

Tasliarmut, Melisa; Schwarzkopf, Marc; Bullinger, Angelika C.

Article — Published Version

Usability und Akzeptanz digitaler Lernkonzepte im Handwerk –
Vorstellung und Implikationen von formativen und summativen
Evaluationsergebnissen eines digitalen CNC-Lernplatzes

Zeitschrift für Arbeitswissenschaft

Provided in Cooperation with:

Springer Nature

Suggested Citation: Tasliarmut, Melisa; Schwarzkopf, Marc; Bullinger, Angelika C. (2026) : Usability und Akzeptanz digitaler Lernkonzepte im Handwerk – Vorstellung und Implikationen von formativen und summativen Evaluationsergebnissen eines digitalen CNC-Lernplatzes, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, ISSN 2366-4681, Springer, Berlin, Heidelberg, Vol. 80, Iss. 1, pp. 117-135, <https://doi.org/10.1007/s41449-026-00507-7>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/338592>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>



Usability und Akzeptanz digitaler Lernkonzepte im Handwerk – Vorstellung und Implikationen von formativen und summativen Evaluationsergebnissen eines digitalen CNC-Lernplatzes

Melisa Tasliarmut¹ · Marc Schwarzkopf¹ · Angelika C. Bullinger¹

Angenommen: 29. Januar 2026 / Online publiziert: 11. Februar 2026
© The Author(s) 2026

Zusammenfassung

Das Handwerk steht im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung vor der Herausforderung, dass bislang kaum evaluierte und zielgruppenspezifische digitale Lernmedien existieren. Der Beitrag geht dies mit der wiederholten Evaluation eines digitalen Lernplatzes für CNC-Kenntnisse im Tischler- und Steinmetzhandwerk an. Die Evaluationen folgten dem User-Centered Design für interaktive Systeme (ISO 9241-210:2019 [2019](#)). Vor dem Hintergrund der Usability-Heuristiken nach Nielsen ([1994](#)) werden die Evaluationsergebnisse zu verschiedenen Zeitpunkten der Lernplatzentwicklung diskutiert. Im Ergebnis wird deutlich, dass Usability nicht nur ein technisches Qualitätsmerkmal ist, sondern auch weitreichende didaktische Konsequenzen bedingt und geeignet ist für die Evaluation in der Lernmedienentwicklung. Die Relevanz der Interaktionssteuerung wird hervorgehoben und Forschungsbedarfe zum kombinierten Einsatz von Usability- und Lernwirksamkeitsindikatoren ausdiskutiert.

Praktische Relevanz: Die Usability-Foki ermöglichen die Entwicklungs- und Evaluationsprozesse zu unterschiedlichen Zeitpunkten sichtbar zu machen, die in der Produktentwicklung von digitalen Lernmedien häufig verdeckt bleiben. Für zukünftig zu entwickelnde digitale Lernmedien im Handwerk können aus der Kombination aus Usability-Heuristiken und Designentscheidungen sowohl förderliche wie auch hinderliche Gestaltungsprinzipien abgeleitet werden. In der Folge liefern die Ergebnisse konkrete Anhaltspunkte für die Lernmedienentwicklung, Bildungsinstitutionen sowie Handwerksbetriebe, um akzeptierte, zielgruppenspezifische Lösungen zu gestalten.

Schlüsselwörter Formative Evaluation · Summative Evaluation · Usability · Aus- und Weiterbildung · Digitaler CNC-Lernplatz

✉ Melisa Tasliarmut, M. Sc.
melisa.tasliarmut@mb.tu-chemnitz.de

Marc Schwarzkopf, M. Sc.
marc.schwarzkopf@mb.tu-chemnitz.de

Prof. Dr. Angelika C. Bullinger
angelika.bullinger-hoffmann@mb.tu-chemnitz.de

¹ Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement,
Technische Universität Chemnitz, Erfenschlager
Straße 73, 09125 Chemnitz, Deutschland

Usability and acceptance of digital learning in the craft sector—Results and implications of formative and summative evaluations of a digital CNC learning platform

Abstract

In the context of advancing digitalisation, the crafts sector faces the challenge that, unlike other sectors, hardly any target group-specific digital training have been evaluated to date. This article presents the evaluation results for a digital CNC-training in the context of carpentry and stonemasonry. For this purpose, iterative design and evaluation cycles were carried out within the framework of user-centered design (ISO 9241-210:2019 2019) in order to assess usability. The results are discussed at various stages of the digital training development process in relation to Nielsen's (1994) usability heuristics. The findings show that usability is not exclusively a technical quality feature, but also has far-reaching didactic consequences. In particular, the importance of interaction control becomes clear based on the evaluation results. Future research on the combined use of usability and learning effectiveness indicators is discussed.

Practical Relevance: The presentation of the different usability foci makes it possible to visualize the development and evaluation processes at different points in time, which often remain hidden in the product development of digital training. The combination of usability heuristics and specific design decisions can be used to derive both beneficial and detrimental design principles for future digital training in the craft sector. The results presented provide concrete points of reference to help learning media developers, educational institutions and craft businesses design accepted, target group-specific solutions.

Keywords Formative evaluation · Summative evaluation · Usability · Education and training · Digital learning platform

1 Einleitung

Der demografische Wandel, die fortschreitende Digitalisierung sowie die zunehmende Automatisierung führen zu dynamischen Veränderungen des Arbeitsmarkts und damit zu veränderten Anforderungen an Kompetenzen und Qualifikationen in der beruflichen (Weiter-)Bildung (BIBB 2024). Basierend auf diesen Einflussfaktoren werden Umstrukturierungen und Flexibilisierungen der etablierten Ordnungsstrukturen der Berufsbildung diskutiert, sodass flexible Lern- und Weiterbildungspfade wie Umschulungen, Teilqualifikationen, Zertifizierungen sowie digitales oder informelles Lernen immer mehr an Bedeutung gewinnen (BIBB 2024). Der technische Aufgabenwandel durch die digitale Transformation zeigt sich auch im Handwerkssektor, wobei die Digitalisierungsgrade je nach Betriebsgröße und Investitionsvolumen variieren (Runst und Proeger 2020).

Für die erfolgreiche Umsetzung digitaler Transformationsprozesse, die die Entwicklung, Installation, Wartung und den Betrieb digitaler Technologien umfassen, sind neben technischen und infrastrukturellen Investitionen insbesondere Maßnahmen zur Weiterqualifizierung des Personals entscheidend (BIBB 2024). Im Handwerk erschweren Personalengpässe (KOFA 2021), erhöhte Arbeitsbelastung (Garnitz et al. 2023) und ein Mangel an internen Digitalkompetenzen (Lücke et al. 2022) die Entwicklung und Evaluation digitaler Weiterqualifizierungsangebote aufgrund begrenzter personeller und zeitlicher Ressourcen. Während in anderen Sektoren bereits maßgeschneiderte, digitale Lösungen etabliert sind, die zeit- und ortsunabhän-

giges Lernen ermöglichen, fehlt es im Handwerk sowohl an empirisch evaluierten als auch zielgruppenspezifischen Lernmedien, die sich an den realen Anforderungen und Nutzungskontexten der Lernenden orientieren (Thonipara et al. 2020; ZWH 2021).

Digitalkompetenzen spielen im Handwerk insbesondere im Bereich der Computerized Numerical Control (CNC) eine Rolle (Chase 2023). Die Herstellung von präzisen Werkstücken mit CNC-Maschinen erfolgt, nachdem die gewünschten Bauteile computergestützt konstruiert (CAD – Computer-Aided Design) und anschließend Instruktionen für die CNC-Maschine programmiert wurden (CAM – Computer-Aided Manufacturing) (Rabadjieva et al. 2017).

Obwohl CNC-Kompetenzen ein zentrales Element digitaler Produktionsprozesse im Handwerk darstellen, liegen bislang nur wenige wissenschaftliche Arbeiten zur didaktischen Lernmedienentwicklung (Goppold et al. 2022) oder deren evaluatorische Begleitung (Friedrich et al. 2024a) in der beruflichen (Weiter-)Bildung vor. Somit bestehen für Lernmedienentwickelnde im Handwerk Lücken mit Blick auf die systematische Erfassung von Lernpräferenzen und der darauf aufbauenden Gestaltung digitaler Lernmedien. Auch ein Rückgriff auf transparente Darstellungen iterativer Entwicklungs- und Evaluationsprozesse, anhand derer förderliche wie auch hinderliche Gestaltungsprinzipien für Neuentwicklungen abgeleitet werden können, ist unzureichend möglich.

Die nutzendenzentrierte Produktentwicklung im Bereich interaktiver Systeme bietet Lösungen, die für die Bedarfe der Lernmedienentwicklung im Handwerk dienlich sein können. Diese ermöglichen nicht nur den Entwicklungs-

und Evaluationsprozess generell zu strukturieren, sondern umfassen auch Methoden, um die Nutzendenanforderungen vor und während der Interaktion mit digitalen Lernmedien zu erfassen. Letztere können eingesetzt werden, um Probleme zu identifizieren, Ideen zu generieren und neuartige sowie innovative Produkte zu entwickeln (Marjanović et al. 2025). Dabei wird als Ziel angestrebt, dass die entwickelten Produkte eine hohe Usability aufweisen, also nützlich, einfach zu nutzen und zufriedenstellend sind (Zhai et al. 2025). Die Ergebnisse dieses Forschungsbereichs umfassen u. a. empirisch gestützte Beiträge zu praktischen Vorgehensweisen (z. B. eingesetzte Mittel, umgesetzte Maßnahmen) und die Darstellung von Artefakten (Marjanović et al. 2025). In anderen Domänen wie der Softwareentwicklung, Automobilindustrie und Produktdesign im Allgemeinen ist der Einsatz nutzendenzentrierter Vorgehen längst etabliert (Es-het und Bouwmen 2017, Hernández-Ramírez 2019, Riener et al. 2022).

Die Anwendung dieser Methoden eignet sich potenziell für den Kontext der Lernmedienentwicklung im Handwerk, um die heterogenen Zielgruppenanforderungen zu erfassen. Da im Handwerk Gesellen und Gesellinnen, Umschülerinnen und Umschüler sowie Meisterinnen und Meister gleichermaßen vorhanden sind und divergierende Einschätzungen mitbringen, können über das strukturierte Vorgehen die Anforderungen erfasst werden und stetig einfließen. Indem Zwischenschritte der Produktentwicklung sichtbar gemacht werden, können Lernmedienentwickelnde wiederum die Präferenzen der Nutzenden für die Gestaltung ableiten. Dies ist ein zentrales Anliegen von zielgruppenspezifischen Produktentwicklungen im Handwerk, da die Anforderungen aufgrund unterschiedlicher (technischer) Vorerfahrungen und der Bandbreite an Digitalkompetenzen nicht ohne Weiteres aus gewerblichen Berufen oder dem hochschulischen Bereich übertragen werden können (Friedrich et al. 2024b; Tasliarmut et al. 2024).

Der Standard ISO 9241-210:2019 stellt mit dem User-Centered Design (UCD)-Prozess eine Möglichkeit dar, den Produktentwicklungsprozess zu strukturieren und zukünftige Nutzende frühzeitig und kontinuierlich einzubinden. Dabei sind alle Phasen des Produktlebenszyklus von der Planung bis zum Einsatz von Anfang an bedeutsam. Ziel dieses methodischen Rahmenkonzepts ist es, zielgruppenspezifische Anforderungen zu erheben, die Interaktion der Nutzenden mit dem technischen System zu antizipieren und erfassen sowie im Ergebnis praktisch relevante Probleme zu lösen. Zu diesem Zweck werden Prototypen gestaltet, evaluiert und auf Basis des Nutzendenfeedbacks iterativ optimiert, bis die Anforderungen erfüllt sind.

Um die Digitalkompetenzen im Handwerk zu fördern, wurde ein webbasiertes Training (WBT) zur Vermittlung von CNC-Basiskenntnissen für das Tischler- und Steinmetzhandwerk in mehreren Iterationsschleifen entwickelt

und evaluiert. Unter WBTs sind digital verfügbare Lernmedien zu verstehen, die über Texte, Bilder, Videos und Animationen angereichert werden können (Rensing 2020). Auch Single- und Multiple Choice Aufgaben, Lückentexte oder weitere Aufgabenarten sind dabei umsetzbar und können zeit- und ortsunabhängig bearbeitet werden (Rensing 2020). Bei der Entwicklung und Evaluation des WBTs, im Folgenden „digitaler CNC-Lernplatz“ genannt, wurden die zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer umfassend in die Gestaltung integriert. Alle Entwicklungsphasen wurden systematisch entlang des UCD-Prozesses dokumentiert und durch empirische Daten gestützt (vgl. Friedrich et al. 2024a, b; Tasliarmut et al. 2024). Ziel war es, die schrittweise Verbesserung sichtbar zu machen, indem Feedback-Schleifen und Designentscheidungen nachvollziehbar und transparent dokumentiert werden.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird dazu empirisch dargelegt, wie das zielgruppenspezifische Feedback zu konkreten Designentscheidungen führte. Hierfür werden die Usability-Heuristiken nach Nielsen (1994) herangezogen, um die sich über die Iterationen hinweg verändernden Usability-Schwerpunkte abzubilden. Dazu werden die jeweiligen Systemstände des CNC-Lernplatzes zusammen mit den Ergebnissen der formativen und summativen Evaluationen entlang der Usability-Heuristiken dargestellt. Der Fokus liegt darauf, sowohl die prozessuale Entstehung des CNC-Lernplatzes als auch die aus den Evaluationen abgeleiteten Gestaltungsprinzipien offenzulegen und somit einen Beitrag zur evidenzbasierten, nutzendenzentrierten Lernmedienentwicklung im Handwerk zu leisten.

