

Evaluation von komplementären Benutzerschnittstellen als gestaltungsleitende Tätigkeit²

Johannes Zagermann ¹

Abstract: Die Dissertation untersucht komplementäre Benutzerschnittstellen (Complementary Interfaces), die als Vertreter für ubiquitäre Computing-Umgebungen dienen. Complementary Interfaces sind bedeutsame Kombinationen von Eingabe- und Ausgabeschnittstellen, die Nutzer:innen bei ihrer Arbeit unterstützen. In kontrollierten Laborexperimenten wird untersucht, wie diese Schnittstellen gestaltet und evaluiert werden können. Drei Anwendungsfälle dienen als Grundlage, um den Einfluss verschiedener Ausgabemodalitäten, Eingabetechniken und deren Wechselwirkungen zu untersuchen. Ein weiterer Fokus liegt auf der kognitiven Arbeitsbelastung und deren Messung als möglicher Untersuchungsgegenstand in Benutzerstudien. Die Arbeit zeigt, wie Geräte und Modalitäten kombiniert werden können und eröffnet Perspektiven für dynamische, kollaborative Systeme, die eine Symbiose interaktiver Systeme ermöglichen.

1 Einleitung

In den letzten Jahren sind immer mehr interaktive Geräte – wie Smartphones, Tablets, Laptops oder auch andere tragbare Geräte – in unseren Alltag eingezogen. Obwohl jedes Geräteformat individuelle Vorteile bietet, bleiben viele Arbeitsabläufe meist auf ein Gerät beschränkt. Zwar lassen sich verschiedene Geräte kombinieren, doch Faktoren wie Interaktionstechniken, Datenkontinuität oder Benutzerrepräsentationen stellen hohe Hürden dar. In der Praxis müssen häufig E-Mails verschickt werden, um Inhalte zwischen nahe gelegenen Geräten auszutauschen, die Präsentation von Folien scheitert an fehlenden Adaptern und unterschiedliche Betriebssysteme erfordern Improvisation. Dies wirft die Frage auf, ob heutige Standardgeräte (z.B. Tablets) weniger „Schweizer Taschenmesser“ mit unzähligen Funktionen sein sollten und stattdessen - im Sinne Weisers [We91] - stärker auf eine bestimmte Aufgabe spezialisiert sein könnten.

Die aktuelle Forschung zeigt, dass die Nutzung mehrerer Geräte die kognitive Belastung erhöhen kann, was zu einem erhöhten Nutzungsaufwand führt. Zusätzlich sind sich viele Nutzer:innen nicht bewusst, welcher Mehrwert entstehen kann, wenn weitere Geräte in den Ablauf eingebunden werden. Ein möglicher Grund dafür ist, dass die Forschungsrichtung Mensch-Computer-Interaktion (MCI) zwar häufig neue Interaktionsmöglichkeiten und Technologien vorstellt, diese aber teilweise nur unzureichend validiert [Ho13] - insbesondere wenn technische Neuheit als entscheidendes Kriterium gilt³. In ähnlicher Weise betonen

¹ Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz, johannes.zagermann@uni-konstanz.de,  <https://orcid.org/0000-0002-6757-9753>

² Englischer Titel der Dissertation: "Evaluating Complementary Interfaces as a Design-Informing Activity" [Za24]

³ The Toxic Culture of Rejection in Computer Science (Edward Lee, SIGBED): <https://sigbed.org/2022/08/22/the-toxic-culture-of-rejection-in-computer-science/>, zuletzt abgerufen am 28.01.2025.

Brudy et al. die Notwendigkeit von Evaluationen in diesen Umgebungen des Ubiquitous Computing (UbiComp): Zahlreiche Arbeiten erweitern zwar die Grenzen der technischen Möglichkeiten, werden aber oft nicht durch empirische Befunde untermauert, was zu einer fragmentierten Forschungslandschaft führt [Br19].

Diese Dissertation greift dieses Defizit auf: Sie untersucht komplexe UbiComp-Umgebungen in kontrollierten Laborstudien, die eine hohe interne Validität ermöglichen. Dadurch sollen Experimente als gestaltungsleitende Tätigkeit für künftige UbiComp Umgebungen dienen [OH22]. Im Mittelpunkt stehen dabei Complementary Interfaces – bedeutsame Kombinationen von Eingabe- und Ausgabekomponenten, in denen jedes Element gezielt die Interaktion verbessert und die Nutzer:innen unterstützt [Za22] (siehe Kapitel 2).

