



Verbundprojekt IndustrieStadtspark (5G Troisdorf)

Abschlussbericht 5G Troisdorf

**Verbundvorhaben IndustrieStadtspark: 5G-Anwendungen im
Projektgebiet IndustrieStadtspark Troisdorf**



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

www.5gtroisdorf.de

Doc-ID	D1.1
Version	1.0
Stand	20.12.2024
Autoren	Dr. Leif Oppermann Patrick van Beek Simon Fuchs René Mudroch Dr. Michael Bau, Dr. Andrea Altepost Valerie Starke Alexander Miller Yücel Uzun, Florian Buchholz, Urs Riedlinger
Status	Final
Verfügbarkeit	Öffentlich

Inhalt

Zusammenfassung.....	6
AP 1 – Projektmanagement.....	7
Kurzvorstellung der Partner	7
Projektgebiet	10
Übersicht der Arbeiten	11
Wesentliche Meilensteine.....	12
AP 2 – Staplerleitsystem.....	13
Anwendungsszenarien	13
Identifizierung neuer Felder für die Weiterentwicklung des Unternehmens im Zeitalter von Industrie 4.0	19
Erweiterung der Dienstleitungen im Flurförderfahrzeugmanagement mit einem erhöhten Kundenmehrwert	20
AP 3 – 5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality	21
Einleitung.....	21
Iterative Entwicklung.....	22
Erste Iteration.....	22
Zweite Iteration	24
Dritte Iteration	25
Lessons Learned	27
AP 4 – Infrastruktur	29
Das Test-Netz bei Fraunhofer FIT	29
Lessons Learned	30
Das Netz im IndustrieStadtspark.....	30
Rahmenbedingungen	31
Phase 1	32
Phase 2	33
Phase 3	33
Phase 4	35
Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	36
Zusammenfassung.....	40
Lessons Learned und Ausblick	40
AP 5 – Evaluation.....	42
Einleitung.....	42
Eine kurze Geschichte der Industrialisierung und der mitbestimmten Arbeit.....	42
Von der dritten zur vierten industriellen Revolution in Deutschland	43
Vermischung und Relevanz für das Projekt.....	44

Arbeitswissenschaftliche Perspektive	45
Analyse des Gesamtkontextes im Unternehmen	46
Evaluationen im Rahmen der partizipativen Technikgestaltung.....	46
Evaluationsergebnisse	47
Evaluation AP 2: Leitsystem für Gabelstapler	47
Evaluation AP 3: 5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality	53
Evaluation AP 4: 5G Private Campus Network Survey	66
AP 6 – Geschäftsmodell-Innovationen	68
Herausforderung bzgl. IndustrieStadtspark (5G Troisdorf) – Rollen im Ökosystem	69
Branchenanalyse – Chemieindustrie	72
Evaluation eines Plattformgeschäftsmodells und Analyse anderer Standorte	74
Identifikation und Überwindung von Barrieren	76
IT-Risiko-Management	79
Geschäftsmodelle der entwickelten Use-Cases	82
AP 7 – Dissemination	84
Einleitung.....	84
Aktivitäten und Maßnahmen	84
Herausforderungen und „Lessons Learned“	92
Zusammenfassung und Fazit	93
Chronologie	94
Liste der Veröffentlichungen	101
Pressemitteilungen.....	101
Social-Media und Videos	103
Abbildungsverzeichnis.....	105
Tabellenverzeichnis	107
Referenzen	108
Anhang	113
Bewertungskatalog.....	113
Einordnung	113
Arbeitswissenschaftliche Evaluation	114
Bewertungskatalog zur MTO-Analyse: Methodische Grundlagen	114
Psychische Belastungsanalyse (PBA)	114
KOMPASS: Verfahren zur MTO-Analyse und -Gestaltung soziotechnischer Arbeitssysteme	115

In Gedenken an
Wolf-Dieter „Wolle“ Grönwoldt, Christian Gülpen und Prof. Dr. Matthias Jarke.

Zusammenfassung

Das Verbundvorhaben „**IndustrieStadtspark: 5G-Anwendungen im Projektgebiet IndustrieStadtspark Troisdorf**“ (nachfolgend „5G Troisdorf“¹ genannt) wurde als eines von zehn Projekten der 5G-Umsetzungsförderung (Stufe III, erste Runde) des 5G-Innovationsprogramms² des BMDV (ehemals: BMVI) gefördert. Es ging aus einem ebenfalls in diesem Programm geförderten Vorprojekt „5G-Anwendungen im IndustrieStadtspark Troisdorf“ zur Konzepterstellung, der „Stufe 2“ des 5G-Innovationswettbewerbs hervor, in dem 67 Vorprojekte im Rahmen der 5x5G-Strategie gefördert wurden. Insgesamt förderte das BMDV im Rahmen dieser Fördermaßnahmen 50 Umsetzungsprojekte und 6 Modellregionen. Der Förderzeitraum von 5G Troisdorf lief vom 30.12.2020 bis zum 30.06.2024. Das Projekt bestand aus sieben Partnern und wurde von Fraunhofer FIT koordiniert. Projektträger war die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH³.

Das Projekt 5G Troisdorf erforschte mit industriellen Partnern des sogenannten „IndustrieStadtspark“ am Standort Troisdorf zwei Anwendungsszenarien die charakteristische 5G-Eigenschaften nutzen und damit eine Blaupause für viele andere Standorte und Anwender liefern können (Arbeitspakete 2 & 3). Beide Use-Cases erreichten nationale und teilweise internationale Bekanntheit. Das Projekt wurde als Vorzeigeprojekt des BMDV, stellvertretend für die gesamten 56 geförderten Projekte, zum Tag der offenen Tür der Bundesregierung am 19. & 20. August 2023 nach Berlin eingeladen⁴. Gezeigt wurde ein Demonstrator für Fernwartung und Training im Bereich Maschinenbau und Produktion (AP3). Begleitet vom öffentlichen Interesse am Thema „Metaverse“ hat unser Projekt den Begriff „Industrial Metaverse“ in Deutschland entscheidend mitgeprägt. Unsere Demonstratoren und Expertise führten zur Mitarbeit am „strukturierten Dialog Immersive Technologien/Metaverse“, wurden Bundesdigitalminister Dr. Volker Wissing und seinen EU-Gästen von DG-Connect persönlich demonstriert⁵ – ebenso seinem Staatssekretär Stefan Schnorr – und trugen zum Positionspapier „Das Industrial Metaverse als wichtiger Chancenträger für die Industrie von morgen“⁶ des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) bei. Zudem hielt Fraunhofer-Präsident Prof. Holger Hanselka zu dem Thema auf der dazugehörigen Veranstaltung des BDI und der Deutschen Messe AG, dem „Industrial Metaverse Summit“⁷, auf der Hannover Messe 2024 eine wissenschaftliche Keynote. Weitere Details zur überaus erfolgreichen Ergebnisdissertation des Projekts finden sich im vorliegenden Bericht im Kapitel zu AP7. Das Projekt 5G Troisdorf beschaffte in AP4 zwei innovative 5G-Campus-Netze. Eines davon, basierend auf OpenRAN, am Campus des Koordinators und das andere, größere, am Campus des IndustrieStadtspark in Troisdorf. Die sich aus dem Projektkontext ergebenden Geschäftsmodellalternativen wurden in AP6 erforscht. Das ganze Projekt 5G Troisdorf wurde gerahmt durch eine arbeitswissenschaftliche Begleitung und abschließende Evaluation in AP5.

Wir hoffen, dass das Projekt Innovationsimpulse gesetzt hat und Nachahmer, sowie zukünftige Projektpartner findet, um Innovation und Transfer für den Standort Deutschland zu erschließen.

¹ Projekt-Webseite: <https://www.5gtroisdorf.de/>

² <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Mobilfunk/5G-Innovationsprogramm/5g-innovationsprogramm.html>

³ <https://vdivde-it.de/de/5x5g>

⁴ https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/23-08-16_5G-troisdorf-ist-vorzeigeprojekt-des-bundesministeriums-fuer-digitales-und-verkehr.html

⁵ <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2023/072-wissing-metaverse-dialog.html>

⁶ <https://bdi.eu/publikation/news/das-industrial-metaverse-als-wichtiger-chancentraeger-fuer-die-industrie-von-morgen>

⁷ <https://www.hannovermesse.de/de/rahmenprogramm/special-events/industrial-metaverse-summit/>

AP 1 – Projektmanagement

Der Verbund für das Vorhaben „5G Troisdorf: 5G-Anwendungen im Projektgebiet IndustrieStadtspark Troisdorf“ bestand aus sieben Partnern: TROWISTA (für die Stadt Troisdorf), TROILINE, Kuraray Europe, ZWi Technologies, Fraunhofer FIT, RWTH-TIM und ILAG.

Kurzbildung der Partner

Am Projekt sind mit der Stadt Troisdorf als Gebietskörperschaft und den beiden Unternehmen Kuraray und ZWi Technologies potenzielle Nutzer der 5G-Innovationen vertreten. Mit Fraunhofer FIT, RWTH-TIM und ILAG sind drei F&E-Partner im Verbund. Die Partner haben dabei entsprechend ihrer Möglichkeiten und Interessen komplementäre Rollen und inhaltliche Schwerpunkte, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind:

Partner	Bereich	Rolle	Schwerpunkt(e)
Stadt Troisdorf	Gebietskörperschaft	Dissemination	Vernetzung der Konsortialpartner, Öffentlichkeitsarbeit gegenüber anderen Gebietskörperschaften
TROILINE	Netzbetreiber	Campus-Netz-Betreiber	Aufbau und Betrieb des 5G Campus-Netzes im IndustrieStadtspark
KURARAY Europe	Anwender	Anforderungen, Bewertung	Mixed Reality 5G Fernwartungskoffer
ZWi Technologies	Anwender	Anforderungen, Bewertung	Gabelstapler Leitsystem und Predictive Maintenance
Fraunhofer FIT	F&E	Anforderungsanalyse, F&E, Koordination	Kooperatives, partizipatives Design und Entwicklung der Demonstratoren in den Use-Cases. Funknetzwerk-Expertise und Evaluierung von 5G Merkmalen.
RWTH-TIM	F&E	Geschäftsmodelle	Systematische Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodell-Alternativen am Standort Troisdorf. Ableitung und Formulierung übertragbarer Gestaltungsparameter für die Nutzung von 5G an anderen Standorten.
ILAG	F&E	MTO-basierte Belastungs- und Ressourcen-Analyse, Evaluation	Arbeits- und sozialwissenschaftliche Analyse der Arbeitsgestaltung und Arbeitsrollen sowie Kooperationsbeziehungen. Hinweise zur Gestaltung von Mensch-Technik-Organisations-Schnittstellen bei der Nutzung von 5G

Tabelle 1: Auflistung der beteiligten Projektpartner

Die **Stadt Troisdorf** ist ein traditioneller Industrie- und erfolgreicher Wirtschaftsstandort mit gemeinsamen Stadtgrenzen zu Köln und Bonn. Ausgehend von zwei großen Industrieunternehmen wuchs die Stadt Troisdorf zum wirtschaftlichen Zentrum des Rhein-Sieg-Kreises. Heute hat Troisdorf den Strukturwandel hin zu einer breit aufgestellten und mittelständisch geprägten Wirtschaftsstruktur geschafft. Zwischen Köln und Bonn liegt Troisdorf verkehrsgünstig in einer Wachstumsregion mit besten Zukunftsaussichten. Die Region mit mehr als 2 Millionen Einwohnern bietet gleichermaßen Arbeitskräftepotenzial und Absatzchancen. Mit innovativen Projekten wie dem hier vorliegenden 5G Projekt möchte die Stadt ihre wirtschaftliche Attraktivität proaktiv für die Zukunft gestalten. Dabei reichte die Stadt Troisdorf ihre Aufgaben an die hoheitlich betraute Troisdorfer Wirtschaftsförderungs- und Stadtmarketing GmbH TROWISTA weiter. Die jahrelange Erfahrung der Troisdorfer Wirtschaftsförderung bietet die ideale Voraussetzung das Projekt für die Stadt voranzutreiben. Die Vernetzung der Unternehmen innerhalb Troisdorfs und in der Region ist seit Jahren eine Kernkompetenz der TROWISTA, die für das Projekt einen großen Mehrwert bietet. Die Nähe zu Stadt und Unternehmen gleichermaßen ermöglicht eine effiziente Kommunikation und Schnittstellenarbeit. Die kommunale Verwaltungs- und Beteiligungsgesellschaft TroiKomm GmbH wurde 1995 mit dem Ziel gegründet, die wirtschaftlichen Aktivitäten der Stadt Troisdorf zu bündeln. Als 100-prozentige Tochter

der Stadt Troisdorf hat sich das Unternehmen zu einem modernen und innovativen Dienstleister für die Stadt entwickelt und managt die kaufmännische Verwaltung der Gesellschaften im TroiKomm-Verbund. Zum Verbund gehören:

- Troiline GmbH – Telekommunikationsdienstleistungen
- Stadtwerke Troisdorf GmbH – Energie und Wasserversorgung
- TroPark GmbH – Grundstücksvermarktung
- Industriepark Troisdorf GmbH – Energie- und Umweltschutzdienstleistungen für Gewerbe- und Industriekunden
- AGGUA TROISDORF GmbH – das Schwimmbad
- öPA Verkehrsgesellschaft mbH – der Betrieb von Parkflächen

Die **Troiline** wurde 2002 als Tochter des Konzerns TroiKomm gegründet. 2019 konnte die Troiline mit dem Ausbau des heiß begehrten Highspeed-Internet beginnen und passende Telekommunikationslösungen für Geschäfts- und Privatkunden anbieten. Vermarktet wird das innovative Angebot wie Breitband, Cloudtelefonie und internationales TV unter der Troiline-Marke JETI. Seitdem zählen Stand heute 192 Gewerbekunden, darunter Großunternehmen, produzierendes Gewerbe, Einzelhändler, Arztpraxen, Dienstleister und Büros zu den Kunden. Von der Schaffung der Infrastruktur im Breitband bis hin zum Vertrieb ist die Troiline ganzheitlich auch in Sachen Zukunftstechnologie wie Lora WAN, intelligente und smarten Anwendungen unterwegs.

Die **Kuraray Europe** GmbH ist Teil der japanischen Kuraray Gruppe mit Produktionsstätten in Deutschland, Tschechien und Rußland. In Deutschland sind ca. 900 Mitarbeiter in den Bereichen Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Administration beschäftigt und erwirtschaften einen Jahresumsatz von über 600 Millionen €. Neben der Herstellung von Polymeren am Standort in Frankfurt werden an den Standorten in Troisdorf, Holesov (Tschechien) und Bor (Rußland) PVB- und Ionoplast-Zwischenlagen für Verbundsicherheitsglas unter der Marke Trosifol™ produziert und vertrieben. Die Trosifol™-Produkte finden Anwendung in der Architektur, der Automobil- und Photovoltaik-Branche. Trosifol™ bietet das weltweit umfassendste Portfolio an Glaszwischenlagen für innovative Verbundglaslösungen an. Dazu gehören strukturelle und Funktionszwischenlagen für Sicherheitsanwendungen, Schalldämmung und UV-Schutz. Das 5G-Projekt fokussierte im Campus Troisdorf Prozess-Unterstützung in den Bereichen Produktion und Logistik, aber auch insbesondere den Service zum Kunden durch eine Mixed Reality Fernwartung (s. Use-Case in AP 3).

Die ZWi Technologies GmbH ist auf dem Industriepark in Troisdorf ansässig. Insgesamt beschäftigt die ZWi-Gruppe ca. 90 Mitarbeiter. Im Rahmen des 5G-Projektes liegt der Fokus auf der ZWi Technologies GmbH Bereich Flurförderfahrzeuge, welche seit 2006 auf dem Industriepark tätig ist. Das Geschäftsportfolio der ZWi Technologies GmbH lässt sich in 3 Bereiche gliedern:

- Mechanische Bearbeitung mit den Fertigungstechnologien Drehen, Fräsen, Schleifen, Sägen, Bohren und Erodieren
- Sondermaschinen und Anlagenbau: Stahl- und Behälterbau, Rohrleitungsbau, Instandhaltung, Lackiererei, Demontagen und Montagen
- FFZ-Management: Vermietung und Reparatur von Gabelstaplern, die im Rahmen einer Kooperation mit Still GmbH beschafft werden

Insbesondere für das FFZ-Management bietet das 5G-Projekt neue Möglichkeiten, die sowohl in unserem als auch im Interesse unserer Kunden auf dem Industriepark stehen. Da ZWi schon seit mehr als 10 Jahren Flurfahrzeuge auf dem Industriepark vermietet und repariert, verfügen sie sowohl über ein hohes Maß an technischem Know-how im Bereich der Flurfahrzeuge als auch über intensive

Beziehungen zu Kunden auf dem Industriepark. Daher kann ZWi mithilfe des 5G-Projektes neue Anwendungen im Bereich des FFZ-Managements umsetzen, um einen Mehrwert für ihre Kunden zu schaffen (s. Use-Case in AP 2).

Das **Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT** erforscht die Verknüpfung von digitalen Informationen an unsere reale Umgebung und den sich daraus ergebenden Kommunikationsmöglichkeiten und Prozessen. Auf Basis seiner wissenschaftlichen und technologischen Tradition aus 50 Jahren menschenzentrierter IT-Projekte (Oppermann et al., 2019) kann FIT individuell und partizipativ abgestimmte Lösungen anbieten, die unmittelbar in der unternehmerischen Praxis einsetzbar sind. FIT gilt als Pionier der Groupware und der Cloud (Benrath, 2019; Bentley et al., 1997). Die dahinterstehenden Theorien der Computer Supported Cooperative Work (CSCW) und des Design at Work (Greenbaum and Kyng, 1991) werden derzeit als Ausschlaggebend für die erfolgreiche Einführung von Mixed Reality Anwendungen in der Praxis gehandelt (Ens et al., 2019). Die anwendungsnahe Expertise fließt in unzählige Studien ein, z.B. in die VR/AR-Vorstudie des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (Kind et al., 2019, p. 109), oder eine Homeoffice-Studie⁸. Die am Projekt beteiligten Forschungsgruppen Mixed Reality und NET sind Teil der Abteilung Kooperationssysteme (CSCW) und können somit ideal den Anforderungen aus dem Stand der Technik entsprechen. Die Network Research Abteilung am FIT arbeitet seit mehr als zehn Jahren auf dem Gebiet der drahtlosen Zuführung- bzw. Transportnetze und der Integration mit dem RAN-Segment (IEEE 802.11/16/22 bzw. 3GPP 4G/5G sowie IoT (z.B. LoraWAN, NB-IoT)) (Niephaus et al., 2015a, 2015b, 2014). Zudem ist FIT Mitglied im Telecom Infra Project (TIP), und engagiert sich in der OpenCellular Working Group, mit dem Ziel, den FIT-entwickelten Wireless Backhaul (WiBACK) mit 3GPP Basisstationen zu integrieren. Im 5G Troisdorf Projekt wurden die Industrie-relevanten 5G-Merkmale (insbesondere aus Rel 16 (URLLC) und Rel 17 (mMTC)) messtechnisch im Indoor-Einsatz untersucht und dort auch praktisch erprobt (s. AP4). Die Ergebnisse flossen in die Entwicklungen der Use Cases, sowie den Infrastruktur-Aufbau am T-Park ein. Fraunhofer FIT ist in der Troisdorfer Nachbarstadt Sankt Augustin beheimatet. Sein Institutsleiter Prof. Dr. Stefan Decker ist Leiter des Lehrstuhls Informatik 5 an der RWTH Aachen. Unter wissenschaftlicher Begleitung seines Vorgängers Prof. Dr. Matthias Jarke als Präsident der Gesellschaft für Informatik wurde das Wissenschaftsjahr 2006 als Informatikjahr durchgeführt, was zum ersten IT-Gipfel in der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland führte und u.a. die Beschleunigung von Innovation durch Informatik zum Ziel hatte. Fraunhofer FIT koordinierte das Verbundvorhaben 5G Troisdorf.

Das **Institut für Technologie- und Innovationsmanagement der RWTH Aachen (RWTH-TIM)** unter der Leitung von Prof. Dr. Frank T. Piller gehört zu den führenden europäischen Institutionen auf dem Gebiet der Innovationsforschung. Das interdisziplinäre Team des Instituts forscht und lehrt in enger Kooperation mit den ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten der RWTH Aachen sowie Unternehmen und Institutionen aller Größen und Branchen.

Thematische Schwerpunkte sind dabei:

- Transformation etablierter Organisationen angesichts disruptiver Technologien (wie z.B. IoT, 5G, KI)
- Systematische Entwicklung von Geschäftsmodell-Innovationen (in Wertschöpfungs-Netzwerken)
- Integration externer Akteure in den Innovationsprozess
- Förderung unternehmerischer Nachhaltigkeit durch Innovationen, aber auch die Erforschung gesellschaftlicher Herausforderungen durch neue Technologien

⁸ <https://www.fit.fraunhofer.de/de/fb/cscw/homeoffice-studie.html>

Das **ILAG – Institut Leistung Arbeit Gesundheit** ist ein außeruniversitäres Forschungsinstitut mit zwei Standorten in Schleswig-Holstein und Nordrhein-Westfalen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich Arbeitsgestaltung, Führung und Partizipation, Gesundheit sowie Innovations- und Wissenstransfer. Ein besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung und Anwendung von Instrumenten zur Gefährdungsanalyse, des Kompetenzerwerbs und Wissenstransfers sowie den Bedingungen erfolgreicher Kooperationsbeziehungen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft in Innovationsprozessen. Aus Synergien mit der ehemaligen BMBF-Nachwuchsforschungsgruppe „SozioTex“ bestehen profunde Erfahrungen in der partizipativen Entwicklung digitalisierter, lernförderlicher soziotechnischer Systeme (Altepost et al., 2020a).

Projektgebiet

Das Projektgebiet liegt in unmittelbarer Nähe von Rathaus, Bahnhof und ist umgeben von Wohngebieten und Wald. Aufgrund der städtischen Initiative „JETI“ der Troiline GmbH ist der Standort bereits per Glasfaser mit Gigabit-Internet versorgt, woraus sich ideale Anschlussmöglichkeiten für innovative und neuartige Anwendungen ergeben.



Abbildung 1: Luftbild (alt) von Troisdorf mit Projektgebiet "IndustrieStadtPark"



Abbildung 2: Karte vom Projektgebiet "IndustrieStadtPark" in Troisdorf

Der IndustrieStadtpark umfasst eine Fläche von rund 480.000 m² mit 70 Unternehmen und mehr als 1.600 Arbeitsplätzen. Die Unternehmen sind logistisch vernetzt mit Geschäftspartnern unterschiedlicher Länder und bieten einen idealen Standort für die Gestaltung und Erprobung von beispielhaften 5G-Anwendungen. Der Großteil des IndustrieStadtparks ist das Gelände der T-Park GmbH. Diese vermietet und verwaltet Immobilien und Flächen an verschiedene Unternehmen. Die Firma Kuraray ist einer dieser Mieter und die Firma ZWi grenzt direkt an das Gelände der T-Park.

Übersicht der Arbeiten

Das Projekt wurde in sieben Arbeitspaketen (AP) organisiert, die den sieben Kapiteln des vorliegenden Abschlussberichts entsprechen.

Das AP 1 – Projekt unter Leitung von Fraunhofer FIT war für das Projektmanagement vorgesehen und koordinierte und administrierte die Zusammenarbeit im Verbund. Der vorliegende Abschlussbericht ist ein wesentliches Ergebnis dieses AP. Ferner wurden regelmäßige Projekttreffen organisiert, die Arbeiten vor Ort abgestimmt, die Einhaltung des Projektplans und der Meilensteine überwacht, die Kommunikationsplattformen für das Projekt installiert und betrieben, und formale Fragen mit dem Projektträger abgestimmt. So wurde die ursprünglich geplante Projektlaufzeit für alle Partner von 36 Monaten kostenneutral verlängert auf 42 Monate.

Das AP 2 – Staplerleitsystem unter Leitung von ZWi beschäftigte sich mit dem Use-Case „Staplerleitsystem“, dessen partizipativer und iterativer Entwicklung unter Berücksichtigung der Ziele und Maßnahmen der Arbeitsgestaltung, Belastungs- und Ressourcen-Analyse, sowie den sich daraus ergebenden Anforderung an das Netz (für AP4). Details dazu finden sich in diesem Dokument ab Seite 13.

Das AP 3 – 5G Werkzeugkoffer unter Leitung von Kurary beschäftigte sich mit dem Use-Case „5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality“ für Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten für

verschiedene Anwendungen (u.a. Remote Maintenance), dessen partizipativer und iterativer Entwicklung unter Berücksichtigung der Ziele und Maßnahmen der Arbeitsgestaltung, Belastungs- und Ressourcen-Analyse, sowie den sich daraus ergebenden Anforderung an das Netz (für AP4). Details dazu finden sich ab Seite 21.

Das AP 4 – Infrastruktur unter Leitung von Troiline beschäftigte sich mit dem Aufbau und der Validierung der 5G-SA (Stand-Alone) Infrastruktur für die beiden Use-Cases. Die umfasste die Analyse der Anforderungen von AP2, AP3 an das 5G Netz, der Beantragung von 5G Campus-Frequenzzuteilung, Radio Planning & Site-Survey, Auswahl, Beschaffung und Aufbau von 5G Campus-Netzen am Campus Birlinghoven und am Campus „IndustrieStadtspark“ Troisdorf. Details zu AP 4 finden sich ab Seite 29.

Das AP 5 unter Leitung von ILAG beschäftigte sich mit der Evaluierung. Die beinhaltete die Erstellung eines Bewertungskatalogs, die Evaluierung der Prototypen aus AP 2 und AP 3 und der Infrastruktur aus AP 4, eine MTO-basierte Veränderungsanalyse der Belastungen und Ressource, sowie die Arbeitswissenschaftliche Bewertung. Details zu AP 5 finden sich ab Seite 42.

Das AP6 unter Leitung von RWTH-TIM beschäftigte sich mit dem Thema Geschäftsmodell-Innovationen. Basierend auf der Analyse potenzieller Plattform-Geschäftsmodelle für vergleichbare Standorte wurden planmäßig übertragbare Gestaltungsparameter für die erfolgreiche Einführung von 5G-Geschäftsmodellen abgeleitet und nachhaltige Geschäftsmodell-Alternativen für an den Use-Cases beteiligte Unternehmen und deren Partner im Business-Ökosystem Troisdorf entwickelt. Details zu AP 6 finden sich ab Seite 68.

Das AP7 unter Leitung von TROWISTA beschäftigte sich mit der Öffentlichkeitsarbeit und der Dissemination der Ergebnisse. Dazu zählen neben Webseite und Broschüre insbesondere die lokale und mediale Sichtbarkeit, sowie die Veröffentlichung der Projektergebnisse auf Konferenzen und Workshops. Details zu AP 7 und eine Liste der Veröffentlichungen finden sich ab Seite 84.

Wesentliche Meilensteine

Pandemiebedingt wurde die Förderurkunde nach Projektstart online überreicht. Der Kooperationsvertrag mit allen Partnern wurde am 19.03.2021 unterzeichnet.

Das Projekt genoss eine besondere Aufmerksamkeit in der Wissenschaft, in der Förderpolitik und in den Medien. Einzelheiten finden sich in der Zusammenfassung auf Seite 6, sowie im Kapitel zu AP 7 ab Seite 84. Abbildung 3 soll einen ersten Eindruck vermitteln.



Abbildung 3: Bundesminister Andreas Scheuer überreicht TROWISTA-Geschäftsführer Wolf-Dieter Grönwoldt und Staatssekretärin Elisabeth Winkelmeier-Becker die Förderurkunde in einer Videokonferenz am 26.01.2021 (links), Präsentation der Ergebnisse für Bundesminister Dr. Volker Wissing durch Mitarbeiter Urs Riedlinger (Mitte) und für Fraunhofer-Präsident Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka durch Projektkoordinator Dr. Leif Oppermann (rechts)

AP 2 – Staplerleitsystem

Anwendungsszenarien

Auf Basis aus der Befragung vom 19.03.2021 wurde mit den Konsortialpartner eine entsprechende Anforderung an das Staplerleitsystem umrissen, welche die Anforderungen aus dem Logistikereich abdeckt und die aktuellen Schwachstellen in bestehenden Systemen in Bezug auf Datenübertragung und Verfügbarkeit verbessern soll. Bis zum 09.03.2021 wurde hierzu eine Vorauswahl der bereits auf dem Markt verfügbaren Systemen für Datenverarbeitung -und Übertragung getroffen. Der Projektumfang hat hier bereits festgelegt, dass die Entwicklung eigener Hardware keine Bestandteil der Forschung zur 5G-Anwendung umfasst. Es wurde definiert marktverfügbare Hardware sinnvoll zu verknüpfen, um ein möglichst einfaches System zu generieren, welches gut zu reproduzieren ist.

Zur Datenverarbeitung wurden sechs verschiedene Rechnersysteme im Kleinformat in die Bewertung gegeben. Es kristallisierte sich nach der Bewertungsmatrix zu Rechenleistung, Speicher, Verfügbarkeit, anschließbare Peripherie und Schnittstellen das Raspberry Pi4-System heraus. Hier hatte zu Projektbeginn vor allem der sehr günstige Anschaffungspreis von unter 50€ pro System den Ausschlag gegeben. Am 16.04.2024 wurde das erste Raspberry System in Betrieb genommen mit dem entsprechenden 32Bit Linux Betriebssystem. In den folgenden Workshops mit dem Fraunhofer Fit, Kuraray, Ilag und der Firma Still ergab sich, dass man als Programmiersprache Python verwenden sollte. Diese Sprache umfasst viele Bibliotheken sowie eine gute Dokumentation. Die geplante Sensorik, sowie die geplanten Übertragungsmodule lassen sich mit der gewählten Programmiersprache anbinden.

Wir haben für die Feldtest einen Still-Gabelstapler RX60-25 Baujahr 2014 als Demonstrator zur Verfügung gestellt. Dieser Gabelstapler verfügt nur über die rudimentären Funktionen und hat keine weitere Sensorik ab Werk verbaut. Dies ermöglichte uns den Mehrwert durch die Aufrüstung genau darzustellen und auch ein entsprechendes Feedback der Nutzer zum Vorher-Nachher-Effekt zu erhalten.

Der Stapler arbeitet vollelektrisch mit einem 80Volt-Batteriesystem auf Blei-Säure-Basis. Eine Bordspannung von 24V DC wird werkseitig zur Verfügung gestellt und konnte für einen Großteil der geplanten Peripherie verwendet werden. Für Rechner –und Kamerasystem musste jedoch eine spezielle sehr stabile und redundante Spannungsversorgung entworfen und implementiert werden.

Für die Spannungsversorgung mussten zwei Iterationsstufen durchlaufen werden, bis eine einwandfreie Spannungsversorgung des zentralen Rechners, sowie die Basis-Sensoren verfügbar war. Es musste eine maximale Abweichung von $\pm 0,02V$ bei einer Stromaufnahme von 5A sichergestellt werden um zum einen eine stabile Berechnung zu realisieren und auch die Sensoren (besonders Gyro und Luftqualität) eine entsprechend stabile Datenbasis liefern. Die geplante Kommunikation mittels RS485-Protokoll zum Steuergerät des Gabelstaplers konnte nicht zufriedenstellend umgesetzt werden, da der Gabelstapler ein anderen Potenzialausgleich auf 80V-Basis verwendet und nicht soweit elektrisch entstört ist, um eine fehlerfreie Kommunikation darzustellen. Diese Erkenntnis hat uns dazu bewogen das gesamte elektrische System des Rechenmoduls und der Sensorik vom Bordnetz des Staplers abzukoppeln und auch hier einen passenden batteriebetriebenen Zwischenspeicher zu verwenden. Dies hat zudem den Vorteil, dass auch alle Sensoren und Datenübertragungsmodule bei einem Spannungsabfall weiterhin valide Daten über einen Zeitraum von bis zu 30 Minuten senden können. Dieses Feature ist auch ein wichtiger Baustein bei der geplanten Unfallanalyse. Diese wird im weiteren Verlauf des Berichtes eingehender betrachtet.

Am 21.10.2021 konnte bereits eine erste technische Vorevaluierung auf dem originalen Demonstrator durchgeführt werden. Es wurde hierzu ein Raspberry-Testsystem installiert, sowie ein 4-Achsen-Gyro MPU6050 angeschlossen, um Echtzeitdaten zu erfassen und zu verarbeiten. Die gesammelten Daten wurden hierzu auf der 32GB-SD-Karte des Raspberrys zwischengespeichert. Die Übertragung zum "Leitstandsrechner" wurde in der ersten Evaluierung mit dem hauseigenen WLAN-System simuliert. Auf einem lokalen PC wurde hierzu eine RabbitMQ Übergabesoftware sowie eine Influx-DB Datenbank installiert, um die empfangenen Rohdaten zu speichern. Im Zuge der Evaluierung zeigte sich, dass dem Datenpuffer eine größere Aufmerksamkeit zugestanden werden muss. Die Erkenntnis aus der Evaluierung war in diesem Fall, dass das WLAN-Netzwerk mit 300 Mbit/s Datenübertragungsrate nicht ausreicht um die gepufferten Daten zu übertragen, wenn sich hier mehr als zwei Minuten Rohdaten von zwei Sensoren im Speicher befinden. Eine sehr wichtige Erkenntnis zur erforderlichen Datenübertragungsrate und zum Sende/Antwortverhalten der verwendeten Komponenten. Eine bis zur ersten Evaluierung am 18.11.2021 eingeführte softwareseitige Routine, welche die Beantwortung von Datenpaketen verbessert und nicht gesendete Datenpakete in eine andere Verarbeitungsschleife überführt hatte bereits eine Verbesserung in der Stabilität des Systems gebracht.

Eine Datenübertragung von vier Raspberrys zum Leitstand war im Nachgang möglich, allerdings oft fehlerbehaftet. Die Anwendungen des Leitstandes wurden daher auf eine eigene Instanz unseres Hyperconvergenz-Servers migriert. Hier kommt ein Debian-Linux12 Betriebssystem zum Einsatz.

Eine weitere Erkenntnis aus der Evaluierung vom 18.11.21 war die zu geringe Auflösung des Gyroskopsensors in Verbindung mit der direkten I2C-Schnittstelle zum Raspberry. Die Daten korrelierten nicht vollständig mit den simulierten Ereignissen. Im Nachgang konnten hierfür zwei Gründe ermittelt werden: 1.) Die verwendete Firmware der Gyroskope arbeitete nicht gut mit der Programmiersprache Python zusammen. 2.) Die eingesetzte Hardware ist nicht hochwertig genug um kleine Ereignisse zu erfassen.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde ein bereits im Haus bekanntes System von Montronix in Betracht gezogen um die Daten aussagekräftiger zu erhalten. Am 07.03.2022 wurde hierzu bei uns im Hause ein Workshop mit dem Hersteller abgehalten um eine mögliche Einbindung der Schwingungssensoren in unsere Anwendung zu realisieren. Diese Sensoren sind um den Faktor 100 genauer und haben mit 128 Bit auch eine wesentlich kleine Abtastrate. Da die Systeme allerdings nur als Komplettlösung zur Verfügung stehen und ein eigenes Betriebssystem besitzen, welches darauf ausgelegt ist mit CNC-Steuerungen von Werkzeugmaschinen zu kommunizieren haben wir ein entsprechendes Austauschformat gesucht. Im weiteren Projektverlauf ab 2023 hat sich jedoch ergeben, dass das System von Montronix nicht so frei konfigurierbar ist, wie eigentlich vom Hersteller versprochen. Auch der technische Support war nicht in dem Maße gegeben um das System sinnvoll in unsere Applikation zu integrieren. Wir haben aus diesem Ergebnis heraus einen Weg gewählt, welcher einen hochpräzisen 9-Achsen-Gyro mit Beschleunigungssensor und Kompass durch einen Arduino-Nano Microcomputer ausliest, die Daten vorverarbeitet und dann mittels einer 1GB/s TCP/IP Verbindung die aufgearbeiteten Rohdaten zum Raspberry-Hauptsystem sendet.

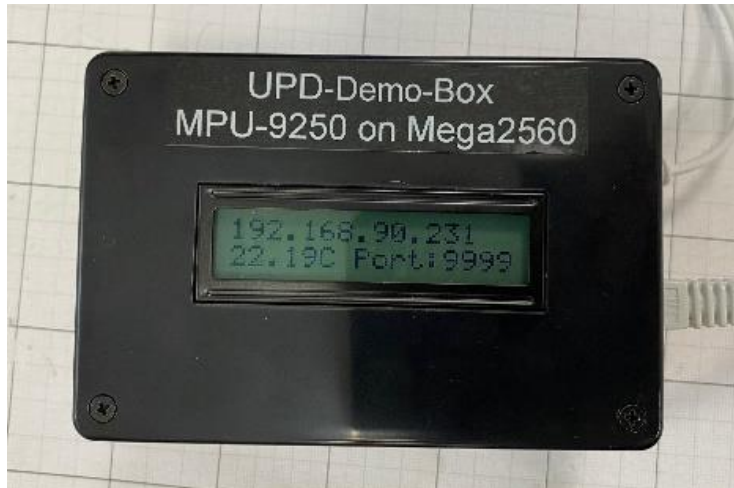


Abbildung 4: UPD-Demo-Box

Ein Demosystem wurde dazu aufgebaut, um die Datenübertragungsraten und Latenz in verschiedenen Umgebungen zu testen. Die Erprobung in verschiedenen Fahrzeugtypen und die Anbindung an jeweils verschiedene Raspberry Systeme bestätigte, dass die Datenqualität valide zu Ereignissen ist und für unsere Zielsetzung des „Predictive Maintenance“ sowie die Erkennung von Unfällen und dem Zustand von Fahrwegen ausreichend abgebildet wird.

In der Evaluierung am 23.01.2023 stellte sich jedoch heraus, dass die Menge der gesammelten Sensordaten den Kleincomputer Raspberry Pi4 an seine Grenzen bringt, wenn man ein 32Bit-Betriebssystem einsetzt. Zum Projektstart war jedoch nur das lauffähige 32Bit-Betriebssystem verfügbar. Die Umstellung auf ein 64Bit-System war jedoch hier unumgänglich. Dies bedeutete jedoch eine komplette Anpassung der bereits programmierten Applikationen zur Datensammlung, deren Umrechnung und der Übertragung zum Server. Eine unterschätzte Auswirkung im nachfolgenden Betrieb war die erhöhte Anforderung an die Spannungsversorgung. Das 64Bit-System benötigte zum einen deutlich mehr Strom durch die bessere CPU-Auslastung und zum anderen war eine noch stabilere Spannung für einen sicheren Betrieb erforderlich. Die gesamte Spannungsversorgung musste daraufhin komplett auf Konstantstromquellen in Industriequalität umgebaut werden.

In diesem Zuge wurde ebenfalls das als Prototyp vorhandene Gehäusekonzept komplett überarbeitet mit der Zielsetzung einen sicheren und industrietauglichen Betrieb auf einem Flurförderfahrzeug zu gewährleisten. Dies auch im Besonderen mit der Zielsetzung ein verwertbares Produkt am Projektende präsentieren zu können.

Ein Gehäuse aus Aluminium EN-AW7075 wurde konstruiert, dass alle Rechnerkomponenten, die Grundsensoren (Gyro, Luftdaten, GPS, 5G-Modul) sowie die Spannungsversorgung aufnehmen konnte und die Lage auch bei starken Erschütterungen gewährleistet blieb. Als Bedieninterface kam ein 10,1"-Touchdisplay der Marke Joy-IT zum Einsatz, welches voll in die Gehäusevorderseite integriert wurde. Die Größe wurde anhand der anzuzeigenden Daten ausgewählt und um eine Interaktion mit dem Bediener über entsprechende Buttons zu ermöglichen.



Abbildung 5: Gehäuse mit Raspberry Pi4 und Basissensorik

Der vom ILAG veranstaltete Workshop vom 26.03.2021 ergab zudem bei der Mitarbeiterbefragung unabhängig, dass ein Kamera Unterstützung mit Blick durch die Gabelzinke nach vorne eine große Erleichterung für den Gabelstaplerfahrer wäre, gerade wenn in Höhen über dem Sichtbereich gearbeitet wird.



Abbildung 6: "Tote Gabelzinke" mit AI-Kamera und Barcodescanner

Ein Kamerasystem zur Erfassung der Umgebung war bereits beim Projektstart geplant. Mit den neuen Erkenntnissen aus dem Workshop (siehe

AP 5 – Evaluation) konnte nun auch die optimale Lage festgelegt werden. Diese wurde somit zwischen den Gabelzinken definiert, was bedeutet, dass immer ein Blick auf die Ladung möglich ist.

Für die erste Evaluierung der Kamera kam eine Logitech Mini V-U0012 860-000237 zum Einsatz. Wie auch ursprünglich vorgesehen, wurde zur Evaluierung am 21.11.2023 eine Luxonis OAK-D Pro W eingesetzt. Durch die AI-Funktionen konnten Mehrwertfunktionen wie Barcodeerkennung und Personenerkennung ausgeführt werden. Die Verarbeitung der Daten erfolgte dabei lokal im Raspberry und die ermittelten Ergebnisse wurden dann mit dem Live-Datenpaket an den Server übermittelt. Hierzu wurde im Vorfeld das Skript in Python angepasst und in Teilprozesse, die parallel laufen, optimiert, um alle Daten synchron verarbeiten zu können. Der entsprechende Entwicklungsverlauf der Skripte konnte in einem den Projektpartnern zugänglichen GitLab-Repository nachvollzogen werden.

Im dritten Jahr der Entwicklung wurde das Skript komplett überarbeitet, um eine möglichst offene Struktur zu schaffen und weitere Sensoren ohne spezielle Programmierkenntnisse einbinden zu können. Diese Zielsetzung wurde durchgehend verfolgt in Bezug auf die Skalierbarkeit und die spätere Verwertung.

Für die letzte Evaluierung wurden noch weitere Sensoren für die Gabelhöhe in Form eines Seilzugsensors av58-m der Firma Siko, welcher nach einem analogen Messverfahren arbeitet und einem Gabelwinkelsensor KTF300 welcher ebenfalls analog Werte im Bereich von 0-5k Ω an die Auswerteeinheit Finder Opta liefert, hinzugefügt. Im Finder Opta arbeitet ein Arduino Portena Microcontroller, welcher die Analogen Signale in Digitalwerte wandelt und diese entsprechend der nötigen Skalierung umrechnet. Diese werden in Message-Paketen zusammengefasst und mittels direktem UDP-Protokoll an den Raspberry übermittelt. Hierzu kommt eine feste 1Gbit/s Verkabelung zum Einsatz. Es gibt einen zweiten Adressbereich im TCP/IP-Netz um nahezu einen Echtzeitbetrieb mit einer Latenz <20ms zu realisieren. Der schematische Aufbau ist hier zu sehen:

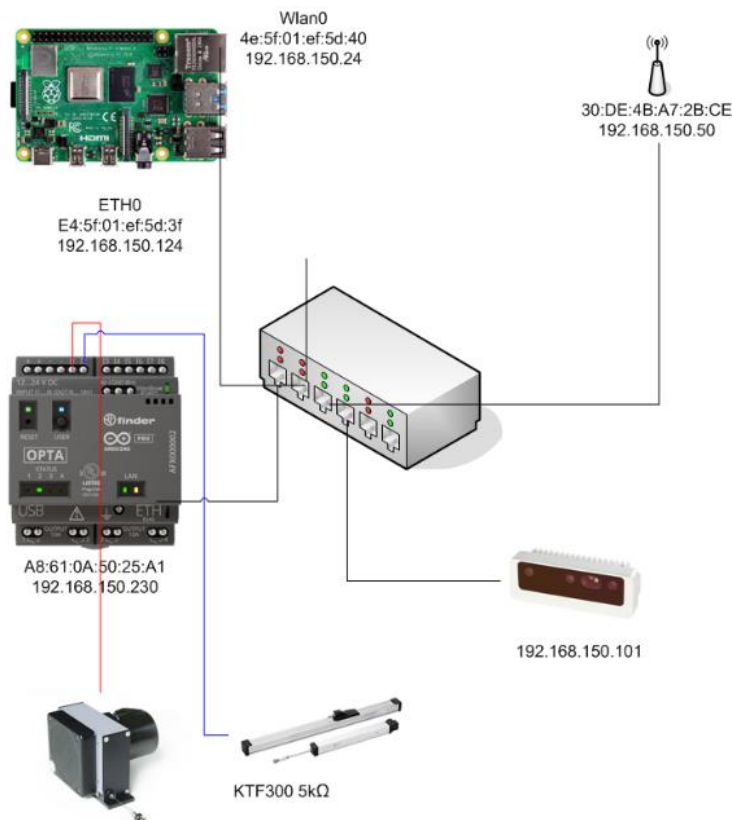


Abbildung 7: Schematischer Verbindungsplan der verwendeten Komponenten

Diese Latenz bis hin zum Server zu realisieren war mit dem bis zur Inbetriebnahme des 5G-Netzes am 27.02.2024 über das bestehende WLAN-Netzwerk nicht zu realisieren. Für das WLAN kommen Ubiquiti UniFi U6 Mesh Pro Accesspoints zum Einsatz, welche eine maximale Datenübertragungsrate von 240Mbit/s zulassen. Auf dem Demonstrator wurde die Anbindung mittels einer Vonets VBG1200 Industrial Dual Band Bridge realisiert, welche getrennte Netzwerke zur Verfügung stellt um zum einen eine direkte Kommunikation mit den Sensoren ermöglicht, als auch parallel mit der gesamten Peripherie.

Für die Verbindung zum 5G-Campusnetz wurde der Teltonika TRB500 Gateway ausgewählt. Es gab im Vorfeld Workshops mit Herstellern von 5G-Bridges wie z.B. Acer, TP-Link, Siemens, Waveshare. Die geforderten Verbindungsparameter in das geplante Campusnetz im n78-Netz wurden nur teilweise durch den oben genannten TRB500 erfüllt. Die Vorkonfiguration wurde durch den Hersteller nach unseren Angaben vorgenommen. Detaillierte Informationen zur Struktur und dem Aufbau des gesamten 5G-Campusnetzes sind im Kapitel AP 4 – InfrastrukturAP 4 – Infrastruktur zu finden.

Ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung ist zum einen das MMI (Mensch-Maschinen-Interface) für den Fahrer und der serverbasierte Leitstand. Das MMI wurde fortwährend weiterentwickelt und hat insgesamt 12 Iterationsstufen durchlaufen.

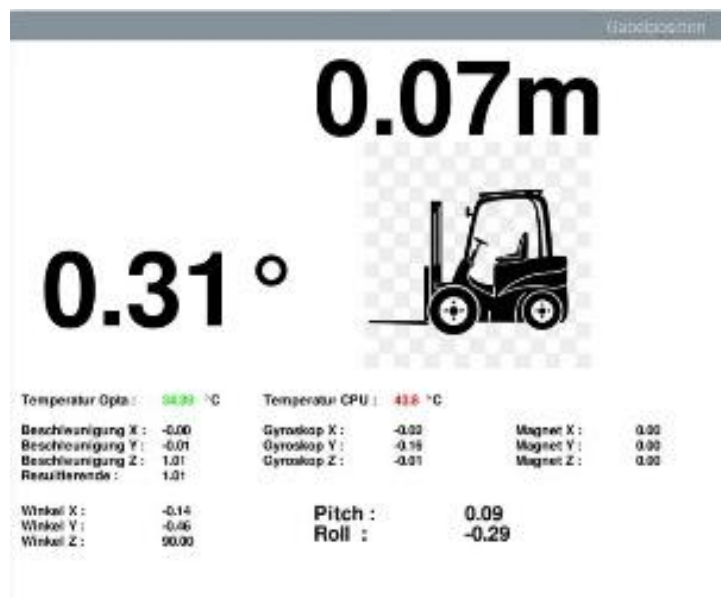


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung der frühen Entwicklungsstufe mit Anzeige der relevanten Betriebsdaten.

In dem Entwicklungsstand zur letzten Evaluierung wurden sowohl Kamerabilder von zwei Kameras, der Status und die Lage der Gabelzinken, die Umweltdaten, Ereignismeldungen und eine Landkarte der aktuellen Position sowie einer definierten Zielposition auf dem Monitor des Demonstrators dargestellt. Des Weiteren wurden mehrere touchfähige Buttons implementiert, welche eine Interaktion erlaubten. Die Buttons senden http-Befehlszeilen an den Server, welcher diese verschiedenen vordefinierten Funktionen zuordnet und Aktionen generiert, wie zum Beispiel das Öffnen von Werkstoren, die Rückmeldung über Hindernisse oder auftragsbezogene Meldungen. In Verbindung mit der GPS-Position können auch Meldungen an die Werkstatt abgesetzt werden, wenn eine Fehlfunktion des Gabelstaplers vorliegt oder ein Ersatzfahrzeug benötigt wird. Der Meldung können automatisch alle verfügbaren Statusmeldungen und Zustände der Sensoren angehängt werden, um eine umfassende Zusammenfassung zu generieren.

Die AI-Kamera in der Gabelzinke hat bereits mehrere Funktionen programmtechnisch implementiert, welche Barcodes lesen können, Personen erkennen und Abmessungen von Transportgütern erfassen können. Hierzu wird die Kombination aus Stereobild und Lidar genutzt. Die komplette Auswertung erfolgt dabei bereits in der Kamera selbst und nur die Ergebnisse werden übertragen. Diese werden zudem temporär auf dem Raspberry lokal gespeichert für die Visualisierung.