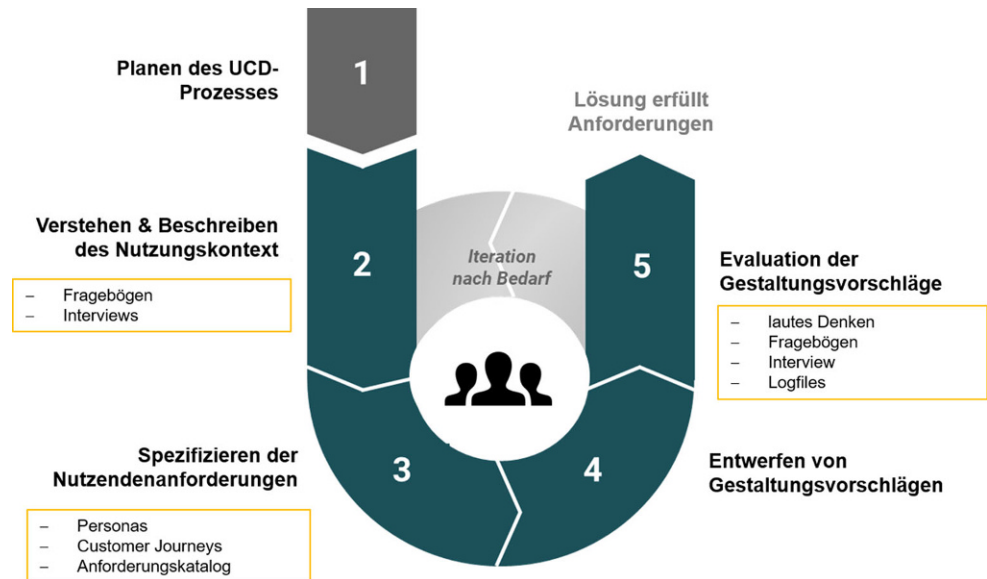
1.1 Nutzendenzentrierte Produktentwicklung

Zur Strukturierung der Produktentwicklung bei der Entwicklung und Evaluation digitaler Lernkonzepte können unterschiedliche Vorgehensweisen genutzt werden. Eine Möglichkeit ist der User-Centered Design (UCD)-Prozess nach ISO 9241:210 (s. Abb. 1). Das Ziel des UCD-Prozesses ist es, durch die stetige Einbindung der zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer sicherzustellen, dass deren Anforderungen antizipiert und durch das final entstandene Produkt effektiv erfüllt werden.

Die Wahl fiel auf den UCD-Prozess, um im Kontext des Handwerks eine Brücke zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern (technische Entwicklerinnen und Entwickler, Didaktikerinnen und Didaktiker, handwerksspezifische Fachverbände, Evaluierende) herzustellen. Die Zielgruppe bestand aus Tischlern und Tischlerinnen sowie Steinmetzen und Steinmetzinnen, die über heterogene Anforderungen, Berufsabschlüsse und Erfahrungen mit digitalen Lernmedien verfügen. Da die Bedarfe der Zielgruppe in wissenschaftlichen Publikationen bislang unterrepräsentiert waren, lag das Bestreben darauf, diese zu erfassen und

Abb. 1 User-Centered Design nach ISO 9241:210 mit eingesetzten Methoden im vorliegenden Kontext (*gelb*). (Eigene Abbildung)

Fig. 1 User-centred design according to ISO 9241:210 with methods used in the present context (*yellow*). (Own illustration)



disziplinübergreifend in die Produktentwicklung einfließen zu lassen.

Die UCD-Richtlinien bieten einen Rahmen, um den Produktentwicklungsprozess zu planen (Schritt 1), den Nutzungskontext des geplanten Produkts zu erfassen (Schritt 2) und die Anforderungen der zukünftigen Nutzenden zu erheben (Schritt 3). Aufbauend darauf wird ein Gestaltungsvorschlag entworfen (Schritt 4). Anschließend sieht der UCD-Prozess eine Evaluation dieses Gestaltungsvorschlags vor (Schritt 5). Dieser Prozess ist gekennzeichnet durch Iterationen, die bis zur Erfüllung der Anforderungen beliebig oft durchgeführt werden können.

Im Rahmen des UCD-Prozesses können für die einzelnen Schritte verschiedene Methoden von subjektiven Befragungsdaten bis hin zu objektiven Lernstandsprüfungen eingesetzt werden. Im vorliegenden Fall wurden für die eingangs erfolgte Zielgruppenanalyse (Schritt 2) Fragebögen und Interviews als Erhebungsmethoden gewählt. Anschließend (Schritt 3) wurden aus den Daten Personas im Sinne von archetypischen Nutzenden erstellt (Tasliarmut et al. 2022). Zu jeder Persona erfolgte die Erarbeitung eines Customer Journeys zur Identifikation von wichtigen Anforderungen im Nutzungsverlauf des digitalen CNC-Lernplatzes (Friedrich et al. 2024b). Diese Anforderungen flossen in Form von sogenannten User Stories, bei denen es sich um kurze informelle Beschreibungen der Nutzendenbedürfnisse handelt, in einen Anforderungskatalog ein (Friedrich et al. 2024b).

Im Rahmen der vorliegenden Lernmedienentwicklung wurden während des gesamten Prozesses systematisch Daten über den tatsächlichen Nutzungskontext, den prototypischen digitalen CNC-Lernplatz und die damit einhergehenden Interaktionsgewohnheiten der Zielgruppe erhoben.

Im vorliegenden Beitrag liegt der Fokus insbesondere auf diesen erhobenen Evaluationsergebnissen (Schritt 5) und ihrem wiederholten Einfluss auf die (Weiter-)Entwicklung des digitalen CNC-Lernplatzes (Schritt 4). Ziel dieser zyklischen Evaluationen war es, zum einen sicherzustellen, dass Missverständnisse über die vorliegenden Nutzungskontexte aufgelöst werden können. Zum anderen sollten Designentscheidungen, die sich hinsichtlich ihrer Usability als unzureichend herausstellten, evidenzbasiert ausgebaut werden.

1.2 Usability

Im Rahmen des UCD-Prozesses kommt der Usability (Gebrauchstauglichkeit) eine besondere Bedeutung zu. Sie wird in der ISO 9241-11:2018 definiert als „Ausmaß, in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ (ISO 9241-11:2018 2018, S. 9).

Dabei werden die Bestandteile Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit als Ergebnisse der Nutzung sichtbar. Damit wird die Usability nicht als isoliertes Merkmal des Produkts, sondern als Ergebnis der Interaktion zwischen Nutzenden, der Aufgabe und dem Nutzungskontext manifest. Darüber hinaus stellt die User Experience, definiert als „Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren“ (ISO 9241-11:2018 2018, S. 12), ein weiteres Ergebnis der Nutzung dar. Dabei stellt die Zufriedenheit als subjektives Maß ebenfalls ein Ergebnis der Produktgestaltung dar und

Abb. 2 Usability-Heuristiken nach Nielsen (1994) mit Erklärungen (Nielsen Norman Group 2024) und Symbolen. (In Anlehnung an Langmajer 2019)

Fig. 2 Usability heuristics according to Nielsen (1994) with explanations (Nielsen Norman Group 2024) and symbols. (Based on Langmajer 2019)



kann gleichzeitig ein wichtiger Einflussfaktor für die Akzeptanz eines Produkts sein (Buschermöhle et al. 2023).

Beide Dimensionen bilden gemeinsam die Grundlage, um eine akzeptierte, zufriedenstellende, effektive und effiziente Interaktion zwischen Nutzenden und technischen Systemen zu garantieren.

Ergänzend zu diesen Begriffsdefinitionen sind in der ISO 9241-110:2020 grundlegende Interaktionsprinzipien und allgemeine Gestaltungsempfehlungen für die Interaktion zwischen den Nutzenden und dem System aufgeführt, die im Rahmen der nutzendenzentrierten Produktentwicklung (ISO 9241-210:2019 2019) beachtet werden können, um die Usability zu erhöhen. Dazu zählen beispielsweise die Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit oder Erwartungskonformität. Diese Normen liefern die Grundlage für die Gestaltung gebrauchstauglicher Systeme. Gleichzeitig sind sie „generischer Natur und nicht an ein bestimmtes System oder einen bestimmten Nutzungskontext gebunden“ (ISO 9241-110:2020 2020, S. 12), sodass je nach Nutzungskontext andere oder verwandte Usability-Kriterien zum Einsatz kommen können.

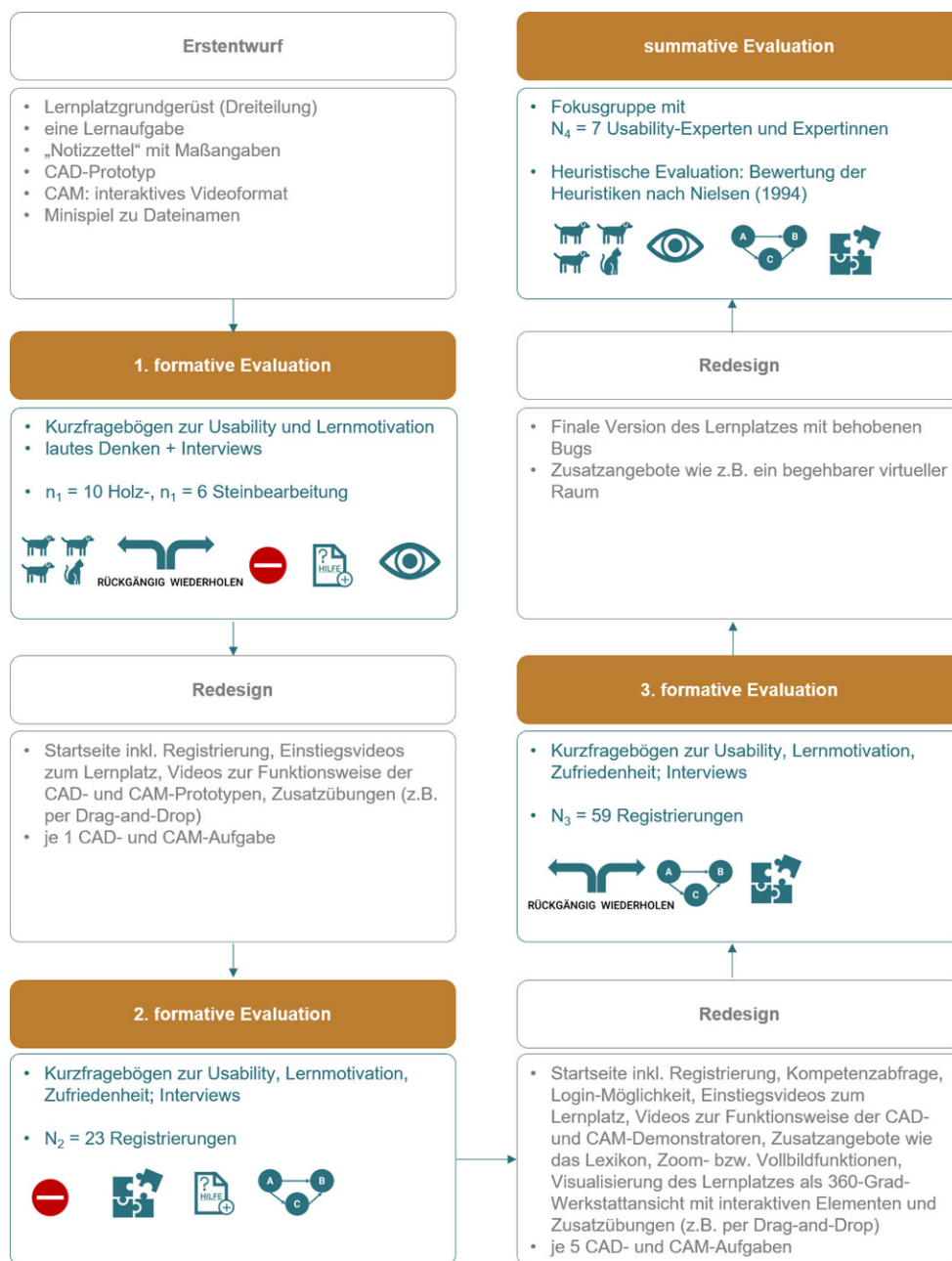
Die zehn Usability-Heuristiken nach Nielsen (1994) stellen eine praxisnahe Möglichkeit dar, um Gestaltungsvorschläge zu bewerten sowie notwendige Anpassungen abzuleiten und ergänzen die Prinzipien der ISO 9241-110:2020 um eine anwendungsorientierte Bewertungsmethodik (s. Abb. 2).

