

Potenziale von digitalen Nutzertests in der Produktentwicklung

TEXT: J. van Remmen, G. Spelly, J. Miehlung, S. Wartzack

INHALT Die Anwendung und Integration digitaler Nutzertests ist eine zentrale Methode zur zeit- und kosteneffizienten Nutzerintegration in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Jedoch ist die Auswahl an traditionellen, digitalisierten und digitalisierbaren Methoden und Instrumenten vielseitig. Verschiedene Anforderungen, Produkte und Ziele individualisieren das Potenzial der einzelnen Methoden unternehmens- und produktabhängig. Der vorliegende Beitrag liefert einen Überblick über psychologische, kognitive und physiologische Nutzertests und stellt ein fundierte Entscheidungsgrundlage vor, die Unternehmen bei der Auswahl und Integration digitaler Nutzertests in der frühen Produktentwicklung unterstützt. Das vorgestellte Konzept wird anhand zweier akademischer Beispiele exemplarisch angewendet.

Potential of digital user testing in product development

ABSTRACT The application and integration of digital user testing is a key method for time- and cost-efficient user integration in the early stages of the product development process. However, there is a wide range of traditional, digitised and digitizable methods and tools to choose from. Different requirements, products and goals individualise the potential of the individual methods depending on the company and product. This article provides an overview of psychological, cognitive and physiological user tests and presents a sound basis for decision-making that supports companies in the selection and integration of digital user tests in early product development. The concept presented is applied using two academic examples.

1 Einleitung und Motivation

Der aktuelle Trend zur Produktindividualisierung stellt Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen. Neben kurzen Entwicklungszeiten und geringen Kosten, insbesondere in den frühen Phasen der Produktentwicklung, wächst der Anspruch, Produkte individuell an die Bedürfnisse der Kundinnen und Kunden sowie deren spezifische Nutzungskontexte anzupassen. Gerade diese frühzeitige Berücksichtigung individueller Anforderungen ist jedoch schwierig, da Kundenwünsche häufig nur implizit vorliegen und in virtuellen Entwicklungsumgebungen schwer vorherzusagen sind. Die Folge: Produkte scheitern, weil sie nicht konsequent an den tatsächlichen Bedürfnissen der Nutzerinnen und Nutzer ausgerichtet sind [1]. So verändern sich Nutzerbedürfnisse beispielsweise dynamisch in Abhängigkeit von Zeit und Nutzungskontext, werden im klassischen Produktentwicklungsprozess (PEP) jedoch oft vernachlässigt, da sie nur schwer zu erfassen sind. Dies kann zu einer systematischen Benachteiligung bestimmter Nutzergruppen führen. Traditionelle Methoden wie Interviews oder Fokusgruppen sind zeitaufwendig, schwer skalierbar und binden insbesondere vielfältige Nutzergruppen häufig unzureichend ein. Emotionale Reaktionen und differenzierte Nutzungserfahrungen werden daher insbesondere in frühen PEP-Phasen oft nicht berücksichtigt [2].

Defizite werden anhand verschiedener Produktbeispiele deutlich: Schutzkleidung wie kugelsichere Westen sind häufig nicht auf die weibliche Anatomie abgestimmt, was zu Unbehagen und eingeschränkter Beweglichkeit führt [3]. Auch Fahrradsättel wurden lange primär für Männer entwickelt und können bei Frauen gesundheitliche Probleme wie Nervenkompressionen oder Entzündungen verursachen [4]. Ähnliche Defizite finden sich bei Sport- und Freizeitausrüstungen wie Fußballschuhen [5], bei medizinischen Geräten wie Wiederbelebungspuppen [6] oder auch

Pulsoximetern, die bei People of Color häufig fehlerhafte Messwerte liefern [7].

Digitale Nutzertests bieten hier insbesondere in frühen PEP-Phasen ein hohes Potenzial. Sie ermöglichen eine frühzeitige und prädiktive Bewertung von subjektiven Nutzererfahrungen, Präferenzen und ergonomischen Aspekten – auch unter Einbeziehung unterschiedlicher Zielgruppen. Allerdings ist die Landschaft digitaler Testverfahren heterogen: Es existiert eine Vielzahl an Ansätzen und Werkzeugen mit unterschiedlichen Schwerpunkten, deren Potenziale und Limitationen für konkrete Entwicklungsszenarien häufig unklar sind. Zudem ist vielfach nicht eindeutig, welche organisatorischen und technischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um solche Verfahren effektiv einsetzen zu können.

Ziel des Beitrags ist es daher, diese Lücke zu adressieren: Es wird aufgezeigt, wie digitale Nutzertests in frühen PEP-Phasen eingesetzt werden können, welche Potenziale sie für die Bewertung von User Experience (UX)- und Ergonomieaspekten bieten und welche Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Anwendung erfüllt sein müssen.

2 Stand der Technik

Die Einbindung von Nutzerinnen und Nutzern in den PEP gilt als entscheidender Erfolgsfaktor, um Produkte anwendungsorientiert, nutzerfreundlich und marktfähig zu gestalten. Klassische Methoden wie Interviews, Workshops oder Labortests ermöglichen eine direkte Erfassung von Nutzeranforderungen und -feedback, sind jedoch häufig zeitaufwendig, schwer skalierbar und in frühen Entwicklungsphasen nur eingeschränkt einsetzbar. Zudem zeigen Studien, dass traditionelle Verfahren oft eine begrenzte Repräsentation diverser Nutzergruppen aufweisen und insbesondere implizite, emotionale sowie kontextabhängige Anforderungen nur

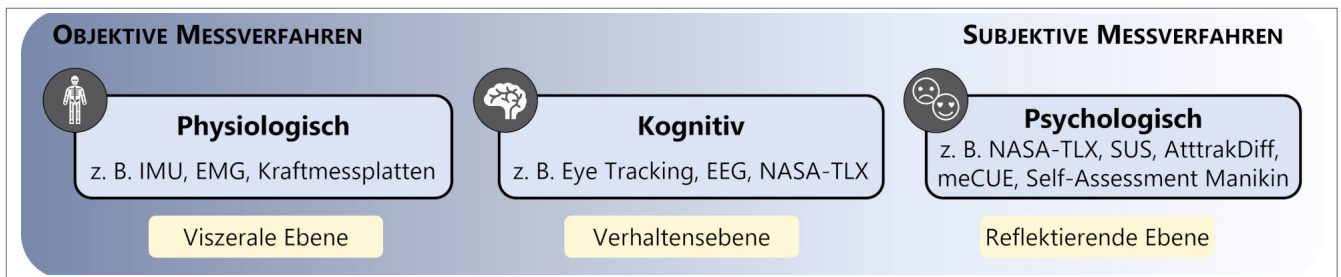


Bild 1 Einteilung der Testverfahren zugeordnet auf die Verarbeitungsebenen nach [10]. Grafik: Autoren (nach Norman [10])

unzureichend erfassen [8]. Digitale Nutzertests bieten hier neue Potenziale. Sie ermöglichen eine Remote-Durchführung, eine größere Stichprobe sowie die automatisierte Datenerfassung und -auswertung. Anwendungen reichen von webbasierten Usability-Studien über virtuelle Prototypentests bis hin zu immersiven Umgebungen in virtueller Realität (VR). Digitale Verfahren erhöhen dabei nicht nur die Iterationsgeschwindigkeit im PEP, sondern erlauben auch eine frühzeitige Bewertung von Nutzererfahrungen [9]. Die Vielzahl an Testverfahren kann im Wesentlichen drei Bereichen zugeordnet werden: kognitiven Bewertungen, psychologischen Erfassungen und physiologischen Messungen. Die Einteilung ist in **Bild 1** dargestellt und den Verarbeitungsebenen in der Nutzungserfahrung nach Norman [10] zugeordnet.

