
TEAMPROJEKT- SOFTWAREENTWICKLUNG: MYLOAD, ENTWICKLUNG EINER ECHTZEIT- VISUALISIERUNG FÜR MENTALE BELASTUNG AM HYBRIDEN ARBEITSPLATZ

Teamprojekt- Softwareentwicklung Bericht

von

Kerem Beker (2495407)

Ömer Can Küçük (2489949)

Clara Schmid (2425749)

Alexander Zinn (2477518)

Anian Geist (2466033)

31.3.2025

At the Department of Economics and Management

Institute for Information Systems (WIN)

Information Systems I | human-centered systems lab (h-lab)

Reviewer: Prof. Dr. Alexander Mädche

Supervisor: Dr. Julia Seitz, Chiara Pascale Krisam, M.Sc

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	1
1 Einleitung.....	2
2 Methoden	3
3 Ergebnisse.....	5
3.1 Analysephase	5
3.1.1 Literatur Recherche	5
3.1.2 Interviews	5
3.2 Spezifikationsphase	8
3.3 Designphase.....	11
3.4 Analysephase zweite Iteration	12
3.4.1 Fragebogen für die Visualisierung	12
3.5 Spezifikation zweite Iteration	14
3.6 Design zweite Iteration	15
3.6.1 Wahl der technischen Mittel	15
3.6.2 Verarbeitung der EEG-Daten	16
3.6.3 Cognitive Load Score.....	18
3.6.4 Visualisierung	21
3.7 Evaluation	25
4 Fazit.....	31
5 Ausblick	31
6 Quellen.....	32

Anhänge.....	v
Anhang A.....	v
Anhang B.....	x
Anhang C.....	xii
Anhang D.....	xix
Anhang E.....	xix

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Human Centered Design Prozess ¹	3
Abbildung 2: Zeitplan des HCD Prozesses	3
Abbildung 3: Verteilung der Interviewteilnehmenden nach Beschäftigungsstatus	6
Abbildung 4: Demographie der Interviewteilnehmenden	6
Abbildung 5: Zustandsdiagramm des High- Fidelity- Prototypen	11
Abbildung 6: Wahlmöglichkeiten zur Visualisierung aus dem Fragebogen	13
Abbildung 7: Vereinfachtes UML- Diagramm der Anwendung	16
Abbildung 8: Hdf5 Datenstruktur	17
Abbildung 9: Beispielhafter Verlauf der Cognitive Load Score Funktion	19
Abbildung 10: Durchschnittliche NASA TLX Werte bei N- Back Tests	20
Abbildung 11: Eingblendete Visualisierung der kognitiven Belastung	21
Abbildung 12: Ausgeblendete Visualisierung der kognitiven Belastung	22
Abbildung 13: Videomeeting- Seite der Anwendung	23
Abbildung 14: Retrospektive Darstellung einer Session mit Kommentaren	24
Abbildung 15: Darstellung zweier Sessions zum Vergleich	24
Abbildung 16: Zeitlicher Ablauf der Evaluation	25
Abbildung 17: Graph NASA TLX Werte / Durchschnitt CL Score Werte	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: User Needs und User Requirements Spezifikationsphase I.....	10
Tabelle 2: Finale User Needs und User Requirements Spezifikationsphase II	14
Tabelle 3: Ergebnisse der Post- Session- Fragen.....	28

1 Einleitung

Der Alltag eines Studierenden verlagert sich, sei es durch die Digitalisierung oder die Corona-Pandemie, immer mehr in den Online-Bereich. So belegten zum Beispiel im Herbst 2022 in den Vereinigten Staaten mehr als die Hälfte der Studierenden mindestens einen Fernstudienkurs ([nces.ed.gov 2021 - 2022](https://nces.ed.gov/ipeds/data/ipedsreports/2022/2022-2023-remote-learning)). Eine Form dieses digitalen Angebots, sind auch Online-Vorlesungen. Diese könnten kognitiv anstrengender sein, als ihre Präsenz-Entsprechungen (Hinds 2009). Diese kognitive Belastung wird auch als Cognitive Load bezeichnet und ist: Die Belastung des kognitiven Systems, die durch Ausführung einer bestimmten Aufgabe verursacht wird (John Sweller 1998).

Es kann auch zu Überlastungen kommen, welche sich negativ auf das Leistungsvermögen auswirken können (de Jong 2010).

Durch das Monitoring und die Visualisierung der kognitiven Belastung der Studierenden während Online-Vorlesungen möchten wir eine effektivere und effizientere Lernerfahrung bieten.