Die in der Dissertation vorgestellten Forschungsarbeiten nutzen gängige Komponenten von Experimenten zur Strukturierung des experimentellen Settings (z.B. Aufgaben), des experimentellen Ablaufs (z.B. Studiendesigns) und der abhängigen Variablen (z.B. qualitative und quantitative Messungen). Insgesamt werden drei Anwendungsfälle von Complementary Interfaces sowie eine Metaanalyse von Verfahren zur Messung kognitiver Belastung (als mögliche abhängige Variable) vorgestellt. Diese Untersuchungen sollen das Verständnis der Interaktion mit Complementary Interfaces und UbiComp-Umgebungen erweitern und gleichzeitig Impulse für deren Design [OH22] und Evaluationsmethoden [Ho13] liefern.

Um ein breites Spektrum möglicher Anwendungsszenarien abzudecken, werden in der Dissertation verschiedene Complementary Interfaces vorgestellt, die den ersten Forschungsschwerpunkt – Untersuchung von Complementary Interfaces – adressieren. Hierbei stehen Untersuchungen in den Bereichen Kollaboration (siehe Kapitel 3), multimodale Interaktion (siehe Kapitel 4) und mit mehreren Geräten (siehe Kapitel 5) im Vordergrund. Da bisherige Arbeiten Auswirkungen auf die kognitive Beanspruchung in UbiComp-Umgebungen gezeigt haben, liegt ein besonderer Fokus auf der Messung der kognitiven Beanspruchung. Diese wird als mögliche abhängige Variable in experimentellen Untersuchungen betrachtet und durch eine Meta-Analyse relevanter Studien untersucht (Kapitel 6).

2 Complementary Interfaces

Traditionelle Desktop-Anwendungen verwenden in der Regel *komplementäre* Eingabegeräte (z.B. Maus und Tastatur) für typische Wissensarbeiten wie das Schreiben von Dokumenten oder das Erstellen von Präsentationen. Im Gegensatz dazu sind viele UbiComp-Geräte wie Smartphones oder Tablets eigenständig: Sie verzichten dank einer integrierten Touchinteraktion und einer kombinierten Ein- und Ausgabefläche auf zusätzliches Zubehör. Bei komplexen Aufgaben kann ein einzelnes Gerät die Nutzer:innen jedoch nicht immer angemessen unterstützen. Die Forschung zeigt, dass alternative Eingabemodalitäten z.B. das räumliche Gedächtnis verbessern [Za17] oder die kognitive Belastung reduzieren [Ko23]. Dank der technologischen und methodischen Fortschritte der letzten Jahrzehnte können heute neue Interaktionsparadigmen jenseits einzelner Geräte oder Modalitäten entwickelt

und evaluiert werden, was zu einer Vielzahl flexibler Kombinationen führt. Was aber macht diese Ökosysteme von Geräten und Modalitäten so überzeugend?

Aus unseren Erfahrungen mit dem Design und der Evaluation von UbiComp-Umgebungen schließen wir, dass klar zugewiesene Rollen, Eigenschaften und Anwendungsbereiche pro Gerät und Modalität zu wertvollen Schnittstellenkombinationen führen können.

In einem erfolgreichen Ökosystem aus Geräten und Modalitäten verfügt jede Komponente über *komplementäre* Eigenschaften, die eine zuvor nicht angemessen abgedeckte Nische füllen – und so die Nutzer:innen beim Erreichen ihrer Ziele unterstützen. Wir nennen diese bedeutsamen Kombination aus Geräten und Modalitäten **Complementary Interfaces**: Indem wir die Interaktion auf verschiedene Geräte und Modalitäten verteilen, entsteht eine *Symbiose von Schnittstellen*, in der jede Komponente bewusst die Interaktionsqualität erhöht und die Nutzer:innen in ihrer aktuellen Tätigkeit unterstützt. Complementary Interfaces beziehen ihre Stärke aus bedeutsamen Kombinationen in den Dimensionen Eingabe und Ausgabe und sind immer kontextabhängig [Za22].

