

In meinen Koffer packe ich ... Soziotechnische Systemgestaltung nach dem MTO-Prinzip am Beispiel 5G-Technologie

Andrea ALTEPOST¹, Michael BAU¹, Yücel UZUN²,
Urs RIEDLINGER², Florian BUCHHOLZ², Leif OPPERMANN²

¹ *Institut Leistung Arbeit Gesundheit,
Hipperstraße 5, D-24306 Plön*

² *Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT,
Schloss Birlinghoven, D-53757 Sankt Augustin*

Kurzfassung: Im Projekt „IndustrieStadtPark“ wird ein Koffer mit mobiler Hardware zur Realisierung von 5G-Anwendungen zusammengestellt, die Mixed-Reality und Remote-Support ermöglichen. Hierdurch werden technische Fachkräfte von Reisen und Noteinsätzen entlastet und gleichzeitig Produktionsmitarbeitende qualifiziert. In drei Iterationen werden nach dem MTO-Prinzip mitarbeiterbezogene, technische und organisatorische Kriterien analysiert, die Resultate in die partizipative Entwicklung eingespeist und zum Projektende evaluiert. Hierzu wurde ein disziplinübergreifender Bewertungskatalog entwickelt. Dieser wurde bereits in der ersten Iteration einer prototypischen 5G-Anwendung verwendet und erzeugt somit frühzeitig zusätzliche Gestaltungsempfehlungen für die weitere Entwicklung dieses soziotechnischen Systems.

Schlüsselwörter: Evaluation, 5G-Technologie, Gesundheit, Psychische Belastungsanalyse, Mixed Reality, MTO

1. Einleitung

Im Forschungsprojekt „IndustrieStadtPark“ wird erprobt, wie die 5G-Technologie mit ihren spezifischen Merkmalen – niedrige Latenz oder hohe Bandbreite der Datenübertragung, sowie Positionierung – neben verbesserter Effizienz auch zu lernförderlicher Arbeitsunterstützung und einer Verringerung von Belastungen beitragen kann. Maschinenausfälle oder -probleme könnten etwa durch Mixed-Reality und eine damit verbundene Remotehilfe oft auch durch Nicht-Experten vor Ort gelöst werden. In partizipativer Vorgehensweise werden dazu Elemente wie z. B. Sensoren ausgewählt und Schnittstellen zum Einsatz von Mixed Reality (MR) entwickelt und in einem Koffer zusammengefasst (Uzun et al., 2021). Dieser enthält auch eine MR-Brille, durch die der Mitarbeiter bei seiner Tätigkeit mit Hilfe eines 3D-Maschinenmodells unterstützt wird. Die Anwendung auf der MR-Brille erlaubt zukünftig noch eine stärkere Vernetzung mit einem nicht vor Ort befindlichen Experten, mit dem auf gemeinsamer Wahrnehmungs- und Informationsbasis kollaboriert werden kann. In drei Iterationen werden nach dem Mensch-Technik-Organisation-Prinzip (MTO) mitarbeiterbezogene, technische und organisatorische Kriterien analysiert, die Resultate in die partizipative Entwicklung eingespeist und zum Projektende evaluiert. Hierzu wurde ein disziplinübergreifender Bewertungskatalog entwickelt, der Kriterien aus Arbeitswissenschaft und der Mensch-Computer-Interaktion integriert. Der Beitrag stellt die Anwendung dieses Katalogs in einer frühen Phase des technischen Prototypen vor und zeigt erste Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung des soziotechnischen Systems auf. Als

Anwendungsfall dient ein Reinigungsprozess an einer Kunststoff-Zerkleinerungsmaschine (Granulator).

