Werk4.0

Nutzerzentrierung als strategisches Prinzip für resiliente Produktionssysteme

– Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Projekt Werk 4.0

Kolja Pietsch, Severin Reuter & Anna-Caterina Walk
Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V.

Kolja Pietsch
E-Mail: kolja.pietsch@wvsc.berlin
Rohrdamm 88, 13629 Berlin, Deutschland

Dezember 2025

Werner-von-Siemens Centre
for Industry and Science

© Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V., 2025. Alle Rechte vorbehalten.

Abstract

Das Forschungsprojekt Werk 4.0 zeigt, dass Nutzerzentrierung durch die Verbindung von Mensch, Technik und Kompetenzen die Akzeptanz und Wirksamkeit digitaler Lösungen erhöht und damit die Grundlage für resiliente, lernende und innovative Produktionssysteme schafft.

Die industrielle Produktion steht vor tiefgreifenden Herausforderungen: Technologischer Wandel, volatile Märkte und der Ruf nach Nachhaltigkeit erfordern neue Ansätze für resiliente Produktionssysteme. Das öffentlich geförderte Verbundprojekt Werk 4.0 hat Nutzerzentrierung als strategisches Prinzip etabliert, um die Akzeptanz und Wirksamkeit digitaler Technologien und Lernformate zu steigern. Im Mittelpunkt stehen die enge Verzahnung von Mensch, Technologie und Kompetenzen sowie die Entwicklung und Erprobung nutzerzentrierter Lösungen wie der In-Line Qualifikation und des Innovationsflugprogramms. Durch Co-Creation, Persona-Arbeit, Workshops zu ethischen, legalen und sozialen Implikationen und die Entwicklung von Akzeptanzkriterien wurden technische und didaktische Innovationen systematisch an den Bedürfnissen der Nutzer*innen* ausgerichtet. Die Ergebnisse zeigen: Nutzerzentrierung ist kein Zusatz, sondern eine systemische Bedingung für nachhaltige Transformation und Resilienz in der Industrie. Das Whitepaper fasst die methodischen Ansätze, empirischen Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Potenziale für lernende, innovative und widerstandsfähige Produktionssysteme.

Schlagworte: Nutzerzentrierung, Technologieakzeptanz, Resilienz, Handlungskompetenz, Co-Creation, Design Thinking, In-Line-Qualifizierung, Innovationsfähigkeit, Future Skills, Adaptive Lernformate, VUCA-Welt, Organisationale Resilienz

Inhalt

Abstract 2

Einleitung 5

Nutzerzentrierung: Unser Ansatz im Projekt Werk 4.0 8

Analysephase: Nutzerzentrierte Annäherung im Projekt Werk 4.0 im Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“ 11

Methodischer Ansatz 11

Von der Analyse zur Gestaltung: Persona und Klickdummy 12

ELSI-Workshop: Ethik, Recht und soziale Aspekte im Fokus 13

Handlungskompetenzmodell als methodisches Fundament 15

Prototyping 17

Sinn und Zweck von Prototyping 17

Prototyping im Projekt Werk 4.0: Minimum Lovable Product (MLP) statt MVP 17

Prototypen zur Nutzerzentrierung aus Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“ heraus 18

1. Konzept zum Handlungskompetenzmodell Werk 4.0 18
2. Technische Lösung der In-Line Qualifikation 19
3. Innovationsflugprogramm (Arbeitstitel: „InnoFly“, „Resilienzhelfer“): Lernmodul zur Stärkung der (Team)-Handlungskompetenz im Produktionskontext 24

Testing: Warum Testen für Nutzerzentrierung, Akzeptanz und Innovation unverzichtbar ist 26

1. Testing der technischen Lösung im Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“ 27
   - 1.1. Frühe Testphase: Persona „Jürgen“, Klickdummy, User Journey & ELSI-Workshop 27
   - 1.2. Think-Aloud-Testing mit Produktionsmitarbeitenden 28
   - 1.3. Testing der entwickelten App im Reallabor 28
2. Testing des Innovationsflugprogramms 29

Ergebnisse, Handlungsempfehlungen und Ausblick **33**

Technische Lösung In-Line Qualifikation 33

Innovationsflugprogramm 34

Gesamtbewertung: Nutzerzentrierung als Resilienzprinzip 35

Strategien für nutzerzentrierte Kompetenzentwicklung in der Produktion 36

Ausblick und Forschungsbedarf: Zusammenfassung 38

Technische Lösung für In-Line Qualifikation 38

Innovationsflugprogramm 38

Allgemeiner Ausblick 38

Arbeiten und Ansätze für Nutzerzentrierung im Gesamtprojekt **39**

Ergebnisse, Handlungsempfehlungen und Ausblick für Nutzerzentrierung aus dem Gesamtprojekt **41**

Schlusswort **42**

Glossar **43**

Quellen **46**

Das Projekt Werk 4.0 ..... **50**

Impressum **51**

Einleitung

Die industrielle Produktion befindet sich in einer Phase tiefgreifender Transformation. Neben technologischen Innovationen und sich wandelnden Marktbedingungen rücken insbesondere die Anforderungen an die Mitarbeitenden in den Mittelpunkt: Unternehmen stehen vor der Herausforderung, ihre Produktionssysteme nicht nur effizient, sondern auch anpassungsfähig und resilient zu gestalten. Im Zentrum dieser Entwicklung steht die Frage, wie Menschen, Technik und Kompetenzen so miteinander verzahnt werden können, dass nachhaltige Wertschöpfung und Innovationsfähigkeit gesichert werden.

Die deutsche Automobilindustrie ist besonders betroffen: Elektromobilität, wechselnde Rohstoffkosten und Fachkräftemangel zwingen Unternehmen zum Umdenken. (Kettner-Edelmetalle, 2025; BearingPoint & Handelsblatt Research, 2024)

Gleichzeitig müssen Unternehmen flexibel auf individuellere Kundenanforderungen reagieren. Sie müssen ihre Produktionsstrategien agil ausrichten, um schnell auf wechselnde Anforderungen zu reagieren. (OPEX, 2025)

Hinzu kommt, dass Krisenzeiten in immer kürzeren Abständen auftreten. Globale Lieferengpässe, geopolitische Unsicherheiten und Nachfrageschwankungen sind zur Normalität geworden (MD Elektronik, 2025; Synprocure, 2025). In dieser VUCA-Welt, die durch Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Mehrdeutigkeit geprägt ist, müssen Produktionssysteme nicht nur effizient, sondern auch besonders widerstandsfähig sein (Fraunhofer IAO, 2025). Die Fähigkeit, Prozesse schnell anzupassen und auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren, entwickelt sich zur strategischen Notwendigkeit.

Doch neue Technologien allein genügen nicht. Der Erfolg digitaler Transformationen hängt entscheidend ab von einer oft vernachlässigten Voraussetzung: der Akzeptanz und dem aktiven Mitgestaltungswillen der Menschen, die damit arbeiten. Studien zeigen, dass digitale Systeme weniger an technischen Mängeln scheitern als an fehlender Nutzerakzeptanz. (Ullrich et al.2017) Gleichzeitig nehmen die Anforderungen an Produktionsmitarbeitende deutlich zu, was in Kombination dazu führt, dass qualifizierte Fachkräfte auf dem Arbeitsmarkt immer seltener zu finden sind. (Optimum GmbH, 2025)

Es entsteht ein Paradoxon: Um resilient zu werden, benötigen Unternehmen Technologien. Doch ohne Menschen, die diese verstehen und nutzen, bleiben Investitionen unwirksam. Um sich produktiv mit neuen Technologien auseinanderzusetzen,

benötigen Menschen passende Lernmöglichkeiten, die idealerweise direkt am Arbeitsplatz im authentischen Produktionsumfeld stattfinden. (Lernen und Qualifizierung 4.0, 2018)

Das Projekt Werk 4.0 als Forschungsfeld für resiliente Produktion

Das öffentlich geförderte Verbundprojekt Werk 4.0 adressiert diese Herausforderungen systematisch. Das Ziel: ein lernfähiges, robustes und adaptives Produktionssystem zu entwickeln. (Projekt Werk 4.0, WvSC, 2025) Das Projekt startete im Januar 2023 und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Dabei arbeiten 12 Partner aus Großindustrie, Mittelstand, Start-ups sowie Universitäten und Forschungseinrichtungen in einem Reallabor zusammen, das direkt in ein Berliner Automobilwerk in Marienfelde integriert ist.

Das Projekt verfolgt einen radikal neuen Ansatz in der Automobilbranche: Nutzerzentrierung ist strategisches Kernprinzip. Produktion wird nicht als "Mensch vs. Maschine" verstanden, sondern als Kooperation, in der Menschen die Technologien nicht als Belastung, sondern als echte Unterstützung erleben und dabei kontinuierlich lernen können, um zu verstehen, wie sie mit ständigen Veränderungen umgehen und komplexe Systeme beherrschen

Die innovativen Technologien – von AR-Brillen über intelligente Assistenzsysteme bis zu digitalen Lernbegleitern – sollen Mitarbeitende unterstützen, ihre Aufgaben besser zu bewältigen und sich an neue Anforderungen anzupassen. (Projekt Werk 4.0, WvSC, 2025)

Werk 4.0 ist mehr als ein Technologieprojekt. Es ist ein Experimentierraum für drei zentrale Prinzipien: Resilienz, Nutzerzentrierung und Co-Creation. Gemeinsam bilden sie die Grundlage für eine Produktion, die nicht nur effizient, sondern lernfähig und menschenzentriert ist. Nutzerzentrierung schafft Lernräume und stärkt die Handlungsfähigkeit der Beschäftigten, indem Technologien praxisnah und verständlich gestaltet werden. Co-Creation verbindet diese Perspektive mit einem agilen Mindset, das eine offene Innovationskultur ermöglicht und alle Beteiligten aktiv einbindet. Resilienz schließlich sorgt dafür, dass Systeme flexibel und stabil auf Veränderungen reagieren können.

Vertiefende Einblicke in die anderen Dimensionen bietet die Werk 4.0 Whitepaper-Reihe des Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science:

- *Vom konventionellen Produktionswerk zum resilienten Kompetenzwerk* (s. Abb. 1) von Munz & Kühn (2025).

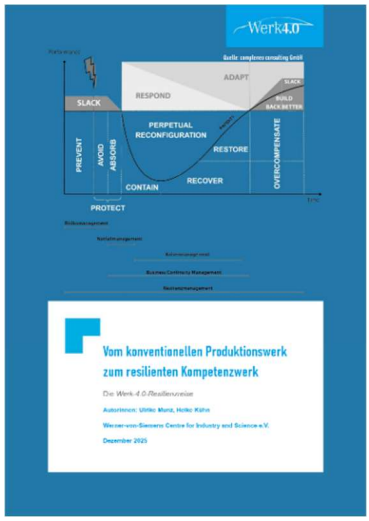


Abbildung 1: Whitepaper: Vom konventionellen Produktionswerk zum resilienten Kompetenzwerk

- *Agile Zusammenarbeit von Verbundprojekten* von Walk & Lerche (s. Abb. 2, 2025).

Abbildung 2: Whitepaper: Agile Zusammenarbeit in Verbundprojekten

Dieses Whitepaper legt den Fokus auf Nutzerzentrierung als Schlüssel für Akzeptanz und Wirksamkeit technologischer Lösungen. Darüber hinaus zeigt es, wie Handlungskompetenzen gezielt gestärkt werden können, um Mitarbeitende in einer dynamischen Produktionsumgebung zu befähigen, sicher und selbstwirksam mit Veränderungen umzugehen.

Die zentralen Herausforderungen – heute und in der Zukunft

Die Herausforderungen heute sind real: Fachkräftemangel verstärkt den Druck auf Mitarbeitende (BearingPoint & Handelsblatt Research, 2024; Optimum GmbH, 2025). Technologieakzeptanz ist schwach – viele sehen digitale Systeme als Kontrollmechanismen (Ullrich et al., 2017). Es fehlen entscheidende Kompetenzen: Weder Lernformate noch Infrastrukturen vermitteln zeitnah Fähigkeiten wie Lernagilität und kollaborative Entscheidungsfähigkeit (Kirchherr et al., 2018; Stifterverband & McKinsey, 2024).

In der Zukunft werden sich diese Herausforderungen weiterzuspitzen. Der technologische Wandel beschleunigt sich; Anforderungen an Arbeitskräfte steigen exponentiell. (Fachkräftewandel.org, 2025; Stifterverband, 2025) Kontinuierliches Lernen wird zur Existenzbedingung. (Lernen und Qualifizierung 4.0, 2018) Produktionssysteme müssen nicht nur schneller reagieren,

sondern auch flexibler und autonomer werden. (Fraunhofer IAO, 2025)

Das Projekt Werk 4.0 untersucht daher konkret: Wie schaffen wir Produktionsräume und Lernkulturen, in denen Menschen durch kontinuierliche Kompetenzentwicklung aktiv zu organisationaler Resilienz beitragen und Veränderungen mitzugestalten?

Nutzerzentrierung: Unser Ansatz im Projekt Werk 4.0

Die aus der Einleitung bekannten Herausforderungen wie Fachkräftemangel, geringe Technologieakzeptanz und fehlende Kompetenzen erfordern nicht nur einzelne Lösungen, sondern einen systematischen, ganzheitlichen Ansatz. Genau hier setzt die iterative Arbeitsweise im Sinne der Nutzerzentrierung an. Dieser Ansatz ermöglicht es, Probleme kontinuierlich zu identifizieren, Lösungen gemeinsam mit den Benutzerinnen zu entwickeln und diese schrittweise zu verbessern, anstatt sie erst am Ende als „fertig“ zu präsentieren (Bayern Innovativ, 2024). Durch wiederholte Feedbackschleifen zwischen Mitarbeitenden, Technolog*innen und* Lernexpert*innen* entstehen Lösungen, die wirklich in der Praxis funktionieren und von den Menschen akzeptiert werden. Dies ist besonders in der Produktion essenziell, denn ohne die aktive Teilhabe der Benutzer*innen* bleiben Digitalisierungsprojekte oft in der Pilotphase stecken (Ostrowski, Pokorni & Schumacher, 2020).

Wie lässt sich diese kontinuierliche Einbindung der Nutzer*innen* in ein klares Vorgehensmodell überführen, das Innovation und Akzeptanz gleichermaßen fördert?

Design Thinking als Framework für Lernmodul und Technologieentwicklung

Was ist Design Thinking? Design Thinking ist ein strukturierter Innovationsprozess (s. Abb. 3), der aus der Designpraxis hervorgegangen ist und ursprünglich in der Produktentwicklung genutzt wurde. Dabei stehen die Bedürfnisse der Nutzer*innen* von Beginn an im Mittelpunkt. Es kombiniert kreative Ideenfindung mit systematischer Problemanalyse und folgt dabei einem iterativen Ablauf: Verstehen, Beobachten, Ziel definieren, Ideen entwickeln, Prototypen bauen und testen (Veraenderungskraft, 2025; Berlinerteam, 2025). Zentral ist dabei die Haltung, dass beste Lösungen entstehen, wenn man die realen Probleme von Nutzer*innen* versteht und diese aktiv in den Entwicklungsprozess einbezieht.

