

Untersuchung der erforderlichen Abbildungsgrößen von Personen auf Kamera-Monitor-Systemen mobiler Maschinen: Erste Ergebnisse einer kognitiven Arbeitsanalyse

Shuaixin QI¹, Marino MENOZZI², Peter NICKEL³

¹ *Biomedical and Mobile Health Technology Lab, ETH Zürich,
Lengghalde 5, CH-8008 Zürich, Schweiz*

² *Human Factors Engineering Group, ETH Zürich,
Scheuchzerstrasse 7, CH-8092 Zürich, Schweiz*

³ *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin, Germany*

Kurzfassung: Bei mobilen Maschinen sind Kamera-Monitor-Systeme (KMS) hilfreich, um Maschinenführern*innen Sicht auf Bereiche zu ermöglichen, die außerhalb ihres direkten Blickfelds liegen. Regelwerke definieren eine Mindesthöhe (MH) für die Darstellung von Personen auf Monitoren, die scheint aber weder mit Anforderungen der Betriebspraxis noch mit der Ergonomie konform. Ein Forschungsprojekt soll daher die MH unter Berücksichtigung realer Arbeitsbedingungen bestimmen. In der Klärungsphase werden mit der kognitiven Arbeitsanalyse relevante Risikofaktoren und -situationen identifiziert. Erste Ergebnisse sowie die nächsten Schritte des Projekts werden vorgestellt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Kamera-Monitor-System, Arbeitsschutz, mobile Maschine, kognitive Arbeitsanalyse (Cognitive Work Analysis), Wahrnehmung

1. Einleitung

Kamera-Monitor-Systeme (KMS) dienen dazu, die Funktionen herkömmlicher Spiegel, wie z. B. Rückspiegel, zu ergänzen oder zu ersetzen. Sie sind insbesondere bei mobilen Maschinen von Bedeutung, da sie Maschinenführern und Maschinenführerinnen Einblick in die für direkte Sicht verdeckten Aktionsbereiche gewähren. Laut Regelwerken wie der DIN EN ISO 16001:2018 ist für KMS eine Mindesthöhe (MH) zur Darstellung von Objekten und Fußgängern auf den Monitoren festgelegt. Diese beträgt 7 mm und basiert auf einer empirischen Relation zur Größe der damals marktüblichen Monitore.

Die Monitorgröße allein ist jedoch nicht der einzige Faktor, der die Objekt- und Personenerkennung bei der Benutzung mobiler Baumaschinen beeinflusst. Jegen-Perrin et al. (2016) zeigten in ihrer Studie mit statischen Monitorbildern im Labor, dass selbst eine MH von 7 mm für zuverlässiges Erkennen von Fußgängern unzureichend sein könnte. Dabei blieben wichtige Aspekte der realen Arbeitssituation unberücksichtigt, die die Angemessenheit einer MH von 7 mm zusätzlich infrage stellen könnten.

In der Praxis treten durch die Bewegung von Personen und Objekten sowie durch Fahrzeugmanöver dynamische Monitorbilder auf. Untersuchungen, wie die von Demer

& Amjadi (1993) belegen, dass die Erkennensleistung bei bewegten Sehobjekten geringer ist als bei statischen. Beispielsweise halbiert sich die Sehleistung beim Erkennen eines Objekts, das sich mit einer Geschwindigkeit von $10^\circ/\text{s}$ bewegt, im Vergleich zu einem statischen Objekt. Hinzu kommen Herausforderungen wie geringerer Kontrast und der „crowding“ Effekt (Pelli et al. 2004), die die Sehleistung weiter beeinträchtigen. Auch weitere Faktoren des Arbeitsalltags, wie psychische Belastung durch Mehrfach Tätigkeiten, können die visuelle Leistung der Maschinenführer und -führerinnen beeinflussen. Die dadurch bedingte Verteilung mentaler Ressourcen (Wickens, 2008) stellt eine Herausforderung dar.