Im Bereich der Lernmedienentwicklung bieten die Usability-Heuristiken nach Nielsen einen Bezugsrahmen, um Gestaltungsentscheidungen systematisch zu prüfen. Während der Einsatz von Heuristiken in zahlreichen Studien für die Hochschullehre, u. a. in der Evaluation von App- und Augmented Reality-Anwendungen (Reining et al. 2019), spielbasierten Lernmedien (Chang und Johnson 2020), Lernen in Virtual Reality (Mohammad und Pedersen 2022) sowie Analyse von Inverted-Classroom-Konzepten (Fuchs et al. 2024) vorzufinden ist, sind entsprechende empirische Untersuchungen für die berufliche (Weiter-)Bildung, insbesondere im Handwerk, bislang selten. Darüber hinaus zeichnet sich ab, dass in den wissenschaftlichen Publikationen zumeist die heuristische Evaluation der finalen Produktentwicklung berichtet wird. Somit bleiben Verbesserungen von frühen Iterationen sowie damit verbundene Designentscheidungen für das Endprodukt verdeckt. Gleichzeitig lassen sich die Evaluationsergebnisse von Lernmedienentwicklungen aus dem Bereich der Hochschule nicht ohne Weiteres auf den Bereich der beruflichen (Weiter-)Bildung übertragen, da die Anforderungen und Bedürfnisse der Zielgruppen aufgrund der variablen Nutzungssituationen unterschiedlich sein können (Tasliarmut et al. 2022).

Im vorliegenden Beitrag werden die Usability-Heuristiken nach Nielsen (1994) daher als analytisches Instrument eingesetzt, um die in den Evaluationen erfasste Kritik hinsichtlich der User Experience sowie angesproche-

Abb. 3 Kurzfassung der Lernplatzstände bei den Evaluationen und relevante Usability-Heuristiken

Fig. 3 Summary of learning platform status during evaluations and relevant usability heuristics



nen Verbesserungspotenziale zu dokumentieren und nachzuvollziehen, wie sich die Gebrauchstauglichkeit über die Designiterationen hinweg verändert hat. Damit werden progressiv verfeinerte Designentscheidungen bei der Lernmedienentwicklung sichtbar, wobei die Rolle der Usability als Qualitätskriterium in der beruflichen (Weiter-)Bildung empirisch gestützt wird. Während der Auswertung der Evaluationsergebnisse dienten die Heuristiken zur inhaltlichen Clusterung der identifizierten Kritikpunkte. Sie wurden u. a. zusammen mit User Stories in einen strukturierten Anforderungskatalog überführt, welcher dem interdisziplinären Entwicklerteam (technische Entwicklerinnen und Entwickler, Didaktikerinnen und Didaktiker, handwerksspezifische

Fachverbände, Evaluierende) als Referenzdokument für die Zielerreichung diente.

2 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen der nutzendenzentrierten Entwicklung des digitalen CNC-Lernplatzes wurden gemäß der UCD-Richtlinien (ISO 9241-210:2019 2019) multiple Evaluationsphasen durchgeführt. In drei formativen Erprobungen bewerteten Lernende und Lehrpersonen dazu die Gebrauchstauglichkeit des digitalen CNC-Lernplatzes. Innerhalb der abschließenden summativen Evaluation wurden Usability-Ex-

pertinnen und -Experten zur Testung einbezogen. Auf Basis der gesammelten empirischen Daten erfolgten Anpassungen zur Optimierung des digitalen CNC-Lernplatzes.

Bei den Teilnehmenden der formativen Evaluationen handelte es sich um Personen aus dem Tischler- und Steinmetzhandwerk, die über die persönliche Ansprache durch die entsprechenden Fachverbände für die Erprobungen des WBTs akquiriert wurden. Während einige wenige Lehrpersonen an mehreren Erprobungen teilnahmen, handelte es sich bei einem Großteil der Teilnehmenden um wechselnde, ausgebildete oder umgeschulte Personen aus dem Tischler- und Steinmetzhandwerk, die weiterbildungsinteressiert waren.

Um insbesondere in den frühen Stadien der Produktentwicklung eine zügige Weiterentwicklung des digitalen CNC-Lernplatzes zu erreichen und für diesen Zweck die umfassenden qualitativen Daten auswerten zu können, wurden im Vergleich zur dritten Evaluation in der ersten und zweiten formativen Evaluation weniger Personen zur Erprobung eingeladen. Nach einer umfangreichen Erweiterung des digitalen CNC-Lernplatzes und Umsetzung von sechs Kurzfragebögen für die dritte formative Evaluation wurde die Anzahl an akquirierten Teilnehmenden erhöht. Die Zeitpunkte für die Evaluationen wurden in Abhängigkeit der in der Produktentwicklung fokussierten Ziele gewählt.

Bei der ersten formativen Evaluation war die Prämisse, dass ein Lernplatzgrundgerüst vorhanden ist, in dem die Nutzerinnen und Nutzer die grundlegende Navigationslogik erproben und unterschiedliche Darstellungsarten für Aufgaben bewerten können.

Bei der zweiten formativen Evaluation stand jeweils eine vereinheitlichte CAD- und CAM-Aufgabe im Vordergrund und bei der dritten Evaluation wurden jeweils fünf CAD- und CAM-Aufgaben als Evaluationsziel fokussiert.

Zwischen den formativen Evaluationen erfolgten kurze „Usability-Schnellchecks“, um neue Funktionen zu testen und technische Fehler zu identifizieren.

Die Evaluationen wurden mittels diversifizierter Erhebungsinstrumentarien realisiert, darunter standardisierte Fragebögen, semi-strukturierte Interviews, Logfiles und Fokusgruppendifkussionen (vgl. Friedrich et al. 2024a). Der Fokus lag hierbei auf der Analyse der übergeordneten Konstrukte „Usability“, „Akzeptanz“ und „Zufriedenheit“. Für die Erprobungen wurden diese Konstrukte in Abhängigkeit vom Ist-Stand des digitalen CNC-Lernplatzes mithilfe spezifischer Items operationalisiert (Details s. Friedrich et al. 2024a). Die erhobenen Daten wurden qualitativ und quantitativ ausgewertet, wobei eine Zuordnung nach inhaltlich-thematischen Kategorien vorgenommen wurde, die sich an den zehn Usability-Heuristiken nach Nielsen orientierten.

Im vorliegenden Beitrag liegt der Fokus auf den Evaluationsergebnissen, die unter Zugrundelegung der Usability-Heuristiken diskutiert und mithilfe von konkreten De-

signentscheidungen des digitalen CNC-Lernplatzes kontextualisiert werden. Aus diesem Grund wird eine chronologische Darstellung, jeweils bestehend aus dem Stand des digitalen CNC-Lernplatzes sowie aus den Evaluationen abgeleitete Usability-Foki, berichtet, um die schrittweise Verbesserung sichtbar zu machen. Durch diese Darstellungsweise wird deutlich, wie das Nutzendenfeedback und gestalterische Entscheidungen zu einer Optimierung der Gebrauchstauglichkeit beitrugen.

In Abb. 3 sind die jeweiligen Usability-Foki der einzelnen Evaluationen über Symbole abgebildet, die mit der Darstellung der Usability-Heuristiken in Abb. 2 korrespondieren.

2.1 Die erste formative Evaluation

2.1.1 Stand des digitalen CNC-Lernplatzes bei der ersten formativen Evaluation

Die erste formative Evaluation erfolgte nach der technischen Entwicklung des Lernplatzgrundgerüsts. Dieses beinhaltete eine Dreiteilung des digitalen CNC-Lernplatzes: in der linken Spalte wurde ein Navigationsmenü umgesetzt, in der Mitte die Lerninhalte und in der rechten Spalte zusätzliche Hilfestellungen (vgl. Abb. 4). Die Navigationsselemente beschränkten sich in dieser ersten Version auf Schaltflächen für aufrufbare Lernaufgaben, ein ausklappbares Akkordeonmenü und als alternative Navigationsoption eine „Weiter“-Schaltfläche (vgl. Abb. 5). Inhaltlich verfügte der digitale CNC-Lernplatz über eine Lernaufgabe, wobei die Lernenden über einen „Notizzettel“ mit einzutragenden Maßangaben an den CAD-Prototypen und anschließend an ein interaktives Videoformat zur Erklärung einer CAM-Softwareoberfläche herangeführt wurden. Abschließend wurde ein Minispiel zu Dateinamen zur Förderung der digitalen Kompetenzen implementiert (vgl. Abb. 6).

2.1.2 Datenerhebung

Insgesamt $N_1 = 16$ Probandinnen und Probanden mit unterschiedlichen Bildungs- und beruflichen Hintergründen ($n_1 = 10$ Holz-, $n_1 = 6$ Steinbearbeitung) bewerteten den ersten Prototyp in der Evaluationsphase. Das Ziel war die Prüfung der Usability und der inhaltlichen Stringenz sowie Erhebung möglicher Gestaltungsvorschläge. Über die Methode des lauten Denkens sollten dazu während der Bedienung des digitalen CNC-Lernplatzes alle Gedanken, Emotionen und Wünsche geäußert werden. Kurzfragebögen zur Usability und Lernmotivation wurden implementiert. Abschließend wurden die Probandinnen und Probanden mithilfe eines teilstandardisierten Leitfadens zu ihren ersten Eindrücken, zum Detaillierungsgrad sowie weiteren Wünschen interviewt. Während der gesamten Erhebung erfolgte

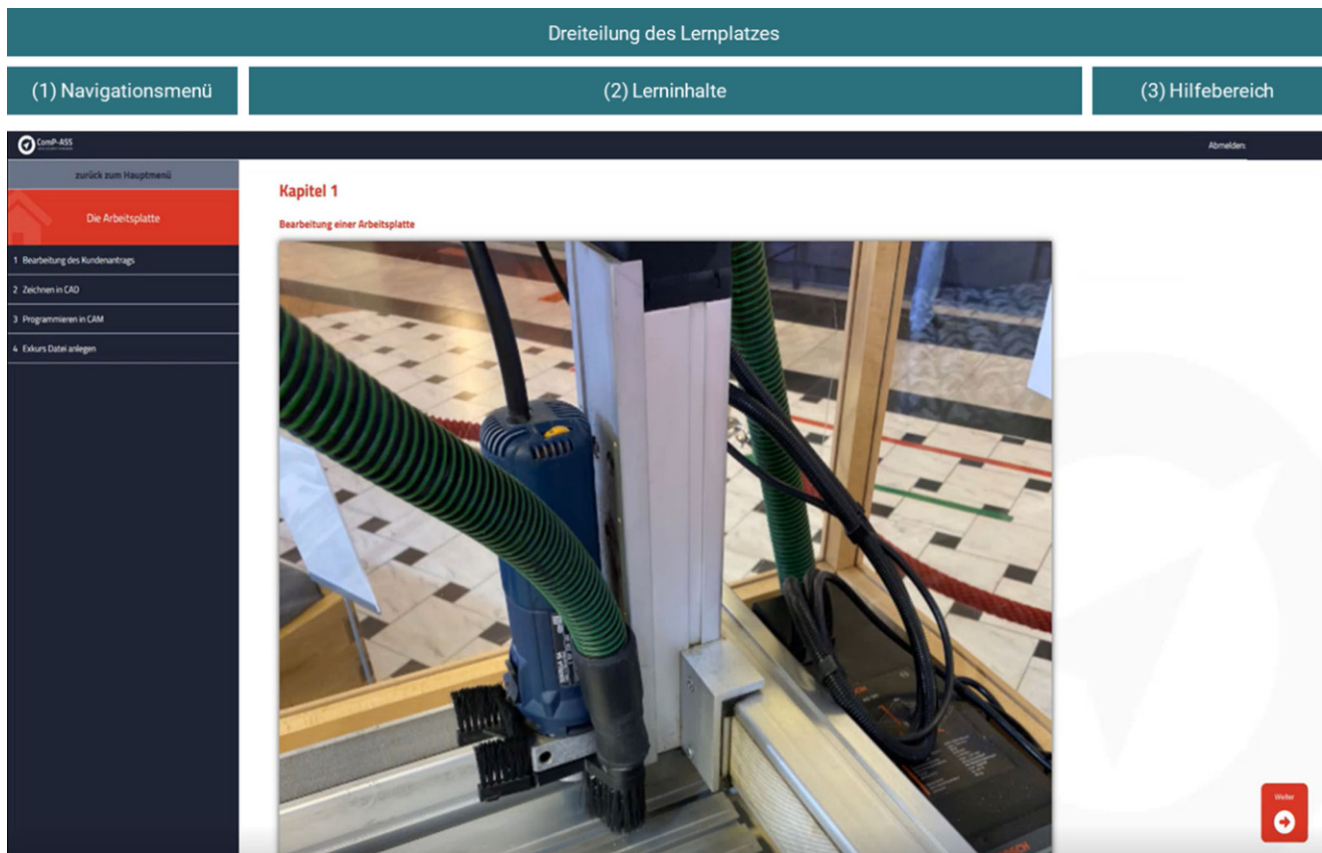


Abb. 4 Einstiegssseite der ersten Aufgabe

Fig. 4 Landing page for the first task

durch die Evaluatoreninnen eine Protokollierung der geäußerten Anmerkungen nach Kategorien, die an die Usability-Heuristiken (Nielsen 1994) angelehnt waren.

2.2 Ergebnisse der ersten formativen Evaluation

In der ersten formativen Evaluation rückten grundlegende Usability-Heuristiken wie „Konsistenz und Standards“, „Nutzenkontrolle und Freiheit“, „Fehlervorbeugung“, „Hilfe und Dokumentation“ und „ästhetisches und minimalistisches Design“ in den Vordergrund (Nielsen 1994).