Traditionelle physiologische Messverfahren werden eingesetzt, um anthropometrische und biomechanische Größen zu erfassen mit dem Ziel einer anschließenden ergonomischen Bewertung. Ein umfangreiches Instrument, das über die beobachtungs-basierte Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen anhand standardisierter Testverfahren und Richtlinien, wie dem Rapid Upper Limb Assessment (RULA), dem Rapid Entire Body Assessment (REBA) oder DIN EN 1005-4 [11; 12; 13], hinausgeht, ist die Bewegungsanalyse. Es erfolgt eine Bewegungserfassung durch Technologien wie optisches Markertracking, Inertialsensoren (IMUs) oder videobasierte Verfahren mit einem anschließenden Anwenden inverser Methoden zum Bestimmen biomechanischer Parameter wie Gelenkwinkel, Gelenkkräfte und Gelenkmomente. Muskelaktivitäten können mittels Elektromyographie (EMG) gemessen oder simulativ bestimmt werden. Dieses simulative Vorgehen ermöglicht die Vorhersage und Abbildung von Interaktionskräften während der Produktnutzung [14] sowie ein differenzierteres und genaueres Bewerten von Körperhaltungen und Bewegungen anhand interner Lasten und individuell definierbaren Bewertungskriterien. Die Integration der anthropometrischen Eigenschaften des Menschen erfolgt durch biomechanische Menschmodelle (MM) [15]. Muskuloskeletale MM bieten gegenüber vereinfachten und anthropometrischen Link-Segment-Modellen [15] oder Hüllflächenmodellen eine präzisere Abbildung des Muskelskelettsystems und ermöglichen somit die hier beschriebenen Analysen verschiedener innerer Parameter [16].

Für digitale Nutzertests sind prädiktive, digitale Ansätze zur Bewertung der physischen Ergonomie essenziell. Softwareumgebungen mit arbeitswissenschaftlichen digitalen Menschmodellen (DMM), überwiegend in Form von populationsbasierten Hüllflächenmodellen oder Skeletten, ermöglichen eine Kopplung mit CAD zur Erreichbarkeits-, Sichtfeld-, Komfort- und Körperhaltungsanalyse speziell für die Arbeitsplatzgestaltung oder das Automobil-design [16]. Für die Untersuchung spezifischerer ergonomischer Fragestellungen im dynamischen Produktkontext bieten prädiktive Ansätze mit muskuloskeletalen Menschmodellen vielversprechen-

de Ergebnisse [17], die jedoch eine vorhandene Datenbasis über kontextbezogenes Interaktionsverhalten erfordern [18].

Bei den kognitiven Messverfahren liegt der Fokus auf objektiven, physiologischen Indikatoren des Nutzerverhaltens und der mentalen Belastung. Eye Tracking ist dabei ein etabliertes Instrument, um Blickverläufe, Aufmerksamkeitsverteilung und Interaktionsstrategien zu analysieren. Moderne Systeme ermöglichen die Integration in VR-Umgebungen und damit eine immersive Bewertung von Produktkonzepten [19]. Elektroenzephalografie (EEG) und verwandte Verfahren der psychophysiologischen Messung kommen zum Einsatz, um mentale Beanspruchung, emotionale Reaktionen oder Arbeitsengagement zu erfassen [20]. VR ergänzt diese Methoden, indem sie immersive Testszenarien bietet, in denen Interaktionen mit virtuellen Produktprototypen realitätsnah erlebbar sind [21].

Ergänzend hierzu werden psychologische Verfahren eingesetzt, um subjektive Nutzererfahrungen, emotionale Reaktionen und wahrgenommene Arbeitsbelastung zu erfassen. Hierzu zählen etablierte Fragebögen wie zum Beispiel der NASA Task Load Index (NASA-TLX) zur Bewertung subjektiver Arbeitsbelastung [22], die System Usability Scale (SUS) zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit [23], AttrakDiff [24] und meCUE [25] zur Messung hedonischer und pragmatischer UX-Qualitäten, sowie das Self-Assessment Manikin (SAM) zur Emotionsmessung [26]. Diese Methoden sind standardisiert, vergleichsweise einfach anzuwenden und erlauben eine quantitative Bewertung subjektiver Erfahrungen, werden aber in der Regel retrospektiv angewendet und sind damit anfällig für Selbstberichts-bias.

Die Digitalisierung von Nutzertests zur Nutzung in den frühen Phasen des PEP unterscheidet sich für die verschiedenen Verarbeitungsebenen in ihren Anforderungen. Während psychologische Messverfahren auch an virtuellen Prototypen unter Verwendung von zum Beispiel AR/VR vorgenommen werden können, erfordern prädiktive Ansätze im kognitiven und physiologischen Bereich umfangreiche Datenbasen, um möglichst aussagekräftige Ergebnisse mit reduziertem Bias zu erhalten.

Die Integration von physiologischen, kognitiven und psychologischen Verfahren bietet das Potenzial, sowohl objektive Verhaltensdaten als auch subjektive Bewertungen zu kombinieren und dadurch ein umfassenderes Bild der Nutzungserfahrung zu erhalten. Insbesondere in frühen Phasen des PEP können solche hybriden Ansätze helfen, implizite Bedürfnisse aufzudecken, emotionale Reaktionen zu quantifizieren und ergonomische sowie UX-relevante Aspekte prädiktiv zu bewerten [27].

3 Forschungsproblem und Zielsetzung

Wie der Stand der Technik verdeutlicht, ist die Landschaft traditioneller und digitalisierbarer Nutzertests stark fragmentiert. Es

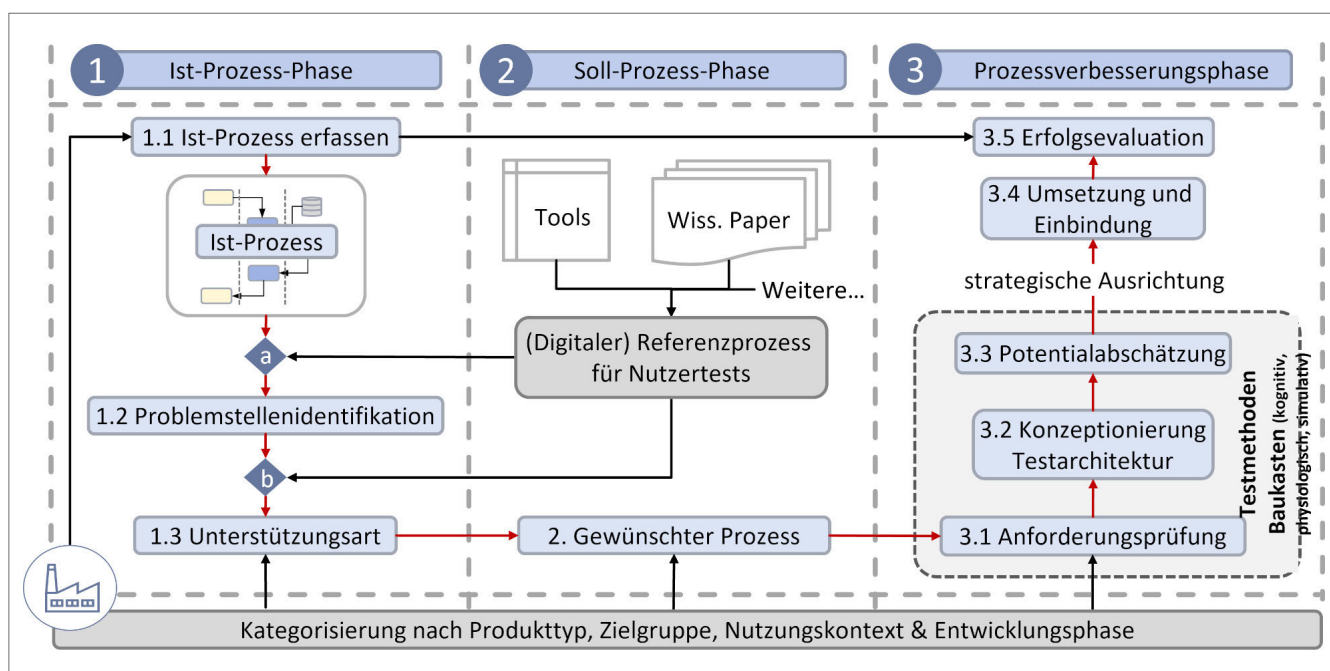


Bild 2 Prozessablauf des Konzepts (rote Pfeile) und verwendete Informationsquellen (schwarze Pfeile) nach [28]. Grafik: Autoren (nach [28])