Für die Entwicklung von Lernmodulen und technologischen Assistenzsystemen in der Produktion bietet Design Thinking entscheidende Vorteile: (1) Empathie vor Technologie: Statt zunächst Technologie zu entwickeln und diese später "benutzerfreundlich" zu machen, beginnt man damit, die echten Anforderungen von Produktionsmitarbei-

tenden zu verstehen. Was sind ihre Herausforderungen? Wie lernen sie am besten? Welche Ängste haben sie vor neuen Systemen (HMI-Project, 2025)? (2) Schnelle Iteration statt perfektionistische Planung: Im Gegensatz zu klassischen, wasserfallartigen Entwicklungsprozessen wird hier schnell mit Prototypen getestet. Fehler werden früh erkannt und führen unmittelbar zu Verbesserungen, nicht erst nach monatelanger Entwicklung (Karl Hosang, 2023). (3) Interdisziplinäre Zusammenarbeit: Entwickler*innen*, Pädago*ginnen*, Produktionsleiter*innen* und Mitarbeitende arbeiten im Projekt Werk 4.0 von Anfang an gemeinsam, was zu Lösungen führt, die technisch robust, praktisch nutzbar und lernförderlich zugleich sind (Veränderungskraft, 2025).

Besonders in einem unsicheren Umfeld wie der heutigen Industrie 4.0 und noch stärker in der sich abzeichnenden Industrie 5.0 mit ihrem klaren Fokus auf Menschenzentrierung ist Flexibilität entscheidend. Anforderungen ändern sich schnell, neue Technologien entstehen und Märkte verschieben sich. Im Projekt Werk 4.0 und im Kern des Arbeitspakets „In-Line Qualifikation“ wird Design Thinking deshalb nicht als abstrakte Methode verstanden, sondern als praktisches Framework für die Entwicklung von Lernmodulen und technologischen Assistenzsystemen genutzt. Dadurch können sowohl die Lernformate als auch die Technologie iterativ gemeinsam mit den späteren Nutzer*innen*, den Produktionsmitarbeitenden, entwickelt und kontinuierlich verbessert werden. Das Ergebnis ist ein doppelter Mehrwert: Lernmodule, die tatsächlich wirken, und Technologien, die akzeptiert und genutzt werden

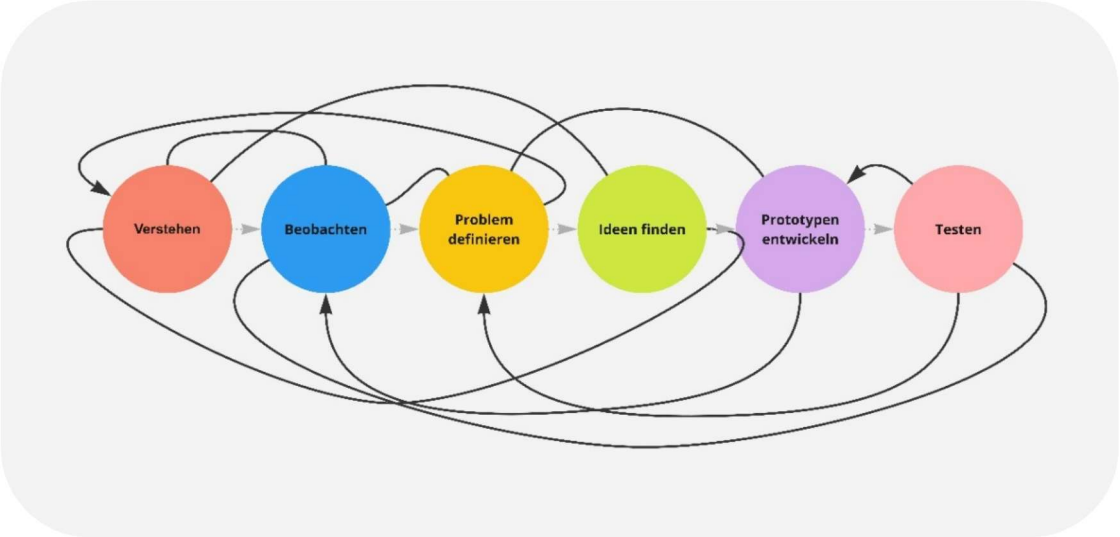


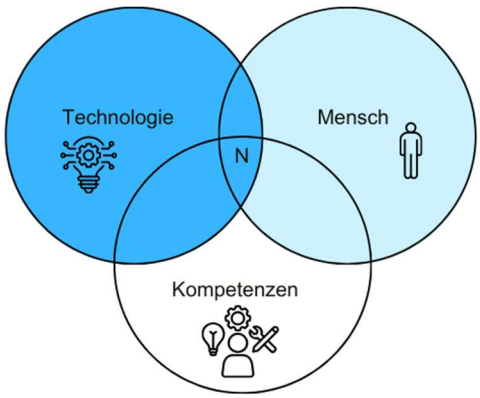
Abbildung 3: Der Design Thinking Prozess: Ein dynamischer Weg durch sechs Phasen, geprägt von iterativen Lernschleifen statt starrer Linearität.

.

Nutzerzentrierung als verbindendes Element

Doch warum ist Nutzerzentrierung so zentral für die Bewältigung der Herausforderungen? Die Antwort liegt in der Tatsache, dass drei zentrale Faktoren für Erfolg in der modernen Produktion zusammenwirken müssen: Mensch, Technologie und Kompetenzen. Isoliert betrachtet, funktioniert keiner dieser Faktoren. (MHP, 2025; Plattform Lernende Systeme, 2025)

Nutzerzentrierung als verbindendes Element – Die Symbiose von Mensch, Technologie und Kompetenzen



Mensch und Technologie können nur dann eine produktive Partnerschaft eingehen, wenn die Technologie so gestaltet ist, dass sie der menschlichen Arbeitsweise entspricht und nicht dagegen. Das ist die Aufgabe von Akzeptanz und Verständnis: Mitarbeitende müssen verstehen, warum eine Technologie eingeführt wird, wie sie funktioniert und welchen Nutzen sie für ihre tägliche Arbeit hat. Nur dann entstehen Akzeptanz und positive Nutzung (HMI-Project, 2025).

Mensch und Kompetenzen verbinden sich durch Lernfähigkeit und Entwicklung: Ein Mensch kann nur dann mit neuen Anforderungen umgehen und sich an Veränderungen anpassen, wenn ihm kontinuierlich Gelegenheiten zum Lernen und Wachsen gegeben werden. Das bedeutet: am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in der richtigen Art und Weise.

Technologie und Kompetenzen schließlich erfordern adaptive Systeme: Intelligente Assistenzsysteme und Lernplattformen müssen in der Lage sein, sich an den individuellen Lernstand und die Bedürfnisse verschiedener Mitarbeitende anzupassen. Sie sollen nicht alle gleich behandeln, sondern personalisiert unterstützen.

Wenn diese drei Faktoren durch Nutzerzentrierung zusammenkommen, entsteht eine Symbiose: Mitarbeitende verstehen die Technologie und nehmen sie als nützlich wahr. Die Technologie unterstützt sie beim Lernen neuer Kompetenzen. Diese Kompetenzen ermöglichen es ihnen, die Technologie sinnvoll einzusetzen und wiederum voneinander zu lernen. Ein sich selbstverstärkender Kreislauf entsteht. Ein Grundstein für echte Resilienz (Munz & Kühn, 2025). Resilienz bedeutet in diesem Kontext, dass Mitarbeitende sich sicher und nicht überfordert fühlen, neue Technologien stressarm nutzen können und dadurch Ausfallzeiten sowie Belastungen reduziert werden (MHP, 2025; Plattform Lernende Systeme, 2025).

Nutzerzentrierung ist damit nicht nur eine Buzzword, sondern das verbindende Prinzip, das Mensch, Technologie und Kompetenzen in eine produktive Harmonie bringt. Genau diesen Ansatz erprobt das Projekt Werk 4.0.

Analysephase: Nutzerzentrierte Annäherung im Projekt Werk 4.0 im Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“

Zu Beginn des Projekts wurden in Zusammenarbeit mit der Firma YOUSE GmbH im Rahmen für das Arbeitspaket zur In-Line Qualifizierung (AP6) die Herausforderungen und Probleme im realen Produktionskontext umfassend analysiert. Ziel war es, die Bedürfnisse der Beschäftigten sowie die Auswirkungen technologischer Veränderungen – insbesondere in Zeiten von Wandel und Krisen – zu verstehen.

Methodischer Ansatz

- **Arbeitsplatzbegehungen** in Automobilwerken in Berlin und Bremen, um reale Arbeitsprozesse und Schnittstellen zwischen Mensch und Technik in und an der Produktionslinie kennenzulernen.
- **Qualitative Interviews**, um individuelle Erfahrungen, Sorgen und Wünsche der Beschäftigten zu erfassen. Besonderer Fokus lag auf der Wahrnehmung technologischer Unterstützung und zukunftsweisender Technologien wie AR, VR und KI.
- **Quantitative Befragung (n=64)**, um Muster und Trends werksübergreifend zu identifizieren und qualitative Beobachtungen zu validieren.

Die Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet und in Bezug auf bestehende sowie zukünftige Veränderungen im Produktionsumfeld interpretiert.

Kernaussagen aus den Erhebungen

- Mitarbeitende sind grundsätzlich offen gegenüber technologischen Neuerungen – vorausgesetzt, diese sind **verständlich, sicher und sinnvoll gestaltet**.
- Technologie wird als unterstützend wahrgenommen, wenn sie **praktisch erlebbar** ist und einen **klaren persönlichen Nutzen** bietet.
- Emotionale Belastung bleibt ein kritischer Faktor, insbesondere im direkten Produktionsgeschehen.

Evidenz

- Akzeptanz bei Nutzung neuer Technologien steigt bei verständlicher Einführung und konkreten Anwendungsbeispielen.
- Skepsis besteht gegenüber Überwachung, Arbeitsplatzverlust und unklaren Nutzenversprechen.
- Lernen erfolgt bevorzugt durch „Learning by Doing“, kollegiale Einweisung und visuelle Formate.

- Tablets, AR und KI werden als hilfreich bewertet; VR und Smartwatches eher kritisch, da sie an der Linie als nicht praktikabel angesehen werden.
- Mitarbeitende wünschen sich Unterstützung, Sicherheit und Selbstwirksamkeit im Umgang mit Veränderungen.

Implikationen für In-Line Qualifizierung

- Qualifizierungsmaßnahmen müssen **praxisnah, rollenbezogen und flexibel** sein.
- **Peer-Learning, Microlearning** (Microlearning bedeutet die Vermittlung von Lerninhalten in kurzen, fokussierten Einheiten, die sich einfach in den Arbeitsablauf integrieren lassen) und **transparente Kommunikation** sind zentrale Erfolgsfaktoren.
- Technologieeinführungen sollten durch **Beteiligungsprozesse und konkrete Anwendungsbeispiele** begleitet werden.

Von der Analyse zur Gestaltung: Persona und Klickdummy

Um die Erkenntnisse greifbar zu machen, wurde eine repräsentative Persona „Jürgen“ entwickelt. Sie fasst typische Bedürfnisse und Herausforderungen zusammen und macht die Ergebnisse der Analyse anschaulich. Die Persona-Methode dient dazu, komplexe Nutzeranforderungen in einer realistischen Figur zu bündeln und so eine klare Grundlage für die Entwicklung nutzerzentrierter Konzepte und Lösungen zu schaffen.

Eigenschaften von Jürgen

Persona“Jürgen" (Kombination eigener grafischer Elemente und adaptiert aus SAP Scenes (SAP SE, 2019))

- Möchte seinen Arbeitsplatz umfassend kennen und beherrschen.
- Wünscht sich klare Information und Anleitung bei Veränderungen.
- Schätzt gute soziale Beziehungen am Arbeitsplatz und gibt gerne Erfahrungswissen weiter.

Herausforderungen bei Veränderungen

- Unerwarteter Arbeitsplatzwechsel führt zu Unsicherheit.
- Unzureichende Information über Veränderungen.
- Fehlende direkte Ansprechpersonen.
- Längere Eingewöhnungszeit bei umfangreichen Änderungen.

Auf Basis dieser Persona entstand ein erster Prototyop, der Klickdummy für Lernmöglichkeiten und passgenaue Informationen an der Linie bei Veränderungen, der die identifizierten Anforderungen in eine konkrete Lösungsidee überführt. Ergänzend wurde eine User Journey entwickelt, die die emotionale Reise von Jürgen ohne und mit entwickelter Lösung sichtbar macht.

Wie sich diese darstellt, wird in einem Teil des Kapitels „Prototyping“ genauer beschrieben.

Um die Akzeptanz der Lösung ganzheitlich zu stärken, galt es nun, über die technische Ebene hinaus auch ethische und soziale Faktoren einzubeziehen.

ELSI-Workshop: Ethik, Recht und soziale Aspekte im Fokus

Die Persona und der Klickdummy dienten als Grundlage für den **ELSI-Workshop (Ethische, Legale, Soziale Implikationen),** welcher ebenfalls mit der Unterstützung der Firma YOUSE GmbH durchgeführt wurde. Ziel war es, über die funktionale Perspektive hinauszugehen und **ethische, soziale und rechtliche Fragestellungen** eines In-Line-Qualifizierungssystems zu reflektieren.

Durch die Einbindung unterschiedlicher Stakeholder – einschließlich Betriebsrat – konnten auch kritische Stimmen berücksichtigt werden, die in klassischen Befragungen oft unterrepräsentiert sind. So wurden potenzielle „Blind Spots“ identifiziert, die für die Akzeptanz und nachhaltige Implementierung entscheidend sind.

Im Mittelpunkt des Workshops stand die Akzeptanz von Technologien seitens der Mitarbeitenden. Die zentralen ethischen Dimensionen, die in Anlehnung an das MEESTAR-Modell (s. Abb. 4) im Workshop bearbeitet wurden, sind: Privatheit, Sicherheit, Teilhabe & Gerechtigkeit, Fürsorge und Selbstbestimmung & Transparenz .

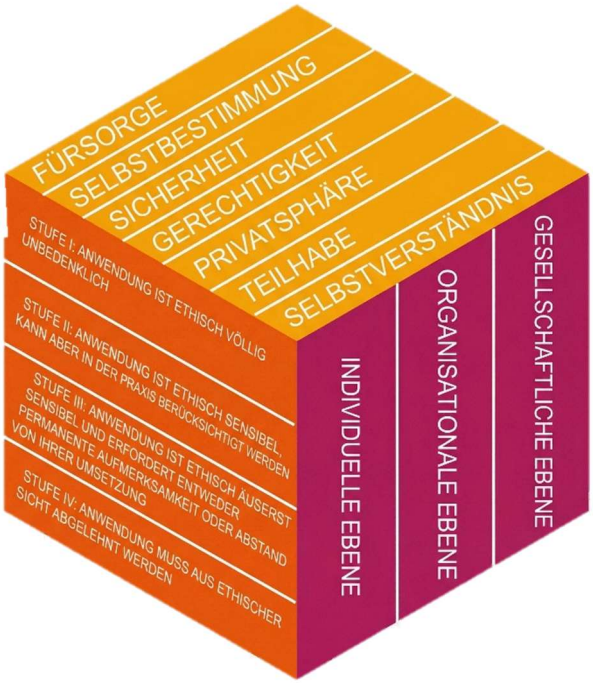


Abbildung 4: Das MEESTAR-Modell zur ethischen Evaluierung.(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Manzeschke et al., 2013, S. 14)

Kernaussagen aus dem ELSI-Workshop

- Akzeptanz hängt maßgeblich von Transparenz, Fehlerkultur und Mitgestaltung ab.
- Risiken bestehen in Ablenkung, Überlastung, Datenschutzbedenken und mangelnder Selbstbestimmung.

Evidenz

- Hohe Benachrichtigungsfrequenz und unklare Datenverarbeitung führen zu psychischem Druck und Vertrauensverlust.
- Angst vor Überwachung und Bloßstellung durch Systemmeldungen und/ oder Führungskräften.
- Fehlende Individualisierung und mangelnde Inklusion (z. B. Sprachbarrieren, ergonomische Nachteile).