2 Methoden

Für die Entwicklung des Projekts wurde der Human-Centered-Design Prozess (DIN EN ISO 9241-210) gewählt, welcher aus 5 Schlüssel-Aktivitäten besteht und indem Menschen durch den gesamten Prozess hinweg involviert sind, insbesondere bei den Nutzungsanforderungen für die Software.

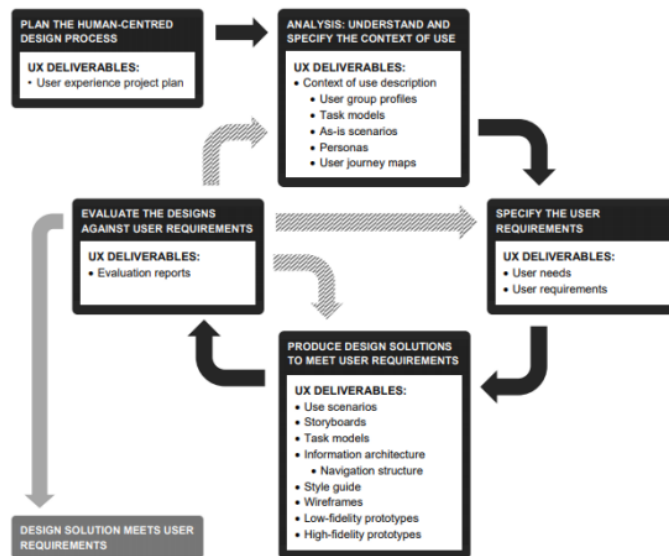


Abbildung 1: Human Centered Design Prozess¹

Nachdem nach der Zwischenpräsentation Mitte Januar eine weitere Analysephase, Spezifikationsphase und Designphase dazukamen, entwickelten wir einen neuen Zeitplan wie in Abbildung 2 zu sehen.

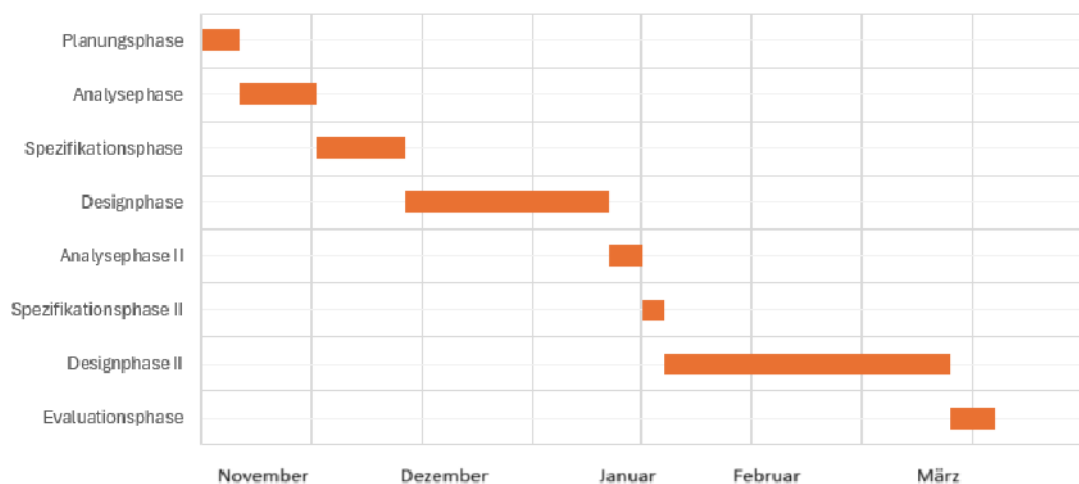


Abbildung 2: Zeitplan des HCD Prozesses

Analysephase: Die Analysephase diente in erster Linie dazu, die dem Projekt zugrundeliegenden Konzepte, wie Cognitive Load, Video Meeting Fatigue oder Cognitive Overload, und Zusammenhänge, wie solche zwischen EEG-Daten und Cognitive Load, zu erforschen, sowie mögliche Nutzergruppen und Szenarien einzugrenzen, sodass insgesamt eine detaillierte Beschreibung des Nutzungskontext ergibt. Hierfür wurde zunächst eine explorative Literaturrecherche gefolgt von einem initialen Interview durchgeführt.