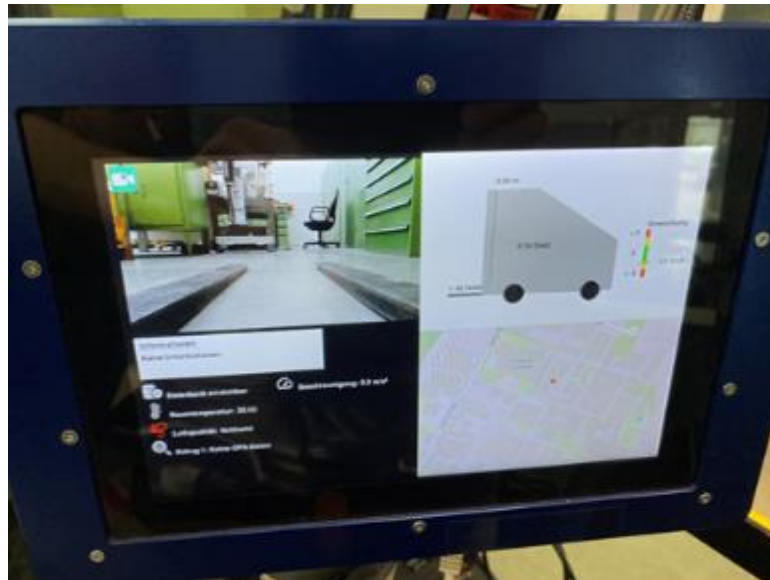


Abbildung 9: Blick auf das MMI-Interface im Gabelstapler

Die wichtigste Funktion in dem Szenario ist die Darstellung aller erfassten Daten auf der Leitstandsapplikation. Diese wurde webbasiert angelegt und läuft in einem Docker-Container auf dem Server. Sie greift dazu in Echtzeit auf die Datenbank InfluxDB zu, welche die empfangenen Daten der Demonstratoren speichert. Die Anzeige der Leitstandsdaten kann sowohl auf einer Workstation, als auch auf einem Mobilgerät stattfinden. Die Anzeigeanpassung erfolgt dabei automatisch.

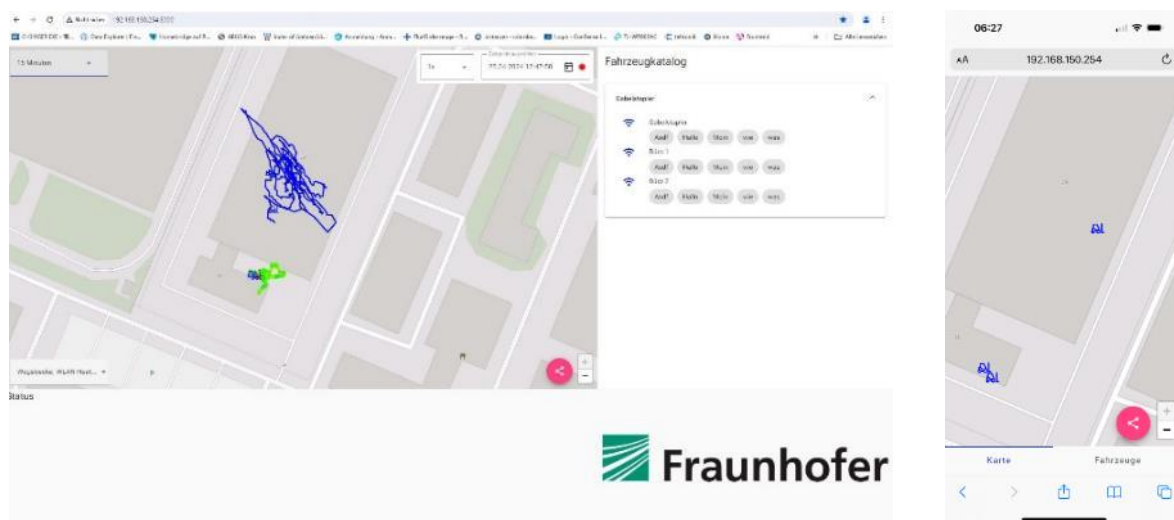


Abbildung 10: Leitstands-Frontend (links), Mobile-Frontend (rechts)

Identifizierung neuer Felder für die Weiterentwicklung des Unternehmens im Zeitalter von Industrie 4.0

Die Datenbasis und die Verarbeitung und Visualisierung der gesammelten Daten mittels der Leitstandsapplikation ergibt zusammen ein mächtiges Werkzeug für den Arbeitsalltag in der Logistik.

Jedes angebundene Fahrzeug, welches über die entsprechende Hardware (Raspberry, Grundsensoren) verfügt, kann geortet werden, seinen Status melden und Informationen empfangen. Da es keinen Zeitverzug in der Datenübertragung gibt, kann in Echtzeit geplant werden. Erreicht zum Beispiel der Batterieladestand eine kritische Grenze, kann die Leitstandsapplikation ein entsprechendes Ersatzfahrzeug ermitteln um den Auftrag fortzuführen. Auch Wartungsintervalle, Beschädigungen oder Defekte an Fahrzeugen werden auf Basis der Sensor –und Fahrzeugdaten zur Verfügung gestellt und ermöglichen eine genauere Vorplanung sowie eine schnellere Reaktion auf Abweichungen. Die Verknüpfung mit einem ERP-System ist möglich und eröffnet noch viele weitere Optimierungen des Ablaufes. Der Einsatz von RFID-Technik in der Ladung wurde ebenfalls getestet. Ein entsprechender Abgleich mit den Daten aus dem ERP-System schafft die Möglichkeit einer Fehlerreduzierung und Kosteneinsparung.

Eine Streckenreduzierung und bessere Auslastung der Fahrzeuge sind möglich, wenn die Position und der Status verfügbar ist. Der Einsatz von KI ist denkbar, um Abläufe noch weiter zu optimieren.

Erweiterung der Dienstleistungen im Flurförderfahrzeugmanagement mit einem erhöhten Kundenmehrwert

Durch die erhobenen Daten, die mathematisch in Relation gesetzt werden können, ist eine wesentlich bessere Vorplanung im Bereich Wartung und Reparatur möglich. Dem Kunden können frühzeitig Ersatzfahrzeuge anvisiert werden und eine genaue Planung der Verfügbarkeit ist damit möglich. Nicht erst bei einem Ausfall zu agieren, sondern vorausschauend Instand zu halten erhöht die Verfügbarkeit der Ressourcen, beschleunigt die Abläufe und spart Kosten. Auch ist eine Verringerung der Fahrzeugflotte möglich, da nicht mehr so viele Ersatzfahrzeuge vorgehalten werden müssen.

Ein weiterer Aspekt und Benefit für Kunden und Bereitsteller der Fahrzeuge ist die Rückverfolgbarkeit von Unfallgeschehnissen. Bis dato ist hier immer ein großer Diskussionsbedarf was der Auslöser eines Unfalles oder Anfahrtschadens ist. Durch die Kamera –und Sensortechnische Auswertung lassen sich auch günstigere Versicherungsmodelle generieren.

Letztlich kann der Fahrer von Fahrzeugen auch unterstützt werden, wenn in den Gefahrenbereichen oder in abgelegenen Bereichen gefahren und gearbeitet wird. Die Fahrzeuge sind mit Ihrer Sensorik in der Lage Umwelteinflüsse, Gefahrstoffe in der Atmosphäre zu überwachen und den Fahrer entsprechend zu warnen.

AP 3 – 5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality

Mit mehreren Iterationszyklen befasst sich diese Studie mit verschiedenen soziologischen und technischen Herausforderungen. Das erste Jahr konzentriert sich auf eine HoloLens2-Lösung für Einzelanwender, die zu einer lokalen Schulungsanwendung für die Reinigung einer Industriemaschine führte. Im zweiten Jahr wurde die Zusammenarbeit von mehreren Nutzern in einem gemeinsamen virtuellen Raum um einen ferngesteuerten digitalen Zwilling eines so genannten „Granulators“ eingeführt, wobei Avatare, Videostreams und Audiokommunikation zum Einsatz kamen. Benutzertests haben gezeigt, dass die Zusammenarbeit aus der Ferne effektiv ist, wobei das Vertrauen in den Vordergrund gestellt wurde. Mit diesem Demonstrator wurden auch die Fähigkeiten unseres 5G-Campusnetzes bewertet. Insgesamt unterstreicht diese Studie die sich entwickelnde Rolle der Mensch-Computer-Interaktion bei der Erleichterung der Kommunikation von Mensch zu Mensch durch Technologie in möglichen industriellen Metaversen.

Einleitung

Industrial Metaverse ist die Vision – XR (Extended Reality) ist die Technologie. Wir unterstützen eine aktive Auseinandersetzung mit dieser Vision und den sie unterstützenden Technologien, um zukünftige Arbeitsplätze für Angestellte und Arbeiter zu gestalten. Wir sind der Meinung, dass es verschiedene „Metaversen“ für verschiedene Szenarien gibt (Buchholz et al., 2022) und nicht ein einziges, allumfassendes Metaversum, das das Internet ist (Parisi, 2021). Während Letzteres teilweise zu vorwiegend unterhaltsamen Zwecken geschehen könnte, gibt es ernsthafte Nachteile für die Nutzung durch Unternehmen, die mit dem plattformkapitalistischen Überwachungscharakter der derzeit dominierenden Internetunternehmen zusammenhängen (Landwehr et al., 2023; Lanier, 2014, p. 201). Der transatlantische Datenfluss zwischen Europa und den USA zur Unterstützung von Internetunternehmen wurde durch Abkommen wie „Safe-Harbor“ oder „Privacy Shield“ ermöglicht. Dennoch haben die Vorstellungen von Datenschutz und Privatsphäre nach dem 11. September und den Enthüllungen von Edward Snowden 2013 (Snowden, 2019) eine rechtliche Kluft zwischen Europa und den USA aufgezeigt. In der Folge wurden diese Verträge vom Gerichtshof der Europäischen Union gekündigt, als sie in den historischen Urteilen „Schrems I“ (2015) und „Schrems II“ (2020) angefochten wurden, was in der Folge zu einer Neuausrichtung der transatlantischen Datenschutzpolitik im Lichte der Überwachungsambitionen der chinesischen Regierung führte (Rotenberg, 2020). In Anbetracht dieser Entwicklungen haben wir unsere industrielle Metaverse-Anwendung vorgestellt, die viele – aber nicht alle – der charakteristischen Aspekte eines Metaversums aufweist und dies auf eine datenschutzfreundliche Weise tut (Oppermann et al., 2023a). Wie würde man den Entwicklungsprozess eines solchen räumlichen Systems gestalten, das die kollaborative Fernwartung von Nutzern erleichtern soll, die Tausende von Kilometern voneinander entfernt sein könnten, um sich über dasselbe Artefakt zu unterhalten, das sie vor sich haben? Basierend auf unserer kollektiven sozio-technischen Erfahrung in der Gestaltung von Systemen und Prozessen in einer menschenzentrierten Weise aus einer kombinierten Informatik- und Sozialwissenschaftsperspektive (Wulf et al., 2018) präsentieren und diskutieren wir das Design und die Entwicklung eines Systems, das als Schaufenster für das Bundesministerium für Digitales und Verkehr im Kontext von Industrial Metaverse und 5G diene. Im Rahmen des Projekts „IndustrieStadtspark“ wird untersucht, wie die 5G-Technologie mit ihren spezifischen Eigenschaften einer geringen Latenzzeit bzw. Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung zu einer höheren Produktivität und einer lernfördernden und stressreduzierenden Arbeitsunterstützung beitragen kann. So könnten beispielsweise Maschinenausfälle oder -probleme durch Mixed Reality und die damit verbundene Fernunterstützung oft von Nicht-Experten vor Ort gelöst werden. Dazu gehörten die Mixed Reality (MR)- und später die Virtual Reality (VR)-Schnittstellen – zusammen als Extended Reality (XR) bezeichnet – sowie Back-End-Themen wie (Remote) Rendering

und Statussynchronisation und die Identifizierung von Datenformaten und Arbeitsabläufen vom CAD-Arbeitsplatz des Bauingenieurs zur Software, die auf den XR-Geräten läuft. In drei jährlichen Iterationen wird ein eher agiler Entwicklungsansatz mit teilweise wöchentlichen Sprints mit sozialen, technischen und organisatorischen Kriterien verwoben. Diese werden nach dem Mensch-Technik-Organisations-Prinzip (MTO) analysiert, die Ergebnisse fließen in die partizipative Entwicklung ein und werden bei den jährlichen Evaluierungen der Prototypen mit den Endnutzern sowie am Ende des Projekts ausgewertet. Die Maschine, auf der das System getestet wurde, wurde von unserem Projektpartner ZWi Technologies entwickelt und gebaut.

Iterative Entwicklung

Das Projekt und dieser Anwendungsfall wurden über drei Jahre hinweg iterativ aufgebaut. Eines der Ziele unseres Anwendungsfalles ist es, die Lücke zwischen XR-Technologien und realen Arbeitsumgebungen zu schließen.

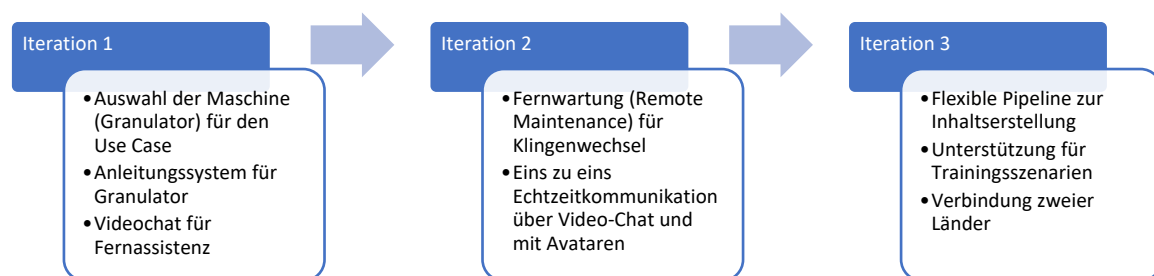


Abbildung 11: Überblick über die jährlichen Iterationen des Prototyps

Erste Iteration

In der Anfangsphase konzentrierten wir uns darauf, das Projekt zu starten, den geeigneten Hardware- und Software-Stack auszuwählen und eine räumliche Leitfadenanwendung mit HoloLens 2 zu entwickeln.

Basierend auf den bisherigen Fähigkeiten und Entwicklungserfahrungen, der Verfügbarkeit und der prognostizierten Nutzbarkeit der Funktionen entschieden wir uns für die Microsoft HoloLens 2 und die Unity Game Engine als unsere Hauptentwicklungsumgebung.

Eine weitere Herausforderung bestand darin, digitale Zwillinge mit einem unkomplizierten Workflow in diese Umgebung zu integrieren. Unsere ersten Tests zeigten, dass das GLB-Datenformat die kompatibelste und einfachste Methode war, um ZWi-Modelle in die Unity-Umgebung zu importieren und zur Laufzeit zu laden. Aufgrund der Leistungseinschränkungen der HoloLens 2 und des Mangels an hochbandbreitigen latenzarmen Internetverbindungen vor Ort konnten wir jedoch keine Remote-Rendering-Techniken verwenden. Folglich mussten wir die digitalen Zwillinge für diese Phase vereinfachen und auf QR-Code-basierte Positionierung zurückgreifen, da komplexere Positionierungsmethoden nicht möglich waren.

Für den Anwendungsfall begannen wir mit einem Trainingsszenario. Die entwickelte HoloLens 2-Anwendung verfügte über eine Benutzeroberfläche für Schritt-für-Schritt-Anleitungen, einschließlich Text- und Videoinformationen, und hob relevante Maschinenelemente in der realen Welt hervor. Zusätzlich bot sie eine Video-Chat-Verbindung zu einem Experten über einen Browser, falls während

der Aufgaben erforderlich. Die Anwendung konnte verschiedene Anweisungssätze und digitale Zwillinge über BSCW herunterladen.

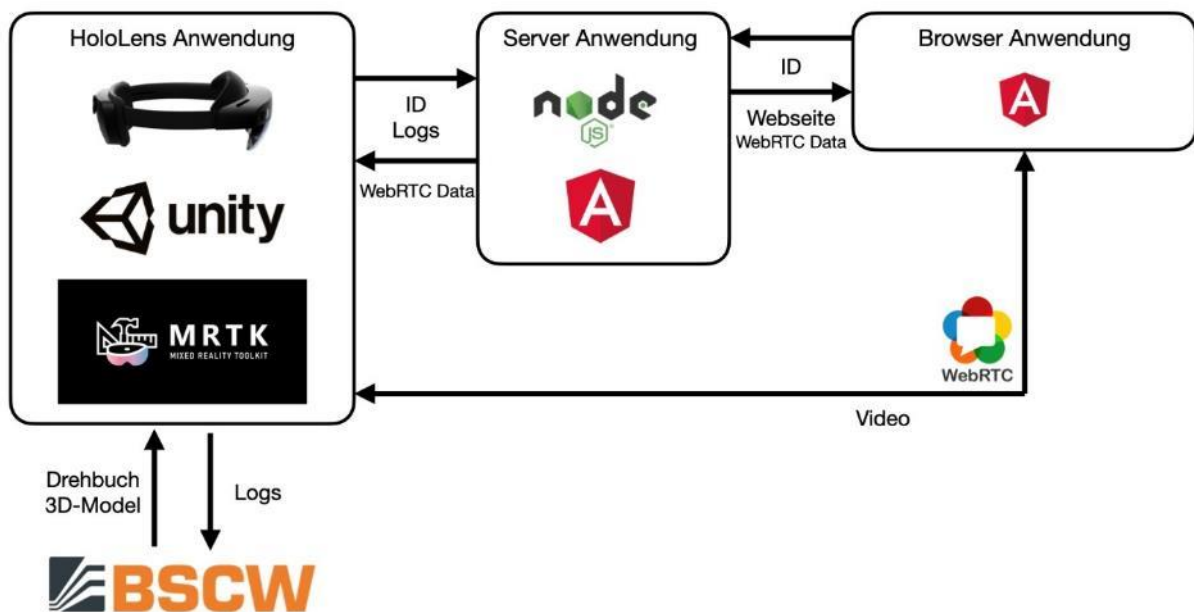
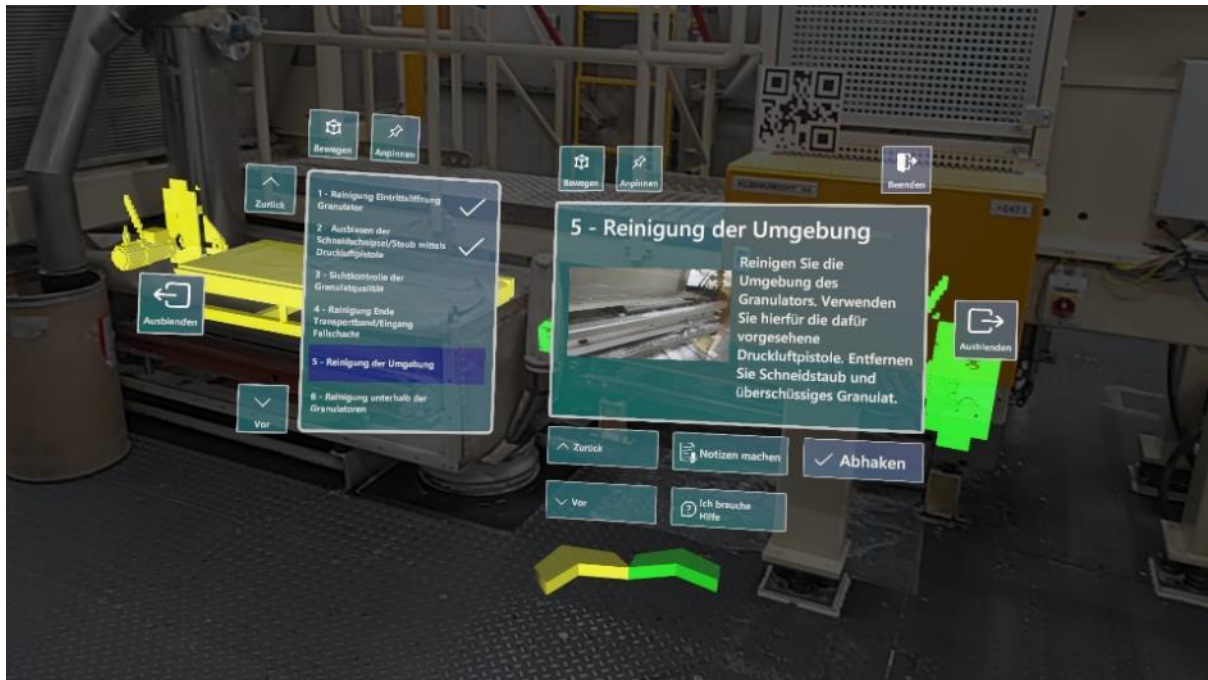


Abbildung 12: Zur Evaluation nutzten wir den Reinigungsprozess von industriellen Granulatoren, die von ZWi gebaut wurden und bei Kuraray eingesetzt werden; eine Aufgabe, die mehrmals täglich von geschulten Mitarbeitern durchgeführt werden muss.

Zweite Iteration

In dieser Phase führten wir die Funktionalität einer Echtzeit-XR-Zusammenarbeit zwischen vor Ort befindlichen Technikern und Experten ein und ermöglichten damit die direkte Interaktion mit digitalen Zwillingen.

Unsere Evaluation zeigte ein starkes Interesse an den kollaborativen Aspekten eines solchen Systems. Folglich konzentrierten wir uns in der zweiten Iteration auf die Verbesserung dieses Features.

Unser erster Prototyp enthielt ein Mehrbenutzersystem, das den bestehenden HoloLens-Benutzer mit einem Experten auf einem PC verband. Dies erforderte eine komplexere Serverinfrastruktur, um Apps in verschiedenen Netzwerken zu verknüpfen und eine Echtzeit-Synchronisierung bereitzustellen.

Diese Version stellte beide Seiten mit Avataren dar (erstellt mit Hilfe der Plattform ReadyPlayerMe) und positionierte die Benutzer basierend auf ihren aktuellen Sichtpunkten korrekt relativ zueinander. Allerdings erwies sich die 2D-Oberfläche für Experten als einschränkend, was die Implementierung einer VR-Oberfläche erforderte.

Ähnlich wie in der ersten Iteration bestand die Hauptaufgabe für die VR-Oberfläche der Experten darin, die geeigneten Software- und Hardware-Plattformen auszuwählen. Wir entschieden uns für Meta Quest-Headsets unter Nutzung der Quest-Link-PC-Schnittstelle (also als non-standalone Variante), da diese von unserem bestehenden Software-Stack unterstützt wurden und es uns ermöglichten, den Großteil unseres Codes wiederzuverwenden. Die Verwendung von PCs ermöglichte die vollständige Modellwiedergabe ohne Qualitätsverlust auf der Expertenseite. Das Anzeigen des vollständigen Modells blieb jedoch auf der HoloLens 2 eine Herausforderung, weshalb wir Azure Remote Rendering zur Darstellung der vollständigen digitalen Zwillinge verwendeten.

Ein neues Feature, das in dieser Iteration eingeführt wurde, war die Echtzeit-Interaktion mit dem digitalen Zwilling. Benutzer konnten Teile des Modells auswählen, hervorheben, bewegen und ausblenden, was auf beiden Seiten synchronisiert wurde. Experten konnten auch Anmerkungen in der realen Welt hinzufügen, wie z.B. Pfeile.

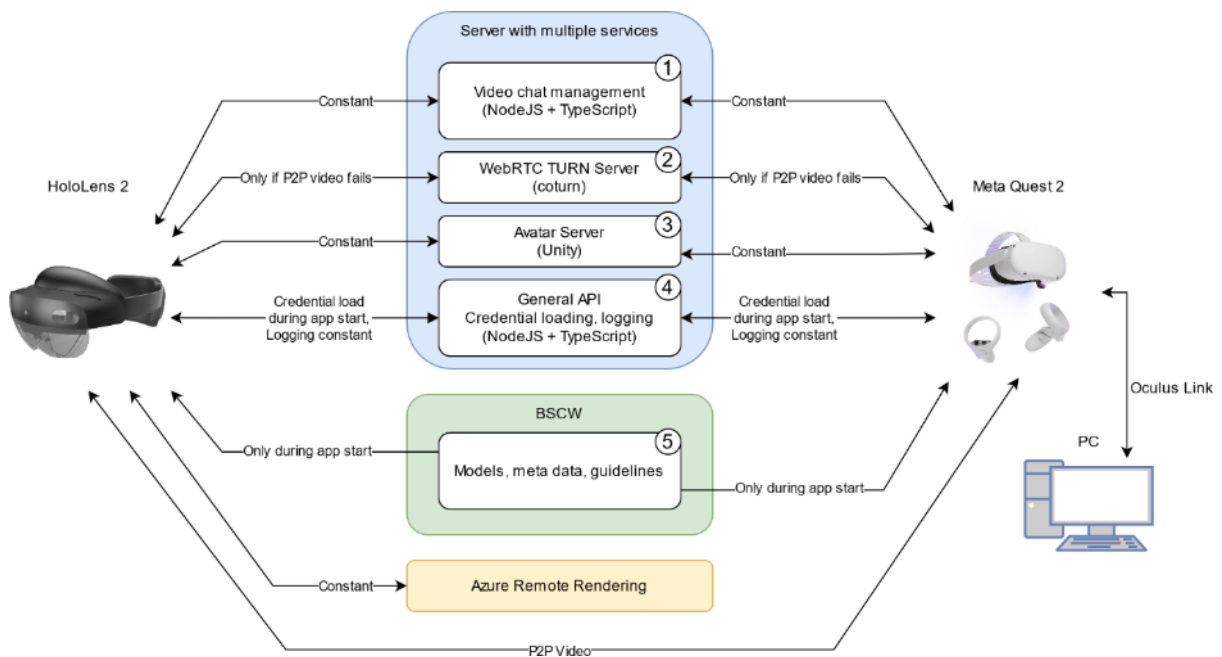


Abbildung 13: Zur Evaluation wurde der Klingenwechsel an den zuvor genannten Granulatoren durchgeführt.

Dritte Iteration

In der abschließenden Phase kombinierten wir das Trainings-Anleitungs-Szenario mit der Fernzusammenarbeit („Remote collaboration“), führten eine Qualitätskontrolle für Experten ein, unterstützten externe Geräte und stellten eine Drag-and-Drop-Pipeline zur Verfügung, um neue Maschinen und Anleitungen zum System hinzuzufügen.

Während dieser Iteration modernisierten und aktualisierten wir die Benutzungsschnittstelle für Anleitungen. Die Benutzeroberfläche verbindet sich nun mit dem digitalen Zwilling und kann Animationen ausgewählter Teile anzeigen. Basierend auf Benutzerfeedback fügten wir eine Option hinzu, die Benutzeroberfläche automatisch an der relevantesten Stelle zu positionieren. Der aktuelle Status der Anleitung wird in Echtzeit mit der Expertenseite synchronisiert, sodass Experten die Qualitätskontrolle entweder in Echtzeit oder nachträglich durchführen können. Wir integrierten auch die Unterstützung für einen digitalen Drehmomentschlüssel, der vor Ort die Mitarbeiter bei der richtigen Kraftanwendung beim Schrauben unterstützt und eine Dokumentation dieser Vorgänge liefert. Zusätzlich verbesserten wir die Interaktion mit dem digitalen Zwilling, sodass Benutzer die Modellhierarchie durchlaufen können.

Ein wichtiges Ziel war es, das Hinzufügen neuer Modelle und Leitfäden ohne Programmierkenntnisse zu ermöglichen. Wir entwickelten eine Desktop-Anwendung, mit der Benutzer sich auf einem BSCW-Server anmelden, neue Modelle hinzufügen oder bestehende bearbeiten und Leitfäden erstellen können. Diese Leitfäden können dann auf Azure- und BSCW-Server hochgeladen werden und stehen den XR-Benutzern sofort zur Verfügung.



Abbildung 14: Zur Evaluation stellte ZWi eine Anleitung zur präzisen Positionierung eines Schiebeteils des Granulators bereit, und Experten führten anschließend die Qualitätskontrolle durch.

Lessons Learned

Das erste Jahr des Projekts brachte verschiedene Erfolge und Hindernisse mit sich. Aus technischer Sicht war die illustrierte Einzelplatzversion mit einer reduzierten digitalen Kopie eine Verbesserung des Status quo. Dies ist eine übliche Vorgehensweise in virtuellen Umgebungen, die mit einer Einzelplatzversion beginnt und dann zu einer Mehrplatzversion übergeht. Ein weiterer wertvoller Ansatz ist die Beschaffung von Software und Hardware auf dem Massenmarkt. Anders als vor 20 Jahren ist es heute nicht mehr notwendig, jede dieser Aufgaben in Eigenregie zu erledigen. Unsere Industriepartner standen vor der Herausforderung, die Projektarbeit in ihre täglichen Abläufe zu integrieren. Damit kommen wir zum Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation und den damit verbundenen Stressoren auf Projekt- und Arbeitsebene. Besonders betroffen sind die Arbeitnehmer, die das System später nutzen werden. Die psychologische Stressanalyse (PBA) misst Faktoren wie Zeitdruck und trägt zum "O" in der Organisation bei.

Unsere wichtigste Ergänzung im zweiten Jahr war die Remote-Zusammenarbeit am digitalen Zwilling, der direkt aus der CAD-Software exportiert wird. Nach einem Vergleich von mindestens fünf verschiedenen Remote-Rendering-Lösungen, teilweise unter NDA, entschieden wir uns für Azure Remote Rendering (vgl. (Oppermann et al., 2023a) für eine technische Diskussion darüber). Es funktionierte anfangs nur mit HoloLens2, aber eine Unterstützung für Meta Quest wurde in 06/2023 hinzugefügt. Unser erstes Jahr der Arbeit damit kostete uns 1621,8 Euro bis 07/2024, was am unteren Ende der von uns untersuchten Preise liegt (der Ausreißer hätte uns 15000-18000 Euro/Jahr gekostet, plus eigene Server). Dies war von Vorteil, da unsere Industriepartner bereits eine IT-Sicherheitsfreigabe für Azure erhalten hatten. Ein Cloud-basierter Ansatz hat den Vorteil, dass die Berechnungen an den gewünschten Ort in anderen Ländern verlagert werden, was die Latenzzeit verringert. Der Verzicht auf einen eigenen Server ist wohl auch ein Sicherheitsplus, denn ein professionell gewarteter Cloud-Server ist sicherer als ein selbst gehosteter Server, auf dem möglicherweise das letzte Update fehlt. Allerdings sind solche großen Dienste auch größere Angriffsziele, wie der Azure Cloud Master-Key-Hack in 08/2023 gezeigt hat (Diedrich, 2023). Weitere technische Herausforderungen waren die Multi-User-Implementierung mit ihrer erschwerten Synchronisation der Clients über das Netzwerk und die Gestaltung und Umsetzung der Interaktion mit Avataren und Händen mit dem digitalen Zwilling der Maschine.

Die Ergebnisse des Benutzertests aus dem zweiten Jahr, bei dem Arbeiter mit AR-Brillen und entfernte Experten mit VR-Brillen im synchronisierten gemeinsamen Raum zusammentrafen, zeigen, dass das entwickelte Setup die Führungssituation bereits so gut unterstützt, dass beide Partner über die Aufgabe und die auszuführenden Tätigkeiten kommunizieren können. Der Experte kann den Arbeiter gut unterstützen und ihm durch Zeigen oder Manipulieren des digitalen Zwillings auch visuell Feedback zu seiner Arbeitsleistung geben. Ein für das Erleben der Arbeitssituation wie auch für das Arbeitsergebnis wesentlicher Aspekt, wie das Vertrauen, wird in den Rahmen der virtuellen Situation übertragen und spielt hier möglicherweise eine noch größere Rolle als bei der Face-to-Face-Unterweisung. Hier ist es dem Remote-Experten nicht möglich, bei Bedarf einzugreifen. Dies gibt den Beschäftigten aber auch die Möglichkeit, die unbekannte Tätigkeit durch eigenes Handeln zu erlernen. Wird diese Möglichkeit im Setting genutzt, können die Vorteile der virtuellen Situation gegenüber der Face-to-Face-Situation durch die so erreichte Lernförderlichkeit sogar noch gesteigert werden.

Das daraus resultierende System hat eine Gesamtkomplexität, die sowohl für die Entwickler als auch für die Benutzer schwer zu beherrschen ist. Und als einzelnes Werkzeug wird es niemals ausreichen, um alle Arbeiten zu unterstützen. Aber wenn es seinen Nutzern ermöglicht, die Schichten der technologischen Komplexität effektiv zu durchdringen und ihnen erlaubt, aus der Ferne in ihrer Tradition zu arbeiten (und dann über sie hinauszugehen), wird es ein nützliches Werkzeug sein (Oppermann, 2009, p. 314). Es ist eine bekannte Entwicklung in der Mensch-Computer-Interaktion, dass es nicht mehr nur um die an menschlichen Faktoren orientierte Benutzerfreundlichkeit einer Softwareanwendung geht. Mit dem Aufkommen der vernetzten Datenverarbeitung hat sich die HCI in

den letzten 30 Jahren von der Mensch-Technik-Kommunikation zur Unterstützung der Mensch-Mensch-Kommunikation entwickelt (Harper et al., 2008, p. 84). Vergleicht man dies mit Brooks System von 1987, das gemeinsame Diskussionen von CAD-Ansichten durch Architekten erlaubte (Brooks, 1987), bei denen das Rendern mehrere Sekunden pro Bild dauerte (und das Gebäude noch nicht gebaut war), kann man sehen, wie sich die Entwicklung und Verschiebung auf Johansen's Raum-Zeit-Matrix manifestiert (Johansen, 1988). Mit der rasanten Entwicklung von Netzwerkgeschwindigkeit und Grafikqualität ist die computergestützte Zusammenarbeit inzwischen so weit fortgeschritten, dass synchrone Ferninteraktionen mit anderen Menschen stattfinden können, die durch Technologie erleichtert werden. Bei diesen Interaktionen geht es um detailreiche Entwürfe, z. B. von Maschinen, einschließlich des digitalen Zwillings, die mit Hilfe von erweiterter Realität oder Mixed Reality in den Raum und auf die reale Maschine übertragen werden, die auf der Grundlage dieses Entwurfs erstellt wird. Wir beginnen gerade erst, das Potenzial der neu entstehenden Möglichkeiten zu begreifen, die als „industrielles Metaversum“ oder „Industrial Metaverse“ (Buchholz et al., 2022) bezeichnet werden können.

AP 4 – Infrastruktur

Das Arbeitspaket 4 beschäftigt sich mit dem Aufbau und der Validierung der 5G-SA (Stand-Alone) Infrastruktur für die beiden Use-Cases aus AP 2 – Staplerleitsystem und AP 3 – 5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality. Dabei wurden zwei Campus-Netze beschafft, in Betrieb genommen und getestet:

- Ein OpenRAN-basiertes Netz bei Fraunhofer FIT am Campus Birlinghoven
- und das hauptsächliche Netz am Campus IndustrieStadtspark.

Dabei wurden die Erfahrungen aus der Beschaffung am FIT Campus auf die Beschaffung am Campus in Troisdorf übertragen.

Das Test-Netz bei Fraunhofer FIT

Das Test-Netz sollte die während der ersten Projektmonate erhobenen Anforderungen aus den Use-Cases exemplarisch bedienen und eine Schablone für die Beschaffung und Inbetriebnahme des wesentlich größeren und teureren Netzes am Standort IndustrieStadtspark liefern. Dieses zwei-stufige Vorgehen erwies sich als Vorteilhaft, da die Technik zu dem Zeitpunkt noch sehr jung war und nicht so einfach bestellt werden konnte.

Die Anforderungen der Use-Cases an das Netz lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. 5G SA Release 16 für Campus-Netz (Campus-Netz Frequenzbereich n78)
2. Min. 20 aktive UEs, min. 25Mbps Up-/Downlink (besser mehr)
3. Geringe Latenz zur Edgecloud ($\leq 10\text{ms}$)
4. Unterstützt min 8 Radios (RU)
5. 5 Jahre support
6. Upgrade Option auf Release 17
7. Lokalisierungsfunktionalität (Accurate Positioning, LMF)

Entsprechend wurde ausgeschrieben und die erhaltenen Angebote bewertet.

Anbieter	1. 5G SA R16	2. Durchsatz	3. Latenz	4. Radios	5. Support	6. Upgrade R17	7. LMF (experimentell)	Kosten auf 5 Jahre gerechnet
A	Ja	Ja	Ja (10 ms)	Ja	Ja	2022	Q3/2022	gleich
B	R15/Cloud (nicht SA)	Ja	Nein (35 ms)	Ja	Ja	k.A.	Q3/2022	gleich
C	Ohne Core	k.A.	k.A.	Ja	Ja	k.A.	k.A.	günstigster
D	Ja/Cloud (nicht SA)	Ja	Ja (n.D.)	Ja	Ja	k.A.	k.A. (2024)	gleich

Tabelle 2: Aufschlüsselung und Bewertung der erhaltenen Angebote nach den identifizierten Kriterien

Lessons Learned

Es stellte sich heraus, dass Planung und Beschaffung schwierig waren und Fragen offen blieben. Zusagen bezüglich Durchsatz und Antennen aufbauen stellten kein Problem dar; die Latenz schon eher. Die Releases 16 und 17 wurden noch zurückhaltend angeboten. Die Roadmap der Anbieter entsprach nicht der Roadmap der Releases. Dies kam einem "Cherry-Picking" der Anbieter gleich.

Das Thema Lokalisierung stand bei keinem der Anbieter im Fokus und war absehbar auch zeitlich kritisch über den Projektverlauf. Wir haben es deshalb auch nicht zentral im kritischen Pfad der Use-Cases verankert. Zur Projektlaufzeit stellte sich heraus, dass unser letztlich von der Cocus AG beschafftes Netz⁹ (OpenRAN-basiert mit Airspan und Open5GS-basiert mit NextEPC) zwar grundsätzlich Lokalisierung beherrschen würden, jedoch die von den UEs mit Qualcomm Chip gelieferten Koordinaten immer 0,0 (latitude, longitude) sind, so dass seine Triangulation auch nur 0,0 liefern kann.

Die Kosten der vier Anbieter waren grundsätzlich vergleichbar, aber nur über die ersten 5 Jahre. Danach gab es Riesenunterschiede in den Preismodellen. Bei großen Anbietern sind dann hohe Lizenzgebühren (OPEX) zu erwarten. OpenRAN hat die Kosten am Anfang (CAPEX = Invest). Für Campus-Netze mit (teilw. inhabergeführten) Firmen lohnt sich das aber bei den Preisen aus unserer Projektlaufzeit noch nicht.

Kleine Netze werden oft im Cloud-Abo-Modell angeboten. Dies rechnet sich aber nur bis ca. 5 Jahre. Danach wird man quasi Operator, mit den entsprechenden Kosten, oder man verzichtet auf Konfigurationsmöglichkeiten, was ein „No-Go“ ist. Der Mehrwert muss sich hier noch zeigen.

Weitere Details aus diesem frühen Beschaffungsprozess für das Test-Netz lassen sich unserem Vortrag auf dem Industrial Radio Day 2021 entnehmen¹⁰.

Das Netz im IndustrieStadtspark

Für das Hauptnetz wurde dann kein OpenRAN gewählt. TroiLine hatte die Aufgabe, ein 5G-Netz für das Projekt am Campus IndustrieStadtspark bereitzustellen. Dies umfasste die weitere Analyse der Use-Cases zur Definition der Anforderungen an das 5G-Netz, den Erwerb einer 5G-Frequenz im Bereich von 3,7 bis 3,8 GHz, den Aufbau eines 5G-SA-Campusnetzes, die Beschaffung des entsprechenden 5G-Equipments sowie die technische Evaluierung der Infrastruktur.

Daraus wurden folgende Arbeitsschritte definiert:

- 4.1.) Auswertung der Anforderungen von AP2, AP3 an das 5G Netz (High Level Design für Glasfaser, Backbone, Radio)
 - a. Troiline und FIT werten die Anforderungen der Applikation von AP2 und AP3 an das 5G-Campus-Netz aus
 - b. Spezifizierung der geforderten 5G-Leistungsmerkmale (z.B. wenn verfügbar aus Rel 16/17, URLLC, Lokalisierung etc.)
 - c. Fachliche Abstimmung mit AP2 und AP3
 - d. Konzeptplanung
- 4.2.) Feinplanung für Infrastruktur, Services, Funknetz

⁹ <https://www.5gtroisdorf.de/news/fraunhofer-fit-bald-koennen-auch-kleine-und-mittelstaendische-unternehmen-von-5g-campus-netzen-profitieren>

¹⁰ <https://www.5gtroisdorf.de/news/erfahrungen-aus-der-planung-und-beschaffung-zweier-5g-campusnetze>

- a. Beantragung von Genehmigungen bei Behörden/Eigentümern
 - b. Beantragung der 5G Frequenz
 - c. Radio Planung und Site Survey (s. Abbildung 15)
 - d. Erstellen von Planunterlagen, Übersichtsplänen etc.
- 4.3.) Auswahl, Erprobung, Dimensionierung, Beschaffung und Aufbau von 5G-SA Campus-Netz
- a. Auswahl und Dimensionierung des geplanten 5G Netzes
 - b. Beschaffung des 5G Equipments inkl. 3rd Party Provider Lizenzen (Hardware, Antennen etc.)
 - c. Aufbau des 5G SA-Campus-Netzes am Standort
- 4.4.) Inbetriebnahme 5G-SA Campus-Netz am IndustrieStadtpark
- a. Radio und Core Konfiguration
 - b. IP-Core Transport Network Konfiguration
 - c. Clean Run / Acceptance
- 4.5.) Netzbetrieb
- a. Integration des User Equipment unter Berücksichtigung von Anforderungen an die Konnektivität (Service Data Flows - SDF) und Quality-of-Service (QoS)
 - b. Integration von Diagnosewerkzeugen zur Leistungsmessung (Reichweite, Datendurchsatz und Latenz)
 - c. Überwachung und Instandhaltung des Netzes



Abbildung 15: Site Survey im IndustrieStadtpark im April 2021

Rahmenbedingungen

5G ist ein neues Thema, und die Hardware war zu Beginn des Projekts Anfang 2021 nicht gemäß den entsprechenden 5G-Releases der 3GPP verfügbar oder entwickelt; insbesondere Hardware für SA-Netze. Zudem gab es weltweite Krisen wie Corona und Lieferengpässe bei Chips und entsprechender Hardware. Die TroiLine GmbH fungiert als Netzbetreiber eines Mobilfunknetzes, was ebenfalls ein neues Gebiet ist. Zur Einarbeitung in die Thematik wurden das Buch von (Trick, 2020), sowie verschiedene Online-Quellen verwendet. Das Projekt fand im IndustrieStadtpark in Troisdorf statt und erforderte eine Abstimmung mit dem Geländebetreiber T-Park. Dazu kamen personelle Wechsel. Aufgrund der vorgenannten Umstände konnte die ursprüngliche Planung zunächst nicht vollständig eingehalten werden. Der mehrjährige Weg der Beschaffung, Inbetriebnahme und Validierung des 5G-SA Netzes in Troisdorf ist im Folgenden detailliert nachgezeichnet um die Komplexität des Vorhabens zu veranschaulichen und für Andere nachvollziehbar zu machen.

Phase 1

Das Kickoff-Meeting fand am 25.02.2021 online statt.

Eine der zentralen und zugleich herausforderndsten Aufgaben in der Anfangsphase war die umfassende Einarbeitung in die Thematik Mobilfunk und 5G. Hierfür wurden intensive Recherchen durchgeführt und diverse Fachvorträge, unter anderem von der 5G Roadshow, dem Gigabitbüro und der VAT, besucht. Diese Wissensaneignung erwies sich als zeitintensiv, war jedoch unerlässlich für das Verständnis der technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen des Projekts.

Um die nächsten Schritte für die Planung, Beschaffung und den Aufbau des 5G-Netzes zu konkretisieren, fanden mehrere digitale Treffen mit einem Berater statt, der bereits maßgeblich bei der Konzeption des Projektantrags unterstützt hatte. Die öffentliche Präsenz des Projekts führte dazu, dass verschiedene Lieferanten auf uns aufmerksam wurden. In der Folge ergaben sich Diskussionen über mögliche Realisierungsansätze.

Ein wichtiger Meilenstein war die erste Site-Survey am 22.04.2021 (s. Abbildung 15), an der unser Berater Capgemini sowie Vertreter von ZWi, Kuraray und dem Fraunhofer FIT teilnahmen. Bei dieser Begehung im IndustrieStadtpark konnten wir uns ein konkretes Bild von den örtlichen Gegebenheiten machen und erste Einschätzungen zur möglichen Netzabdeckung vornehmen. Diese Vor-Ort-Analyse war fundamental für die weitere technische Planung und Optimierung des Netzwerks.

Am 24.03.2022 fand im Schloss Birlinghoven ein Konsortialtreffen statt, bei dem der aktuelle Stand der einzelnen Arbeitspakete präsentiert und diskutiert wurde.

Ein wichtiger Punkt war die Entwicklung und Durchführung eines Fragebogens zur Definition der Anforderungen an das 5G-Netz. Dieser Fragebogen deckte wesentliche Aspekte ab, darunter die erforderliche Netzabdeckung, zu verwendende Endgeräte, der Bandbreitenbedarf (minimal, maximal und durchschnittlich), die Latenzanforderungen sowie sonstige spezifische Anforderungen. In einem persönlichen Gespräch am 27.04.2022 wurde der Fragebogen ausgefüllt und nach einer kurzen Überprüfungsphase am 02.05.2022 endgültig freigegeben. Diese strukturierte Bedarfsanalyse bildete die Grundlage für die weitere technische Planung und Umsetzung des 5G-Netzes.

Vom 14.06.2022 bis 15.06.2022 fand in Kaiserslautern eine 5G-Vernetzungsveranstaltung statt¹¹. Dort wurden deutschlandweit geförderte 5G-Projekte präsentiert und die Teilnehmer hatten Gelegenheit zum Erfahrungsaustausch. In Gesprächen zeigte sich, dass viele Projekte von Lieferengpässen und der Komplexität der Aufgabe betroffen waren. Zudem wurde deutlich, dass nur wenige Projekte ein eigenes 5G-Stand-Alone-Netz aufbauen.

Am 24.06.2022 fand im Rahmen des Digitaltages ein Livestream statt, um unser Projekt vorzustellen. Aus Sicht der TroiLine durften wir unsere Rolle in diesem Projekt präsentieren und die Grundlagen der 5G-Technologie erklären.

Im Rahmen des Projekttreffens am 27. und 28.10.2022 wurde der aktuelle Stand der Arbeiten in den Arbeitspaketen vorgestellt. Außerdem fand ein Future Workshop im Rahmen des AP6 statt.

Aufgrund personeller Veränderungen bei Capgemini (unser Ansprechpartner Herr Völkel und seine Projektmitarbeiter haben das Unternehmen verlassen) kam es zu Verzögerungen in der Zusammenarbeit. Der ausgefüllte 5G-Fragebogen wurde am 04.05.2022 inklusive einer erneuten Erläuterung des Vorhabens an Capgemini übermittelt. Nach weiteren Gesprächen lud Capgemini, entgegen der Vereinbarung, eine Shortlist mit verschiedenen Anbietern zu erstellen, Nokia direkt zu

¹¹ <https://www.5gtroisdorf.de/news/das-gemeinsame-ziel-deutschland-zum-leitmarkt-fuer-5g-machen>

Gesprächen ein. Am 16.09.2022 wurde uns ein unverbindliches Vorangebot vorgelegt, das außerhalb unseres Budgets lag. Nach mehreren Gesprächen konnte der Umfang und die Summe reduziert werden, was jedoch immer noch außerhalb unseres Budgetrahmens lag. Das Angebot wurde abgelehnt und die Zusammenarbeit zum 07.11.2022 beendet.

Phase 2

Seit dem 15.06.2022 bestand Kontakt zu Deloitte, die ebenfalls Beratungsleistungen im Bereich 5G anbietet. Unserem Ansprechpartner Herrn Völkel und einigen seiner Mitarbeiter (ehemals Capgemini) war das Projekt bereits bekannt. Aufgrund der Verzögerungen in der Zusammenarbeit mit Capgemini wurden die Beratungsleistungen vorsorglich bei Deloitte auf Basis der bis dahin bekannten Ergebnisse und erbrachten Leistungen angefragt. Das erste Angebot vom 22.07.2022 wurde nachverhandelt. Am 06.10.2022 wurde ein neues Angebot vorgelegt. Dieses Angebot wurde nochmals korrigiert und am 24.11.2022 in der endgültigen Fassung eingereicht. Die Leistungen wurden zum 01.12.2022 beauftragt. Am 01.12.2022 fand ebenfalls der Kick-off für die Zusammenarbeit statt.

Am 08.12.2022 wurde uns eine Shortlist mit möglichen Anbietern und eine Empfehlung der drei geeignetsten Anbieter vorgelegt. Dabei handelt es sich um die COCUS AG, Druid Software und Athonet.