Im Zusammenhang mit dem Kriterium „Konsistenz und Standards“ standen insbesondere die Terminologie und Verständlichkeit im Fokus. Die Teilnehmenden wiesen auf die Notwendigkeit einer Schärfung der Begrifflichkeiten hin und deckten Lücken in der Erklärung von fachspezifischen Termen wie dem „G-Code“ hin. Eine vereinfachte, leicht verständliche Sprache, die von wenigen Anglizismen gekennzeichnet ist, wurde für Definitionen und Hilfetexte gewünscht, um die Zugänglichkeit für die Zielgruppe zu erhöhen, die durch eine hohe Diversität hinsichtlich der Qualifikations- und Kompetenzniveaus gekennzeichnet ist. Darüber hinaus äußerten die befragten Personen den

Wunsch nach einer inhaltlichen Trennung der Lernplätze für Stein- und Holzbearbeitung, um die inhaltliche Konsistenz zu wahren und Lernprozesse gewerkspezifischer gestalten zu können. Eine gewerksübergreifende Vermittlung der Lerninhalte wurde aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Werkzeuge für die divergierenden Eigenschaften der eingesetzten Materialien daher abgelehnt.

Für das Usability-Kriterium „Nutzenkontrolle und Freiheit“ erfolgten Anmerkungen in Bezug auf die Steuerung von Lernvideos sowie Interaktionen in den CAD- und CAM-Prototypen. Für die Lernvideos wurden eine Einstellbarkeit der Wiedergabegeschwindigkeit sowie kürzere, prägnantere Versionen gefordert, um bei Bedarf einzelne Arbeitsschritte gezielt wiederholen oder überspringen zu können. Im CAD-Prototyp wurde das Fehlen von „Rückgängig“-Schaltflächen kritisiert, wodurch einzelne Bearbeitungsschritte nicht umkehrbar waren. Besonders die Platzierung der Schaltflächen im CAD-Prototyp wurde als problembehaftet wahrgenommen. Beispielsweise führte das versehentliche Betätigen einer „Zurücksetzen“-Schaltfläche zum Verlust sämtlicher Bearbeitungsschritte. Außerdem äußerten die befragten Personen die Anforderung, dass gezeichnete Linien durch das Anklicken jener

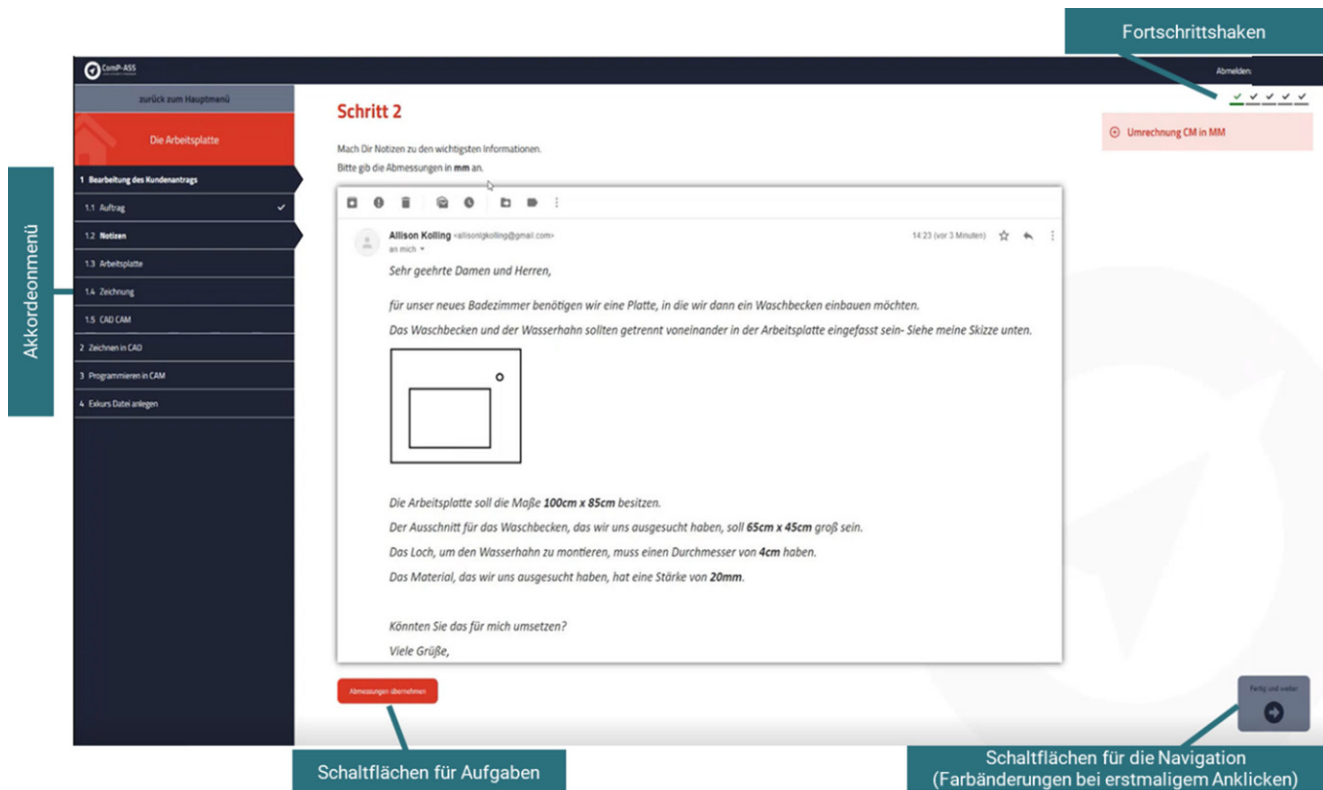


Abb. 5 Navigationselemente im ersten Design

Fig. 5 Navigation elements in the initial design

gelöscht werden können sollten, um die Bedienung intuitiver zu gestalten. Auch die Navigation nach der Bearbeitung der CAD-Aufgabe in einem Overlay gestaltete sich für viele Teilnehmende als unklar, da zwar ein Kreuz im oberen rechten Bereich existent war, aber die Nutzerinnen und Nutzer ein Schließen des gesamten digitalen CNC-Lernplatzes hinter dieser Schaltfläche vermuteten. Des Weiteren äußerten die Teilnehmenden einen Wunsch nach Aufgaben mit und ohne erweiterte Hilfestellungen sowie nach zusätzlichen Übungsaufgaben mit fortgeschrittenem Schwierigkeitsniveau, um den Lernprozess in Abhängigkeit des Kenntnisstandes flexibler und selbstbestimmter gestalten zu können.

Die Usability-Kriterien „Fehlervermeidung“ und „Hilfe und Dokumentation“ waren insofern in der ersten formativen Evaluation von großer Bedeutung, als dass mehrfach zusätzliche Hinweise zu den Aufgabenstellungen thematisiert wurden. Dies zeigte sich beispielsweise bei der „Notizzettel“-Aufgabe, wo ein Hinweis zur Eingabe der Maße in Millimetern fehlte. Die Teilnehmenden wünschten sich darüber hinaus im CAD-Prototyp eine Vorschaufunktion für Werkzeuge, wie eine sichtbare Linienvorschau beim Rechteckwerkzeug, um Fehler vor der Bestätigung des Zwischenschritts zu vermeiden. Daneben wurde mehrmals der Wunsch nach erweiterten Verschränkungen inner-

halb des digitalen CNC-Lernplatzes geäußert, verbunden mit der Anforderung nach einem Lexikon für die Erklärung von zentralen Begriffen. Zur Vermeidung von Bedienungsfehlern wurde durch die Teilnehmenden die Implementierung eines Vorstellungsvideos zum Aufbau und den Funktionalitäten des digitalen CNC-Lernplatzes vorgeschlagen. Gleichzeitig wurde empfohlen, dass das Ende der Lernaufgabe eindeutiger gekennzeichnet wird und kurze Zusammenfassungen nach jeder Lerneinheit umgesetzt werden, um Lernfortschritte zu konsolidieren.

Hinsichtlich des Kriteriums „Ästhetik und minimalistisches Design“ wurden vor allem die visuelle Gestaltung und Barrierefreiheit fokussiert. In diesem Zug wurden Farb- und Kontrastgestaltungen mit Blick auf Personen mit Rot-Grün-Sehschwäche hervorgehoben. In der „Notizzettel“-Aufgabe betraf dies beispielsweise farbliche Rahmenmarkierungen der Maßeingaben, die richtige und falsche Antworten kennzeichneten und schwer unterscheidbar waren. Insgesamt wurden stärkere visuelle Hervorhebungen der systemseitigen Rückmeldungen gefordert. Darüber hinaus wurden Abbildungen als zu klein bewertet und eine Zoomfunktion als notwendige Ergänzung vorgeschlagen. Neben der inhaltlichen Trennung des Holz- und Steinlernplatzes wurde ebenfalls eine gewerkspezifische Farbkodierung für den Wiedererkennungswert angeregt.

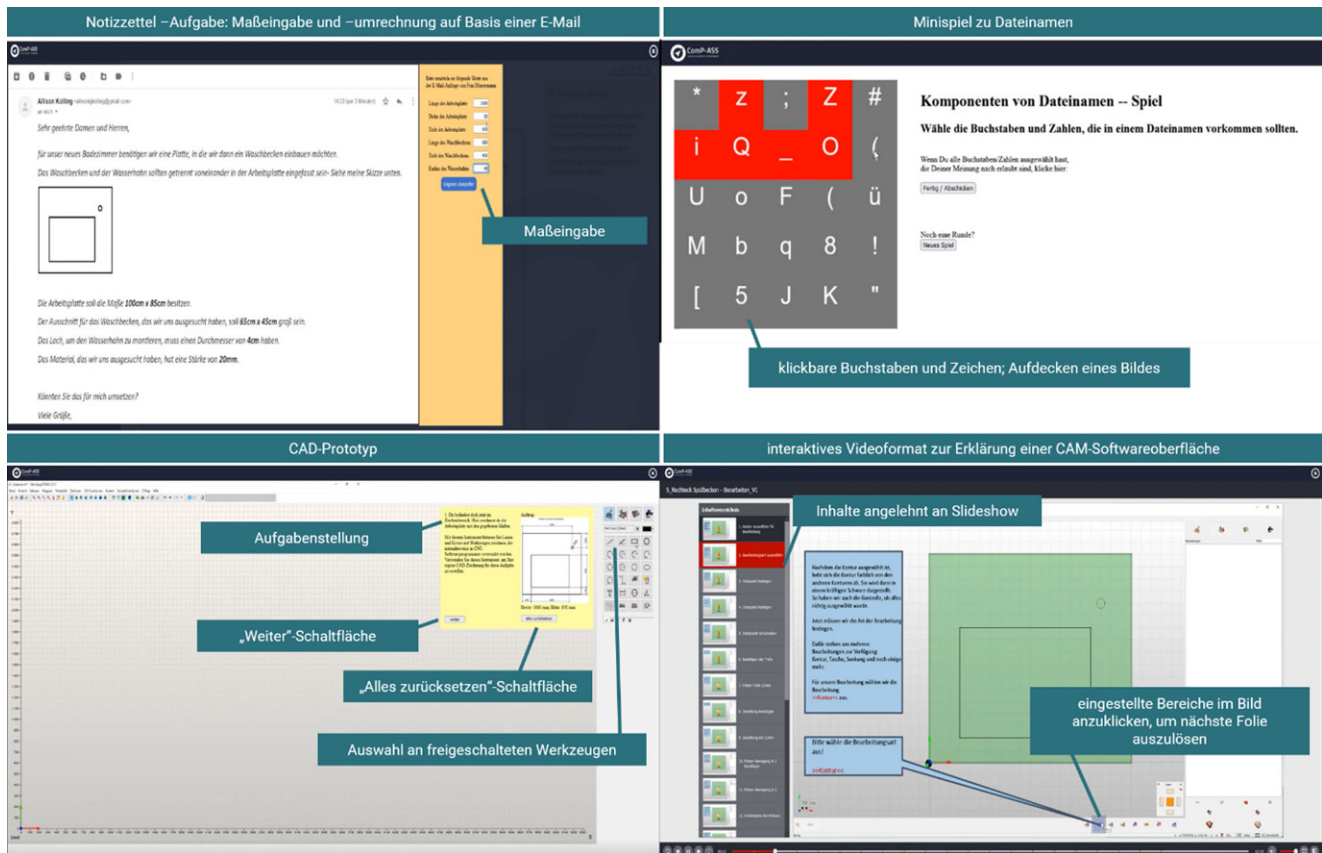


Abb. 6 Inhalte im ersten Design

Fig. 6 Content in the first design

Das interaktive Videoformat zur Erklärung einer CAM-Softwareoberfläche sowie das Minispiel zu Dateinamen wurden hinsichtlich aller benannten Usability-Kriterien als ungenügend bewertet. So wurden diese Darstellungsformen von der Ästhetik über die fehlende Interaktivität sowie Nutzendenkontrolle und Freiheit bis hin zur grundsätzlichen Sinnhaftigkeit negativ bewertet.