Spezifikationsphase – Erste Iteration: In dieser Phase wurden die Ergebnisse der Analysephase zum Formulieren präziseren Nutzeranforderungen verwertet. Diese Anforderungen umfassen die Vorstellungen der Nutzer von der Visualisierung während Videomeetings und Einzelarbeit, sowohl retrospektiv als auch in Echtzeit.

Designphase – Erste Iteration: Die Ergebnisse der letzten Phase wurden in dieser Phase in zwei Prototypen, low und high-fidelity eingearbeitet.

Analysephase – Zweite Iteration: In dieser Phase wurde der Projektumfang eingegrenzt und der Nutzungskontext auf eine Art des Videomeetings, die Onlinevorlesung beschränkt. Die Literaturrecherche blieb in großen Teilen relevant, zur genaueren Erfassung des neuen Kontextes und möglichen folgenden Änderungen der Erwartungen und die Visualisierung wurde eine weitere Nutzerbefragung durchgeführt.

Spezifikationsphase – Zweite Iteration: Die Ergebnisse der ersten Spezifikationsphase wurden auf den neuen Nutzungskontext angepasst und selektiert.

Designphase – Zweite Iteration: Diese Phase beinhaltete vor allem die Implementierung der Applikation. Hierfür wurden die Ergebnisse der ersten Phase, wie der Applikation-Flow und das grobe Erscheinungsbild der Applikation, aber in erster Linie die Nutzerbedürfnisse aus der zweiten Spezifikationsphase verwertet.

Evaluation: Die Anwendung wurde auf ihre Bedienbarkeit, Schwachstellen und die Aussagekraft der Anzeige evaluiert. Insgesamt wurde hierfür mit 5 Personen verschiedene Tests, unter anderem ein Usability Test, durchgeführt. Die Rückmeldungen sowie die ermittelten kognitiven Belastungswerte wurden anschließend analysiert.

3 Ergebnisse

3.1 Analysephase

3.1.1 Literatur Recherche

Es wurde eine explorative Literaturrecherche zu den Zusammenhängen von Cognitive Load und Meetings sowie Cognitive Load und individueller Aufgabenbearbeitung durchgeführt. Diese resultierte in einer Auswahl von insgesamt 30 Artikeln (s. Anhang).

In einem zweiten Schritt wurde nach Artikeln gefiltert, die alle der drei folgenden Elemente beinhalten:

1. Visualisierung/Biofeedback für Probanden,
2. auf Basis von gemessenem Cognitive Load (inkl. Erweiterung auf ähnliche Messmethoden, da wenig direkte Forschung vorlag) und
3. Fokus auf Meetings und individuelle Arbeitsprozesse, die unserer Fragestellung näher kommen.

Die Literaturrecherche ergab unter Anderem, dass der Cognitive Load während Video-Meetings generell höher ist als bei Meetings ohne Video (Hinds 2009) oder in Präsenz (Carlos Ferran 2008). Dies liegt unter anderem nach (Riedl 2022) daran, dass fehlende Informationen, wie verminderter Augenkontakt oder eine eingeschränkte Wahrnehmung der Körperhaltung, ausgeglichen werden müssen. Gleichzeitig können überflüssige Informationen, insbesondere die Selbstansicht während des Meetings, die Automatisierung stören. Eine direkte Konsequenz einer zu hohen kognitiven Belastung ist die sogenannte Video-Meeting-Fatigue. Zudem kann ein Cognitive Overload auftreten, der sich negativ auf den Lernerfolg auswirkt (de Jong 2010), (Skulmowski 2022), indem nach (Mutlu-Bayraktar 2019) er die Aufnahmefähigkeit reduziert sowie zu erhöhter Ermüdung und verringerter Motivation führt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Cognitive Load während Video-Meetings ansteigen kann, was zu Ermüdung führt und die Effektivität sowie Effizienz des Lern- oder Arbeitsprozesses verringert. Zudem wurde beobachtet, dass die Fähigkeit, mit dieser Belastung umzugehen, individuell unterschiedlich ist (Hiebel 2016). Das bedeutet, dass nicht alle Personen gleichermaßen von derselben kognitiven Beanspruchung betroffen sind.

3.1.2 Interviews

Nach der Literaturrecherche wurden semistrukturierte Interviews durchgeführt. Der Interviewbogen befindet sich in Anhang A. Diese Interviews halfen, ein besseres Verständnis der As- Is Situation für die individuelle Wahrnehmung und den Umgang mit kognitiver Belastung zu gewinnen.