Angeichts dieser unterschiedlichen, einwirkenden Arbeitsbedingungen bleibt fraglich, ob eine MH von 7 mm auf dem KMS für ein sicheres Erkennen von Personen ausreichend ist. Diese Fragestellung wird in einem Forschungsprojekt der DGUV-Forschungsförderung von der Biomedical and Mobile Health Gruppe sowie der Human Factors Engineering Gruppe der ETH Zürich bearbeitet und vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung unterstützt.

Das Hauptziel dieses Projekts besteht darin, durch systematische Untersuchungen und praxisnahe Experimente die notwendige MH für die sichere Erkennung einer Person auf einem KMS zu ermitteln. Dabei soll gewährleistet werden, dass Maschinenführer und -führerinnen die Person sicher und rechtzeitig auf dem Monitor erkennen, um potenzielle Kollisionen zu verhindern.

In der ersten Phase des Projekts wurde zunächst die relevante arbeitswissenschaftliche Fachliteratur gesichtet. Außerdem wurden der Einsatz des KMS und sein Umfeld mit einem ganzheitlichen Ansatz analysiert. Dazu wird die bewährte, standardisierte, arbeitswissenschaftliche Methode der „Cognitive Work Analysis“ (CWA, Kognitive Arbeitsanalyse, Bisantz & Burns 2016; Naikar 2017; Vicente 1999) eingesetzt, mit dem Ziel, mögliche Grenzen und Einschränkungen des praktischen Einsatzes von KMS zu identifizieren.

Im Beitrag werden die angewandte Methodik, die gewonnenen Einsichten und die nächsten Schritte des Projekts skizziert. Der Einsatz der CWA erscheint in der deutschsprachigen Literatur nur selten dokumentiert. Die angewandte Methodik wird daher umfangreicher vorgestellt.

2. Methode

2.1 Cognitive Work Analysis (Kognitive Arbeitsanalyse)

Die Cognitive Work Analysis (CWA) wird definiert als ein Rahmenwerk, das die Arbeitsanforderungen komplexer soziotechnischer Systeme in Bezug auf die Einschränkungen (Constraints) für die Akteure festlegt (Jenkins et al. 2017). Dieser Ansatz ist systematisch, strukturiert und wissenschaftlich anerkannt, wodurch die Analyse auf fundierten Methoden basiert und zuverlässige sowie valide Ergebnisse liefert. Ein weiterer Vorteil der CWA ist die Erzeugung konkreter Artefakte, wie Diagramme und Tabellen, die es ermöglichen, Diskussionen über die Arbeitsbedingungen und Systeminteraktionen zu vertiefen und eine Grundlage für meta-kognitive Prozesse sowie fachliche Diskussionen zu bieten.

Die grundlegende Überlegung der Methodik ist, dass Beschäftigte in komplexen soziotechnischen Systemen über zahlreiche Handlungsoptionen verfügen. Es ist

schwierig, alle möglichen Optionen zu erfassen (Naikar 2016, S.14). Statt spezifische Arbeitsweisen für bekannte Situationen vorzuschreiben, identifiziert die CWA Einschränkungen, innerhalb derer Beschäftigte ihre Aktivitäten wählen und anpassen können. Der Fokus liegt also auf den Einschränkungen, die das Verhalten formen und leiten (Naikar 2016, S. 5).

Die CWA umfasst insgesamt fünf Phasen, die jeweils auf unterschiedliche Aspekte des Arbeitssystems fokussieren. Abhängig vom Anwendungszweck kann eine oder können mehrere Phasen ausgewählt werden (Bisantz & Burns 2016). Der vorliegende Beitrag fokussiert auf die erste Phase.

Aktuelle Beispiele für die Anwendung der CWA sind die Bewertung der Gestaltung von Bahnübergängen (Read et al. 2016), das Design von neuen In-Car-Displays (Allison & Stanton 2020), die Gestaltung von Drohnensteuerungs-Interfaces (Back et al. 2021) und die Umgestaltung von Notfallstationen (Morineau & Flach 2019). Es ist ersichtlich, dass die Methodik für viele sicherheitskritische, soziotechnische Themen eingesetzt wird.