Das Konzept der Complementary Interfaces kann in zweierlei Hinsicht genutzt werden: (1) als konzeptioneller Gestaltungsrahmen für die Komposition sinnvoller Complementary Interfaces, die eine Symbiose von Schnittstellen schaffen können; und (2) als Evaluationsrahmen für die Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Kombinationen von Komponenten (z.B. Designalternativen). Beide Ansätze konzentrieren sich auf die Benutzer, ihre aktuellen Aufgaben und die Unterstützung durch sinnvolle Kombinationen von Eingabe- und Ausgabekomponenten. Dies ermöglicht die aufgaben- und nutzerspezifische Gestaltung interaktiver Systeme und die Untersuchung des Mehrwerts solcher Kombinationen.

Die in der Dissertation vorgestellten und untersuchten Anwendungsfälle für Complementary Interfaces werden in den folgenden Kapitel dargestellt.

3 Ein Complementary Interface für kollaborative Aktivitäten

Gemeinsam genutzte interaktive Oberflächen (sog. Tabletop-Displays) können kollaborative Aktivitäten unterstützen, indem sie eine natürliche Kommunikation rund um einen gemeinsamen Arbeitsbereich ermöglichen, die Wahrnehmung der Aktivitäten der Mitarbeiter:innen fördern und die natürliche Territorialität während der Zusammenarbeit unterstützen. Allerdings sind diese großen Oberflächen im Vergleich zu gängigen Geräten wie Tablets teuer und schwer zu warten, was insbesondere in Bibliotheken oder Klassenzimmern aufgrund von Budget- und Platzbeschränkungen problematisch ist. Daher versuchen einige Forscher, Wissensarbeit mit mobilen Geräten zu unterstützen, entweder *statt* oder in Kombination *mit* großen interaktiven Oberflächen. Solche Systeme sind besonders hilfreich bei Wissensarbeit, bei denen Nutzer:innen häufig zwischen enger Zusammenarbeit und paralleler Einzelarbeit wechseln, beispielsweise beim Lesen oder Diskutieren eines Dokuments.

Um dies besser zu verstehen, haben wir ein Complementary Interface entwickelt, das es Zweierteams ermöglicht, sich an Wissensarbeitsaktivitäten zu beteiligen. Die sinnvolle Kombination von Tablets für individuelle Aktivitäten (z.B. Lesen von Artikeln) und einer gemeinsamen interaktiven Oberfläche für kollaborative Aktivitäten (z.B. Diskussion von Ergebnissen) ermöglicht den beschriebenen Wechsel von Phasen enger Zusammenarbeit und paralleler Einzelarbeit.

In einem Experiment haben wir dieses Complementary Interface genutzt, um zu untersuchen, wie sich die Größe der gemeinsamen Oberfläche auf Zusammenarbeit, Aufmerksamkeit und Effizienz bei authentischer Wissensarbeit auswirkt. Für das Experiment haben wir 15 Zweierteams gebeten, jeweils eine Aufgabe mit Hilfe eines persönlichen Tablets (9,7 Zoll Bildschirmdiagonale) und einer gemeinsamen Arbeitsfläche zu lösen (siehe Abbildung 1a). Je nach Studienbedingung variierte die Größe der gemeinsamen interaktiven Oberfläche von 10,6 Zoll über 27 Zoll bis hin zu 55 Zoll - typische Größen für mobile Geräte, persönliche Arbeitsbereiche und Mehrbenutzer-Arbeitsbereiche (siehe Abbildung 1b, c, d).

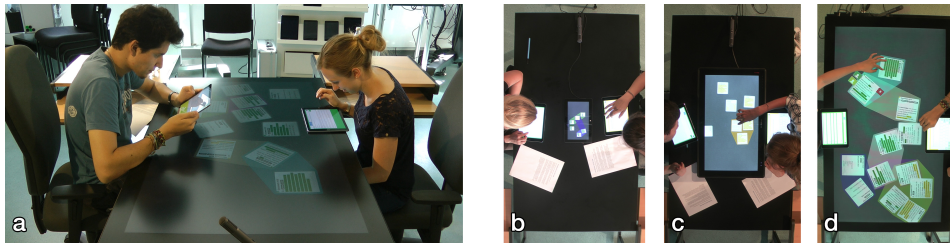


Abb. 1: Dieses Complementary Interface nutzt persönliche Tablets und eine gemeinsame interaktive Oberfläche (a). Die Größe der gemeinsamen Oberfläche ist die unabhängige Variable des experimentellen Designs (b, c, d).