fehlt an klaren Kriterien, welche Verfahren in welchem Entwicklungskontext den größten Mehrwert liefern und welche organisatorischen sowie technischen Voraussetzungen erforderlich sind, um diese Tests wirksam in den PEP zu integrieren. Darüber hinaus liegt bislang keine strukturierte Übersicht vor, die Einsatzszenarien, Voraussetzungen sowie Nutzen und Risiken der verschiedenen Methoden transparent darstellt. Vor diesem Hintergrund besteht ein Bedarf an einer systematischen Kategorisierung digitaler Nutzertests, der Analyse konkreter Anwendungsszenarien und einer vertieften Diskussion methodischer Risiken. Ziel ist es, eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu entwickeln, die Unternehmen bei der Auswahl und Integration digitaler Tests in der frühen Produktentwicklung unterstützt. Zur Konkretisierung dieses Ziels werden folgende Forschungsfragen adressiert:

1. Wie lassen sich digitale Nutzertests systematisch strukturieren und in frühe Phasen des Produktentwicklungsprozesses einordnen, um unterschiedliche Bewertungsziele (zum Beispiel UX, physische und kognitive Ergonomie) zu unterstützen?
2. Wie kann ein praxisorientiertes Vorgehen gestaltet werden, das Unternehmen unter Berücksichtigung ihrer organisatorischen und ressourcenseitigen Rahmenbedingungen bei der Auswahl und Kombination geeigneter digitaler Nutzertestmethoden unterstützt?

Die Beantwortung dieser Forschungsfragen erfolgt durch die Entwicklung und exemplarische Anwendung des vorgestellten Konzepts.

4 Konzept zur Anwendung digitaler Nutzertests im PEP

Das entwickelte Konzept verfolgt das Ziel, Unternehmen eine strukturierte Vorgehensweise für den Einsatz digitaler und klassischer Nutzertests in frühen Phasen des PEP bereitzustellen. Im Vordergrund steht die frühzeitige und kontinuierliche Einbindung von Nutzerfeedback, um ergonomische und nutzerzentrierte Entscheidungen bereits während der Konzeptentwicklung und Vor-

entwicklung treffen zu können. Die Vorgehensweise orientiert sich an dem von van Remmen et al. [28] beschriebenen dreiphasigen Modell, das aus einer Analyse des aktuellen Entwicklungsprozesses (Ist-Prozess-Phase), der Ableitung eines Soll-Prozesses und einer anschließenden Prozessverbesserungsphase besteht. In Bild 2 ist das Konzept mit seinen Phasen dargestellt.

4.1 Ist-Prozess-Phase

Die erste Phase dient der systematischen Analyse des bestehenden Entwicklungsprozesses im Hinblick auf nutzerzentrierte Aktivitäten und deren Potenziale für eine Erweiterung. Hierbei werden zunächst die aktuell eingesetzten Methoden zur Nutzerintegration erfasst. Dies kann von klassischen Befragungsformaten wie Interviews oder Workshops bis hin zu haptischen Prototypentests reichen. Anschließend erfolgt die Identifikation nutzerintegrationsbezogener Schwachstellen, beispielsweise das Fehlen von Nutzerfeedback in frühen Phasen des PEP oder eine unzureichende Abdeckung diverser Nutzergruppen und Nutzungskontexte. Diese Analyse bildet die Grundlage, um gezielt Handlungsfelder zu identifizieren, in denen digitale Methoden einen Mehrwert schaffen können. Darauf aufbauend wird eine geeignete Art der digitalen Nutzerintegration abgeleitet, beispielsweise kognitive Testverfahren wie Eye Tracking, digitale Ergonomiebewertungen mittels Menschmodellen oder immersive Simulationen in VR oder AR.

4.2 Soll-Prozess-Phase

In der Soll-Prozess-Phase wird der angestrebte Zielprozess definiert. Dies umfasst zunächst die Analyse vorhandener wissenschaftlicher Verfahren und Werkzeuge, die im Rahmen der Integration digitaler Nutzertests eingesetzt werden können. Hierzu zählen beispielsweise IMU-basierte Bewegungsanalysen, EMG, Eye Tracking, standardisierte Fragebögen zur Bewertung der UX oder KI-gestützte Vorhersageverfahren für Nutzerbewertungen.

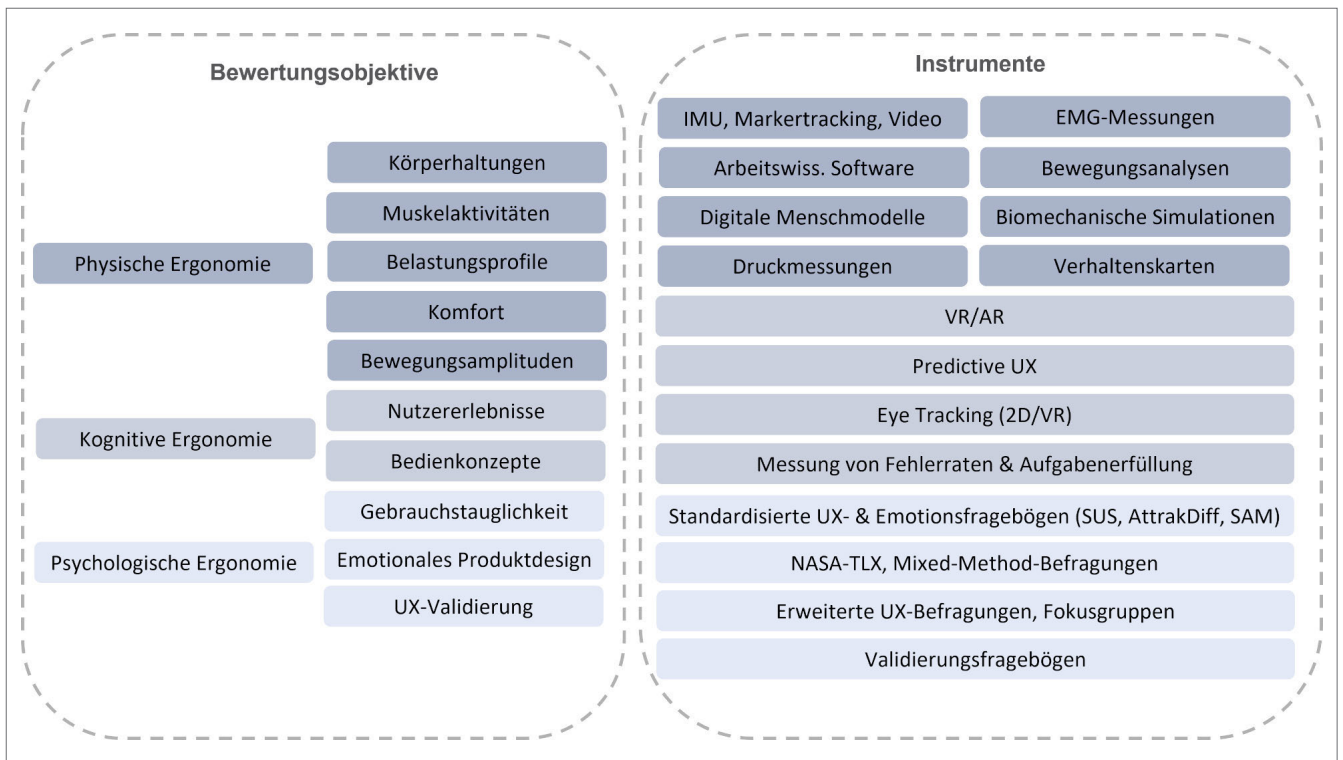


Bild 3 Potenzielle Bewertungsobjektive und Instrumente zur Durchführung von (digitalen) Nutzertests. *Grafik: Autoren*