Am 20.12.2022 fand ein Vor-Ort-Termin mit Deloitte im IndustrieStadtpark statt, um weitere Informationen für die Erstellung eines Basisvorschlags für das 5G-Netz zu erhalten, der als Grundlage der Angebotsplanung der Anbieter dient. Ende des Jahres 2022 konnte AS 4.1 abgeschlossen werden.

Am 18.01.2023 erfolgte ein Site Visit im Gebäude 296 mit Deloitte, um noch offene Fragen zu klären und einen grundlegenden Vorschlag für die Installation des 5G-Netzes zu erarbeiten.

Aufgrund der von Deloitte erarbeiteten Shortlist vom 08. Dezember 2022 wurden ausschließlich Angebote von Cocus AG und Athonet eingeholt. Der Grund dafür ist, dass Druid Software lediglich den 5G-Core anbietet, jedoch kein RAN-Equipment. Das erste Treffen mit der Cocus AG fand am 24.01.2023 statt, die Standortbesichtigung erfolgte am 31.01.2023. Die erste Abstimmung mit Athonet und deren Systemintegrator Selectric wurde am 17.02.2023 durchgeführt. Selectric besichtigte den Standort am 21.02.2023 persönlich. Auf Basis der Gespräche und Besichtigungen vor Ort erstellten die Cocus AG und Selectric als Systemintegrator für Athonet Angebote gemäß unseren Anforderungen. Nach Eingang der Angebote wurden mit beiden Anbietern ergänzende Aufklärungsgespräche zum Leistungsumfang geführt. Nach Rücksprache mit dem Fraunhofer FIT und Auswertung der Angebote wurde die Entscheidung für Selectric/Athonet getroffen. Das Fraunhofer FIT hatte bereits ein Campusnetz der Cocus AG in Birlinghoven im Einsatz. Durch einen weiteren Anbieter in Form von Athonet erhofften wir uns weitere Erkenntnisse durch ein 5G-Netz eines anderen Anbieters. Des Weiteren bestand die Möglichkeit, auf die Expertise des Systemintegrators Selectric zurückzugreifen, der die Installation und die Betreuung des Athonet-5G-Equipments übernehmen konnte. Die Beauftragung der Firma Selectric erfolgte am 08.05.2023.

Phase 3

Am 23.03.2023 fand im Schloss Birlinghoven ein Konsortialtreffen statt, bei dem wir den aktuellen Stand unseres Arbeitspakets sowie der Angebotsauswertung präsentieren konnten.

Im Rahmen der Vorbereitung der Installation des 5G-Campusnetzes wurde am 19.04.2023 ein Vor-Ort-Termin bezüglich der Tiefbauarbeiten zur Anbindung der Antennenstandorte mit LWL durchgeführt. Gemäß der Planung von Selectric und Athonet sollten die Antennenanlagen an den Gebäuden 226 und 288 im Industriepark installiert werden. Des Weiteren war eine Einführung der Versorgungsleitung in Gebäude 296 und bei ZWi erforderlich, um die Indoor-Antennenanlage zu versorgen.

Für die entsprechenden Fassadenarbeiten wurde für den 20.06.2023 ein erster Termin mit der Firma Dr. Starck vereinbart. Am 21.06.2023 erfolgte eine Abstimmung bezüglich der Anbindung in den Gebäuden 296 und 288 mit den Verantwortlichen bei Kuraray. Am 27.06.2023 fand ein Treffen aller beteiligten Gewerke statt, bei dem die Fassadenarbeiten durch die Firma Dr. Starck, die Tiefbauarbeiten für die Hauseinführung und die LWL-Verlegung durch die Firma Blum Tief, die hausinterne Verkabelung bei ZWi und Kuraray sowie die LWL-Arbeiten durch die Firma IBS abgestimmt wurden. Zudem wurde ein Zeitplan für die Arbeiten vorgestellt. Des Weiteren war der Geländebetreiber T-Park anwesend, um die Arbeiten mit ihm abzustimmen.

Darüber hinaus wurden die Zuteilung zur Nutzung der 5G-Frequenzen sowie die Zuteilung der Nummernressourcen für das Campusnetz erteilt. Zudem wurde der Nutzungsvertrag mit dem T-Park abgeschlossen, um auf dem Gelände unsere Antennenanlagen installieren und betreiben zu dürfen.

Der erste Termin mit der S.E.A. Datentechnik GmbH, einem Troisdorfer Unternehmen, das direkt am IndustrieStadtPark ansässig ist, fand am 25.09.2023 statt. Die S.E.A. unterstützt uns bei der Erstellung einer Dokumentation über die Ausdehnung und Grenzen des Funknetzwerks auf dem 5G-Testcampus. Die Dokumentation umfasst die Darstellung der Funkzellen, die einen bestimmten Bereich versorgen, sowie die Darstellung der Grenzen, ab denen keine Versorgung mehr vorhanden ist. Des Weiteren ist die Dokumentation der Netzwerkqualität vorgesehen, welche die Upload- und Download-Geschwindigkeit in Megabit pro Sekunde (MBit) sowie die Latenz in Millisekunden umfasst. Für die unentgeltliche Zusammenarbeit wurde ein Kooperationsvertrag ausgearbeitet. Die ersten Messungen wurden am 30.11.2023 durchgeführt, um ein erstes Bild zu erhalten.



Figure 1 Detektierte Funkzellen initiale Messung 30.11.2023

Die Installation des 5G-Netzwerks wurde in der Woche vom 23.10. bis 27.10. finalisiert und am 07.11. offiziell abgenommen. Zu Testzwecken wurde ein Android-Smartphone der Firma Zebra von Selectric bereitgestellt, um das 5G-Netzwerk zu testen. Das Endgerät hat sich dabei ohne Probleme in die Funkzellen eingebucht.

Am 29.11.2023 wurde im Schloss Birlinghoven ein Geschäftsmodell-Workshop durchgeführt, an dem wir teilnahmen.

Ende des Jahres 2023 konnten AS 4.2 und AS 4.3 vollständig abgeschlossen werden.

Phase 4

Am 17. Januar 2024 war ein 5G-On-Site-Test mit Deloitte geplant. Dabei konnte das Testgerät (Samsung Galaxy S21 5G) unser 5G-Netzwerk nicht erkennen und sich somit nicht verbinden. Um Fehler in der Konfiguration des Testgeräts auszuschließen, testete die Mitarbeiterin von Deloitte das Gerät im firmeneigenen 5G-Netz von Deloitte, das ebenfalls von Athonet stammt. Dort funktionierte alles einwandfrei. Das Deloitte-Netz hat die PLMNID 01001, während unser Netz in Troisdorf die PLMNID 26298 besitzt. Zu diesem Zeitpunkt vermuteten wir ein Problem mit der Firmware des Testgeräts, das sich nicht mit unserer PLMNID verbinden wollte. Der Support von Selectric/Athonet konnte zu diesem Zeitpunkt keine Lösung bieten.

Neben der Problematik, dass sich einige Endgeräte nicht mit dem Netz verbinden konnten, konnten die Endgeräte, die sich verbinden konnten, nicht mit den Anwendungsservern kommunizieren. Zur Lösung musste das Routing im Netzwerk von Selectric sowie ZWi angepasst werden. Zur Klärung der Problematik und der Vorgehensweise fand am 16. Februar 2024 eine Absprache aller beteiligten Parteien statt.

Am 21. März 2024 wurde ein iperf-Dienst auf einer separaten VM auf dem 5G-System installiert, um die Netzwerkleistung zu messen.

Am 16. April 2024 fand in Zusammenarbeit mit der Firma S.E.A. eine Indoor-Messung im Gebäude 296 statt. Dabei fiel auf, dass nur eine der beiden Zellen voll funktionsfähig war. Über die andere Zelle liefen nur Limited Services. Das Problem wurde an Selectric gemeldet, die sich dem Problem annahmen.

Da das gesamte 5G-Netz sehr instabil lief, vermutete Selectric, dass es am Antennenstandort im Gebäude 226 zu Spannungsschwankungen kommen könnte, die die Fehler verursachen. Um dies auszuschließen, wurden die Stadtwerke Troisdorf beauftragt, die Spannung zu überprüfen. Die Prüfung ergab, dass die Spannung zwischen 236,7 und 237,4 Volt lag und somit nicht die Fehlerquelle war.

Am 8. Mai 2024 fand im Schloss Birlinghoven ein Konsortialtreffen statt, bei dem der aktuelle Stand der einzelnen Arbeitspakete präsentiert und diskutiert wurde.

Am 13. Mai 2024 fand erneut ein Versuch statt, zusammen mit der Firma S.E.A. die Indoor-Antennen zu messen. Dieser Termin brachte nur in der ZWi-Halle Ergebnisse. Eine der Indoor-Antennen im Gebäude 296 funktionierte zu diesem Zeitpunkt nicht, wodurch keine vollständige Messung durchgeführt werden konnte.

Nach diversen Neustarts der Antennen meldete Selectric, dass die Outdoorantennen am 28. Mai 2024 voll funktionsfähig seien, die Indoor-Antennen allerdings ein Update benötigen. Am 29. Mai 2024 bekamen wir die Meldung von Selectric, dass der Speicher der Indoor-Antenne vollgelaufen sei, was zu dem Problem geführt habe und durch das Update behoben wurde.

Am 6. Juni 2024 fand die erneute Messung der Indoor-Antennen im Gebäude 296 statt. Auch nach dem Update durch Selectric gab es weiterhin Probleme, wodurch auch diese Messung keine verwertbaren Ergebnisse brachte.

Am 11. Juni 2024 fand ein Vor-Ort-Termin mit der Firma Selectric statt, bei dem die Antennen vor Ort geprüft wurden. Zudem wurde ein 5G-Modem mit LTE von Selectric installiert, damit die gesamte Strecke vom Endgerät über die Antenne bis zum Server geprüft werden konnte.

Am 13. Juni 2024 fand die Abschlussveranstaltung des Projektes in der Stadthalle Troisdorf statt, bei der wir das Projekt aus Sicht des Netzbetreibers Troiline vorstellen durften. Dabei präsentierten wir, wie unsere Schritte im Projekt aussahen und mit welchen Herausforderungen wir konfrontiert waren.

Das 5G-Netz konnte bis zum Projektabschluss am 30. Juni 2024, abgesehen von den Problemen im Indoor-Bereich, zur Verfügung gestellt werden.

Im Arbeitsschritt 4.4 konnten die Radio- und Core-Konfiguration sowie die IP-Core-Transport-Netzwerk-Konfiguration abgeschlossen werden. Den finalen Clean Run/Acceptance haben wir in Zusammenarbeit mit der Firma S.E.A. am 26. September 2024 durchgeführt. Die daraus resultierende technische Evaluation des 5G-Netzes befindet sich in Dokument D5.1 (Semenowicz, 2024).

Arbeitsschritt 4.5 begann mit der Übernahme des Netzes und lief bis zum Abschluss des Projektes. Der letztlich verwendete 5G-Core basiert auf 3GPP Release 16, es sind jedoch auch Features von 15 und 17 enthalten.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben den Partner im Konsortium wurde mit folgenden Stellen zusammengearbeitet.

Stelle	Art der Zusammenarbeit
Capgemini Engineering (Altran Deutschland S.A.S. & CO. KG)	Unterstützung bei Konzeptionierung und Auswahl des 5G-Netzes
Deloitte Consulting GmbH	Unterstützung bei Konzeptionierung und Auswahl des 5G-Netzes
Bundesnetzagentur	Prüfung und Zuteilung einer 5G-Frequenz (3,7 GHz - 3,8 GHz)
Keystone T-Park Verwaltung GmbH	Geländefreiber, auf dessen Gelände das 5G-Netz errichtet und betrieben wird
Stadtwerke Troisdorf GmbH	Dienstleister für die Stromanschlüsse der Antennenstandorte
SELECTRIC Nachrichten Systeme GmbH / Athonet	Systemintegrator der Firma Athonet und verantwortlich für Lieferung, Aufbau und Service des 5G-Netzes
S.E.A. Datentechnik GmbH	Unternehmen, das für uns die Messung des 5G-Netzwerks übernimmt
Blum-Tief GmbH & Co. KG	Tiefbauunternehmen, das die Hausanschlüsse für die LWL-Verkabelung zur Anbindung der 5G-Antennenstandorte realisiert hat
DR. STARCK Isoliertechnik GmbH	Fassadenbauer, der die Fassadendurchbrüche und die entsprechende Abdichtung zur Anbindung der 5G- und GPS-Antennen an den Gebäuden 296 und 288 durchgeführt hat
IST Connected GmbH & Co. KG ehemals IBS CommNet Service GmbH & Co. KG	Fachunternehmen im Bereich LWL, das die Verbindung der einzelnen Standorte mit LWL übernommen hat

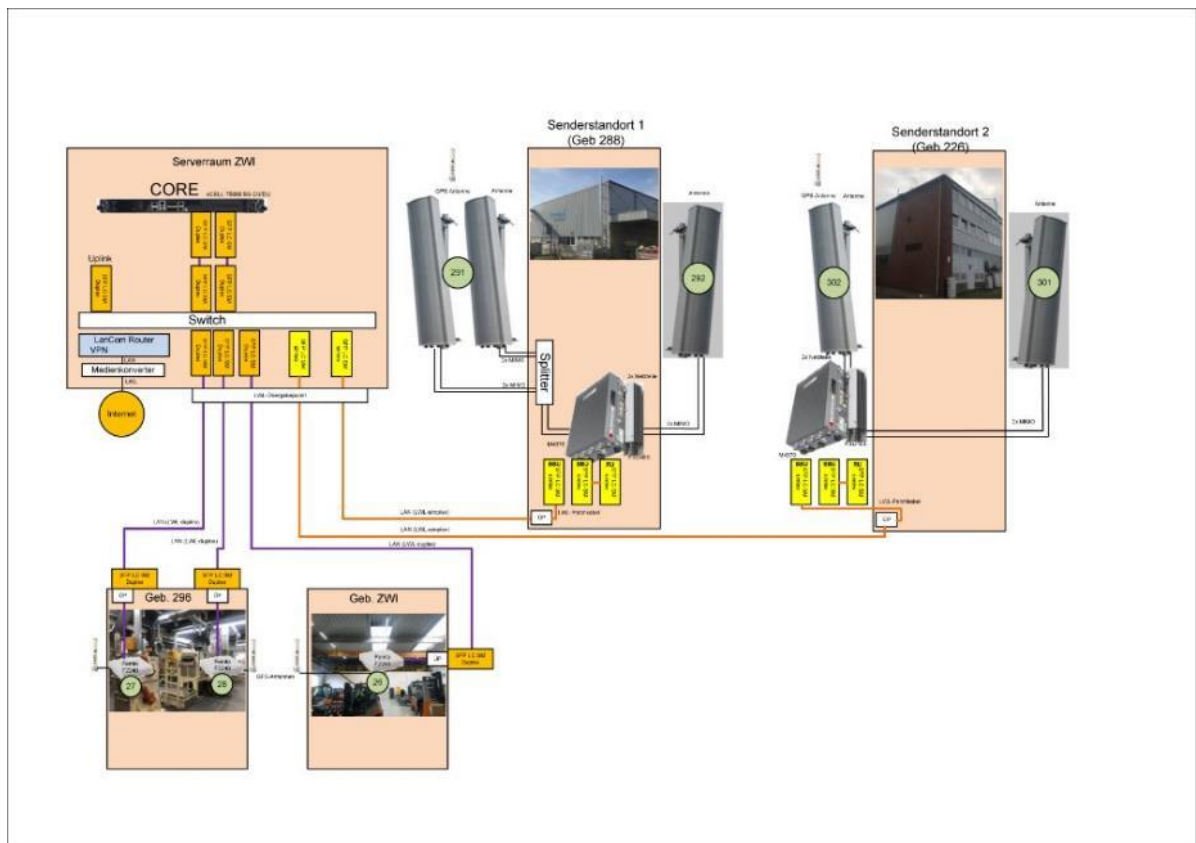


Abbildung 16: Schematischer Aufbau des 5G-SA Netzes



Abbildung 17: Antennen am Gebäude 288



Abbildung 18: Antennen am Gebäude 226

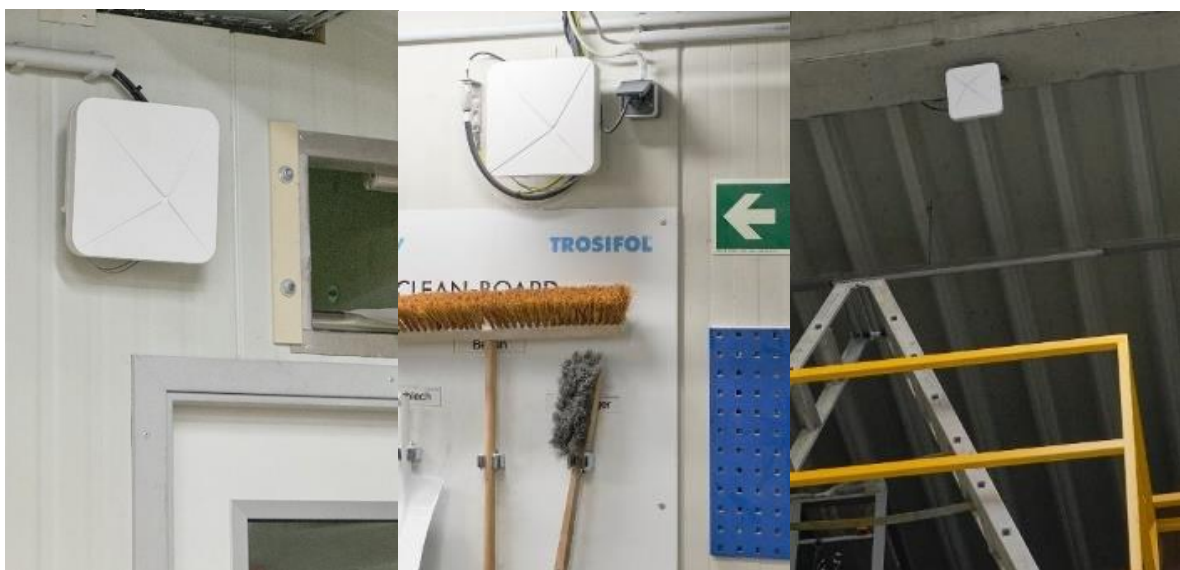


Abbildung 19: (l.) Antenne 1 im Gebäude 296, (m.) Antenne 2 im Gebäude 296, (r.) Antenne im ZWi-Gebäude

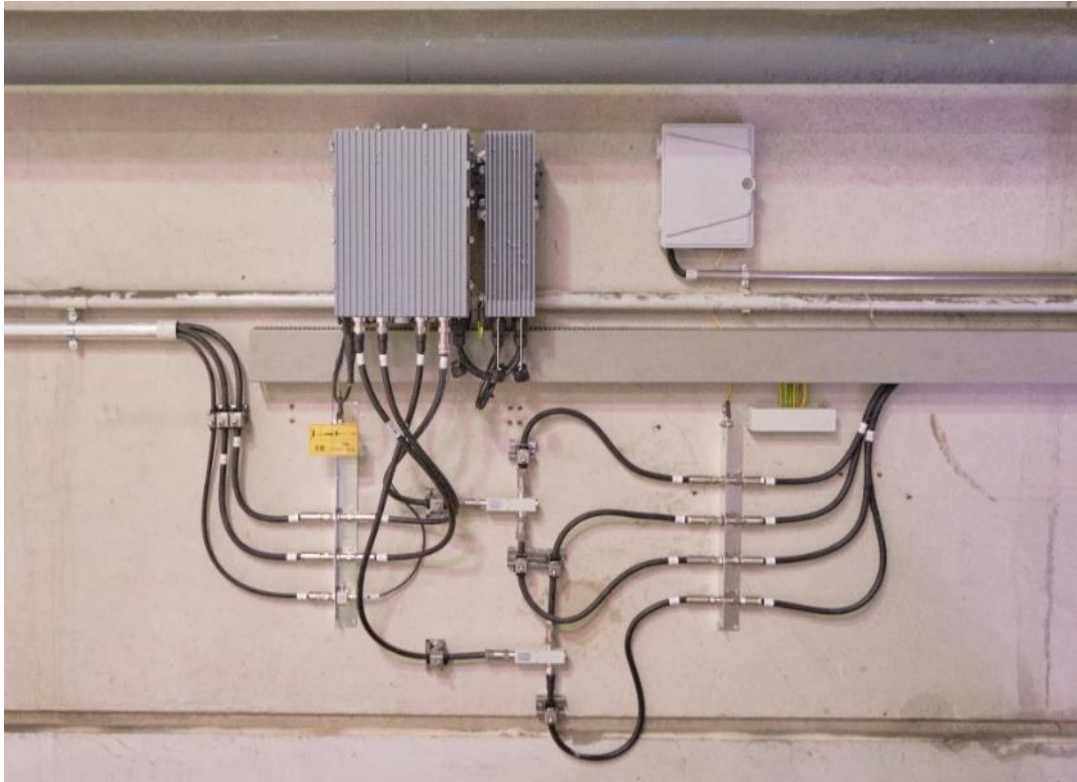


Abbildung 21: Verkabelung der Antennenanlage in Gebäude 288



Abbildung 20: 5G-Core

Zusammenfassung

Es wurde ein eigenes 5G-SA-Netz aufgebaut. In diesem Zusammenhang wurden die notwendigen Informationen zur Beschaffung und zum Aufbau eines 5G-Netzwerks sowie zur Erarbeitung eines Basisvorschlags zusammengetragen. Zudem wurde ermittelt, welche Gewerke beim Aufbau eines 5G-Netzes benötigt werden.

Zu den Anforderungen zählten:

- Gewünschte Abdeckung: Welche Gebäude/Gebiete sollen mit dem 5G-Netz abgedeckt werden?
- Endgeräte: Welche und wie viele Endgeräte (z.B. Raspberry Pi) und 5G-Empfänger/Karten sollen zum Einsatz kommen?
- Bandbreitenanforderung: Welche Bandbreiten müssen bereitgestellt werden?
- Latenzanforderung: Welche Latenzzeiten müssen eingehalten werden?

Beim Aufbau eines 5G-Netzes wurden in unserem Projekt folgende Gewerke benötigt:

- Tiefbauer für die LWL-Trasse
- Netzwerktechniker für LWL-Verkabelung und Verbindung
- Elektriker für Stromanschlüsse
- Fassadenbauer für die Bereitstellung von Durchbrüchen zur Verkabelung der Antennen

Es wurde ein Basisvorschlag für die Auswahl möglicher Lieferanten erarbeitet. Der Inhalt des Basisvorschlags umfasste in unserem Fall:

- Umfang und Zweck
- Use Cases
- Frequenz- und Bandbreitenauswahl
- Antennen-Optionen
- RAN Outdoor
- RAN Indoor
- 5G Netzwerktopologie
- 5G Core Network

In dem Dokument wurden die Rahmenbedingungen des Projekts beschrieben und mögliche Optionen für die Installation aufgezeigt.

Mithilfe des Basisvorschlags wurde eine Shortlist mit infrage kommenden Anbietern für das 5G-Netz erarbeitet. Zu den möglichen Anbietern gab es eine Kurzbeschreibung sowie eine Gegenüberstellung von Pro- und Kontra-Argumenten.

Abbildung 16: Schematischer Aufbau des 5G-SA Netzes bis Abbildung 20 zeigen den schematischen Aufbau des 5G-SA-Netzes sowie die installierten Antennen und den Core im IndustrieStadtpark in Troisdorf.

Lessons Learned und Ausblick

Das 5G-Netz wird auch nach Projektlaufzeitende weiter betrieben. Wir möchten den ortsansässigen Firmen im IndustrieStadtpark auch nach Abschluss des Projekts die Möglichkeit bieten, bei Bedarf unsere vorhandene 5G-Infrastruktur zu nutzen.

Folgende Punkte können als Erfahrung aus dem Projekt gezogen werden:

1. Wichtig beim Aufbau eines 5G-SA-Netzes sind die Anforderungen der zum Einsatz kommenden Use Cases. Es muss geklärt werden, welcher Bereich vom Netz abgedeckt werden soll, welche Endgeräte zum Einsatz kommen und welche Bandbreiten- und Latenzanforderungen bestehen.
2. Es ist von Vorteil, einen Anbieter zu finden, der sowohl RAN als auch den Core liefert.
3. Die Beantragung der 5G-Frequenz und die Zuteilung der IMSI sind gesondert zu betrachten und müssen separat beantragt werden.
4. Es ist wohl zu überlegen, ob man als Netzbetreiber ein 5G-SA-Netz zur Verfügung stellt oder ob Unternehmen, die die Technik einsetzen wollen, nicht selbst ein entsprechendes Netzwerk aufbauen oder alternative Techniken einsetzen können.
5. Die Hardware ist aus unserer Sicht teuer, und es bedarf geschulten Personals für die Konfiguration und den Support des Netzes, im Zweifel auch 24 Stunden, 7 Tage die Woche, besonders bei kritischen Anwendungen.
6. Viele unserer getesteten Endgeräte konnten nicht ordnungsgemäß mit dem 5G-Netz interagieren. Hier sollte vorab ein Abgleich über einsetzbare Hardware stattfinden, um sich abzusichern.

Uns sind während des Vorhabens keine Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen bekannt geworden.

AP 5 – Evaluation

Bei den Ergebnissen der Arbeitspakete 2 und 3 handelt es sich im Wesentlichen um sozio-technische Systeme, die eine andere Herangehensweise zur Evaluation erfordern als das rein technische Arbeitspaket 4 zum Aufbau der Netzwerk-Infrastruktur. Dies wird im vorliegenden Dokument entsprechend berücksichtigt.

Einleitung

Eine kurze Geschichte der Industrialisierung und der mitbestimmten Arbeit

Von England aus kommend, brachte die erste industrielle Revolution im 18. und 19. Jahrhundert eine Umwälzung der Arbeitsprozesse auf dem europäischen Kontinent mit sich. Die Kraft des Dampfes betrieb nun große Maschinen und erhöhte in erster Linie die Produktivität von Arbeit, bspw. in Textil-Fabriken beim Spinnen und Weben. Dampf-Lokomotiven und Dampf-Schiffe sorgten für eine verbesserte Mobilität und erhöhten den Aktionskreis und die Anziehungskraft der Fabriken, was zu einer Konzentration der Produktion und damit einhergehend auch einem Zuzug der Arbeiter führte (Pierenkemper, 1996). Die Rechte der Arbeitnehmer spielten keine Rolle.

Die zweite industrielle Revolution ist geprägt von Massen-Produktion, Fließbandarbeit und der Einführung von Elektrizität und später Öl. Der Engländer Charles Babbage ist hier in zweierlei Hinsicht bedeutsam. Erstens legte er mit seiner „Analytical Engine“ die Grundlage für die Computer des 20. und 21. Jahrhunderts. Seine Erfindung wurde bekanntlich von Ada Lovelace, einer Pionierin der Computertechnik programmiert (Krämer, 2015), womit auch die Grundlagen der Informatik gelegt waren. Zweitens formulierte er das Babbage-Prinzip, das die Aufspaltung der Arbeit in Prozessschritte mit unterschiedlichen Anforderungen und damit auch Löhnen ermöglichte (Babbage, 2010), was zum Taylorismus führte. Die damit einhergehenden Lohnunterschiede innerhalb von Arbeitsprozessen führten zur Landflucht und in dessen Folge zur Saisonarbeit mit ausländischen Landarbeitern (vgl. den „Inlandslegitimationszwang“¹²) und schließlich mit der Zwangsarbeit in die Katastrophe.

Die dritte industrielle Revolution wird gemeinhin mit der Einführung der Elektronik, der Automatisierung und des Computers in die Arbeitswelt ab den 1970er Jahren datiert. Technik und Arbeit verschmelzen (Pfeiffer, 2018). Damit einher geht gleichsam die marxistisch geprägte Kritik am kapitalistischem Produktionsprozess durch Braverman (Braverman, 1974), der in der zunehmenden Automatisierung und dem Taylorismus die Degradierung menschlicher Arbeit sieht. In Skandinavien bildet sich zur gleichen Zeit, begünstigt durch geänderte Arbeiterrechte unter Olof Palme und starke Gewerkschaften, eine besondere Design-Tradition heraus. Der sog. Collective Resources Approach (CRA) ermöglicht Arbeitern die Mitbestimmung an ihren eigenen, durch die Einführung von Computern beeinflusste Arbeitsbedingungen und ist vornehmlich geprägt durch zwei Instrumente: 1) aktionsorientierte und gewerkschafts-basierte Strategien und 2) kooperatives Design (auch „partizipatives Design“ genannt) (Oppermann, 2009, p. 6).

Mensch, Technik und Organisation (MTO) bilden also ein Ökosystem im Produktionsprozess, welches in den Sozialwissenschaften, insbesondere in der Arbeitspsychologie und der Industriesoziologie der 1980 und 1990er Jahre auch mit Mitteln der sog. MTO-Analyse umfangreich betrachtet wird (Ulich, 2011). Das Ziel, damals wie heute: gute Arbeit zu ermöglichen. Gute Arbeit war auch das Thema des 2016 gemeinsam vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales und Bundesministerium für Wirtschaft und Energie veranstalteten Fachkongress „Arbeiten in der digitalen Welt – Mensch,

¹² <https://www.bundesarchiv.de/zwangsarbeit/geschichte/kaiserreich/industrialisierung/index.html>

Organisation, Technik“, in dessen Tagungsband¹³ auch relevante Vorarbeiten einiger Projektpartner behandelt wurden (vgl. „Sozietex“ auf S. 23 und „Satisfactory“ auf S. 25).

Von der dritten zur vierten industriellen Revolution in Deutschland

In Deutschland stellt man in den 1970er Jahren fest, dass die Software-Komplexität zu schnell anstieg, was zur sogenannten Software-Krise führte. Infolgedessen wurden zur Ausbildung der theoretischen Grundlagen der neue Studiengang Informatik an den ersten Universitäten begründet. Gleichzeitig wurde mit der GMD – Forschungszentrum Informationstechnik – eine Großforschungseinrichtung für angewandte Mathematik und Informatik eingerichtet, die für die praktische Anwendung zuständig war – zunächst in der Verwaltung und dann darüber hinaus mit Themen wie Mensch-Technik Interaktion (engl. HCI – Human-computer interaction), künstlicher Intelligenz und CSCW (Computer Supported Collaborative Work) (Oppermann et al., 2019). Die GMD wurde 2000/2001 mit der Fraunhofer-Gesellschaft fusioniert.

Mit der Software-Krise kam das von Brooks 1986 skizzierte Anforderungsproblem („was soll gebaut werden?“) immer mehr zum Tragen (Fraser et al., 2007). Der zunächst auf die Technik fixierte Blick der Informatiker und Ingenieure erwies sich als nicht ausreichend. Christiane Floyd wurde in Deutschland und weltweit u.a. für ihre Einbeziehung soziotechnischer Fragestellungen in den Softwareentwicklungsprozess und die Rolle des „Prototyping“ (Floyd, 1984) dabei bekannt¹⁴. Auch führte die steigende Anzahl an Computern und deren zunehmende Vernetzung zu einem kaum noch zu überblickenden Feld an Abhängigkeiten zwischen Menschen, Technik und Organisation; insbesondere in Zeiten von „Industrie 4.0“ und dem „Internet of Things“. Es gab und gibt also mindestens zwei Komplexitätsprobleme: eines im kooperativen Prototyping der Systeme und eines in der Analyse der Abhängigkeiten bei Design und Evaluation.

Die Erforschung interaktiver (Computer-) Systeme zur Arbeitsunterstützung unterlag im Laufe der letzten 50 Jahre verschiedenen Strömungen und erforderte die kontinuierliche Balance zwischen Mensch und Computer, Theorie und Anwendung. Die Forschungsthemen wandelten sich von reiner EDV zur Büroautomatisierung, über Groupware und hin zu Social Computing. Dabei rückte der Mensch schnell nicht mehr nur in den Fokus der Betrachtung, sondern wurde vom Faktor zu Akteur. Ziel des Ganzen war, den Computer als Werkzeug zur Unterstützung des Menschen bei der Arbeit zu verstehen (Brooks Ansatz zur sog. „Intelligene Amplifikation“) und eine Erweiterung der menschlichen Intelligenz zur verbesserten Entscheidungsfindung (Engelbarts „Intelligence Augmentation“) mit technischer Unterstützung zu erreichen (Oppermann et al., 2019).

Einerseits verändert sich mit dem Einsatz von Computern zur Unterstützung von Arbeitsprozessen auch die Arbeit selbst, was im Bravermanschen Sinn eine Beteiligung der betroffenen Mitarbeitenden an den sie betreffenden Prozessen zur Veränderung der Arbeit erforderte. Andererseits ist die Komplexität der zu betrachtenden, soziotechnischen Systeme oft so hoch, dass ein komplett holistischer, alles betrachtender Ansatz, unrealistisch ist und nicht die gewünschten Effekte erzielen kann. Die Ethnomethodologisch inspirierte Ethnographie (Crabtree, 2003), eine insbesondere aus Großbritannien stammende Sichtweise aus dem Bereich der CSCW (Randall et al., 2021) steht formalen Methoden daher grundsätzlich kritisch gegenüber und vertritt die Ansicht, dass sich die iterative, kooperative Entwicklung aller für einen bestimmten Zweck passenden Methoden bedienen darf.

¹³ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/arbeiten-in-der-digitalen-welt.pdf>

¹⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Christiane_Floyd

Vermischung und Relevanz für das Projekt

Die Grenzen zwischen Arbeit und Privatem verwischten mit der Einführung vernetzter Computer und Wearables schon lange vor der Pandemie zunehmend. Während der Pandemie verließ die Arbeit das Büro und es zeigte sich eine Kluft zwischen Arbeitern und Angestellten. Die Angestellten gingen relativ problemlos in das Home-Office über (Prinz, 2021). Aber was ist mit Homeoffice für den Arbeiter und Techniker?

Das Projekt IndustrieStadtpark erforschte in einem seiner beiden Anwendungsarbeitspakete (AP3) prominent die Verwendung von 5G Mixed Reality zur Kooperationsunterstützung jenseits des Büros. Mixed Reality wird in der Wissenschaft auch als die nächste Evolutionsstufe von CSCW und Groupware betrachtet (Ens et al., 2019). Daher muss die für das Projekt gewählte Evaluations-Methodik einerseits der Tradition der Felder MR und CSCW und andererseits der aus der Arbeitspsychologie stammenden MTO-Analyse gerecht werden, je tiefer die kooperativ gestalteten Prototypen in das Unternehmen eintauchen. Die in diesem Dokument beschriebene Methodik ist in diesem Spannungsfeld angesiedelt.

Dies ist gerade vor dem Hintergrund der zur Projektlaufzeit Anfang 2022 veröffentlichten „transformativen Vision“¹⁵ „Industry 5.0“ (Xu et al., 2021) – die das Wohlbefinden der Arbeiter im Produktionsprozess in den Mittelpunkt rückt¹⁶ – von besonderer Aktualität. Mit der Renaissance des Themas „künstliche Intelligenz“ (KI) seit der Veröffentlichung von ChatGPT im November 2022 ist erkennbar geworden, dass das Thema „Technik“ in Zukunft noch deutlich weiter betrachtet und auch um KI und an die Produktion angrenzende Bereiche wie Robotik erweitert wird (Pizzagalli, 2024). Bei der Gestaltung derartiger virtueller Welten insbesondere aber auch den Menschen im Mittelpunkt zu halten, ist ein erklärtes Ziel des EU-Parlaments¹⁷.

¹⁵ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-transformative-vision-europe_en

¹⁶ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_de

¹⁷ <https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/23-02-20-EU-parlament-will-menschzentrierte-virtuelle-welten.html>

Arbeitswissenschaftliche Perspektive

Aufgabe des ILAG im Projekt war die Mitarbeit an den Arbeitspaketen 2-7 und die Anwendung einer arbeitswissenschaftlichen Perspektive bei der Entwicklung von 5G-Anwendungen in einem 5G-Campus-Netz am Industrie-Stadtpark Troisdorf. Das ILAG leitete dabei federführend in AP5 die soziotechnische Evaluation der Anwendungsfälle in AP2 und AP3. Hier wurde besonderer Wert auf die Gestaltung eines partizipativen Designs bei der Entwicklung der beiden 5G Applikationen unter Berücksichtigung der Ziele der Arbeitsgestaltung gelegt. Die arbeits- und sozialwissenschaftliche Bewertung der Umsetzungsprozesse wurde durch einen Literatur-Review vorbereitet. Dieser bildete die Basis für den zu entwickelnden arbeits- und sozialwissenschaftlichen Bewertungskatalog, der sich aus dem sozio-technischen MTO-Ansatz ableitet. Durch diesen Mehrebenen-Ansatz (s. Abbildung 22) werden Veränderungsprozesse mittels einer partizipativen, systematischen Vorgehensweise ganzheitlich betrachtet.

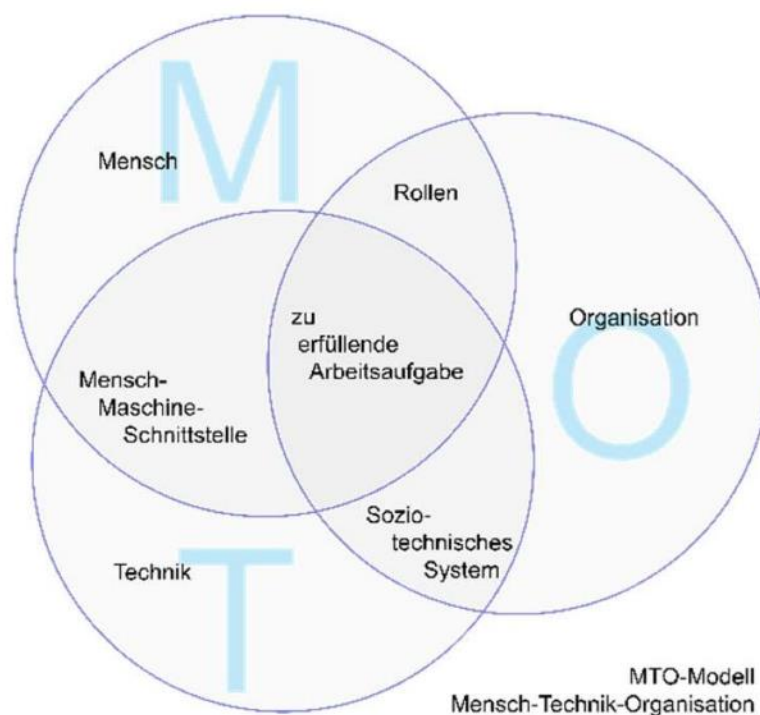


Abbildung 22: Das MTO-Modell Mensch-Technik-Organisation in Anlehnung an (Strohm and Ulich, 1997)

In diesem Sinne wurden arbeitsbezogene und organisatorische Kontexte und Prozesse untersucht, in denen sowohl die allgemeine Belastungs- und Ressourcensituation, die aktuellen Arbeitsrollen, Prozesse und Tätigkeitsabläufe sowie Kommunikations- und Kooperationserfordernisse arbeitssystembezogen analysiert wurden. Methodisch kam hier ein Mixed-Methods-Ansatz zum Einsatz, der Analysen mittels Beobachtung, schriftlicher und mündlicher Befragung, Tätigkeitsbeschreibungen und Dokumenteneinsicht sowie Workshops mit Führungskräften und Mitarbeiter*innen umsetzte. Das Evaluationskonzept sah dabei zusammengefasst vor:

- Eine MTO-basierte Analyse aktueller Arbeitsrollen, Tätigkeitsabläufe, Kommunikations- und Kooperationserfordernisse und Wahrnehmungen der Beschäftigten im Hinblick auf vorhandene Belastungs- und Ressourcenpotenziale.
- Die Gestaltung eines partizipativen Designs bei der Entwicklung der beiden 5G Applikationen in den AP 2 und 3 unter Berücksichtigung der Ziele der Arbeitsgestaltung.

- Die Entwicklung eines gemeinsamen arbeits- und sozialwissenschaftlichen Bewertungskataloges der Arbeitswissenschaft und Informatik zur Umsetzung von sozio-technischen Veränderungsprozessen.

Die verwendeten arbeitswissenschaftlichen Kriterien lehnten sich erstens an ein etabliertes MTO-Verfahren an (KOMPASS-Verfahren, (Grote et al., 1997)) in Kombination mit Kriterien der Mensch-Technik-Interaktion mit Mixed-Reality-Anwendungen, zweitens lag ein Fokus auf Gesundheit und psychischen Belastungen der Mitarbeitenden. Detail dazu finden sich im Anhang ab Seite 113.

Analyse des Gesamtkontextes im Unternehmen

Hierzu wurde ein am ILAG konzipierter Fragebogen zur Psychischen Belastungs-Analyse (PBA) verwendet, der zudem eine Itematterie zur gesundheitlichen Gesamtsituation enthält. Dieses Instrument orientiert sich u.a. an den Merkmalsbereichen für psychische Gefährdungsanalysen, welche im Rahmen der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie empfohlen werden. Wesentliche Bewertungskriterien sind:

- **Arbeitsinhalte** (z.B. Handlungsspielraum, Aufgabenklarheit)
- **Arbeitsorganisation** (z.B. organisatorische Abstimmungen, Informationsverfügbarkeit)
- **Arbeitsmittel** (z.B. Softwareergonomie)
- **Führung** und das **kollegiale Miteinander**
- **Unternehmenskultur** und **Veränderungsprozesse** sowie
- **spezielle Beanspruchungen**, welche im Tätigkeitsfeld selbst liegen (z.B. Konstruktion, Produktion, Service etc.).

Die Kriterien wurden mit dem konzeptleitenden KOMPASS-Verfahren abgeglichen und in den Bewertungskatalog integriert (Altepost et al., 2022):

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

Tabelle 3: Kriterien Bewertungskatalog MTO – Gesamtkontext (Auswahl)

Evaluationen im Rahmen der partizipativen Technikgestaltung

In den durchgeführten Iterationen sollten nicht nur Verbesserungspotenziale der jeweiligen technischen Prototypen identifiziert, sondern auch die belastungsbezogenen Wahrnehmungsprozesse der Mitarbeitenden im Zuge der technikbezogenen Veränderungen verfolgt werden. Die Kriterien des Bewertungskataloges wurden – soweit passend – in allen drei Iterationen des AP3 und der

soziotechnischen Evaluation des AP2 angewendet. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Kriterien findet sich in Tabelle 2:

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		Fragebogen
Aufmerksamkeitspole und Präsenz Realität – Virtualität		Leitfaden-Interview
Erfahrungen und Interessen (z. B. eigener Nutzen) während des Tests		

Tabelle 4: Kriterien Bewertungskatalog für iterative Evaluation der Technik im Arbeitskontext MTO, Beispiel: Granulator Reinigung (Auswahl)

Evaluationsergebnisse

Im Folgenden werden die Evaluationsergebnisse getrennt nach den Arbeitspaketen dargestellt.

Evaluation AP 2: Leitsystem für Gabelstapler

Im Rahmen des Anwendungsfalles AP2 wurden zunächst mit Hilfe der PBA die bestehenden Arbeitssysteme mit ihrem Belastungs- und Ressourcenpotenzial betrachtet. Belastungsschwerpunkte ergaben sich hier z.B. in den Bereichen Arbeitsorganisation und den in der Vergangenheit erfolgten Veränderungsprozessen und hier u.a. bei der Nichtberücksichtigung von Erfahrungen der Mitarbeitenden. Dies war u.a. ein Beleg für die Notwendigkeit der Anwendung partizipativer Verfahren im Projekt. Auch die seit Jahren in anderen Untersuchungen beobachtbare Zunahme psychischer Belastungen bildete sich bei unserer Untersuchung ab. Ein weiterer wichtiger Hinweis auf die Sinnhaftigkeit, arbeits- und sozialwissenschaftliche Erkenntnisse und Vorgehensweisen bei technisch-organisatorischen Veränderungen mit einzubeziehen.

Die Verzahnung der verschiedenen Aspekte des MTO-Ansatzes wurde in diesem Arbeitspaket ebenfalls exemplarisch deutlich bei der Definition der Anforderungen an die Ziele für die Flurförderfahrzeug (FFZ)-Leitstelle und die Staplerwerkstatt. Hierzu wurde im Frühjahr 2021 ein virtueller Workshop („MTO-Workshop“) mit Führungskräften, u. a. dem Leiter der Stapler-Leitstelle, durchgeführt, um die

Ist-Abläufe zu dokumentieren, Schwachstellen zu identifizieren und erste Ziele entlang der drei Bereiche Mensch, Technik und Organisation zu definieren. Als Hauptziele wurden die Erweiterung der Dienstleistungen im FFZ-Management mit einem erhöhten Kundenmehrwert sowie die Optimierung der Wartungs- und Reparaturplanung herausgearbeitet. Hierzu wurde in der Staplerwerkstatt eine Analyse belastungsbezogener Tätigkeitsmerkmale und der resultierenden subjektiven Beanspruchung bei den Mitarbeitenden mit der Methode der Selbstaufschreibung durchgeführt. Die berichteten häufigen Unterbrechungen und resultierender Zeitdruck sprechen dafür, durch die prototypisch umgesetzte Sensorik zur Predictive Maintenance die gewünschte Entlastung und höhere Planbarkeit der Abläufe erzielen zu können. Gleichzeitig sollten Erleichterungen in Bezug auf die Ausstattung und die Durchführung der Arbeiten der Mitarbeiter*innen vor Ort erreicht werden. Die Definition und Notwendigkeit technischer Applikationen (z.B. Sensorverfügbarkeit am Stapler) und ihr Mehrwert für das Unternehmen, die Kunden und die Mitarbeiter*innen standen somit im Fokus des gemeinsamen Vorgehens.

Zur Bearbeitung der arbeitswissenschaftlichen, insbesondere datenbezogenen Aspekte im AP 2 (Staplersensorik, s. Abbildung 23) wurden von Seiten des ILAG zwei Werkstattgespräche auf Unternehmens- und Mitarbeiterebene als Instrument entwickelt und umgesetzt. Beim Einsatz von Technik und der Gewinnung von Daten gibt es naturgemäß immer einen „Markt der Möglichkeiten und Interessen“, den es galt systematisch mittels des im Projekt angestrebten partizipativen Ansatzes zu strukturieren. Insbesondere zu Datenschutz und Privacy waren auf Grund der Einbringung zusätzlicher Sensorik in das Arbeitssystem der Staplerfahrer und der Werkstatt wichtige Fragen zu klären, sowohl zwischen den beiden Unternehmen (Stapler-Verleiher und Stapler-Entleiher/Kunde) als auch jeweils zwischen der Unternehmensleitung bzw. den Führungsebenen und den Mitarbeitenden auf Shopfloor-Ebene. Das Werkstattgespräch I adressierte die Ebene der Geschäftsführung und weiterer relevanter Führungskräfte beider Unternehmen, Werkstattgespräch II richtete sich an Shopfloor-Mitarbeitende und relevante Führungskräfte und fragte nach Nutzen und Risiken der Sensorik-Datenverwendung. Die Datenflüsse selbst wurden in beiden Workshops nach dem Phasenmodell der Datentechnologie (Häußling et al., 2017) analysiert, das verschiedene Stellschrauben zur Gestaltung des Umgangs mit den zu erhebenden Daten anbietet.

Das **Werkstattgespräch I** behandelte auf der Unternehmensebene folgende Themen:



Abbildung 23: Sensorik am Gabelstapler

Reflektion der mit der Sensorik verbundenen Ziele der Unternehmen und ihrer Erwartungen.

Auf Seiten des Stapler-Verleihers wurde insbesondere z.B. das Ziel einer Predictive Maintenance und damit schnellere und planbarere Reparatur bzw. Bereitstellung eines funktionierenden Reservefahrzeugs aus dem MTO-Workshop bekräftigt, dadurch Entlastung des Werkstattpersonals, Stapler-Ortung, Klärung von Unfällen/Gewaltschäden, Verlaufsverfolgung und Dokumentation von Unfällen, Reduktion von Verschleiß, Berechnung von Kennzahlen für die optimierte Vertragsgestaltung. Auf Seiten des Stapler-Entleihers wurden z.B. schnellere Verfügbarkeit eines Reservefahrzeugs, Verbesserung der Einsatzplanung, Verbesserung der Logistikplanung, Planung von Routen und Gütern, Optimierung von Strecken, Abbau von Belastung für Fahrer und Maschine, Informationen für den Fahrer (Rotation Gabel, Geschwindigkeit, Batteriezustand), Effizienz des Stapler-Einsatzes/ CO2-Verbrauch genannt. Abbildung 24: Phasen der Datentechnologie für einen Lastsensor zeigt die Struktur des erarbeiteten zielbezogenen Datenflussbedarfs beispielhaft für einen

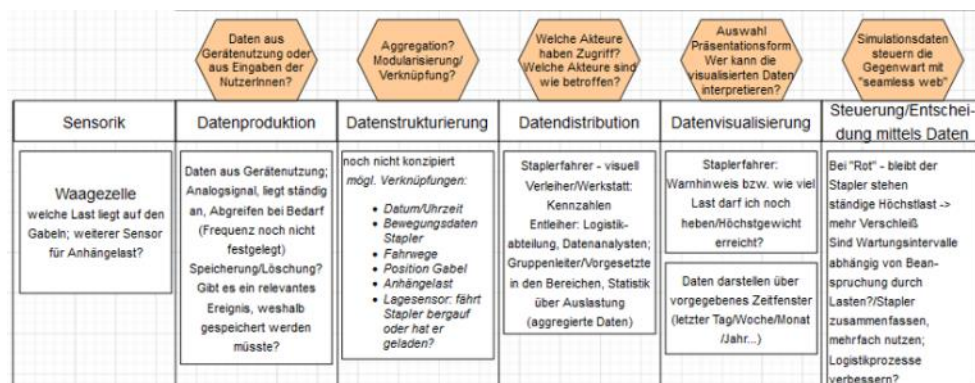


Abbildung 24: Phasen der Datentechnologie für einen Lastsensor

Lastsensor.