- Unklare Zuständigkeiten und fehlende Feedbackkultur hemmen Vertrauen und Motivation.

Implikationen für die In-Line Qualifizierung aus ELSI-Perspektive

- Systeme müssen ablenkungsarm, barrierefrei und datensparsam gestaltet sein.
- Transparente Fehlerkommunikation, klare Rollenverteilung und freiwillige und selbstbestimmte Nutzung sind essenziell.
- Führungskräfte sollen eine positive Fehler- und Feedbackkultur bestärken und vorleben.

Gesamtüberblick der Implikationen aus der Analysephase

Phase	Implikationen für die In-Line Qualifizierung
Arbeitsplatzbegehungen, Interviews, Umfrage	Praxisnahe, rollenbezogene Lernformate; Peer-Learning; transparente Kommunikation; Beteiligungsprozesse
Persona & Klickdummy	Gestaltung von Lernsystemen entlang realer Bedürfnisse; Fokus auf Selbstwirksamkeit und Sicherheit
ELSI-Workshop	Ablenkungsarme, barrierefreie Systeme; Datenschutz und Freiwilligkeit; klare Rollen und Fehlerkultur; Berücksichtigung der fünf ethischen Dimensionen und gezielte Förderung der Akzeptanz

Die Erkenntnisse aus der Analysephase zur In-Line Qualifizierung verdeutlichen, wie wichtig es ist, individuelle Handlungskompetenz gezielt zu fördern – insbesondere im direkten Produktionsgeschehen. Doch Resilienz entsteht nicht allein durch individuelle Befähigung mit Technologien. Vielmehr zeigt sich, dass die Fähigkeit einer Organisation, Krisen zu bewältigen und handlungsfähig zu bleiben, maßgeblich von der Qualität der Zusammenarbeit abhängt. Kollaborative Arbeitsformen, abteilungsübergreifende Kommunikation und gemeinsame Innovationsprozesse sind zentrale Voraussetzungen, um technologische und organisatorische Veränderungen wirksam zu gestalten und zu bewältigen. Vor diesem Hintergrund wurde die Nutzerzentrierung im Projekt Werk 4.0 nicht nur als methodischer Ansatz verstanden, sondern als strategisches Prinzip etabliert und im Handlungskompetenzmodell systematisch verankert, um Mensch, Technologie und Kompetenzentwicklung integrativ zusammenzuführen.

Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in die kontinuierliche Weiterentwicklung der Prototypen, Lösungen und Konzepte ein und sorgten für eine direkte, iterative Anpassung im Arbeitskontext von „Jetzt" bis in die Zukunft.

Handlungskompetenzmodell als methodisches Fundament

Um die Nutzerzentrierung als verbindendes Prinzip für die Verbindung von Mensch (M), Technologie (T) und Kompetenzen (K) im Projekt Werk 4.0 zu operationalisieren, wurde das Handlungskompetenzmodell nach Hülshoff et al. (2010) als methodische Grundlage integriert und dient als didaktisch-pädagogische Grundstruktur. Das Modell betont, dass nachhaltige Handlungskompetenz im industriellen Wandel weit über fachliche und methodische Fähigkeiten hinausgeht.

Kern des Modells sind vier eng verzahnte Teilkompetenzen

- **Fachkompetenz:** Grundlegendes Wissen und Fertigkeiten zur Bewältigung der beruflichen Aufgaben.
- **Methodenkompetenz:** Die Fähigkeit, geeignete Strategien und Werkzeuge auszuwählen und flexibel auf neue Situationen anzuwenden.
- **Sozialkompetenz:** Besonderer Wert liegt bei Hülshoff auf der Integration der emotionalen Kompetenz – darunter Teamfähigkeit und empathisches Miteinander – als Voraussetzung für Zusammenarbeit und Veränderungsbereitschaft in modernen Produktionsumgebungen.

- **Persönlichkeitskompetenz:** Selbstreflexion, Verantwortungsbereitschaft, Werteorientierung und Moral schaffen ein Fundament für authentisches Handeln, Innovationsfähigkeit und Widerstandskraft bei Wandel und Krisen.

Das Modell unterstreicht, dass die Gesamtpersönlichkeit gefördert werden muss, insbesondere in komplexen und sich wandelnden Arbeitsumgebungen wie Industrie 4.0 und 5.0. Industrie 4.0 stellt Unternehmen vor Herausforderungen wie die zunehmende Automatisierung, digitale Vernetzung, Datenintegration und den Umgang mit hoher Prozesskomplexität. Mitarbeitende müssen lernen, mit neuen Technologien sicher umzugehen und gleichzeitig flexibel auf Veränderungen zu reagieren. Industrie 5.0 bringt zusätzliche Anforderungen mit sich: stärkere Mensch-Technik-Interaktion, hohe Individualisierung, Nachhaltigkeit und die Fähigkeit, in unsicheren Situationen kreativ und kollaborativ zu handeln. Diese Herausforderungen spiegeln sich direkt in den vier Kompetenzbereichen des Handlungskompetenzmodells wider. Fach- und Methodenkompetenz sind notwendig, um neue Technologien sicher und effizient einzusetzen. Sozialkompetenz wird entscheidend, um interdisziplinäre Zusammenarbeit und Teamresilienz zu fördern. Persönlichkeitskompetenz stärkt Selbstreflexion, Verantwortungsbereitschaft und Ambiguitätstoleranz – zentrale Voraussetzungen für Anpassungsfähigkeit und Innovationskraft. Die praktische Anwendung im Projekt Werk 4.0 erfolgte bei der Weiterentwicklung digitaler Lernmodule und der Gestaltung kollaborativer Arbeitsprozesse, stets mit dem Ziel, alle vier Kompetenzdimensionen integrativ zu stärken. Nur so können Mitarbeitende Verantwortung übernehmen, Veränderungen kreativ und souverän meistern und organisationale Resilienz systematisch aufbauen. Unter organisationaler Resilienz verstehen wir die Fähigkeit einer Organisation, sich auf unerwartete Störungen vorzubereiten, diese zu bewältigen und sich an neue Bedingungen anzupassen, um ihre Handlungsfähigkeit und Wertschöpfung langfristig zu sichern (Duchek, 2020; Hülshoff, 2010).

Im Projekt wurde anhand der Erkenntnisse aus der Analysephase ein Klickdummy für die neue technologische Lösung im Arbeitspaket In-Line Qualifikation entwickelt, um ein innovatives Alltagswerkzeug zu testen und direktes Nutzerfeedback zu erhalten. Die Story der „User Journey" von Werker Jürgen diente als Grundlage für die weitere Entwicklung sowie für den ELSI-Workshop, in dem gezielt Blind Spots und kritische Aspekte im Nutzererleben identifiziert wurden. Ein Gesamtkonzept mit systematischer Verankerung des Handlungskompetenzmodells als zentrales Element, in welchem verschiedene Lösungen integriert sind, ist ebenfalls entstanden. Eine weitere integrale Lösung in diesem Konzept ist das Lernmodul zur Stärkung der (Team-) Handlungskompetenz im Produktionskontext.

Prototyping

Sinn und Zweck von Prototyping

Prototyping ist ein zentraler Schritt im Design-Thinking-Prozess und dient dazu, Ideen schnell und greifbar zu machen. Statt lange theoretische Konzepte zu diskutieren, werden konkrete Modelle entwickelt, die getestet und iterativ verbessert werden können. Dies ermöglicht:

- **Frühes Feedback**: Nutzer*innen* können bereits in der Konzeptphase Rückmeldungen geben.
- **Reduzierung von Risiken**: Probleme werden früh erkannt und behoben.
- **Förderung der Akzeptanz**: Mitarbeitende erleben die Lösung praktisch und können sich aktiv einbringen.

Prototypen müssen nicht ausschließlich technische Lösungen sein. Sie können auch **Konzeptideen**, **Prozessmodelle** oder **Lernmodule** darstellen. Entscheidend ist, dass sie die Kernfunktionen und den Nutzen der Lösung erlebbar machen.

Prototyping im Projekt Werk 4.0: Minimum Lovable Product (MLP) statt MVP

Im Projekt Werk 4.0 wurde daher bewusst das Konzept des **Minimum Lovable Product (MLP)** anstelle des klassischen **Minimum Viable Product (MVP)** genutzt.

- **MVP**: Ziel ist es, die minimal funktionsfähige Version einer Lösung zu entwickeln, um die Machbarkeit zu testen.
- **MLP**: Geht einen Schritt weiter. Die Lösung soll nicht nur funktionieren, sondern auch **begeistern**. Sie soll von Anfang an einen emotionalen Mehrwert bieten, damit Nutzer*innen* die Technologie gerne einsetzen.

Die Erkenntnisse aus der Analysephase haben gezeigt, dass diese Herangehensweise besonders relevant für die Produktion ist, da Akzeptanz und Motivation entscheidend für den Erfolg digitaler Transformationen sind. Sie wurde nicht nur bei der Entwicklung der technologischen Lösung (Arbeitspaket In-Line Qualifikation) und beim Innovationsflugprogramm angewendet, sondern bei allen technischen Entwicklungen im Projekt Werk 4.0 (Walk & Lerche., 2025).

Die identifizierten Bedürfnisse aus der Analysephase – wie der Wunsch nach praxisnahen Lernformaten, Transparenz, Selbstwirksamkeit und barrierefreien Technologien – bilden die Grundlage für die Gestaltung der Prototypen. Jeder Prototyp greift zentrale Implikationen aus den Arbeitsplatzbegehungen, Interviews und dem ELSI-Workshop auf und übersetzt sie in konkrete Lösungen.

Prototypen zur Nutzerzentrierung aus Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“ heraus

1. Konzept zum Handlungskompetenzmodell Werk 4.0

Das Handlungskompetenzmodell Werk 4.0 (s. Abb. 5) ist als Konzeptidee zu verstehen, bei der der Mensch und seine Handlungskompetenz im Mittelpunkt stehen. Das Modell bildet den Kern, um den sich alle weiteren Elemente gruppieren, die zum Erhalt und zur Erweiterung von Handlungskompetenzen beitragen. Ziel ist es, Mitarbeitende in einer sich stetig wandelnden Produktionsumgebung zu befähigen, flexibel, selbstwirksam und sicher mit Veränderungen umzugehen.

Im Zentrum steht der Mensch als tragende Resilienzsäule als Teil eines systemischen Verständnis von Resilienz, in welchem Mensch, Technik und die Organisation zusammenwirken (Munz & Kühn, 2025). Das Modell betont, dass nachhaltige Handlungskompetenz weit über Fachwissen hinausgeht und auch Methoden-, Sozial- und Persönlichkeitskompetenz umfasst. Die Entwicklung und Stärkung dieser Kompetenzen erfolgten durch verschiedene, aufeinander abgestimmte Bausteine.

Zwei dieser Elemente werden im weiteren Projektverlauf als Prototypen konkretisiert und umgesetzt:

- **Technische Lösung der In-Line Qualifikation:** Automatisierte, technologiegestützte Wissensvermittlung von Veränderungen direkt an die Werker*innen* auf dem Shopfloor. Die Lernangebote sind bedarfsgerecht, rollen- und situationsspezifisch und ermöglichen es, neue Anforderungen schneller zu verstehen und anzuwenden.
- **Innovationsflugprogramm (Arbeitstitel: „InnoFly“, „Resilienzhelfer“):** In interdisziplinären Teams werden reale Krisenszenarien (Turbulenzen) mit Design Thinking Methoden bearbeitet. Das Format fördert die Zusammenarbeit, Kreativität und dient der organisationalen Resilienz und wird als Workshop in unterschiedlichen „Flugdistanzen“ (Kurz-, Mittel-, Langstrecke) durchgeführt.

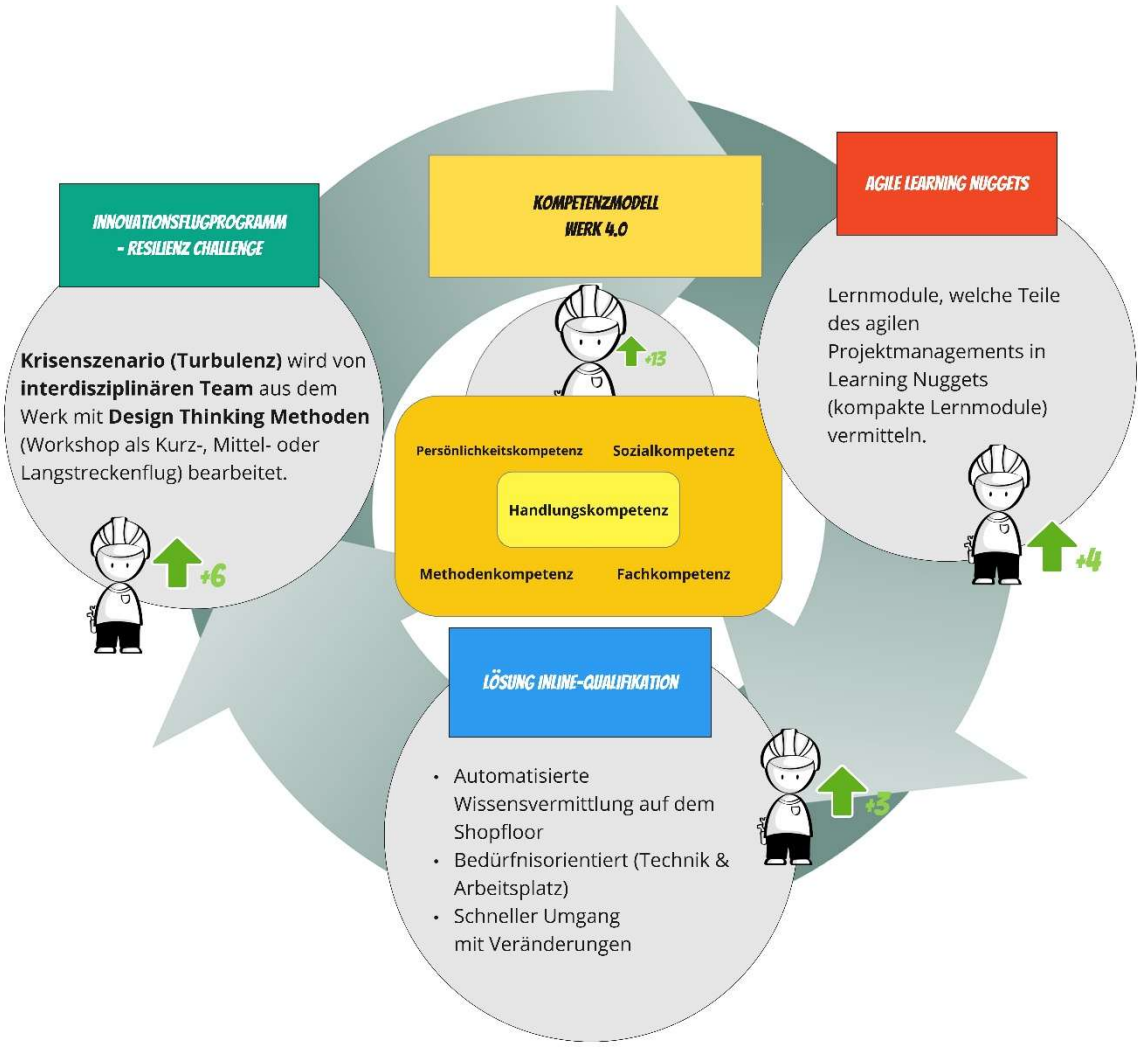


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung des Prototypen des Handlungskompetenzmodells Werk 4.0 (Kombination eigener grafischer Elemente und adaptiert aus SAP Scenes (SAP SE, 2019))

2. Technische Lösung der In-Line Qualifikation

Die In-Line Qualifikation ist ein zentrales Element des Projekts Werk 4.0, um Mitarbeitende in einer dynamischen Produktionsumgebung bedarfsgerecht zu unterstützen. Ziel ist es, Lerninhalte automatisiert, technologiegestützt und direkt am Arbeitsplatz bereitzustellen. Damit sollen Unsicherheiten bei Veränderungen reduziert und die Handlungskompetenz der Werkerinnen gestärkt werden. Die Entwicklung der Lösung erfolgte iterativ und nutzerzentriert, von der Analysephase über Prototypen bis zur technischen Umsetzung im Reallabor.