Auch bestehende Software zur Ergonomiebewertung oder neuere Ansätze zum Aufbau einer eigenen Datenbasis und anschließenden Prädiktion sollten dabei in Betracht gezogen werden. Anschließend wird ein Referenzprozess für Nutzertests entwickelt, der eine nutzerzentrierte Bewertung mit digitalen Simulationsverfahren, Feedbackschleifen und definierten Entscheidungskriterien kombiniert. Ziel dieser Phase ist es, einen gewünschten digitalen Testprozess zu beschreiben, der festlegt, welche Verfahren in welcher Entwicklungsphase zum Einsatz kommen, wie diese mit bestehenden Entwicklungswerkzeugen verknüpft werden und welche Datengrundlagen dafür erforderlich sind. **Bild 3** zeigt potenzielle Bewertungsobjektive und Instrumente traditioneller und digitaler Testverfahren. Dabei werden die Verfahren in drei Hauptkategorien (psychologisch, physiologisch und kognitiv) eingeteilt. Eine Integration ist grundsätzlich in den verschiedenen Phasen des PEP möglich und gilt es, zielabhängig auszuwählen. Mögliche Ziele bei Findung eines Referenzprozesses können eine frühe Bewertung, detaillierte Analysen oder finale Validierungen sein.

Die Identifikation geeigneter digitaler Methoden und Teillösungen erfolgt anhand eines mehrstufigen, qualitativ-analytischen Vorgehens. Zunächst werden potenzielle Testverfahren auf Basis einer Literaturanalyse sowie bestehender industrieller und akademischer Werkzeuge zusammengestellt. Anschließend erfolgt eine Bewertung der Verfahren anhand definierter Kriterien, insbesondere

- dem adressierten Bewertungsziel (zum Beispiel UX, physische oder kognitive Ergonomie),
- der erforderlichen Datengrundlage und Datenverfügbarkeit,
- dem technischen und organisatorischen Implementierungsaufwand sowie
- dem erwarteten Mehrwert in frühen Phasen des PEP.

Die Potenziale der einzelnen Methoden werden qualitativ abgeschätzt, indem deren Fähigkeit zur Schließung identifizierter Prozesslücken sowie ihre Anschlussfähigkeit an bestehende Entwick-

lungswerkzeuge analysiert werden. Auf dieser Basis werden geeignete Methoden oder Methodenkombinationen für den angestrebten Referenzprozess ausgewählt.

4.3 Prozessverbesserungsphase

In der dritten Phase erfolgen die konkrete Konzeption und Umsetzung der digitalen Nutzertests im PEP. Zunächst werden die technischen, organisatorischen und rechtlichen Anforderungen geprüft. Die Anforderungen lassen sich hierbei vier Kategorien zuordnen: technische und organisatorische Voraussetzungen, notwendige Datengrundlagen sowie rechtliche und ethische Rahmenbedingungen. Die **Tabelle** fasst diese Anforderungen exemplarisch zusammen.

Hierzu zählen die Verfügbarkeit geeigneter Sensorsysteme und Simulationssoftware, der Zugang zu realitätsnahen Nutzerdaten, die Kompetenz der Mitarbeitenden im Umgang mit digitalen Testverfahren sowie ethische und datenschutzrechtliche Rahmenbedingungen. Darauf aufbauend wird eine Testarchitektur konzipiert, die die Auswahl geeigneter Testverfahren, deren Integration in bestehende Entwicklungsprozesse und potenzielle Automatisierungsmöglichkeiten – beispielsweise über DMM oder CAD-Schnittstellen – umfasst. Anschließend wird das Potenzial des geplanten Vorgehens bewertet, etwa in Bezug auf die zu erwartende Datenqualität, den Nutzen für die Produktentwicklung oder die Skalierbarkeit der Verfahren. Die Umsetzung erfolgt in der Regel schrittweise, beispielsweise zunächst als Laborversuchsreihe oder als CAD-integriertes Feedbacksystem, bevor eine umfassende Einbindung in den gesamten Entwicklungsprozess erfolgt. Abschließend wird der Erfolg der Einführung bewertet. Mögliche Kennzahlen sind hierbei eine Verringerung der Reklamationen, eine Verkürzung von Entwicklungszyklen, eine verbesserte UX oder die Validierung ergonomischer Produkteigenschaften. Das Kon-

Anforderungskategorie	Beispiele
Technische Voraussetzungen	Sensorsysteme (zum Beispiel IMU, Eye Tracker, EMG), Softwarelösungen (VR/AR-Plattformen, CAD-Integrationen, Analyse-Tools), Rechenkapazitäten für Simulationen
Organisatorische Voraussetzungen	Schulung und Know-how im Umgang mit digitalen Testverfahren, Integration in bestehende Entwicklungsprozesse, klare Rollen und Verantwortlichkeiten, Ressourcenplanung (Personal, Zeit)
Datengrundlagen	Anthropometrische Daten (Körpermaße, Bewegungsparameter), Nutzungsszenarien (zum Beispiel Arbeitsumgebungen, Zielgruppenvariationen), historische UX-/Ergonomiedaten, Datenmanagementsysteme
Rechtliche & ethische Rahmenbedingungen	Datenschutz (zum Beispiel DSGVO-konforme Datenspeicherung), Einwilligungserklärungen der Testpersonen, Vermeidung von Bias (zum Beispiel ausgewogene Stichproben), ethische Richtlinien bei KI-gestützten Analysen

Tabelle Anforderungen an die Einführung digitaler Nutzertests.