Dabei wurden verschiedene Kategorien erfasst, unter anderem die aktuelle Umgangsweise mit kognitiv belastenden Situationen der Befragten in Meetings und bei der individuellen Aufgabenbearbeitung am hybriden Arbeitsplatz, Vorstellungen zur Visualisierung sowie bestehende Bedenken. Insgesamt wurden zehn Interviews mit einer Dauer von 25 bis 60 Minuten geführt und mit einem mobilen Endgerät aufgezeichnet.

Zur Transkription kam das Transkriptionstool des Lehrstuhls (htt) zum Einsatz. Die Auswertung erfolgte anschließend mittels induktiver Codierung.

Die folgenden Grafiken stellen die demografischen Statistiken der Befragten dar. Abbildung 3 zeigt die Tätigkeit der Gefragten und Abbildung 4 deren Alters- und Geschlechtsverteilung veranschaulicht.

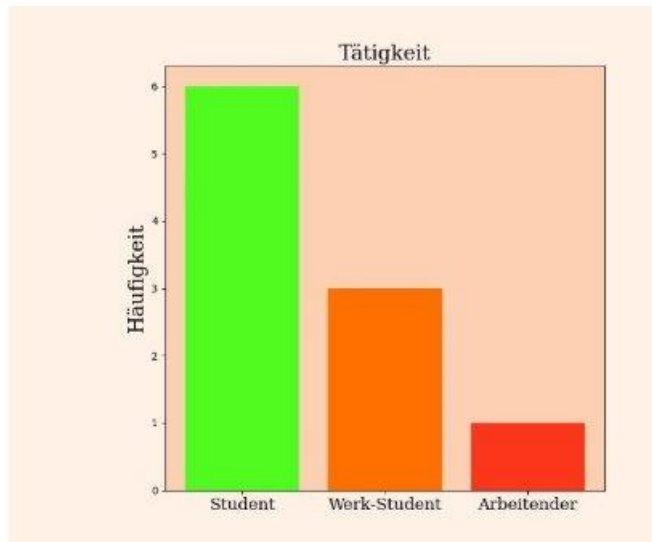


Abbildung 3: Verteilung der Interviewteilnehmenden nach Beschäftigungsstatus

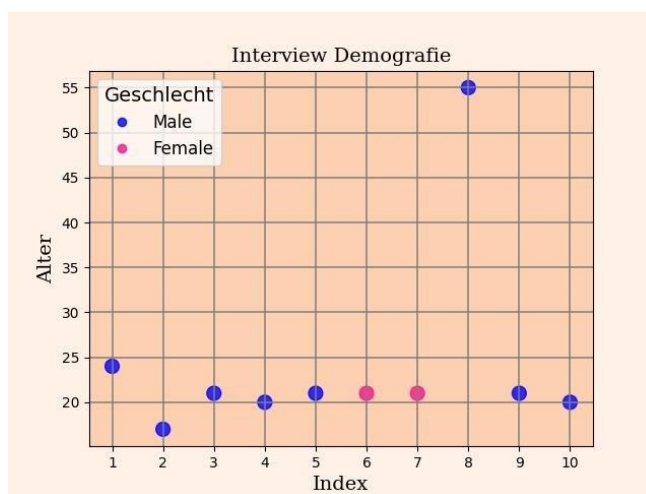


Abbildung 4: Demographie der Interviewteilnehmenden

Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Interviews zusammengefasst. 9/10 Teilnehmer konnten Momente erhöhter kognitiver Belastung beschreiben. Teilnehmer 3 beschrieb solchen Moment mit *„[...] meistens sind es dann Aufgaben, die dann neu für mich sind und ich dann auch nochmal selbst erarbeiten muss, wie ich das jetzt hier programmiere [...] und das wird mich schon eher stärker belasten.“* (siehe Anhang A Fragekategorie B Frage a)

Diese Belastung wird von allen Befragten erst durch Ablenkbarkeit oder durch körperliche Signale wie erhöhten Puls, Juckreiz oder ein unangenehmes Gefühl wahrgenommen. Teilnehmer 5 erzählte *„wenn meine kognitive Belastung steigt, reagiere ich oft körperlich. Ich bemerke, dass ich unruhig werde – zum Beispiel fange ich an, mit meinem Bein zu wippen oder meinen Oberkörper hin- und herzubewegen. Zusätzlich bekomme ich manchmal Kopfschmerzen und merke, dass meine Konzentration abnimmt.“* (siehe Anhang A Fragekategorie B Frage c).