Verwendete Prototypen Konzepte

2.1. MLP Vision Board

Das MLP Vision Board (s. Abb. 6) definiert die Kernfunktionen und den emotionalen Ziel war es, die Lösung nicht nur funktional, sondern auch akzeptanzfördernd zu gestalten.

Bezug zur Analysephase

- Wunsch nach Sicherheit, Transparenz und einfacher Bedienung
- Mitarbeitende bevorzugen verständliche, praxisnahe Technologien bei Veränderungen

Mehrwert der Lösung. Es basiert auf den Analyseergebnissen und wurde gemeinsam mit den beteiligten Partnern entwickelt.

Das Vision Board legte die konzeptionellen Grundlagen fest. Darauf aufbauend wurde der Klickdummy entwickelt, um die Ideen aus dem Board in eine erste, testbare Anwendung zu übertragen und die Nutzerzentrierung praktisch umzusetzen.

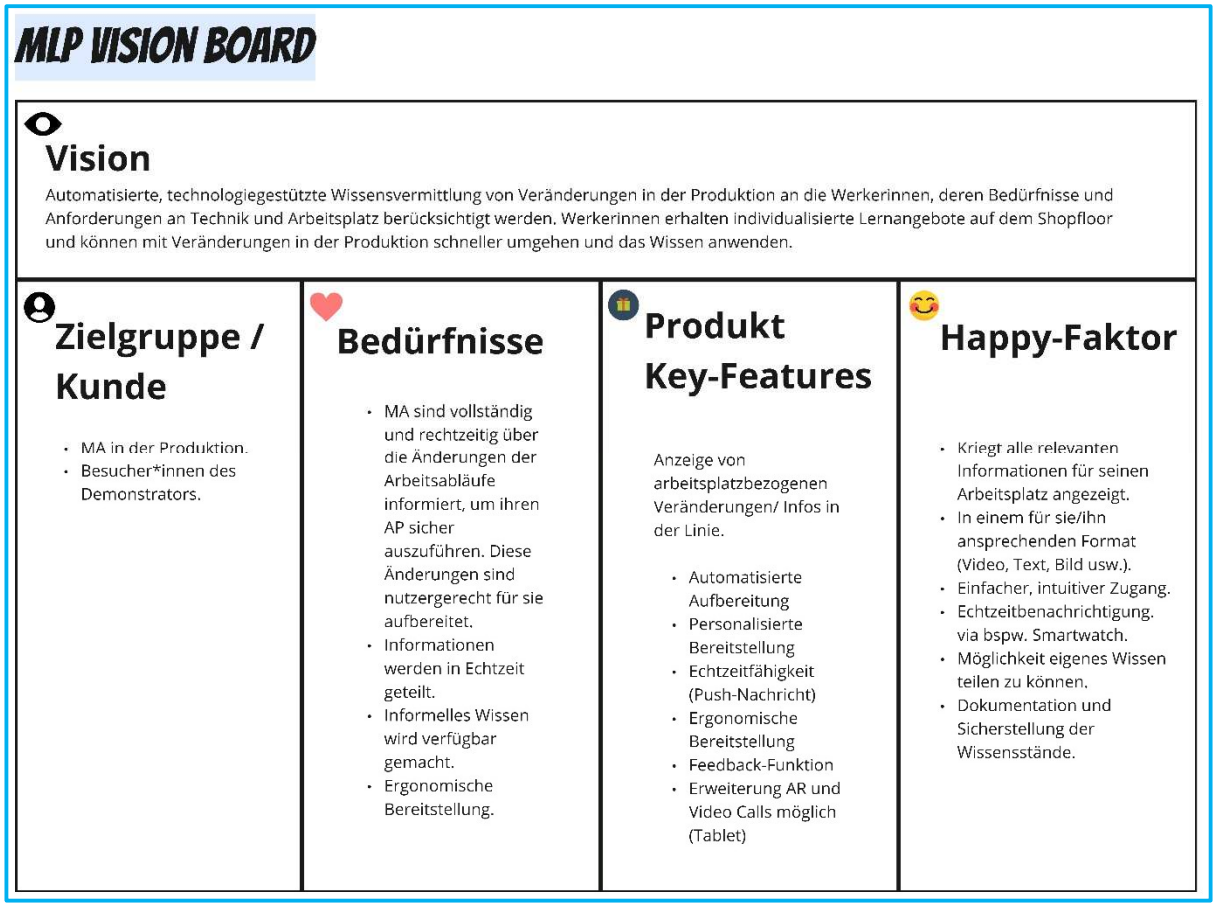


Abbildung 6: MLP Vision Board Technische Lösung im AP6

2.2. Klickdummy

Der Klickdummy (s. Abb. 7) macht die geplanten Funktionen interaktiv erlebbar und dient als erster Schritt, um die Bedienbarkeit praktisch zu testen. Er zeigt, wie Lerninhalte direkt am Arbeitsplatz abgerufen werden können und verdeutlicht die Grundidee einer intuitiven und störungsfreien Integration in den Arbeitsablauf. Damit wird die Bedeutung von Usability als zentrales Qualitätsmerkmal sichtbar.

Bezug zur Analysephase

- Integration bevorzugter Lernformate (Text, visuell, Learning by Doing)
- Feedbackmechanismen für Selbstwirksamkeit und Sicherheit
- Erste Validierung der Nutzerfreundlichkeit als Grundlage für die spätere App

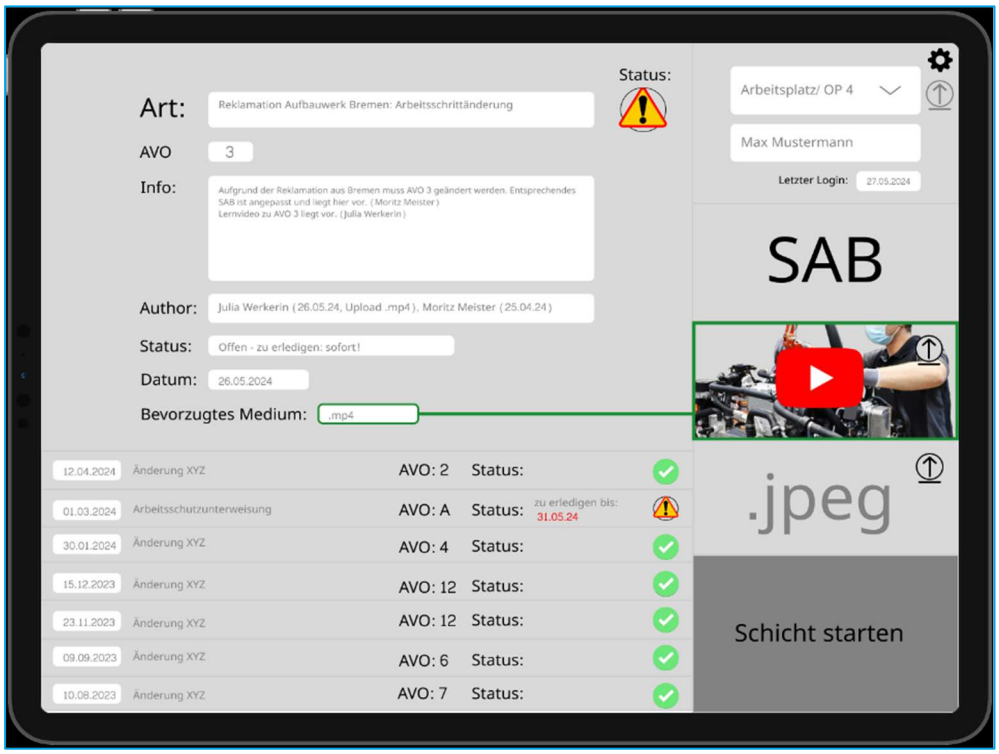


Abbildung 7: Klickdummy Landing Page

Der Klickdummy macht die technische Lösung greifbar und ermöglicht es, die geplanten Funktionen und Lerninhalte praktisch zu testen. Damit wird die Grundlage für die nächste Perspektive geschaffen: die User Journey. Während der Klickdummy die Funktionalität abbildet, zeigt die User Journey, wie Nutzerinnen die Lösung tatsächlich erleben. Beide zusammen verbinden technische Umsetzung mit realen Nutzererfahrungen und machen deutlich, dass Akzeptanz und Usability Hand in Hand gehen.

2.3. User Journey „Jürgen“

Die User Journey visualisiert die emotionale Reise eines typischen Nutzers entlang zentraler Interaktionspunkte. Sie zeigt, wie Unsicherheit bei Veränderungen entsteht und wie dieses Gefühl durch klare Informationen, intuitive Bedienung und gezielte Unterstützung reduziert werden kann. Die Journey macht deutlich, welche Faktoren für Akzeptanz und Vertrauen entscheidend sind.

Bezug zur Analysephase

- Berücksichtigung identifizierter Herausforderungen wie fehlende Ansprechpartner (s. Abb. 8)
- Verdeutlichung der Bedeutung von Transparenz und einfacher Bedienung für emotionale Akzeptanz

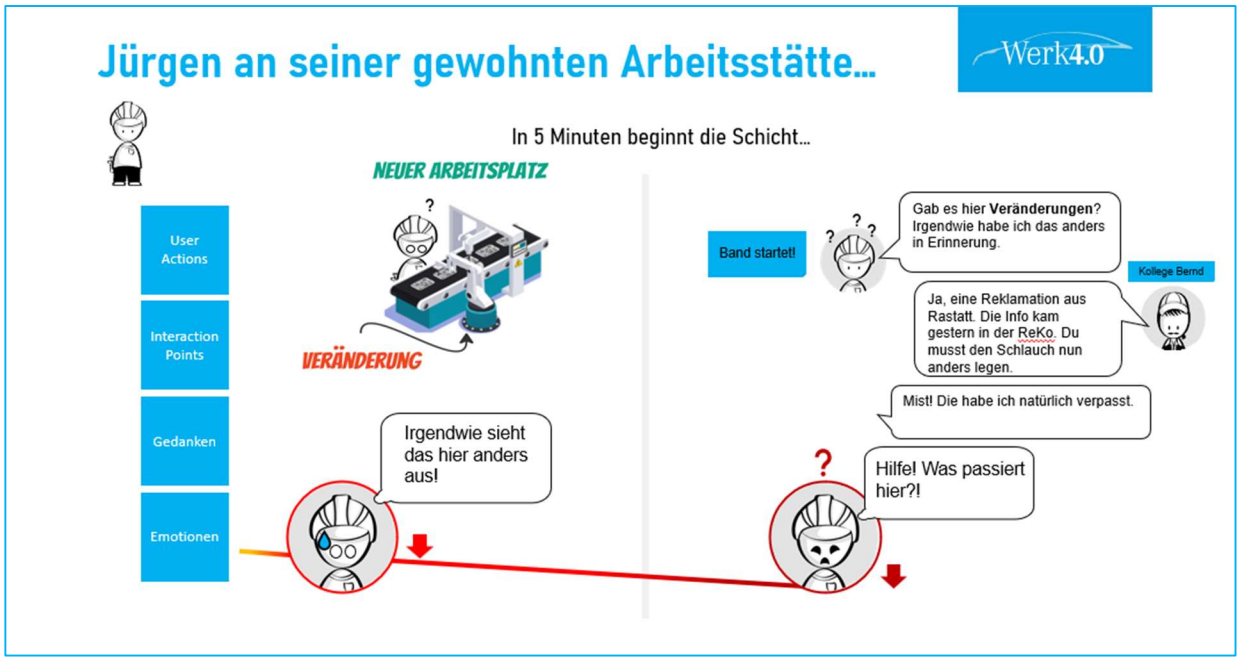


Abbildung 8: Ausschnitt User Journey "Jürgen" ohne technische Lösung am Arbeitsplatz (Kombination eigener grafischer Elemente und adaptiert aus SAP Scenes (SAP SE, 2019))

Die konzeptionellen Schritte Vision Board, Klickdummy und User Journey haben die Grundlage für eine Lösung geschaffen, die sowohl funktional als auch nutzerzentriert ist. Im nächsten Schritt folgt die technische Umsetzung im Reallabor, um die erarbeiteten Prinzipien in eine praxisnahe Anwendung zu überführen.

2.4. Technische Umsetzung der In-Line Qualifikation für das Reallabor

Die Applikation wurde gemeinsam mit Entwickler*innen*, Learning-&-Development-Expert*innen* und Human-Factors-Spezialist*innen* der Projektpartner realisiert (s. Abb. 9). Sie stellt Lernangebote automatisiert und technologiegestützt direkt am Shopfloor bereit. Die Inhalte sind rollen- und situationsspezifisch und ermöglichen es den Mitarbeitenden, neue Anforderungen schnell zu verstehen und sicher anzuwenden (Lerche et al., 2025; Zinner et al., 2025).

Kernpunkte der Umsetzung

- Bedarfsorientierung: Inhalte werden kontextbezogen und passgenau bereitgestellt
- Nutzerzentrierung: Einfache Bedienung, Integration in bestehende Arbeitsabläufe, hohe Transparenz

Die Überführung ins Reallabor markiert einen entscheidenden Meilenstein. Im nächsten Schritt wurde die Anwendung unter realen Bedingungen getestet, um die Akzeptanz und Wirksamkeit zu evaluieren.

Die technische Lösung adressiert vor allem individuelle Handlungskompetenz und die Fähigkeit, sich schnell an neue Anforderungen anzupassen. Für eine nachhaltige Resilienz in hochvernetzten Produktionsumgebungen reicht dies jedoch nicht aus. Organisationale Widerstandskraft entsteht erst durch systematische Zusammenarbeit und die Förderung von Team-Handlungskompetenz. Genau hier setzt das Innovationsflugprogramm an, das im nächsten Kapitel vorgestellt wird.