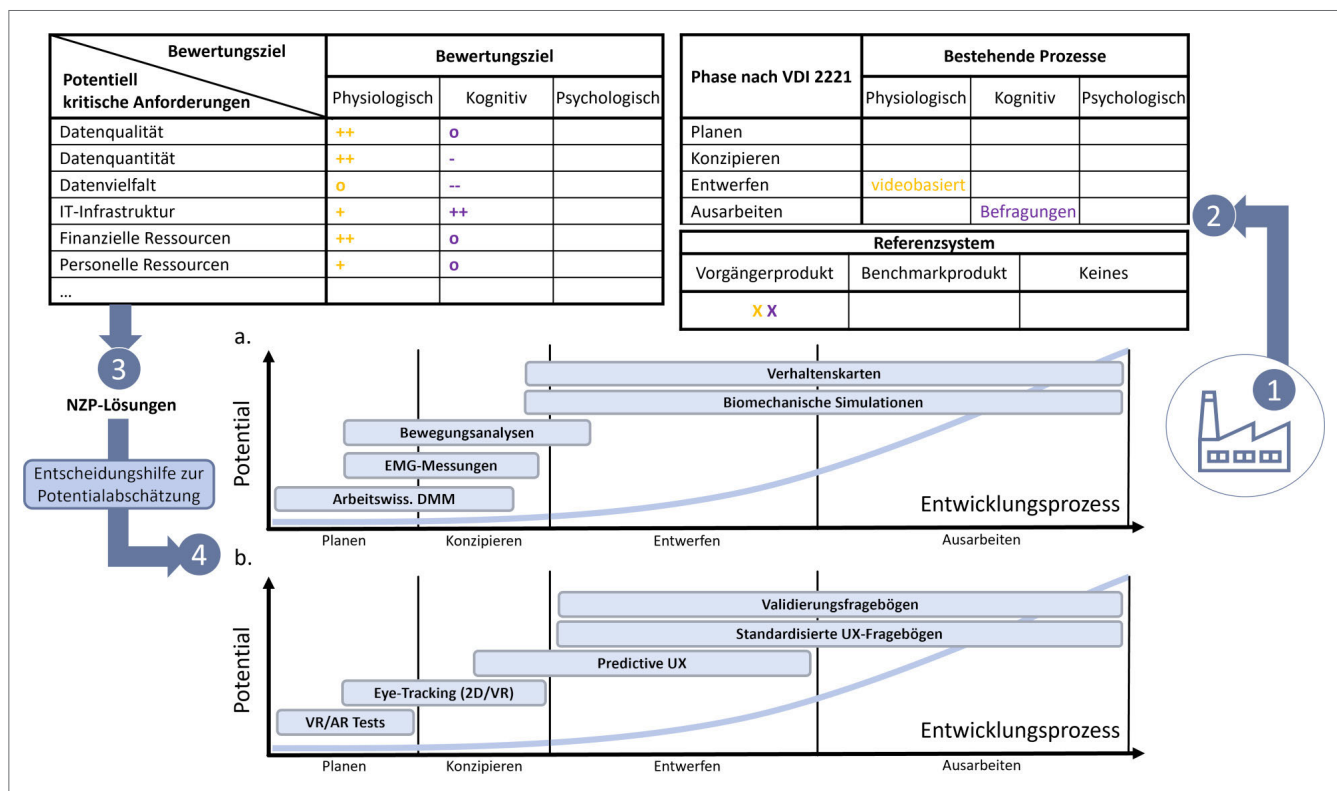


Bild 4 Konzept zur Integration digitaler Nutzertests in den PEP mit den vier Schritten der Analyse und Bewertung (1=Einordnung des Unternehmens, 2=Identifikation fehlender Prozesselemente, 3=Auswahl geeigneter Testmethoden, 4=Potenzialeinschätzung und empfohlene Methodenkombination) und exemplarischen Ausprägungen für Großunternehmen (orange) und KMU (violett). Grafik: Autoren

zept bietet zudem eine Kategorisierung von digitalen Testmethoden nach Einsatzphase, Zweck und Datenquelle (zum Beispiel Beobachtung oder Simulation) sowie eine systematische Einordnung der Verfahren im PEP. Beispiele sind kognitive Methoden wie VR/AR-Umgebungen, prädiktive UX-Modelle, Fragebögen und Eye Tracking sowie physiologische Verfahren wie IMU-basierte Bewegungsanalysen, EMG-Messungen oder digitale Menschmodelle. Der strukturierte Ablauf folgt dabei vier Schritten: der Identifikation des Bedarfs im PEP, der Auswahl geeigneter Testmethoden, der Integration in bestehende Entwicklungswerkzeuge und der anschließenden Auswertung mit Rückkopplung in den Entwicklungsprozess.

5 Diskussion

Die Integration von Nutzern und deren Feedback in den PEP ist ein essenzielles Vorgehen zur Entwicklung intuitiver, ansprechen-

der und ergonomischer Produkte. Neben traditionellen Verfahren für Nutzertests bieten insbesondere prädiktive Ansätze neue Möglichkeiten der digitalen Nutzerintegration vor allem in den frühen Phasen des PEP. Das Konzept zur Anwendung digitaler Nutzertests im PEP beinhaltet einen Überblick und eine Entscheidungshilfe zur individuellen und nachhaltigen Integration der Nutzer in den PEP, entsprechend des Unternehmens, des Produktes und definierter Randbedingungen und Mittel. Bild 4 zeigt die Struktur dieses Konzeptes sowie dessen exemplarische Anwendungen. Die Einordnung des Unternehmens (Schritt 1) bildet die Grundlage für die nachfolgenden Analyseschritte, da sie den realistischen Lösungsraum für den Einsatz digitaler Nutzertests absteckt. Die Unternehmenseinordnung erfolgt kriterienbasiert und orientiert sich an etablierten Merkmalen wie Unternehmensgröße (zum Beispiel gemäß der KMU-Definition der Europäischen Kommission), verfügbarer IT- und Dateninfrastruktur, personellen Ressourcen sowie dem Reifegrad bestehender Entwicklungs- und Testprozesse.

Ziel der Einordnung ist keine formale Klassifikation, sondern eine strukturierte Einschätzung der organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen, die den Einsatz bestimmter Testmethoden begünstigen oder einschränken. Auf dieser Basis werden im weiteren Verlauf Methoden identifiziert und priorisiert, deren Implementierungsaufwand und Datenanforderungen mit den jeweiligen Unternehmensressourcen kompatibel sind. Die Unternehmenseinordnung steuert somit unmittelbar die Auswahl, Kombination und empfohlene Ausbaustufe digitaler Nutzertests im PEP.

Der zweite Schritt bezieht sich auf die spezifischen Anforderungen des Unternehmens und prüft, welche Prozesselemente und welche Nutzertestmethoden bisher fehlen oder unzureichend integriert sind. Dafür werden das Bewertungsziel, die bestehenden Prozesse zu Nutzertests und potenziell kritische Anforderungen analysiert. Im dritten Schritt werden auf Grundlage dieser Analyse konkrete digitale Methoden und Teillösungen identifiziert, die geeignet erscheinen, um die bestehenden Lücken zu schließen. Im vierten Schritt wird schließlich eine Einschätzung vorgenommen, welche Kombination der identifizierten Testverfahren das größte Potenzial für eine Prozessverbesserung im PEP bietet und wie diese methodisch und organisatorisch integriert werden kann. Es ist festzuhalten, dass die dargestellte Potenzialabschätzung (Bild 4, Schritt 4) das Bestehen eines digitalen Vorgänger- oder Referenzproduktes voraussetzt. Im Folgenden wird das Konzept an zwei akademischen Beispielen exemplarisch angewendet (Bild 4).

Ein Großunternehmen entwickelt Produkte zum physischen Gebrauch und verfolgt das Ziel, die Risiken arbeitsbedingter Muskel- und Skeletterkrankungen (MSE) insbesondere bei Anwendern und Anwenderinnen durch ein modulareres Produktdesign zu reduzieren. Bereits vorhandene Nutzerdaten aus früheren Tests und umfangreiche Rechenkapazitäten bilden die Grundlage, um im Rahmen des dargestellten Konzepts zunächst das Unternehmen (Schritt 1) und seine spezifischen Anforderungen (Bild 4, Schritt 2, orange) einzuordnen. Aus dem übergeordneten Ziel, Risiken arbeitsbedingter MSE zu reduzieren, ergibt sich, dass das vorrangige Bewertungsziel in der physiologischen Ergonomie liegt. Zudem zeigt sich bei der Analyse der bestehenden Prozesse und Datenbasis, dass eine hohe Datenqualität und Datenquantität aus den früheren Nutzertests vorliegen, jedoch die Datenvielfalt eingeschränkt ist, da ausschließlich Videoaufnahmen stattgefunden haben. Vorgängerprodukte und ein Versuchsstand mit Videokameraausstattung sind vorhanden. Es wird deutlich, dass insbesondere Verfahren zur detaillierten Bewegungs- und Belastungsanalyse fehlen. In Schritt 3 werden daher Methoden aus Bild 3 wie Bewegungsanalysen mit EMG-Messungen und Motion Capturing ausgewählt, die eine präzise Abbildung physischer Belastungen erlauben. Schritt 4 empfiehlt eine Kombination dieser Verfahren mit prädiktiven Modellen auf Basis von Verhaltenskarten [18], um Belastungsszenarien bereits früh im PEP zu simulieren und ergonomische Verbesserungen gezielt abzuleiten. Dafür erfolgt auch eine entsprechende Auswertung und Integration der bestehenden Videodaten.