Unsere Ergebnisse zeigen, dass größere gemeinsame interaktive Oberflächen die Zusammenarbeit nicht unbedingt verbessern, da sie die Aufmerksamkeit der Nutzer:innen von ihren Mitarbeiter:innen ablenken können. Dies beeinflusst die Interaktions- und Kommunikationsstile der Teilnehmer:innen. Jede Bedingung kann als eine gültige Designalternative für diese spezifische gemeinsame interaktive Oberfläche betrachtet werden. Die Wahl der Größe der gemeinsamen Oberfläche ist jedoch nicht eindeutig und sollte von der jeweiligen Aufgabe abhängen, was die Kontextabhängigkeit von Complementary Interfaces unterstreicht.

4 Ein Complementary Interface für Multimodale Interaktion

Räumliches Erinnerungsvermögen ist ein wesentlicher Aspekt erfolgreichen Interaktionsdesigns, da es die Fähigkeit der Nutzer:innen nutzt, sich an Objektpositionen zu erinnern, um Navigations- und Suchprozesse zu erleichtern. Schnittstellen, die das räumliche Erinnerungsvermögen der Nutzer:innen nutzen, können die kognitive und physische Belastung erheblich reduzieren, Interaktionen unterstützen und Ressourcen freisetzen, was zu einer besseren Aufgabenerfüllung führt. Räumliches Erinnerungsvermögen ist eine grundlegende

Komponente vieler alltäglicher interaktiver Systeme, z.B. zur Unterstützung der Menünavigation in Desktop-Anwendungen und Symbolsuche auf mobilen Geräten. Insbesondere bei Schnittstellen mit großen digitalen Arbeitsbereichen, die den sichtbaren Anzeigebereich erweitern (z.B. Zoom-Schnittstellen in öffentlichen Displays, Übersicht + Detail in Navigationssystemen), spielt das räumliche Gedächtnis eine wichtige Rolle. Bei regelmäßiger Nutzung werden visuelle Suchaktivitäten reduziert, was eine automatische Navigation ermöglicht und kognitive Ressourcen für die Aufgabe freisetzt.



Abb. 2: Dieses Complementary Interface ermöglicht die Untersuchung multimodaler Interaktionen. Die Abbildung zeigt drei Eingabemodalitäten: PAD, TOUCH und MOVE, die die Bedingungen der within-subjects unabhängigen Variable repräsentieren.

Frühere Forschung hat gezeigt, dass die Größe der Ausgabemodalität und die Eingabemodalität das räumliche Erinnerungsvermögen und die Navigationsleistung der Nutzer:innen beeinflussen. Diese Studien untersuchten jedoch Eingabe- und Ausgabemodalität getrennt voneinander, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Szenarien erschwerte [Za17].

Wir sind der Ansicht, dass das Zusammenspiel verschiedener Ein- und Ausgabemodalitäten berücksichtigt werden muss, um wertvolle Einblicke in das räumliche Erinnerungsvermögen für alltägliche interaktive Systeme (z.B. Desktop-Anwendungen, Navigationssysteme, öffentliche Displays) zu gewinnen. In diesem Kapitel haben wir ein Complementary Interface entwickelt, das die sinnvolle Kombination von Ein- und Ausgabemodalitäten ermöglicht, welche aktuelle handelsübliche interaktive Systeme abbilden (z.B. Tablets, Laptops und größere Oberflächen mit Trackpad-, Touch- und Gestensteuerung). In einem Experiment haben wir dieses Complementary Interface genutzt, um verschiedene Kombinationen hinsichtlich des räumlichen Erinnerungsvermögens, deren Effizienz, und Zufriedenheit zu untersuchen. Dazu wurden etablierte Aufgaben aus früheren Forschungsarbeiten verwendet, die an bekannte Spiele wie Memory angelehnt sind. Für das Experiment wurden drei verschiedene Eingabemodalitäten gewählt (siehe Abbildung2): Touchpads (auch PAD genannt) sind ein gängiges Merkmal von Laptops und können die Verwendung einer Maus ersetzen, insbesondere um Mobilität zu ermöglichen. Die Touch-Technologie (TOUCH) gilt als primäre Eingabemodalität für mobile Geräte. Wir wählten eine zusätzliche gestenbasierte Interaktion als dritte Eingabemodalität (MOVE). Die Größe der Ausgabemodalität wurde je nach Studienkondition variiert: von 10,6 Zoll (typisch für persönliche Geräte) bis zu 55 Zoll (typisch für öffentliche Displays).