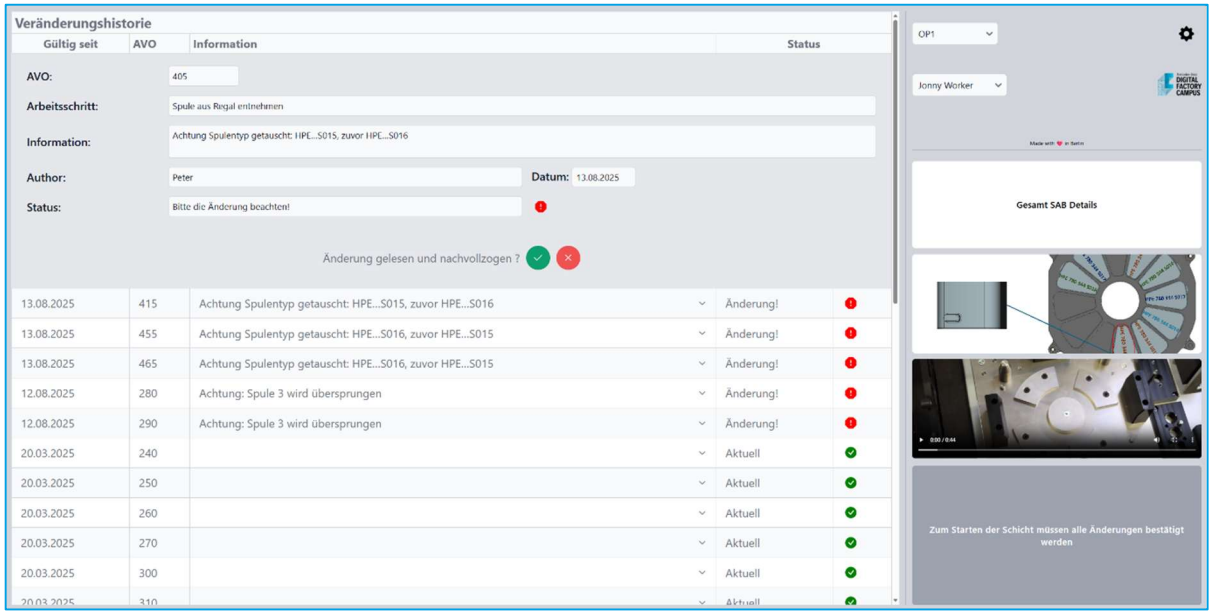


Abbildung 9: Landing Page des User Interface der programmierten Applikation am Montagearbeitsplatz im Reallabor

3. Innovationsflugprogramm (Arbeitstitel: „InnoFly“, „Resilienzhelfer“): Lernmodul zur Stärkung der (Team)-Handlungskompetenz im Produktionskontext

Technologie und individuelle Kompetenzen allein reichen nicht aus, um in einer hochvernetzten, dynamischen Produktionsumgebung wie Werk 4.0 nachhaltig resilient zu bleiben. Erst durch systematische, abteilungsübergreifende Zusammenarbeit und gezielte Förderung der Teamhandlungskompetenz entsteht echte organisationale Widerstandskraft.

Innovation und Resilienz sind eng miteinander verbunden. Future Skills und Innovationskompetenzen sind entscheidende Faktoren, um Mitarbeitende zu befähigen und so die Robustheit und Anpassungsfähigkeit der Organisation zu stärken. Future Skills umfassen überfachliche Kompetenzen wie Problemlösung, kritisches Denken, digitale Kompetenz, Kollaboration und Lernagilität. Sie sind essenziell, um in dynamischen und komplexen Produktionsumgebungen flexibel zu handeln und neue Technologien effektiv zu nutzen.

Das Innovationsflugprogramm (s. Abb. 10) ist ein strukturiertes Entwicklungsformat, das Teams befähigt, gemeinsam und selbstwirksam mit Unsicherheiten, Krisen und komplexen Herausforderungen umzugehen, auch über neu formierte Teams und Abteilungsgrenzen hinaus. Im Zentrum steht die Flugmetapher: Teams („Crews“) durchlaufen – je nach Komplexität der Aufgabe – Kurz-, Mittel- oder Langstreckenflüge und bearbeiten reale oder simulierte Problemstellungen aus dem Produktionsalltag.

Vorgehensweise zur Entwicklung

Die Entwicklung des Innovationsflugprogramms knüpft an die im Gesamtprojekt etablierten Methoden der Nutzerzentrierung an. Bereits in der Analysephase wurden Projekt-Personas erstellt, die typische Bedarfe und Herausforderungen der Mitarbeitenden im Produktionskontext abbilden. Diese Personas dienten als Grundlage für die Gestaltung nutzerzentrierter Konzepte und wurden ebenfalls für die Entwicklung des Innovationsflugprogramms genutzt.

In einem separaten Design-Thinking-Sprint wurde die Challenge zur Stärkung der Handlungskompetenz im Projektkontext bearbeitet. Der Prozess folgte den typischen Phasen: Verstehen, Beobachten, Ideen entwickeln und Prototypen testen. In der Beobachtungsphase kamen zunächst KI-basierte Persona-Chats zum Einsatz, um Hypothesen zu generieren und erste Indikatoren für Bedarfe zu erhalten. Anschließend wurden diese Erkenntnisse durch Interviews mit realen Mitarbeitenden aus unterschiedlichen Bereichen (Blue und White Collar) des Produktionswerks in Berlin validiert. Auf dieser Grundlage entstand ein Konzeptprototyp, der in einen testbaren

Prototyp überführt und gemeinsam mit Mitarbeitenden erprobt wurde.

Kernbausteine des Programms

- **Interdisziplinäre Crews:** Mitarbeitende aus Produktion, IT und weiteren Bereichen arbeiten auf Augenhöhe zusammen und überwinden so kulturelle und fachliche Barrieren.
- **Strukturierte Flugphasen:** Von Check-In und Zielklärung über die Bearbeitung von „Turbulenzen“ (z. B. Lieferengpässe, Systemausfälle) bis hin zu Reflexion und Transfer werden alle Phasen moderiert und methodisch begleitet.
- **Methodenkoffer & Dashboard:** Teams nutzen praxistaugliche Werkzeuge (z. B. Design Thinking Tools, Time-Boxing) mit Gamification-Elementen während der Flüge und ein digitales Dashboard dient zur Transparenz und Dokumentation
- **Fehlerkultur & Feedback:** Offene Feedbackrunden und die Möglichkeit, Fehler als Lernchancen zu begreifen, stärken das Vertrauen und die Lernfähigkeit im Team und als Individuum.
- **Progressive Kompetenzentwicklung:** Das Programm führt Teams von angeleitetem Lernen über teilautonome Anwendung bis hin zur vollständigen Selbstorganisation.

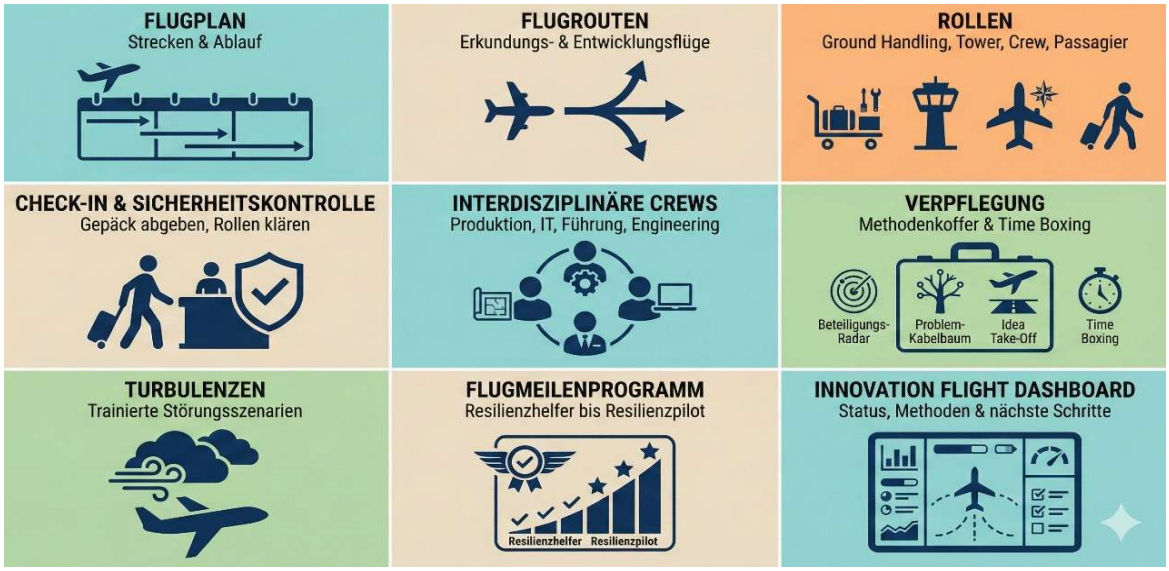


Abbildung 10: 9 Bausteine zur Stärkung der organisationalen Resilienz auf Basis des Handlungskompetenzmodells (KI-generierte Visualisierung basierend auf projektinternen Inhalten)

Das Programm baut gezielt die vier Kompetenzdimensionen nach Hülshoff (Fach-, Methoden-, Sozial- und Persönlichkeitskompetenz) sowohl auf Team- als auch auf individueller Ebene aus. Damit werden Mitarbeitende und Teams befähigt, auch in Krisensituationen handlungsfähig zu bleiben und gemeinsam innovative Lösungen zu entwickeln.

So entsteht ein solides Fundament für nachhaltige Innovations- und Anpassungsfähigkeit, dass die Entwicklung einer resilienten Organisation umfassend unterstützt (Munz & Kühn, 2025).

Um die Wirksamkeit und Akzeptanz der entwickelten Ansätze und Formate zu überprüfen, ist eine systematische Evaluation unter realen Bedingungen wichtig. Im nächsten Schritt wurde daher ein gezieltes Testing durchgeführt, um die Praxistauglichkeit und den Mehrwert der Lösungen im Arbeitsalltag zu validieren.

Testing: Warum Testen für Nutzerzentrierung, Akzeptanz und Innovation unverzichtbar ist

Testing ist ein zentraler Baustein nutzerzentrierter Entwicklung. Im Human-Centred Design wird ausdrücklich gefordert, interaktive Systeme wiederholt mit Nutzer*innen* zu evaluieren, um Gebrauchstauglichkeit, Sicherheit und Akzeptanz systematisch sicherzustellen (ISO 9241-210:2019). Auch im Design Thinking bildet Testing den entscheidenden Schritt, um Annahmen zu prüfen, Prototypen zu verbessern und Lösungen iterativ weiterzuentwickeln (Veraenderungskraft, 2025).

Testing ist kein letzter Schritt, sondern der kontinuierliche Taktgeber menschenzentrierter Innovation.

Für das Projekt Werk 4.0 bedeutet das: Neue Technologien und Lernformate werden nicht nur konzipiert, sondern unter realen Bedingungen im Reallabor getestet, um sicherzustellen, dass sie die Mitarbeitenden tatsächlich unterstützen, ihre Handlungskompetenz stärken und Vertrauen in den Umgang mit Veränderungen fördern. Das Reallabor – der Werk 4.0-Demonstrator – ist eine integrierte Produktionsumgebung im Berliner Automobilwerk in Marienfelder, die als praxisnaher Testbereich dient. Hier können digitale Assistenzsysteme, Lernformate und neue Prozesse unter authentischen Bedingungen erprobt werden, ohne den laufenden Betrieb zu gefährden. Die Besonderheit liegt in der Kombination aus realen Montageplätzen, automatisierten Logistikprozessen und einer

offenen Infrastruktur für Forschung und Entwicklung. Dadurch wird sichergestellt, dass Erkenntnisse aus Tests unmittelbar auf die industrielle Praxis übertragbar sind und die Lösungen nicht nur theoretisch, sondern praktisch anschlussfähig sind.

Warum wir testen – im Sinne von Nutzerzentrierung, Iteration und Akzeptanz

Testing schafft Klarheit darüber, ob Lösungen funktionieren, verstanden werden und als hilfreich erlebt werden:

- **Nutzerzentrierung absichern**
  Prüfung, ob Bedürfnisse und Herausforderungen der Beschäftigten wirklich getroffen werden (ISO 9241-210:2019).
- **Iterationsschleifen bewusst nutzen**
  Testing liefert die Grundlage für neue, verbesserte Versionen eines Prototyps.
- **Technologieakzeptanz erhöhen**
  Forschung zeigt, dass schlechte Nutzungserlebnisse zu Skepsis und Ablehnung führen, während gute Gestaltung Vertrauen und Sicherheit schafft (Norman 2013).
- **Handlungskompetenz stärken**
  Tests zeigen, ob Mitarbeitende sich sicher, informiert und selbstwirksam fühlen.
- **Risiken im Arbeitskontext früh erkennen**
  Testing deckt Ablenkungs-, Belastungs- und Verständlichkeitsprobleme auf, bevor sie im realen Betrieb relevant werden.

1. Testing der technischen Lösung im Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“

1.1. Frühe Testphase: Persona „Jürgen“, Klickdummy, User Journey & ELSI-Workshop

In Arbeitspaket In-Line Qualifikation wurden Analyseergebnisse in die **Persona „Jürgen“**, einen **Klickdummy** und eine **User Journey** überführt. Diese bildeten die Grundlage für den **ELSI-Workshop**, der zugleich als erstes Testformat diente. An dem Workshop nahmen Werkerinnen, Projektmitarbeitende, ein Meister, zwei Prozessingenieure und eine Betriebsrätin teil:

- Stakeholder testeten den Klickdummy anhand der User Journey von der Persona Jürgen und reflektierten Themen wie u.a. Privatheit, Sicherheit, Teilhabe und Selbstbestimmung.
- Die Tests ermöglichten, ethische, soziale und legale „Blind Spots“ frühzeitig sichtbar zu machen und direkt in die Weiterentwicklung der technischen Lösung zu integrieren und mitzudenken, auch auf organisationaler Ebene.

1.2. Think-Aloud-Testing mit Produktionsmitarbeitenden

Neben dem ELSI-Workshop wurde der Klickdummy im Rahmen eines **Think-Aloud-Tests** direkt mit Produktionsmitarbeitenden des Werks erprobt. Die Methode ist bewusst niedrigschwellig: Nutzer*innen* bedienen einen Prototypen und sprechen laut aus, **was sie sehen, denken und erwarten**. Dadurch werden reale Handlungslogiken sichtbar, die in klassischen Interviews oder Workshops oft verborgen bleiben, besonders in arbeitsintensiven Produktionsumgebungen.

Das Verfahren erwies sich als Baustein, um frühe Annahmen zu überprüfen, Bedienhürden aufzudecken und konkrete Anforderungen aus dem Linienalltag einzusammeln.

Insgesamt zeigt das Think-Aloud-Testing deutlich

Produktionsmitarbeitende bevorzugen Lösungen, die visuell klar, störungsarm, kontextbezogen und transparent sind, welche ihre tatsächlichen Arbeitsroutinen respektieren.
Die Ergebnisse flossen direkt in die Weiterentwicklung der App ein und bilden eine wesentliche Grundlage für die nachfolgende Evaluierung im Reallabor.

1.3. Testing der entwickelten App im Reallabor

Nach der technischen Umsetzung wurde die In-Line-Qualifizierungs-App im Reallabor Werk 4.0 anhand eines strukturierten, forschungsbasierten Testdesigns erprobt. Die detaillierte Beschreibung des Experiments sowie der Bericht sind ausführlich in der ebenfalls vom Werner-von Siemens Centre for Industry and Science e.V. veröffentlichten Studie von Lerche et al. (2025) zu entnehmen (s. Abb. 11). Die Tests fanden an einem realen Handarbeitsplatz statt, der die Produktionsumgebung des Projekts abbildet. Ziel war es, die Lösung unter praxisnahen Bedingungen zu evaluieren und sicherzustellen, dass sie die identifizierten Bedarfe der Mitarbeitenden erfüllt.

Grunddaten zum Testdesign

- **Teilnehmende:** Zwölf Produktionsmitarbeitende aus unterschiedlichen Bereichen und Erfahrungsstufen, um eine realistische Bandbreite abzudecken.
- **Testgegenstand:** Vergleich der neu entwickelten In-Line-Qualifizierungs-App mit der bisherigen Lösung einer temporären Anweisung in Papierform.
- **Setting:** Montageaufgaben mit simulierten Änderungen im Ablauf, die eigenständig mithilfe der App oder der Papierlösung erlernt und umgesetzt werden mussten.