Insgesamt lieferten die Ergebnisse der ersten formativen Evaluation wertvolle Hinweise für die iterative Weiterentwicklung des digitalen CNC-Lernplatzes. Über die zentralen Anforderungen der Teilnehmenden in Bezug auf die Usability-Kriterien „Konsistenz und Standards“, „Nutzendenkontrolle und Freiheit“, „Fehlervorbeugung“, „Hilfe und Dokumentation“ und „ästhetisches und minimalistisches Design“, die in dieser sehr frühen Produktentwicklungsphase adressiert wurden, konnte die Weiterentwicklung neu ausgerichtet werden.

2.3 Die zweite formative Evaluation

2.3.1 Stand des digitalen CNC-Lernplatzes bei der zweiten formativen Evaluation

Bei der zweiten formativen Evaluation lag ein digitaler CNC-Lernplatz vor, der weitreichende Anpassungen erfahren hatte. Da insbesondere die fehlende Konsistenz der dargestellten Inhalte zwischen den Gewerken durch die Teilnehmenden kritisiert wurde, wurden separate digitale CNC-Lernplätze für die Holz- und Steinbearbeitung umgesetzt und jeweils eine CAD- und CAM-Aufgabe ausgearbeitet. Daneben verfügte der digitale CNC-Lernplatz über eine Anmeldeseite inklusive eines Vorstellungsvideos zur Navigation. Darüber hinaus wurde eine prototypische Ansicht für ein sogenanntes „klassisches Dashboard“ mit einer Kachelansicht für die verschiedenen Lerninhalte implementiert. Da das Minispiel bei der ersten formativen Evaluation abgelehnt wurde, umfasste der digitale CNC-Lernplatz in der zweiten formativen Evaluation eine Alternative zum klassischen Dashboard, die sogenannte „virtuellen Werkstatt“. Diese bestand aus 360°-Aufnahmen einer realen Werkstatt. Nutzerinnen und Nutzer konnten über das Anklicken abge-

bildeter Pfeile zu verschiedenen Punkten im Raum springen und die gleichen Lerninhalte, die in dem klassischen Dashboard zu finden waren, in Form von Symbolen anklicken und bearbeiten. Ziel dieser Darstellung war eine spielerische Komponente einzubringen und Lernpfade zu flexibilisieren. Auch Übungsaufgaben, z. B. zum Zeichnen von Kreisen in CAD, wurden umgesetzt.

2.3.2 Datenerhebung

Insgesamt $N_2 = 23$ Personen registrierten sich in der zweiten formativen Evaluation im digitalen CNC-Lernplatz und bewerteten diesen in vier Kurzfragebögen sowie Interviews ($n_2 = 14$). Im Mittelpunkt der zweiten formativen Evaluation stand die Überprüfung des Redesigns mit besonderem Fokus auf die Strukturierung der Lernumgebung, die Nachvollziehbarkeit der fachlichen Inhalte sowie Identifikation von Usability-Problemen für die neu entwickelten Interaktionskonzepte.

2.4 Ergebnisse der zweiten formativen Evaluation

Im Rahmen der zweiten formativen Evaluation rückte die Kritik zum Design in den Hintergrund, wohingegen die Usability-Heuristiken „*Fehlervorbeugung*“, „*Hilfe bei (der Erkennung, Diagnose und Behebung von) Fehlern*“, „*Hilfe und Dokumentation*“ sowie „*Flexibilität und Effizienz*“ vermehrt herausgestellt wurden (Nielsen 1994).

Ein zentrales Thema war die Qualität der Hilfestellungen und der Fehlerkommunikation. Die Teilnehmenden merkten mehrmals an, dass identische Fehlermeldungen unabhängig von der Ursache systemseitig ausgegeben wurden und damit keine gezielte Unterstützung für die Problembeseitigung boten. Auch berichteten mehrere Teilnehmende, dass identische Fehlermeldungen trotz Korrektur der Fehler angezeigt wurden. Dies hing damit zusammen, dass beispielsweise im CAD-Prototyp neue Linien auf bestehende Linien gezeichnet worden waren, sodass die systemseitige Erkennung des vorherigen Fehlers bestehen blieb. Dieses Systemverhalten führte zu Verunsicherungen bezüglich des Bearbeitungsfortschritts und in einigen Fällen auch zu Frustrationen. Dies verdeutlichte den Bedarf nach spezifischeren Rückmeldungen und einer konsistenten Statuskommunikation, um insbesondere die Fehlerdiagnose und -behebung zu erleichtern. Gleichzeitig betonten die Teilnehmenden, dass die Verknüpfung von Aufgaben und Hilfetexten, etwa durch die Verlinkung auf relevante Lexikoneinträge oder kurze Videosequenzen, ausbaufähig sei.

Hinsichtlich des Usability-Kriteriums „*Flexibilität und Effizienz der Nutzung*“ lag ein besonderes Augenmerk auf der eingeschränkten Steuerbarkeit einzelner Lernprozesse. Die Teilnehmenden kritisierten, dass das Schließen des CAD- oder CAM-Lernaufgaben-Fensters zum vollständi-

gen Verlust des bisherigen Bearbeitungsstandes führte. Dies war ebenfalls für die Notizzettel-Aufgabe der Fall. Im Bereich der Videosteuerung wurde außerdem der Wunsch nach der Möglichkeit geäußert, Videos parallel zur Aufgabenbearbeitung abspielen zu können. In der virtuellen Werkstatt führten fehlende Markierungen bereits besuchter Bereiche zur Einschränkung der Effizienz, da die Orientierung erschwert wurde und dies zu unnötigen Wiederholungen führte.

Im Vergleich zur ersten formativen Evaluation zeigten sich deutliche Fortschritte hinsichtlich der terminologischen Konsistenz und der sprachlichen Ausgestaltung der Lerninhalte. Letztere wurde als allgemein verständlich bewertet, wobei das Lexikon als zuträglich bewertet wurde. Das Redesign und die Gewerkspezifika führten zu einer spürbaren Reduktion der in der ersten Evaluation identifizierten Verständnisschwierigkeiten. Gleichwohl traten in einzelnen Aufgabenbereichen, insbesondere im CAM-Prototyp, noch Uneinheitlichkeiten in der Bezeichnung von Werkzeugen und Bearbeitungsschritten auf. Zudem wurde angemerkt, dass die Benennung technischer Parameter stärker an realweltliche Fachkonventionen anzupassen sei, um die semantische Kohärenz zu erhöhen. Die Ästhetik wurde insgesamt positiver bewertet als in der ersten formativen Evaluation. Insbesondere die Strukturierung über das klassische Dashboard wurde von den Teilnehmenden begrüßt. Kleinere gestalterische Defizite wurden im Kontext der systemseitigen Rückmeldungen geäußert.

2.5 Die dritte formative Evaluation

2.5.1 Stand des digitalen CNC-Lernplatzes bei der dritten formativen Evaluation

Bei der dritten formativen Evaluation lag ein erweiterter digitaler CNC-Lernplatz vor. Neben einer Startseite inklusive Registrierung, Kompetenzabfrage und einer Login-Möglichkeit, lagen Einstiegsvideos zum digitalen CNC-Lernplatz, Videos zur Funktionsweise der CAD- und CAM-Prototypen, Zusatzangebote wie das Lexikon, Zoom- bzw. Vollbildfunktionen und Zusatzübungen (z. B. per Drag-and-Drop, Single Choice) vor. Darüber hinaus standen fünf aufeinander aufbauende CAD- und CAM-Lernaufgaben für beide Gewerke im Fokus, die über verschiedene Arten der Notizzettel-Aufgabe (z. B. Nachricht eines Kunden auf dem Anrufbeantworter) herangeführt wurden.

2.5.2 Datenerhebung

Insgesamt $N_3 = 59$ Personen meldeten sich in der dritten formativen Evaluation für das digitale Lernangebot an und beurteilten dieses in sechs Kurzfragebögen (Friedrich et al. 2024a). Ziel der dritten formativen Evaluation war es, die

Gebrauchstauglichkeit des digitalen CNC-Lernplatzes hinsichtlich der Stabilität der interaktiven Komponenten unter den Bedingungen eines ansteigenden Schwierigkeitsgrades und einer längeren Verweildauer zu prüfen. Gleichzeitig wurden die Zusatzangebote, die neu entwickelt wurden, fokussiert.

2.6 Ergebnisse der dritten formativen Evaluationen

Bei der dritten formativen Evaluation stellten die Usability-Heuristiken „*Nutzendenkontrolle und Freiheit*“, „*Flexibilität und Effizienz der Nutzung*“ sowie „*Hilfe bei (der Erkennung, Diagnose und Behebung von) Fehlern*“ den Großteil der Kritik dar.

Die flexible, effiziente Nutzendenkontrolle im Sinne der Steuerbarkeit der Lernprozesse blieb ein zentrales Anliegen der Nutzerinnen und Nutzer. Vor allem in den CAD- und CAM-Aufgaben wurde als Einschränkung beschrieben, dass eine Eingabe per „Enter“-Taste nicht möglich war und das Abrufen der Skizzen als „Pop-up“-Fenster möglich sein sollte. Ein weiteres Problemfeld betraf weiterhin die fehlende Zwischenspeicherung innerhalb der CAD- und CAM-Aufgaben. In diesem Kontext führte der Wechsel in den Hilfebereich bzw. das Schließen und erneute Öffnen des Overlay-Fensters zur Löschung bereits getätigter Eingaben. Dies wurde insbesondere von unerfahrenen Nutzerinnen und Nutzern kritisiert, die in der Folge Arbeitsschritte häufig wiederholen mussten und von einem Abfall der Lernmotivation berichteten. Auch die Navigation zwischen den verschiedenen Aufgabenmodi „ohne erweiterte Hilfestellung“ und „mit erweiterter Hilfestellung“ gestaltete sich zum Teil als schwierig, da sie in ihrer Funktion nicht eindeutig zuordenbar waren. Zusätzlich kritisierten erfahrene Nutzende, dass alternative Lösungswege, bei denen beispielsweise Zwischenschritte ausgelassen werden, nicht akzeptiert werden. Im Bereich der Videosteuerung regten die Nutzerinnen und Nutzer an, dass die Hilfevideos innerhalb der Lernaufgabenumgebung in verkleinerter Form abgespielt werden können sollten, damit parallel praktische Arbeitsschritte nachzuvollziehen. Insgesamt zeigten die Rückmeldungen, dass die Interaktionsfreiheit für die wahrgenommene Usability einen hohen Stellenwert einnimmt.

Des Weiteren spielten die Hilfestellungen bei Fehlern erneut eine zentrale Rolle in der dritten formativen Evaluation. Nutzerinnen und Nutzer beklagten trotz des Redesigns, dass die Fehlermeldungen im Wortlaut häufig unspezifisch blieben oder der angegebene Hinweis keine Fehlerbehebung herbeiführte. Dies führte zu wiederholtem Ausprobieren („trial and error“), zum Teil mit beliebigen Zahleneingaben, was insbesondere bei komplexen Aufgaben zu Frustration führte. Technische Fehler, wie nicht funktionierende Links, beeinträchtigten den Flow. In einzelnen Fällen berichteten die Teilnehmenden, dass es ihnen aufgrund

unvollständiger Systemantworten oder inhaltlicher Widersprüche nicht möglich war, Aufgaben zu erledigen.

Das Usability-Kriterium „*Sichtbarkeit des Systemstatus*“ wurde ebenfalls öfters durch die Nutzenden thematisiert. Obwohl sich das Feedback zum Bearbeitungsfortschritt und zu Fehlermeldungen im Vergleich zur zweiten Bewertung verbessert hatte, kam es weiterhin wiederholt zu Unklarheiten hinsichtlich des Aufgabenstatus. Mehrere Teilnehmende berichteten in diesem Zusammenhang, dass Aufgaben im Dashboard als abgeschlossen markiert wurden, obwohl sie nur teilweise bearbeitet worden waren.

Positives Feedback gab es insgesamt für die Implementierung der Zusatzangebote, wie Einführungsvideos zu CAD- und CAM-Prototypen und die Umsetzung realistischer Kundenaufträge in der „Notizzettel“-Aufgabe, die die Motivation der Lernenden erhöhten. Die Kombination aus den Lernaufgaben und praxisorientierten Szenarien, die beispielsweise in Form der Videos zum CNC-Produktionsprozess eingebunden wurden, wurde als besonders lernförderlich beschrieben, wobei die Nützlichkeit aufgrund technischer Einschränkungen (Lage außerhalb der CAD- und CAM-Aufgaben) begrenzt blieb.

Die dritte formative Evaluation verdeutlichte, dass der digitale CNC-Lernplatz in der erweiterten Form hinsichtlich Design, Struktur und inhaltlicher Kohärenz auf Basis der Rückmeldungen der vorangegangenen Evaluationen erhebliche Fortschritte erzielte. Gleichzeitig brachte die erhöhte Komplexität des Systems neue Herausforderungen mit sich, insbesondere in den Bereichen Flexibilität der Nutzung, technische Stabilität und Fehlerkommunikation. Während sich die inhaltliche Konsistenz, die Aufgabenstellung und die visuelle Struktur deutlich verbesserten, blieb die Interaktionsfreiheit eingeschränkt und die Hilfefunktion war in einigen Bereichen unzureichend. Insgesamt bestätigte die Evaluation, dass der digitale CNC-Lernplatz in Bezug auf die Usability-Kriterien in der Grundstruktur tragfähig ist, dass jedoch eine weitere Qualitätssicherung der Statusrückmeldungen und der Flexibilität erforderlich sein wird, um die Marktreife zu erreichen.