Anstatt Eingabemodalitäten und Bildschirmgrößen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das räumliche Erinnerungsvermögen zu bewerten, zeigen unsere Ergebnisse, dass die Teilnehmer:innen je nach Kombination unterschiedliche Interaktionsstrategien anwenden. Abhängig

von Eingabemodalität und Bildschirmgröße konnten wir zwei Trade-offs identifizieren: den *Effizienz vs. räumliches Erinnerungsvermögen*-Trade-off, bei dem die Navigationsgeschwindigkeit negativ mit der Navigations- und räumliches Erinnerungsvermögenleistung korreliert, und den *Zufriedenheit vs. räumliches Erinnerungsvermögen*-Trade-off, bei dem die subjektive Zufriedenheit negativ mit dem räumlichen Erinnerungsvermögen korreliert. Die Wechselwirkung zwischen Nutzerzufriedenheit, Effizienz und räumlichem Erinnerungsvermögen führt somit zu unterschiedlichen Nutzungsmustern, die die Teilnehmer:innen zur Erfüllung der Aufgabe annehmen.

Dieses Kapitel trägt zu einem detaillierten Verständnis bei, wie sinnvolle Kombinationen verschiedener Ein- und Ausgabemodalitäten das räumliche Erinnerungsvermögen beeinflussen. Unsere vielschichtige Analyse berücksichtigt komplexe, aber sinnvolle Kombinationen von Ein- und Ausgabemodalitäten. Dadurch können die Ergebnisse auf reale Szenarien übertragen werden und die Implikationen können das Nutzerverhalten erklären und Navigations- und Suchprozesse in interaktiven Systemen unterstützen.

5 Ein Complementary Interface für Interaktion mit mehreren Geräten

Wir haben ein Complementary Interface entwickelt, um das Zusammenspiel von Interaktionstechniken, Gerätenutzung und aufgabenspezifischem Arbeitsverhalten zu beleuchten. Obwohl viele Interaktionstechniken existieren und umfassend untersucht wurden, bleibt die Herausforderung, diese Techniken erfolgreich in das jeweilige Setting (z.B. Aufgaben und Geräte) zu integrieren und eine nachhaltige Interaktion sicherzustellen. Frühere Arbeiten haben verschiedene Strategien zur Evaluation von Systemen und Techniken aufgezeigt, die mehrere Geräte verbinden und kombinieren [Br19]. Während es verschiedene analytische und empirische Ansätze für verschiedene Phasen des Designprozesses gibt, fehlt der Evaluationsmethodik für UbiComp-Umgebungen ein Bezugsrahmen, um bestehende und zukünftige Techniken und Systeme zu vergleichen oder zu bewerten [Za20].

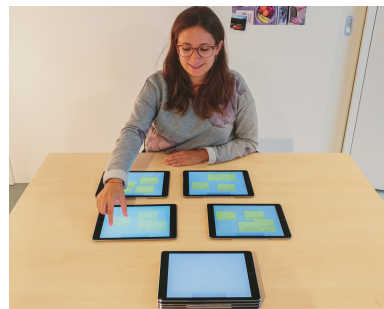


Abb. 3: Dieses Complementary Interface ermöglicht die Untersuchung von Interaktionen mit mehreren Geräten.

Wir nähern uns dieser Herausforderung mit einem Experiment, das komplementäre Evaluationsperspektiven nutzt, indem wir eine abstrakte Sortieraufgabe und eine offen gestaltete Wissensarbeitsaufgabe einsetzen - wobei die experimentelle Aufgabe als unabhängige Variable behandelt wird. Diese methodische Kombination führt zu einem ganzheitlichen Evaluationsansatz mit verschiedenen Aufgabentypen sowie qualitativen und quantitativen Messungen, die Einblicke in den Vergleich von Interaktionstechniken, deren Einfluss auf die Gerätenutzung und deren Anpassung an verschiedene Aufgaben geben.