Abbildung 11: Bericht zur experimentellen Studie der In-Line-Qualfizierungs-App von Lerche et al. (2025)

Ziele des Testings

- Bewertung von Technologieakzeptanz, Vertrauen und Nutzenerleben
- Einschätzung der Bedienbarkeit und Verständlichkeit
- Erfassung von Belastung, Ablenkung und Sicherheit
- Validierung des Beitrags zur Handlungskompetenz

Methodische Bausteine (projektbezogen verallgemeinert)

- Experimentelle Studie im Reallabor
- Standardisierte Fragebögen (System Usability Scale für Usability, NASA-TLX für Arbeitsbelastung)
- Dokumentation und Auswertung im Forschungsteam

Die Ergebnisse der Studie zur App im Reallabor fließen im nächsten Kapitel „Ergebnisse, Ausblick und Handlungsempfehlungen“ in die Bewertung der Wirkung auf Technologieakzeptanz, Sicherheit und Handlungskompetenz ein.

2. Testing des Innovationsflugprogramms

Team-Handlungskompetenz – wurde in einem ersten Praxistest mit Mitarbeitenden aus unterschiedlichen Abteilungen eines Automobilwerks erprobt. Ziel war es, den Konzeptprototypen in einen testbaren Prototypen zu überführen und die Anschlussfähigkeit zur organisationalen Resilienz zu prüfen.

Iteration des Konzepts

Vor der Entwicklung des Testflugs wurde der Konzeptprototyp mit Expert*innen* und externen Stakeholdern getestet.
Absicht: Sicherstellen, dass das Format methodisch tragfähig ist und zur Stärkung organisationaler Resilienz beitragen kann. Die Erkenntnisse aus diesen Tests flossen in die Weiterentwicklung des Formats ein und dienten der Validierung.

Entwicklung des Testflugs

Die Kernidee bestand darin, das Konzept mit realen Mitarbeitenden in einem praxisnahen Setting zu testen.

- Umsetzung: Entwicklung eines **Lernmoduls im Workshop-Format**, das einen Kurzstreckenflug simuliert.
- Ressourcenbedingt wurde ein **digitales Setting** (Miro-Board) gewählt.
- Zwei Coaches begleiteten den Prozess, nahmen sich jedoch bewusst zurück, um **autonome, kollaborative Zusammenarbeit** zu fördern.
- Das Setting ist auf ein analoges Format übertragbar, was künftig Vorteile für **niedrigschwelligen Zugang und kollaborative Methoden** bietet.

Teilnehmerstruktur

- Mitarbeitende aus verschiedenen Abteilungen: **Produktion, IT, Engineering**.
- Dauer: **150 Minuten**.
- Durchführung: Geführte Navigation durch verschiedene Flugphasen.

Flugphasen im Überblick

1. Check-In & Rollenklärung

Check-In

Ziel: Schaffung von Offenheit und psychologischer Sicherheit für die Zusammenarbeit.
Praktische Umsetzung: Die Teilnehmenden wurden begrüßt, erhielten eine Einführung in das Setting und tauschten erste Erwartungen aus. Es entstand eine gemeinsame Arbeitsgrundlage.

Spielerische Rollen

Ziel: Perspektivwechsel und Potenzialentfaltung durch Rollen, die losgelöst vom Arbeitsalltag sind.
Praktische Umsetzung: Vier Rollen wurden vorgestellt (z. B. Kapitän*in*, Crew-Mitglied). Die Teilnehmenden wählten ihre Rollen selbst aus, einige entschieden sich bewusst für ungewohnte Verantwortungsbereiche. Rollenwechsel blieb während des Flugs möglich.

7 Flugphasen des Testflugs (KI-generierte Visualisierung basierend auf projektinternen Inhalten)

2. Bestimmung des Flugziels

Ziel: Gemeinsame Zieldefinition als Ausgangspunkt für den Innovationsprozess. **Praktische Umsetzung:** Das Team entschied sich für eine reale Problemstellung aus dem Produktionsumfeld. Es wurden erste Hypothesen, Unterschiede in Sichtweisen sowie mögliche Einflussfaktoren (Enabler/Disabler) gesammelt. Die Teilnehmenden diskutierten verschiedene Perspektiven und einigten sich auf ein klares Flugziel.

3. Flugroutenentscheidung

Ziel: Bewusste Wahl der Vorgehensweise stärkt Ownership und Motivation.
Praktische Umsetzung: Nach Diskussion entschied sich das Team für den **Entwicklungsflug**. Die Wahl wurde gemeinsam getroffen, um die Motivation und den Fokus auf Lösungsentwicklung zu fördern.

4. Flugdurchführung

Ziel: Anwendung kreativer Methoden zur Lösung der gewählten Problemstellung. **Praktische Umsetzung:** Die Teilnehmenden nutzten das **IDEA-Take-Off-Template** auf dem Miro-Board (s. Abb. 12). Sie entwickelten zahlreiche Ideen, bewerteten diese nach Wirkung und Machbarkeit und arbeiteten weitgehend autonom. Die Coaches griffen nur punktuell unterstützend ein.

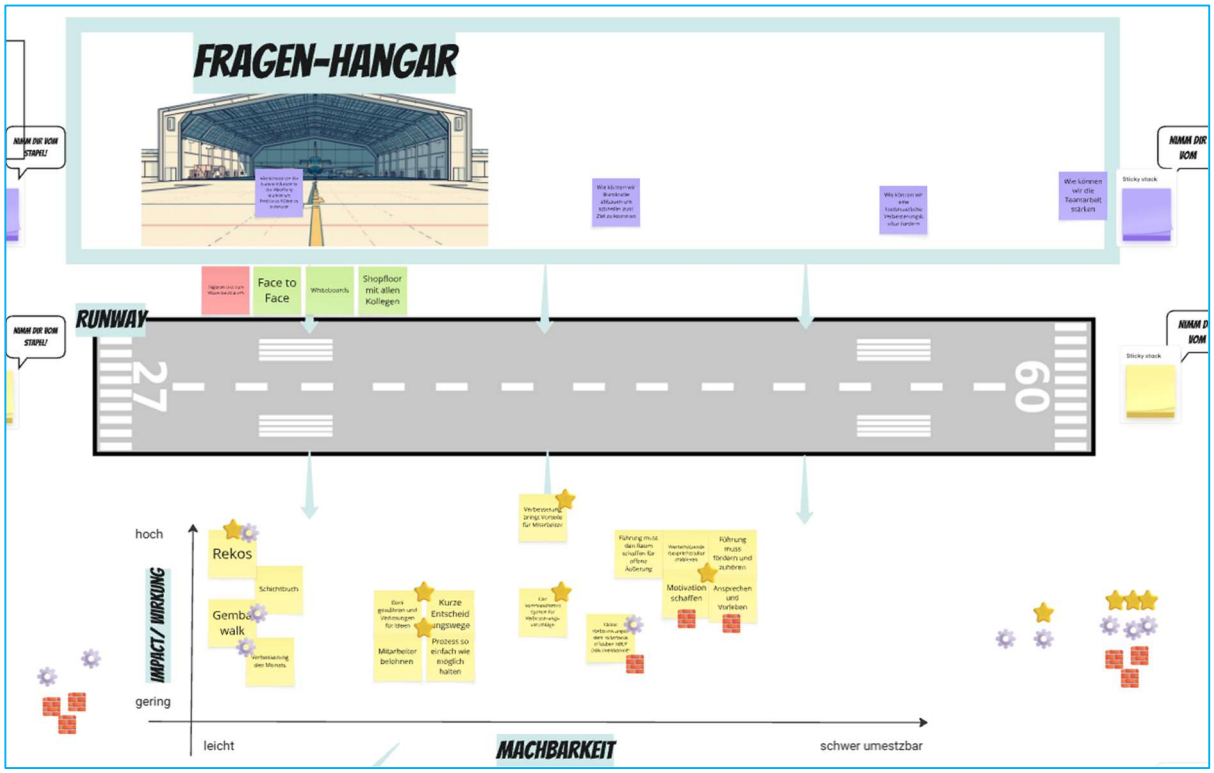


Abbildung 12: Ausschnitt „Idea Take-Off“ vom Miro Board vom „Testflug“-Workshop InnoFly

5. Turbulenz

Ziel: Simulation von Krisenszenarien zur Förderung adaptiver Kompetenzen. **Praktische Umsetzung:** Eine Störung wurde eingespielt (Ausfall der im Konzern verwendeten Kommunikationssoftware). Das Team reagierte flexibel, passte die gewählte Lösung an und stellte sicher, dass die Idee trotz der Turbulenz umsetzbar blieb.

6. Landung

Ziel: Gemeinsame Reflexion und Abschluss des kreativen Prozesses. **Praktische Umsetzung:** Die Teilnehmenden präsentierten ihre Ergebnisse und reflektierten die Zusammenarbeit. Neben der Lösung wurden auch die Erfahrungen im Teamprozess thematisiert.

7. Evaluation des Flugs (Ausstieg & Report)

Ausstieg

Ziel: Sicherstellung des Transfers in den Arbeitsalltag.
Praktische Umsetzung: Die Gruppe diskutierte nächste Schritte. Einige Teilnehmende formulierten konkrete Verbesserungsvorschläge, die sie direkt in ihre Arbeitsbereiche einbringen wollten.

Flugreport

Ziel: Dokumentation und Vorbereitung der Evaluation.
Praktische Umsetzung: Direkt nach dem Workshop wurde offenes und anonymes Feedback eingeholt. Nach 48 Stunden folgte ein Fragebogen zu Handlungskompetenz, Transfer und Zusammenarbeit. Die Auswertung dieser Daten erfolgt im nächsten Kapitel.

Das Testing hat erste Tendenzen erkennen lassen, dass das Innovationsflugprogramm dazu beitragen kann, die angestrebten Kompetenzen und Lernziele zu fördern. Die erhobenen Daten aus Feedback und Nachbefragung bilden die Grundlage für die Evaluation. Diese wird im folgenden Kapitel **„Ergebnisse“** dargestellt und analysiert.

Ergebnisse, Handlungsempfehlungen und Ausblick

Im Forschungsprojekt Werk 4.0 und insbesondere im Rahmen der Arbeiten des Arbeitspaktes „In-Line Qualifikation“ ist Nutzerzentrierung (N) als strategisches Prinzip etabliert, um die Akzeptanz und Wirksamkeit neuer Technologien und Lernformate in der industriellen Produktion zu erhöhen. Die Verbindung von Mensch (M), Technologie (T) und Kompetenzen (K) bildet die Grundlage für nachhaltige Resilienz und Handlungsfähigkeit in komplexen, dynamischen Umgebungen. Das Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“ und das Innovationsflugprogramm stehen exemplarisch für die praktische Umsetzung dieses Ansatzes.

Technische Lösung In-Line Qualifikation

Die Implikationen aus der Analysephase flossen direkt in die Entwicklung der App ein und wurden im Experiment im Reallabor überprüft. Die Ergebnisse bestätigen, dass Nutzerzentrierung nicht nur ein Konzept, sondern ein belegbarer Erfolgsfaktor ist.

Kernaussagen

- Die App wurde hinsichtlich der Usability sehr hoch bewertet (M = 77,08/100, System Usability Scale).
- Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen App und temporärer Unterweisung (Papierform) bezüglich Handlungskompetenz, Arbeitsbelastung oder Unterstützungsbedarf.
- Die App überzeugte besonders durch visuelle Features („Bild“, „Aktuell“).
- Die schnelle, direkte und weniger aufwändige Wissensvermittlung ist ein besonderer Vorteil der App und löst tatsächlich zentrale Bedürfnisse der Mitarbeitenden am Band, da Fehler nicht ansteigen.
- Die hohe Akzeptanz und positive Bewertung belegen, dass Nutzerzentrierung im Projekt wissenschaftlich nachweisbar erfolgreich war.

Limitationen

- Geringe Stichprobengröße und einfache Aufgabenkomplexität schränken die Generalisierbarkeit ein.
- Features wie der KI-Assistent wurden wenig genutzt, was auf einen Bedarf an gezielterer Einführung und auf einen zu prototypischen Entwicklungsstand hindeutet. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass visuelle und kinästhetische Lerntypen in der Studie stark ausgeprägt waren, die der KI-Assistent nicht adressiert.

Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Der besondere Vorteil der App besteht vor allem darin, dass Produktionsmitarbeiter Wissen rasch, direkt und mit geringem Aufwand vermittelt bekommen. Zukünftige Untersuchungen sollten klären, ob die App durch ihre vielfältigen Funktionen, zum Beispiel für unterschiedliche Lerntypen,

bewegte Bilder oder textlich auf die Beschäftigten zugeschnittene Zusammenfassungen, bei komplexeren Veränderungen zu Unterschieden gegenüber einer temporären Unterweisung und somit zu Signifikanzen führen (Lerche et al., 2025).

Innovationsflugprogramm

Das Innovationsflugprogramm wurde entwickelt, um die Team-Handlungskompetenz, Resilienz und insbesondere Innovationskraft (Future Skills) in der Zusammenarbeit interdisziplinärer Teams zu fördern. Der Praxistest mit interdisziplinären Crews zeigte:

- Eigenständige Anwendung der Methoden ohne intensive Coach-Begleitung.
- Perspektivwechsel und Silo-Breaking als häufig genannte Erfolgsfaktoren.
- Hohe Transferbereitschaft: Teilnehmende setzten erarbeitete Ideen teils direkt im Alltag um.
- Positive Resonanz: Struktur und Metapher des „Flugs“ fördern Offenheit und Lernfreude.

Limitationen

- Begrenzte Anzahl an Testflügen und Teilnehmenden, eingeschränkte Übertragbarkeit.
- Rollenverteilung und Struktur wurden als verbesserungswürdig angemerkt.
- Keine systematische Langzeitbeobachtung zu den Effekten des Programms.

Wesentliche Erkenntnis

Das Programm unterstützt gezielt die Entwicklung von Innovationskraft durch Handlungskompetenzen (Future Skills) und fördert die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams. Durch die systematische Herangehensweise wird die Organisation mit steigenden Kompetenzen der Teilnehmenden resilienter gegenüber unerwarteten Ereignissen, kann schneller reagieren und Gefahren früher erkennen, um Schaden abzuwenden oder gar nicht erst entstehen zu lassen.

Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Um das Innovationsflugprogramm als festen Bestandteil organisationaler Resilienz und Innovationsfähigkeit zu etablieren, sind weitere empirische Untersuchungen und praktische Erprobungen erforderlich. Zentrale Fragen betreffen die nachhaltige Verankerung des Programms in der Organisation, die gezielte Auswahl und den Einsatz von „Resilienzhelfern“ (Teilnehmende, die das Innovationsflugprogramm durchlaufen haben) sowie die Integration in bestehende Prozesse. Besonders relevant ist die Analyse, in welchen Phasen der Resilienzkurve nach Duchek (2020) das Programm mit ihren Teilnehmenden den größten Mehrwert bietet. Darüber hinaus sollte untersucht werden, wie sich die Wirkung auf Innovationskraft, Zusammenarbeit und die Fähigkeit zur schnellen Reaktion auf unerwartete Ereignisse langfristig entfaltet.

Gesamtbewertung: Nutzerzentrierung als Resilienzprinzip

Nutzerzentrierung ist im Projekt Werk 4.0 eine strategische Voraussetzung für resiliente Produktionssysteme. Sie verbindet Mensch, Technologie und Kompetenzen und schafft Lernräume, die Selbstwirksamkeit und Sicherheit fördern, technische Lösungen anschlussfähig machen und den Kompetenzaufbau unterstützen. Diese Faktoren sind entscheidend, um Organisationen und Produktionsumgebungen anpassungsfähig und widerstandsfähig gegenüber Veränderungen zu gestalten.

Die experimentelle Untersuchung von Lerche et al. (2025) zeigt, dass die nutzerzentriert entwickelte In-Line-Qualifizierungs-App eine sehr hohe Usability erreicht hat. Dies belegt die Akzeptanz und verdeutlicht, dass Nutzerzentrierung wirkt und die Grundlage für resilientes Handeln im industriellen Kontext bildet.