Ein kleines oder mittelständisches Unternehmen (KMU) verfolgt das Ziel, sein Produkt hinsichtlich des Bedienkonzepts zu optimieren und gleichzeitig die Kosten der Prototypeniteration gering zu halten. Bei der Einordnung des Unternehmens (Schritt 1) und der Identifikation bisheriger Lücken im Entwicklungsprozess (Bild 4, Schritt 2, violett) zeigt sich, dass das Bewertungsziel vor allem im Bereich der kognitiven Ergonomie

liegt. Das Unternehmen hat eine fortschrittliche IT-Infrastruktur, jedoch eingeschränkte finanzielle und personelle Ressourcen. Es liegen einige Kundenrezensionen zum bestehenden Produkt vor sowie Ergebnisse aus einer Befragung, die im Rahmen eines Prototypentests vor zwei Jahren aufgenommen wurden. Demnach wird die vorhandene Datenquantität und -vielfalt als gering bewertet. Aus dieser Analyse wird deutlich, dass vor allem immersive und ressourcenschonende Testmethoden fehlen. In Schritt 3 wird daher die Nutzung von VR/AR-Tests sowie Eye-Tracking-Verfahren (2D/VR) mit dem langfristigen Ziel, die gewonnenen Daten für prädiktive UX-Analysen zu verwenden, als geeignet identifiziert. Schritt 4 bewertet diese Kombination als besonders potenzialträchtig, da sie eine schnelle und nutzerzentrierte Optimierung des Bedienkonzepts erlaubt, ohne dass physische Prototypen in großem Umfang erstellt werden müssen.

Das Konzept ist generisch auf unterschiedliche Unternehmensgrößen und Produkttypen anwendbar, erfordert jedoch eine sorgfältige Anpassung an die individuellen Voraussetzungen und Ziele. Die Anwendung des Konzepts ermöglicht eine frühzeitige Produktbewertung und Testung mit repräsentativen Nutzergruppen. Insbesondere die initiale Durchführung von Bewegungsanalysen oder physischen Nutzertests erlaubt die Generierung von Daten hoher Qualität, die sowohl für die Simulation von Belastungen und die Ableitung ergonomischer Verbesserungen als auch für prädiktive digitale Tests an virtuellen Produktmodellen genutzt werden können. Diese qualitativ hochwertigen Daten bilden wiederum eine essenzielle Grundlage für KI-gestützte Verfahren, mit denen sich Nutzerwahrnehmungen und -verhalten prädiktiv modellieren lassen. Dies ermöglicht nicht nur eine nutzerzentrierte Produktentwicklung („Usability-by-Design“), sondern auch die Individualisierung und kontinuierliche Optimierung von Produkten. Gleichzeitig erfordert der Einsatz von KI und prädiktiven Modellen einen besonders bewussten Umgang mit der Datenqualität sowie eine kritische Betrachtung potenzieller Verzerrungen (Bias). Die Repräsentativität bestehender Datensätze, mögliche Messunsicherheiten und die Übertragbarkeit laborbasierter Daten auf reale Nutzungsszenarien sind in jedem Anwendungsfall sorgfältig zu prüfen. Darüber hinaus sind ethische Richtlinien und Datenschutzerfordernungen, insbesondere bei der Nutzung personenbezogener Daten, zwingend einzuhalten.

Neben den aufgezeigten Potenzialen weist das vorgestellte Vorgehen daher Limitationen auf. Eine zentrale Einschränkung betrifft die Verfügbarkeit und Qualität nutzerspezifischer Daten, insbesondere für prädiktive und simulationsbasierte Verfahren. Ohne ausreichend repräsentative Datensätze können die Aussagekraft und Übertragbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt sein. Darüber hinaus erfordert die Einführung digitaler Nutzertests personelle, technische und finanzielle Ressourcen, die insbesondere in KMU nur begrenzt zur Verfügung stehen. Daher müssen bei der Anwendung des Konzepts die jeweiligen organisatorischen Rahmenbedingungen mitbetrachtet werden. Methodisch basiert das Vorgehen überwiegend auf einer qualitativen Potenzialabschätzung. Quantitative Validierungen der Wirksamkeit einzelner Methodenkombinationen stellen einen wichtigen Gegenstand zukünftiger Forschung dar.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Digitale Nutzertests stellen einen zentralen Baustein für die effektive und frühzeitige Einbindung von Nutzern in den PEP dar.

Durch die Kombination kognitiver und physiologischer Verfahren lassen sich sowohl subjektive Nutzungserfahrungen als auch objektive Belastungs- und Interaktionsdaten erfassen. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung von Produkten bereits in frühen Entwicklungsphasen und schafft die Grundlage für nutzerzentrierte, evidenzbasierte Designentscheidungen. Perspektivisch bietet insbesondere die Integration digitaler Nutzertests in bestehende CAD- und PLM-Systeme ein hohes Potenzial, da damit direkte Feedback-Mechanismen in die Konstruktionsumgebung eingebunden werden können. Ergänzend eröffnen KI-gestützte Verfahren die Möglichkeit, Designempfehlungen automatisiert abzuleiten und UX- sowie Ergonomiedaten als modulare Bausteine wiederverwendbar zu machen. Hierdurch kann der Entwicklungsprozess weiter beschleunigt und die Qualität nutzerzentrierter Entscheidungen erhöht werden. Der Einsatz solcher KI-gestützter Ansätze ist dabei jedoch eng an die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger und repräsentativer Datensätze, den Reifegrad der eingesetzten Modelle sowie die verfügbaren organisatorischen und rechentechnischen Ressourcen gekoppelt. In vielen Anwendungskontexten befinden sich entsprechende Verfahren derzeit noch in einem explorativen oder domänenspezifisch begrenzten Entwicklungsstadium und dienen primär als unterstützende Analyse- und Entscheidungswerkzeuge. Gleichzeitig besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich der empirischen Validierung digitaler Testverfahren und deren branchenspezifischer Einsatzmöglichkeiten. Vor allem der Aufbau und die Nutzung von Datenbanken aus traditionellen Tests bieten in Verbindung mit Machine Learning die Chance, prädiktive Modelle zu entwickeln, deren Aussagekraft maßgeblich von der Datenqualität, -quantität und Übertragbarkeit auf reale Nutzungsszenarien abhängt, jedoch langfristig den Bedarf an aufwendigen physischen Nutzertests reduzieren könnten. Diese Entwicklungen eröffnen eine neue Perspektive auf die Vorhersage von Nutzerverhalten, sowohl im kognitiven als auch im physischen Bereich, und tragen damit zu einer noch effizienteren und nutzerorientierten Produktentwicklung bei. ■