2. Methodik

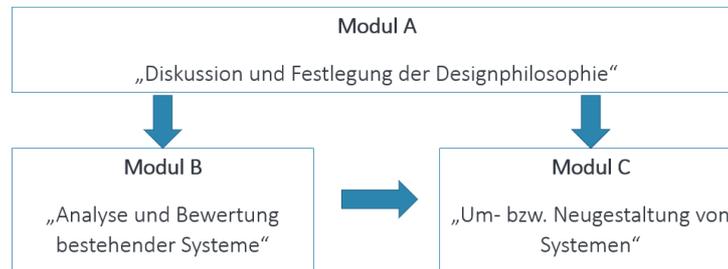


Abbildung 1: Das KOMPASS-Verfahren nach (Grote et al., 1997)

Die auf dem soziotechnischen Systemansatz (vgl. stellvertretend Ulich, 2013) basierenden arbeitswissenschaftlichen Kriterien lehnen sich erstens an das KOMPASS-Verfahren an (Abbildung 1) (Grote et al., 2000), um den MTO-Zugang abzubilden. Zweitens liegt ein Fokus auf Gesundheit und psychischen Belastungen der Mitarbeitenden. Hierzu wird der am ILAG konzipierte Fragebogen zur Psychischen Belastungs-Analyse (PBA) verwendet, der zudem eine Item-batterie zur gesundheitlichen Gesamtsituation enthält. Das verwendete Instrument orientiert sich u.a. an den Merkmalsbereichen für psychische Gefährdungsanalysen, welche im Rahmen der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie empfohlen werden (Beck et al., 2017). Drittens muss das empirische Design auf die Interaktion des Menschen mit digitaler Technik (hier: Mixed Reality) zugeschnitten sein. Daher wurden Ansätze und Kriterien aus den Projekten SozioTex (Altepost et al., 2021), AREEF (Oppermann et al., 2016) und IPCity (Blum et al., 2012) ergänzt. Ausgangspunkt ist eine IST-Analyse der Situation im Unternehmen (s. Abb. 1 „Modul B“). In den Iterationen können so die belastungsbezogenen Wahrnehmungsprozesse der Mitarbeitenden im Zuge der technikbezogenen Veränderungen verfolgt werden. Ihre Kriterien (s. **Tabelle 1**) zum Umfeld des Arbeitssystems werden über den Gesamtzeitraum von Projektbeginn bis Ende der Projektlaufzeit betrachtet.

Tabelle 1: Kriterien Bewertungskatalog MTO – Gesamtkontext Situation zu Beginn vs. Ende des Projekts (Auswahl)

Kriterium nach Bewertungskatalog	Kriterium nach KOMPASS	Erhebungsmethode
Beurteilung der Arbeitsinhalte, Arbeitsumgebung, Arbeitsmittel	Vollständigkeit der Arbeitsinhalte; Planung und Entscheidung über Arbeitsinhalte und -ablauf	Tätigkeitsanalyse, Fragebogen PBA
Arbeitsorganisation Zeitliche Flexibilität	Zeitliche Flexibilität	Tätigkeitsanalyse
Führung und soziale Beziehungen	Grenzregelung durch Vorgesetzte	Fragebogen PBA
Unternehmenskultur und Veränderungsprozesse	(Nicht Teil von KOMPASS)	Fragebogen PBA
Gesundheitliche Situation		Fragebogen PBA
Belastungs- und Entlastungsfaktoren		Fragebogen PBA

Ein weiterer Kriterienblock des KOMPASS-Verfahrens betrifft die Mensch-Technik-Interaktion. Technische Lösungen – hier die Bestandteile des Koffers, wie etwa die Anwendung zur Granulator-Reinigung auf der MR-Brille – werden im Projekt gemeinsam mit den künftigen Nutzer*innen entwickelt, so dass die Kriterien der Mensch-Technik-Interaktion iterativ in der Technikentwicklung zum Tragen kommen. Gerade

an der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik und der gemeinsamen Verwendung durch mehrere Benutzer manifestieren sich Merkmale, die der Beobachtung und Befragung nur unvollkommen zugänglich sind. Dies ist insbesondere in der skandinavischen und angelsächsischen Forschungstradition schon ausführlich beschrieben (vgl. Bannon, 1991; Crabtree, 2003) und hat auch Einfluss auf die Gestaltung der Interaktion und den iterativen Entwicklungsprozess (Dörner et al., 2019; Prinz et al., 1998). Für die empirische Analyse wurde daher in Anlehnung an das technografische Forschungsprogramm (Rammert, 2007) ein Methodenmix (vgl. Wagner et al., 2010) konzipiert, der die Vorteile unterschiedlicher Methoden und Datentypen kombiniert und auch technisch erzeugte Daten erfasst (**Tabelle 2**).