In den Kapiteln 3 und 4 erfüllte jede Komponente einen vordefinierten Zweck, z.B. als Eingabe- oder Ausgabeaktivität – was die unabhängigen Variablen der spezifischen Experimente darstellte. Der methodische Ansatz, die Aufgabe als zusätzliche unabhängige Variable zu verwenden, ermöglicht in diesem Complementary Interface jedoch folgende Einsichten: Eine Festlegung der Verwendung der einzelnen Komponenten in der ersten Aufgabe erlaubt die Messung klassischer Messgrößen wie Zeit und Fehler. Für die zweite Aufgabe wurde diese Festlegung aufgehoben, so dass z.B. Einblicke in die Gerätenutzung möglich sind.

Konkret führten wir ein Experiment mit einer abstrakten Sortieraufgabe, einer offen gestalteten Wissensarbeitsaufgabe und drei verschiedenen Interaktionstechniken durch. Wir beobachteten 24 Teilnehmende, die mit insgesamt acht Tablets (9,7 Zoll) arbeiteten (siehe Abbildung 3). Dabei untersuchten wir ihre Leistung, ihr Arbeitsverhalten sowie die Wechselwirkungen zwischen Interaktionstechniken, Gerätenutzung und aufgabenspezifischen Aktivitäten. Unsere Ergebnisse zeigen, dass unterschiedliche Interaktionstechniken überraschenderweise weniger Einfluss haben als erwartet, während das Arbeitsverhalten und die Gerätenutzung stark von der jeweiligen Aufgabe abhängen. Durch unseren komplementären Evaluationsansatz mit unterschiedlichen Aufgaben und Messmethoden konnten wir zudem bisher verborgene Feinheiten von Complementary Interfaces aufdecken.

6 Die kognitive Arbeitsbelastung als mögliche abhängige Variable

Neuere Forschungen zeigen, dass die Handhabung mehrerer interaktiver Komponenten die kognitive Belastung beeinflusst. Ebenso haben die zuvor vorgestellten Complementary Interfaces gezeigt, dass unterschiedliche Kombinationen von Ein- und Ausgabemodalitäten die Belastung der Teilnehmer:innen beeinflussen können. Insgesamt wirkt sich die zunehmende Anzahl und Komplexität neuartiger Computersysteme auf die kognitive Belastung während der Interaktion aus. Daher ist die Analyse der kognitiven Belastung für das Design (z.B. als Eingabemodalität) und die Evaluation (z.B. als abhängige Variable in Experimenten) interaktiver Systeme ein fortlaufendes Forschungsgebiet. Obwohl der Begriff „kognitive Belastung“ in der Forschung häufig verwendet wird, gibt es bisher weder einen Konsens über eine Definition des Konzepts noch einen Goldstandard für seine Messung. Gleichzeitig bleibt die Erfassung kognitiver Belastung ein zentrales Forschungsziel. Kognitive Belastung wird als ein Faktor betrachtet, der reduziert oder auf einem angenehmen Niveau gehalten werden muss, um eine zufriedenstellende Benutzererfahrung zu gewährleisten. Durch die Berücksichtigung von Aspekten der kognitiven Belastung kann die Entwicklung verbesserter Benutzerschnittstellen gewährleistet werden.

In diesem Kapitel wird ein Literaturüberblick über aktuelle Praktiken zur Messung der kognitiven Belastung gegeben, die eine potentielle abhängige Variable in experimentellen Settings zur Untersuchung von Complementary Interfaces oder interaktiven Systemen im Allgemeinen darstellt. Unsere Recherche identifizierte 579 relevante Arbeiten, die die kognitive Belastung mit Hilfe von Fragebögen, physiologischen Sensoren und Verhaltensanalysen

messen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Kontextualisierung und Auswahl geeigneter Messmethoden für die kognitive Belastung eine Herausforderung für die Forschung darstellt. Wir stellen ein schrittweises Verfahren zur Auswahl einer geeigneten Messmethode für kognitive Belastung vor, um Forschende zu unterstützen. Dabei identifizieren wir Forschungslücken im aktuellen MCI-Forschungsfeld zur kognitiven Belastung, die zukünftige Forschung zur Bewertung der kognitiven Belastung in der MCI anregen.