Literatur

- [1] Norman, D. A.: *The design of everyday things*. Revised and expanded edition. New York, New York: Basic Books, 2013, ISBN 978-0-465-05065-9.
- [2] Tizard, J.; Rietz, T.; Blincoe, K.: *Elicitation Revisited for More Inclusive Requirements Engineering*. In: Damian, D.; Blincoe, K.; Ford, D.; Serebrenik, A.; Masood, Z. (Hrsg.): *Equity, Diversity, and Inclusion in Software Engineering: Best Practices and Insights*. Berkeley, CA: Apress, 2024, ISBN 978-1-4842-9651-6, S. 91-104.
- [3] Coltman, C. E.; Brisbine, B. R.; Steele, J. R.: *Bra-body armour integration, breast discomfort and breast injury associated with wearing body armour*. In: *Ergonomics* Bd. 64, Informa UK Limited (2021), Nr. 12, S. 1623-1633.
- [4] Carpes, F. P.; Dagnese, F.; Kleinpaul, J. F.; De Assis Martins, E.; Bolli Mota, C.: *Bicycle Saddle Pressure: Effects of Trunk Position and Saddle Design on Healthy Subjects*. In: *Urologia Internationalis* Bd. 82, S. Karger AG (2009), Nr. 1, S. 8-11.
- [5] Althoff, K.: *Biomechanische und sportmotorische Analyse des Frauen- und Männerfußballs: Untersuchung des Spielverhaltens und der Ballbehandlung von weiblichen und männlichen Fußballspieler/innen – Schlussfolgerungen für die Konstruktion geschlechtsspezifischer Fußballschuhe*, Universität Duisburg-Essen, Dissertation, 2016.
- [6] Szabo, R. A.; Forrest, K.; Morley, P.; Barwick, S.; Bajaj, K.; Britt, K.; Yong, S. A.; Park-Ross, J.; u. a.: *CPR training as a gender and rights-based healthcare issue*. In: *Health Promotion International* Bd. 39, Oxford University Press (OUP) (2024), Nr. 6.
- [7] Gokhale, S. G.; Daggubati, V.; Alexandrakis, G.: *Innovative technology to eliminate the racial bias in non-invasive, point-of-care (POC) haemoglobin and pulse oximetry measurements*. In: *BMJ Innovations* Bd. 9, BMJ (2023), Nr. 2, S. 73-77.
- [8] Kujala, S.: *User involvement: A review of the benefits and challenges*. In: *Behaviour & Information Technology* Bd. 22, Informa UK Limited (2003), Nr. 1, S. 1-16.
- [9] Tullis, T. S.; Albert, W.: *Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. 2nd edition. Amsterdam Boston: Elsevier/Morgan Kaufmann, 2013, ISBN 978-0-12-415781-1.
- [10] Norman, D. A.: *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. In: *The Journal of American Culture* 2004, 2004.
- [11] McAtamney, L.; Nigel Corlett, E.: *RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders*. In: *Applied Ergonomics* Bd. 24 (1993), Nr. 2, S. 91-99.
- [12] Hignett, S.; McAtamney, L.: *Rapid Entire Body Assessment (REBA)*. In: *Applied Ergonomics* Bd. 31 (2000), Nr. 2, S. 201-205.
- [13] DIN EN 1005-4:2009-01, *Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen; Deutsche Fassung EN 1005-4:2005+A1:2008*.
- [14] Molz, C.; Scherb, D.; Löffelmann, C.; Sänger, J.; Yao, Z.; Lindenmann, A.; Matthiesen, S.; Weidner, R.; u. a.: *A Co-Simulation Model Integrating a Musculoskeletal Human Model with Exoskeleton and Power Tool Model*. In: *Applied Sciences* Bd. 14, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2024), Nr. 6, S. 2573.
- [15] Winter, D. A.: *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. 1. Aufl.: Wiley, 2009, ISBN 978-0-470-39818-0.
- [16] Mühlstedt, J.: *Digitale Menschmodelle*. In: Bullinger-Hoffmann, A. C.; Mühlstedt, J. (Hrsg.): *Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016, ISBN 978-3-662-50459-8, S. 73-182.
- [17] Wolf, A.; Fackler, K.; Reulbach, M.; Wartzack, S.; Miehlung, J.: *Computer Aided Ergonomics: Evaluation Study of a Interaction Model for Digital Human Models*. In: *Proceedings of the Design Society* Bd. 2, Cambridge University Press (2022), S. 663-672.
- [18] Spelly, G.; Scherb, D.; van Remmen, J.; Wartzack, S.; Miehlung, J.: *Characterization of Human Behavior During User-Product-Interaction – A Pilot Study*. In: Duffy, V. G. (Hrsg.): *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, ISBN 978-3-031-93508-4, S. 298-312.
- [19] Holmqvist, K.; Nystrom, M.; Andersson, R.; Dewhurst, R.; Jarodzka, H.; van de Weijer, J.: *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. First published in paperback. Oxford: Oxford University Press, 2015, ISBN 978-0-19-873859-6.
- [20] Fairclough, S. H.: *Fundamentals of physiological computing*. In: *Interacting with Computers* Bd. 21, Oxford University Press (OUP) (2009), Nr. 1-2, S. 133-145.
- [21] Cheiran, J. F. P.; Bandeira, D. R.; Pimenta, M. S.: *Measuring the key components of the user experience in immersive virtual reality environments*. In: *Frontiers in Virtual Reality* Bd. 6, Frontiers Media SA (2025).
- [22] Hart, S. G.; Staveland, L. E.: *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*. In: *Advances in Psychology*: Elsevier, 1988, DOI: 10.1016/s0166-4115(08)62386-9, S. 139-183.
- [23] Brooke, J.: *SUS – A quick and dirty usability scale* (1995).
- [24] Hassenzahl, M.; Burmester, M.; Koller, F.: *AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität*. In: *Berichte des German Chapter of the ACM*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2003, DOI: 10.1007/978-3-322-80058-9_19, ISBN 978-3-519-00441-7, S. 187-196.
- [25] Minge, M.; Thüning, M.: *The McCUE Questionnaire (2.0): Meeting Five Basic Requirements for Lean and Standardized UX Assessment*. In: *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer International Publishing, 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-91797-9_33, ISBN 978-3-319-91796-2, S. 451-469.
- [26] Bradley, M. M.; Lang, P. J.: *Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential*. In: *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry* Bd. 25, Elsevier BV (1994), Nr. 1, S. 49-59.
- [27] Zöller, S. G.; Wartzack, S.: *Considering Users' Emotions in Product Development Processes and the Need to Design for Attitudes*. In: *Emotional Engineering*, Vol. 5. Cham: Springer International Publishing, 2017, ISBN 978-3-319-53194-6, S. 69-97.
- [28] van Remmen, J.; Horber, D.; Pickel, J.; Goetz, S.; Wartzack, S.: *Potential of NLP-basierten Assistenzsystemen im Anforderungsmanagement*. In: *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2023*. Stuttgart: Fraunhofer IAO, 2023, S. 91-102.

Judith van Remmen

Wiss. Mitarbeiterin und Doktorandin am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

van_remmen@mfk.fau.de

Gwen Spelly

Wiss. Mitarbeiterin und Doktorandin am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

spelly@mfk.fau.de

Jörg Miehl

Oberingenieur am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

miehl@mfk.fau.de

Sandro Wartack

Lehrstuhlleiter am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

wartack@mfk.fau.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

Fraunhofer-Studie: KI-Agenten erfolgreich einsetzen

KI-Agenten sind derzeit in aller Munde. Wenn es um konkrete Anwendungen geht, wird es dünn. An dieser Stelle setzt die Studie „KI-Agenten verstehen und anwenden“ an. Das mitwirkende Expertenteam der Fraunhofer-Institute für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO sowie für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS beleuchtet Einsatzbereiche von Agentischen KI-Systemen und schafft ein grundlegendes Verständnis durch Begriffsklärungen das Konzept des Agentic Levels.