Ein erster Prototyp der MR-Anwendung zur Granulator-Reinigung wurde von 15 Mitarbeitern getestet. Die Teilnehmer (alle männlich) erhielten vorab eine Einweisung in die Handhabung der MR-Brille. Damit sie sich mit der grundlegenden Bedienung der MR-Umgebung vertraut machen konnten, war der Anwendung ein kurzes Tutorial vorangestellt. Anschließend führten die Teilnehmer die Reinigung mit der auf der Brille befindlichen MR-Anleitung durch. Dies wurde auf Video aufgezeichnet, händisch protokolliert und parallel aus Sicht des Teilnehmers mitverfolgt. Diese Sichtweise wurde ebenfalls aufgezeichnet (siehe Abbildung 2) und zusätzlich auf einem Beobachtungsbogen protokolliert. Nach durchgeführtem Praxistest füllten die Teilnehmer einen Online-Fragebogen aus, gefolgt von einem abschließenden Leitfaden-Interview.

Tabelle 2: Kriterien Bewertungskatalog für iterative Evaluation der Technik im Arbeitskontext MTO, Beispiel: Granulator Reinigung (Auswahl)

Kriterium nach Bewertungskatalog	Kriterium nach KOMPASS	Erhebungsmethode
Rückmeldung über Vorgänge im techn. System	Prozesstransparenz	Leitfaden-Interview Aufzeichnung MR-Brille
Lernförderlichkeit des Systems	Mentale Modelle über Produktionsprozesse	Fragebogen
Abhängigkeit vom technischen System	Dynamische Kopplung	Leitfaden-Interview, Aufzeichnung MR-Brille, Beobachtung, Videoaufzeichnung
Unterstützungsleistung des technischen Systems	Dynamische Kopplung	
Erfahrung mit elektronischen Geräten und MR	(Nicht Teil von KOMPASS)	Fragebogen
Erfahrung Granulatorreinigung		Fragebogen incl. NASA-TLX; Beobachtung/Video
Beanspruchung		
Benutzerfreundlichkeit		
Aufmerksamkeitspole und Präsenz Realität – Virtualität		
Erfahrungen und Interessen (z. B. eigener Nutzen) während des Tests		Fragebogen Leitfaden-Interview

3. Ergebnisse

Exemplarisch werden im Folgenden einige erste Ergebnisse aus der Anwendung des Bewertungskatalogs präsentiert und dessen Eignung für die Forschungsaufgaben im Projekt angesprochen.

3.1 Ergebnisse aus KOMPASS-Kriterien Arbeitssystem/Arbeitsaufgabe sowie psychischer Belastungsanalyse

Die Durchführung der MTO-basierten Belastungs- und Ressourcen-Analyse über das Instrument PBA bei den optional von technischen Veränderungen betroffenen

Mitarbeitenden ergab in der Ist-Analyse wichtige Einblicke in das Erleben der Arbeitssituation durch die befragten Mitarbeiter*innen. Als typische Belastungen wurden u.a. Zeitdruckerleben, fehlende Arbeitsmittel, Art der Abstimmungen zwischen Disposition und Produktion, das Veränderungsmanagement, Art der Schichtorganisation, Informationsdefizite und gesundheitliche Themen angesprochen. Als Ressourcen wurden eine funktionierende Führung, die Kollegialität und vor allem die Teamarbeit gesehen. Im Rahmen lösungsorientierter Workshops werden diese Themen im Projekt weiterbearbeitet. Die Kriterien aus dem Bewertungskatalog erwiesen sich als zielführend. Als Referenz für Nutzertests wurden zudem vier erfahrene Mitarbeiter gebeten, ihre durchschnittliche Beanspruchung bei der Granulator-Reinigung an der laufenden Maschine (entsprechend der Testbedingung) in der bislang praktizierten Durchführung ohne die MR-Brille einzuschätzen. Hierzu wurde eine leicht modifizierte Version des NASA-TLX (Hart, 2006) eingesetzt. Für einen ersten Überblick wurden die Einzelkriterien zu einem Summenindex zusammengefasst. Als Mittelwert ergab sich 6,88 (Einzelwerte zwischen 1 und 16,5) bei einem maximal möglichen Beanspruchungswert von 45 Punkten und damit ein recht niedriges Belastungsniveau, aber eine vergleichsweise hohe Variabilität.