2.2 Work Domain Analysis (Arbeitsdomänenanalyse)

Die erste Phase der CWA ist die Work Domain Analysis (WDA). Die WDA identifiziert die durch den zweckbestimmten und physischen Kontext auferlegten Einschränkungen für das Verhalten der Beschäftigten. Dieser Kontext oder Problemraum ist der Rahmen, in dem die Beschäftigten agieren. Die WDA wird eingesetzt, um die Bedingungen, unter denen die Aufgaben bearbeitet werden, zu definieren (Hugo 2015; Naikar 2016).

Eine anschauliche Analogie zur WDA lieferte Vicente (1999, S.158): „Stellen Sie sich vor, eine Ameise befindet sich am Strand und will von einem Punkt zum anderen gelangen. Während traditionelle Methoden wie die hierarchische Aufgabenanalyse versuchen würden, mögliche Wege der Ameise aufzulisten, konzentriert sich die WDA eher auf die Beschaffenheit der Landschaft und die Fähigkeiten der Ameise. Diese Elemente bestimmen letztendlich, welche Wege möglich oder unmöglich sind. Das Endprodukt dieser Phase ist ein sogenanntes 'Abstraction Hierarchy'-Diagramm (AH), das die identifizierten Einschränkungen auf fünf Ebenen darstellt. In unserer Analogie wäre dieses Diagramm äquivalent zu einer Karte des Strandes.“

2.3 Durchgeführte Arbeiten

a. Dokumentenüberprüfung und erster Entwurf: Zur Erstellung des AH-Diagramms sammelten wir Informationen aus verschiedenen Dokumenten wie relevante Literatur, Richtlinien, Normen, Informationsbroschüren und wissenschaftliche Veröffentlichungen. Folgende Einschlusskriterien wurden berücksichtigt: (1) sind (hochschul-)öffentlich verfügbar, (2) beschreiben oder diskutieren (a) wie und welche Aufgaben mit einem Bagger ausgeführt werden, (b) physische Objekte/ Ressourcen als Teil eines Baggers oder seines üblichen Arbeitsumfelds, (c) die Rolle des Baggersystems in Szenarien (z. B. Bau, Bergbau, Abbruch), (3) beziehen sich auf das Design/die Nutzung/ die Regelung von KMS oder anderen sichtbezogenen Komponenten.

Die Dokumente wurden von unserer Forschungsgruppe unabhängig gesichtet. Informationen und Einsichten wurden identifiziert und ein anfängliches AH-Diagramm basierend auf den extrahierten Daten entwickelt und diskutiert.

b. Zweiter Entwurf und Verfeinerung: Der erste Entwurf des AH-Diagramms sollte durch praktische Erfahrung mit dem soziotechnischen System und um Kenntnisse der Betriebspraxis ergänzt und verfeinert werden. Dazu wurden halbstrukturierte Interviews mit Personen der betrieblichen Praxis sowie mit Personen, die mit der Prüfung mobiler Maschinen vertraut sind, durchgeführt. Darunter waren neun Fachexperten mit unterschiedlichen Hintergründen, einschließlich Forschern im Bereich des Arbeitsschutzes, technischen Aufsichtsbeamten, Prüffingenieuren für Baumaschinen und Ausbildern für Maschinenführer. Ein Teil der Interviews wurde mit Einverständnis der Beteiligten aufgezeichnet und Protokolle wurden für die Analyse erstellt. Die Forschungsgruppe identifizierte auch einen Mangel an praktischer Erfahrung aus erster Hand. Direkte Beobachtungen oder Tätigkeiten auf Baustellen waren aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Um diese Lücke zu schließen, wurden Erfahrungen in einem Ausbildungszentrum für Baumaschinen in der Schweiz gesammelt (Campus Sursee), wo der Einsatz von Monitoren in Baumaschinen verschiedener Größen wie Baggern, Dumpfern und Kranen beobachtet werden konnte. Der erste Entwurf des AH-Diagramms wurde in einem Workshop drei Fachexperten des Ausbildungszentrums vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich absolvierte einer der Autoren eine Ausbildung für Baumaschinen, um tiefere Einblicke in die Bedienung mobiler Baumaschinen zu gewinnen.