Klärung des Datenflusses und der diesbezüglich zu treffenden Entscheidungen für das Projekt

Die Ergebnisse aus dem Werkstattgespräch I gingen zusammen mit den Ergebnissen aus der in 2021 vom ILAG durchgeführten Belastungsanalyse (PBA) als Agenda in das **Werkstattgespräch II** (Führungskräfte und Shopfloor-Mitarbeiterenebene) ein. Dieses Instrument lehnte sich an Verfahren der Zukunftswerkstatt an und bestand aus verschiedenen Diskursphasen (Kritikphase zum Istzustand, Fantasiephase zu möglichen Lösungen, Realisierungsphase, Nachbereitungsphase). Unter Zuhilfenahme der Moderationstechnik wurden mit den Mitarbeitern zuerst typische Arbeitssituationen im Staplereinsatz identifiziert, bei denen Daten sinnvollerweise erhoben werden sollen (z.B. Daten bei Kollisionen), siehe Abbildung 24 . Derartige papier-basierte Mock-Ups und

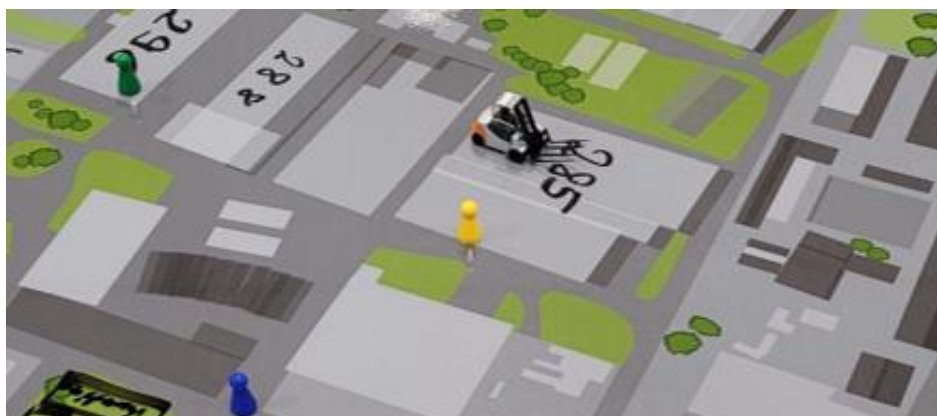


Abbildung 25: Identifikation datenrelevanter Situationen

Spielbretter haben sich bei komplexen Design-Prozessen als überaus hilfreich erwiesen (Ehn, 1988; Lindt et al., 2005).

Schnell wurde deutlich, wie unzulänglich die vorhandenen Informationen (z.B. keine Daten zu Standort und Betriebszustand des Fahrzeugs) und wie zeitraubend die bisher verwendeten Verfahren der Informationsweitergabe sind.

In der Fantasiephase formulierten Führungskräfte und Mitarbeitende – zunächst getrennt – den Bedarf nach Zugriff auf Informationen und deren erforderlicher Struktur (personenbezogen vs. aggregiert). Sodann kamen beide Gruppen zusammen und tauschten sich zu den Informationsbedarfen aus. Es wurde jeweils reflektiert und begründet, zu welchem Zweck Daten – z. B. zu Unfallereignissen – von welcher Person benötigt wurden bzw. gegebenenfalls auch, warum Bedenken bestanden, die Auswertung und Weitergabe dieser Daten in personenbezogener Struktur zu gewähren. Beispielsweise wurde von Seiten der Beteiligten im Rahmen der Schadensprävention das Thema der Lastenerkennung angesprochen. Bislang gibt es keine Möglichkeit, beim Aufladen eines Transportguts angezeigt zu bekommen, ob der jeweilige Stapler für diese Last geeignet ist.

Als Ergebnis des Werkstattgespräches II ergab sich eine so nicht erwartete **Übereinstimmung** beider beteiligten Gruppen der Führungskräfte und Mitarbeiter, welche unabhängig voneinander ihre Arbeitsergebnisse vorlegten, in allen Fragen der Datenerhebung, -strukturierung und -verwendung (Tabelle 5, vgl. auch (Bau et al., 2023)). Wir führen dies u.a. auf die konsequent argumentativ und beteiligungsorientiert durchgeführten Gespräche zurück, deren Ergebnisse im Anschluss den umsetzenden Technikern ebenfalls wichtige Hinweise zur Gestaltung ihrer Arbeit gaben.

Ereignis	Gewünschte Informationen	Strukturierung	Beteiligte (VL=Verleiher, EL=Entleiher)	Konsens/ Dissens	Weiteres Verfahren
Schockereignis/ Schlagloch	Ist überhaupt ein Schockereignis passiert?	Aggregierte Daten	Leitstand VL Leitstand EL		Freischaltung automatisch möglich, wenn kein echtes SE
	Position + Zeit + Fahrer E-Mail Vorgesetzter Leitstand Doku	Rohdaten	Leitstand VL Leitstand EL Vorgesetzter		
	Was ist kaputt? Bilder der letzten 15 Sekunden vor Ereignis	Rohdaten	Leitstand VL Leitstand EL		
	Doku der Stellen mit - echten - nicht relevanten (z. B. Halleneinfahrt) Schockereignissen auf Karte		Leitstand VL Leitstand EL		Autopilot-Modus?

Tabelle 5: Ergebnisse der Zusammenführung Fantasiephase Mitarbeitende und Führungskräfte (Beispiel Schockereignis)

Als Fazit aus den Werkstattgesprächen in AP 2 bleibt festzuhalten, dass mit dieser im Rahmen des Projekts vom ILAG entwickelten **partizipativen Methode** ein Erfolg versprechender Ansatz geschaffen wurde, der entweder Konsens erbringt oder Konfliktpunkte identifiziert, die weiterführend auszuhandeln sind. Insbesondere leistet das Format:

- Erarbeitung eines detaillierten und anschaulichen Bildes von Kontext und Zielen der Datennutzung (hier: Staplernutzung, Verleih und Wartung)
 - Erkenntnis-Mehrwert für die Technikentwicklung, Präzisierung von Anforderungen
 - Perspektivübernahme und Verständnis für die Informationsbedarfe anderer Personen(gruppen)
- Herausarbeitung von Konfliktlinien und systematische Diskussion von Gestaltungsspielräumen
 - Reflektion der Erhebung / Datensparsamkeit

- Wer muss/darf welche Daten bekommen? Wie müssen diese dazu strukturiert und visualisiert sein?
- Welche Entscheidungen sind auf Grund der Daten zulässig, welche Konsequenzen sind zu regeln?

Im Dezember 2023 wurde gemeinsam mit Fraunhofer FIT eine abschließende soziotechnische Evaluation zu AP2 durchgeführt. Der von ZWi vorbereitete Use Case baute auf den Praxiserfahrungen der Unternehmenspartner zu typischen Anwendungen der Gabelstapler sowie den vorab erarbeiteten Verbesserungszielen (u. a. Psychische Belastungsanalyse und MTO-Workshop des ILAG in 2021; Werkstattgespräche 2022) auf. Hierzu entwickelte ILAG in Absprache mit FIT und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Werkstattgespräche die Fragebogen- und Interview-Instrumente auf Basis der Use Case - relevanten Kriterien aus dem allgemeinen Bewertungskatalog. Zudem wurde aus den Arbeitsschritten des Use Cases ein Beobachtungsleitfaden erstellt. Während der Evaluation übernahm das ILAG überwiegend die Beobachtung und die Leitfaden-Interviews sowie im Anschluss die Auswertung der Daten. 12 Staplerfahrer beider Unternehmen zwischen 27 und 53 Jahren testeten die App in einer typischen Arbeitsaufgabe. Diese bestand im Aufladen einer Kiste auf dem ZWi-Gelände in ca. 2m Höhe, Transportieren dieser Kiste und Abstellen am Gebäude der Fa. Kuraray, Aufladen einer weiteren Kiste und Transport wieder zur Ausgangsposition.

Die quantitative Auswertung der Fragebögen erfolgte mithilfe eines Statistikprogramms, die qualitative Auswertung der Interviews mittels der Software MaxQDA. Die Testpersonen hatten eine insgesamt sehr hohe Technikerfahrung (Mittelwert 4,3 Punkte bei max. 5 Punkten), eher mittlere bis geringe Kenntnisse über die 5G-Technologie und machten sich wenig Sorgen um gesundheitliche Beeinträchtigungen durch 5G. Es konnte keine Abhängigkeit des Interesses an der Stapler-App vom Alter festgestellt werden, einschränkend muss allerdings auf die geringe Stichprobengröße hingewiesen werden. Vor, während und nach der Testung erhielten die Teilnehmenden einen standardisierten Fragebogen – dargeboten auf einem Tablet – sowie offene Fragen im Rahmen eines Interviewleitfadens. Dabei bezogen sich die erfragten Belastungen „vor Testung“ auf eine alltägliche Durchführung der Aufgabe ohne das Instrument der Stapler-App. Zur Messung der Beanspruchung wurde in das Befragungsinstrument eine leicht modifizierte Version des NASA-TLX (Task Load Index, (Hart and Staveland, 1988)) integriert. Zusammenfassend wurde die Beanspruchung durch die Aufgabe im Alltag ohne Stapler-App höher eingeschätzt als während und nach der Testung mit der App (Abbildung 26). Besonders auffällig ist dies beim Faktor „Zeitdruck“, was plausibel erscheint, da im Alltag Aufträge abgearbeitet werden müssen und dort mehr Zeitdruck entsteht als im Rahmen der Testung ohne Zeitvorgabe oder weitere Aufträge. Auch zwischen Beanspruchung und Alter gab es keine erkennbaren Zusammenhänge. Hingegen gab es eine Aussage aus den offenen Fragestellungen, dass am besten die App möglichst einfach gehalten werden solle, weil viele ältere Kollegen sich schon mit dem Abrufen der E-Mails schwertäten. Während eine menschenzentrierte Technikgestaltung ohnehin auf entsprechende Kriterien der Intuitivität etc. zurückgreift, zeigt sich hier wiederum der Vorteil einer partizipativen Technikentwicklung, die heterogene Belegschaftsstrukturen qua Design berücksichtigt, ganz im Sinne der DIN EN ISO 9241.

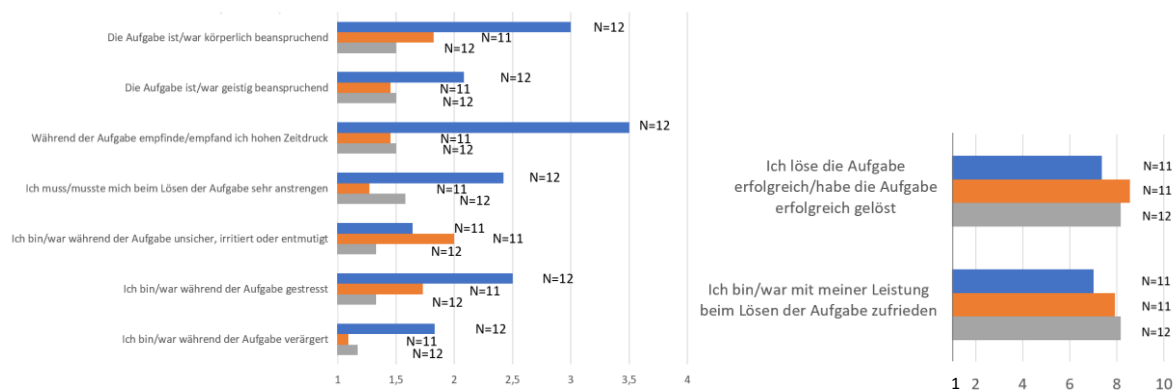


Abbildung 26: Ergebnisse NASA-TLX vor, während und nach der Testung

Trotz der kleinen Stichprobe ergab sich ein perfekter Zusammenhang zwischen den beiden Aussagen „Mir ist es leicht gefallen, die Aufgabe mit Unterstützung der Stapler-App durchzuführen (ja/nein)“ und „Mir hat es Spaß gemacht, die Aufgabe mit Unterstützung der Stapler-App durchzuführen (ja/nein)“. Wer diesen Aussagen zustimmt, kann sich zudem auch vorstellen, die App im Arbeitsalltag einzusetzen – auch dieser Zusammenhang wurde statistisch signifikant, ebenso wie der Zusammenhang zwischen einer unterdurchschnittlichen Beanspruchung laut NASA-TLX und der Aussage, dass die Aufgabe mit App leicht fiel.

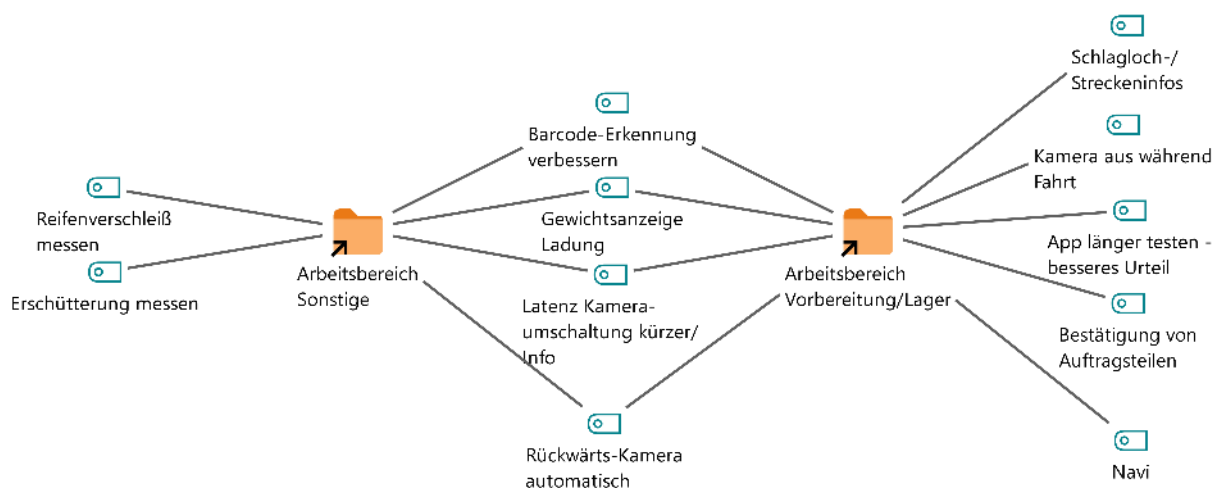


Abbildung 27: Verbesserungsvorschläge für die Stapler-App

Anmerkungen zum Einsatz der digitalen App im Arbeitsalltag betrafen häufig konkrete Verbesserungsvorschläge (z. B., dass beim Einlegen des Rückwärtsgangs automatisch von der nach vorne gerichteten Kamera an der Gabel auf eine Rückfahrkamera umgeschaltet werden könnte), jedoch auch die Arbeitstätigkeit und ihren Ablauf. So wurde der Wunsch geäußert, „**ich muss noch bestimmen können, wann ich es mache und ob ich es an einem Stück mache. Das finde ich halt auch interessant. Oder zumindest für mein Gefühl, dass ich noch irgendwas zu sagen habe**“ – die Verschränkung zwischen der Rolle des Mitarbeiters, der Technik und der organisatorischen Gestaltung und somit die Bedeutung des MTO-Ansatzes zeigt sich hier besonders illustrativ. Abbildung 27 – erstellt mit der Software MaxQDA – zeigt wesentliche Vorschläge zur Verbesserung der Stapler-App.

Evaluation AP 3: 5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality

In AP3 wurde die soziotechnische Perspektive in der Evaluation von Beginn an eingenommen. Nach jeder der drei Iterationen der XR-Anwendung wurde entsprechend ein Use Case interdisziplinär im Sinne partizipativer Technikentwicklung von ILAG gemeinsam mit Fraunhofer FIT evaluiert. Abbildung 28 zeigt die Iterationen mit wesentlichen Evaluationsmerkmalen im Überblick.

Die Evaluationsergebnisse flossen in Iteration 1 und 2 in die Verbesserung der Anwendung ein. Beim ersten Test-Anwendungsfall AP3 (Reinigung des Granulators/Kunststoff-Zerkleinerers) wurde bereits eine erste Fassung des Bewertungskatalogs eingesetzt. Die 15 teilnehmenden Mitarbeiter der Firma Kuraray führten dabei im realen Arbeitskontext die Reinigung des Granulators von Kunststoff-Staub und -Kleinteilen mit Hilfe einer App auf einer Hololens-MR-Brille durch. Bei Bedarf konnten sie per Videocall Unterstützung durch einen Projektmitarbeiter anfordern, der mit einer PC-Anwendung auf die Brille aufgeschaltet war und somit den Ablauf aus Sicht der Testperson verfolgen konnte. Die Tests wurden auf Video aufgezeichnet und vor Ort im Granulator-Raum Aspekte des Testablaufs (z. B. Hochklappen der Brille) manuell protokolliert. Über die MR-Brille wurden Wechsel in den Menüpunkten, Klick-Events und Nutzung des Videocalls als Logfile aufgezeichnet. Nach Beendigung des Tests füllten die Testpersonen einen Fragebogen auf einem Tablet aus und wurden abschließend in einem Leitfadeninterview nach ihren Erfahrungen und Einschätzungen befragt. Dieses Interview wurde ebenfalls aufgezeichnet.

3. Use case: 5GWerkzeugkoffern mit Mixed Reality



1. Jahr: AR-Assistenzsystem (Granulatorreinigung)



MA kann via Videocall akustische Unterstützung anfordern (sep. virtueller Raum)

Bewertungskriterien u. a.

- UX; Wahrnehmung AR
- Beanspruchung
- Unterstützungspotenzial

2. Jahr: Remote-Anleitung (Messerwechsel)



MA=Mitarbeiter
RE=Remote-Experte

MA (AR) wird vom RE (VR) durch die Aufgabe geleitet (gemeinsamer virtueller Raum)

Kriterien zusätzlich:

- Erleben Remote-Experte
- Vertrauen/Zusammenarbeit (dyadische Daten)

3. Jahr: AR-Ass. + Remote-Qualitätskontrolle (Ausrichten Kreismesserwelle)



1. MA mit Assistenz (allein im virt. Raum)
2. Kontrollbesprechung mit RE (gemeinsam im virtuellen Raum)
Neu: Digitaler Drehmomentschlüssel

Kriterien zusätzlich:

- Digitaler Drehmomentschlüssel
- Entscheidungsspielraum MA
- Kontrollierbarkeit kritischer Arbeitsergebnisse

Bilder: Fraunhofer FIT

5G Troisdorf IndustrieStadtPark, Arbeitswissenschaftlicher Ansatz - Der Mensch im Fokus, Dr. Michael Bau

10

Abbildung 28: Iterationen und Evaluationen in AP3

Iteration 1

Wesentliche erste Ergebnisse aus diesem ersten Nutzertest waren:

- Die subjektive Beanspruchung der Testpersonen bei der Aufgabendurchführung mit MR-Brille ist deutlich höher als die durchschnittliche Beanspruchung bei vier erfahrenen Referenz-Mitarbeitern in der konventionellen Durchführung im Arbeitsalltag. Hiervon ist vor allem die psychische Beanspruchung betroffen. Dies verweist darauf, dass sowohl für valide Aussagen im Test als auch bei der Einführung einer MR-Brille in der Arbeitstätigkeit genügend Zeit für eine Eingewöhnung und den Erwerb der ungewohnten, u. a. motorischen Fertigkeiten im Umgang mit MR-Brille und Software eingeräumt werden muss.

- Vorhandenes Interesse für die Technologie erleichtert ihre Anwendung. Je mehr Freude dabei empfunden wird, desto geringer ist die Beanspruchung.
- Auch interessierte, grundsätzlich positiv eingestellte Mitarbeiter sind nicht ohne weiteres „technikgläubig“, sondern nehmen Fehler und Inkonsistenzen in der App aufmerksam wahr. Sie können wertvolle Hinweise für die Verbesserung der Anwendung geben, um diese auch für weniger aufgeschlossene Kollegen nützlich zu machen.
- Für die geschilderten Befunde konnten in unserer Stichprobe keine Alterseffekte festgestellt werden.
- Auf ergonomische Aspekte wie z. B. die Verwendung der MR-Brille zusammen mit einer Gleitsichtbrille muss verstärkt geachtet werden.
- Probleme im Umgang mit der Technik ergaben sich vor allem durch die ungewohnte Motorik (Klicken „in der Luft“) sowie hinsichtlich der Sichtverhältnisse bei aufgesetzter Brille. Letzteres wurde weit überwiegend auf noch fehlende Übung zurückgeführt, da das Menü ausgeblendet werden konnte oder das Sichtfeld der Brille komplett hochgeklappt werden konnte, was einige Testpersonen in der Arbeitssituation nicht präsent hatten.
- Ein Nutzen der App wurde nur für weniger erfahrene Mitarbeiter gesehen bzw. für komplexere Aufgaben mit vielschichtigen Fehlerstrukturen.
- Die partizipative Vorgehensweise wurde positiv beurteilt. Sie erbrachte zahlreiche wichtige Verbesserungsvorschläge für die App und Voraussetzungen für deren Einsatz, ferner konnten erste Eindrücke von der Stimmung der Mitarbeiter im Hinblick auf die neue Technologie gewonnen werden.
- Insgesamt vermittelte die realistische Untersuchungssituation („Reallabor“) ein umfassendes Bild der Verwendung durch die weit überwiegend erfahrenen Nutzer.

Die Aktivitäten der Mensch-Technik-Interaktion in den einzelnen Phasen lassen sich in einer grafischen Darstellung der Logfiles illustrieren (beispielhaft Abbildung 29). Es ist detailliert erkennbar, welche Buttons die Testperson in den einzelnen Phasen gedrückt hat, wie viel Zeit sie für jede Phase benötigt und ob sie z. B. die in der Brillenansicht sichtbaren Menüfenster verschoben hat. Im hier präsentierten Fall nutzte die Testperson gegen Ende der letzten Phase den Videochat, um sich Hilfe durch einen im Nachbarraum positionierten Mitarbeiter zu holen, der das Geschehen am Rechner durch die Brillenperspektive mitverfolgte.

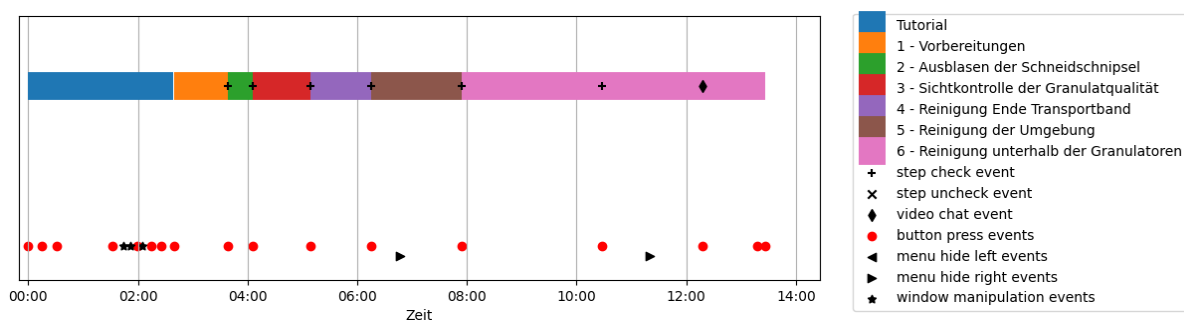


Abbildung 29: Visualisierung der Logfile-Aufzeichnung der Interaktionen einer Testperson mit der AR-Anwendung

Iteration 2

Eine Hauptaufgabe des AP3 war, die Wartungsprozesse mit Hilfe von Mixed Reality und 5G zu verbessern. Zuerst ging es hier, wie bereits in der Beschreibung des AP3 erläutert, um die Unterstützung der Mitarbeitenden bei ihrer Wartungsarbeit mit visuellen Hilfsmitteln. Auch sollte eine notwendig werdende Kommunikation der Mitarbeitenden mit externen Experten durch Smartglasses verbessert werden. Derzeit reisen die Experten regelmäßig zu verschiedenen Standorten weltweit. Im Projekt sollte, bezogen auf die definierte Anwendungsfälle, alle relevante Hardware in einen Koffer gepackt werden, damit dieser an die entsprechenden Einsatzorte gesendet werden kann und so Reisen der Experten reduziert oder gar überflüssig gemacht werden.

Beim Testlauf im Herbst 2022 ging es deshalb um ein echtes Remote-Wartungs-Szenario, den Messerwechsel am Granulator. Remote-Experte und anzuleitender Mitarbeiter trafen sich im virtuellen Raum und konnten auf dasselbe 3D-Modell des Kunststoffzerkleinerers zugreifen. Das gemeinsam mit den Kollegen vom Fraunhofer FIT entwickelte Mixed-Methods-Evaluationsverfahren auf Basis des Bewertungskatalogs sah neben verschiedenen Befragungsinstrumenten wiederum Beobachtungs- und Videoaufzeichnungen sowie die Auswertung technischer Nutzerdaten vor. Neues Moment war hier, dass auch der unterstützende Remote-Experte in den Evaluationsprozess mit einbezogen wurde und entsprechend Erkenntnisse über die Wahrnehmung derselben Remote-Kollaborationssituation aus beiden Perspektiven – Experte und Shopfloor-Mitarbeiter – gewonnen wurden („dyadische Daten“). Die quantitativen Daten aus den Fragebögen wurden wiederum mittels Statistikprogramm, die qualitativen Daten der Interviews mittels der Software MaxQDA ausgewertet. Die Beobachtungsergebnisse wurden systematisiert nach Arbeitsschritten des Test-Use-Cases zusammengestellt und zu den Informationen aus Fragebögen und Interviews in Beziehung gesetzt. Als wichtigste Ergebnisse sind zu nennen (vgl. auch (Altepost et al., 2022)):

Beanspruchung der Mitarbeiter durch die Aufgabe mit AR-Brille

- Das Beanspruchungsniveau in der Stichprobe blieb in der unteren Hälfte der NASA-TLX-Skala.
- Erfahrung mit Messerwechsel hat keinen Einfluss auf geistige Beanspruchung – es scheint eine Beanspruchung durch die AR-Anwendung zu geben (deckt sich mit Befunden aus 2021)

Zusammenarbeit Mitarbeiter – Remote-Experte

- Beide Personengruppen bestehen nicht auf Präsenz-Zusammenarbeit, schätzen zwar den direkten Kontakt, sehen diesen aber nicht als entscheidenden Unterschied für die Lösung der Aufgabe.
- Die Beobachtung konstatiert eine recht natürliche und intensive Kommunikation zwischen MA und RE.
- Die Gegenüberstellung der Einschätzungen von MA und RE in der Befragung zeigt einzelne Inkonsistenzen, aber insgesamt eine recht einhellige Beurteilung der Situation.
- Mitarbeiter: tendenziell Potenzial; Kombination aus verbaler und bildlicher Anleitung hilft; Gestaltungshinweise/einige Bildelemente stören; sehen sich tendenziell eher in der Realität
- Remote-Experten: sehen ebenfalls Potenzial; Präsenz-Situation könnte zu der Versuchung führen, die Aufgabe oder Teile davon gleich selbst zu erledigen

Sodann wurden die dyadisch erhobenen Daten (Befragung des anleitenden Experten als auch des angeleiteten Mitarbeiters zu Aspekten der gemeinsam durchgeführten Aufgabe) genutzt, um das Zusammenspiel beider Personen unter Bedingungen der virtuellen Kooperation näher zu analysieren.

So erfolgte eine vertiefte Auswertung zur Vertrauensrelation und Kontrollbedarf von Arbeitsprozess und -ergebnis in den jeweiligen Paaren aus Experte und angeleitetem Mitarbeiter. Die Ergebnisse zeigten als zentrale Unterschiede zur Präsenzsituation u. a. Grundlagen und Grenzen des gegenseitigen Vertrauens in der Remote-Situation sowie die veränderte Rolle des Experten, der nun nicht selbst eingreifen kann. Alle Paare bewältigten die gemeinsame Aufgabe letztlich erfolgreich. Das Vertrauen seitens des Experten beruhte zum einen wesentlich auf persönlicher Bekanntschaft – wurde also aus der Präsenz- in die virtuelle Situation übertragen, zum anderen auf dem Eindruck, dass die eigene Anleitung zuverlässig befolgt wurde. Entsprechend unterschiedlich stark war der Bedarf, das Arbeitsergebnis zu kontrollieren. Die Angeleiteten vertrauten dem Experten weitestgehend; eigene Arbeitsstile wurden von erfahreneren Mitarbeitern teils durchgesetzt, teils zurückgenommen, um der Testsituation Rechnung zu tragen. Aus der Gruppe der Angeleiteten kamen jedoch auch Hinweise, unter welchen Umständen das Vertrauen dann doch hinterfragt werden müsste; Plausibilität der Anweisungen und die Höhe eines möglichen Risikos (z. B. Stromschlag) könnten zum Vertrauensabbruch führen. Auch aus dieser Perspektive wurden persönliche Bekanntschaft, hier besonders das Wissen um die Expertise und Verlässlichkeit des Anleiters als wichtig für das empfundene Vertrauen genannt. Als vorläufiges Resümee zur Vertrauens-Thematik lässt sich zusammenfassen:

- Die Arbeitssituation Remote-Wartung erfordert ein Grundvertrauen
- V. a. für sicherheitskritische Arbeitsergebnisse wünschen sich Experten eine Kontrollmöglichkeit
- Riskante Arbeitsschritte können dazu führen, dass angeleitete Mitarbeiter das Vertrauen in den Experten hinterfragen
- Befolgung der Anweisungen erhöht ggfs. Vertrauen seitens Experten
- Für die Lernförderlichkeit ist es von Vorteil, dass der Experte nicht einfach selbst eingreifen kann (Vertrauen bilden!)
- Vertrauen aus persönlicher Bekanntschaft wird in die virtuelle Situation übertragen (beidseitig)

Iteration 3

Im Februar 2024 durchliefen 12 Testpersonen – wiederum Shopfloor-Mitarbeiter des Kundenunternehmens – die dritte Evaluation in AP3. Einige von ihnen hatten bereits an der Evaluation 12/2022 teilgenommen. Als Remote-Experten fungierten wiederum die drei Anleiter aus der Evaluation 2022 sowie zwei weitere Personen, die aus terminlichen Gründen jeweils einen Durchlauf übernahmen. Das Use-Case-Design kombinierte die Anleitung durch eine AR-Anwendung (angelehnt an die erste Evaluation 2021), die vom Remote-Experten beobachtet wurde, mit einer Kontrollphase, in der sich Remote-Experte und Mitarbeiter im gemeinsamen virtuellen Raum trafen und anhand des virtuellen 3D-Modells des Granulators eine Qualitätsprüfung durchführten. Hierzu standen dem Experten neben seinen Eindrücken aus der Beobachtung die Daten aus dem verwendeten digitalen Drehmomentschlüssel zur Verfügung. Zudem konnte er mit dem Mitarbeiter die Arbeitsschritte nochmals durchgehen und diesem Fragen stellen. Das Design wurde auf Basis der Erkenntnisse der Iteration 2 entwickelt; seinerzeit äußerten die Remote-Experten den Bedarf, die Qualität der durchgeführten Aufgabe aus der Entfernung überprüfen zu können. Es brachte zusätzliche Faktoren für die Evaluation mit sich:

- Waren die Testpersonen mit der AR-Anleitung zufrieden oder hätten sie es vorgezogen, vom Remote-Experten angeleitet zu werden?
- Wie erlebten die Testpersonen die Kontrolle durch den Experten; inwieweit konnte der Experte einschätzen, ob den Testpersonen die Kontrolle unangenehm war?
- Bei einem vorher definierten Arbeitsschritt wurde dem Mitarbeiter freigestellt, welchen Drehmomentschlüssel er verwenden wollte (klassisch versus digital); an diesem Beispiel wurde die Bedeutung des Handlungsspielraums für den jeweiligen Mitarbeiter thematisiert
- Wie passten die Features der MR-Anwendung zu den Erfordernissen der Kontrollsituation?

Da sich in Iteration 3 die Ergebnisse der Fragestellungen, die auch schon in Iteration 1 und 2 behandelt wurden, nicht in nennenswertem Ausmaß von diesen ersten Erhebungen unterschieden, wird im Folgenden vor allem auf die neu hinzugekommenen Faktoren fokussiert.

Anleitung

In der 3. Iteration kam – nach Umsetzung der Verbesserungsvorschläge aus den ersten beiden Evaluationen – auch der persönliche Umgang mit der AR-Technologie seitens der Mitarbeiter zur Sprache. Besonders das Beispiel von Teilnehmer Nr. 7 macht deutlich, wie stark personenbezogene und soziale Aspekte mit der Techniknutzung verknüpft sind:

„Gut, ich habe mich am Anfang der Aufgaben viel mehr auf das Geschriebene konzentriert anstatt auf die visuelle Darstellung von Schrauben und Schläuchen und was da irgendwo angezeigt worden ist. Hätte ich mich direkt darauf eingelassen, wäre das Ganze auch ein bisschen schneller vonstatten gegangen, würde ich mal sagen...“ (Testperson Nr. 7)

Der Mitarbeiter berichtet zudem, dass er die Anleitung teilweise nicht beachtet hat; ähnlich erging es Testperson Nr. 12.

„Ne, also ich wusste dann irgendwann die vier Schrauben zum Beispiel. Das ist zu tun. Ich meine, klar, war das dann mit Pfeilen irgendwo da markiert, aber da achtet man nicht mehr drauf. Weil ich wusste eigentlich, klar, ich habe die abgeschraubt, also muss ich auch wieder dran schrauben. Wenn ich vier abschraube, wird der Avatar mir nicht sagen, schraub nur drei dran, lass eine weg. Also habe ich das einfach so durchgezogen. Kann natürlich sein, dass es auch Bauteile gibt, wo vier dran waren und nachher nur drei drankommen. Da muss man natürlich drauf achten. Aber an dem Punkt habe ich dann gar nicht mehr drauf geachtet, muss ich sagen. Dafür war die Aufgabe auch einfach zu einfach.“ (Teilnehmer 7)

Eine Möglichkeit zur Kontaktierung des Experten während des Anleitungsteils würde nicht in jedem Fall genutzt – hier gibt es Vorstellungen, welche Probleme es rechtfertigen, sich Rat zu holen:

Interviewerin:

Mir fällt jetzt gerade nochmal der Moment an, wo Sie die Skala gesucht haben. Hätten Sie sich gewünscht, den Experten herbeirufen zu können?

„Ja, nein, das Armutszeugnis hätte ich mir jetzt nicht gegeben. Ich rufe da nicht meinen Chef an, wo ist die Skala an der Hackmaschine? Nein, da hätte ich bis heute Abend gesucht, bis ich sie gefunden hätte. (Testperson Nr. 7)

„... also vielleicht so ein Button, dass man sagt, okay, der Experte ist permanent online. Dass man sagt zum Beispiel, okay, ich habe jetzt (...) so ein Dreieck, Hilfe rufen, zack. So, pass mal auf. Tobi, sag mir mal ganz kurz, ich komme hier nicht weiter. (...) Ich meine, es ist ja keine

Schande, wenn man seinen Chef oder seinen Supervisor da quasi um Rat und Tat fragt.“
(Teilnehmer Nr. 7)

Der Umgang mit der Anleitung ist insofern voraussetzungsreich: Die Notwendigkeit der Befolgung, aber auch die Aufmerksamkeitsführung müssen dem Mitarbeiter bewusst gemacht werden. Ebenso kann eine tolerante Fehlerkultur, die auch aus dem Suchen eines Maschinenteils keine „Blöße“ macht, Zeit und Nerven – sprich: zentrale Ressourcen – schonen.

Auf die technische Lösung bezogen gab es noch einzelne Anmerkungen. So wurden die anzuziehenden Schrauben in der Anleitung dunkelblau markiert. Diese Markierung verschwand bzw. verschob sich bei Kopfbewegungen, wie Teilnehmer Nr. 7 monierte. Experte Nr. 94 wünschte sich die Möglichkeit, seitliche Bewegungen feiner justieren zu können, da er bei einer Drehung um 90 Grad „kurz den Raum verloren“ habe. Zudem sah er Verbesserungsbedarf bei der Darstellung der Blickperspektive des anzuleitenden Mitarbeiters, die zeitweise durch das 3D-Modell überlagert war. Testperson Nr. 11 hatte durch Überlagerungen des 3D-Modells Schwierigkeiten, Werte von einer Skala abzulesen. Der Mitarbeiter vermisste zudem Erläuterungen zur Verwendung des digitalen Drehmomentschlüssels.

Zwei weitere Testperson (Nr. 9 und Nr. 12) sprachen die räumliche Begrenzung in der AR-Welt und evtl. damit verbundene Unfallgefahren an, wenn Gegenstände in der Realität nicht sichtbar sind.

Anleitung vs. Remote-Experte

Die Testpersonen Nr. 4 und 6 begrüßten es prinzipiell, die Tätigkeit zunächst alleine anhand der Anleitung auszuführen. Während Testperson Nr. 6 sich weiterhin für die Kontrolle kritischer Schritte durch einen Experten aussprach, hielt Testperson Nr. 4 die Bereitstellung von Prüfkriterien im Rahmen der Anleitung für ausreichend.

Testperson Nr. 14 hätte es vorgezogen, gleich vom Experten angeleitet zu werden:

„Was mir gut gefallen hat, dass der Experte dann genau die gleichen Schritte wie ich gemacht habe, nochmal wiederholt hat und in der Zukunft kann man so machen, dass der Experte hier sitzt und da stehen gar keine Aufgaben und der Experte sagt mir, was ich machen soll.“
(Testperson Nr. 14)

Interviewerin:

Das finden Sie besser?

„Ja, es braucht weniger Zeit.“ (Testperson Nr. 14)

Ähnlich argumentiert Testperson 11, weist aber auch auf Verbesserungsmöglichkeiten in der Anleitung hin, die dazu führen würden, dass der Experte – wie im Evaluationsdesign – erst am Ende zur Kontrolle benötigt wird.

Testperson Nr. 3 macht seine Priorität abhängig von der Aufgabenstellung:

„Wenn es ein bisschen komplexer ist, wo es auch so gerade die Einstellung bei den Messern ist, ist es schon ein bisschen komplexer als jetzt hier nur eine Spindel auf den Pfeil zu drehen. Dann würde ich schon den direkten Kontakt bevorzugen. Aber wenn es jetzt um solche Arbeiten geht, würde ich auch mit der Anleitung klarkommen.“ (Testperson Nr. 3)

Andere, wie die Testpersonen Nr. 8 und 13, ziehen es vor, sich zunächst selbst an der Aufgabe zu versuchen:

„... erstmal selber versuchen und gucken, ob es klappt und danach, wenn es halt nicht funktioniert, auch die Eier in der Hose haben und sagen, kannst du mir mal helfen, ich verstehe es nicht, aber wenigstens, dass man selber angefangen hat und nicht einfach schon aufgibt, bevor es überhaupt... Ja, also sehe ich keinen... sehe ich nicht, dass der Experte direkt von Anfang an dabei sein sollte.“ (Testperson Nr. 13)

Die Anleitung könnte auch zur Vertiefung dienen, nachdem der Experte durch die Aufgabe geleitet hat:

„Ich finde beides eigentlich ganz gut. Vielleicht die Anleitung dann als Änderung oder quasi als weiterführenden Stoff, den man so aufnehmen kann. (Testperson Nr. 8)

„Also es wäre schon ganz gut, wenn man währenddessen auch auf den Experten zurückgreifen könnte zumindestens.“ (Testperson Nr. 9)

Kontrolle durch den Remote-Experten

Hierzu wurden Mitarbeiter und Experte jeweils mit einer standardisierten Frage im Fragebogen nach der Testung sowie im Leitfaden-Interview befragt. Im Fragebogen antworteten 10 Testpersonen, 9 von ihnen fanden es nicht oder eher nicht belastend, nach Aufgabendurchführung vom Experten kontrolliert worden zu sein, eine Person teils-teils. Ein Experte nahm wahr, dass sich eine Person teilweise belastet fühlte, es handelte sich jedoch nicht um die Person, die sich selbst als teilweise belastet bezeichnete (Tabelle 6).

		Der MA schien es belastend zu finden, dass ich die Aufgabendurchführung kontrolliert habe			
		Trifft nicht zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Gesamt
Ich fand es belastend, dass der RE die Aufgabendurchführung kontrolliert hat	Trifft nicht zu	6	1	1	8
	Trifft eher zu	1	0	0	1
	Teils-teils	1	0	0	1
Gesamt		8	1	1	10

Tabelle 6: Wahrgenommene Belastung durch Kontrolle seitens Remote-Experten aus beiden Perspektiven

Da sich in den ersten beiden Iterationen das Vertrauen zwischen den Aufgabenpartnern als zentral herausgestellt hat, wurde im Interview erfragt, ob die Kontrolle das Vertrauensverhältnis beeinträchtigen könne. Testperson 3 bejahte diese Frage:

„...diese Kontrolle wird ja nicht immer als positiv empfunden (...) ... wenn ich natürlich unsicher bin, ob ich irgendwas richtig gemacht habe, dann hilft ja nur Kontrolle oder jemand anderen drüber gucken lassen...“ (Testperson Nr. 3)

Im XR-Setting ist es ggfs. schwieriger als in Präsenz, Irritationen zu bemerken, schätzt der Mitarbeiter:

„... in dem Setting nur anhand der Stimme, wenn irgendwer verärgert ist. Wenn ich jetzt jemandem gegenüberstehe und er verzieht schon das Gesicht, das kann der Avatar jetzt glaube ich nicht.“

Als Lösungsmöglichkeit empfiehlt der Mitarbeiter eine offene Kommunikation, betont aber auch:

„Im Endeffekt muss das Ergebnis stimmen und nicht wie happy ist man dann, sagen wir mal, jeden einzelnen Arbeitstag. Von daher muss man da auch schon mal einen sauren Apfel

beißen und vielleicht Sachen ertragen, die einem nicht 100% recht sind in dem Moment.“
(Testperson Nr. 3)

Für Testperson Nr. 6, selbst ein erfahrener Mitarbeiter und Anleiter, ist es wichtig, dass dem Experten der Kontext und Zustand des Gegenübers bewusst ist und er diesem wertschätzend begegnet:

„Also das sehe ich ganz viel eher auf der persönlichen Ebene. Das hat mit der technischen Seite gar nichts zu tun. Aber wenn ich dann natürlich jemanden habe an der anderen Seite, der von oben herab, jetzt ganz übertrieben von zu Hause, von der Couch, mir da sagt, wie ich es machen soll. Sorry, da denke ich mir auch, ey, ich stehe hier gerade, wenn man das jetzt mal in so einen realen Arbeitsfall transportiert und ich stehe in einem HKA-Raum, der 40 Grad Raumtemperatur hat, bin voll am Schwitzen. Und dann sagt mir einer von zu Hause aus, aus dem Homeoffice quasi, von oben herab, wie ich da zu schrauben habe.“ (Testperson Nr. 6)

Auch dieser Befragte setzt auf offene Kommunikation:

„Die Einleitung von dem Experten müsste dann eigentlich erstmal sein, wie lange bist du da schon dran, wie geht's dir, brauchst du eine Pause, kommen wir hier, also, dass da auf jeden Fall der Arbeiter, der Mitarbeiter vor Ort auch in seinen Zustand abgeholt wird. Also nicht, dass es heißt, okay, Brille auf und jetzt direkt irgendwie los, sondern bist du da überhaupt gerade so in der Lage, mir vernünftig zu folgen und so weiter.“ (Testperson Nr. 6)

Testperson Nr. 8 unterstreicht, dass man die Kontrolle sachlich sehen müsse: „...das war schon auf Augenhöhe. Es gab ja diese Anleitung, nach der haben wir uns ja auch gehalten. Es ging jetzt quasi ja nur darum und nicht um persönliche Werte. Deswegen ist es schon wichtig, dass man da auf einer Höhe agiert.“ (Testperson Nr. 8)

Testperson Nr. 13 musste sich etwas an die Situation gewöhnen:

„Am Anfang habe ich gedacht kontrollierend, also so ein bisschen so, weil man es halt auch nicht, also gut, in der Ausbildung schon, aber danach kennt man es halt einfach nicht mehr, diese Kontrolle. Ich finde es aber auch gut, dass jemand nochmal drüber schaut, weil man eventuell so unter seinem eigenen Blickwinkel ist und dann, ja, häufig übersieht man dann Sachen, weil man denkt so, okay, man hat es gemacht, man hat es aber nicht gemacht und dann schaut jemand anderes drüber und sieht aber, hey, du hast hier was vergessen und dann fällt einem wieder ein, ah ja, hier und dann, schau auf, passiert.“

(...)

Es kommt immer darauf an, glaube ich, wer das ausführt. Wenn das so wirklich der Chef immer macht, der dann kontrolliert, dann ist es mehr so, glaube ich, als Wahrnehmung, ja, der schaut mir auf meine Finger so, was ich tue. Wenn das unter Kollegen ist, glaube ich, kommt das darauf den Kollegen an. Also ich denke schon einfach, dass das dann so ist, so ja, wir schauen nochmal drüber, gerade bei uns, wir haben schon wichtige Teile, die wir reparieren müssen, wenn dann da irgendwas fehlt oder sonst was, dann wieder einen Anlagenausfall zu riskieren, ist halt auch einfach. (Testperson Nr. 13)

Die Testperson Nr. 4 und Nr. 14 begrüßten die Kontrolle:

„Also ich fand es sogar noch besser, weil mir das Gewissen gegeben hat, ich kann von der Anlage weggehen, die Anlage steht so wie sie stehen muss und fertig.“ (Testperson Nr. 4)

„Das fand ich super, das fand ich sehr gut, dass da auch Personen sind, die das vielleicht schon mehrmals gemacht haben und die mich kontrollieren.“ (Testperson Nr. 14)

Auch Testperson Nr. 11 und 12 unterstrichen die mit der Kontrolle verbundene Sicherheit, dass der Experte die Verantwortung übernimmt.

Experte Nr. 92 würde auf Dokumentationspflichten verweisen und dem Mitarbeiter erklären, dass durch die Kontrolle mögliche Schäden verhindert werden könnten:

„...na klar, wenn ich strikt nach Anweisungen gehe, wird es ja von mir verlangt, dann kann ich da nicht sagen komm, der macht das sowieso schon, ich muss es halt und alleine aus dem Grunde dass man sich später irgendwie keinen Ärger einfangen will. Worst Case Regressansprüche für irgendwas...“ (Experte Nr. 92)

„Ich denke, er hat es auch nicht so als störend empfunden. Auch als ich dann noch mal Rückfragen hatte. Also ich sage jetzt mal, bei so kleinen Sachen wird das glaube ich auch, ja, ist das relativ einfach. Aber wenn man komplexere Sachen hat und dann noch mal von vorne und noch mal von vorne, ich glaube, das wird dann irgendwann nervig dann. Aber jetzt hier in dem Fall kein Problem.“ (Experte Nr. 92)

Experte Nr. 91 bejaht, dass ihm die Kontrolle unter Verwendung des Drehmomentschlüssels mit objektiv nachvollziehbaren Messwerten Sicherheit hinsichtlich der Qualität der ausgeführten Arbeit gibt:

„Ja doch, das ist auf jeden Fall eine Bestätigung, dass der Auftrag oder die Tätigkeit richtig ausgeführt ist. Definitiv, ja.“ (Experte Nr. 91)

Allerdings ist es entscheidend, das benötigte Messmittel einsetzen zu können:

„...wir arbeiten halt häufig an Stellen, wo wir keine Möglichkeit haben, so einen Drehmomentschlüssel anzusetzen, weil die räumlichen Gegebenheiten sind halt nicht da. Und dann passiert das schon mal, dass wenn ein Kollege den Schlüssel ansetzt, okay, er meint, er ist fest, ich setze den an und sage, hey, da gehen aber noch Dreiviertelumdrehungen. Und das ist halt eine Sache, die kann man nur in Präsenz wiedergeben oder aufnehmen.“ (Experte Nr. 91)

Experte Nr. 93 räumt ein:

„Wenn es eine ständige Kontrolle ist, glaube ich, dass es auch sehr nervig sein kann für den Mitarbeiter, dass dann immer einer drüber guckt. Aber das müsste man von Fall zu Fall entscheiden. (...) Ob ich jetzt beim Flugzeug die Schrauben andrehe von der Tragfläche, hat halt eine andere Priorität. Oder jetzt, was ich eben gesagt habe, Radmuttern vom Auto hat eine ganz andere Priorität, als wenn ich eine Schraube von irgendeinem Hebel, wo vielleicht ein Blech festgeschraubt ist, anziehe. Ist sicher auch wichtig, aber es galt kein Personenschaden dahinter. Deswegen glaube ich, wird auch der Mitarbeiter das von sich aus anders sehen, wenn er dann kontrolliert wird, wenn er die Priorität versteht.“ (Experte Nr. 93)

Für Transparenz im Vorgehen spricht sich Experte Nr. 94 aus:

„Ich denke, wenn es vorgeschrieben ist und man sagt von Anfang an, okay, man macht das und danach wird es kontrolliert, dann ist es kein Thema. Das ist anders, als wenn man es macht und auf einmal kommt einer um die Ecke, ich will das aber nochmal kontrollieren. Dann hat es einen Faden bei Geschmack.“ (Experte Nr. 94)

Kein Mitarbeiter negierte die Notwendigkeit der Kontrolle durch den – im realen Anwendungsfall weit entfernten – Experten, der Anhaltspunkte gewinnen muss, um sicher zu gehen, dass die Tätigkeit ordnungsgemäß durchgeführt wurde und keine Sicherheitsmängel o. ä. verursacht wurden. Die Qualitätskontrolle wird als prinzipiell rechtmäßig empfunden:

„...wenn jetzt jemand auch meine Ergebnisse tracken will, ob ich jetzt alles richtig angezogen habe, dann ist das in Sachen Qualitätskontrolle sein gutes Recht. Von daher würde mich das nicht stören.“ (Teilnehmer Nr. 3)

Die Aussagen weisen aber darauf hin, dass die virtuelle Kollaboration und ihre Qualitätsprüfung verstärkte soziale Kompetenzen auf beiden Seiten, besonders aber in der Anleitung/Führung erfordert.