3.2 Ergebnisse aus den Nutzertests

Die 15 Testpersonen waren zwischen 23 und 55, im Durchschnitt 36,7 Jahre alt. 13 von ihnen hatten bereits mindestens 25-mal den Granulator gereinigt, so dass insgesamt ein hohes Erfahrungsniveau vorlag. Der Mittelwert des Summenindex zum NASA-TLX liegt hier bei durchschnittlich 15,93 Punkten (10 bis 24 Punkte in den Einzelwerten) und damit deutlich höher als die Referenz.



Abbildung 2: Beobachtung durch das Testteam während des Nutzertests (links) und Mixed Reality Sicht durch die HoloLens Smartglasses (rechts)

Einige Teilnehmer berichteten, anfänglich durch die Beobachter etwas irritiert gewesen zu sein (Abbildung 2 links). Weit größeren Raum nahmen jedoch in den Interviews Aussagen über Probleme beim Handling der Brille sowie den festgelegten, von der individuellen Gewohnheit abweichenden Ablauf ein. Häufig fühlten sich die Teilnehmer auch von der Darstellung der Brille im Gesichtsfeld während der Arbeit behindert. Einige machten daher Gebrauch von der Möglichkeit, durch einen Klick die MR-Darstellung an die Seite des Gesichtsfeldes (links oder rechts, Abbildung 2 rechts) zu verschieben oder klappten den vorderen Brillenteil hoch. Als Einzelkriterium im NASA-TLX weist die geistige Beanspruchung mit 2,73 (maximal möglicher Wert: 5) den höchsten Mittelwert auf, gefolgt von der erforderlichen Anstrengung zum Lösen der Aufgabe (arithmetisches Mittel = 2,21). Unsicher, irritiert und entmutigt fühlten sich die Teilnehmer nicht in diesem Ausmaß (arithmetisches Mittel: 1,77). Die Aktivitäten der Mensch-Technik-Interaktion in den einzelnen Phasen lassen sich in einer grafischen Darstellung der Logfiles illustrieren (Abbildung 3).

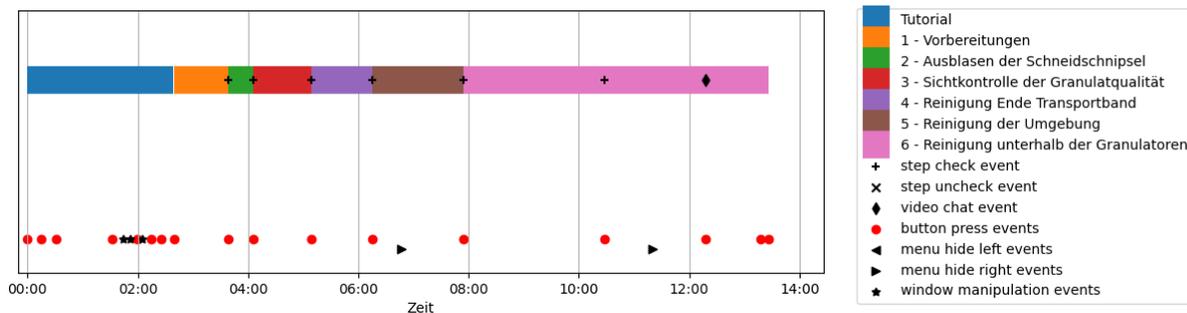


Abbildung 3: Exemplarische Logfile-Darstellung des Praxistests am Granulator; Beispiel