Ebene	Schwerpunkte	Wirkung
Mensch (M)	Selbstwirksamkeit, Sicherheit, Vertrauen	Reduktion von Unsicherheit bei Veränderungen
Technologie (T)	Usability, Transparenz, Effizienz	Bessere Integration in Arbeitsprozesse
Kompetenzen (K)	Prozedurales Lernen, Reflexion, Teamarbeit, Innovationskraft	Nachhaltiger Kompetenzaufbau, Future Skills

Nutzerzentrierung ist kein Zusatz, sondern eine systemische Bedingung für nachhaltige Transformation und Resilienz in Industrie 4.0 und 5.0.

Strategien für nutzerzentrierte Kompetenzentwicklung in der Produktion

Iterative Nutzerbeteiligung

- Mitarbeitende frühzeitig und kontinuierlich in die Entwicklung neuer Technologien und Lernformate einbinden (z. B. durch Workshops, Feedbackschleifen, Prototypentests).
- Design Thinking und Human-Centered Design als Frameworks nutzen.

Praxisnahe und visuelle Lernangebote

- Kurze, visuelle Lernformate (z. B. Videos, Schritt-für-Schritt-Anleitungen) direkt am Arbeitsplatz bereitstellen.
- Verschiedene Lerntypen berücksichtigen und Wahlmöglichkeiten bieten.

Peer-Learning und Microlearning

- Austausch von Erfahrungswissen und kollegiale Einweisung fördern und mit Technologie verknüpfen.
- Microlearning-Elemente flexibel und bedarfsgerecht einsetzen (Microlearning bedeutet die Vermittlung von Lerninhalten in kurzen, fokussierten Einheiten, die sich einfach in den Arbeitsablauf integrieren lassen).

Transparente Kommunikation und Fehlerkultur

- Veränderungen offen und nachvollziehbar kommunizieren.
- Positive Fehler- und Feedbackkultur etablieren, die Lernen aus Fehlern ermöglicht und psychologische Sicherheit schafft.

Ethik und Datenschutz

- Systeme ablenkungsarm, barrierefrei und datensparsam gestalten.
- Ethische und rechtliche Aspekte (z. B. Datenschutz, Teilhabe, Selbstbestimmung) berücksichtigen.

Ergonomische und technische Anpassungen

- Positionierung und Bedienbarkeit von Lernmedien am Arbeitsplatz optimieren.
- Technische Lösungen an reale Arbeitsroutinen und Bedürfnisse anpassen.

Transfermechanismen und nachhaltige Wirkung

- Formate entwickeln, die den Transfer von Lerninhalten in den Arbeitsalltag unterstützen (z. B. Transferreflexion, konkrete Umsetzungsschritte).
- Systemisches Denken und Silo-Breaking durch interdisziplinäre Zusammenarbeit fördern.

Kosteneffizienz durch Akzeptanz

- In Akzeptanzförderung und Usability investieren, um teure Fehlentwicklungen und Widerstände zu vermeiden.
- Akzeptierte Lösungen werden effizienter genutzt und führen zu geringeren Prozesskosten.

Messbarkeit und kontinuierliche Verbesserung

- Messinstrumente zur Erfassung von Kompetenzentwicklung, Akzeptanz und Prozesskennzahlen implementieren.
- Daten für die kontinuierliche Optimierung nutzen.

Integration von Lern- und Produktionsprozessen

- Lernangebote direkt mit den Produktionsprozessen verknüpfen, um Lernzeiten zu minimieren und die Produktivität zu steigern. Passgenaue Onboardings ermöglichen.

Ausblick und Forschungsbedarf: Zusammenfassung

Technische Lösung für In-Line Qualifikation

- Durchführung eines Experiments mit komplexeren Veränderungen und längeren Abwesenheiten, um die Vorteile der App weiter zu untersuchen (vgl. Lerche et al., 2025).
- Weiterentwicklung und gezielte Einführung von Features wie KI-Assistent und Videofeedback.
- Integration adaptiver Lernpfade und Learning Nuggets (Adaptive Lernpfade passen Inhalte dynamisch an den individuellen Lernfortschritt an, während Learning Nuggets kleine, fokussierte Lerneinheiten sind, die sich flexibel in den Arbeitsalltag integrieren lassen).

Innovationsflugprogramm

- Entwicklung und Test von Konzepten für autarke Teams und gezielte Rollen (z. B. Resilienzhelfer*innen*) in der Organisation.
- Einordnung und Wirkungsmessung entlang der Resilienzkurve nach Duchek (2020).
- Untersuchung der nachhaltigen Verankerung und Skalierung des Programms in der Organisation.

Allgemeiner Ausblick

Ein nächster sinnvoller Schritt wäre die Durchführung eines analogen Testverfahrens des Innovationsflugprogramms im Reallabor. Dabei könnten interdisziplinäre Teams reale Krisenszenarien gemeinsam durchspielen und praxisnahe Lösungen entwickeln – idealerweise unter Einbezug technischer Systeme wie der In-Line Qualifikation.

Darauf aufbauend könnten weitere Aspekte in den Fokus rücken:

- Messbarkeit: Die Erfassung von Kompetenzen im Prozess stellt ein zentrales Forschungsfeld dar.
- Übergeordnet: Integration in das Handlungskompetenzmodell Werk 4.0, das folgende Elemente verbindet:
    - In-Line-Qualifikationskonzept
    - Innovationsflugprogramm
    - Learning Nuggets und adaptive Lernpfade

Ziel: Verknüpfung mit Messinstrumenten zur kontinuierlichen Verbesserung und Anpassung des Handlungskompetenzmodells Werk 4.0 und die Integration von Lernpfaden für Mitarbeitende zwecks nachhaltiger Kompetenzentwicklung.

Langfristige Wirkung: Aufbau organisationaler Sicherheit und Resilienz durch Innovationskompetenzen, um flexibel und robust auf Veränderungen reagieren zu können.

Arbeiten und Ansätze für Nutzerzentrierung im Gesamtprojekt

Nutzerzentrierung ist im Projekt Werk 4.0 als strategisches Querschnittsprinzip fest verankert. Sie beeinflusst sowohl die Entwicklung von Lösungen in den einzelnen Arbeitspaketen als auch die Zusammenarbeit sowie die methodische Herangehensweise im gesamten Forschungsverbund. Insbesondere im Arbeitspaket In-Line Qualifikation steht der Mensch im Mittelpunkt. Aber auch in weiteren Arbeitspaketen und an verschiedenen Arbeitsstationen, beispielsweise bei den Arbeitspaketen Assistenzsysteme und Co-Creation oder an der Arbeitsstation für Roboter-Mensch-Kollaboration, spielt Nutzerzentrierung eine zentrale Rolle.

Basis: Co-Creation als Grundprinzip

Im Projekt wurde Co-Creation als zentrales methodisches Prinzip etabliert, um technologische und didaktische Lösungen gemeinsam mit Nutzer*innen* und arbeitspaketübergreifend zu gestalten (Walk & Lerche, 2025).

- Interdisziplinäre Co-Creation-Workshops
- Agile Formate (Scrum, Sprint Planning, Weekly Reviews, Design Thinking)
- Digitale Tools und Konzepte (Miro, VISPA, Kanban-Boards, MLP (Minimum Lovable Prodct))

Persona-Arbeit und User Journeys

Die Arbeitspakete hatten zunächst unterschiedliche Nutzergruppen, Erhebungen und Schwerpunkte. Um diese Vielfalt zu harmonisieren und Co-Creation als Grundprinzip umzusetzen, wurden einheitliche Personas entwickelt. Sie dienen als gemeinsame Arbeitsbasis im Reallabor, um zielgerichtet zusammenzuarbeiten. Die Persona-Methode ermöglicht die systematische Erfassung typischer Nutzergruppen und ihrer Bedarfe und schafft ein gemeinsames Verständnis für die Gestaltung nutzerzentrierter Lösungen.

- Entwicklung von sieben Haupt-Personas (z. B. Emma (Produktionsmitarbeiterin s. Abb. 13), Carl (Prozessingenieur) und Quentin (Teamleiter)) im gesamten Konsortium durch Persona-Workshop Reihe.

Abbildung 13: Persona-Profil „Emma“ als repräsentative Monteurin im Werk 4.0 (KI-generierte Visualisierung ba-

- User Journey Mapping mit Projektpartnern und Arbeitspaketen.
- Nutzung von User Stories zur Anforderungsdefinition und MLP-Entwicklung.

Nutzerzentrierung als Voraussetzung für Technologieakzeptanz

Nutzerzentrierung wurde als strategisches Querschnittsprinzip operationalisiert, um sicherzustellen, dass technische Systeme funktional, sicher und anschlussfähig sind.

Mit Hilfe von:

- Qualitative Interviews und Erhebungen mit Produktionsmitarbeitenden und weiteren Stakeholdern.
- ELSI-Workshops (ethische, legale, soziale Implikationen).
- Entwicklung und Bewertung von MLPs.

Entwicklung von Akzeptanzkriterien und MLP-TÜV

Zur Bewertung technologischer Lösungen wurden nutzerzentrierte Akzeptanzkriterien entwickelt und im MLP-TÜV systematisch geprüft. Zunächst wurden in Workshops die Ergebnisse zu Nutzerbefragungen aus mehreren Arbeitspaketen zusammengetragen, gemeinsam gesichtet, gegenseitig validiert und blinde Flecken aufgedeckt.

- Workshop zwecks Zusammenführung der Nutzerbefragungen und Workshop Ergebnissen aus verschiedenen Arbeitspaketen und Partnern.
- Ableitung Akzeptanzkriterien für Nutzerzentrierung für das Projekt Werk 4.0.
- MLP-TÜV zur systematischen Bewertung, Weiter- und Testentwicklung (s. Abb. 14).
- Visualisierung von „Blind Spots“.

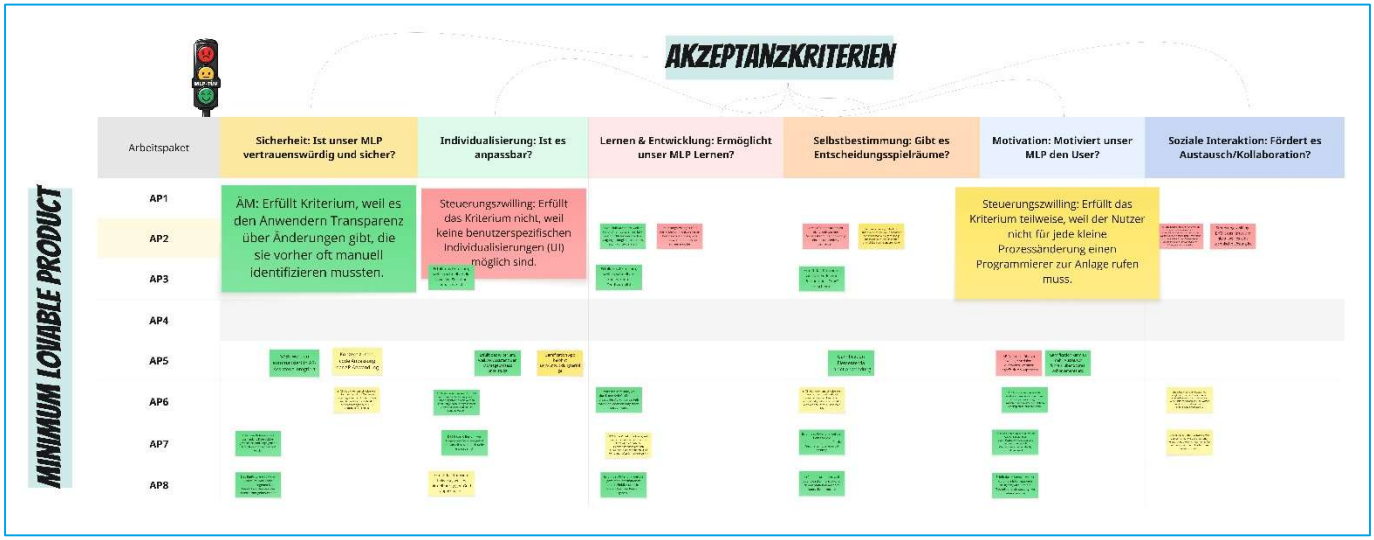


Abbildung 14: Ausschnitt aus dem MLP-TÜV Workshop zur Bewertung der MLPs der Arbeitspakete nach den Akzeptanzkriterien für die Nutzerzentrierung

Ergebnisse, Handlungsempfehlungen und Ausblick für Nutzerzentrierung aus dem Gesamtprojekt

Ergebnisse

- Nutzerzentrierung wurde in allen Arbeitspaketen als Bewertungsmaßstab für technische Lösungen und als Grundlage für Reallabor-Tests und Weiterentwicklung genutzt.
- Die Zusammenarbeit in Workshops und die gemeinsame Entwicklung von Personas, User Journeys und MLPs haben ein gemeinsames Verständnis geschaffen, das die Nutzerbedürfnisse in den Mittelpunkt stellt.
- Akzeptanzkriterien wurden arbeitspaketübergreifend entwickelt und in die technische Lösungsentwicklung integriert. Die Akzeptanzkriterien lauten:
    - Sicherheit – Vertrautheit – Privatheit
    - Individualisierbarkeit
    - Entwicklung und Lernen
    - Selbstbestimmung
    - Motivation
    - Soziale Interaktion
- Lösungen ergänzen sich im Reallabor, um eine breite Bandbreite an Akzeptanzkriterien abzudecken (z. B. In-Line Qualifikation und mobiles Qualitätstor für wertfreies Lernen aus Fehlern, um dem Bedürfnis einer offenen Fehlerkultur zu begegnen).

Implikationen

- Nutzerzentrierung als Bewertungsmaßstab für technische und didaktische Lösungen.
- Grundlage für die Weiterentwicklung und Integration im Reallabor.
- Förderung organisationaler Resilienz und Innovationskraft durch Nutzerfokus und Co-Creation.

Handlungsempfehlungen

- Nutzerzentrierung als strategisches Prinzip in allen Entwicklungs- und Implementierungsprozessen verankern.
- Co-Creation und agile Methoden als Standard für die Entwicklung technischer und didaktischer Lösungen etablieren.
- Arbeitspaketübergreifende und abteilungsübergreifende Zusammenarbeit und Erfahrungsaustausch in Projekten und in der Organisation fördern, um Synergien zu nutzen und „Blind Spots“ zu vermeiden.
- Akzeptanzkriterien systematisch entwickeln, prüfen und in die Lösungsentwicklung integrieren.
- Das Zusammenspiel von Technologie, Mensch und Kompetenzen als Leitbild für die Weiterentwicklung resilienter und innovativer Produktionssysteme nutzen

Ausblick

Die im Projekt Werk 4.0 etablierten Prinzipien und Methoden der Nutzerzentrierung bieten eine solide Grundlage für zukünftige Innovations- und Transformationsprozesse – auch über das Projektende hinaus. Besonders die enge Verzahnung von Co-Creation, Akzeptanzkriterien und interdisziplinärer Zusammenarbeit hat gezeigt, wie technische und didaktische Lösungen nachhaltig an den Bedürfnissen der Nutzer*innen* ausgerichtet werden können. Für die Zukunft eröffnet dies folgende Potenziale:

- Übertragung der entwickelten Ansätze auf weitere Unternehmensbereiche und neue Projekte.
- Ausbau der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen und Arbeitspaketen, um Synergien noch gezielter zu nutzen.
- Weiterentwicklung der Akzeptanzkriterien und Integration neuer Methoden zur kontinuierlichen Verbesserung.
- Stärkung der organisationalen Resilienz und Innovationskraft durch konsequenten Nutzerfokus.