Entscheidung zur Verwendung des digitalen vs. des klassischen Drehmomentschlüssels

Alle 12 Testpersonen auf Mitarbeiterseite entschieden sich, den digitalen Drehmomentschlüssel zu verwenden. Ihre Überlegungen in diesem Zusammenhang unterschieden sich jedoch hinsichtlich der Begründung und der wahrgenommenen Nützlichkeit.

„Wenn man eine genaue Stärke einstellen muss, ist das optimal. Also bei einer Person wie bei mir. Ich hau das Ding fest und was fest ist, ist fest.“ (Testperson Nr. 4)

„Ja, halt auch mal was Neues. Und quasi vorher nur mit digitalen, also normalen Drehmomentschlüsseln gearbeitet. Und das war halt eine neue Erfahrung. Da dachte ich mir, warum nicht auch direkt nur so.“ (Testperson Nr. 8)

„Also ich dachte mir, vielleicht ist der nur zum Öffnen da, der analoge. Also der digitale ist mir nur von der Bestätigung jetzt hier gewesen, im Kopf gewesen, als ich den brauchte. Das wusste ich ja, aber sonst, ich habe mir jetzt keine Gedanken gemacht, ob ich den jetzt den analogen nehme oder den digitalen. Ich hatte nur hier im Hinterkopf, dass wir das mit der gelben Knopf bestätigen und das war es dann.

(...)

Also wenn ich mich heute entscheiden müsste, hätte ich mich auch für das Digitale entschieden. Also es ist viel einfacher damit zu arbeiten. Es ist viel einfacher.“ (Testperson Nr. 11)

Ähnlich erging es auch Testperson Nr. 12, die überlesen hatte, dass auch der analoge Drehmomentschlüssel hätte genutzt werden können.

Testperson Nr. 13 entschied sich wiederum bewusst für das digitale Werkzeug:

„Tatsächlich ja, weil ich mir gedacht habe, ich will es einfach nochmal ausprobieren. Man kriegt Feedback. Beim normalen wird es schwerer die Schraube festzuziehen, aber dieses Feedback, dass er fertig ist, dass man einfach mal ein Gefühl für den Drehmoment hat, ist nochmal was anderes.“ (Testperson Nr. 13)

Als hinderlich wurde in einem Fall der Umstand empfunden, dass der Drehmomentschlüssel nicht im virtuellen Raum zu sehen war (Testperson Nr. 12).

Entgegengesetzte Wahrnehmungen wurden zum Zeitbedarf bei der Nutzung des digitalen Werkzeugs geäußert:

„Wenn ich natürlich die Ruhe weg habe und kann mir ewig Zeit für sowas lassen, dann würde ich wahrscheinlich mit dem elektronischen Spielzeug rumspielen, wenn es jetzt schnell gehen muss und ich habe keine Zeit das Ding einzustellen. Ich weiß nicht wie aufwändig das ist das einzustellen. Also bei einem normalen Drehmomentschlüssel hat man ja eine Feder und die dreht man ein bisschen rum. Wenn das natürlich jetzt auch nur 20 eintippen und go ist, dann würde ich das nehmen, was näher dran ist.“ (Testperson Nr. 3)

„Wenn es schnell gehen muss und relativ egal ist, wenn es einfach heißt festmachen, dann brauche ich natürlich so ein Ding nicht. Dann ziehe ich halt, bis es nicht mehr geht und dann ist es natürlich einfacher, wenn man sich einfach einen schnappt, wo man jetzt nicht noch jedes Mal aktivieren muss, einstellen muss, drücken muss, sondern einfach festziehen kann und gut ist.“ (Testperson Nr. 9)

„Ein Vorteil ist natürlich ganz klar das Einstellen der Newtonmeter und das erleichtert natürlich auch den Arbeitsvorgang, weil man nicht so viel Zeit benötigt.“ (Testperson Nr. 8)

„...war für mich ja praktisch, wenn er mir das anzeigt, dann nutze ich den ja weiter. Ging ja auch darum wieder die 60 Newton zu treffen, da habe ich jetzt nicht so ein genaues Gefühl, deswegen ja, ich fand den praktisch.“

(...)

Wenn es schnell gehen muss und relativ egal ist, wenn es einfach heißt festmachen, dann brauche ich natürlich so ein Ding nicht. Dann ziehe ich halt, bis es nicht mehr geht und dann ist es natürlich einfacher, wenn man sich einfach einen schnappt, wo man jetzt nicht noch jedes Mal aktivieren muss, einstellen muss, drücken muss, sondern einfach festziehen kann und gut ist.“ (Testperson Nr. 9)

Auch in Bezug auf den Handlungsspielraum zeigten sich unterschiedliche Prioritäten.

„Besonders gut (hat mir gefallen, Anm. d. Autoren), dass mir genau gezeigt worden ist, was ich machen muss. Genau Punkt für Punkt.“ (Testperson Nr. 4)

„Es ist immer einfacher, wenn jemand einem vorsagt, wann Schluss und wann gut ist.“ (Testperson Nr. 11)

„Es ist durchaus schon mal vorgekommen, dass ich es genau so machen sollte, aber im Grundlegenden, wenn es auf dasselbe Ergebnis hinausläuft, würde ich es schon gerne selber probieren.“ (Testperson Nr. 8)

„...ich habe es hier auch, wie sonst auch letztendlich gemacht, wie ich es für am besten hielt. Also ich habe dann auch das Rad nochmal rüber genommen. A, ich habe das weiter nicht wahrgenommen, weil es halt zu spät kam. Und B, es macht dasselbe. Es spart Zeit, es spart Arbeitsschritt. Wie gesagt, ich entscheide auch schon teilweise. Ich darf schon selber. Ich darf schon manche Sachen selber entscheiden.“ (Testperson Nr. 11)

Angemessenheit der XR-Lösung für die Qualitätskontrolle

Experte 93 arbeitet die Unterschiede zur Präsenz-Kontrolle heraus:

„Ich musste mich jetzt darauf verlassen, dass die Wasserwaage stimmt. Also auch sein Feedback, was er kontrolliert hat, weil das kann ich natürlich nicht sehen im VR. Und dafür ist die Auflösung einfach zu klein. Ob jetzt auch die Skala richtig eingestellt ist, das ist dann einfach remote nicht zu sehen.“ (Experte Nr. 93)

Interviewerin:

Also da bräuchte man im Grunde auch eine digitale Meldung, dann irgendwie einen Sensor oder weiß der Kuckuck was, wenn man das kontrollieren wollte...

„Wenn es wirklich drauf ankommt, ja.“ (Experte Nr. 93)

Experte 92 (bezogen auf die erfahrene und ihm bekannte Testperson Nr. 6, der er aus früherer Zusammenarbeit heraus vertraut):

Interviewerin:

Noch mal die Frage, die gleiche Qualitätskontrolle mit diesem Kollegen in Präsenz, was wäre anders gewesen?

„Man hätte sich wahrscheinlich mehr unterhalten.“ (Experte Nr. 92)

Interviewerin:

Aber jetzt so aufgabenbezogen...

„Nö, wäre genauso gewesen.“ (Experte Nr. 92)

Aus Mitarbeitersicht kann die XR-Situation für die Kontrolle auch Vorteile haben (Testpersonen 4 und 8):

„Da guckt mir keiner auf die Finger. Also man sagt mir, mach das so und ist gut und nicht, dass man da neben mir steht und das würde mich nervöser machen, sage ich ganz ehrlich. Wenn jemand neben mir steht, die ganze Zeit auf die Finger achtet, würde mich nervös machen, weil okay, er kennt sich vielleicht besser aus, aber ich will es richtig machen und ich hoffe. Also mit der Brille war und nur durch ein Mikro war super.“ (Testperson Nr. 4)

Die AP5 zurechenbaren Aktivitäten waren mit den Evaluationen in AP2 und AP3 eng verknüpft und führten zur Entwicklung und Adaption von Empfehlungen im Bewertungskatalog (D4). Als methodischer Rahmen wurde vor allem auf das KOMPASS-Verfahren (Grote et al., 1997) recurriert. Die dort zusammengefassten Bewertungskriterien basieren auf der Anwendung etablierter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse im Rahmen des MTO-Konzepts im Rahmen von Automatisierungsprojekten. Für 5G Troisdorf wurden die Kriterien an die spezifische soziotechnische Konstellation mit Sensorik und Datenfluss (AP2) bzw. die XR-Technologie und ihre intermediäre Funktion im Rahmen der Remote-Wartung adaptiert und um weitere Kriterien – z. B. zur User Experience im realen vs. virtuellen Raum – ergänzt.

AP-übergreifend fanden sich auch im Projekt 5G Troisdorf einige bekannte, **grundsätzliche Barrieren** bei der Einführung digitalisierter Arbeitsprozesse wieder, die teils abgebaut werden konnten, teils wurden mögliche Anknüpfungspunkte für Veränderungen aufgezeigt:

- Typisch für viele digitalisierte Arbeitsprozesse ist die unzureichende Analyse der bisherigen Prozesse und eine Prüfung, welche Prozesse sinnvoll digitalisiert werden sollen. Auch in 5G Troisdorf fiel es in einem der Use Cases den Unternehmensvertretern zunächst schwer, einen konkreten Prozess auszuwählen, an dessen Beispiel die noch diffuse Vorstellung von der Fernwartung zielführend präzisiert und erprobt werden konnte. Einmal im „Doing“, wurden die Vorstellungen der praktischen Umsetzung klarer und es wurden gemeinsam mit den Forschenden aus Informatik und Arbeitswissenschaft Problemstellungen und Lösungsansätze erarbeitet. Die eingesetzten partizipativen Instrumente – PBA, MTO-Workshop und Werkstattgespräche – beförderten diesen Prozess und profitierten dabei auch von der sehr intensiven und wertschätzenden allgemeinen Zusammenarbeit mit Regel-Arbeitstreffen in kurzen Abständen und zusätzlichen spontanen Vor-Ort-Erprobungen.

- Der Betrieb ist kein typischer „**Lernort**“, in dem auch Handlungsspielräume, Entscheidungsoptionen und Problembewusstsein gelernt werden können. Dies erfordert, dass Arbeit lernförderlich gestaltet wird. Entsprechende Kriterien im Bewertungskatalog konnten vor allem in AP3 verifiziert werden: Im Rahmen der Remote-Wartung führten die Testpersonen großenteils bislang unbekannte Tätigkeiten aus und lernten diese angeleitet durchzuführen. Je nach Inzidenz dieser neuen Arbeitsschritte im beruflichen Alltag ist davon auszugehen, dass diese Fähigkeiten vertieft werden bis hin zur eigenständigen Durchführung nach einigen Wiederholungen. Allerdings muss die Arbeitsorganisation diese Gelegenheiten schaffen (vgl. auch (Dworschak et al., 2021)).
- Häufig muss auch die **Rolle der Führungskraft** neu definiert werden. Lernen ermöglichen und Partizipation zulassen sind zwei wesentliche Voraussetzungen, die die Führungskräfte der beteiligten Unternehmen benötigen, soweit sie die im Projekt erprobten neuen Arbeitssysteme umsetzen und partizipative Instrumente auch für künftige Digitalisierungsprojekte nutzen wollen.
- Die Beteiligung der Mitarbeitenden erschließt nicht nur deren Expertise, sondern ist auch geeignet, die Identifikation mit dem Unternehmen zu stärken. Die Teilnahme am Projekt wurde durchweg als sehr positiv betrachtet. Viele Testpersonen bekundeten, dass es ihnen wichtig wäre, verbesserte Arbeitsergebnisse zu erzielen, Unfälle und Fehler zu vermeiden und aktiv an der Gestaltung ihrer Arbeitsabläufe beteiligt zu sein. Die zu Beginn durchgeführte PBA zeigte in beiden Unternehmen grundsätzlich ein gutes Niveau der Organisation und sozialen Zusammenarbeit, gleichzeitig wurden Fragestellungen identifiziert, an deren Klärung gleichermaßen Führungskräfte und Shopfloor-Mitarbeiter interessiert waren, beispielsweise die Schichtplangestaltung. Für beide Unternehmen war diese Herangehensweise neu. Dies bestätigt allgemeine Erfahrungen, dass in Digitalisierungsprojekten häufig die **Beteiligung der Mitarbeitenden fehlt**. Ihre aktuellen Belastungen werden nicht systematisch erhoben und positiv verändert.

Als Stellschrauben für die Arbeitsgestaltung aus der vorgenommenen MTO-Analyse erweisen sich aus unserer Sicht folgende:

- Gestaltung von **passenden Lernumgebungen und -bedingungen** für Mitarbeitende sind für den Erfolg von Digitalisierungsprozessen in der Arbeit äußerst wichtig.
- Neue digitale Verfahren können vorausschauend auf ihr **Belastungspotenzial** für die Mitarbeitenden hin analysiert und **gestaltbar gemacht werden**.
- Die **beteiligungsorientierte Gestaltung** der digitalen Arbeitsprozesse **schaftt Vertrauen und verhindert Ängste** („gläserne Person“, „Überwachung“).
- Die partizipative Technikgestaltung befördert **technische Lösungen**, die ins Arbeitssystem **passen** und von den Mitarbeitenden als nützlich empfunden, demzufolge **gerne genutzt werden** und somit auch ihr **wirtschaftliches Potenzial** unter diesen Voraussetzungen erst entfalten können.
- **Bedeutung der Kooperation** zwischen Experten (Anleitern) und Ausführenden (z.B. **Rolle des Vertrauens**) bei „Predictive Maintenance“ und „Distance Leading“ ist ein zukünftig immer

Als Fazit lässt sich feststellen:

- Wie bisher auch sind die **Fähigkeiten des Menschen erforderlich**, um die Defizite formaler Organisation und die Schwächen der Technik zu kompensieren und mit der vorhandenen Komplexität umzugehen.
- Der **MTO-Ansatz** bietet eine integrierende Betrachtungsweise von (digitalen) Transformationsprozessen und somit auch einer digitalen Arbeitsgestaltung.
- Die Analyse von **individuellen Belastungen**, die Unterstützung durch **Führungskräfte** und **lernförderliche Arbeitsbedingungen** sind **wesentliche Stellschrauben** zur Weiterentwicklung von Leistung, Arbeit und Gesundheit in der digitalen Transformation.

Evaluation AP 4: 5G Private Campus Network Survey

Nach Planung und Aufbau des privaten 5G-Campusnetz in Troisdorf beauftragte Betreiber Troiline die Firma S.E.A. Datentechnik GmbH mit der Durchführung eines Gutachtens zur Vermessung und Validierung des Mobilfunknetzen. Die Vermessung erfolgte durch Messung von Netzparametern wie Anzahl der Zellen, Zellausbreitung Zellausbreitung, Signalqualität, Durchsatz und Latenzzeit und die Validierung der Messergebnisse anhand der festgelegten Anforderungen.

Parameter	Required value or range
PLMN	26298
Frequency	3700 MHz – 3800 MHz
Bandwidth	100 MHz
Download	min. 100 Mbit/s
Upload	min. 40 Mbit/s
Latency	max. 10 ms
No. of UEs per cell	min. 13
Cell radius (outdoor)	300 m
Cell radius (indoor)	10 m

Tabelle 7: Anforderungen/Netzwerk Spezifikation 5G Troisdorf (nach Deloitte 2023, aus Gutachten)

Dieses Gutachten (Semenowicz, 2024) fasst die Ergebnisse der zahlreichen Messungen zusammen und bestätigt dem Betreiber, dass die erforderlichen Ziele für den Aufbau eines solchen Netzes vollständig erfüllt sind. Das aufgebaute Netz (s. Abbildung 30 und Abbildung 31) entspricht dem Plan und funktioniert (Semenowicz, 2024, p. 56). Kleine Abweichungen vom Plan wurden genannt.

Zitat¹⁸: „Die Zellabdeckung zu den Außenzellen ist für den Campusstandort gut. Eine leichte Überversorgung (Versorgung außerhalb über die Grenzen des Campusgeländes hinaus) wurde festgestellt, insbesondere für die Zelle 301 (grün). Allerdings ist das gemessene Signal außerhalb des Campusgeländes an den gemessenen Stellen deutlich schwach. Keine Spots mit unzureichender Abdeckung wurden festgestellt.

Im zentralen Bereich des Campusgeländes kann eine Überlappung von Zellen festgestellt werden. Dies kann von Vorteil sein, wenn eine einzelne Zelle ausfällt. Andere Zellen können dann weiterhin die Versorgung sicherstellen.

¹⁸ Übersetzt mit DeepL.com (kostenlose Version)

Die Innenzellen bieten eine gute Abdeckung für den gewünschten Raum. In Gebäude 296 (Granulator) zeigte die Messung, dass es bei einem Standortwechsel innerhalb des Raumes zu keinem Zellwechsel kam. Die erste verwendete Zelle (hier 27) war im gesamten Raum verfügbar.

Die Leistungsmessungen in Bezug auf den Download- und Upload-Durchsatz waren zufriedenstellend - alle Ergebnisse erfüllen die geforderten Werte (siehe Tabelle 7). Allerdings zeigten die Latenzmessungen eine deutliche Abweichung vom geforderten Wert von max. 10 ms."



Abbildung 30: Außenzellen mit Türmen und Antennenrichtungen



Abbildung 31: Außenzellen Abdeckung

AP 6 – Geschäftsmodell-Innovationen

Das TIM hat im Rahmen von Workshops, gezielter Gesprächsführung, Fragebögen sowie Experteninterviews Geschäftsmodellalternativen abgeleitet und evaluiert.

Zur Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle werden in der Praxis häufig Strukturierungshilfen hinzugezogen. Strukturierungsrahmen dienen der Betrachtung fest verankerter Geschäftsmodellelemente und sind bei der direkten Entwicklung von Geschäftsmodellen behilflich (Weiner et al., 2010). Die Nutzung solcher Strukturierungsrahmen ist elementar für die Entwicklung eines Geschäftsmodells, da sie notwendige Entwicklungsschritte wie Planung, Analyse, Strukturierung, Visualisierung, Kommunikation und Implementierung unterstützen (Bieger et al., 2011; Frankenberger et al., 2013; Kortmann and Piller, 2016; Osterwalder et al., 2005).

Während sich der bestehende Business Model Canvas gut zur Entwicklung und Abbildung traditioneller Geschäftsmodelle eignet, in denen ein Produkt durch ein Unternehmen geschaffen und im Austausch gegen Geld an den Kunden ausgeliefert wird, ist seine Eignung zur Darstellung komplexer, vernetzter Geschäftsbeziehungen begrenzt (Osterwalder and Pigneur, 2011). Ein Verbund von Unternehmen, an dem viele Partner mit verschiedenen Rollen und Anforderungen beteiligt sind, stellt ein solches komplexes Geschäftsmodellökosystem dar. Der RWTH/VDI Industry 4.0 Canvas bietet die Möglichkeit, vernetzte Geschäftsmodellbeziehungen abzubilden und eignet sich somit gut, um tragfähige, komplexe Geschäftsmodelle zu entwickeln (Piller, 2016). Die Systematik des RWTH/VDI Industry 4.0 Canvas wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt und im Folgenden erläutert.

Der RWTH/VDI Industry 4.0 Canvas hat vier Dimensionen (Abbildung 32):

Wertbeitrag: Welchen Beitrag leistet ein Partner zur Wertschöpfung im Netzwerk? Was ist der Mehrwert seiner Einbindung?

Werttreiber: Welche relevanten Eigenschaften, Prozesse und Ressourcen befähigen einen Partner, seinen Wertbeitrag zu leisten?

Integration: Welche technischen und strukturellen Voraussetzungen bestehen, damit ein Partner effektiv in das Netzwerk eingebunden werden kann?

Verlässlichkeit: Wie zuverlässig ist das Mitwirken des Partners im Netzwerk, wie gesichert sind Verfügbarkeit und Qualität?

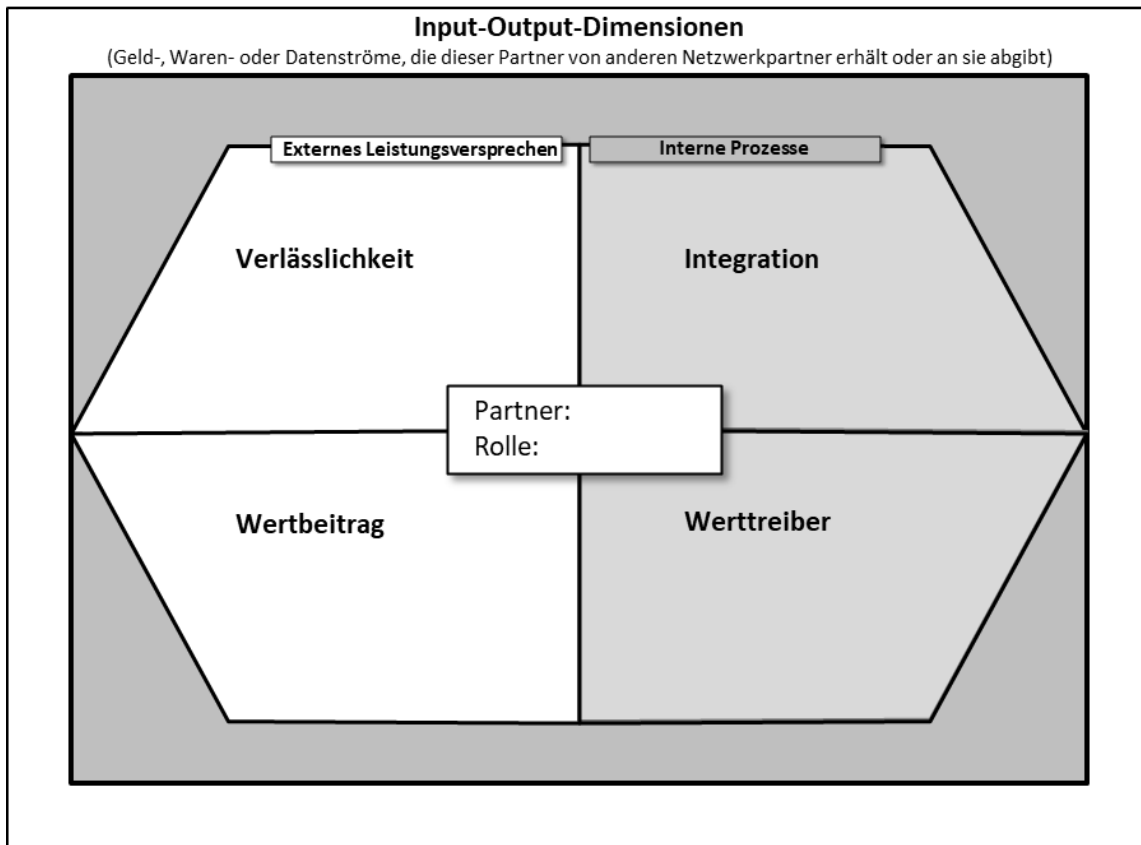


Abbildung 32: RWTH/VDI Industry 4.0 Canvas

Herausforderung bzgl. IndustrieStadtpark (5G Troisdorf) – Rollen im Ökosystem

Basierend auf den bisher erfassten Anforderungen, sollten konkrete Geschäftsmodellalternativen für alle Akteursgruppen entwickelt werden. Dabei sollte auch die Möglichkeit eines Plattformgeschäftsmodells evaluiert und bewertet werden. Für eine erfolgreiche Etablierung der Plattform ist es erforderlich, jeder Akteursgruppe den für sie aus der Teilnahme zu erwartenden Nutzen transparent zu machen. Nur wenn die jeweiligen Entscheider neben der technologischen Realisierbarkeit auch vom ökonomischen Wert des Plattform-Modells überzeugt sind, wird eine ausreichend große und weiterwachsende Nutzergruppe entstehen. Die Herausforderung in der Entwicklung eines tragfähigen Geschäftsmodells für die Entwicklungen im IndustrieStadtpark Troisdorf besteht darin, die Beziehungen der verschiedenen Stakeholder in ihren verschiedenen Rollen und den jeweiligen Wertbeitrag abzubilden. Daher mussten zunächst folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Wer ist bzw. könnte potenziell an der Werteverteilung des Geschäftsmodells beteiligt sein?
- Welche Werte werden durch die Teilnehmer im Ökosystem generiert?
- Welche Anforderungen stellen beteiligte Akteure an die Werteverteilung des Geschäftsmodells?

Um diese Fragen zu beantworten, wurden die Ergebnisse der Anforderungsanalyse gesichtet sowie aufbereitet und vom TIM Institut neun Experteninterviews mit den Konsortialpartnern geführt. Diese wurden anhand einer qualitativen Datenanalyse (Mayring, 2010) ausgewertet. Hier wurden drei zentrale Rollen mit entsprechenden Herausforderungen und Potenzialen im Projektkonsortium (Ökosystem) identifiziert:

Kuraray – Anwender der 5G-Technologie

Kuraray sieht sich in der Rolle des Anwenders der 5G Technologie. Ziel hierbei ist es, die entwickelten (VR-/AR-)Technologien und das Gabelstaplerleitsystem in bestehende Prozesse einzubinden. Die Technologie muss dabei das externe Wertversprechende einer hohen Liefersicherheit durch einen hohen Grad an vertikaler Integration weiter unterstützen. Abbildung 33 fasst die Hauptkomponenten Kuraray im Projekt zusammen.

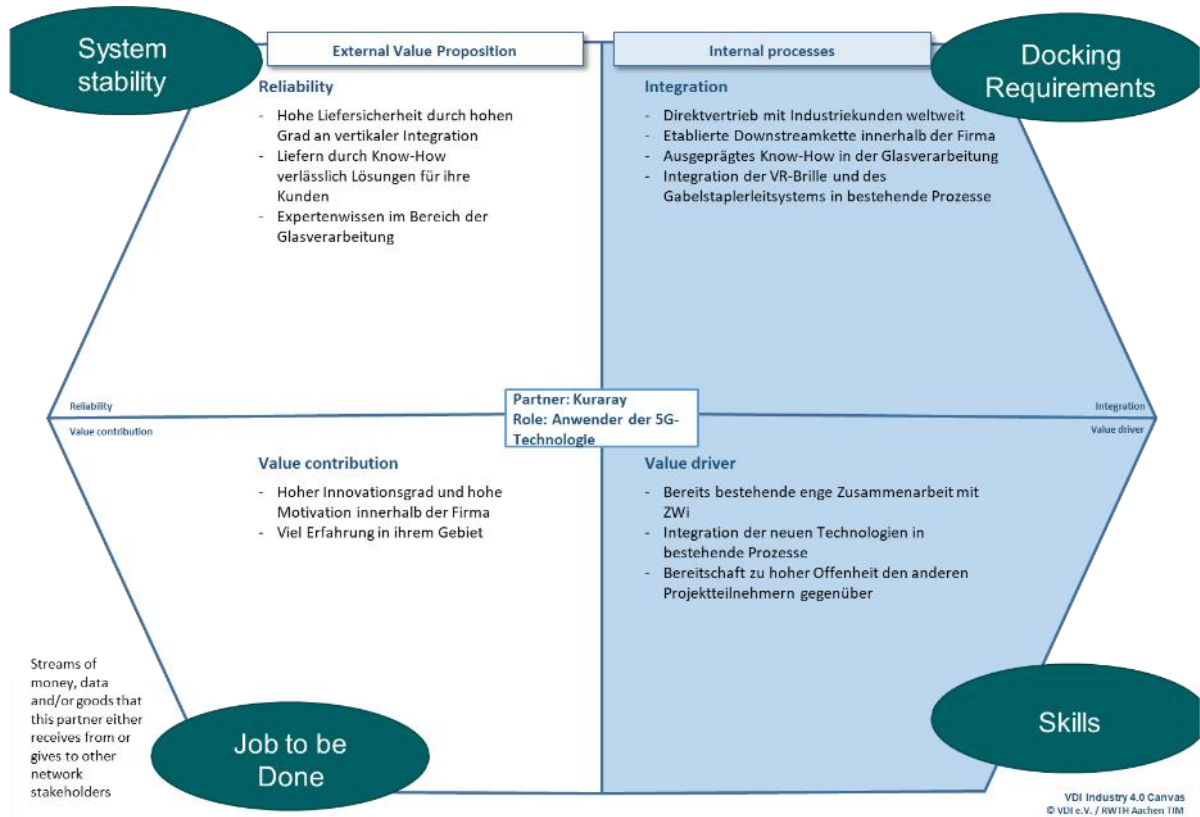


Abbildung 33: Kuraray Canvas

ZWi – Mechanischer Dienstleister und Anbieter der 5G Technologie

Zentral im Wertversprechen von ZWi ist, dass individuelle Lösungen angeboten werden und Kundenbedürfnisse im Vordergrund stehen. Dies sollte durch den Einsatz der neuen Technologie möglichst noch weiter ausgebaut werden. Eine besondere Herausforderung liegt darin, Lösungen weiterhin kostengünstig anbieten und die internen Prozesse flexibel halten zu können. ZWi versteht sich v.a. als Anbieter von 5G Technologien im Ökosystem. Daher sind die Integrationsprozesse hier abhängig von den jeweiligen Entwicklungen und Bedürfnissen der Kunden ZWis.

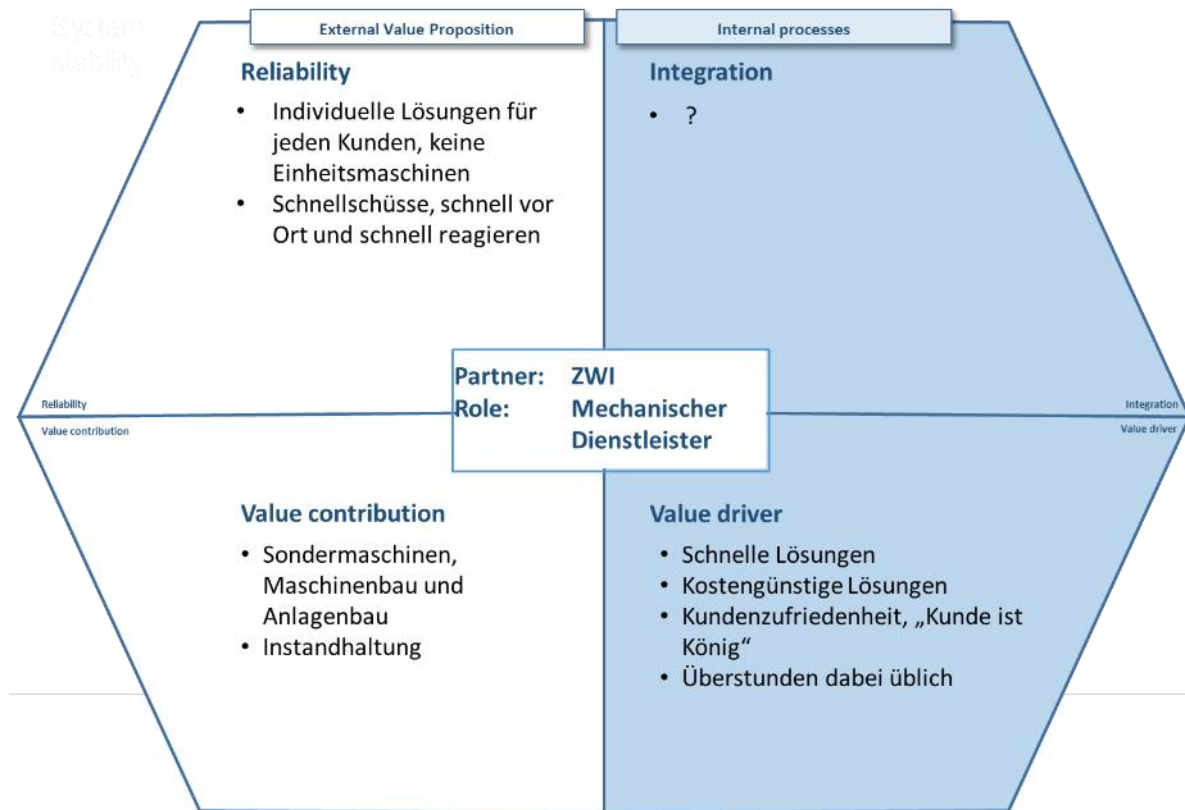


Abbildung 34: ZWi Canvas

Fraunhofer FIT – Softwareentwickler

Das Fraunhofer FIT übernimmt die Rolle des Softwareentwicklers und unterstützt die Anwendungspartner in der Technologieentwicklung. Sein hoher Erfahrungsschatz in den Themen Virtual und Augmented Reality und Zuverlässigkeit bei der Implementierung der Software ermöglicht die Verprobung der Technologie in den verschiedenen Use-Cases.

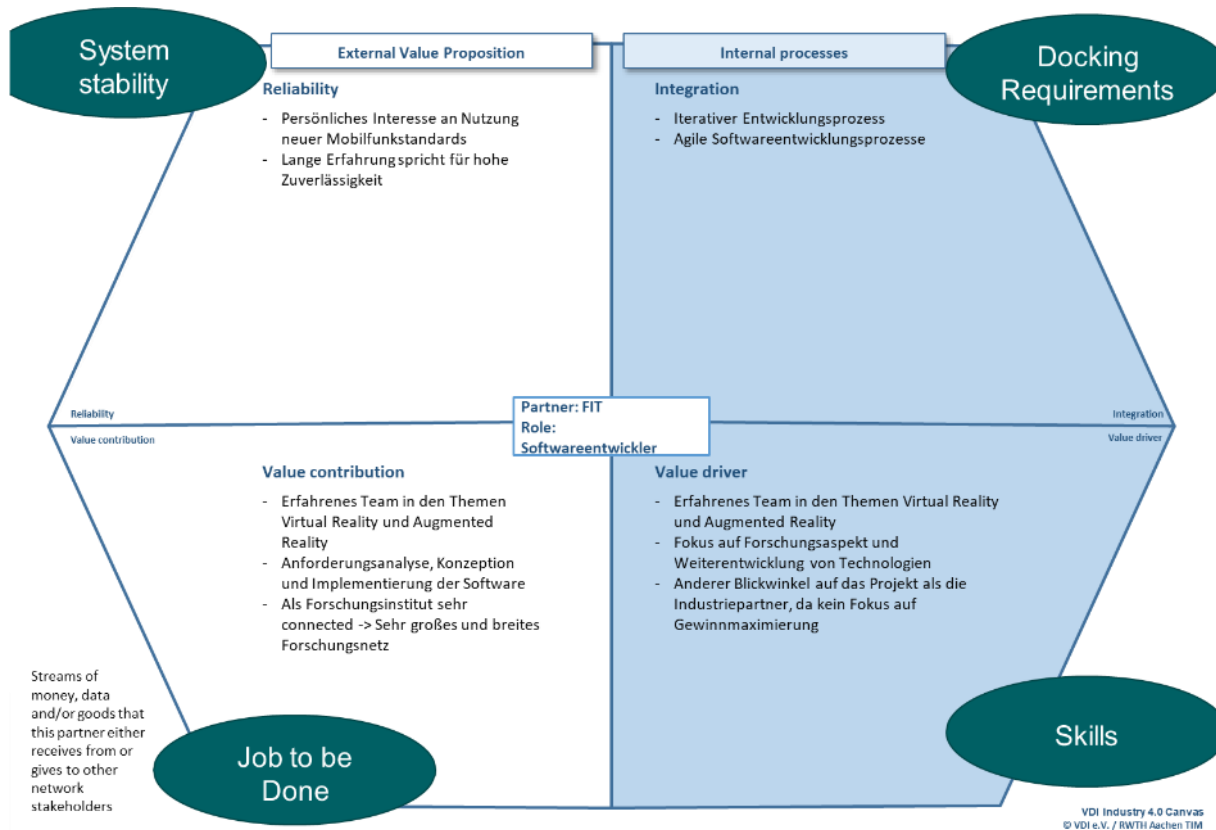


Abbildung 35: Fraunhofer FIT Canvas

Branchenanalyse – Chemieindustrie

Im Umfeld des IndustrieStadtParks Troisdorf wie auch in ganz Deutschland kommt der Chemieindustrie eine besondere Rolle zu. Nach umfassender Literaturrecherche wurden 10 halbstandardisierte Interviews durchgeführt. Neben Konsortialpartnern wurden weitere relevante Unternehmen befragt, um eine Sicht von außen auf das Vorhaben und die Geschäftsmodellentwicklung mit einbeziehen zu können. Befragt wurden zusätzlich: Evonik Industries AG, Saint Gobain Sekurit, Yara International, Air Liquide, Siemens SE und Unigloves.

Besonderes Augenmerk wurde auf Identifizierung von Synergien zwischen digitalen Technologien wie 5G und Dekarbonisierungsstrategien in der chemischen Industrie gelegt, da hier ein besonderer (politischer und gesellschaftlicher) Druck herrscht.

Zunächst wurden die aktuellen Geschäftsmodelle in der chemischen Industrie im Hinblick auf ihr Wertversprechen, ihre Wertschöpfung und ihren Isolationsmechanismus analysiert. Es wurde festgestellt, dass neben ökonomischen Aspekten wie einem niedrigen Preis auch weiche Faktoren wie ein zuverlässiger Service und eine zuverlässige Lieferung sowie zunehmend Produkte mit geringem CO₂-Fußabdruck einen Wert für den Kunden bieten. Dieser Wert wird fast ausschließlich durch den Verkauf des Produkts erfasst, so dass service- oder nutzungsbasierte Geschäftsmodelle nicht zum Einsatz kommen. Die Isolationsmechanismen der Chemieunternehmen spiegeln die jeweiligen

Kundenanforderungen wider. Multinationale Unternehmen nutzen Größenvorteile und etablieren sich als Preisführer und verfügen über hohe F&E-Budgets, um neue Produktinnovationen zu initiieren. Kleinere, regional operierende Unternehmen sind mehr auf einen guten Service und einen höheren Grad an Individualisierung für den Kunden ausgerichtet.

Die digitale Wertschöpfung (durch 5G-Technologien) bietet in der chemischen Industrie große Potenziale. Es wurde eine Reihe von kommerziellen und öffentlichen Akteuren identifiziert, die es Wert sein könnten, näher an die Chemieunternehmen heranzurücken. Dazu gehören einerseits Partner entlang der Wertschöpfungskette, vor allem Zulieferer, Peer-Unternehmen und Kunden, und andererseits Forschungseinrichtungen und staatliche Stellen. Hinsichtlich der Art der Inhalte, die für digitale Anwendungen in der chemischen Industrie relevant sind, wurden die drei Hauptgruppen Betriebsdaten, Prozessparameter und Produkteigenschaften identifiziert. Die Aggregation dieser Daten erzeugt einen Kontext, der zu einem Mehrwert führen kann. Durch die aus den Daten gewonnenen Erkenntnisse können Forschungsarbeiten, Logistik und Produktionsprozesse optimiert werden. Schließlich werden durch Plattformen als Marktplatz oder zu Dokumentationszwecken neuartige Transaktionen initiiert. Eine neue Einnahmequelle kann durch die Bereitstellung von Kundenservices als Geschäft oder den Verkauf von Metadaten von Produkten oder Prozessen geschaffen werden.

Die 5G-Technologie hilft durch ihre drahtlose Eigenschaft, Investitionskosten für Kabelinstallationen zu sparen. Die drahtlose Übertragung eignet sich besonders für bewegliche Teile und um neue Sensoren einfach zur bestehenden Infrastruktur hinzuzufügen. Die erhöhte Bandbreite eignet sich vor allem für große Datensätze, wie sie für Videos, optische Kontrolldaten oder komplexe Produktspektren erforderlich sind, nicht aber für Temperatur- oder Druckdaten. Für letztere ist der Aspekt der massiven maschinellen Kommunikation für die Verbindung einer großen Anzahl von Sensoren an einem Standort wichtig. Ein privates 5G-Netz hilft einem Unternehmen, eine zuverlässige Verbindung und Dateneigentum für die Sicherheit und Stabilität der Automatisierung zu erhalten.

Die Synergien zwischen Dekarbonisierung und Digitalisierung mit 5G-Technologie, die auf die wirtschaftliche Wertschöpfung für den Kunden abzielen, zielen vor allem auf die Reduzierung des Energieverbrauchs ab. Zu diesem Zweck ist 5G ein Enabler für mMTC-vernetzte Sensoren, die Daten für die Prozessoptimierung sammeln. Darüber hinaus liegen die Synergien vor allem in der ökologischen, regulatorischen und servicebasierten Wertschöpfung für den Kunden. Insbesondere die Quantifizierung der Dekarbonisierung durch genauere Daten für Ökobilanzen wird durch 5G-basierte Sensoren unterstützt.

Die Analyse der Kundenwertschöpfung in der chemischen Industrie zeigt deutlich, dass trotz der geringen Differenzierungsmöglichkeiten eines chemischen Produktes nicht nur ökonomische Faktoren relevant sind. Der Kunde verlangt zunehmend ökologische Produkte und einen erstklassigen Service. Diese Anforderungen zu erfüllen, kann für ein Chemieunternehmen von hohem Wert sein.

Der präferierte Weg liegt darin, nachhaltige Prozesse einzuführen, die gleichzeitig die Kosten senken. Dies ist am ehesten mit der Optimierung von Produktionsprozessen möglich, die den Energieverbrauch, Nebenprodukte oder den Wartungsbedarf reduzieren. Die 5G-Technologie unterstützt diesen Zweck, indem sie als Enabler eines Sensornetzwerks fungiert. Diese Sensoren sind die Grundlage für die Sammlung von Daten, die nicht nur von Algorithmen zur Prozessoptimierung genutzt werden können, sondern auch zur Berechnung von Lebenszyklusdaten und somit den ökologischen Wert eines Produktes greifbarer machen. Hat eine Organisation selbst keine direkte Verwendung für die gesammelten Daten, kann sie überlegen, die Metadaten von Produkten an andere Unternehmen zu verkaufen, die sie wiederum zur Optimierung nutzen, um so neue Revenue Streams zu generieren.

Neben dieser neuen Datenwirtschaft werden 5G und digitale Technologien eine Rolle bei der Verbesserung des Kundenservices und des Informationsaustauschs spielen.

Evaluation eines Plattformgeschäftsmodells und Analyse anderer Standorte

Anhand eines eintägigen Future-Workshops wurden gemeinsam mit den Konsortialpartnern die Marktumfelder sowie aktuelle und zukünftige Herausforderungen und Potenziale identifiziert.

Kuraray sieht die größten Handlungsfelder aktuell und zukünftig darin, immer maßgeschneidertere Lösungen anzubieten. Gleichzeitig wird durch die sich zuspitzende Rohstoff- und Energiesituation immer weniger Rohstoffeinsatz möglich sein, sodass zukünftig mehr Dienstleistungen monetarisiert werden sollten. Der Bedarf an Kundensegmentierung, Prozessautomatisierung und automatisierten Bestellungen legt den Einsatz einer Plattformlösung nahe.

Auch ZWi benennt die aktuell sinkende Produktion in Deutschland, Energie-, Ressourcen- und Personalknappheit als zentrale Herausforderungen. Gleichzeitig werden Industrie 4.0, Vernetzung, autonomes Fahren und smarte Geräte als Chancen identifiziert. Die Wertschöpfung durch diese Technologien wird insbesondere durch Plattformgeschäftsmodelle gesteigert.

Aus diesen Gründen analysierte das TIM die Potenziale einer Plattformlösung hinsichtlich 5G Anwendungen tiefergehend. Eine digitale Plattform basiert auf einem Geschäftsmodell, bei dem eine Plattform als Intermediär unterschiedlicher Marktseiten agiert und in ein Ökosystem eingebettet ist. Während lineare Wertschöpfungsmodelle durch einen uniformen Materialfluss zum Endkonsumenten gezeichnet sind (Steur, 2022), sind digitale Plattformen mehrseitig, verbinden also verschiedene Nutzer mit verschiedenen Nutzungseigenschaften auf einer Plattform, wie Anbieter, Nachfrager und Plattformbetreiber. Plattformbetreiber sind die „Eigentümer“ der Plattform, die den Leistungsaustausch orchestrieren und für diese Wertschöpfung einen Gegenwert in Form von Daten und / oder Geld erhalten. Anbieter sind Privatanutzer oder Unternehmen, die eine Leistung auf der Plattform anbieten, dies können physische Güter, Daten oder Dienstleistungen sein. Nachfrager sind ebenso Einzelpersonen oder Unternehmen, die analog zur Marktseite der Anbieter die angebotene Leistung in Form von Produkten oder Dienstleistungen nachfragen und bezahlen im B2C-Geschäft häufig indirekt mit Daten (Piller, 2016). Plattformunternehmen verfügen über revolutionäre Kernkompetenzen und Wettbewerbsvorteile und schaffen drei wesentliche Arten von Mehrwerten. An erster Stelle verringern Plattformen durch vereinfachte Interaktion und spezifische Services auf einer Plattform die Transaktionskosten von Unternehmen durch Standardisierung und die Erschaffung eines Ökosystems. Zudem erschaffen Plattformen Netzwerkeffekte, die dazu führen, dass jeder zusätzliche Nutzer und Anbieter auf einer Plattform die Attraktivität der Plattform durch eine Steigerung des Angebots und der Nachfrage steigern. Ebenso generieren Plattform abhängig von der Ausgestaltung der Plattformen einen spezifischen Kundennutzen, die ohne Plattformen nicht erfüllt werden können oder nicht vorhanden waren. Somit bietet eine Plattform basierend auf Daten, Dienstleistungen zur Befriedigung von Kundenbedürfnissen an (Landhäußer, 2021).

Das Potential der Plattformökonomie im B2B-Bereich und im Maschinenbau, ist heute noch gering (Landhäußer, 2021), zunehmend werden Plattformen aber in unterschiedlichen Industriezweigen genutzt (Bender et al., 2021). Bei Plattformgeschäftsmodellen ist es wichtig, dass Unternehmen die Chancen und Möglichkeiten eines Einsatzes einer Plattform aus der Kundensicht betrachten. Die relevantesten Plattformkategorien im Maschinen- und Anlagenbau sind digitale Marktplätze für industrielle Güter und industrielle IoT-Plattformen (Landhäußer, 2021). Ein Beispiel bei denen Plattformen für den Maschinen- und Anlagenbau das bisherige Geschäftsmodell ergänzen oder erweitern können, liegt in der Gewinnung von Daten durch Sensoren, die es Kunden auf der Plattform ermöglichen, den Status der Maschinen abzufragen. Ein weiterer Anwendungsbereich von Plattformen

liegt in der Inbetriebnahme, Wartung und Reparatur von Maschinen, die selbst angeboten werden können oder die Plattform wird zur Koordination von Servicepartnern genutzt. Ebenso kann das Produktportfolio im Anlagen- und Maschinenbau durch den Service Predictive Maintenance erweitert werden und somit Wartungsbedarfe ermitteln und mit Hilfe einer Plattform koordiniert werden (Rauen et al., 2018). Die Erweiterung des eigenen Geschäftsmodells ist für viele Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau ein Aspekt, der Plattformen mit ihren Potentialen neue Wettbewerbsvorteile zu generieren, attraktiv macht (Bender et al., 2021).

Zur Analyse herangezogen wurden, neben Experteninterviews aus dem 5G IndustrieStadtspark Konsortium, 18 Experten aus drei weiteren Projekten, die ebenfalls 5G Technologien verproben (5G MoNArch, Technologiepark Adlershof und Tri5G). Durch einen szenariobasierten Interviewleitfaden konnten Use-Cases aus Betreiber – und Nutzerperspektive identifiziert werden (siehe Abbildung 36). Als Framework wurde das Plattformökonomie-Tool von Wortmann genutzt (Hodapp et al., 2022; Wortmann et al., 2022).



Abbildung 36: Evaluation Plattformgeschäftsmodell

Kernergebnisse

Die Unternehmen sehen zwar Potenziale eines Plattformgeschäftsmodells, allerdings liegt flächendeckend ein unzureichender Reifegrad sowohl technisch als auch für die Geschäftsmodellausgestaltung vor. Insgesamt besteht in der Industrie bislang kaum Wissen hinsichtlich des Managements einer Plattform oder des potenziellen Nutzens aufgrund von z.B. Netzwerkeffekten durch Plattformlösungen.