Deutlich sind die einzelnen Anleitungsschritte (farbig unterschieden) zu erkennen, die auf der MR-Brille durchgeführt wurden. Zwischen den Schritten jeweils erkennbar: Der Klick auf den entsprechenden Button für den nächsten Schritt (rote Punkte im unteren Bereich der Grafik), zwei seitliche Wegblendungen der Anzeige auf der Brille nach rechts (Pfeile), Check-Events – d. h. das Bestätigen, dass der jeweilige Schritt absolviert wurde, durch Klick auf einen entsprechenden Button – sowie ein Video Chat Event; hiermit konnte der Mitarbeiter, der das Geschehen am Rechner durch die Brillenperspektive mitverfolgte, kontaktiert und um Hilfe gebeten werden. Der Test ist mit fast 14 Minuten einer der längsten im Sample. Es handelt sich hier um den Teilnehmer, der den höchsten Wert für Anstrengung im NASA-TLX angab. Die Beobachtungen zeigen jedoch auch, dass er sich in Ruhe Zeit nahm, die Anleitungen zu lesen. Im Logfile nicht erkennbar ist, dass in Phase 3 zum besseren optischen Verfolgen der Absaugaktivität der vordere Brillenteil hochgeklappt wurde; diese Information stammt aus den Beobachtungsprotokollen sowohl vom Granulatorraum als auch von der Verfolgung der Brillenperspektive. Fast alle Teilnehmer hatten Probleme, den Button zum Abschließen der Anwendung zu finden und waren unsicher, ob sie die Aufgabe abgeschlossen hatten. Entsprechend gab es Kontaktversuche mit den Forschern wie beim dargestellten Teilnehmer.

Die exemplarisch skizzierten Schwierigkeiten in der Mensch-Technik-Interaktion gehen in die nächste Iteration der Technikentwicklung ein. Als wichtige Erkenntnis aus dem Nutzertest konnte mitgenommen werden, dass die überwiegend erfahrenen Teilnehmer für sich keinen direkten Nutzen in der Anwendung sahen. Sie empfahlen die Anwendung als Instrument zur Förderung der Polyvalenz in der Belegschaft, also Erlernen der Tätigkeit auch durch Mitarbeiter, die diese bislang nicht oder selten durchgeführt haben, sowie für andere Aufgabenbereiche mit komplexen Fehlerstrukturen. Als nützlichste Funktion wurde die Remote-Unterstützung genannt. Ergonomisch erwies sich die Verbindung mit einer Gleitsichtbrille als problematisch.

4. Diskussion und Fazit

Die breitgefächerten Dimensionen des Bewertungskatalogs ermöglichen es, in Kombination ein recht ganzheitliches Bild der Nutzungssituation zu entwerfen. Die beschriebenen Beispiele können aus Platzgründen hier nicht vollständig mit allen verfügbaren Daten dargestellt werden, jedoch ansatzweise einen Eindruck von der Vielfältigkeit der Zugänge und ihrer Passung zur Aufklärung von Events im Testverlauf vermitteln. In der Verbindung von Technikdaten, Beobachtung und Befragung können darüber hinaus Validierungsfragen der Instrumente adressiert werden. Weitere Schritte werden darin bestehen, neben der iterativen Technikentwicklung flankierende Maßnahmen für den Kontext bereitzustellen, in den die 5G-Technik eingebettet sein wird. Dafür werden vor allem die vorhandenen Ressourcen (Abschnitt 3.1) zu nutzen sein.