c. Validierungsworkshop: Nach einer Überarbeitung des zweiten Entwurfs haben wir gemeinsam mit 10 weiteren Fachexperten des Projektbegleitkreises und des wissenschaftlichen Beirates des Projekts, das überarbeitete Diagramm in einem Workshop überprüft und validiert. Zu Beginn des Workshops wurde die Zielsetzung des gesamten Projekts, die durchgeführten Arbeiten und die Rolle von CWA und WDA erklärt. Zudem erläuterten wir anhand eines Beispiels den Aufbau einer AH. Der Begleitkreis hatte das AH-Diagramm bereits eine Woche vor dem Treffen mit der Bitte um kritische Durchsicht erhalten. Während des Treffens erhielten alle nochmals 15 Minuten Zeit, um sich intensiv mit dem Diagramm auseinanderzusetzen und sich allfällige Anmerkungen zu notieren. Der Begleitkreis wurde gebeten zu identifizieren, ob dem Modell funktionale Zwecke, Werte und Prioritäten, zweckbezogene Funktionen, objektbezogene Prozesse und physische Objekte fehlten, oder ob eine der dokumentierten Kategorien überflüssig war.

Die Diskussion im Begleitkreis wurde mit folgender Frage angestoßen: „Stellen Sie sich eine Ihnen vertraute Arbeitsumgebung vor oder denken Sie an eine Risikosituation. Überprüfen Sie dann, ob und wie diese Situation durch die Elemente, die im bereitgestellten Diagramm aufgeführt sind, erklärt werden kann. Können Sie Verbindungen zwischen den Elementen des Diagramms und den spezifischen Aspekten Ihrer Arbeitsumgebung oder der Risikosituation herstellen?“ Die Diskussion wurde aufgezeichnet und ein Protokoll wurde für Analysezwecke erstellt. Anschließend wurde das AH-Diagramm basierend auf den Antworten der Teilnehmer angepasst. Unterschiedliche Änderungsvorschläge wurden durch Referenz zum Datenwörterbuch und durch Überarbeitungen des Diagramms aufgelöst.

3. Ergebnisse

Das Ergebnis ist ein AH-Diagramm, welches dazu dient, die Komplexität eines Systems auf fünf Ebenen zu verteilen und dadurch die Interaktionen verschiedener Elemente des soziotechnischen Systems untereinander besser zu verstehen. Zudem

wurde ein Glossar entwickelt, um jede Elementegruppe der AH detailliert zu erklären, im Speziellen, welche Aspekte unter jeder Elementegruppe zu verstehen sind.

Als Beispiele an Erkenntnissen aus der CWA werden hier folgende genannt: Unabhängig von der visuellen Qualität des Monitorbildes muss der Beschäftigte zuerst den Monitor in der Kabine lokalisieren. Unfälle können selbst bei langsamer Maschinenbewegung in einem Bruchteil einer Sekunde geschehen, und selbst eine schnelle Erkennung kann nicht immer Unfälle verhindern. Nicht-physische Faktoren, wie Kommunikationsschwierigkeiten aufgrund von Sprachbarrieren oder psychischer Belastung durch die Gestaltung der Aufgabenschnittstelle und die Ausführungsbedingungen während der Aufgabenbearbeitung, die in Normen für die ergonomische Gestaltung von Maschinen als wichtige Einflussfaktoren genannt werden (DIN e. V. 2015), spielen gemäß unserer Analyse eine erhebliche Rolle für das Erkennen von Fußgängern. Dennoch scheinen diese Aspekte in der aktuellen Normung für den Einsatz des KMS in mobilen Baumaschinen nicht ausreichend berücksichtigt zu werden.

4. Diskussion

Die durchgeführte CWA ermöglichte es, wesentliche Einschränkungen und Herausforderungen im Umgang mit mobilen Baumaschinen, insbesondere mit Baggern, zu identifizieren. Effekte der identifizierten Risikofaktoren auf die MH sollen in Simulationsexperimenten weiter untersucht werden. Dazu wird ein Simulator basierend auf virtueller Realität entwickelt, mit dem das Erkennen von Personen in einem kontrollierten Umfeld untersucht werden kann.