Bezüglich der vorhandenen 5G-Kompetenzen variieren die Angaben der befragten Unternehmen. Beispielsweise fokussiert sich ein befragter Automobilhersteller vor allem auf die Nutzung der 5G-Technologie in prozessbezogenen Use-Cases. Gefragt nach den wichtigsten Anforderungen an die 5G-Technologie kommt es zu vielfältigen Nennungen. Demnach ist für die Automobilindustrie das Slicing wichtig, welches den Aufbau mehrerer virtueller Netzwerke über die gleiche Infrastruktur sowie ein „institutionsübergreifendes Security und Nutzermanagement“ beinhaltet. Für Unternehmen aus dem Bereich Infrastruktur und Netzwerktechnik spielt dabei die Upgradeability zu zukünftigen Release-Ständen sowie die Interoperabilität zwischen verschiedenen Netzen eine wichtige Rolle. Es wird ersichtlich, dass die befragten Unternehmen bereits über ausgeprägte Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich 5G verfügen. Dabei unterscheiden sich die Kenntnisse zwischen den Branchen signifikant, was sich durch die divergierenden Anwendungsfälle und verfolgten Ziele erklären lässt. Demnach stellen die Unternehmen auch unterschiedlichste Anforderungen an das 5G-Netz, welche auf ihre konkreten Anwendungsfälle zutreffen.

Ein (offenes) Plattformgeschäftsmodell wird von keinem der Befragten als gewinnbringend eingestuft. Nach weiterer gezielter Gesprächsführung mit den Konsortialpartnern des IndustrieStadtspark im Jahr 2023 und einem eintägigen Workshop zum Thema Plattformgeschäftsmodelle wurde die Option eines Plattformgeschäftsmodells final als nicht relevant für die Organisationen der Konsortialpartner

bewertet. Die Use-Cases im Projekt IndustrieStadtpark profitieren stand heute nicht verhältnismäßig durch Ansätze der Plattformökonomie bzw. deren Entwicklung.

Identifikation und Überwindung von Barrieren

Das TIM verfolgte über den gesamten Projektverlauf hinweg mögliche Barrieren hinsichtlich der Akzeptanz und des Vorantreibens der 5G-Geschäftsmodelle. Dazu wurden wiederholt Interviews mit bis zu 22 Experten aus dem Konsortium sowie den drei exemplarisch ausgewählten anderen Standorten geführt. Überwindungsstrategien wurden im Rahmen von Interviews diskutiert und bewertet.

Herausforderung bzgl. IndustrieStadtpark Troisdorf

Die Implementierung der 5G-Geschäftsmodelle in die Organisation der teilnehmenden Projektpartner geht einher mit einem neuen bzw. komplementären Verständnis des bisherigen Geschäftsmodells. Bei einem derartigen Wandel können massive Hindernisse auftreten, die den Implementierungsprozess hemmen. Daher beschäftigte sich das TIM fortlaufend mit der Identifikation und Überwindung potenziell auftretender Barrieren, um eine erfolgreiche Implementierung zu garantieren. Da es sich bei den entwickelten Use-Cases um digitale Geschäftsmodelle handelt, sind insbesondere folgende Barrieren zu erwarten:

- Technische Barrieren
- Menschliche Barrieren
- Regulatorische Barrieren
- Angst vor Abfluss des eigenen Know-Hows. Wissen über z.B. die Entwicklung der Maschinen könnte an die Konkurrenz weitergegeben werden. Als Folge sind potenzielle Akteure möglicherweise zurückhaltend. Auch könnte kritische Infrastruktur bedroht werden (Cyberangriff). Aus diesem Grund wurde eine separate Studie zum IT Risk-Management vom TIM durchgeführt.

Darüber hinaus ist es möglich, dass weitere Barrieren existieren, die den Implementierungsprozess hemmen. Bei der Identifikation der Barrieren und Entwicklung von Überwindungsstrategien muss jeder Projektteilnehmer individuell berücksichtigt werden, da jeder Teilnehmer, abhängig von seiner Rolle im Ökosystem, unterschiedlichen Barrieren ausgesetzt ist. Beispielsweise ist der Anbieter von (Software-)lösungen anderen Barrieren ausgesetzt als der Nachfrager des (Software-)produkts.

Identifikation von Barrieren

Mithilfe qualitativer Interviews werden auftretende Barrieren bei der Einführung der 5G Use-Cases untersucht. Dazu wurden die Konsortialpartner kontinuierlich im Projektverlauf befragt. Zur Datenanreicherung wurden zusätzlich Mitwirkende der drei Projekte 5G MoNArch, Technologiepark Adlershof und Tri5G interviewt.

Befragt nach regulatorischen Innovationsbarrieren werden bei der Einführung bürokratische Hindernisse im Bereich des Datenschutzes oder Lizenzvergaben sowie staatliche Verbote genannt. Zudem werden mangelnde finanzielle Mittel zum Aufbau der nötigen Infrastruktur aufgeführt. Hier setzen auch die genannten technischen Barrieren an, welche die Verfügbarkeit von 5G Infrastruktur und mangelnde IT-Sicherheit umfassen. Als Problem wird gesehen, dass sensible Unternehmensdaten abgegriffen werden könnten. Zusätzlich werden noch fehlende Datenstandardisierungen und die Vielzahl von Schnittstellen genannt. Bezüglich der menschlichen Barrieren werden von drei Befragten Angst vor Arbeitsplatzverlust und Gesundheitsgefährdung sowie eine mangelnde Qualifikation der

Mitarbeiter und eine unzureichende Kompatibilität zu Kunden und Lieferanten aufgeführt. Es zeigt sich, dass ein Großteil der Unternehmen dieselben menschlichen Barrieren, unabhängig der Branche, erfahren. Gerade die genannten Ängste lassen sich durch die Aufmerksamkeit, die das Thema 5G erfährt, erklären (Pythoud, 2022).

Als technische Barriere sind die mangelnde Verfügbarkeit und Kompetenzen der Partner und Kunden hinsichtlich der notwendigen Technologie und Hardwareelemente zu identifizieren. Dies wird durch Lieferkettenprobleme und mangelnde Preiszuverlässigkeit manifestiert. Die hohe Anzahl von erforderlichen Funkzellen zur Realisierung der Use-Cases verstärkt die Hürde im Aufbau einer leistungsfähigen Infrastruktur. Eine weitere Hürde ist die mangelnde Zuverlässigkeit der verbauten Sensorik bei der Übertragung von Daten an das übergeordnete System, sodass entsprechende Analysen und Entwicklungsaktivitäten gehemmt werden. Zudem fehlt es in einigen Unternehmen bislang an Fachpersonal, welches über eine Expertise in Softwareentwicklung verfügt.

Hinsichtlich der menschlichen Innovationsbarrieren besteht ein diverses Bild unter den Interviewpartnern. Einige sind mit gesundheitlichen Bedenken von Mitarbeitern oder Anwohnern konfrontiert oder mit der Sorge über Arbeitsplatzverlust. Diese Bedenken werden jedoch mit abnehmender Intensität vernommen. In anderen Umgebungen wird die neue Technologie primär mit Freude und Interesse von Mitarbeitern, Partnern und Kunden begleitet. Weiterhin besteht ein Bewusstsein über die Notwendigkeit dieser Technologie zum Fortschreiten der Automatisierung, um dem demographischen Wandel und dem Fachkräftemangel am Industriestandort Deutschland zu begegnen.

Aus regulatorisch-struktureller Perspektive besteht die Barriere der Genehmigung von Lizenzen durch die Bundesnetzagentur, um ein 5G-Campusnetzwerk aufzubauen. Die grundstückorientierte Vergabe der Genehmigungen vereinfacht das Verfahren für großflächige zusammenhängende Areale und stellt somit eine Herausforderung für kleine und mittlere Unternehmen dar. Weiterhin sind die Kosten der Lizenzgenehmigung der Bundesnetzagentur zu identifizieren, sodass einige Unternehmen aufgrund dessen kein 5G Netz implementieren können. Zusätzlich hemmen baurechtliche Regularien die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Ausbaus der Funkzelleninfrastruktur. Weitere Hürden bestehen hinsichtlich der Erfüllung der EU-Datenschutzgrundverordnung (GDPR). Bei dem Austausch von Daten müssen Unternehmen sicherstellen, dass diese in der EU verbleiben und keine Zwischenspeicherung in anderen Ländern erfolgt, um die Privatsphäre ihrer Kunden zu schützen. Andere Akteure sehen sich jedoch kaum durch gesetzliche und behördliche Barrieren gehemmt.

Die Unternehmen sind gleichermaßen der technischen Hürde der Verfügbarkeit der Infrastruktur für eine zuverlässige Anwendung der 5G-Technologie ausgesetzt. Die Wahrnehmung von menschlichen Innovationsbarrieren durch gesundheitliche Bedenken sowie der Sorge des Arbeitsplatzverlustes divergiert zwischen den Teilnehmenden ebenso wie die Wahrnehmung von regulatorischen Barrieren durch baurechtliche Auflagen und die Lizenzierung von Sendefrequenzen durch die Bundesnetzagentur.

Überwindungsstrategien

Die Befragten sehen unterschiedliche Ansätze zur Überwindung der Innovationsbarrieren. Technische und regulatorische Barrieren könnten nach der Angabe von Befragten durch Partnerschaften bspw. in Form von Konsortien oder marktwirtschaftlichen Regulierungen überwunden werden. Bezogen auf menschliche Barrieren werden u.a. Informations- und Qualifikationskampagnen genannt (Berücksichtigung der Sorgen von Mitarbeitern und weiterer Stakeholder sowie angepasster sorgenspezifischer Aufklärung). Dies umfasst gesundheitliche Bedenken sowie solche hinsichtlich des

Datenschutzes. Weiterhin sollen Ängste vor Arbeitsplatzverlust durch eine Kultur des kontinuierlichen Lernens in der Organisation und für die Mitarbeiter reduziert werden, sodass diese für neue Tätigkeitsfelder qualifiziert sind. Weiterhin ist die Notwendigkeit des technischen Fortschrittes für das Unternehmen zu erklären.

Bestehende Innovationsbarrieren können entsprechend der Wahrnehmung der Teilnehmenden des Forschungsprojektes 5G Industriestadtpark Troisdorf durch die Faktoren der Kooperation, Aufklärung und Weiterbildung in einem gezielten Change-Management-Prozess überwunden werden.

Der Übergang zu einem neuen Geschäftsmodell, stellt Unternehmen vor eine schwierige Herausforderung. Die Implementierung eines neuen Geschäftsmodells erfordert deshalb ein gezieltes Change-Management.

Das Change-Management-Modell nach (Lewin, 1951, 1947) umfasst einen 3-stufigen Change-Management Prozess. Phase eins (Auftauen) zielt auf die Vorbereitung der Veränderung ab. Die Kommunikation der Pläne spielt dabei eine ebenso große Rolle wie die Mobilisierung der betroffenen Akteure zur Unterstützung. Phase zwei (Verändern) bringt die geplanten Veränderungen in die Umsetzung, um den Zielzustand herzustellen. Phase drei (Stabilisieren) verfestigt den neuen Zustand schließlich dauerhaft im Unternehmen.

Aufbauend auf dem Modell Lewins identifiziert Kotter (1995) die acht häufigsten Fehler des Change-Managements. Aus diesen Fehlern leitet er einen 8-stufigen Prozess zur Durchführung eines fundamentalen Wandels ab:

- **Stufe 1:** Gefühl der Dringlichkeit des Wandels bei den Mitarbeitern etablieren.
- **Stufe 2:** Ein Team bilden, das in der Lage ist, den Wandel voranzutreiben. Dabei ist eine geeignete Zusammenstellung des Teams und das Vertrauen der Teammitglieder untereinander entscheidend.
- **Stufe 3:** Vision und Strategien des Wandels entwickeln.
- **Stufe 4:** Vision und Strategien kommunizieren, um Unterstützung auf breiter Basis zu erlangen.
- **Stufe 5:** Ermächtigung der Mitarbeiter zur Partizipation am Wandel (Ausrichtung der Organisationsstruktur an der Vision, Angebot von Weiterbildungsmöglichkeiten).
- **Stufe 6:** Generierung kurzfristiger Gewinne, um die richtige Dynamik zu schaffen.
- **Stufe 7:** Den Prozess mit weitergreifenden Wandelprojekten neu beleben, die Veränderungen vorantreiben, die zuvor noch nicht umsetzbar waren.
- **Stufe 8:** „Stabilisieren“ der Festigung der soeben durchgesetzten Veränderungen im Unternehmen.

Die folgende Abbildung 37: Vergleich der Change-Management-Modelle in Anlehnung an (Lewin, 1951, 1947) und Kotter (1995) zeigt den Vergleich der beiden Change-Management-Prozesse.

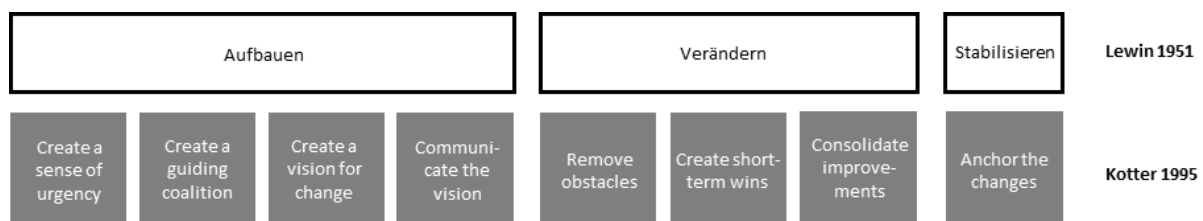


Abbildung 37: Vergleich der Change-Management-Modelle in Anlehnung an (Lewin, 1951, 1947) und Kotter (1995)

IT-Risiko-Management

Da es sich in Verbindung mit den entwickelten Use-Cases um digitale Geschäftsmodelle handelt, bei denen kritische Daten erfasst und weiterverarbeitet werden, entwickelte das TIM ein IT-Risiko-Management Modell für den IndustrieStadtspark. So sollte unter anderem der Barriere Wissensabwanderung begegnet werden. Neben umfassender Literaturrecherche wurden 10 Interviews mit den Konsortialpartnern durchgeführt sowie Daten mithilfe eines Fragebogens erfasst, wodurch die wahrgenommenen Wahrscheinlichkeiten der jeweiligen Risiken ermittelt wurden.

Die fortschreitende Digitalisierung führt zu einer verstärkten horizontalen und vertikalen Vernetzung, steigert jedoch gleichzeitig die Anfälligkeit für Sicherheitsbedrohungen, insbesondere im Bereich der Informationstechnologie (IT) (Knoll and Strahinger, 2018). Die Abhängigkeit von digitalen Systemen macht Unternehmen verwundbar gegenüber möglichen Konsequenzen, wie beispielsweise rechtlichen oder wirtschaftlichen Schäden durch nicht verfügbare Systeme, Datenpannen oder gezielte Manipulation. Ein Ausfall in einer Just-in-time Fertigung aufgrund von Systemproblemen kann zu Produktionsstillständen führen, wenn kritische Ressourcen fehlen. In diesem Kontext ist die Informationssicherheit von entscheidender Bedeutung, um Unternehmensgeheimnisse zu schützen und einen zuverlässigen Geschäftsbetrieb sicherzustellen (Hanschke, 2019). Die wichtigsten Sicherheitsprobleme, mit denen 5G-Netzbetreiber derzeit konfrontiert sind, umfassen Schwächen in der Lieferkette, Spionage von Unternehmensgeheimnissen im Zusammenhang mit 5G-Technologie, groß angelegte Bereitstellung von Edge-Geräten und Sicherheitslücken in Netzwerkfunktionen wie dem Netzwerkslicing (Mohan et al., 2022).

Die ISO hat eine Norm mit der Bezeichnung ISO 31000 veröffentlicht, um das Risk Management zu standardisieren. Dieser ISO-Standard formuliert allgemeine Richtlinien, Prinzipien und Leitlinien für das Risikomanagement. ISO 31000 unterstützt Unternehmen bei der Einrichtung ihres eigenen Risikomanagementsystems. Es legt den Schwerpunkt auf die Einführung eines strukturierten und konsistenten Ansatzes für das Risikomanagement, unabhängig von der Größe oder Art des Unternehmens. Das Risiko Management nach ISO 31000 basiert auf den drei Komponenten, Grundsätze, Rahmenwerk und Prozess, welche wiederum aus einzelnen Teilsegmenten bestehen.

Zudem relevant ist noch die ISO 31010, die sich auf die Bereitstellung von Methoden und Techniken des Risikoassessment konzentriert. Sie basiert auf dem internationalen Rahmenwerk für Risikomanagement, der ISO 31000. Ziel dieser Norm ist es, Organisationen Instrumente zur Verfügung zu stellen, die es ermöglichen, Risiken systematisch zu identifizieren, analysieren und bewerten (ISO und IEC 2019). Das Rahmenwerk wird in folgenden Bereichen genutzt:

- Identifikation von Risiken
- Ermittlung von Ursachen, Quellen und Treibern von Risiken sowie dem Grad der Exposition
- Untersuchung der Gesamteffektivität der Kontrollen und der Effekte der vorgeschlagenen
- Risikobehandlungen
- Verständnis von Konsequenzen und Wahrscheinlichkeiten
- Analyse von Wechselwirkungen und Abhängigkeiten
- Bereitstellung einer Risikomessung

Auf Basis entsprechender Normen und Frameworks, passend zu digitalen Geschäftsmodellen und 5G Technologie, wurde eine gezielte Methodik zur Erfassung von Risiken im Projekt IndustrieStadtspark Troisdorf und anderer 5G basierter Geschäftsmodelle entwickelt (siehe Abbildung 38).

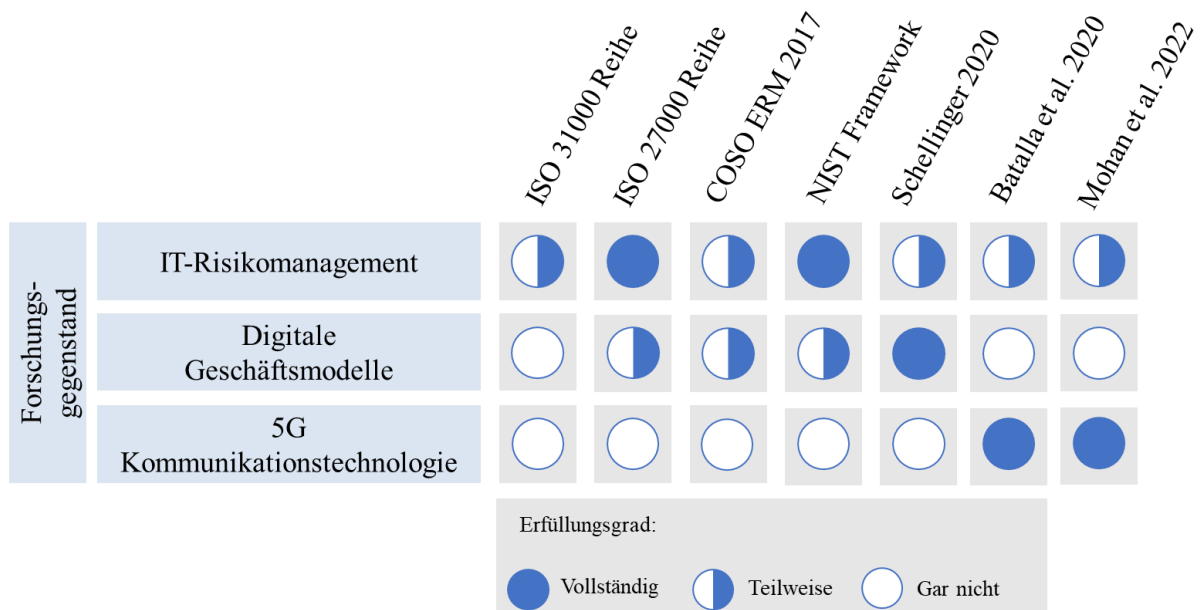


Abbildung 38: Erfüllunggrad der Normen und Frameworks

Kernergebnisse

Die Literaturanalyse ergab 15 potenzielle Risiken. Durch die Experteninterviews wurden acht weitere identifiziert. Eine anschließende Fragebogenstudie lieferte die wahrgenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie den potenziellen Schweregrad in ihren Auswirkungen. Einen Überblick gibt Tabelle 8.

Risiko-Nr.	Risikoquelle	Mittlere Wahrscheinlichkeit (1 - 5)	Mittlere Auswirkung (1 - 5)
1	Cybersecurity (Datenlecks)	3,0	4,2
2	Cybersecurity (unbefugter Zugriff)	2,9	4,6
3	Cybersecurity (Malware)	3,2	4,7
4	Cybersecurity (Attacken)	3,7	4,8
5	Netzwerk und Konnektivität (Ausfälle)	3,1	3,3
6	Netzwerk und Konnektivität (Latenz)	2,9	2,6
7	Netzwerk und Konnektivität (Unterbrechungen)	3,5	3,0
8	Drittanbieter (Verfügbarkeit)	2,5	3,5
9	Drittanbieter (Datensicherheit)	2,8	3,2
10	Software (Patching)	3,0	3,2

11	Software (Schwachstellen in der Anwendungs- oder Netzwerksoftware)	2,6	2,7
12	Zugriffsmanagement (unzureichende Verwaltung von Zugriffsrechten)	3,2	3,0
13	Infrastruktur (Schnittstellen)	3,2	2,8
14	Organisation (Risk Ownership)	3,3	2,5
15	Organisation (Prozessorganisation)	3,3	2,3
16	Cybersecurity (Fehlleitung)	2,5	3,3
17	Infrastruktur (Backbone Verkabelung)	2,2	3,7
18	Infrastruktur (Umwelteinflüsse)	3,0	3,2
19	Netzwerk und Konnektivität (Bandbreite)	3,0	2,8
20	Software (veraltete Software)	2,7	2,8
21	Zugriffsmanagement (Verlust von Hardware)	3,0	3,3
22	Zugriffsmanagement (Account und Passwortmanagement)	3,0	3,8
23	Organisation (Risk Awareness)	2,8	3,2

Tabelle 8: 5G Risiko-Management

Insbesondere die Risiken 1 bis 4 weisen eine hohe angenommene Auswirkung auf die IT auf. Diese gehören zur Kategorie Cybersecurity.

Des Weiteren wurden Möglichkeiten zur Risikobehandlung evaluiert. Tabelle 9 gibt eine Übersicht darüber, welche Behandlungsmöglichkeit welchen Risiken zugeordnet wurden. Aufgrund der Variation der Ergebnisse wurde keine direkte Auswahl vorgenommen, sondern die von der Mehrheit der Befragten favorisierte Behandlungsoption wurde dem jeweiligen Risiko zugeordnet. Hierbei gibt es bei 6 der 23 Risiken keine eindeutige Zuweisung durch eine einfache Mehrheit. Um dies zu berücksichtigen, werden Zwischenkategorien (grau markiert) genutzt. Des Weiteren wird die Antwort „Übernahme“ als einzige und als nicht eindeutig favorisierte Behandlungsoption bei 15 der 23 Risiken und somit in einer erhöhten Häufung genannt. Eine Übernahme der Risiken geht der Definition nach entsprechend mit einer Akzeptanz des Risikos einher.

Behandlungsmöglichkeit	Risiken
Vermeidung	1, 2, 3, 4, 12, 16, 22
Reduktion	-

Übernahme	6, 8, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 23
Transfer	9
Reduktion/Übernahme	5, 7, 10, 15
Reduktion/Übernahme/Transfer	20
Übernahme/Vermeidung	21

Tabelle 9: Auswahl der Risikobehandlung

Geschäftsmodelle der entwickelten Use-Cases

In einem eintägigen Workshop am 29.11.2023 mit 15 Teilnehmern (s. Abbildung 39) wurden die präferierten Geschäftsmodell-alternativen finalisiert. Zum Einsatz kamen hier Methodiken zur Identifizierung von Pain Points und Opportunitäten durch smarte Services sowie Erstellung von Personas auf Organisationslevel. Außerdem wurden die Customer Journeys ganzheitlich in Bezug auf die entwickelten Use-Cases aufgenommen.

Staplerleitsystem

Zentral für das erarbeitete Wertversprechen ist der sicherere und effizientere Ladungstransport. Ein Beispiel aus der Praxis zeigt das Potenzial bei Kuraray: Durch die Optimierung der Prozesse könnten Schäden und Stillstandskosten von über 100.000 € vermieden werden. Dem Kunden wird also mehr Sicherheit für Fahrer und Umgebung sowie ein sinnvollerer Zeitmanagement geboten. Intern ergeben sich zudem bedeutende Mehrwerte. Mit einem Tracking-System lassen sich Schadensfälle präzise nachvollziehen und die Haftungsfrage eindeutiger klären. Darüber hinaus wird der gesamte Prozess der Schadensfeststellung durch die Digitalisierung erheblich erleichtert und beschleunigt (Schadensmanagement).

Sein Kundensegment nimmt ZWi dabei als offen für neue Technologien und Geschäftsmodelle wahr. Aufgrund der teils sehr individuellen Kundenanforderungen setzt ZWi weiterhin auf langfristige, enge, möglichst regionale Kundenbeziehungen. Besonders kostenbewusste Kunden sind dabei nicht interessant, da ZWi weiterhin Qualitätsführerschaft anstrebt.

Als Vertriebskanäle und zur Aufrechterhaltung der Kundenbeziehung sieht ZWi weiterhin persönlichen Kontakt und laufende Serviceangebote als zentral an.

Die Monetarisierung ist über zwei verschiedene Optionen realisierbar: Zum einen über eine Leasing-/Mietrate, hierbei kann ein konstanter Aufschlag für die Nutzungsintensität erhoben werden. Zum anderen ist ein Versicherungsmodell denkbar. Dies ist möglich, da anhand der neu entwickelten Technologien nun der Fahrstil erhoben werden kann. Es können also Rabattmodelle auf Basis des Fahrstils angeboten werden.

5G-Werkzeugkoffer

Zentral für das Wertversprechen der in AP3 entwickelten Technologien ist die Reduzierung des Anlagenstillstands und die Reduzierung der Unsicherheit beim Kunden, wie schwerwiegend ein Problem ist. Die Datenbrille ermöglichen eine sofortige Einschätzung („virtuell vor Ort“), wie schnell das Problem behoben werden kann. Es wird von einer Reduzierung eines Anlagenstillstands von durchschnittlich 5 Tagen auf 1 bis 2 Tage ausgegangen.

Als Vertriebskanäle und zur Aufrechterhaltung der Kundenbeziehung sieht Kuraray weiterhin persönlichen Kontakt und Besucher vor Ort in Troisdorf als essenziell an.

Hinsichtlich der Kostenstruktur und des Kundensegments nimmt Kuraray wahr, dem internationalen Preisdruck zukünftig immer weniger standhalten zu können und strebt daher an, sich zukünftig noch mehr über Qualität und Service zu differenzieren. Durch die Entwicklungen in AP3 ist es einerseits möglich, Reisekosten zu reduzieren und eine besonders intensive (und sofortige) Betreuung von Kunden zu bepreisen.

Hinsichtlich der Revenue Streams steht daher eine Segmentierung der Kunden im Fokus. Als Basisprodukt können Kurarays Kunden das gewünschte Produkt, beispielsweise die Folie, erstehen. Services wie weitreichende Beratung oder (sofortige) Problemanalyse bzw. -behebung müssen hinzugebucht bzw. separat erworben werden (Add on). Denkbar ist auch ein Punktesystem: Beim Kauf erhält der Kunde beispielsweise 10 Punkte, die verbraucht werden, wenn Services in Anspruch genommen werden. Danach greift ein pay-per-use Geschäftsmodell hinsichtlich der Services. Das allumfassendste Modell erhält ein Kunde, wenn er sich für das Premiummodell entscheidet. Für Premiumkunden fungiert Kuraray als ganzheitlicher Solution Provider. Kuraray bietet diesen maßgeschneiderte Lösungen, inkludierte Beratungsleistungen und ständige Verfügbarkeit an. Mit diesem All-Inclusive Paket erhalten Kurarays Kunden höchste Priorität und Convenience.



Abbildung 39: Workshop "Designing Digital Business Models" am 29.11.2023

AP 7 – Dissemination

Einleitung

Die Troisdorfer Wirtschaftsförderungs- und Stadtmarketing GmbH (TROWISTA) war als einer der sieben Projektpartner für das Arbeitspaket 7 (AP7) verantwortlich, welches die Dissemination des Projekts in enger Abstimmung mit allen Projektbeteiligten umfasste. Die zentralen Aufgaben dieses Arbeitspakets waren:

1. Veröffentlichung der Projektergebnisse auf öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen wie Konferenzen, Workshops, Messen sowie in der Presse.
2. Demonstration der jeweils entwickelten Prototypen und des 5G-Campusnetzes.
3. Organisation eigener öffentlichkeitswirksamer lokaler und regionaler Events.
4. Aufbau und Betrieb eines digitalen Auftritts, insbesondere einer Projektwebsite, sowie die Veröffentlichung von Inhalten über Social-Media-Kanäle.
5. Austausch, Vernetzung und Zusammenarbeit mit relevanten Akteuren außerhalb des Konsortiums, einschließlich des Dialogs mit anderen 5G-Förderprojekten.

Mit diesen Maßnahmen verfolgte die TROWISTA das Ziel, das Projekt sowohl einem Fachpublikum als auch Akteurinnen und Akteuren aus Wirtschaft und Forschung nahezubringen. Darüber hinaus sollte ein breiteres Bewusstsein für die Potenziale der 5G-Technologie geschaffen und deren Akzeptanz in der Gesellschaft gefördert werden.

Durch ihre Expertise in den Bereichen Öffentlichkeitsarbeit und Networking sollte die TROWISTA das Projekt nicht nur regional und überregional sichtbar machen, sondern auch die Bedeutung solcher Technologien für die Industrie hervorheben. Gleichzeitig sollte der Wirtschaftsstandort Troisdorf als Vorreiter in der praktischen Umsetzung von 5G-Campusnetzen positioniert werden.

Bis März 2021 wurde das Arbeitspaket 7 von Herrn Julian Keens geleitet. Im Mai 2021 übernahm Herr Alexander Miller diese Verantwortung im Rahmen eines personellen Wechsels. In der Anfangsphase lag der Schwerpunkt auf der strategischen Neuausrichtung des Arbeitspakets und der Festlegung der nächsten Projektschritte. Dabei wurde die Einarbeitung in bestehende Strukturen, der Aufbau von Kontakten zu relevanten Akteuren und Projektpartnern sowie die Recherche wesentlicher Hintergrundinformationen priorisiert.

Aktivitäten und Maßnahmen

Die erfolgreiche Dissemination des Projekts „5G Troisdorf“ basierte auf einer Kombination aus strategisch geplanten grundlegenden Maßnahmen und gezielten Aktivitäten. Während grundlegende Maßnahmen – wie die Entwicklung einer Kommunikationsstrategie und eines Corporate Designs – das Fundament der Öffentlichkeitsarbeit bildeten, wurden diese durch punktuelle Aktivitäten wie Messeauftritte und lokale Events ergänzt, welche die Kommunikation und Sichtbarmachung des Projekts gezielt vorangetrieben haben.

Im Folgenden werden zunächst die grundlegenden Maßnahmen vorgestellt, gefolgt von einer chronologischen Darstellung einzelner Aktivitäten und Meilensteine, die die Fortschritte und Erfolge des Projekts im Zeitverlauf dokumentieren.

Grundlegende Maßnahmen und Strategie

Zu den initialen Aufgaben gehörte die Entwicklung einer umfassenden **Kommunikationsstrategie**, die die Leitlinien für sämtliche Disseminationsmaßnahmen festlegte. Diese Strategie definierte Zielgruppen, Kommunikationsziele sowie die genutzten Kanäle und Formate. Sie diente als

strategischer Rahmen, um die Projektergebnisse gezielt einem Fachpublikum sowie der breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Ein wesentlicher Bestandteil der Strategie war die Schaffung eines einheitlichen **Corporate Designs**, das in Zusammenarbeit mit dem Dienstleister Camedien entwickelt wurde. Dieses umfasste das Projektlogo, Farbschemata und Schriftarten, die konsequent in allen Veröffentlichungen und Medien eingesetzt wurden, um eine klare Wiedererkennbarkeit und ein professionelles Erscheinungsbild zu gewährleisten.



Abbildung 40: Das finale Projektlogo im Corporate Design

Ein zentraler Baustein der Öffentlichkeitsarbeit war der Aufbau der Projektwebsite (www.5gtroisdorf.de), die im August 2021 online ging. Die technische Umsetzung erfolgte durch den Dienstleister Mediata, während AP7 für die regelmäßige Pflege und Aktualisierung zuständig war. Die Website diente als zentrale Plattform für die Veröffentlichung von Informationen, Neuigkeiten und Veranstaltungshinweisen. Durch regelmäßige Optimierungen erreichte sie eine hohe Platzierung in den Suchergebnissen und trug nicht nur zur Verbreitung von Inhalten, sondern auch zum Aufbau von Kontakten mit relevanten Akteurinnen und Akteuren bei.

Ergänzend dazu wurde eine Social-Media-Strategie entwickelt. Bestehende Kanäle mit hoher Reichweite, wie die Social-Media-Accounts der Stadt Troisdorf, wurden gezielt genutzt um das Thema für die Bevölkerung zugänglich zu machen. LinkedIn diente als Plattform für Fachinhalte. Passende Hashtags und regelmäßig veröffentlichte Beiträge ermöglichten eine themenspezifische Ansprache und steigerten die digitale Reichweite des Projekts.

Ein Cross-Medialer-Ansatz rundete die Kommunikationsmaßnahmen ab. Regelmäßige Presseartikel wurden über Print- und Online-Medien verbreitet, um das Projekt sowohl lokal als auch regional bekannt zu machen. Begleitend dazu wurden Marketingmaterialien wie Flyer, Poster, Roll-Ups und Merchandise-Artikel erstellt, die auf Veranstaltungen zum Einsatz kamen. Kleidung im Corporate Design, wie Polohemden und Jacken, unterstrich den professionellen Auftritt der Projektpartner.

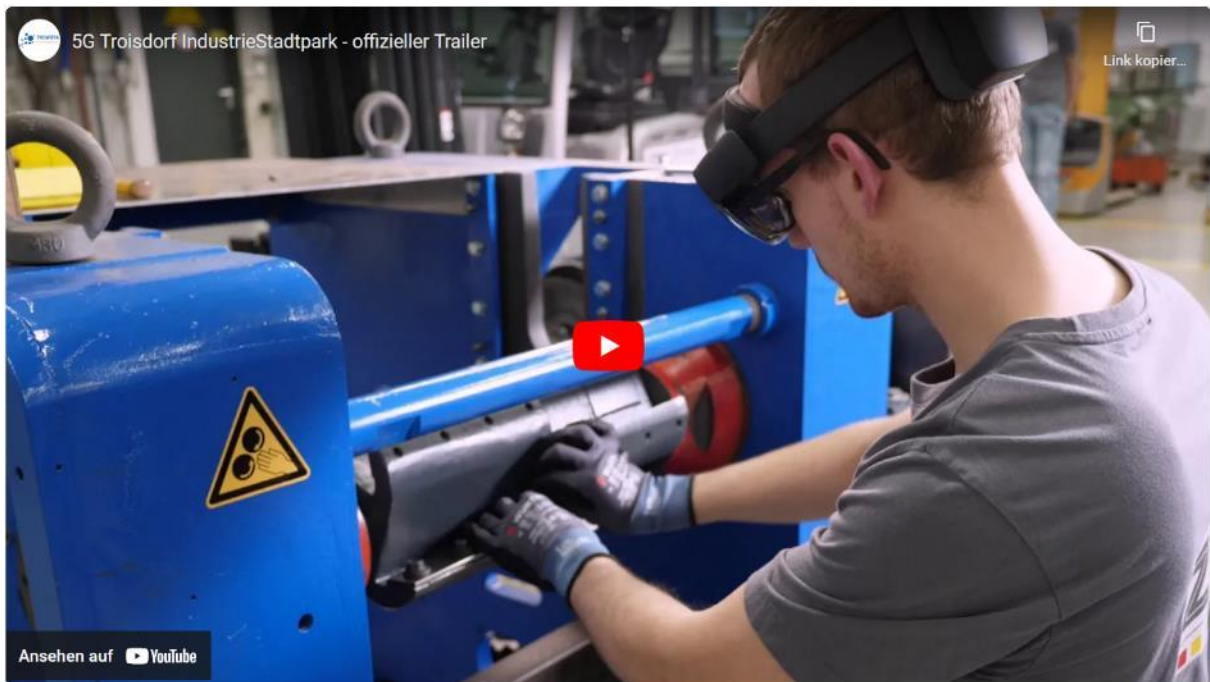


Abbildung 41: 5G Troisdorf IndustrieStadtspark - offizieller Trailer (Online verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=NQq3A7qNt0Y>)

Ein weiterer Baustein war die sukzessive Erstellung von Bild- und Videomaterial. Neben einem professionellen Imagefilm, der in Zusammenarbeit mit handmadefilms entstand, wurden zahlreiche Inhalte wie Grafiken, Fotos und Videos mit internen Ressourcen von AP7 erstellt. Diese flexible und kosteneffiziente Umsetzung ermöglichte es, bedarfsorientiert und zeitnah auf Kommunikationsanforderungen zu reagieren.

Aktivitäten und Meilensteine

Im Projektverlauf wurden auf Basis der geschaffenen Grundlagen und gemäß den Zielen von AP7 folgende Aktivitäten durchgeführt und Meilensteine erreicht, die nach Jahren gegliedert den Projektfortschritt dokumentieren:

2021 – Aufbau und Initialisierung

Im Jahr 2021 lag der Schwerpunkt auf der Schaffung der organisatorischen und technischen Grundlagen für die Disseminationsmaßnahmen. Ein Meilenstein war das Kick-Off-Meeting im März, das die Grundlage für die Zusammenarbeit der Konsortialpartner schuf sowie die darauffolgende Unterzeichnung des Kooperationsvertrags.



Abbildung 42: Projekttreffen 2022 am Schloss Birlinghoven, mit Vertreterinnen und Vertretern seitens Bund und Projektträger

Ein wesentlicher sichtbarer Fortschritt der Öffentlichkeitsarbeit war der Launch der Projektwebsite im August 2021. Mit ihr wurde eine zentrale Plattform geschaffen, die als Anlaufstelle für Informationen und Neuigkeiten diente. Zu diesem Zeitpunkt herrschten aufgrund der Corona-Pandemie besondere Bedingungen, die vor allem die Planung von Veranstaltungen in Präsenz erschwerten. Der Fokus in dieser Phase wurde also vor allem in die Entwicklung einer Strategie und die Erstellung digitaler Inhalte gelegt. Dennoch wurden vorsorglich auch Konzepte für Veranstaltungen und dafür notwendige Materialien bereits geplant und entsprechende Inhalte nach Möglichkeit generiert. So wurden z. B. Evaluierungen, die unter Corona-Konformen Regularien umgesetzt werden konnten, von AP7 medial begleitet und aufgearbeitet.



Abbildung 43: Evaluierung AP 3 – 5G Werkzeugkoffer im November 2021, Teilnehmer testet Prototyp 2022 – Sichtbarkeit und Vernetzung

Im Jahr 2022 wurde eine Intensivierung der öffentlichen Sichtbarkeit des Projekts angestrebt. Die neuen Möglichkeiten, die sich aus den entschärften Regularien hinsichtlich der Corona-Pandemie ergaben, boten die Chance, das Projekt mit hoher Sichtbarkeit zu präsentieren und ein Netzwerk aufzubauen. Dies konnte insbesondere durch die Teilnahme an Events in Präsenz erfolgen, bei denen das Projekt in direkter Interaktion mit den Besucherinnen und Besuchern präsentiert wurde. Dies resultierte in einer signifikanten Steigerung der Sichtbarkeit des Projekts, gleichzeitig wurden wertvolle neue Erkenntnisse gewonnen. Die Teilnahme an lokalen, regionalen sowie nationalen Fachmessen und Veranstaltungen hatten einen maßgeblichen Einfluss auf die Etablierung von „5G Troisdorf“ als Vorzeigeprojekt.

Als Meilensteine sind der Besuch und die Ausstellung auf der „5x5G-Vernetzungsveranstaltung“ in Kaiserslautern, der „hub.berlin 22“ in Berlin sowie der „XR-Week“ in Stuttgart zu nennen. Im Rahmen dieser Veranstaltungen wurde einem Fachpublikum die Verknüpfung von 5G-Technologie mit immersiven Anwendungen präsentiert. Die Teilnahme an Messen und Veranstaltungen dieser Art ermöglichte den Aufbau wertvoller Kontakte zu anderen 5G-Projekten sowie einen konstruktiven Austausch mit relevanten Akteurinnen und Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Forschung. Dadurch konnten neue Impulse gewonnen werden, die in die weitere Projektentwicklung einfließen.



Abbildung 44: (l.) Messestand auf der XR-Week 2022 in Stuttgart. (r.) Eine Messeteilnehmerin testet den Live-Demonstrator auf der hub.berlin 2022 und taucht ab in das „Industrial Metaverse“ von 5G Troisdorf.

Lokale Veranstaltungen wie der Digitaltag 2022 ermöglichten es, die regionale Bevölkerung aktiv einzubinden und die Vorteile der 5G-Technologie in anschaulichen Formaten verständlich darzustellen. So gab es einen Live-Stream in den Studios des Dienstleisters RheinlandAkustik, der auch im Nachgang über den YouTube-Kanal der TROWISTA abrufbar ist.



Abbildung 45: Live-Stream zum Projekt in den Studios von RheinlandAkustik in Troisdorf (Bild: RheinlandAkustik)

2023 - Konsolidierung und neue Schwerpunkte

Im Jahr 2023 wurde der Fokus auf die Konsolidierung der bisherigen Maßnahmen sowie die Erweiterung des Projektschwerpunkts um das Thema „Industrial Metaverse“ gelegt. Der bisherige Mixed-Reality-Use-Case erfuhr durch den neuen Aufhänger einen signifikanten Aufmerksamkeits- und Präsenzschiebung, der sich in einem gesteigerten externen Interesse manifestierte. Dieses äußerte sich in Form von Anfragen für persönlichen Austausch sowie einer Zunahme von Einladungen zu Veranstaltungen und Messen. Des Weiteren ist zu vermerken, dass die Demonstratoren im Projektverlauf stetige Fortschritte gemacht haben, sodass in regelmäßigen Abständen Präsentationen neuer Funktionen erfolgten. Die Verknüpfung von 5G mit immersiven Technologien wie Virtual- und Augmented-Reality ermöglichte die Präsentation der Potenziale dieser Technologie in einer modernen, praxisnahen Weise.

Im ersten Quartal des Jahres 2023 wurde von AP7 ein offizieller Pressetag organisiert, um die Öffentlichkeit und das Fachpublikum stärker in das Projekt einzubinden. Im Rahmen dieser Veranstaltung wurde Journalistinnen und Journalisten die Möglichkeit geboten, die Projektpartner in den Unternehmen vor Ort kennenzulernen, die Prototypen zu erleben und sich mit den Ergebnissen sowie Herausforderungen des Projekts vertraut zu machen. Die Resonanz auf den Pressetag war durchweg positiv und führte zu einer signifikanten Steigerung der medialen Präsenz in regionalen sowie überregionalen Medien. Ein besonderes Ereignis stellte der Besuch des renommierten Wissenschaftsjournalisten Jean Pütz dar. Im Rahmen der Erstellung eines Imagefilms durch den Dienstleister handmadefilms wurde dies ebenfalls dokumentiert, das Interview ist online abrufbar.



Abbildung 46: Bei Projektpartner ZWi stellt das Projektteam im Rahmen des Pressetages 2023 die bisherigen Ergebnisse im Projekt vor. Auch Wissenschaftsjournalist Jean Pütz (r.) ist anwesend.

Weitere Meilensteine im Jahr 2023 bildeten erneut die Teilnahmen und Projektvorstellungen an Fachmessen und Veranstaltungen wie dem Jahresempfang des VDI Kölner BV im DHL Innovation Center, der im Januar den Auftakt für das Jahr 2023 darstellte. Darüber wurde das Projekt im Laufe des Jahres auf der Hannover Messe 2023, den 5x5G-Vernetzungsveranstaltungen in Braunschweig und Stuttgart, der Weltleitmesse für Metallbearbeitung in Hannover (EMO Hannover 2023), der Internationaler Networking Konferenz EJEÄ 2023 am Fraunhofer FIT und der 5G.NRWeek in Essen vorgestellt. Ein besonderer Meilenstein war die Einladung als „Leuchtturmprojekt“ auf den Tag der offenen Tür des BMDV in Berlin. Dieses Event bot ebenfalls die Möglichkeit, das Thema an Bürgerinnen und Bürger zu vermitteln. Zu diesem Zweck wurden weitere Veranstaltungen wie der Frühjahrsempfang des Bürgermeisters in der Stadthalle Troisdorf und der Digitaltag 2023 genutzt. In diesem Jahr organisierte AP7 in der Galerie Troisdorf einen Stand, um das Projekt der Bevölkerung verständlich zu präsentieren. Ziel war es hierbei, Akzeptanz für solche Technologien zu fördern.



Abbildung 47: (l.:) Das Projektteam stellt die Ergebnisse Staatssekretär Stefan Schnorr auf dem offenen Tag des BMDV in Berlin vor. (r.:) Studentische Mitarbeiterin der TROWISTA erklärt einem Besucher der Galerie am Digitaltag 2023 das Projekt

Neben den Events wurden im Jahr 2023 insgesamt acht Pressemitteilungen von AP7 veröffentlicht und für die Verwendung in verschiedenen Kommunikationskanälen aufbereitet. Im Ergebnis des Pressetags wurden vier Artikel in externen Medien publiziert. Des Weiteren koordinierte AP7 erfolgreich Drehterminen für Filmteams der WDR-Lokalzeit und von 3sat NANO, wodurch eine Berichterstattung über das Projekt im öffentlich-rechtlichen Rundfunk ermöglicht wurde. Im digitalen Bereich wurde der Online-Auftritt durch Inhalte zum „Industrial Metaverse“ erweitert, was sowohl die Reichweite als auch das Ranking in den Suchergebnissen signifikant steigerte. Die Verbreitung dieser Inhalte erfolgte über gezielte Social-Media-Kampagnen auf relevanten Plattformen. Abschließend wurde der beauftragte Imagefilm inklusive eines Trailers fertiggestellt und öffentlich zugänglich gemacht.

2024 – Projektabschluss

Mit der Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 30. Juni 2024 rückte im Jahr 2024 die Planung und Durchführung der Abschlussveranstaltung in den Mittelpunkt der Aktivitäten. Diese fand am 13. Juni 2024 in der Stadthalle Troisdorf statt und markierte den erfolgreichen Abschluss des Projektes. Mehr als 90 Gäste aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Kommune nahmen an der Veranstaltung teil. Fachvorträge zu den Projektergebnissen wurden ergänzt durch die Präsentation funktionsfähiger Demonstratoren, darunter ein 5G-basiertes Flottenmanagementsystem und eine Live-Demonstration des „Industrial Metaverse“. Die Abschlussveranstaltung bot nicht nur eine Plattform zur Präsentation der Projektergebnisse, sondern stärkte auch das Netzwerk der beteiligten Akteure. Die durchweg positive Resonanz der Teilnehmenden unterstrich den Erfolg des Projektes.



Abbildung 48: v.l.n.r.: Projektleiter Dr. Leif Oppermann (Fraunhofer FIT), Wolf-Dieter Grönwoldt (TROWISTA), Katharina Gebauer (MdL), Ministerialdirektorin Gertrud Husch (BMDV).



Abbildung 49: Das Konsortium blickt zufrieden auf dreieinhalb Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit und eine gelungene Abschlussveranstaltung zurück. (Bild: fotojuwelier)

Herausforderungen und „Lessons Learned“

Im Folgenden sollen die wichtigsten Herausforderungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse beleuchtet werden.

Herausforderungen im Projektverlauf

Die Corona-Pandemie hat insbesondere die ersten Jahre des Projekts stark beeinflusst. Die Planung und Durchführung von Präsenzveranstaltungen waren nur eingeschränkt möglich, so dass viele ursprünglich geplante Aktivitäten neu überdacht werden mussten. Insbesondere die direkte Interaktion mit relevanten AkteurlInnen und der Aufbau von Netzwerken wurden dadurch erschwert. Um dennoch eine breite Öffentlichkeitswirkung zu erzielen, musste kurzfristig auf digitale Formate wie Livestreams und virtuelle Veranstaltungen ausgewichen werden. Dies erforderte nicht nur technisches Know-how, sondern auch ein hohes Maß an Flexibilität in der Planung und Umsetzung.

Neben den pandemiebedingten Einschränkungen stellte die technologische Komplexität des Projektes eine weitere Herausforderung dar. Um ein tieferes Verständnis für das Projekt zu entwickeln, ist sowohl eine Affinität zu technischen Themen als auch die Bereitschaft, sich in dieses Themenfeld einzuarbeiten, erforderlich. Ohne regelmäßigen Austausch mit den anderen Arbeitspaketen und damit mit allen Projektbeteiligten, sowie Teilnahme an Auswertungen und Meetings ist es kaum möglich, das Projekt insbesondere für die Bevölkerung verständlich aufzubereiten.