2.7 Die abschließende summative Evaluation

2.7.1 Stand des digitalen CNC-Lernplatzes bei der summativen Evaluation

Der finale Stand des digitalen CNC-Lernplatzes inkludierte die Umsetzung von zwei Dashboard-Modi (s. Abb. 7) sowie vereinheitlichte CAD- und CAM-Aufgaben mit überarbeiteten Schaltflächen und einer minimierten Anzeige von möglichen Werkzeugen sowie die Einbindung von Hilfestellungen innerhalb der CAD- und CAM-Prototypen (s. Abb. 8). Darüber hinaus wurden die Schaltflächen in-

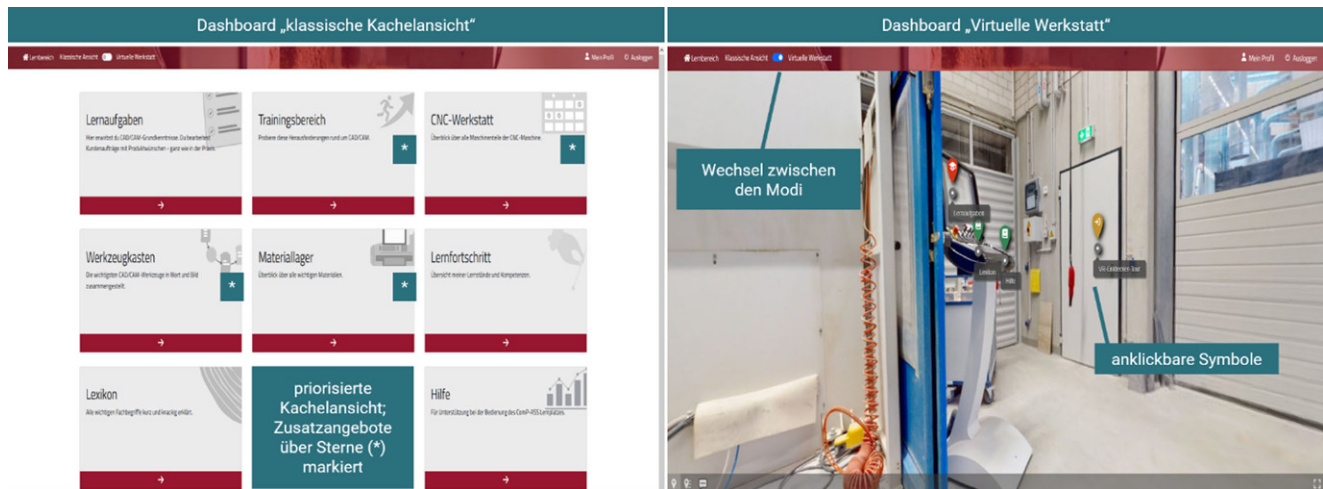


Abb. 7 Finales Design der beiden Dashboardvarianten

Fig. 7 Final design of the two dashboard variants

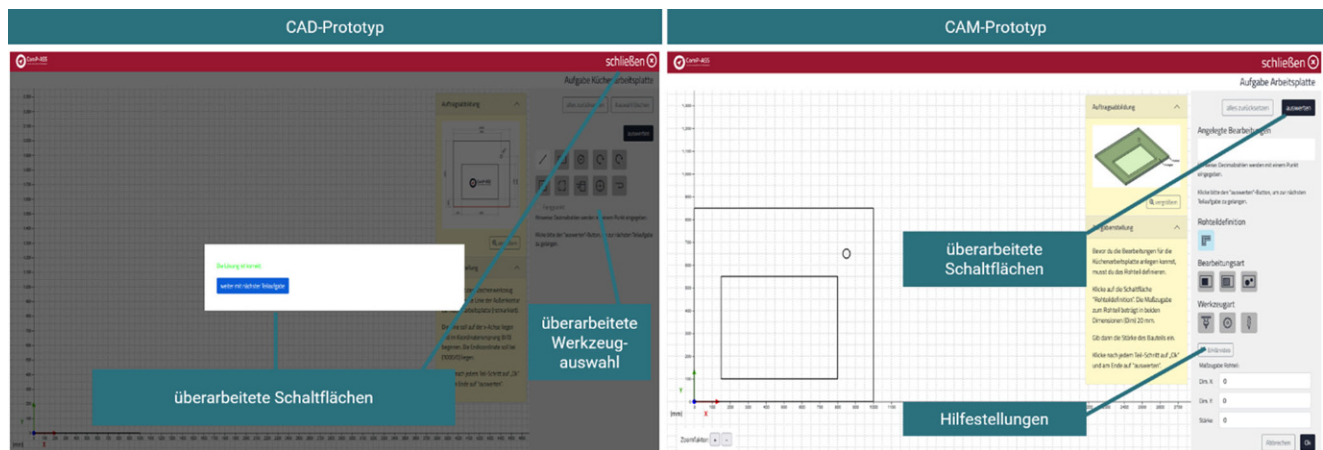


Abb. 8 Finales Design der CAD- und CAM-Prototypen

Fig. 8 Final design of CAD and CAM prototypes

nerhalb des digitalen CNC-Lernplatzes angepasst und eine Vielzahl von Zusatzangeboten umgesetzt (s. Abb. 9).

2.7.2 Datenerhebung

Für die summative Evaluation wurde eine Fokusgruppe mit $N=7$ Usability-Expertinnen und -Experten durchgeführt. Hierfür diskutierten die Teilnehmenden unter Moderation von zwei Evaluatoren punktuell die Usability des digitalen CNC-Lernplatzes unter Bezugnahme von Heuristiken (Nielsen 1994). Zu Beginn der Fokusgruppensitzung erfolgte eine kontextuelle Einbettung zum Einsatz des digitalen CNC-Lernplatzes im Tischler- und Steinmetzhandwerk unter Zuhilfenahme von datenbasierten Personas, die zu Beginn des UCD-Prozesses zur Spezifizierung der Nutzendenanforderungen entwickelt wurden und archetypische zukünftige Nutzende abbilden (Tasliarmut et al. 2022). An-

schließend wurden die Teilnehmenden gebeten für eine halbe Stunde den digitalen CNC-Lernplatz zu testen. Zur Diskussion von Verbesserungsbedarfen wurden „Touchpoints“ definiert. In der Produktentwicklung finden Touchpoints im Rahmen von Customer Journeys Anwendung und bezeichnen eine Reihe von Berührungspunkten, die je nach Ausgestaltung positiv oder negativ wahrgenommen werden können (Towers und Towers 2022). Nach der Testung des digitalen CNC-Lernplatzes durch die Usability-Expertinnen und -Experten erfolgte für definierte Touchpoints, die zukünftige Nutzende mit dem digitalen CNC-Lernplatz haben werden, eine Erfassung von spontanen Assoziationen.

Eine Übersicht der diskutierten Touchpoints findet sich in Abb. 10.

Danach bewerteten die Teilnehmenden die Usability anhand der Heuristiken nach Nielsen (1994). Die Diskussionen im Rahmen der Fokusgruppe wurden per Audioauf-

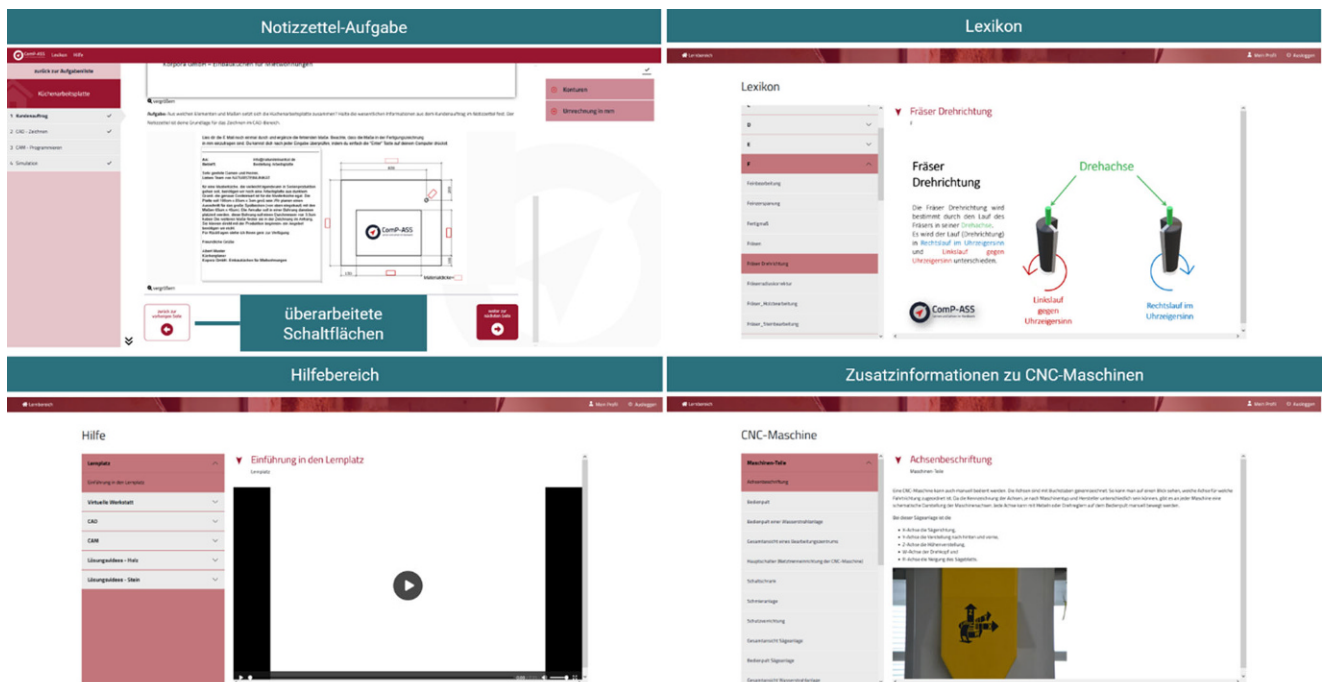


Abb. 9 Finales Design der Zusatzangebote im Lernplatz

Fig. 9 Final design of additional features on the learning platform

zeichnung festgehalten und die Aussagen wurden anschließend jeweils für die unterschiedlichen Touchpoints in Abhängigkeit der Heuristiken von den evaluierenden Personen thematisch geclustert. Dazu wurden Anmerkungen sowie mögliche Verbesserungen extrahiert und der bestehende Anforderungskatalog überarbeitet.

2.8 Ergebnisse der abschließenden summarischen Evaluation

Die summative Evaluation lieferte Empfehlungen für die Umsetzung des digitalen CNC-Lernplatzes als marktreifes Produkt. Die Usability-Expertinnen und -Experten beurteilten den finalen Stand des digitalen CNC-Lernplatzes in Bezug auf Design, Navigation und Funktionsumfang als sehr positiv. Während der Fokusgruppensitzung rückten insbesondere die Usability-Heuristiken „Konsistenz und Standards“, „Ästhetik und minimalistisches Design“, „Flexibilität und Effizienz der Nutzung“, „Hilfe bei (der Erkennung, Diagnose und Behebung von) Fehlern“ in den Vordergrund.

Die Usability-Expertinnen und -Experten wiesen vielfach auf die fehlende Einhaltung der Heuristik „Konsistenz und Standards“ hin, die sich über verschiedene Inhaltsbereiche erstreckte. Beispielsweise wurden grundlegende Standards für den Touchpoint „Registrierung“ hervorgehoben, wie die doppelte Abfrage des Passworts, die Zusendung einer Anmeldebestätigung per E-Mail sowie die Kennzeichnung der Pflichtangaben im Profil. Für letztere

private Angaben wurde die Notwendigkeit für mehr Transparenz hinsichtlich der Nutzung der Daten gefordert. Für die Erklärvideos, die standardmäßig Untertitel beinhalten, wurde einheitlich angemerkt, dass der Text ungünstig platziert, nicht identisch mit dem Gesprochenen war und diese Funktion optional aktivierbar sein sollte.

Auch die Gestaltung der Schaltflächen wurde hinsichtlich der erwarteten dahinterliegenden Funktionen, inkonsistenten Beschriftungen sowie der Platzierung diskutiert. Zum einen wurde beim Touchpoint „Einstiegsseite“ eine Schaltfläche zum Login im Header für den erneuten Aufruf des digitalen CNC-Lernplatzes erwartet, zum anderen der Verbesserungsvorschlag diskutiert, dass das Logo im Header zum Hauptmenü zurückführt. Darüber hinaus bemerkten die Usability-Expertinnen und -Experten, dass die „Weiter“-Schaltflächen im unteren rechten Bereich des digitalen CNC-Lernplatzes je nach Aufgabeninhalt unterschiedlich positioniert und beschriftet waren. Eine feste Position dieser Schaltflächen sowie ein Pendant für eine „Zurück“-Schaltfläche im linken unteren Bereich des digitalen CNC-Lernplatzes wurden empfohlen. Des Weiteren diskutierten die Usability-Expertinnen und -Experten die visuelle Stringenz von Primär-, Sekundär- und Tertiärschaltflächen. Primärschaltflächen, denen eine hohe Priorität zukommt und die beim Start der Aufgabenbearbeitung geklickt werden müssen, konnten nicht von Sekundärschaltflächen, die bei Hilfestellungen, Aufgabenvarianten mit erhöhter Unterstützung oder Zusatzaufgaben eingesetzt wurden, ausreichend



Abb. 10 Diskutierte Touchpoints

Fig. 10 Discussed touchpoints

unterschieden werden. Um die User Experience zu verbessern, wurden die visuelle Abbildung der Schaltflächenhierarchien sowie der Einsatz von sogenannten „Call-to-action“-Schaltflächen für wichtige Aktionen empfohlen. Auch der Einsatz von wiederkehrenden Symbolen zur schnelleren Erfassbarkeit der unterschiedlichen Angebote wurde diskutiert.