Von einem KI-Agent ist die Rede, wenn ein KI-System ein definiertes Ziel verfolgt und eine Reihe von Charakteristiken aufweist. Dazu zählen unter anderem die Wahrnehmung der Umwelt, Kooperationsfähigkeit mit Menschen und anderen Agenten sowie Handlungs- und Entscheidungsfähigkeit. Besonders in Bezug auf die Risikoabschätzung ist es für Unternehmen bedeutsam, zu erkennen, ob ein System als KI-Agent gilt oder nicht. Eine Abgrenzung, die sich für Unternehmen häufig als schwierig erweist. „Wann ist ein System ein KI-Agent? Um diese Frage zu beantworten, führen wir in unserer Studie das Konzept des Agentic Levels ein. Dieses hilft Unternehmen dabei, die damit verbundenen Risiken und Potenziale einzuschätzen.“, erläutert Dr. Maximilian Kintz vom Fraunhofer IAO, verantwortlicher Autor der Studie. KI-Agenten können in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt werden: von Kundensupport und Vertrieb über Sortimentsplanung bis hin zu Notfallversorgung und Robotiksteuerung. Die Studie liefert dort einen wertvollen Überblick. Für den erfolgreichen Einsatz empfehlen die Studienautoren Unternehmen, mit kleinen Anwendungen in geschützten Umgebungen zu beginnen und diese schrittweise zu erweitern. Die vollständige Studie enthält weitere detaillierte Handlungsempfehlungen – etwa zur Einbindung von Mitarbeitenden und hochwertigen Daten – und steht kostenfrei zum Download bereit.

Unter Berücksichtigung der genannten Empfehlungen gelten KI-Agenten als vielversprechende, aber komplexe Anwendungen. Agentische KI-Projekte bieten Chancen, das Unternehmen und die Mitarbeitenden weiterzubringen, mit klarer Governance, kontinuierlicher Evaluation und verantwortungsvoller Umsetzung. Unternehmen, die sich für den Einsatz von KI-Agenten in Vertrieb und Kundenservice interessieren, können sich bei



KI-Agenten verstehen und anwenden: Die Studie kann auf der Seite des Fraunhofer-Instituts IAO kostenlos heruntergeladen werden.

Foto: Fraunhofer IAO

den Studienautoren melden – sie erhalten im Rahmen des Forschungs- und Innovationszentrums für Hybride KI konkrete Unterstützung und Beratung.

www.iao.fraunhofer.de

SMC eröffnet Industrial Application Center in Dresden

Die SMC Deutschland GmbH hat in Dresden ein neues Industrial Application Center (IAC) eröffnet und erweitert damit nach eigenen Angaben ihre Präsenz im Technologiecluster Silicon Saxony. Auf über 180 m² entsteht ein Co-Creation Hub, der industrielle Anwendungen und beteiligte Akteure von Produktionsprozessen zusammenbringt, erläutert das Unternehmen. Anders als klassische Testzentren, bietet das IAC eine praxisorientierte Umgebung, in der Applikationen real betrieben, Bewegungs- und Steuerabläufe demonstriert sowie typische Szenarien aus dem Produktionsalltag simuliert werden können. So lassen sich Schaltungen, Zylinder, elektrische Achsen, Sensoren oder Vakuumkomponenten für Automatisierungsprozesse unmittelbar im Zusammenspiel erleben. „Dresden gehört zu den wichtigsten Mikroelektronikstandorten Europas. Wir schaffen hier einen Ort, an dem End-User, Maschinenbauer und SMC Expertinnen und Experten gemeinsam an technischen Lösungen arbeiten können“, sagt Robert Angel, Managing Director SMC Deutschland GmbH. „Das IAC verfolgt als zentraler Innovationshub das Ziel, Abstimmungsprozesse zu beschleunigen und Wissenstransfer zu stärken, damit frühe Entscheidungen klar in Richtung zukunftsweisender, umsetzungsorientierter Ergebnisse gelenkt werden können.“ Das IAC richtet sich an Unternehmen aus vielfältigen Branchen wie Halbleiterfertigung, Automotive, Maschinenbau und Lebensmittelverarbeitung, führt SMC aus.

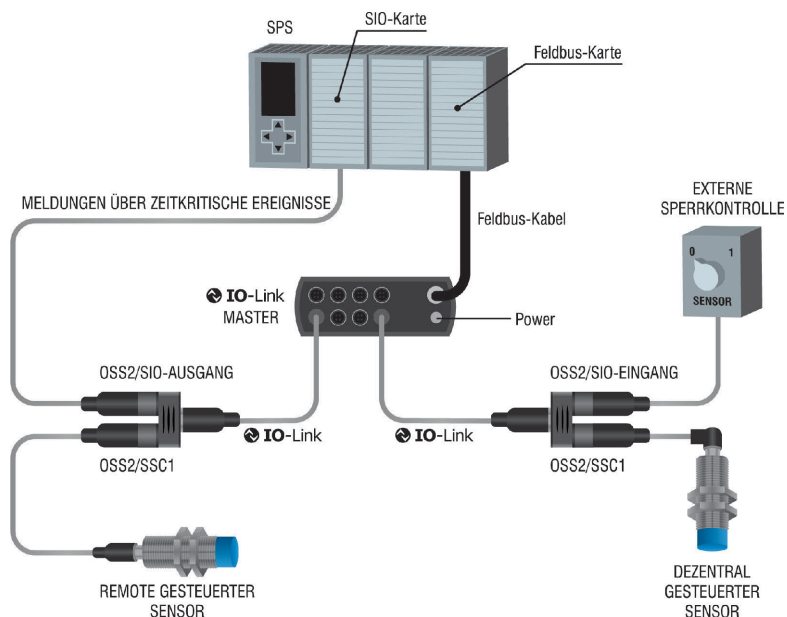


Robert Angel, Geschäftsführer von SMC Deutschland, und **Stefan Voigt**, Standortleiter des IAC in Dresden, bei der Eröffnung des Industrial Application Centers. Foto: SMC

Im IAC finden Workshops, Schulungen, Projektbesprechungen und technische Abstimmungen statt – immer mit dem Ziel, Anforderungen gemeinsam präzise zu definieren und Applikationen passgenau zu entwickeln.

www.smc.de

Vorschau 4-2026



Die Induktivsensoren arbeiten im 2-Kanal-Betrieb und können deshalb auch dezentrale Prozessaufgaben unter lokaler Kontrolle lösen. Foto: Contrinex

Sensorik

Neue smarte induktive Ganzmetallsensoren bieten optimale Voraussetzungen für IoT-Anwendungen. Sie vereinen nicht nur verschiedene Sensormodi in einem einzigen Gerät, sondern sind auch äußerst robust und lassen sich einfach in die Applikation integrieren.

Agile Produktentwicklung

In agiler Produktentwicklung wird das Daily Scrum Meeting oft genutzt, um Kommunikation, Koordination und Zusammenarbeit zu verbessern. Die Praxis zeigt, dass die reine Einführung dieses Events nicht ausreicht. Der Beitrag stellt eine KI-basierte Analysemethode vor, die Kommunikations- und Interaktionsmuster automatisch auswertet und hilft, die Effektivität dieser Meetings zu verbessern.

Fachteil Ingenieur-Werkstoffe



Naturfasertextilien: Integrierte optionale LED-Beleuchtung im Gewebe.
Foto: Fraunhofer WKI/
Manuela Lingnau

VERBUNDWERKSTOFFE

Flachfasergewebe und Stahl: Materialkonzept für zirkuläre Sitzmöbel

PIAE 2026

Kunststoff als Schlüsselwerkstoff für nachhaltige Fahrzeugkonzepte

EDELSTAHL

Materialwandel für klimafreundliche Wertschöpfung