Auch der Anspruch, „5G Troisdorf“ als Leuchtturmprojekt in einem stark umkämpften Umfeld anderer 5G-Projekte zu positionieren, erforderte innovative und zielgerichtete Ideen für Kommunikationsmaßnahmen.

Der interne Wechsel in der Projektkoordination von AP7 führte zu zusätzlichem Abstimmungsbedarf und erforderte eine rasche Einarbeitung und Priorisierung der wichtigsten Aufgaben. Gleichzeitig war darauf zu achten, die umfangreichen Maßnahmen im Rahmen der verfügbaren personellen und finanziellen Ressourcen effizient umzusetzen.

Lessons Learned

Die im Rahmen von AP7 umgesetzten oben genannten Maßnahmen haben wesentlich dazu beigetragen, die Sichtbarkeit des Projekts „5G Troisdorf“ zu erhöhen, relevante Zielgruppen anzusprechen und die gesteckten Ziele zu erreichen. Ein zentrales Ziel von AP7 war es, ein breites Publikum – von der Fachwelt bis hin zur interessierten Öffentlichkeit – für die Potenziale der 5G-Technologie zu sensibilisieren. Dieses Ziel wurde durch eine Kombination aus digitalen und persönlichen Kommunikationsmaßnahmen erfolgreich erreicht. Im Folgenden sind die Erfolgsfaktoren aus Sicht von AP7 aufgelistet:

1. **Cross-Medialer Ansatz:** Die Nutzung verschiedener digitaler und analoger Kanäle, darunter die Website, Social-Media und Printmedien, ermöglichte eine gezielte Ansprache unterschiedlicher Zielgruppen und führte zu einer Verankerung des Projektnamens.
2. **Agiles Arbeiten durch Bordmittel:** Die Erfahrungen aus dem Projekt haben gezeigt, wie wichtig Flexibilität und Agilität in der Öffentlichkeitsarbeit sind. Die kurzfristige Umstellung auf digitale Kommunikationsmaßnahmen und die kontinuierliche Anpassung der Kommunikation an Feedback und neue Rahmenbedingungen erwiesen sich als entscheidend für den Erfolg. Die interne Erstellung von Bild- und Videomaterial sowie Grafiken ergänzt durch den Einsatz von externen Dienstleistern bei Bedarf, trug zu einem flexiblen und kosteneffizienten Arbeiten bei. So konnten Inhalte schnell und mit wenig Abstimmungsbedarf erstellt und an aktuelle Entwicklungen angepasst werden. Diese Agilität war besonders bei der medialen Begleitung von Veranstaltungen ein entscheidender Vorteil.
3. **Persönlicher Kontakt und Netzwerkarbeit:** Die Teilnahme als Gast und Aussteller an Veranstaltungen und Messen hatte eine zentrale Bedeutung für die positive Wahrnehmung des Projektes. Darüber hinaus konnte ein Netzwerk aufgebaut werden, das den direkten Austausch mit Fachleuten und potenziellen Partnern ermöglichte. Von besonderer Bedeutung waren darüber hinaus die Kontakte zu lokalen Akteuren, die durch die Aktivitäten der TROWISTA entstanden. Als Wirtschaftsförderung besuchte die TROWISTA während der gesamten Projektlaufzeit im Rahmen ihrer regulären Tätigkeit Unternehmen und hatte das Projekt immer als Thema auf der Agenda. Daraus ergaben sich teilweise Kooperationen zwischen den Projektpartnern und lokalen Unternehmen, wie z.B. der S.E.A. Science & Engineering Applications Datentechnik GmbH, die das Projekt voranbrachten.
4. **Einbindung des Konsortiums:** Die Einbindung der Projektpartner und der regelmäßige Austausch waren für die Öffentlichkeitsarbeit von zentraler Bedeutung. Insbesondere die Projekttreffen, sowohl digital als auch vor Ort, führten zu einem besseren Verständnis und zur Erreichung der gemeinsamen übergeordneten Projektziele. Ein weiterer wesentlicher Vorteil war, dass viele Termine und Veranstaltungen gleichzeitig wahrgenommen werden konnten. AP7 hat die Inhalte der Projektpartner entsprechend aufbereitet und verwertet und die Projektpartner angeregt, auch über ihre eigenen Kanäle zu berichten.

Zusammenfassung und Fazit

Das Arbeitspaket „AP7 - Dissemination“ war ein zentraler Bestandteil des Projekts „5G Troisdorf“ und hat wesentlich dazu beigetragen, die Ergebnisse und Potenziale von 5G-Technologien einer breiten Öffentlichkeit sowie interessiertem Fachpublikum zugänglich zu machen. Durch eine Kombination aus strategisch geplanten Maßnahmen und gezielten Aktivitäten wurde die Sichtbarkeit und Wahrnehmung des Projekts auf lokaler, regionaler und bundesweiter Ebene gestärkt.

Grundlegende Maßnahmen wie die Entwicklung eines Corporate Designs und einer Kommunikationsstrategie schufen eine solide Basis für die Öffentlichkeitsarbeit. Ergänzt durch gezielte

Aktivitäten - von Messeauftritten über lokale Veranstaltungen bis hin zur Nutzung digitaler Formate - konnte das Projekt erfolgreich präsentiert und in den Fokus relevanter Akteure gerückt werden. Der Aufbau einer Projektwebsite, die Nutzung von Social-Media-Kanälen und die Veröffentlichung regelmäßiger Pressemitteilungen ermöglichten eine effektive Ansprache unterschiedlichster Zielgruppen.

Trotz Herausforderungen wie pandemiebedingten Einschränkungen oder personellen Veränderungen konnte das AP7 flexibel und effizient auf Veränderungen reagieren. Die Nutzung digitaler Kommunikationsformate, der enge Austausch mit den Konsortialpartnern und die Einbindung externer Dienstleister trugen wesentlich zur Zielerreichung bei. Besonders hervorzuheben ist die agile und ressourceneffiziente Arbeitsweise, die es ermöglichte, auch mit begrenzten Mitteln eine hohe Qualität der Maßnahmen sicherzustellen.

Das Arbeitspaket AP7 hat nicht nur zur erfolgreichen Vermarktung des Projektes beigetragen, sondern auch wichtige Erkenntnisse für zukünftige Projekte generiert. Die gewonnenen „Lessons Learned“ unterstreichen die Bedeutung von Flexibilität, medienübergreifendem Arbeiten und einer starken Netzwerkpflege. Diese Erfahrungen bilden eine wertvolle Grundlage für die Konzeption und Umsetzung ähnlicher Initiativen in der Zukunft. Mit dem Abschluss von „5G Troisdorf“ ist es gelungen, Troisdorf als Vorreiterstandort für innovative 5G-Technologien zu positionieren. Das Projekt hat gezeigt, wie technologische Innovationen und praktische Anwendungen zusammenwirken können, um die digitale Transformation in der Industrie voranzutreiben. Das positive Feedback aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sowie die Resonanz in der Öffentlichkeit belegen den Erfolg des Arbeitspaketes und des Gesamtprojektes.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Erfahrungen und Ergebnisse des Arbeitspaketes über die Projektlaufzeit hinaus wirken. Auch nach Projektende erhält die TROWISTA regelmäßig interessierte Anfragen zum Projekt und führt Gespräche dazu. Übergeordnetes Ziel ist es dabei, das Netzwerk weiter auszubauen und mögliche Synergien für zukünftige Projekte oder Kooperationen zwischen Unternehmen, Forschung und Wirtschaftsförderung zu schaffen.

Chronologie

Im Folgenden findet sich eine chronologische Auflistung der Meilensteine sowie Bilder und Grafiken. Weitere Artikel und eine Galerie zum Projekt findet sich ebenfalls auf der Projektwebsite www.5gtroisdorf.de.

Aktivitäten und Meilensteine

19.03.2021: Kick-Off-Meeting der Konsortialpartner

20.05.2021: Unterzeichnung des Kooperationsvertrages über das Projekt zusammen mit allen Konsortialpartnern

25.05.2021: Projekttreffen (Online)

30.08.2021: Launch der Website www.5gtroisdorf.de

17.11.2021: Vortrag auf dem Industrial Radio Day 2021¹⁹

15.03.2022: Evaluierung der Demonstratoren

24.03.2022: Konsortialtreffen beim Fraunhofer FIT Schloss Birlinghoven

¹⁹ <https://www.5gtroisdorf.de/news/erfahrungen-aus-der-planung-und-beschaffung-zweier-5g-campusnetze>

[illegible]

22.10.2022: Zwischentreffen am Fraunhofer
FIT

A photograph of a worker in a white shirt operating a large blue industrial machine, likely a lathe or mill, in a factory setting. The machine is in the foreground, and the worker is standing behind it, looking down at the workpiece. The background shows a typical industrial environment with various tools, equipment, and a large open space.

12.2022: Evaluierung bei ZWi



19.01.2023 – Aussteller auf dem
Jahresempfang des VDI Kölner BV im DHL
Innovation Center



10.03.2023 – Pressetermin und Besuch von
Wissenschaftsjournalist Jean Pütz



15.03.2023 – Aussteller auf dem
Frühjahresempfang des Bürgermeisters in
Troisdorf



12.04.2023 – Beitrag bei WDR Lokalzeit Bonn

23.04.2023 – Projektvorstellung und
Aussteller auf der Hannover Messe 2023²⁰



07.06.2023 – Veröffentlichung eines
Imagefilms und Projektrailers²¹

09.06.2023 – Veröffentlichung eines
Interviews mit Wissenschaftsjournalist Jean
Pütz²²



²⁰

<https://www.iuk.fraunhofer.de/de/themen/thema-metaverse.html>

²¹

<https://www.youtube.com/watch?v=Qmvphz11kv>

[Q&list=PLFXVmpvzzAkpVFr5G5i7RtPxT9SYtCH91&index=4](https://www.youtube.com/watch?v=RRcvisImfcM)

²²

<https://www.youtube.com/watch?v=RRcvisImfcM>

19.06.2023 – Aussteller im Rahmen des Digital Tages 2023 in der Galerie in Troisdorf



21.06.2023 – Aussteller auf der 5x5G-Vernetzungsveranstaltung in Braunschweig



12.07.2023 – Präsentation und Diskussion bei Bundesminister Dr. Wissing (s. Tabelle 11)



19.08.2023 – Aussteller als Leuchtturmprojekt des BMDV am Tag der offenen Tür in Berlin



20.09.2023 – Vortrag auf der Weltleitmesse für Metallbearbeitung in Hannover (EMO)



24.10.2023 – Vortrag auf Internationaler Networking Konferenz EJE 2023 am Fraunhofer FIT



16.11.2023 – Projektvorstellung auf der 5G.NRWeek in Essen



12.12.2023 – Evaluation und Dreharbeiten für einen Bericht bei 3sat NANO



29.11.2023 – Speaker auf der 5x5G-Vernetzungsveranstaltung in Stuttgart



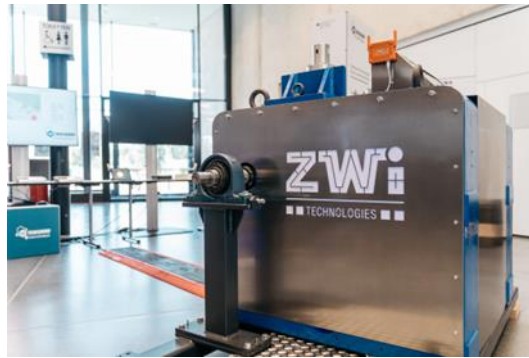
23.04.2024 – BDI Industrial Metaverse Summit und Panel auf der TechTransfer Stage der Hannover Messe 2024



30.11.2023 – Vermessung und Test des 5G-Netzes



13.06.2024 – Abschlussveranstaltung



Flyer





Info / About

Die Leistungsmerkmale des zukünftigen 5G-Standards erforscht das vom BMDV geförderte Konsortialprojekt mit sieben Partnern in einer Kombination aus konzeptioneller Forschung und modernster Technologie anhand von industriellen Anwendungen im Campusnetz des IndustrieStadtarks Troisdorf.

Unter dem Leitgedanken des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 arbeiten die Akteure daran, Prototypen zu entwickeln, denkbare 5G-Geschäftsmodelle zu identifizieren und gleichzeitig in arbeits- und organisationsbezogene Kontexte zu stellen, in denen insbesondere der Mensch im Wirkungsgelände zwischen sich künftig verändernden Unternehmensstrukturen und kommenden Technologieentwicklungen nicht verloren geht, sondern diese mitgestaltet.



www.5gtroisdorf.de



Kooperationspartner
DFG



kuraray



ZWI



Fraunhofer



VOI/VOIE IT



TROISTA



ILAG



TroiLine



FORTW



USE CASES

5G Werkzeugkoffer mit Mixed Reality

Der zweite Anwendungsfall, der im IndustrieStadtpark erprobt wird, ist der 5G-Werkzeugkoffer. Dieser symbolische Werkzeugkoffer ist als umfassendes Servicepaket aus Hard- und Software zur Ergänzung von Kommunikationsprozessen mit entfernten Gesprächspartnern gedacht. Mit so genannten Wearables können komplexe Fernwartungsprozesse durchgeführt werden, bei denen der Experte sich virtuell vor Ort aufhalten kann. Denkbar sind zum Beispiel Feeds über entsprechende Daten, die auf Smartwatches oder Tablets übertragen werden, oder Mixed-Reality-Technologien mit Smart Glasses, die das Geschehen noch immersiver vermitteln. Das ermöglicht dem Servicetechniker, sich einen Überblick über die Situation zu verschaffen, wobei die Reparatur unter Anleitung eines anwesenden Mitarbeiters durchgeführt wird. Der 5G-Werkzeugkoffer schafft ein modulares Instrument, das sowohl für den Experten als auch für den Kunden große Einsparungen bedeuten kann, da die Planung und Durchführung von lokalen Diensten aus der Ferne wesentlich schneller erfolgen kann. Mit der Markteinführung der 5G-Technologie können erstmals die anspruchsvollen Bandbreiten- und Latenzanforderungen von Smart-Maintenance-Lösungen, die Mixed Reality nutzen, erfüllt werden.





Leitsystem für Gabelstapler

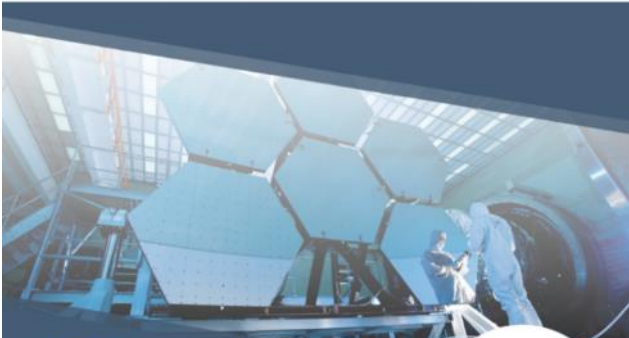
Mit einem Leitsystem für Gabelstapler macht es sich der IndustrieStadtpark zum Ziel, den fundamentalen Umbruch zur fünften Mobilfunkgeneration mitzugestalten. Im Rahmen des Projekts werden Gabelstapler mithilfe von Mikrocomputern und 5G-Schnittstellen für datenintensive Nutzungsszenarien ausgerüstet, um so das Potential fortschrittlicher Technologien ausschöpfen zu können. Das Echtzeit-Gabelstapler-Leitsystem sieht die Möglichkeit vor, die Position von Fahrzeugen zu lokalisieren, diese zu steuern und Einsatz zu planen sowie eine Verbindung zu mobilen Datenerfassungsgeräten herzustellen. Dadurch kann erreicht werden, dass eine optimierte Auslastung der Stapler erfolgt und Leerfahrten weitestgehend vermieden werden können. Zusätzlich sollen integrierte Kamerasysteme in Zukunft den Be- und Entladevorgang in Bezug auf den jeweiligen Transportauftrag aufzeichnen können. Ferner wird die Möglichkeit geschaffen, das Gewicht und die Dimensionen des Ladeguts zu erfassen und die Lieferscheine flexibel zu priorisieren. Ein Sensorsystem zur vorbeugenden Wartung der Fahrzeuge, das es ermöglicht, Fehler oder Verschleiß frühzeitig zu diagnostizieren und rechtzeitig Reparaturmaßnahmen zu ergreifen und Unfälle zu vermeiden ist ebenfalls geplant.




Pressekontakt:
Alexander Müller
miller@troisdorf.de
www.5gtroisdorf.de

Poster





USE CASES

Mixed Reality Suitcase



Leitsystem für Gabelstapler





www.5gtroisdorf.de



Kooperationspartner
DFG



kuraray



ZWI



Fraunhofer



VOI/VOIE IT



TROISTA



ILAG



TroiLine



FORTW

Liste der Veröffentlichungen

Jahr	Titel	Beteiligte Arbeitspakete	Referenz
2021	Towards a portable worker oriented solution for 5G and mixed reality supported maintenance	AP3, AP5	(Uzun et al., 2021)
2021	Fernüberwachung mit virtueller Datenbrille: 5G-Anwendungen für die Folienproduktion im Praxistest	AP3	(Stenzel, 2021)
2022	In meinen Koffer packe ich... Soziotechnische Systemgestaltung nach dem MTO-Prinzip am Beispiel 5G-Technologie	AP3, AP5	(Altepost et al., 2022)
2022	There's more than one metaverse	AP1, AP3, AP5	(Buchholz et al., 2022)
2023	Hochgestapelt oder tragfähig für alle Beteiligten? Sensorik am Gabelstapler und die Interessen der Stakeholder	AP2, AP5	(Bau et al., 2023)
2023	Industrial Metaverse: Supporting remote maintenance with avatars and digital twins in collaborative XR environments	AP3, AP5	(Oppermann et al., 2023a)
2023	Industrial Metaverse? Human-Centred Design for Collaborative Remote Maintenance and Training Using XR-Technologies	AP3, AP5	(Oppermann et al., 2023b)
2023	Building Industrial Metaverse: Technical Challenges of Real- World Collaborative XR Application Development	AP3, AP5	(Uzun et al., 2023)
2024	"Real impact": Challenges and opportunities in bridging the gap between research and practice – Making a difference in industry, policy, and society. A German VR/AR-Research Perspective	AP1, AP3, AP5	(Dwivedi et al., 2024)
2024	Open RAN: A Concise Overview	AP4	(Wani et al., 2024a)
2024	Security Vulnerabilities in 5G Non-Stand-Alone Networks: A Systematic Analysis and Attack Taxonomy	AP4	(Wani et al., 2024b)
2025	Self-Reported Trust and Control: XR Remote Collaboration between Machine Experts and Production Workers	AP3, AP5	<i>under review</i>

Tabelle 10: Liste der Veröffentlichungen

Pressemitteilungen

Das Projekt hat über seine Webseite, den Presseverteiler der TROWISTA, sowie über den Presseverteiler von Fraunhofer FIT verschiedene Meldungen veröffentlicht. Ebenso wurde über das Projekt auf weiteren Verteilern, wie 5g.nrw, sowie auch beim BMDV berichtet.

Im Folgenden findet sich eine Auswahl. Alle News auf <https://www.5gtroisdorf.de/news>

Datum	Titel	URL
02.02.21	Troisdorfer Unternehmen erproben 5G-Technologie	https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/21-02-02_troisdorfer-unternehmen-erproben-5g-technologie.html
17.08.22	5G Troisdorf auf der hub.berlin 22	https://www.5gtroisdorf.de/news/5g-troisdorf-auf-der-hub.berlin-22
31.01.23	Presseeinladung: Industrial Metaverse zum Anfassen	https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/23-01-31_presseeinladung_industrial-metaverse-zum-anfassen.html
12.07.23	Bundesdigitalminister diskutiert mit 100 Expertinnen und Experten mögliche Anwendungsfelder immersiver Technologien Wissing: „Deutschland zum besten Standort für neue Technologien machen“	https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2023/072-wissing-metaverse-dialog.html
16.08.23	»5G Troisdorf« ist Vorzeigeprojekt des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr	https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/23-08-16_5g-troisdorf-ist-vorzeigeprojekt-des-bundesministeriums-fuer-digitales-und-verkehr.html
05.10.23	Forschungsprojekt „5G Troisdorf IndustrieStadtPark“ stellt digitale Transformation für die Industrie und den Mensch in den Mittelpunkt	https://5g.nrw/forschungsprojekt-5g-troisdorf-industriestadtpark-stellt-digitale-transformation-fuer-die-industrie-und-den-mensch-in-den-mittelpunkt/
01.02.24	„5G Troisdorf IndustrieStadtPark“ auf Erfolgskurs	https://www.5gtroisdorf.de/news/5g-troisdorf-industriestadtpark-auf-erfolgskurs
20.02.24	EU-Parlament will menschenzentrierte Virtuelle Welten	https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/23-02-20_EU-parlament-will-menschenzentrierte-virtuelle-welten.html
27.02.24	Forschungsprojekt „5G Troisdorf IndustrieStadtPark“ soll praktische Umsetzung der EU-Ziele für die Gestaltung von virtuellen Welten veranschaulichen	https://5g.nrw/forschungsprojekt-5g-troisdorf-industriestadtpark-soll-praktische-umsetzung-der-eu-ziele-fuer-die-gestaltung-von-virtuellen-welten-veranschaulichen/
26.05.24	Schnelles Netz, große Chancen – Abschlussveranstaltung des Bundesförderprojekts 5G Troisdorf	https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/24-05-27_schnelles-netz-grosse-chancen-abschlussveranstaltung-des-bundesfoerderprojekts-5g-troisdorf.html
26.06.24	Erfolgreicher Projektabschluss »5G Troisdorf IndustrieStadtPark«	https://www.fit.fraunhofer.de/de/presse/24-06-26_erfolgreicher-projektabschluss-5g-troisdorf-industriestadtpark.html

Tabelle 11: Liste der Pressemeldungen von und über das Projekt (ohne Presseartikel)

Die Sichtbarkeit des Projekts in Pressemeldungen, auf Social Media, und in der Öffentlichkeit wurde von verschiedenen lokalen, regionalen und überregionalen Medien, Zeitungen und Zeitschriften aufgegriffen. Auf eine Liste aller daraus resultierenden Artikel wird hier bewusst verzichtet.

Social-Media und Videos

Das Projekt war über verschiedene Kanäle auf Social Media präsent. Die Hauptplattform dafür waren LinkedIn, YouTube, Twitter/X, sowie teilweise Instagram. Das Hashtag **#5gtroisdorf** wurde meist verwendet, so dass es zur Suche verwendet werden kann, bspw. auf LinkedIn²³ und X²⁴. Anbei eine kurze Liste mit einigen ausgewählter Posts.

Datum	Plattform	URL
26.01.21	X	https://x.com/onlinedasein/status/1354086686477709314 (Übergabe Förderurkunde)
26.01.21	YouTube	https://www.youtube.com/watch?v=pX2-9jWRKA8&t=1516s (Übergabe Förderurkunde)
28.01.21	X	https://x.com/onlinedasein/status/1354795434506645515 , https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1BwwhQ-0S-Vhd2ebsqRLRbCFGvPY591jc&ll=51.245245358604244%2C10.183999900000002&z=6 (Karte der zehn geförderten Projekte, nach ²⁵ , s. Abbildung 50)
10.03.23	Facebook	https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=pfbid0WGz6cbjyxVM6wS2dP2SKENyq3iNZwVWsQBnMxLQWi5RirJ7JU5mHhjNHpN3Wr2SLI&id=510110189&mmr=1&rdr (Besuch von Jean Pütz, sein Kommentar: „ <i>egal wie alt, man lernt immer noch dazu, und das habe ich besonders jetzt in Troisdorf und zwar bei der berühmten, der Praxis gewidmeten Fraunhofer-Gesellschaft erfahren. Donnerwetter das sieht man dass sich Forschung immer noch lohnt, und nicht nur wissen häufig da an sondern auch spannende Informationen die man nur dann erfährt, wenn man sich mit Forschung ernsthaft beschäftigt. Großes Kompliment, ich habe gesehen und im wahren Sinne des Wortes begreifen können z.B nicht nur 3D sondern doch die virtuelle Welt durchaus sinnvoll ist mit realen Problemen fertig zu werden. Zum Beispiel haben konnte ich teilnehmen an einer möglichen Reparatur einer Maschine, die im fernen Canberra in Australien Probleme hatte, und mit der 3D Brille war das tatsächlich möglich einen, nicht unbedingt fachkundigen Monteur um die halbe Welt so zu informieren dass er die Maschine wieder reparieren kann. Das nenne ich Forschung im Sinne nützliche Anwendung Punkt herzlichen Dank für diese Einsichten, Jean Pütz</i> “)
03 / 23	LinkedIn	https://www.linkedin.com/posts/leifoppermann_ein-interview-mit-jean-pütz-5g-troisdorf-activity-7098251065266982913-Ubjf/ (Jean Pütz Nachlese)
10.01.24	3sat	https://www.3sat.de/wissen/nano/240110-sendung-co2-ausstoss-auf-rekordtief-nano-100.html (Beitrag 3sat Nano , ab Minute 16:23 und wieder ab Minute 23:15)
12.04.23	ARD Mediathek	https://www.ardmediathek.de/video/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLTc4YzJjNmJhLTBiMTItNDc3My04OWEzLWJkNDQ2YjI3MDI0MA (WDR Lokalzeit aus Bonn 12.04.2023 ARD Mediathek; ab Min. 3:30).

²³ <https://www.linkedin.com/search/results/all/?keywords=%235gtroisdorf>

²⁴ <https://x.com/search?q=%235gtroisdorf>

²⁵ <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/5g-innovationswettbewerb-tabelle-stufe-3-erste-runde.html>

04/24	LinkedIn	https://www.linkedin.com/posts/tomkoenen_industrialmetaversesummit-bdi-innovation-activity-7185609349585608704-PCOB?utm_source=share&utm_medium=member_desktop (BDI-Einladung #IndustrialMetaverseSummit mit Keynote Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka)
13.06.24	Instagram	https://www.instagram.com/stadt_troisdorf/p/C8JvasMssdw (Projektabschluss, Willkommensgruß des Troisdorfer Bürgermeisters Alexander Bieber)
13.06.24	ARD Mediathek	https://www.ardmediathek.de/video/lokalzeit-aus-bonn/lokalzeit-aus-bonn-oder-13-06-2024/wdr-bonn/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLXNvcGhvcnEtOGU4NzlyOTItMGNIzC00NmU3LWFIMDAtdmFhMjc1MDJIMGUy (WDR Lokalzeit aus Bonn 13.06.2024 über Projektabschluss, ab 6:33)
07 / 24	LinkedIn	https://www.linkedin.com/posts/leifoppermann_5gtroisdorf-digitalinfrastructure-xr-activity-7212112926567002112-aj3?utm_source=share&utm_medium=member_desktop (Projektabschluss)

Tabelle 12: Liste der Pressemeldungen von und über das Projekt

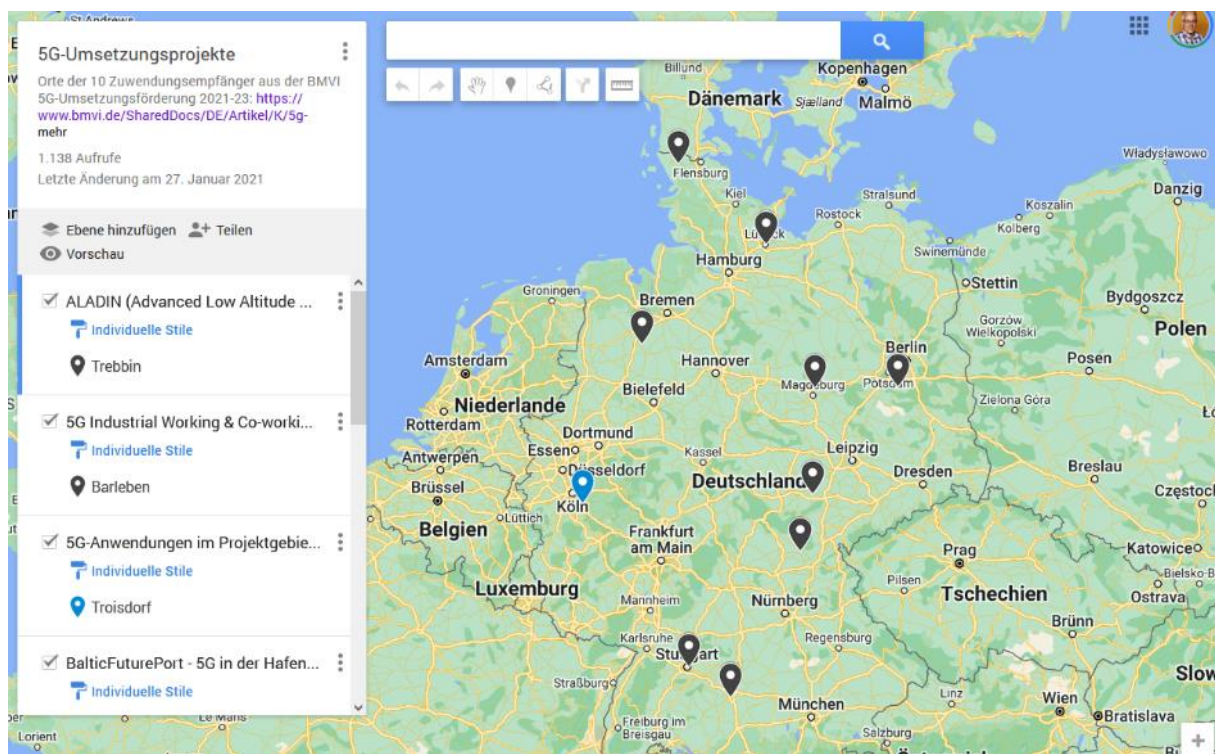


Abbildung 50: Karte der zehn geförderten Umsetzungsprojekte des 5G-Innovationswettbewerb (erste Runde)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild (alt) von Troisdorf mit Projektgebiet "IndustrieStadtspark"	10
Abbildung 2: Karte vom Projektgebiet "IndustrieStadtspark" in Troisdorf	11
Abbildung 3: Bundesminister Andreas Scheuer überreicht TROWISTA-Geschäftsführer Wolf-Dieter Grönwoldt und Staatssekretärin Elisabeth Winkelmeier-Becker die Förderurkunde in einer Videokonferenz am 26.01.2021 (links), Präsentation der Ergebnisse für Bundesminister Dr. Volker Wissing durch Mitarbeiter Urs Riedlinger (Mitte) und für Fraunhofer-Präsident Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka durch Projektkoordinator Dr. Leif Oppermann (rechts)	12
Abbildung 4: UPD-Demo-Box	15
Abbildung 6: Gehäuse mit Raspberry Pi4 und Basissensorik	16
Abbildung 6: "Tote Gabelzinke" mit AI-Kamera und Barcodescanner	16
Abbildung 8: Schematischer Verbindungsplan der verwendeten Komponenten.....	17
Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung der frühen Entwicklungsstufe mit Anzeige der relevanten Betriebsdaten.	18
Abbildung 10: Blick auf das MMI-Interface im Gabelstapler	19
Abbildung 10: Leitstands-Frontend (links), Mobile-Frontend (rechts)	19
Abbildung 11: Überblick über die jährlichen Iterationen des Prototyps	22
Abbildung 13: Zur Evaluation nutzten wir den Reinigungsprozess von industriellen Granulatoren, die von ZWi gebaut wurden und bei Kuraray eingesetzt werden; eine Aufgabe, die mehrmals täglich von geschulten Mitarbeitern durchgeführt werden muss.	23
Abbildung 14: Zur Evaluation wurde der Klingenwechsel an den zuvor genannten Granulatoren durchgeführt.	25
Abbildung 15: Zur Evaluation stellte ZWi eine Anleitung zur präzisen Positionierung eines Schieberteils des Granulators bereit, und Experten führten anschließend die Qualitätskontrolle durch.	26
Abbildung 15: Site Survey im IndustrieStadtspark im April 2021	31
Abbildung 16: Schematischer Aufbau des 5G-SA Netzes	37
Abbildung 17: Antennen am Gebäude 288	37
Abbildung 19: Antennen am Gebäude 226	38
Abbildung 19: (l.) Antenne 1 im Gebäude 296, (m.) Antenne 2 im Gebäude 296, (r.) Antenne im ZWi-Gebäude	38
Abbildung 21: 5G-Core	39
Abbildung 22: Verkabelung der Antennenanlage in Gebäude 288.....	39
Abbildung 23: Das MTO-Modell Mensch-Technik-Organisation in Anlehnung an (Strohm and Ulich, 1997).....	45
Abbildung 24: Sensorik am Gabelstapler	48
Abbildung 25: Phasen der Datentechnologie für einen Lastsensor	49
Abbildung 25: Identifikation datenrelevanter Situationen	49
Abbildung 26: Ergebnisse NASA-TLX vor, während und nach der Testung	52
Abbildung 27: Verbesserungsvorschläge für die Stapler-App.....	52
Abbildung 28: Iterationen und Evaluationen in AP3	53
Abbildung 29: Visualisierung der Logfile-Aufzeichnung der Interaktionen einer Testperson mit der AR-Anwendung	54
Abbildung 30: Außenzellen mit Türmen und Antennenrichtungen	67
Abbildung 31: Außenzellen Abdeckung	67
Abbildung 33: RWTH/VDI Industry 4.0 Canvas.....	69
Abbildung 33: Kuraray Canvas.....	70
Abbildung 34: ZWi Canvas	71

Abbildung 35: Fraunhofer FIT Canvas	72
Abbildung 36: Evaluation Plattformgeschäftsmoell.....	75
Abbildung 37: Vergleich der Change-Management-Modelle in Anlehnung an (Lewin, 1951, 1947) und Kotter (1995)	78
Abbildung 38: Erfüllungsgrad der Normen und Frameworks	80
Abbildung 39: Workshop "Designing Digital Business Models" am 29.11.2023	83
Abbildung 41: Das finale Projektlogo im Corporate Design	85
Abbildung 41: 5G Troisdorf IndustrieStadtspark - offizieller Trailer (Online verfügbar: https://www.youtube.com/watch?v=NQq3A7qNt0Y)	86
Abbildung 42: Projekttreffen 2022 am Schloss Birlinghoven, mit Vertreterinnen und Vertretern seitens Bund und Projektträger	87
Abbildung 43: Evaluierung AP 3 – 5G Werkzeugkoffer im November 2021, Teilnehmer testet Prototyp.....	88
Abbildung 44: (l.) Messestand auf der XR-Week 2022 in Stuttgart. (r.) Eine Messteilnehmerin testet den Live-Demonstrator auf der hub.berlin 2022 und taucht ab in das „Industrial Metaverse“ von 5G Troisdorf.	89
Abbildung 45: Live-Stream zum Projekt in den Studios von RheinlandAkustik in Troisdorf (Bild: RheinlandAkustik).....	89
Abbildung 47: Bei Projektpartner ZWi stellt das Projektteam im Rahmen des Pressetages 2023 die bisherigen Ergebnisse im Projekt vor. Auch Wissenschaftsjournalist Jean Pütz (r.) ist anwesend.....	90
Abbildung 47: (l.): Das Projektteam stellt die Ergebnisse Staatssekretär Stefan Schnorr auf dem offenen Tag des BMDV in Berlin vor. (r.): Studentische Mitarbeiterin der TROWISTA erklärt einem Besucher der Galerie am Digitaltag 2023 das Projekt.....	91
Abbildung 48: v.l.n.r.: Projektleiter Dr. Leif Oppermann (Fraunhofer FIT), Wolf-Dieter Grönwoldt (TROWISTA), Katharina Gebauer (MdL), Ministerialdirektorin Gertrud Husch (BMDV).....	91
Abbildung 49: Das Konsortium blickt zufrieden auf dreieinhalb Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit und eine gelungene Abschlussveranstaltung zurück. (Bild: fotojuwelier)	92
Abbildung 50: Karte der zehn geförderten Umsetzungsprojekte des 5G-Innovationswettbewerb (erste Runde)	104
Abbildung 51: Das KOMPASS-Verfahren (nach Grote et al. 1997).....	115

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der beteiligten Projektpartner	7
Tabelle 2: Aufschlüsselung und Bewertung der erhaltenen Angebote nach den identifizierten Kriterien.....	29
Tabelle 3: Kriterien Bewertungskatalog MTO – Gesamtkontext (Auswahl)	46
Tabelle 4: Kriterien Bewertungskatalog für iterative Evaluation der Technik im Arbeitskontext MTO, Beispiel: Granulator Reinigung (Auswahl).....	47
Tabelle 5: Ergebnisse der Zusammenführung Fantasiephase Mitarbeitende und Führungskräfte (Beispiel Schockereignis)	50
Tabelle 6: Wahrgenommene Belastung durch Kontrolle seitens Remote-Experten aus beiden Perspektiven.....	59
Tabelle 7: Anforderungen/Netzwerk Spezifikation 5G Troisdorf (nach Deloitte 2023, aus Gutachten)	66
Tabelle 8: 5G Risiko-Management	81
Tabelle 9: Auswahl der Risikobehandlung.....	82
Tabelle 10: Liste der Veröffentlichungen	101
Tabelle 11: Liste der Pressemeldungen von und über das Projekt (ohne Presseartikel).....	102
Tabelle 12: Liste der Pressemeldungen von und über das Projekt	104
Tabelle 13: Kriterien Bewertungskatalog MTO – Gesamtkontext (Auswahl)	126
Tabelle 14: Kriterien Bewertungskatalog für iterative Evaluation der Technik im Arbeitskontext MTO, Beispiel: Granulator Reinigung (Auswahl).....	126

Referenzen

- Altepost, A., Bau, M., Uzun, Y., Riedlinger, U., Buchholz, F., Oppermann, L., 2022. In meinen Koffer packe ich... Soziotechnische Systemgestaltung nach dem MTO-Prinzip am Beispiel 5G-Technologie, in: Technologie Und Bildung in Hybriden Arbeitswelten. Presented at the GfA-Frühjahrskongress, Magdeburg.
- Altepost, A., Fohn, A., Gebing, A., Janho, N., Kolb, J., Limani, E., Majchrzak, A., Merx, W., Schlosse, F., 2020a. Digitale Arbeitswelt –un(er)fassbar? Methodik der empirischen Analyse der Arbeit in der Digitalisierung am Beispiel des Forschungsprojekts SozioTex, in: Digitaler Wandel, Digitale Arbeit, Digitaler Mensch? Presented at the GfA Frühjahrskongress.
- Altepost, A., Merx, W., Rezaey, A., Löhner, M., 2020b. Abschlussbericht SozioTex - neue soziotechnische Systeme in der Textilbranche. <https://doi.org/10.2314/KXP:1758273097>
- Babbage, C., 2010. On the Economy of Machinery and Manufactures, Cambridge Library Collection - History of Printing, Publishing and Libraries. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511696374>
- Bau, M., Altepost, A., 2023. MTO und PBA als integraler Transformationsansatz (No. 3), ILAG Working Papers. Plön.
- Bau, M., Altepost, A., Buchholz, F., Oppermann, L., 2023. Hochgestapelt oder tragfähig für alle Beteiligten? Sensorik am Gabelstapler und die Interessen der Stakeholder, in: Nachhaltig Arbeiten Und Lernen. Presented at the GfA-Frühjahrskongress, St. Augustin: GfA-Press, Hannover.
- Bellotti, V., Back, M., Edwards, W.K., Grinter, R.E., Henderson, A., Lopes, C., 2002. Making Sense of Sensing Systems: Five Questions for Designers and Researchers, in: CHI. Minneapolis, Minnesota.
- Bender, B., Habib, N., Gronau, N., 2021. Digitale Plattformen: Strategien für KMU. Wirtsch Inform Manag 13, 68–76. <https://doi.org/10.1365/s35764-020-00292-w>
- Benrath, B., 2019. Cloud aus Deutschland: Die Suche nach dem Hyperscaler. FAZ.NET.
- Bentley, R., Horstmann, T., Trevor, J., 1997. The World Wide Web as Enabling Technology for CSCW: The Case of BSCW. Computer Supported Cooperative Work (CSCW) 6, 111–134. <https://doi.org/10.1023/A:1008631823217>
- Bieger, T., zu Knyphausen-Aufseß, D., Kryszewski, C. (Eds.), 2011. Innovative Geschäftsmodelle. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18068-2>
- Braverman, H., 1974. Labor and Monopoly Capitalism: The Degradation of Work in the Twentieth Century. Monthly Review Press.
- Brooks, F.P., Jr., 1987. Walkthrough—a Dynamic Graphics System for Simulating Virtual Buildings, in: Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics, I3D '86. ACM, New York, NY, USA, pp. 9–21. <https://doi.org/10.1145/319120.319122>
- Buchholz, F., Oppermann, L., Prinz, W., 2022. There's more than one Metaverse. i-com 22, 313–324. <https://doi.org/10.1515/icom-2022-0034>
- Crabtree, A., 2003. Designing Collaborative Systems: A Practical Guide to Ethnography, Computer Supported Cooperative Work. Springer-Verlag, London.
- Diedrich, O., 2023. Kommentar zum Azure-Master-Key-Diebstahl: Microsofts Reaktion lässt tief blicken [WWW Document]. iX Magazin. URL <https://www.heise.de/meinung/Kommentar-Microsoft-provoziert-den-Cloud-GAU-und-reagiert-dann-katastrophal-9258697.html>
- 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.
- Dwivedi, Y.K., Jeyaraj, A., Hughes, L., Davies, G.H., Ahuja, M., Albashrawi, M.A., Al-Busaidi, A.S., Al-Sharhan, S., Al-Sulaiti, K.I., Altinay, L., Amalaya, S., Archak, S., Ballestar, M.T., Bhagwat, S.A., Bharadwaj, A., Bhushan, A., Bose, I., Budhwar, P., Bunker, D., Capatina, A., Carter, L., Constantiou, I., Coombs, C., Crick, T., Csáki, C., Darnige, Y., Dé, R., Delbridge, R., Dubey, R., Gauld, R., Gutti, R.K., Hattingh, M., Haug, A., Hendricks, L., Hino, A., Hsu, C.H.C., Iivari, N.,

- Janssen, M., Jebabli, I., Jones, P., Junglas, I., Kaushik, A., Khazanchi, D., Kodama, M., Kraus, S., Kumar, V., Maier, C., Malik, T., Matthee, M., McCarthy, I.P., Meier, M., Metri, B., Micu, A., Micu, A.-E., Misra, S.K., Mishra, A., Molin-Juustila, T., Oppermann, L., O'Regan, N., Pal, A., Pandey, N., Pappas, I.O., Parker, A., Pathak, K., Pienta, D., Polyviou, A., Raman, R., Ribeiro-Navarrete, S., Ritala, P., Rosemann, M., Sarker, S., Saxena, P., Schlagwein, D., Schultze, H., Sharma, C., Sharma, S.K., Simintiras, A., Singh, V.K., Smuts, H., Soldatos, J., Tiwari, M.K., Thatcher, J.B., Vanberghen, C., Varga, Á., Vassilakopoulou, P., Venkatesh, V., Viglia, G., Vorley, T., Wade, M., Walton, P., 2024. "Real impact": Challenges and opportunities in bridging the gap between research and practice – Making a difference in industry, policy, and society. *International Journal of Information Management* 78, 102750. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102750>
- Dworschak, B., Altepost, A.A., Bau, M., Berger, C., Brandt, P., Gerst, D., Jeske, T., Kötter, W., Mühlbradt, T., Senderek, R., Schweppe, K., Ulrich, C., Wischmann, S., Ziegler, J., 2021. Die VDI/VDE-Richtlinie 7100 "Lernförderliche Arbeitsgestaltung": ein Beitrag zum humanorientierten Management der digitalen Transformation. Presented at the 67. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA-Press, Dortmund.
- Ehn, P., 1988. Work-oriented design of computer artifacts (PhD Thesis). Arbetslivscentrum.
- Ens, B., Lanir, J., Tang, A., Bateman, S., Lee, G., Piumsomboon, T., Billingham, M., 2019. Revisiting collaboration through mixed reality: The evolution of groupware. *International Journal of Human-Computer Studies*, 50 years of the International Journal of Human-Computer Studies. Reflections on the past, present and future of human-centred technologies 131, 81–98. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.05.011>
- Floyd, C., 1984. A Systematic Look at Prototyping, in: Budde, R., Kuhlenkamp, K., Mathiassen, L., Zullighoven, H. (Eds.), *Approaches to Prototyping*. Springer, pp. 1–18.
- Frankenberger, K., Csik, M., Gassmann, O., 2013. Geschäftsmodelle entwickeln: 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator, Hanser eLibrary. Hanser Verlag, München. <https://doi.org/10.3139/9783446437654>
- Fraser, S.D., Brooks, F.P., Fowler, M., Lopez, R., Namioka, A., Northrop, L., Parnas, D.L., Thomas, D., 2007. "No silver bullet" reloaded: retrospective on "essence and accidents of software engineering," in: Companion to the 22nd ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming Systems and Applications Companion, OOPSLA '07. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1026–1030. <https://doi.org/10.1145/1297846.1297973>
- Greenbaum, J., Kyng, M., 1991. *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Grote, G., Ryser, C., Wäfler, T., Windischer, A., Weik, S., 2000. KOMPASS: A method for complementary function allocation in automated work systems. *International Journal of Human-Computer Studies* 52, 267–287.
- Grote, G., Wäfler, T., Weik, S., 1997. KOMPASS: Eine Methode für die komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in automatisierten Arbeitssystemen, in: Strohm, O., Ulich, E. (Eds.), Strohm, O., Ulich, E. (1997) (Hg) *Unternehmen Arbeitspsychologisch Bewerten*. VDF Hochschulverlag, Zürich, pp. 259–280.
- Hacker, W., Sachse, P., 2023. *Allgemeine Arbeitspsychologie: psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*, 4., vollständig überarbeitete Auflage. ed. vdf, Zürich.
- Hanschke, I., 2019. Informationssicherheit und Datenschutz Systematisch und Nachhaltig Gestalten: Eine Kompakte Einführung in Die Praxis, Essentials Ser. Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- Harper, R., Rodden, T., Rogers, Y., Sellen, A., 2008. *Being Human: Human Computer Interaction in 2020* [WWW Document].
- Hart, S.G., Staveland, L.E., 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, in: Hancock, P.A., Meshkati, N. (Eds.), *Advances in Psychology, Human Mental Workload*. North-Holland, pp. 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

- Häußling, R.A.M., Eggert, M., Kerpen, D., Lemm, J., Strüver, N., Ziesen, N.K., 2017. Schlaglichter der Digitalisierung: Virtuelle(r) Körper - Arbeit - Alltag: Ein Vorstoß zum Kern der Digitalisierung aus einer techniksoziologisch-relationalen Perspektive: Working Paper des Lehrstuhls für Technik- und Organisationssoziologie, Working Paper des Lehrstuhls für Technik- und Organisationssoziologie. Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie, Institut für Soziologie, RWTH Aachen, Aachen.
- Hodapp, D., Hawlitschek, F., Wortmann, F., Lang, M., Gassmann, O., 2022. Key Lessons from Bosch for Incumbent Firms Entering the Platform Economy. *MSQE* 115–129. <https://doi.org/10.17705/2msqe.00061>
- Johansen, R., 1988. *GroupWare: Computer Support for Business Teams*. The Free Press, New York, NY, USA.
- Kind, S., Ferdinand, J.-P., Jetzke, T., Richter, S., Weide, S., 2019. Virtual und Augmented Reality – Status quo, Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen (TA-Vorstudie No. 180), TAB-Arbeitsbericht.
- Knoll, M., Strahringer, S., 2018. *IT-GRC-Management - Governance, Risk und Compliance: Grundlagen und Anwendungen*, Edition HMD Ser. Vieweg, Wiesbaden.
- Kortmann, S., Piller, F., 2016. Open Business Models and Closed-Loop Value Chains: Redefining the Firm-Consumer Relationship. *California Management Review* 58, 88–108. <https://doi.org/10.1525/cmr.2016.58.3.88>
- Kotter, J.P., 1995. Leading change: why transformation efforts fail. *Harvard Business Review* 73, 59–67. <https://doi.org/10.1109/EMR.2009.5235501>
- Krämer, S., 2015. Ada Lovelace. Die Pionierin der Computertechnik und ihre Nachfolgerinnen, 1., 2015 Edition. ed. Wilhelm Fink Verlag, Paderborn.
- Landhäußer, H., 2021. Plattformökonomie im B2B-Maschinen- und Anlagenbau – Analyse für ein nachhaltig erfolgreiches Geschäftsmodell, in: Hildebrandt, A., Landhäußer, W. (Eds.), *CSR und Digitalisierung, Management-Reihe Corporate Social Responsibility*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 211–225. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61836-3_14
- Landwehr, M., Borning, A., Wulf, V., 2023. Problems with surveillance capitalism and possible alternatives for IT infrastructure. *Information, Communication & Society* 26, 70–85. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2021.2014548>
- Lanier, J., 2014. *Who Owns The Future? - Du bist nicht der Kunde der Internetkonzerne. Du bist ihr Produkt*. Penguin, London.
- Lewin, K., 1951. Problems of research in social psychology, in: *Field Theory in Social Science: Selected Theoretical Papers by Kurt Lewin*, D. Cartwright. Harper and Row, New York, pp. 155–170.
- Lewin, K., 1947. Frontiers in Group Dynamics: Concept, Method and Reality in Social Science; Social Equilibria and Social Change. *Human Relations* 1, 5–41. <https://doi.org/10.1177/001872674700100103>
- Lindt, I., Ohlenburg, J., Pankoke-Babatz, U., Ghellal, S., Oppermann, L., Adams, M., 2005. Designing Cross Media Games, in: *PerGames Workshop*. Munich, Germany.
- Mayring, P., 2010. Qualitative Inhaltsanalyse, in: Mey, G., Mruck, K. (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp. 601–613. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92052-8_42
- Mohan, J.P., Sugunraj, N., Ranganathan, P., 2022. Cyber Security Threats for 5G Networks, in: 2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT). Presented at the 2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT), IEEE, Mankato, MN, USA, pp. 446–454. <https://doi.org/10.1109/eIT53891.2022.9813965>
- Niephaus, C., Aliu, O.G., Kretschmer, M., Hadzic, S., Ghinea, G., 2015a. Wireless Back-haul: a software defined network enabled wireless Back-haul network architecture for future 5G networks. *IET Networks* 4, 287–295. <https://doi.org/10.1049/iet-net.2015.0009>
- Niephaus, C., Aliu, O.G., Kretschmer, M., Hadzic, S., Ghinea, G., 2014. WiBACK: A Back-haul network architecture for 5G networks, in: *International Conference on Frontiers of Communications*,

- Networks and Applications (ICFCNA 2014 - Malaysia). pp. 1–6.
<https://doi.org/10.1049/cp.2014.1403>
- Niephaus, C., Ghinea, G., Aliu, O.G., Hadzic, S., Kretschmer, M., 2015b. SDN in the wireless context - Towards full programmability of wireless network elements, in: Network Softwarization (NetSoft), 2015 1st IEEE Conference On. pp. 1–6.
<https://doi.org/10.1109/NETSOFT.2015.7116189>
- Oppermann, L., 2009. Facilitating the Development of Location-Based Experiences. University of Nottingham, Computer Science, Nottingham.
- Oppermann, L., Boden, A., Hofmann, B., Prinz, W., Decker, S., 2019. Beyond HCI and CSCW: Challenges and Useful Practices Towards a Human-Centred Vision of AI and IA, in: Proceedings of the Halfway to the Future Symposium 2019 (HTTF 2019). Presented at the Halfway to the Future, ACM, Nottingham, England.
- Oppermann, L., Buchholz, F., Uzun, Y., 2023a. Industrial Metaverse: Supporting remote maintenance with avatars and digital twins in collaborative XR environments, in: Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Presented at the CHI '23: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, Hamburg Germany, pp. 1–5.
<https://doi.org/10.1145/3544549.3585835>
- Oppermann, L., Uzun, Y., Buchholz, F., Riedlinger, U., Fuchs, S., Stenzel, H., Odenthal, L., Altepost, A., Bau, M., 2023b. Industrial Metaverse? Human-Centred Design for Collaborative Remote Maintenance and Training Using XR-Technologies, in: XR Meets the Metaverse - Proceedings of the 8th International Augmented and Virtual Reality Conference 2023, Las Vegas, USA, Springer Proceedings in Business and Economics.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., 2011. Business Model Generation: ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer. Campus Verlag, Frankfurt/New York.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., Tucci, C.L., 2005. Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. CAIS 16. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601>
- Parisi, T., 2021. The Seven Rules of the Metaverse. Metaverses. URL <https://medium.com/metaverses/the-seven-rules-of-the-metaverse-7d4e06fa864c> (accessed 1.13.22).
- Pfeiffer, S., 2018. Technisierung von Arbeit, in: Handbuch Arbeitssoziologie. Springer VS, pp. 321–357.
- Pierenkemper, T., 1996. Umstrittene Revolutionen. Die Industrialisierung im 19. Jahrhundert. Frankfurt.
- Piller, F.T., 2016. Statusreport Digitale Chancen und Bedrohungen – Geschäftsmodelle für Industrie 4.0. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17585.38243>
- Pizzagalli, S.L., 2024. Extended Reality for I5.0: Towards Human Centricity in Human-Robot Interaction. Tallinn University of Technology, Tallinn.
- Prinz, W., 2021. Flexibles Arbeiten im Homeoffice - Analyse einer Langzeitumfrage, in: Expedition: Werte, Arbeit, Führung 4.0. TÜV Media GmbH, Köln, pp. 146–152.
- Pythoud, F., 2022. Die Konformitätsbewertung komplexer Systeme am Beispiel der Strahlung einer 5G-Basisstation. tm - Technisches Messen 89, 714–720. <https://doi.org/10.1515/teme-2022-0014>
- Rammert, W., 2016. Technik, Handeln und Sozialstruktur, in: Rammert, W. (Ed.), Technik - Handeln - Wissen Zu Einer Pragmatistischen Technik- Und Sozialtheorie. Springer, Wiesbaden, pp. 3–39.
- Rammert, W., Schulz-Schaeffer, I., 2002. Technik und Handeln - wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Artefakte verteilt (No. 4–2002), TUTS-Working Papers. echnische Universität Berlin, Fak. VI Planen, Bauen, Umwelt, Institut für Soziologie Fachgebiet Techniksoziologie., Berlin.
- Randall, D., Rouncefield, M., Tolmie, P., 2021. Ethnography, CSCW and Ethnomethodology. Comput Supported Coop Work 30, 189–214. <https://doi.org/10.1007/s10606-020-09388-8>
- Rauen, H., Glatz, R., Schnittler, V., Peters, K., Schorak, M., Zollenkamp, M., Lüers, M., Becker, L., 2018. Plattformökonomie im Maschinenbau. Herausforderungen – Chancen – Handlungsoptionen.