Der Einsatz von Symbolen wurde ebenfalls im Kontext des Usability-Kriteriums „*Ästhetik und minimalistisches Design*“ benannt, um größere Textpassagen klarer zu strukturieren. Darüber hinaus wurde angemerkt, dass in den Kacheln im Hauptmenü Überschneidungen zwischen Text und Piktogramm vorhanden waren.

Insbesondere für den Touchpoint „Einstiegsseite“ ergaben sich Verbesserungsvorschläge für das Design, um eine Anmeldung durch zukünftige Nutzende herbeizuführen. Farbige Ellipsen zum Clustern der Texte, Bilder von CNC-Maschinen sowie Screenshots des digitalen CNC-Lernplatzes wurden als Designoptionen benannt.

Das Usability-Kriterium „*Flexibilität und Effizienz der Nutzung*“ wurde insbesondere in Bezug auf überflüssige,

vorangestellte Schaltflächen bei den „Notizzettel“-Aufgaben als verbesserungswürdig eingeschätzt. Insgesamt wurde diese zweigeteilte Aufgabe, die aus einer Zuordnung von Begriffen und einer Maßeingabe bestand, als unzureichend bewertet, da keine Zwischenspeicherung erfolgte und beim Wechsel in den vergrößerten Modus alle Eingaben gelöscht wurden.

Weiterhin wiesen die Usability-Expertinnen und -Experten darauf hin, dass für das Einführungsvideo, das bei der Erstanmeldung die grundlegenden Funktionen des digitalen CNC-Lernplatzes erklärt, ein Hinweis zur Wiederauffindbarkeit fehlte. Somit konnten dessen Inhalte nicht effizient wiedergefunden werden und der Hilfebereich musste manuell durchsucht werden. Sowohl für den Hilfebereich als auch für das Lexikon wurde angemerkt, dass eine Suchfunktion zu einer erhöhten Usability führen könnte.

Weitere Verbesserungsvorschläge zur Erhöhung der Flexibilität und Effizienz umfassten die Umsetzung einer Zwischenspeicherung des Lernfortschritts und das schnelle Aufrufen z.B. über eine „Bookmark“-Funktion im Hauptmenü. Auch eine Anzeige der ungefähren Bear-

beitungsdauern für die Lernaufgaben sowie Spezifizierung des Lernfortschritts im Profil über Prozentangaben wurden empfohlen.

Hinsichtlich des Kriteriums „Hilfe bei (der Erkennung, Diagnose und Behebung von) Fehlern“ wurden häufigere systemseitige Hinweise in den CAD- und CAM-Prototypen gewünscht, um die Fehlerbehebung zu erleichtern. Auch für die virtuelle Werkstatt wurde die Interaktivität als verbesserungswürdig eingeschätzt.

Insgesamt bewerteten die Expertinnen und Experten die Usability mit einem SUS (Systems Usability Scale)- Score von 89 (Maximaler Score: 100) (Brooke 1996). Werte ab 85 sind insgesamt als exzellent einzustufen (Bangor et al. 2008). Da nur wenige Studien zur Entwicklung und Evaluation von digitalen Lernmedien im Handwerk vorzufinden sind, ist lediglich ein Vergleich mit Lernmedien aus anderen inhaltlichen Bereichen möglich. Beispielsweise zeigt sich für den hochschulischen Einsatz eines OLAT-basierten Onlinekurses ein durchschnittlicher Wert von 74,87 (Karapanos 2015). Für eine Virtual Reality-Anwendung im Rahmen einer kaufmännischen Berufsausbildung konnten wiederum 68 Punkte und 73 Punkte auf der SUS-Skala vorgefunden werden (Conrad et al. 2022). Eine appbasierte Lernumgebung für Auszubildende aus dem Einzelhandel, die die Wissensanwendung in simulierten Aufgaben mittels eines Serious Games vorsah, wurde hingegen mit einem SUS-Score von 65 bewertet (Weber et al. 2021).

3 Diskussion

Die Evaluationsergebnisse und Implikationen für die Fortentwicklung des digitalen CNC-Lernplatzes entlang der Usability-Heuristiken nach Nielsen (1994) zeigen deutliche Entwicklungsverläufe und eine schrittweise Verbesserung der Usability: Die Ergebnisse der ersten formativen Evaluation verdeutlichten eine hohe Sensibilität der Nutzenden für sprachliche, terminologische und gestalterische Inkonsistenzen sowie für fehlende Steuerungsoptionen. Durch die in der zweiten Evaluation implementierte gewerksspezifische Differenzierung und das Redesign der Navigationsstruktur konnten wesentliche Fortschritte in der Verständlichkeit, Kohärenz und Orientierung erzielt werden. Gleichzeitig traten mit zunehmender Komplexität der Lernumgebung neue Herausforderungen auf, etwa in der Fehlerkommunikation und der funktionalen Steuerbarkeit. Die dritte formative Evaluation bestätigte die Tragfähigkeit der Grundstruktur des digitalen CNC-Lernplatzes, machte jedoch sichtbar, dass die Anforderungen an Flexibilität und Fehlerrobustheit mit wachsendem Funktionsumfang zunahmen. Insbesondere das Fehlen einer Zwischenspeicherungsfunktion und die eingeschränkte Möglichkeit zur Interaktionssteuerung in den Lernaufgaben verdeutlichten, dass die technische Sta-

bilität und die systemseitigen Rückmeldungen bei Fehlern zentrale Voraussetzungen für ein akzeptiertes WBT darstellen. Abschließend konnte mit der summativen Evaluation gezeigt werden, dass die iterativen Überarbeitungen auf Basis des Nutzendenfeedbacks zu einer positiven Bewertung der Usability durch Expertinnen und Experten führten (SUS-Score: 89 von 100 maximalen Punkten). Dennoch waren vereinzelt Inkonsistenzen in der visuellen Hierarchie (z. B. Schaltflächendesign) und der Fehlerkommunikation festzustellen, was die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Qualitätssicherung, bestenfalls durch die Kombination aus zukünftigen Nutzenden sowie Usability-Expertinnen und -Experten, unterstreicht.

Die Nutzung der Usability-Heuristiken nach Nielsen (1994) als analytisches Evaluationswerkzeug zur Sichtbarmachung der schrittweisen Verbesserung des digitalen CNC-Lernplatzes ist im Kontext der Lernmedienentwicklung insgesamt als praktikabel einzustufen. Neben Verbesserungspotenzialen für die technische Qualität des digitalen Lernplatzes ergaben sich im Zuge der Nutzung auch didaktische Implikationen, insbesondere für die Fehlerkommunikation. Da die Nutzendenzentrierung im Rahmen des UCD die Interaktion mit dem technischen System umfasst und dabei die Anforderungen der Zielgruppe berücksichtigt, liegen den Usability-Heuristiken nicht nur technische Eigenschaften zugrunde, auch die kognitive Entlastung sowie Motivation fließen in Kriterien wie „Sichtbarkeit des Systemstatus“ oder „Ästhetik und minimalistisches Design“ ein und haben didaktische Implikationen.

Darüber hinaus wird zur Erfassung von Verbesserungspotenzialen der digitalen Lernmedien nicht empfohlen, nur quantitative Maße der Usability, wie den SUS-Score, zu nutzen. Insbesondere in frühen Phasen, wo größere Anpassungen notwendig sein können, sind qualitative Methoden einzusetzen, um den Kern der Usability-Probleme zu verstehen und die User Experience zu erfassen. Dafür kann es sich eignen, die zukünftigen Nutzenden nicht zu primen und ergebnisoffen Daten zu erheben.

Für die Gestaltung digitaler Lernkonzepte im Handwerk zeigte sich, dass die Erprobung grundlegender Funktionen in einem frühen Stadium der Produktentwicklung unabdingbar ist, um Fehlentwicklungen zu vermeiden. Beispielsweise deutete die eingangs erfolgte Zielgruppenanalyse darauf, dass die Mehrheit der befragten zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer (40 von 50 Personen) hinsichtlich der Nutzung von Spielen positiv eingestellt ist. Hingegen zeigte die erste Evaluation, dass Minispiele als Gamification-Element in dem Lernangebot abgelehnt werden, sodass eine Weiterentwicklung von Minispielen abgebrochen wurde. Auch die Annahme, dass ein übergreifender digitaler CNC-Lernplatz für beide Gewerke umzusetzen wäre, konnte somit frühzeitig falsifiziert werden. Um solche „blinden Flecken“ zu vermeiden, die durch routinierte Produktentwicklungspro-

zesse entstehen können und gleichzeitig Fehlinterpretationen zum Nutzungsverhalten bzw. Lernpräferenzen der Zielgruppe aufzulösen, können Evaluationen unter Berücksichtigung der Usability-Heuristiken (Nielsen) im UCD-Prozess als geeignetes Vorgehen eingestuft werden.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse dieses Evaluationsprozesses im Rahmen des UCD, dass die Sichtbarmachung von Designentscheidungen im Sinne der Dokumentationen von Änderungen, Begründungen und Auswirkungen einen wichtigen Beitrag zur Nachvollziehbarkeit der digitalen Lernmedienentwicklung leistet (vgl. Marjanović et al. 2025). Die Offenlegung dieser iterativen Prozesse ermöglicht es, zur empirischen Fundierung von Gestaltungsentscheidungen und damit langfristig zur Effizienz der Lernmedienentwicklung beizutragen. Zukünftig ist der Einsatz von Open Source Datenbanken, in denen evaluierte funktionale und hinderliche Designs für Lernarchitekturen geteilt werden, wünschenswert.

3.1 Limitationen

Die Ergebnisse des vorliegenden Beitrags lassen sich nur eingeschränkt auf die Lernmedienentwicklung für andere Handwerksberufe anwenden, da das Vorgehen lediglich im Kontext eines digitalen CNC-Lernplatzes für die Holz- und Steinbearbeitung eingesetzt wurde. Ein Transfer des dargestellten Vorgehens sowie die direkte Weiternutzung der Designentscheidungen und Interaktionsprinzipien (z. B. Bedarf nach Zusatzangeboten, Wunsch nach Flexibilisierung der Bearbeitungsschritte) müssen daher für andere handwerksspezifische Bereiche der beruflichen (Weiter-)Bildung in zukünftigen Forschungsarbeiten getestet werden. Auch kann ein sogenannter Selection Bias durch die persönliche Ansprache der befragten Teilnehmenden zu Verzerrungen in den Ergebnissen geführt haben. Daher sollten die Nutzenanforderungen in jedem Fall zu Beginn der Lernmedienentwicklung erhoben und im Laufe der Produktentwicklung aktualisiert werden.

Gleichzeitig ist der Einbezug von Lernwirksamkeitsindikatoren für die Usability-Betrachtung in den Evaluationen als gering einzustufen. Zukünftig sollten diese in Entwicklungs- und Evaluationsprozessen von digitalen Lernmedien im Handwerk stärker einbezogen werden, um die unmittelbaren Effekte der Gestaltung auf die Lernprozesse zu erfassen. Dafür sind stärkere interdisziplinäre Verschränkungen zwischen der nutzendenzentrierten Forschung und Didaktik empfehlenswert, um Lernmedien im Handwerk zu entwickeln, die zielgruppenspezifische Anforderungen erfüllen und gleichzeitig didaktische Prinzipien zur Wissensvermittlung beachten. Die Evaluation ebendieser kann durch den interdisziplinären Ansatz über eine Ergänzung der Usability-Heuristiken profitieren. Diese Bestrebungen werden aktuell u. a. unter dem Begriff „Learning Experience Design“

diskutiert, wonach interdisziplinäre Sichtweisen in die Designs von Lernmedien einfließen (Schmidt et al. 2020; Jahnke 2025).

Insgesamt ist der Versionsverlauf der Lernmedienentwicklung über Screenshots ebenfalls als Limitation zu werten. Da in der Interaktion mit technischen Systemen wie digitalen Lernmedien beispielsweise die Nutzung von Schaltflächen von großer Bedeutung ist, ist es empfehlenswert, zukünftig klickbare Varianten der einzelnen Designiterationen zu veröffentlichen. Somit kann die Nachvollziehbarkeit der Usability-Problematiken langfristig verbessert und Entwicklungen neuer digitaler Lernmedien im Handwerk beschleunigt werden.

4 Ausblick

Die Ergebnisse des iterativen Entwicklungs- und Evaluationsprozesses verdeutlichen das Potenzial nutzendenzentrierter Methoden, um digitale Lernangebote in der beruflichen Bildung evidenzbasiert und bedarfsgerecht zu gestalten. Im vorliegenden Beitrag zeigte sich, dass Usability- und User-Experience-Aspekte systematisch in die didaktische Entwicklungslogik digitaler Lernmedien integriert werden können. Die Evaluation der Usability sicherte demnach nicht nur die technische Qualität, sondern hatte zugleich einen Einfluss auf die didaktische Umsetzung der digitalen Lernplatzzinhalte, da die Lernmotivation, Flexibilität im Lernprozess und das Verständnis durch die Lernenden unmittelbar betroffen waren.