5. Literatur

- Altepost, Andrea, Merx, Wolfgang, Rezaey, Arash, Löhner, Mario, 2021. Neue Soziotechnische Systeme in der Textilbranche. Mensch-Technik-Interaktion und Ergebnisse der partizipativen soziotechnischen Systemgestaltung für ein Assistenzsystem in der deutschen Textilindustrie. Institut für Textiltechnik und Institut für Soziologie der RWTH Aachen University, Aachen.
- Bannon, L., 1991. From human factors to human actors: the role of psychology and human-computer interaction studies in system design, in: Greenbaum, J., Kyng, M. (Eds.), Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems. Lawrence Erlbaum Associates, pp. 25–44.
- Beck, D., Berger, S., Breutmann, N., Fergen, A., Gregersen, S., Morschhäuser, M., Reddehase, B., Ruck, Y.R., Sandrock, S., Splittgerber, B., Theiler, A., 2017. Empfehlungen zur Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastungen. Arbeitsschutz Prax. Bundesminist. Für Arb. Soz. Berl.
- Blum, L., Wetzell, R., McCall, R., Oppermann, L., Broll, W., 2012. The final TimeWarp: Using Form and Content to Support Player Experience and Presence when Designing Location-Aware Mobile Augmented Reality Games, in: Designing Interactive Systems. Presented at the Designing Interactive Systems, Newcastle.
- Crabtree, A., 2003. Designing Collaborative Systems: A Practical Guide to Ethnography, Computer Supported Cooperative Work. Springer-Verlag, London.
- Dörner, R., Geiger, C., Oppermann, L., Paelke, V., Beckhaus, S., 2019. Interaktionen in Virtuellen Welten, in: Virtual Und Augmented Reality (VR / AR) - Grundlagen Und Methoden Der Virtuellen Und Augmentierten Realität. Springer Vieweg.
- Grote, G., Ryser, C., Wäfler, T., Windischer, A., Weik, S., 2000. KOMPASS: A method for complementary function allocation in automated work systems. Int. J. Hum.-Comput. Stud. 52, 267–287.
- Grote, Gudela, Wäfler, Toni, Weik, Steffen, 1997. KOMPASS: Eine Methode für die komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in automatisierten Arbeitssystemen, in: Strohm, O., Ulich, E. (1997) (Hg) Unternehmen Arbeitspsychologisch Bewerten. VDF Hochschulverlag, Zürich, pp. 259–280.
- Hart, S.G., 2006. NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later, in: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Sage publications Sage CA: Los Angeles, CA, pp. 904–908.
- Oppermann, L., Blum, L., Shekow, M., 2016. Playing on AREEF - Evaluation of an Underwater Augmented Reality Game for Kids. Presented at the MobileHCI, Florence, Italy, pp. 330–340.
- Prinz, W., Mark, G., Pankoke-Babatz, U., 1998. Designing groupware for congruency in use, in: CSCW. pp. 14–18.
- Rammert, W., 2007. Technografie trifft Theorie: Forschungsperspektiven einer Soziologie der Technik. Ulich, E., 2013. Arbeitssysteme als soziotechnische Systeme—eine Erinnerung. J. Psychol. Alltagshandeln 6, 4–12.
- Uzun, Y., Oppermann, L., Altepost, A., 2021. Towards a portable worker oriented solution for 5G and mixed reality supported maintenance. Presented at the Virtuelle und Erweiterte Realität – 18. Workshop der GI-Fachgruppe VR/AR, Sankt Augustin.
- Wagner, I., Basile, M., Ehrenstrasser, L., Maquil, V., McCall, R., Morrison, A., Schmalstieg, D., Szalavari, Z., Terrin, J.-J., Ozdirlik, B., 2010. IPCity Deliverable D3.5: Consolidated approach to studying presence and interaction (Deliverable No. D3.5).

Danksagung: Das Projekt „IndustrieStadtspark: 5G-Anwendungen im IndustrieStadtspark Troisdorf“ wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr im Rahmen der 5x5G-Strategie gefördert. Förderkennzeichen 165GU054. Wir danken allen Projektpartnern. Neben den Organisationen der Autoren dieses Papiers sind dies: ZWI Technologies, Kuraray Europe, RWTH Aachen (Lehrstuhl für Technologie- und Innovationsmanagement), Troiline und Trowista, sowie der Projektträger VDI/VDE. Die Projekt-Webseite ist verfügbar unter: <https://www.5gtroisdorf.de/>