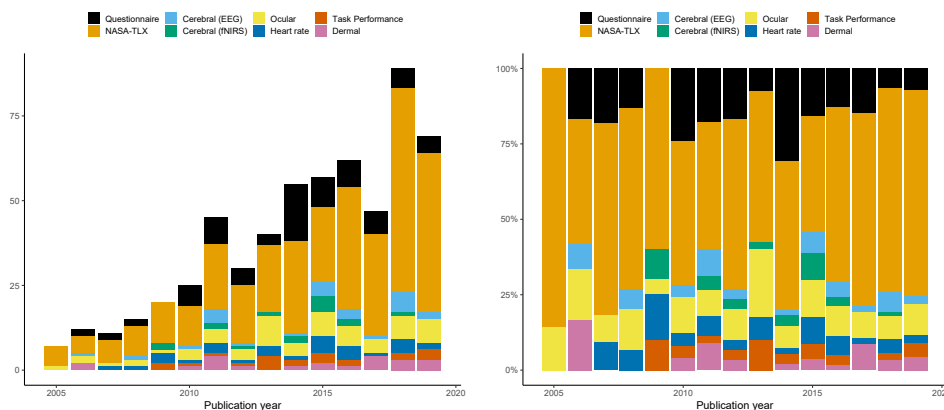


Abb. 4: Eine Übersicht der acht häufigsten Messmethoden, aufgeschlüsselt nach Publikationsjahr. Die Gesamtzahl der Messmethoden nimmt im Laufe der Zeit zu (links), während die Verteilung der einzelnen Anteile über die Zeit relativ konstant bleibt (rechts).

Unsere Übersicht zeigt, dass Fragebögen eine beliebte Methode zur Erfassung kognitiver Beanspruchung sind (siehe Abbildung 4), da sie einfach einzusetzen, anzuwenden und auszuwerten sind. Allerdings sind die Einblicke in kognitive Prozesse durch Fragebögen begrenzt. Im Gegensatz dazu erfordern fortgeschrittenere Methoden zur Messung kognitiver Beanspruchung (z.B. durch physiologische Sensoren) benutzerfreundliche Methoden, Schnittstellen und Anwendungsstrategien, um in der zukünftigen Forschung eingesetzt werden zu können. Unsere Arbeit bietet einen strukturierten Überblick über aktuelle Messmethoden der kognitiven Belastung und zeigt Forschenden und Gestalter*innen Wege auf, geeignete Metriken für ihre spezifischen Studien oder Designs auszuwählen.

7 Fazit und Ausblick

Diese Dissertation verfolgte das übergeordnete Forschungsziel, Complementary Interfaces zu gestalten und zu evaluieren. Daher wurden drei Anwendungsfälle von Complementary Interfaces empirisch untersucht, wobei der Fokus auf Gerätetypen wie Tablets und interaktiven Oberflächen lag. Experimentelle Vergleiche gültiger Designalternativen ermöglichten es uns, Ursachen und deren Auswirkungen zu verstehen und dienten als gestaltungsleitende Tätigkeiten. Der Schwerpunkt auf der Messung der kognitiven Belastung als potenzielle

abhängige Variable ergänzte die beschriebene Arbeit. Die verwendeten Konzepte, Methoden, Aufgaben und Messungen sind jedoch nicht auf die untersuchten Anwendungsfälle beschränkt und können auf weitere Dimensionen übertragen und erweitert werden.



Abb. 5: Ein kollaboratives Complementary Interface basierend auf RELIVE ermöglicht Analysten die gemeinsame Analyse von Studiendaten: Einer nutzt eine 2D-Desktop-Ansicht, während ein anderer gleichzeitig dieselben Daten als 3D-Trajektorien in einer immersiven Umgebung betrachtet. Eine Datensynchronisierung erlaubt flexible kollaborative Aktivitäten und nahtlose Übergänge.

Für die Analyse von Benutzerstudien haben wir RELIVE [Hu22] entwickelt, ein Complementary Interface, das immersive und nicht-immersive Visualisierungen kombiniert. Eine zukünftige kollaborative Version (siehe Abbildung 5) könnte dynamische Kombinationen von Modalitäten, Interaktionstechniken und Geräten über Raum, Zeit und Immersionsstufen hinweg ermöglichen [Za23] – ein perfektes Spielfeld für die in der Dissertation vorgestellten und untersuchten Konzepte. Abschließend fasst die Dissertation die Ergebnisse zusammen und zeigt neue Forschungsperspektiven auf.