Die Ergebnisse unterstreichen zudem die Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Usability-Expertinnen und -Experten, der Berufsbildungsforschung, und Mediendidaktik, um der Komplexität digitaler Lernprozesse gerecht zu werden. Nur durch die enge Verzahnung technischer, didaktischer und ergonomischer Perspektiven lassen sich digitale Lernmedien entwickeln, die den vielfältigen Anforderungen handwerklicher Bildungskontexte gerecht werden.

Da die Transparenz und Dokumentation von Entwicklungs- und Evaluationsarbeit bei digitalen Tools im handwerklichen Kontext bislang unterrepräsentiert ist, können die dargestellten Ergebnisse einen Beitrag zur evidenzbasierten Optimierung digitaler Lernkonzepte leisten, indem das methodische Vorgehen oder einzelne Usability-Heuristiken sowie Designentscheidungen adaptiert werden. Die zukünftige Offenlegung von Zwischenschritten, Evaluationsbefunden und Gestaltungsentscheidungen ist empfehlenswert, um nicht nur zur wissenschaftlichen Nachvollziehbarkeit und Replizierbarkeit beizutragen, sondern auch die empirisch fundierte Produktentwicklung im Bereich der beruflichen (Weiter-)Bildung zu fördern.

Danksagung Diese Forschungsarbeiten wurden durchgeführt im Rahmen von „ComP-ASS“ (Förderkennzeichen: 21INVI3202), gefördert vom BMBF/BIBB. Der Geldgeber hatte keinen Einfluss auf das Studiendesign, die Erhebung, Analyse und Interpretation der Daten, auf das Verfassen oder Einreichen des Berichts. Die Autor*innen danken dem Projektkonsortium für die technische und didaktische Entwicklung des digitalen CNC-Lernplatzes und Umsetzung der hier aufgeführten Verbesserungspotenziale. Des Weiteren danken die Autor*innen Ina Friedrich für ihren Beitrag in der Konzeption, Durchführung und Auswertung der Evaluationen und Bryan Staniek für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung. Der digitale CNC-Lernplatz steht online Open Source zur Verfügung: <https://github.com/ComP-ASS>

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Bangor A, Kortum PT, Miller JT (2008) An empirical evaluation of the system usability scale. *Int J Hum Comput Interact* 24(6):574–594
- BIBB (2024) Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2024. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), Bonn (<https://www.bibb.de/dienst/publikationen/de/19931>) Zugriffen: 27. Okt. 2025)
- Brooke J (1996) SUS—A quick and dirty usability scale. In: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester BA, McClelland IL (Hrsg) *Usability evaluation in industry*. Taylor & Francis, London, S 189–194
- Buschermöhle M, Huscher H, Effert J-S, Raveling N (2023) Usability und Akzeptanz. In: Groß M, Hennig B, Kappel S, Wallhoff F (Hrsg) *Assistive Technologien, technische Rehabilitationen und unterstützte Kommunikation*. Springer, Berlin, S 43–53 <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64118-7>
- Chang C-C, Johnson T (2021) Integrating heuristics and think-aloud approach to evaluate the usability of game-based learning material. *Journal of Computers in Education* 8(1):137–157. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00174-5>
- Chase P (2023) Geschnitzt aus Holz und Digitalkompetenz: Digitalisierung im Schreinerhandwerk. *IM+io Best Next Pract Aus Digit Manag Wiss* 4:22–25
- Conrad M, Dölker J, Kablitz D, Schumann S (2022) VR in der kaufmännischen Berufsbildung: Potenziale – Befunde – Perspektiven. In: Schumann S, Seeber S, Abele S (Hrsg) *Digitale Transformation in der Berufsbildung : Konzepte, Befunde und Herausforderungen*, Bd 41. wbv, S 231–255
- DIN EN ISO 9241-11 (2018) *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 9241-110 (2020) *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Interaktionsprinzipien*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 9241-210 (2019) *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme*. Beuth Verlag, Berlin.
- Eshet E, Bouwmen H (2017) Context of use: the final frontier in the practice of user-centered design? *Interact Comput* 29(3):368–390. <https://doi.org/10.1093/iwc/iww030>
- Friedrich I, Tasliarmut M, Hoffmann H, Schwarzkopf M, Bullinger AC (2024a) Formative Evaluation digitaler Weiterbildung im Handwerk: Eine Prozessbeschreibung zur Förderung der digitalen Transformation im Tischler- und Steinmetzhandwerk. *HMD* 61:1471–1489. <https://doi.org/10.1365/s40702-024-01115-x>
- Friedrich I, Schwarzkopf M, Bullinger AC (2024b) Zielgruppenidentifikation und Anforderungsanalyse: Ein praxisorientiertes Vorgehen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. – Arbeitswissenschaft in-the-loop – Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung Stuttgart. GfA Press, Sankt Augustin. ISBN 978-3-936804-34-8
- Fuchs T, Rüffer J, Franke S, Hellbach S (2024) Adaptive Lernpfade und ihr Einsatz in der Hochschullehre: Diskussion eines Inverted-Classroom-Konzeptes. *Beiträge zur Hochschulforschung* 46. Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung, München, S 94–107 (https://www.bzh.bayern.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Beitraege_zur_Hochschulforschung/2024/2024-2-Fuchs-Rueffer-Franke-Hellbach.pdf) Zugriffen: 27. Okt. 2025)
- Garnitz J, Sauer S, Schaller D (2023) Arbeitskräftemangel belastet die deutsche Wirtschaft. *ifo Schnelldienst* 76(9). <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2023-09-garnitz-sauer-schaller-fachkraeftemangel.pdf>. Zugriffen: 27. Okt. 2025
- Goppold M, Müller ML, Thiem S, Tackenberg S, Frenz M, Nitsch V (2022) Lernmedienentwicklung für handlungs- und gestaltungsorientiertes, Augmented Reality-gestütztes Lernen aus Fehlern an CNC-Drehmaschinen – Zielkonflikte zwischen didaktischem Anspruch und technischer Umsetzung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik online* 43. https://www.bwpat.de/ausgabe43/goppold_et_al._bwpat43.pdf. Zugriffen: 27. Okt. 2025
- Hernández-Ramírez R (2019) On the origins and basic aspects of user-centered design and user experience. In: Ayanoğlu H, Duarte E (Hrsg) *Emotional design in human-robot interaction*. Springer, Berlin, S 71–92 https://doi.org/10.1007/978-3-319-96722-6_5
- Jahnke I (2025) Digital Learning Experience Design and Research. In: 23. Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI 2025). 3. Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn https://doi.org/10.18420/delfi2025_01
- Karapanos M (2015) Gebrauchstauglichkeit und Nützlichkeit. Usability und wahrgenommener Nutzen digitaler Lernangebote. In: Köhler T, Kahnwald N, Schoop E (Hrsg) *Wissensgemeinschaften 2015*. TUDPress, Dresden.
- KOFA (2021) Fachkräfteengpässe in Unternehmen – Fachkräftemangel und Nachwuchsqualifizierung im Handwerk. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., Köln (https://www.kofa.de/media/Publikationen/Studien/Handwerk_01_2021.pdf) Zugriffen: 27. Okt. 2025)
- Langmajer M (2019) 10 Usability Heuristics Every Designer Should Know. *UX Design*. <https://uxdesign.cc/10-usability-heuristics-every-designer-should-know-129b9779ac53>. Zugriffen: 27. Okt. 2025
- Lücke M, Hausmann M, Lechtenberg S, Bölling S, Guhleemann K, Best C (2022) In: Ehlert A, Hennecke HJ (Hrsg) *Personenzentrierte Digitalisierung zur Zukunftssicherung des Handwerks: Ergebnisse des Forschungsprojekts „Athene 4.0“*. Handwerk.NRW, Düsseldorf, S 16–25 (https://www.handwerk.nrw/fileadmin/user_

- [upload/Publikationen/Digitalisierungsbroschuere_Stand_13.07.2022.pdf](#) Zugegriffen: 27. Okt. 2025)
- Marjanović D, Štorga M, Škec S (2025) Designforschung: Die soziotechnischen Aspekte von Qualität, Kreativität und Innovation. Springer, Cham <https://doi.org/10.1007/978-3-031-78674-7>
- Mohammad A, Pedersen L (2022) Analyzing the use of heuristics in a virtual reality learning context: a literature review. *Informatics* 9(3):51. <https://doi.org/10.3390/informatics9030051>
- Nielsen J (1994) Enhancing the explanatory power of usability heuristics. In: *Proceedings of the ACM CHI'94 Conference Boston*, 24.–28. April, S 152–158
- Nielsen Norman Group (2024) 10 Usability Heuristics for User Interface Design. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Zugegriffen: 27. Okt. 2025
- Rabadjieva M, Terstriep J, Schanz J (2017) Digitale Produktion in NRW fördern: Neue Geschäftsmodelle an der Schnittstelle Kreativwirtschaft und Handwerk. Erkenntnisse aus dem Projekt DigiMat. Forschung Aktuell 09. Institut Arbeit und Technik (IAT), Gelsenkirchen
- Reining M, Müller-Frommeyer LC, Höwing F, Thiede B, Aymans S, Herrmann C, Kauffeld S (2019) Evaluation neuer Lehr-Lern-Medien in einer Lernfabrik. Eine Usability-Studie zu App- und AR-Anwendungen. In: Robra-Bissantz S, Bott OJ, Kleinfeld N, Neu K, Zickwolf K (Hrsg) *Teaching Trends 2018: Die Präsenzhochschule und die digitale Transformation*. Waxmann, Münster, S 146–152 <https://doi.org/10.25656/01:17933>
- Rensing C (2020) Informatik und Bildungstechnologie. In: Niegemann H, Weinberger A (Hrsg) *Handbuch Bildungstechnologie*. Springer, Berlin, S 586–603 https://doi.org/10.1007/978-3-662-54368-9_49
- Riener A, Jeon M, Alvarez I (2022) User experience design in the era of automated driving. Springer, Berlin <https://doi.org/10.1007/978-3-030-77726-5>
- Runst P, Proeger T (2020) Digitalisierungsmuster im Handwerk – Eine regionale und sektorale Analyse des Digitalisierungs-Checks des Kompetenzzentrums Digitales Handwerk. Göttinger Beiträge zur Handwerksforschung 39. Volkswirtschaftliches Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen, Göttingen <https://doi.org/10.3249/2364-3897-gbh-39>
- Schmidt M, Earnshaw Y, Tawfik AA, Jahnke I (2020) Methods of user centered design and evaluation for learning designers. In: Schmidt M, Tawfik AA, Jahnke I, Earnshaw Y (Hrsg) *Learner and user experience research: an introduction for the field of learning design & technology*. edtechbooks, S 21–51 (https://edtechbooks.org/ux/ucd_methods_for_lx)
- Tasliarmut M, Langer D, Birke J, Zeiner-Fink S, Bullinger AC (2022) Digital literacy & motivation: creating personas with mixed-methods to tailor online training to the craft industry. In: ICERI (Hrsg) *ICERI 202215th annual International Conference of Education Seville*, 7–9 November 2022, S 5261–5268. ISBN 978-84-09-45476-1
- Tasliarmut M, Schwarzkopf M, Bullinger AC (2024) Daten, Nutzen und Risiken: Der Einsatz von Logfileanalysen in der nutzer*innenzentrierten Entwicklung von digitalen Lernplattformen im Handwerk. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. – Arbeitswissenschaft in-the-loop – Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. GfA Press, Stuttgart Sankt Augustin. ISBN 978-3-936804-34-8
- Thonipara A, Höhle D, Proeger T, Bizer K (2020) Digitalisierung im Handwerk – ein Forschungsüberblick. Göttinger Beiträge zur Handwerksforschung 36. Volkswirtschaftliches Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen, Göttingen <https://doi.org/10.3249/2364-3897-gbh-36>
- Towers A, Towers N (2022) Framing the customer journey: touch point categories and decision-making process stages. *Int J Retail Distrib Manag* 50(3):317–341. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2020-0296>
- Weber S, Schumann M, Achtenhagen F, Bley S, Hackenberg T, Kreuzer C, Meyer von Wolff R, Off M, Ritter S, von Marx R, Weseloh H (2021) Entwicklung einer appbasierten Lernumgebung zur Vermittlung einer nachhaltigen Gestaltungskompetenz im Einzelhandel. In: Melzig C, Kuhlmeier W, Kretschmer S (Hrsg) *Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung: Die Modellversuche 2015–2019 auf dem Weg vom Projekt zur Struktur*. BIBB, Bonn
- Zhai S, Yuwen W, Zyniewicz TL, Sonney J, Hash J, Chen M, Ward TM (2025) Evaluating behavioral intervention technologies: Integrating human-centered design and implementation science outcomes. *Digit Health*. <https://doi.org/10.1177/20552076251348579>
- ZWH (2021) Digitaler Aufbruch im Handwerk: Eine Untersuchung zum Weiterbildungsbedarf des Lehrpersonals in den Bildungszentren. ZWH, Düsseldorf

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.