Diese Erfahrungen und Strukturen können als Blaupause für die Gestaltung resilienter, lernender und innovativer Produktionssysteme dienen.

Schlusswort

Die Erfahrungen aus Werk 4.0 verdeutlichen, dass resiliente Produktionssysteme nur dann entstehen, wenn Nutzerzentrierung, Technik, Kompetenzen und Mensch konsequent zusammengedacht werden. Technik kann Menschen gezielt dabei unterstützen, neue Kompetenzen aufzubauen und sich an Veränderungen anzupassen. Gleichzeitig profitieren technologische Lösungen von den Erfahrungen, Rückmeldungen und dem Mitgestaltungswillen der Mitarbeitenden, wodurch sie praxisnaher und akzeptierter werden. Kompetenzen wiederum sind das Bindeglied: Sie ermöglichen es, Technik sinnvoll zu nutzen und weiterzuentwickeln, und stärken die Fähigkeit, gemeinsam innovative Lösungen zu gestalten. Erst durch dieses Zusammenspiel entsteht eine lernende, flexible und zukunftsfähige Industrie, in der Nutzerzentrierung zum Schlüssel nachhaltiger Wettbewerbsfähigkeit wird.

Glossar

Akzeptanzkriterien

Bewertungsmaßstab für technische und didaktische Lösungen im Projekt Werk 4.0. Kriterien wie Sicherheit, Individualisierbarkeit, Selbstbestimmung und soziale Interaktion wurden genutzt, um die Nutzerzentrierung systematisch zu prüfen.

Blue Collar

Bezeichnung für Mitarbeitende in der Produktion, die überwiegend manuelle Tätigkeiten ausführen.

Co-Creation

Gemeinsame Entwicklung von Lösungen mit allen Beteiligten (nicht nur Expert*innen*, sondern auch Nutzer*innen* und Praxispartner). Gegenteil von „für jemanden entwickeln“.

Design Thinking

Strukturierter Innovationsprozess mit sechs Phasen (Verstehen, Beobachten, Ziel definieren, Ideen entwickeln, Prototypen bauen, Testen). Fokus: Bedürfnisse der Nutzer*innen* von Beginn an einbeziehen.

ELSI-Workshop

Format zur Reflexion ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen (Ethical, Legal, Social Implications) bei der Einführung neuer Technologien. Ziel: Risiken wie Datenschutzprobleme oder mangelnde Teilhabe früh erkennen.

Handlungskompetenzmodell

Didaktisches Fundament im Projekt Werk 4.0. Umfasst vier Dimensionen: Fach-, Methoden-, Sozial- und Persönlichkeitskompetenz. Ziel: Mitarbeitende befähigen, flexibel und selbstwirksam mit Veränderungen umzugehen.

Human-Centred Design (ISO 9241-210)

Gestaltungsansatz, der die Bedürfnisse, Fähigkeiten und Grenzen der Nutzer*innen* in den Mittelpunkt stellt. Ziel: hohe Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz.

In-Line Qualifikation

Technische Lösung zur automatisierten, technologiegestützten Wissensvermittlung direkt am Arbeitsplatz an einer Produktionslinie. Inhalte sind rollen- und situationsspezifisch und sollen Unsicherheiten bei Veränderungen reduzieren.

Innovationsflugprogramm

Workshop-Format zur Förderung von Team-Handlungskompetenz und organisationaler Resilienz. Teams bearbeiten reale oder simulierte Krisenszenarien in

„Flugphasen“ (Kurz-, Mittel-, Langstrecke) mit kreativen Methoden.

Kanban-Board

Visuelles Tool zur Darstellung von Arbeitsfortschritt in Spalten („To Do“, „In Progress“, „Done“). Unterstützt Transparenz und Flow im Team.

Klickdummy

Interaktiver Prototyp, der die geplanten Funktionen einer App erlebbar macht. Dient zur frühen Validierung von Usability und Nutzerakzeptanz.

Miro-Board

Digitales Whiteboard für kollaboratives Arbeiten. In Werk 4.0 genutzt für Workshops, Visualisierungen und gemeinsame Dokumentation.

MLP – Minimum Lovable Product

Weiterentwicklung des MVP (Minimum Viable Product): nicht nur funktionsfähig, sondern auch liebenswert und begeisternd für Nutzer*innen*. Fokus auf frühen Nutzen statt später Perfektion.

NASA-TLX (Task Load Index)

Standardisierter Fragebogen zur Messung der subjektiven Arbeitsbelastung in sechs Dimensionen (z. B. mentale Beanspruchung, Zeitdruck).

Persona

Fiktiver, aber realistischer Charakter, der eine typische Nutzergruppe repräsentiert (z. B. „Jürgen“, Produktionsmitarbeiter). Enthält Biografie, Ziele und Bedürfnisse. Macht Nutzer*innen* im Entwicklungsprozess präsent.

Reallabor

Experimentier- und Lernumgebung im realen Produktionskontext, in der Prototypen unter authentischen Bedingungen getestet werden können.

Scrum

Agiles Rahmenwerk für die iterative Entwicklung komplexer Projekte. Definiert Rollen, Artefakte und Ereignisse.

Sprint Planning

Meeting zu Beginn eines Sprints (Arbeitsphase), in dem das Team die Ziele und Aufgaben für die nächsten Iterationen festlegt.

System Usability Scale (SUS)

Standardisierter Fragebogen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit eines Systems. Skala von 0–100 Punkten

Think-Aloud-Testing

Usability-Test, bei dem Nutzer*innen* ihre Gedanken während der Bedienung laut äußern. Macht Handlungslogiken und Probleme sichtbar.

User Journey

Visualisierung der emotionalen und funktionalen Reise eines Nutzers entlang zentraler Interaktionspunkte. Zeigt, wie Unsicherheit entsteht und wie sie durch gezielte Unterstützung reduziert werden kann.

VISPA

Virtuelle Plattform, die kollaborative Arbeitsräume in einer 3D-Umgebung bietet. Mit Avataren können Teams interaktiv zusammenarbeiten, Whiteboards nutzen und Prozesse in einer immersiven Umgebung gestalten.

Weekly Reviews

Regelmäßige kurze Meetings zur Reflexion des Fortschritts und zur Anpassung von Aufgaben. Fördert Transparenz und kontinuierliche Verbesserung.

White Collar

Bezeichnung für Mitarbeitende in administrativen oder wissensbasierten Tätigkeiten (z. B. Engineering, Planung, IT).

Quellen

Bayern Innovativ. (2024). Nutzerzentrierung in der Produktion – Industrial Usability und iterative Vorgehensweise.
https://www.bayern-innovativ.de/emagazin/detail/de/seite/nutzerzentrierung-in-der-produktion (Abruf: 06.11.2025)

BearingPoint & Handelsblatt Research. (2024). Produktion in turbulenten Zeiten – Playbook Resilienz.
https://research.handelsblatt.com/wp-content/uploads/2024/07/Playbook_BearingPoint_Produktion_Resilienz.pdf (Abruf: 06.11.2025)

Berlinerteam. (2025). Design Thinking einfach erklärt – Agilität durch strukturierte Innovation.
https://www.berlinerteam.de/blog/design-thinking-einfach-erklaert/ (Abruf: 06.11.2025)

Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research, 13,* 215–246.
https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7

Fachkräftewandel.org. (2025). Digitale Wirtschaft – Karrierechancen und Kompetenzen.
https://fachkraeftewandel.org/digitale-wirtschaft/ (Abruf: 12.11.2025)

Fraunhofer IAO. (2025). Resilienz statt Effizienz-Maximierung – Warum produzierende Unternehmen umdenken müssen.
https://blog.iao.fraunhofer.de/resilienz-statt-effizienz-maximierung-warum-produzierende-unternehmen-umdenken-muessen/ (Abruf: 12.11.2025)

HMI-Project. (2025). Nutzerzentrierung – Fokus auf die Zielgruppe im industriellen Umfeld.
https://hmi-project.com/news/user-centricity (Abruf: 12.11.2025)

Hülshoff, T. E., Negri, C., Hüther, G., Dohne, K. D., Hoffmann, C., & Kalt, M. (2010). Lernpsychologie. In C. Negri (Hrsg.), Angewandte Psychologie für die Personalentwicklung (S. 69–114). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-12625-3_3

ISO. (2019). ISO 9241-210:2019 — Human-centred design for interactive systems.
https://www.iso.org/standard/77520.html

Karl Hosang. (2023). Produktentwicklung mit Design Thinking – 5 Strategien für nutzerzentrierte Innovation.
https://karlhosang.de/design-thinking-produktentwicklung/ (Abruf: 24.11.2025)

Kettner-Edelmetalle. (2025). Deutsche Zulieferer in Not – Automobilkrise spitzt sich 2025 zu.
https://www.kettner-edelmetalle.de/wissen/deutsche-zulieferer-automobilkrise (Abruf: 06.11.2025)

Kirchherr, J., Klier, J., Lehmann-Brauns, C., & Winde, M. (2018). Future Skills: Welche Kompetenzen in Deutschland fehlen (Diskussionspapier 1). Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft & McKinsey & Company.
https://www.stifterverband.org/medien/future-skills-welche-kompetenzen-in-deutschland-fehlen (Abruf: 11.12.2025)

Lerche, L., Reuter, S., & Pietsch, K. (2025). Experimentelle Untersuchung des Effekts der In-Line-Qualifizierungs-App aus dem Projekt Werk 4.0 bei Montagetätigkeiten auf Handlungskompetenz, Arbeitsbelastung und Unterstützungsbedarf. Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V. [https://wvsc.berlin/publikationen/?_sft_pro_pub=werk-4-0]

Lernen und Qualifizierung 4.0. (2018). Forschungs- und Umsetzungsinitiativen der Baden-Württemberg Stiftung.
https://www.i40-bw.de/lernen/ (Abruf: 02.12.2025)

Manzeschke, A., Weber, K., Rother, E., & Fangerau, H. (2013). Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme. VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.
https://www.feag-elkb.de/system/files/dateien/ethik-broschure.pdf

MD Elektronik. (2025). Geopolitische Veränderungen und Lieferketten im Automobilbereich.
https://www.md-elektronik.com/de/wie-beeinflussen-geopolitische-veraenderungen-die-entwicklungen-und-lieferketten-im-bordnetzbereich/ (Abruf: 16.12.2025)

MHP. (2025). Entscheidender Faktor in der Industrie 4.0: Der Mensch als Brücke zwischen IT, Maschinen und Anlagen.
https://www.mhp.com/de/insights/newsroom/news-detail/view/entscheidender-faktor-in-der-industrie-40-der-mensch (Abruf: 06.11.2025)

Munz, U., & Kühn, H. (2025). Vom konventionellen Produktionswerk zum resilienten Kompetenzwerk: Die Werk-4.0-Resilienzreise. Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V. [https://wvsc.berlin/wp-content/uploads/2025/12/Vom-konventionellen-Produktionswerk-zum-resilienten-Kompetenzwerk-Die-Werk-4-0-Resilienzreise-1.pdf]

Norman, D. A. (2013). The Design of Everyday Things (Revised and Expanded Edition). MIT Press.
https://mitpress.mit.edu/9780262525671/the-design-of-everyday-things

OPEX. (2025). Individuelle Massenfertigung in der modernen Produktion.
https://www.opex.de/opex-wiki/losgroesse-1-individuelle-massenfertigung/ (Abruf: 06.11.2025)

Optimum GmbH. (2025). Fachkräftemangel in der Fertigung – Wie intelligente Assistenzsysteme die Lücke schließen.
https://www.optimum-gmbh.de/blogs/fachkraeftemangel-in-der-fertigung-wie-intelligente-assistenzsysteme-die-luecke-schlie%C3%9Fen (Abruf: 17.11.2025)

Ostrowski, A. K., Pokorni, B., & Schumacher, S. (2020). Participatory design for digital transformation of manufacturing enterprises. MIT Work of the Future Working Paper Series, 06-2020.
https://workofthefuture-taskforce.mit.edu/document/2020-working-paper-ostrowski-pokorni-schumacher-2/ (Abruf:10.12.2025)

Plattform Lernende Systeme. (2025). Kriterien für die Mensch-Maschine-Interaktion bei Künstlicher Intelligenz – Sinnvolle Arbeitsteilung und menschenzentrierte Gestaltung.
https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/Zusammenfassungen/AG2_Whitepaper_Kurzfassung_Mensch-Maschine-Interaktion_final.pdf (Abruf: 18.11.2025)

Projekt Werk 4.0, Werner-von-Siemens-Centre for Industry and Science (WvSC). (2025). Vom konventionellen Produktionswerk zum resilienten Kompetenz-Werk durch Industrie 4.0.
https://wvsc.berlin/projekt/werk4-0/ (Abruf: 06.11.2025)

SAP SE. (2019). Scenes: A method and toolkit created at the SAP AppHaus Heidelberg [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License].
http://experience.sap.com/designservices/scenes

Stifterverband. (2025). KI-Kompetenzen in deutschen Unternehmen. https://www.stifterverband.org/sites/default/files/2025-01/ki-kompetenzen_in_deutschen_unternehmen.pdf (Abruf: 05.12.2025)

Synprocure. (2025). Chipkrise Autoindustrie – Lieferketten-Risiken managen. https://www.synprocure.com/news/ratgeber/chipkrise-autoindustrie-lieferketten-risiken-managen-25060/ (Abruf: 05.12.2025)

Ullrich, A., Vladova, G., Gronau, N., & Jungbauer, N. (2017). Akzeptanzanalyse in der Industrie 4.0-Fabrik: Ein methodischer Ansatz zur Gestaltung des organisationalen Wandels. https://lswi.de/assets/downloads/publikationen/106/Ullrich-Akzeptanzanalyse-in-der-industrie4.0-fabrik.pdf (Abruf: 08.12.2025)

Veraenderungskraft. (2025). Design Thinking Prozess in 6 Phasen. https://www.veraenderungskraft.de/design-thinking-prozess/ (Abruf: 06.11.2025)

Walk, A.-C., & Lerche, L. (2025). Vom Mindset-Clash zur gemeinsamen Innovationskultur: Agile Zusammenarbeit in Verbundprojekten. Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V. [https://wvsc.berlin/wp-content/uploads/2025/12/Werk-4.0-Whitepaper_Agile-Zusammenarbeit-in-Verbundprojekten_Anna-Caterina-Walk_Luzie-Lerche.pdf]

Werner-von-Siemens Centre (WvSC). (2025). Projekt Werk 4.0. https://wvsc.berlin/projekt/werk4-0

Zinner, M., Feldhoff, K., Wiemer, H., Ullrich, T., Nitz, C., Stübing, P., Pietsch, K., Reuter, S., & Ihlenfeldt, S. (2025). Enhancing Manufacturing Resilience by Using an In-line Assistance System With Near Real-Time Capabilities. Technische Universität Dresden, Fraunhofer IWU. (erscheint demnächst).

Das Projekt Werk 4.0

Konsortialpartner

Förderung

Dieses Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) in der Förderrichtlinie „Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie“ im Förderrahmen „Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie“ gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH betreut.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Impressum

Herausgeber

Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V.

Rohrdamm 88

13629 Berlin, Deutschland

Autor

Kolja Pietsch

Kontakt

kolja.pietsch@wvsc.berlin

Website

https://wvsc.berlin/

https://wvsc.berlin/projekt/werk4-0/

Veröffentlichung

Dezember 2025

Bildrechte

Titelbild: KI-generiert (ChatGPT von OpenAI, Modell 4o, August 2025)