In der gängigen Literatur wurde oftmals die WDA als die einzige Phase für die Analyse eines Arbeitssystems genutzt (z. B. Cornelissen et al. 2015; Hugo 2015; King et al. 2023; Mohamad Suleiman 2023; Salmon et al. 2019). Bei der Durchführung der WDA wurde deutlich, dass diese allein kein ganzheitliches Abbild eines Arbeitssystems repräsentieren kann. Insbesondere lassen sich mit der WDA allein psychische Einflussfaktoren nicht direkt einbeziehen, da die Analyse auf die physische Ebene fokussiert ist. Daher ist es empfehlenswert, auch andere Phasen der CWA zu berücksichtigen, um eine umfassende Analyse zu gewährleisten.

5. Literatur

- Allison CK, Stanton NA (2020) Constraining Design: Applying the Insights of Cognitive Work Analysis to the Design of Novel In-Car Interfaces to Support Eco-Driving. *Automotive Innovation*, 3(1), 30–41. <https://doi.org/10.1007/s42154-020-00090-5>
- Back Y, Zak Y, Parmet Y, Oron-Gilad T (2021) Combining cognitive work analysis and empirical evaluations to understand map use by operators of small carry-on unmanned aerial systems. *Applied Ergonomics*, 90, 103218. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103218>
- Bisantz AM, Burns CM (Eds.) (2016) *Applications of Cognitive Work Analysis* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420063059>
- Cornelissen M, Salmon PM, Stanton NA, McClure R (2015) Assessing the ‘system’ in safe systems-based road designs: Using cognitive work analysis to evaluate intersection designs. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.10.002>
- 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.

- DIN (2015) Ergonomische Gestaltung von Maschinen (3rd ed.). [DIN-Taschenbuch 352]. Beuth Verlag GmbH. ISBN 978-3-410-25937-4.
- Hugo J (2015) Work Domain Analysis Methodology for Development of Operational Concepts for Advanced Reactors (INL/EXT--15-34783, 1179386; p. INL/EXT--15-34783, 1179386). <https://doi.org/10.2172/1179386>
- 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>
- Jenkins DP, Stanton NA, Salmon PM, Walker GH (2017) *Cognitive Work Analysis: Coping with Complexity* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315572543>
- King BJ, Read GJM, Salmon, PM (2023) Identifying risk controls for future advanced brain-computer interfaces: A prospective risk assessment approach using work domain analysis. *Applied Ergonomics*, 111, 104028. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104028>
- Mohamad Suleiman A (2023) Exploring work environment management boundaries using work domain analysis. *Safety Science*, 157, 105922. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105922>
- Morineau T, Flach JM (2019) The heuristic version of Cognitive Work Analysis: A first application to medical emergency situations. *Applied Ergonomics*, 79, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.07.008>
- Naikar N (2016) *Work Domain Analysis: Concepts, Guidelines, and Cases* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b14774>
- Naikar N (2017) Cognitive work analysis: An influential legacy extending beyond human factors and engineering. *Applied Ergonomics*, 59, 528–540. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.06.001>
- 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>
- Read GJM, Salmon PM, Lenné MG, Stanton NA (2016) Walking the line: Understanding pedestrian behaviour and risk at rail level crossings with cognitive work analysis. *Applied Ergonomics*, 53, 209–227. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.10.004>
- Salmon PM, Lane BR, Desmond D, Cherney A, Kulatilleke G, Matthews A, Lacey D, Stanton NA (2019) Breaking bad systems with Human Factors and Ergonomics: Using Work Domain Analysis to identify strategies to disrupt trading in dark net marketplaces. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 458–462. <https://doi.org/10.1177/1071181319631315>
- Vicente KJ (1999) *Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. CRC Press.
- Wickens CD (2008) Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics eSociety*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>

Danksagung: Wir möchten der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) für die Förderung dieses Forschungsprojekt (Projekt-Nummer FF-FP 0472) danken. Ein besonderer Dank gilt auch dem Begleitkreis und dem wissenschaftlichen Beirat des Projekts für die Unterstützung und wertvolle Beratung während der Projektlaufzeit. Nicht zuletzt danken wir dem Ausbildungszentrum Sursee für die Unterstützung und die Kooperation.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

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

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de