objekten auf KMS aufbereitet, die auch unterschiedliche betriebspraktische Einsatzbedingungen und Arbeitsszenarien berücksichtigen. Grenzwerte für die MH sollen an einer betriebspraktischen Nutzung von KMS ausgerichtet werden. Dadurch entsteht nicht lediglich ein absoluter Grenzwert, der alle möglichen Einsatzsituationen von KMS gleichzeitig abdecken muss. Vielmehr können praktisch relevante MH anhand von signifikanten Rahmenbedingungen im Forschungsprojekt aufgedeckt werden.

Das Forschungsprojekt identifiziert neue Arbeitssituationen, die zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Somit können diese im Rahmen von Gefährdungsbeurteilungen einbezogen und bei Aus- und Weiterbildung der KMS-Nutzer berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden im Projekt relevante Einflussfaktoren identifiziert, die auf die sichere Personenerkennung auf KMS einwirken. Diese müssen in Risikobeurteilungen

vor der Installation und Inbetriebnahme sowie auch im Rahmen von Gefährdungsbeurteilungen im jeweils variierenden betriebspraktischen Kontext berücksichtigt werden.

Das Forschungsprojekt bietet eine wissenschaftliche Grundlage für die Festlegung der Mindesthöhe in Normen und für Anforderungen und Empfehlungen der KMS-Gestaltung in unterschiedlichen Branchen. Dadurch bekommen dann Prüf- und Zertifizierungsstellen sowie Hersteller Informationen zur Auslegung von KMS und damit verbundener Sicherheit und Gesundheit im Anwendungskontext.

4. Literatur

- Bhagavathula R, Williams B, Owens J, Gibbons R (2018) The Reality of Virtual Reality: A Comparison of Pedestrian Behavior in Real and Virtual Environments. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 62(1), 2056–2060. <https://doi.org/10.1177/1541931218621464>.
- Bisantz AM, Burns CM (2008) *Applications of Cognitive Work Analysis*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420063059>.
- Deb S, Carruth DW, Sween R, Strawderman L, Garrison TM (2017) Efficacy of virtual reality in pedestrian safety research. *Applied Ergonomics*, 65, 449–460. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.03.007>.
- Demer JL, Amjadi F (1993) Dynamic visual acuity of normal subjects during vertical optotype and head motion. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 34(6), 1894–1906.
- Godley ST, Triggs TJ, Fildes BN (2002) Driving simulator validation for speed research. *Accident Analysis & Prevention*, 34(5), 589–600. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00056-2)
- Grabowski A (2020) *Virtual Reality and Virtual Environments: A Tool for Improving Occupational Safety and Health* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003048510>.
- Helland A, Jenssen GD, Lervåg L, Westin AA, Moen T, Sakshaug K, Lydersen S, Mørland J, Slørdal L (2013) Comparison of driving simulator performance with real driving after alcohol intake: A randomised, single blind, placebo-controlled, cross-over trial. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.042>.
- Jegen-Perrin N, Lux A, Wild P, Marsot J (2016) Preventing plant-pedestrian collisions: Camera & screen systems and visibility from the driving position. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 284–290. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.02.003>.
- Meier B, Zimmermann TD (2015) Loads and loads and loads: The influence of prospective load, retrospective load, and ongoing task load in prospective memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00322>.
- Pelli DG, Palomares M, Majaj NJ (2004) Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection. *Journal of Vision*, 4(12), 12. <https://doi.org/10.1167/4.12.12>
- Reed MP, Green PA (1999) Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics*, 42(8), 1015–1037. <https://doi.org/10.1080/001401399185117>.
- Shechtman O, Classen S, Awadzi K, Mann W (2009) Comparison of Driving Errors Between On-the-Road and Simulated Driving Assessment: A Validation Study. *Traffic Injury Prevention*, 10(4), 379–385. <https://doi.org/10.1080/15389580902894989>.
- Singh S, Payne SR, Mackrill, JB, Jennings PA (2015) Do experiments in the virtual world effectively predict how pedestrians evaluate electric vehicle sounds in the real world? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 35, 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.10.012>
- Terzis A (2016) Automotive Mirror-Replacement by Camera Monitor Systems. In A. Terzis (Ed.), *Handbook of Camera Monitor Systems* (Vol. 5, pp. 3–50). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29611-1_1.
- Veldstra JL, Bosker WM, de Waard D, Ramaekers JG, Brookhuis KA (2015) Comparing treatment effects of oral THC on simulated and on-the-road driving performance: Testing the validity of driving simulator drug research. *Psychopharmacology*, 232(16), 2911–2919. <https://doi.org/10.1007/s00213-015-3927-9>.

Wickens CD (2008) Multiple Resources and Mental Workload. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>.

Danksagung: Die Human Factors Group der ETH Zürich dankt der DGUV-Forschungsförderung für die Förderung des Forschungsprojekts (<https://www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fp0472.jsp>).



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de