Literaturverzeichnis

- [Br19] Brudy, Frederik; Holz, Christian; Rädle, Roman; Wu, Chi-Jui; Houben, Steven; Klokrose, Clemens Nylandsted; Marquardt, Nicolai: Cross-Device Taxonomy: Survey, Opportunities and Challenges of Interactions Spanning Across Multiple Devices. In: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, New York, NY, USA, S. 562:1–562:28, 2019.
- [Ho13] Hornbæk, Kasper: Some whys and hows of experiments in human–computer interaction. Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction, 5(4):299–373, 2013.
- [Hu22] Hubenschmid, Sebastian; Wieland, Jonathan; Fink, Daniel Immanuel; Batch, Andrea; Zagermann, Johannes; Elmqvist, Niklas; Reiterer, Harald: ReLive: Bridging In-Situ and Ex-Situ Visual Analytics for Analyzing Mixed Reality User Studies. In: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2022.
- [Ko23] Kosch, Thomas; Karolus, Jakob; Zagermann, Johannes; Reiterer, Harald; Schmidt, Albrecht; Woźniak, Paweł W.: A Survey on Measuring Cognitive Workload in Human-Computer Interaction. ACM Comput. Surv., 55(13s), Juli 2023.

- [OH22] Oulasvirta, Antti; Hornbæk, Kasper: Counterfactual thinking: What theories do in design. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(1):78–92, 2022.
- [We91] Weiser, Mark: The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3):66–75, September 1991.
- [Za17] Zagermann, Johannes; Pfeil, Ulrike; Fink, Daniel; von Bauer, Philipp; Reiterer, Harald: Memory in Motion: The Influence of Gesture- and Touch-Based Input Modalities on Spatial Memory. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, S. 1899–1910, 2017.
- [Za20] Zagermann, Johannes; Pfeil, Ulrike; von Bauer, Philipp; Fink, Daniel; Reiterer, Harald: "It's in my other hand!" – Studying the Interplay of Interaction Techniques and Multi-Tablet Activities. In: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, S. 1–13, 2020.
- [Za22] Zagermann, Johannes; Hubenschmid, Sebastian; Balestrucci, Priscilla; Feuchtner, Tiare; Mayer, Sven; Ernst, Marc O.; Schmidt, Albrecht; Reiterer, Harald: Complementary Interfaces for Visual Computing. *it - Information Technology*, September 2022.
- [Za23] Zagermann, Johannes; Hubenschmid, Sebastian; Fink, Daniel Immanuel; Wieland, Jonathan; Reiterer, Harald; Feuchtner, Tiare: Challenges and Opportunities for Collaborative Immersive Analytics with Hybrid User Interfaces. In: *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. IEEE, Sydney, Australia, Oktober 2023.
- [Za24] Zagermann, Johannes: Evaluating Complementary Interfaces as a Design-Informing Activity. Dissertation, Universität Konstanz, 2024.



Johannes Zagermann arbeitet als Postdoc in der Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Konstanz. Er studierte Wirtschaftsinformatik (B.Sc.) an der Hochschule Furtwangen und Information Engineering mit Schwerpunkt Mensch-Computer-Interaktion (M.Sc.) an der Universität Konstanz und Linköping University. Er promovierte 2024 an der Universität Konstanz mit Auszeichnung.

Seine Forschung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs TRR161 "Quantitative Methoden für Visual Computing" konzentriert sich auf bedeutsame Kombinationen von Geräten und Modalitäten (Complementary Interfaces) für individuelle und kollaborative Szenarien sowie auf die Messung kognitiver Belastung in interaktiven Systemen. Dabei untersucht er, wie Nutzer:innen mehrere Geräte interaktiv und kombiniert benutzen, welche kognitiven Anforderungen dabei entstehen und wie verschiedene Interaktionsmodalitäten gestaltet werden können, um die Benutzererfahrung zu verbessern. Er veröffentlicht regelmäßig auf renommierten akademischen Konferenzen wie der ACM CHI, sowie in hochangesehenen Journals wie *ACM Computing Surveys*.