- Rotenberg, M., 2020. Schrems II, from Snowden to China: Toward a new alignment on transatlantic data protection. *European Law Journal* 26, 141–152. <https://doi.org/10.1111/eulj.12370>
- Semenowicz, M., 2024. D5.1: 5G Private Campus Network Survey.
- Snowden, E., 2019. *Permanent Record*, 1st Edition. ed. Metropolitan Books, New York.
- Stenzel, H., 2021. Fernüberwachung von Anlagen mit virtueller Datenbrille: 5G-Anwendungen für die Folienproduktion im Praxistest. *CITplus* 24, 36–37. <https://doi.org/10.1002/citp.202100724>
- Steuer, A., 2022. *Digitale Plattformen erfolgreich aufbauen und steuern: Grundlagen, Vorgehen, Beispiele, Schwerpunkt Business Model Innovation*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- Strohm, O., Ulich, E., 1997. *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten: ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation*. vdf, Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich.
- Trick, U., 2020. *5G: Eine Einführung in die Mobilfunknetze der 5. Generation*, 1st ed. De Gruyter Oldenbourg, Berlin.
- Ulich, E., 2013. Arbeitssysteme als soziotechnische Systeme—eine Erinnerung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns* 6, 4–12.
- Ulich, E., 2011. *Arbeitspsychologie*, 7. überarbeitete und aktualisierte Auflage 2011. ed. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Uzun, Y., Oppermann, L., Altepöst, 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.
- Uzun, Y., Riedlinger, U., Buchholz, F., Oppermann, L., 2023. Building Industrial Metaverse: Technical Challenges of Real- World Collaborative XR Application Development. pp. 56–59.
- Wani, M.S., Kretschmer, M., Schröder, B., Grebe, A., Rademacher, M., 2024a. Open RAN: A Concise Overview. *IEEE Open Journal of the Communications Society* 1–1. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2024.3430823>
- Wani, M.S., Rademacher, M., Horstmann, T., Kretschmer, M., 2024b. Security Vulnerabilities in 5G Non-Stand-Alone Networks: A Systematic Analysis and Attack Taxonomy. *Journal of Cybersecurity and Privacy* 4, 23–40. <https://doi.org/10.3390/jcp4010002>
- Weiner, N., Renner, T., Kett, H., 2010. *Geschäftsmodelle im "Internet der Dienste"*. 1: Aktueller Stand in Forschung und Praxis, Theseus. Fraunhofer-Verl, Stuttgart.
- Wortmann, F., Jung, S., Bronner, W., Gassmann, O., 2022. *Der Plattform-Navigator: 88 Karten für die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung von Plattform-Geschäftsmodellen*. Hanser, München.
- Wulf, V., Pipek, V., Stevens, G., Rohde, M., Randall, D., Schmidt, K. (Eds.), 2018. *Socio-Informatics*. Oxford University Press, Oxford, New York.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., Wang, L., 2021. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems* 61, 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Zimmermann, J., Leibold, A., Brünger, J., Grossenbacher, P., Zwahlen, P., Wäfler, T., Fischer, K., 2015. Entwicklung eines Instruments zur Ableitung von Gestaltungsanforderungen für die automatisierte Zugverkehrsleitung im Bahnverkehr. Presented at the 11. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin.

Anhang

Bewertungskatalog

Einordnung

Dieser Bewertungskatalog entstand im Rahmen des Forschungsprojekts IndustrieStadtpark / 5G Troisdorf²⁶, gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) vom 30.12.2020 – 30.06.2024.

Mit zwei Unternehmen aus dem Gewerbegebiet IndustrieStadtpark Troisdorf, die zueinander in Lieferant-Kunde-Beziehung stehen, wurden zwei Use Cases für die Nutzung von 5G-Technologie erprobt:

Use Case 1

Ein Leitstellen – bzw. Sensorik-Ökosystem für Gabelstapler; wesentliche Ziele auf Seiten des Stapler-Verleihers waren

- Predictive Maintenance
 - schnellere und planbarere Reparatur bzw. Bereitstellung eines funktionierenden Reservefahrzeugs
 - Entlastung des Werkstattpersonals
- Stapler-Ortung, Verlaufsverfolgung
- Dokumentation und Klärung von Unfällen/Gewaltschäden
- Reduktion von Verschleiß
- Berechnung von Kennzahlen für die optimierte Vertragsgestaltung

und auf Seiten des Stapler-Entleihers

- schnellere Verfügbarkeit eines Reservefahrzeugs,
- Verbesserung der Einsatz- und Logistikplanung,
- Planung von Routen und Gütern / Optimierung von Strecken,
- Abbau von Belastung für Fahrer und Maschine,
- Informationen für den Fahrer (Rotation Gabel, Geschwindigkeit, Batteriezustand),
- Effizienz des Stapler-Einsatzes/ CO2-Verbrauch.

Use Case 2

Zusammenstellung eines Koffers mit mobiler Hardware zur Realisierung von 5G-Anwendungen, die Mixed-Reality und Remote-Support ermöglichen. Wesentliche Ziele bestanden in:

- Entlastung technischer Fachkräfte von Reisen und Noteinsätzen
- Qualifikation von Produktionsmitarbeitenden
- Reduktion von Stillstandszeiten und Reisen

Für beide Use Cases wurde zu Projektbeginn eine kontextbezogene Ist-Analyse durchgeführt und daraus ersichtlicher Veränderungsbedarf in Workshops adressiert. Hinsichtlich der Technikentwicklung wurden in einer soziotechnischen Evaluation (Use Case 1) bzw. in drei Iterationen (Use Case 2) nach dem MTO-Prinzip mitarbeiterbezogene, technische und organisatorische Kriterien analysiert und evaluiert. Die Resultate von Iteration 1 und 2 wurden in die partizipative Entwicklung

²⁶ <https://www.5gtroisdorf.de/>

eingespeist. Die Evaluationen erfolgten im Setting Reallabor-ähnlichen Aufgabenstellungen, die von Shopfloor-Mitarbeitenden der beteiligten Unternehmen mit der neuen Technologie absolviert wurden.

Arbeitswissenschaftliche Evaluation

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive liegt der Evaluation im Projekt der MTO-Ansatz zugrunde (Strohm and Ulich, 1997; Ulich, 2013), demzufolge mensch-, technik- und organisationsbezogene Faktoren simultan und auch in ihren wechselseitigen Abhängigkeiten analysiert und gestaltet werden. Hierzu wurden weitgehend das Instrument KOMPASS (Grote et al., 1997) und eine (psychische) Belastungsanalyse angelehnt an GDA-Standards (vgl. Bau and Altepost, 2023) verwendet, im Rahmen der Technikevaluationen eine leicht modifizierte Variante des NASA Task Load Index (Hart and Staveland, 1988). Aus diesen Verfahren und den Zielen der Use Cases wurden Kriterien und Methoden der laufenden, iterativen Nutzer-Evaluation generiert ebenso wie Merkmale, die das gesamte Arbeitssystem betreffen, zunächst in einer Ist-Analyse erhoben wurden und einer längerfristigen Beobachtung bedürfen (z. B. Auswirkungen organisatorischer Veränderungen infolge des 5G-Einsatzes). Sowohl die betroffenen Tätigkeiten selbst als auch die Wahrnehmung der Mitarbeitenden wurden adressiert.

Bewertungskatalog zur MTO-Analyse: Methodische Grundlagen

Methodische Grundlagen

Zusammenfassend gingen folgende Methoden in den Bewertungskatalog ein:

- Psychische Belastungsanalyse (PBA),
- KOMPASS-Verfahren,
- NASA-TLX für aufgabenbezogene Beanspruchung,
- spezielle Kriterien im Rahmen der Mixed Reality-Entwicklung (UX, Presence),

die im Folgenden detaillierter erläutert werden.

Psychische Belastungsanalyse (PBA)

Der Schwerpunkt der am ILAG entwickelten PBA (vgl. Bau and Altepost, 2023) liegt hier auf verschiedenen, für die Etablierung der 5G-Technologie im Arbeitssystem relevanten Aspekten der Arbeitswissenschaft, u.a.: Beurteilung der Arbeitsinhalte, Arbeitsumgebung; Beurteilung der Arbeitsorganisation; Beurteilung der Mitarbeiterführung/der sozialen Beziehungen; Zusammenarbeit mit externen Kunden; Zusammenarbeit mit internen Partnern/Bereichen; Unternehmenskultur und Veränderungsprozesse; Sichtweisen der Führungskräfte auf ihre Tätigkeit; Gesundheitliche Situation; Besonders belastende und entlastende Faktoren; Generalisierte Einschätzung der Arbeitssituation und Zukunftserwartungen. Diese Aspekte werden durch einen strukturierten Fragebogen unter Einschluss offener Fragen erfasst. Die Befragungsergebnisse sollten mit den involvierten Führungskräften sowie in einem weiteren Termin mit den Mitarbeitenden bzw. einer repräsentativen Mitarbeitergruppe besprochen werden, um möglicherweise hemmende Faktoren für eine Innovation beteiligungsorientiert zu bearbeiten. Der einzubeziehende Personenkreis sollte sorgfältig geprüft werden, da häufig nicht nur diejenigen Mitarbeitenden betroffen sind, die direkt mit der neuen Technologie zu tun haben werden, sondern auch vor- und nachgelagerte Bereiche. Die PBA ist stets nach technischen und organisatorischen Veränderungen größeren Ausmaßes durchzuführen (Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsgestaltung Nordrhein-Westfalen), kann aber zusätzlich als Basis einer Ist-Analyse und zur Identifikation von Potentialen personen- und organisationsbezogener

Aspekte durchgeführt werden und als Ausgangspunkt von Organisationsentwicklungsmaßnahmen dienen.

KOMPASS: Verfahren zur MTO-Analyse und -Gestaltung soziotechnischer Arbeitssysteme

Als methodischer Rahmen für die Analyse wurde die KOMPASS-Methodik (Grote et al., 2000, 1997) gewählt, da sie umfassende Analyse Kriterien auf Basis etablierter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse strukturiert, ohne einzelne Methoden der Datenerhebung und -analyse vorzuschreiben. So lässt sie sich jeweils an die Forschungsfragen und Gestaltungsziele adaptieren und bietet flexibel Raum für den Transfer in veränderte gesellschaftliche und technologische Rahmenbedingungen. Ursprünglich für Automatisierungsprozesse entwickelt, wurde sie z. B. von (Zimmermann et al., 2015) auf Digitalisierungskontexte übertragen. Diese Richtung wurde im Projekt 5G IndustrieStadtPark Troisdorf verstärkt, indem Kriterien im Licht digitalisierungsbezogener Konzepte gedeutet werden (z. B. verteiltes Handeln, graduelles Handlungskonzept – (Rammert and Schulz-Schaeffer, 2002)).

KOMPASS besteht aus drei Modulen (vgl. Abbildung 51).

Das Verfahren KOMPASS

Methode zur Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen nach dem MTO-Prinzip (Grote, Wäfler und Weik 1997)

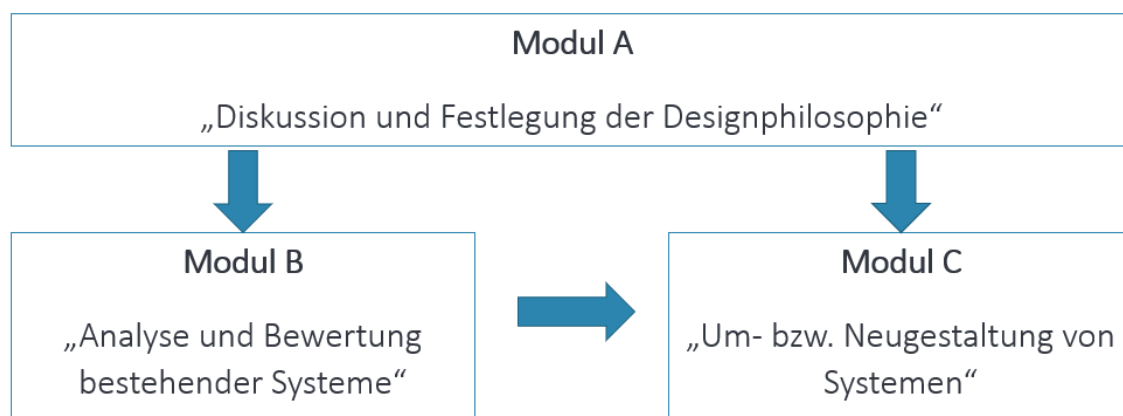


Abbildung 51: Das KOMPASS-Verfahren (nach Grote et al. 1997)

A: „Diskussion und Festlegung der Designphilosophie“

- Welches Arbeitssystem (aufgabenbezogen) wird verändert?
- Welche Ziele und Erfolgskriterien sollen für dieses System gelten?
- Was tragen Mensch, Technik und Organisation dazu bei?
- Welche Bedingungen setzt dies voraus?

B: „Analyse und Bewertung bestehender Systeme“

- Aufgaben und Funktionen – IST (anhand Ablaufanalyse)
- Analyse/Bewertung nach Kompass-Kriterien
- Ableiten von Gestaltungsvorschlägen

C: „Um- bzw. Neugestaltung von Systemen“

Bewertung jeder Funktion hinsichtlich ihrer Potenziale bezüglich zentraler KOMPASS-Kriterien

- Festlegung der Autoritätsverteilung für die Funktionen
- Erarbeitung von Varianten der Systemgestaltung
- Bewertung der Varianten anhand der KOMPASS-Kriterien

Spezifikation der Arbeitssysteme und Ziele der Veränderungen mittels 5G

Arbeitssysteme und Ziele für die Analyse und Veränderung von Funktionen mit Hilfe der zu entwickelnden 5G-Anwendungen wurden in einem ersten Schritt mittels PBA-Analyse und in darauf aufbauenden Workshops erarbeitet.

Verortung des Bewertungskatalogs im KOMPASS-Verfahren

Der Bewertungskatalog setzt daher bei Modul B auf. In den drei Iterationsschritten zur Entwicklung der soziotechnischen Konstellation aus 5G-Anwendung, Mitarbeitenden, Arbeitssystem/Organisation und Geschäftsmodell werden die Module B-C entsprechend drei Mal durchlaufen, wobei die dritte Schleife in die Schlussevaluation mündet.

Wie angemerkt, schafft der vorliegende Bewertungskatalog zunächst die Grundlagen für Modul B: Ist-Analyse. Dabei ist darauf zu achten, relevante Kriterien der Gestaltung (Modul C) einzuschließen, um anschließend Veränderungen messen zu können. Diese Kriterien gehen in die Gestaltung des technischen Systems sowie der Handlungsempfehlungen für Organisation und Qualifizierung ein.

Die KOMPASS-Kriterien: Vorstellung und Auswahl

Hierzu werden im Folgenden die KOMPASS-Kriterien vorgestellt und im Hinblick auf das Projekt „IndustrieStadtspark“ die relevanten Aspekte begründet ausgewählt.

Die KOMPASS-Kriterien (Grote et al., 2000, p. 272) sind den Ebenen Arbeitssystem (Schwerpunkt Organisation, Arbeitstätigkeit (Schwerpunkt Mensch) und Mensch-Maschine-System (Schwerpunkt Technik in Wechselwirkung mit dem Menschen) zugeordnet. Während die letztgenannte Ebene bereits eine relationale Betrachtung von Mensch und Technik beinhaltet, stehen auch das Arbeitssystem mit beiden anderen Ebenen sowie Aspekte der Arbeitstätigkeit, die nicht in der dritten Ebene betrachtet werden, mit der Technik in Wechselwirkung. Dies spiegelt die Konzeption des soziotechnischen Systems bzw. der soziotechnischen Konstellation (Rammert, 2016 hier wird der dynamische, veränderliche Charakter betont) als Zusammenspiel verschiedener Akteure und Faktoren zur Erreichung eines Ziels wider.

Der folgende Kasten zeigt die KOMPASS-Kriterien in Kurzfassung (eigene Übersetzung nach (Grote et al., 2000, p. 272)).

Arbeitssystem

Vollständigkeit der Aufgaben

Prozesstiefe, funktionale Integration, Komplexität der Produktionsprozesse

Unabhängigkeit des Arbeitssystems

Puffer, Flexibilität des Arbeitsablaufs, lokale Qualitätskontrolle

Passung zwischen Regulationserfordernissen und Regulationsmöglichkeiten

Art und Ausmaß von Systemabweichungen und Störungen, Aufgabenverflechtung / Kooperationsform, Flexibilität der Kooperationsform

Polyvalenz der Mitglieder des Arbeitssystems

Anteil der Aufgaben, für die die Bediener vollständige Fähigkeiten haben, nicht unbedingt Verantwortung

Autonomie von Arbeitsgruppen

Gemeinsame Entscheidungsfindung bezüglich interner und externer Koordination, interne Personalführung und kontinuierliche Verbesserung innerhalb des Arbeitssystems

Grenzregelung durch Vorgesetzte

Verhältnis zwischen internen und externen Koordinationsaufgaben der Vorgesetzten

Menschliche Arbeitsaufgaben

Vollständigkeit der Aufgaben

Aufgaben einschließlich Vorbereitung, Planung, Ausführung, Kontrolle und Wartung/Reparatur

Planungs- und Entscheidungsanforderungen

Planung und Entscheidung über Arbeitsinhalte und -ergebnisse, Arbeitsmittel und Arbeitsablauf

Anforderungen an die Kommunikation

Anforderungen an die Kommunikation und Zusammenarbeit auf der Grundlage gemeinsamer Planung und Entscheidungsfindung

Möglichkeiten zum Lernen und zur persönlichen Entwicklung

Möglichkeiten zur Nutzung vorhandener Qualifikationen und zum Erwerb neuer Fähigkeiten

Vielfalt

Anforderungen an den Umgang mit unterschiedlichen Materialien, Verfahren und Werkzeugen, Produktarten und Personen

Transparenz der Arbeitsabläufe

Transparenz über die Einbindung der eigenen Arbeitsaufgaben in den Gesamtarbeitsablauf

Einflussnahme auf die Arbeitsbedingungen

Möglichkeiten zur Kontrolle von Aufgaben, Arbeitszeiten, Verteilung von Arbeitsaufgaben und Produktionszielen

Zeitliche Flexibilität

Planungshorizont, zeitliche Kopplung bezüglich Arbeitsaufgaben und Produktionsprozess, Zeitdruck

Mensch-Maschine-System

Prozess-Transparenz

Möglichkeiten zur Bildung und Aufrechterhaltung mentaler Modelle über die allgemeine Art und zeitliche Struktur der Produktionsprozesse und der erforderlichen Eingriffe, Modalitäten der Prozessrückmeldung

Dynamische Kopplung

Verfügbarkeit und Nutzung technisch bereitgestellter Optionen bezüglich Zeit, Ort, Arbeitsabläufen und erforderlichem kognitiven Aufwand

Entscheidungskompetenz

Verteilung der Entscheidungskompetenz bezüglich Informationszugriff und Prozesssteuerung zwischen menschlichen Bediener und technischem System

Flexibilität

Variabilität der Funktionsverteilung zwischen Mensch und technischem System und Verteilung der jeweiligen Entscheidungsbefugnis

Die KOMPASS-Kriterien sind auf eine „komplementäre Funktionsteilung zwischen Mensch und Technik“ (Grote et al., 1997) ausgelegt, d. h. Technik soll den menschlichen Beitrag zur Arbeitsaufgabe unterstützen oder ergänzen – nicht ersetzen.. Im Zentrum bei der Anwendung von KOMPASS steht in der Regel die Ebene Mensch-Maschine-System (z. B. Zimmermann et al. 2015). Da im Projekt „IndustrieStadtspark“ über die Mensch-Technik-Interaktion hinaus ein Fokus auf gesundheitlichen Auswirkungen der Ist-Situation und Veränderung durch Technikeinsatz liegt, wird die Analyse um ausgewählte Kriterien aus den Ebenen Arbeitssystem und Arbeitstätigkeit erweitert. Andererseits erscheinen nicht alle KOMPASS-Kriterien für die hier gewählte Perspektive relevant. Die Kriterien werden im Folgenden mit Blick auf das Projekt IndustrieStadtspark diskutiert.

Kriterien zum Arbeitssystem

Vollständigkeit der Arbeitsaufgabe, Polyvalenz der Mitglieder des Arbeitssystems, Unabhängigkeit des Arbeitssystems:

Die Vollständigkeit der Arbeitsaufgaben wird aus Sicht der menschlichen Arbeitstätigkeit (s. u.) betrachtet, da sich hier die Veränderungen durch technische Tools stärker bemerkbar machen sollten als auf Arbeitssystem-Ebene. Auch beim Kriterium der Polyvalenz fokussieren wir die Ebene der menschlichen Arbeitsaufgabe, da vor dem Hintergrund der Projektlaufzeit zunächst die persönliche Entwicklung einzelner Beschäftigter realistischer erscheint. Das Kriterium Unabhängigkeit des Arbeitssystems ging im Projekt IndustrieStadtspark über das Forschungsthema hinaus und wurde daher in den Bewertungskatalog nicht aufgenommen. Mit diesem Kriterium sind z. B. Aspekte in Richtung der Gruppenarbeits-Organisationsformen angesprochen.

Passung Regelungsbedarf und Regelungsmöglichkeiten:

Beispiele für einen Regelungsbedarf stellen etwa Unterbrechungen der Arbeit durch häufige Störungen, unklare Zuständigkeit für Aufgaben, Terminplanung für andere Gruppen/Abteilungen in internen Servicebereichen dar. Eine entsprechende Regelungsmöglichkeit kann je nach Aufbauorganisation in der eigenen Arbeitsgruppe/Abteilung oder außerhalb gegeben sein. Dies hat Konsequenzen für die Aussichten, die Problematik kurzfristig zu lösen.

Autonomie von Arbeitsgruppen:

Gemeinsame Entscheidungsfindung bezüglich interner und externer Koordination, interne Personalführung und kontinuierliche Verbesserung innerhalb des Arbeitssystems

So können etwa Abhängigkeiten mit anderen internen Abteilungen dazu führen, dass ein Arbeitsprozess nicht wie vorgesehen durchgeführt werden kann. Auch diese Aspekte zählen zu den organisatorischen Kriterien, die in der PBA adressiert werden.

Grenzregelung durch Vorgesetzte

Verhältnis zwischen internen und externen Koordinationsaufgaben der Vorgesetzten

Dieser Aspekt kann sich z. B. ausdrücken in mangelnder Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen von Führungskräften; er beinhaltet zudem, wie weit Handlungsspielräume der Mitarbeitenden durch Vorgesetzte reglementiert sind.

Menschliche Arbeitsaufgaben

Die Kriterien dieser Ebene entsprechend weitgehend den Standards guter Arbeit (z.B. Hacker and Sachse, 2023).

Vollständigkeit der Aufgaben

Die Aufgaben eines Mitarbeiters umfassen Vorbereitung, Planung, Ausführung, Kontrolle und ggfs. Wartung/Reparatur. Erfassungsmethoden sind z. B.

- Tätigkeitsanalyse (Vor/ohne vs. mit Technikeinsatz; Beobachtung, Tätigkeitsprotokolle, Interviews)
- Evaluation der technischen Anwendung / pro Iteration: Was kann die technische Anwendung dazu beitragen, dass das Tätigkeitsspektrum pro Aufgabe vergrößert wird / was würde der/die Mitarbeitende von der Anwendung benötigen, um z. B. die Kontrolle seines/ihres eigenen Arbeitsergebnisses vornehmen zu können? Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?
Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Mitarbeitenden- und Expert:innen-Interviews)

Anforderungen an Planung und Entscheidung über Arbeitsinhalte und -ergebnisse, Arbeitsmittel und Arbeitsablauf

- Evaluation der technischen Anwendung / pro Iteration: Was kann die technische Anwendung dazu beitragen, dass die Mitarbeitenden verstärkt an Planung und Entscheidung über Arbeitsinhalte und -ergebnisse, Arbeitsmittel und Arbeitsablauf teilhaben? Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?
Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Mitarbeitenden- und Expert:innen-Interviews)

Anforderungen an die Kommunikation und Zusammenarbeit auf der Grundlage gemeinsamer Planung und Entscheidungsfindung

- Evaluation der technischen Anwendung / pro Iteration: Wie kann die technische Anwendung Informationen bereitstellen, die Kommunikation, Zusammenarbeit und Entscheidung verbessern/erleichtern? Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?
Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Mitarbeitenden- und Expert:innen-Interviews)

Möglichkeiten zum Lernen und zur persönlichen Entwicklung

Dieses Kriterium findet sich sowohl in der kontextbezogenen Analyse als auch in der aufgabenbezogenen, mit der Technikentwicklung verbundenen Evaluation.

Die technischen Anwendungen sollten lernförderlich gestaltet werden. Ziel ist, dass die Beschäftigten durch die Nutzung Tätigkeiten erlernen, die sie vorher nicht durchführen konnten. Auf Arbeitssystemebene kann durch gezielte Förderung der Fähigkeiten zu diversen Aufgaben eine polyvalente Belegschaft herausgebildet werden, die die personelle Flexibilität innerhalb einer Arbeitsgruppe erhöht.

Evaluation dieses Kriteriums:

- PBA: Fragen zu Möglichkeiten des Lernens und der persönlichen Entwicklung
- Evaluation der technischen Anwendung / pro Iteration: Was können Sie jetzt, was Sie vorher noch nicht konnten? Gibt es weitere Möglichkeiten der lernförderlichen Unterstützung?
- Ggfs. Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Interviews der Nutzenden)

Vielfalt: Anforderungen an den Umgang mit unterschiedlichen Materialien, Verfahren und Werkzeugen, Produktarten und Personen

Dieses Kriterium erschien im Projekt 5G IndustrieStadtspark Troisdorf vor dem Hintergrund begrenzter Projektlaufzeit und -reichweite durch die Lernförderlichkeit hinreichend abgedeckt und wurde daher im Projekt nicht eingesetzt.

Transparenz über die Einbindung der eigenen Arbeitsaufgaben in den Gesamtarbeitsablauf

Bzw. Transparenz über den eigenen Beitrag zum Erfolg

- Evaluation der technischen Anwendung / pro Iteration: (Inwiefern) kann die Anwendung zu größerer Transparenz und verbesserter Einschätzung des eigenen Beitrags für den Arbeitsablauf beitragen? Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)
- Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Interviews der Nutzenden)

Zeitliche Flexibilität

Planungshorizont, zeitliche Kopplung bezüglich Arbeitsaufgaben und Produktionsprozess, Zeitdruck

Dieses Kriterium wurde im Projekt 5G IndustrieStadtspark Troisdorf in erster Linie durch Zeitdruck repräsentiert, dessen Ursachen in Gruppenworkshops näher eruiert und gemeinsam in Handlungsempfehlungen überführt wurden. Im Use Case 1 „Stapler-Leitsystem“ wurde eine Lösung über die Sensorik u. a. zur Predictive Maintenance für die Staplerwerkstatt angestrebt.

- Tätigkeitsanalyse (Vor/ohne Technikeinsatz; Beobachtung oder Tätigkeitsprotokolle zzgl. Interviews der MA)

- Evaluation der technischen Anwendung / pro Iteration: Was kann die technische Anwendung dazu beitragen, Zeitdruck zu vermindern? Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?
- Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Mitarbeitenden- und Expert:innen-Interviews)

Mensch-Technik-System

Die in KOMPASS (seinerzeit ausgerichtet auf Automatisierungstechnik) verwendete Bezeichnung dieser Ebene („Mensch-Maschine-System“) wurde mit Blick auf die beiden im Projekt 5G IndustrieStadtPark Troisdorf betrachteten technischen Entitäten 5G-Anwendung und Produktionsmaschinen bzw. Stapler zum „Mensch-Technik-System“ verallgemeinert, da die Kombination aus Maschinenautomatisierung und zusätzlichen digitalen Systemen in nahezu allen Digitalisierungsszenarien auftritt. Entsprechend müssen die Kriterien auf den jeweiligen technischen Anwendungsfall bezogen werden, der ggfs. ebenfalls über die Automatisierungstechnik hinausgeht bzw. mehrere technische (z. B. maschinelle und digitale) Systeme beinhaltet, die in ihrem Zusammenwirken als technische Komponente im soziotechnischen System betrachtet werden müssen.

Die Kriterien für das Mensch-Technik-System haben allesamt Gestaltungsrelevanz und beziehen die neue Technik explizit ein, d. h. fallen nicht in den Bereich der Ist-Analysen (KOMPASS-Modul B). Wir bewegen uns also hier im Modul C. Gemäß dem MTO-Prinzip interagieren in diesem Modul Gestaltungsmaßnahmen personenbezogener, organisatorischer und technischer Art miteinander, weshalb auch hier zusätzlich Kriterien aus der PBA zum Tragen kommen.

Prozess-Transparenz

Möglichkeiten zur Bildung und Aufrechterhaltung mentaler Modelle über die allgemeine Art und zeitliche Struktur der Produktionsprozesse und der erforderlichen Eingriffe, Modalitäten der Prozessrückmeldung. Hierzu gehören (Grote et al., 1997, p. 263) möglichst direkte Rückmeldungen über Vorgänge im technischen System; auch hinsichtlich Eigenschaften verwendeter Daten, z. B. sollte erkennbar sein, ob Simulations- oder Echt-Daten vorliegen; Informationen über die allgemeine Natur des Prozesses, notwendige Bearbeitungsschritte etc.

Dieser Aspekt muss für den jeweiligen Anwendungsfall adaptiert werden, da – wie bereits angemerkt – unterschiedliche technische Systeme nebeneinander oder zusammen wirken und für diese die Transparenzanforderung erfüllt werden sollte. So wurde im Use Case 2 (AP3) eine Augmented Reality-Brille eingesetzt, auf der eine 5G-Anleitung zum Reinigen einer Maschine (Kunststoffzerkleinerer/„Granulator“ dargeboten wurde. Zu betrachten waren in diesem Fall:

1. Ebene: 5G-App: Transparenz, was diese macht, in welchem Zustand sie sich befindet, wie sie kontrolliert/beeinflusst werden kann (vgl. DIN 9241-110²⁷: System jederzeit beeinflussbar) (Bellotti et al., 2002)
2. Ebene: Prozess: wird durch die App ein besseres Verständnis der Prozesse am Granulator gefördert?

²⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/ISO_9241#ISO_9241-110_Interaktionsprinzipien

- Evaluation der 5G-Anwendung / pro Iteration: Gibt die 5G-Anwendung ausreichende Hinweise zu Vorgängen im technischen System sowie Systemzuständen? Ist die Anwendung lernförderlich gestaltet in dem Sinne, dass Prozessverständnis („nur“ über das 5G-System? Oder auch über den Prozess, der unterstützt wird?) erworben wird?* (Iteration 1 und 2)
- Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?
- (Interviews der Nutzer; Experten-Interviews)
- Ggfs. Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
- (Interviews der Nutzer; Experten-Interviews)
- Schlussevaluation

*Bewertungsgrößen könnten z. B. Fragen zu Prozesswissen sein. Allerdings ist im Rahmen einer stichpunktartigen Evaluation am Prototypen nur sehr eingeschränkt möglich, Lernerfolg zu messen. Hierzu müsste das weiterentwickelte technische Artefakt über einen Zeitraum – z. B. 3 bis 6 Monate – im betrieblichen Alltag eingesetzt werden.

(Starre vs.) Dynamische Kopplung

Verfügbarkeit und Nutzung technisch bereitgestellter Optionen bezüglich Zeit, Ort, Arbeitsabläufen und erforderlichem kognitiven Aufwand. Es wird jeweils gefragt, inwieweit das technische System Wahlmöglichkeiten lässt (=dynamische Kopplung)

Hier: wie abhängig ist man von dem technischen System 1. dem Produktionssystem; 2. dem 5G-System (hier z. B. zunächst enge/eher starre Kopplung angedacht: vorgegebene Reihenfolge; Kopplung verändert sich qualifikationsbegleitend/Dynamisierung mit steigender Kompetenz?)

- Evaluation der 5G-Anwendung / pro Iteration: (Inwieweit) lässt die 5G-Anwendung Wahlmöglichkeiten bzw. erhöht ggfs. Wahlmöglichkeiten im Arbeitsprozess? Passt dieses Maß der Kopplung zur jeweils vorgesehenen Unterstützung (Iteration 1 und 2)?
- Inwieweit gibt es Wahlmöglichkeiten, ob das technische System verwendet wird oder nicht? Beispiel: überspringt ein Mitarbeiter bestimmte Schritte in der AR-Anleitung und löst die Aufgabe in eigener Vorgehensweise? Erfüllt dies die Aufgabenziele oder wäre z. B. aus Gründen der Gewährleistung an einer Maschine die in der Anleitung vorgegebene Vorgehensweise einzuhalten? (arbeitsorganisatorische Frage!)
- Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?
- Ggfs. Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Interviews der Nutzenden)

Entscheidungskompetenz

Verteilung der Entscheidungskompetenz bezüglich Informationszugriff und Prozesssteuerung zwischen menschlichen Bediener und technischem System

- Evaluation der 5G-Anwendung / pro Iteration: (Inwieweit) ermöglicht das 5G-System dem Nutzer, durch Anleitung oder Prozessdaten qualifizierte Entscheidungen zu treffen? (Iteration

1 und 2)? Welche organisatorischen und personenbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten können/sollen eingesetzt werden (Bedarf gemäß PBA)?

- Ggfs. Iteration 2 und 3: Wurde dies erfolgreich umgesetzt?
(Interviews der Nutzer)

Ein im Use Case 1 diskutiertes Beispiel ist die automatische Abschaltung der Gabelstapler bei Erschütterungen z. B. durch einen Unfall, aber auch beim Durchfahren eines tiefen Schlaglochs. Hier liegt die „Entscheidungskompetenz“ beim System. Eine organisatorische Gestaltungsmöglichkeit wäre, dem Mitarbeiter unter bestimmten Bedingungen – z. B. dokumentierte Schlagloch-Durchfahrt ohne erkennbare Schäden – selbst die Freischaltung zu ermöglichen.

Flexibilität

Variabilität der Funktionsverteilung zwischen Mensch und technischem System und Verteilung der jeweiligen Entscheidungsbefugnis

Dieses Kriterium war für die Use Cases im Projekt nicht anwendbar.

Mensch-Technik- Interaktion und UX-Kriterien

Die Anforderungen unterschiedlicher Personen (-gruppen) an eine Technologie sowie ihre „Einstiegsvoraussetzungen“, Erfahrungen, Einstellungen und Interessenlagen können sehr heterogen sein und die Beurteilung der Anwendung beeinflussen. Daher sind auch Kriterien zur Ausgangssituation der Mitarbeitenden Bestandteil des Bewertungskataloges. Zudem kommen UX-Kriterien und – spezifisch für die Extended-Reality-Technologien - Fragen der Präsenz (Presence), der Wirkung einer immersiven Technologie auf die nutzende Person, zur Anwendung. Schließlich bietet eine partizipative Technikentwicklung die Chance, auch Datenschutzthemen im Einvernehmen mit den künftigen Nutzenden zu regeln, weshalb auch dieses zentrale Kriterium aufgenommen wurde.

Ausgangssituation der Nutzenden

Erfahrungen der Betroffenen mit der relevanten Technologie (z. B. Computern, mobilen elektronischen Geräten, Augmented-Reality-Anwendungen)

Hier geht es darum, festzustellen, ob und wie oft die Mitarbeitenden die Technologie bereits angewendet haben. Diese Fragen werden vor der praktischen Aufgabendurchführung im Rahmen der partizipativen Technikentwicklung in Fragebogenform behandelt und bei Bedarf im Interview (nach der Aufgabendurchführung) ebenfalls aufgegriffen. Teils lassen sich Auffälligkeiten in der Testdurchführung dadurch a posteriori besser verstehen. Neben allgemeinen Digitalisierungstechnologien (vgl. (Altepost et al., 2020b)) wurden im Projekt 5G IndustrieStadtspark Troisdorf auch die spezifisch eingesetzten angesprochen, wie etwa die Nutzung einer Augmented oder Virtual Reality Brille. Dies kann Hinweise darauf geben, inwieweit die Testperson durch ein für sie komplett neues Handling mit der XR-Technologie zumindest zu Beginn des Tests belastet gewesen sein könnte.

Für Augmented/Virtual Reality: Vorerfahrung visuell-räumliche Orientierung – so kann z. B. besser beurteilt werden, inwieweit die in der XR-App vorhandenen Features ein gewisses Maß an Übung erfordern oder bereits intuitiv die Orientierung erleichtern.

Vorerfahrung in der durchzuführenden Tätigkeit

Dieses Kriterium gibt Hinweise, inwieweit die Testperson stark durch die Erkundung und Bewältigung einer für sie ggfs. neuen Aufgabe (im hier zugrunde liegenden Projekt z. B. Staplernutzung, Granulator-Reinigung) eingebunden war; bei Assistenztechnologien (in 5G IndustrieStadtspark Troisdorf in beiden Use Cases verwendet) ist diese Information auch verbunden mit dem Unterstützungspotenzial durch die Technologie.

Wissen und Einstellung zu 5G

Hier geht es vor allem darum, einzuschätzen, ob Fehleinschätzungen und Sorgen im Zusammenhang mit der Technologie – z. B. Befürchtung von Gesundheitsgefahren – die Testperson belasten und die Nutzung möglicherweise beeinflussen.

UX-Kriterien

Fragen zur UX (User Experience) werden nach der Aufgabendurchführung geklärt. Zur vergleichenden Auswertung wurden in 5G IndustrieStadtspark Troisdorf einige Aspekte in Fragebogenform erhoben; andere, die eine offene und kaum vorstrukturierbare Antwort erforderten, wurden im Interview besprochen. Mit den hier vorgestellten Kriterien ist grundsätzlich immer auch die Frage nach möglichen Verbesserungen des Arbeitssystems, insbesondere der Technologie, verbunden.

Funktionalität der Anwendung

Funktioniert die Anwendung so wie vorgesehen (ggfs. in Anforderungserhebung bzw. vorherigen Iterationen gewünscht)?

Aufbau und Benutzerfreundlichkeit der Anwendung

Ist die Anwendung verständlich, intuitiv, gut strukturiert aufgebaut, ist die Interaktion einfach und angenehm?

Unterstützungspotenzial der Anwendung

Wie nützlich ist die Anwendung für die Testperson, für wen ggfs. sonst? An welchen Stellen hat sie gut unterstützt, an welchen nicht? Würde die Testperson die Technologie im betrieblichen Alltag einsetzen?

Visuell-räumliche Darstellung

Wie passend ist das 3D-Modell der Maschine/der Arbeitsumgebung, wie gut wurde die Kollaboration im virtuellen Raum durch die Darstellung unterstützt (z. B. Highlighten von Schrauben, die gelöst werden sollten; Orientierungspfeile zum Auffinden von Maschinenteilen)?

Präsenz und Aufmerksamkeit

Erleben die Testpersonen die Objekte, Aufgaben und ihre eigenen Aktivitäten eher als Teil der Realität oder eher in der Virtualität? Wann überwiegt das eine, wann das andere? Worauf richten die Testpersonen ihre Aufmerksamkeit?

Kognitionen während der App-Nutzung

Mit diesem Kriterium wird danach gefragt, welche Gedanken den Testpersonen während der App-Nutzung durch den Kopf gehen: steht die App oder die Aufgabe im Vordergrund? Hinterfragen die Mitarbeitenden die Nützlichkeit, nehmen sie einen generell eher kritischen Standpunkt ein? Haben sie auf mögliche Fehler explizit ihre Aufmerksamkeit gerichtet?

Interessenlage hinsichtlich der in der Testung verwendeten Technologie (vor und nach dem Test)

Belastung/Beanspruchung im Arbeitssystem (NASA-TLX)

Dieses Kriterium sollte idealerweise vor und nach der Aufgabendurchführung im Rahmen der partizipativen Technikentwicklung (Iterationen) gemessen werden. „A priori“ kann z. B. die Aufgabe im üblichen Arbeitsalltag, ohne die neue Technologie, durchgeführt und bewertet oder eine durchschnittliche Ausführung dieser Aufgabe hypothetisch eingeschätzt werden.

Die Erfahrungen im Projekt 5G IndustrieStadtspark Troisdorf zeigen, dass es zunächst schwer zu trennen ist, ob eine berichtete Beanspruchung eher durch die Aufgabe oder durch die neue Technologie geprägt ist. Hier kann die Methodentriangulation sehr hilfreich sein und Hinweise aus parallel eingesetzten Methoden, z. B. aus Beobachtung oder dem Auslesen von Logfiles, liefern.

Diese Erkenntnis passt zum Stand der Technik im Bereich der XR-Interaktion (Dörner et al., 2019), die weniger standardisiert ist und daher auch „neuer“ erscheint, als traditionelle 2D Interaktion auf planaren Bildschirmen. Der Bedarf an Standardisierung in diesem Bereich wurde bei DIN/ISO erkannt und so wurde am 24.10.2023 das Gremium NA 043-01-24 AA „Metaverse und Extended Reality“ beim Normenausschusses für Informationstechnik und Anwendungen (NIA) von DIN Deutsches Institut für Normung e.V. unter Beteiligung des Projektleiters gegründet²⁸.

Anwendung des Bewertungskataloges für die MTO-basierte Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen mit innovativen Technologien

Dieser Bewertungskatalog geht von einer ganzheitlichen, partizipativen Einführung innovativer Technologien – hier 5G-Anwendungen – in Unternehmen aus. Der MTO-Ansatz steht für die Perspektive, dass eine Technikeinführung nicht isoliert geschieht, sondern in Interaktion mit personen- und organisationsbezogenen Rahmenbedingungen und Veränderungen steht. Hierin können Limitierungen, aber vor allem auch enorme Potenziale liegen, die gehoben werden sollten. Organisationsregeln werden beispielsweise oftmals als unveränderlich, als gesetzt betrachtet, ihre Anpassung an neue technische Möglichkeiten und die Entwicklungspotenziale der Mitarbeitenden versäumt. Daher wird auf diese Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen vieler Kriterien explizit hingewiesen. Nicht alle Kriterien sind jedoch für jeden Anwendungsfall relevant. Der möglichst generisch gehaltene Bewertungskatalog muss entsprechend angepasst und entschieden werden, welche Kriterien für die Ziele von Unternehmen und Beschäftigten eine Rolle spielen und evaluiert werden sollten. Beispielhaft für den Use Case 2 zeigen Tabelle 13 (Kontext) und Tabelle 14 (Technikentwicklung) relevante, im hier zugrunde liegenden Projekt angewendete Kriterien, ihre Verortung in der verwendeten Methodik und die zur Erhebung der Kriterien eingesetzten Instrumente.

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

²⁸ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nia/aktuelles/gruendungssitzung-des-na-043-01-24-aa-metaverse-und-extended-reality-xr--956578>

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

Tabelle 13: Kriterien Bewertungskatalog MTO – Gesamtkontext (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		Fragebogen Leitfaden-Interview
Aufmerksamkeitspole und Präsenz Realität – Virtualität		
Erfahrungen und Interessen (z. B. eigener Nutzen) während des Tests		

Tabelle 14: Kriterien Bewertungskatalog für iterative Evaluation der Technik im Arbeitskontext MTO, Beispiel: Granulator Reinigung (Auswahl)

Ausblick

Der hier vorgelegte Bewertungskatalog vereint konzeptuelle Leitkriterien der MTO-Analyse, der Psychischen Belastungsanalyse und der Mensch-Technik-Interaktion und richtet diese an den Zielen der Use Cases aus dem Projekt 5G IndustrieStadtspark Troisdorf aus. Er ist als „lebendes Dokument“ zu verstehen, das beim Transfer auf andere Zielsysteme und Use Cases, insbesondere auch weitere Technologien oder soziale Innovationen wie z. B. neue Organisationsformen der Arbeit weiterentwickelt werden muss.

Die Autoren hoffen, mit dieser Vorgehensweise einen Impuls und ein Praxisbeispiel zu geben, auf etablierten und wissenschaftlich erprobten arbeitswissenschaftlichen Kriterien aufzusetzen und diese auf die individuellen betrieblichen Zielsetzungen auszurichten. Über Feedback und Austausch freuen wir uns.