Die Bewertung des Erfolgs eines Meetings erfolgt unterschiedlich: Einige orientieren sich am Informationsgewinn, an den danach zu erledigenden Aufgaben oder der aufgewendeten Zeit, während andere den reibungslosen Austausch oder ihr persönliches Gefühl als Maßstab nehmen. 8/10 der Interviewten erlebt Situationen erhöhter kognitiver Belastung wöchentlich, 6/10 täglich

Aus den Ergebnissen wurden zwei Benutzergruppen abgeleitet, die unterschiedliche Erfahrungen im Umgang mit Cognitive Load aufweisen und verschiedene Anforderungen an das Programm haben. Außerdem wurden Personas erstellt die beim Verstehen der Benutzergruppen helfen sollten.

3.2 Spezifikationsphase

In dieser Phase wurden auf Grundlage der Ergebnisse der vorherigen Phase, insbesondere der Interview-Ergebnisse und User-Groups, die User-Needs entwickelt. Daraufhin wurden aus diesen die User-Requirements herausgearbeitet. Anschließend wurden User-Stories entsprechend den ermittelten Needs festgelegt. Die User-Requirements dienen dazu nach der Implementierung zu überprüfen ob die Bedürfnisse der User durch die entwickelte Anwendung erfüllt werden.

In der Spezifikationsphase II befinden sich die gefilterten User Needs und User Requirements welche auf den finalen Schwerpunkt zutreffen und auch implementiert wurden.

Interview	User Needs	User Requirements
Kategorie: D Frage: b Teilnehmer: 10/10	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer möchten darauf aufmerksam gemacht werden wenn ihr CL hoch ist, sodass sie darauf reagieren können um diesen zu senken 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer bekommt eine Benachrichtigung, wenn sein CL zu hoch ist
Kategorie: D Frage: a Teilnehmer: 9/10	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer möchten für die Arbeit oder Online-Meetings selbst auswählen können ob sie die Echtzeitvisualisierung sehen oder nicht 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer kann selbst wählen, wie die Echtzeitdarstellung aussieht
Kategorie: D Frage: c Teilnehmer: 8/10 Teilnehmer 4 erklärte: „ <i>Das finde ich schon sehr viel besser als eine Echtzeitaufklärung darüber.[...]</i> “ (siehe Anhang A Fragekategorie D Frage c)	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer möchten nach einer Arbeitssession oder eines Online-Meetings eine Visuelle Darstellung davon haben um retrospectiv dies zu beurteilen und zukünftig zu optimieren 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer kann nachträglich seinen CL als Graph oder Diagramm einsehen

<p>Kategorie: D ; E</p> <p>Frage: b ; b</p> <p>Teilnehmer: 9/10 ; 10/10</p> <p>Teilnehmer 7 erklärte: „<i>Ja, das ist notwendig.</i>“ (siehe Anhang A Fragekategorie E Frage b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Während wichtigen Arbeitssessions oder Online-Meetings haben die Nutzer das Bedürfnis die Benachrichtigungen auszuschalten, um ungestört arbeiten zu können 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzer kann Benachrichtigungen ausschalten
<p>Kategorie: D</p> <p>Frage: b.2</p> <p>Teilnehmer: 4/10</p> <p>Teilnehmer 1 erklärte: „<i>[...]dann wären Tipps wahrscheinlich schon hilfreich[...]</i>“ (siehe Anhang A Fragekategorie D Frage b.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn der CL von Nutzern zu hoch ist möchten sie auf mögliche Bewältigungsstrategien hingewiesen um diese direkt umsetzen zu können 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzer kann über mögliche Bewältigungsstrategien gegen einen hohen CL benachrichtigt werden wenn erwünscht
<p>Kategorie: D</p> <p>Frage: a ; b</p> <p>Teilnehmer: 2/10; 1/10</p> <p>Teilnehmer 3 erklärte: „<i>Am besten, dass es dann schon in die Software eingebaut ist[...]</i>“ (siehe Anhang A Fragekategorie D Frage b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzer möchten während Video-Meetings nicht, dass die Visualisierung in einem extra Fenster geöffnet werden und dadurch die Nutzung verkompliziert 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Programm hinsichtlich von Video Meetings integriert dieses
<p>Kategorie: E</p> <p>Frage: a</p> <p>Teilnehmer: 4/10</p> <p>Teilnehmer 10 erklärte: „<i>Ja muss man schauen sind sensible Daten also auf Datenschutz achten. [...]</i>“ (siehe Anhang A Fragekategorie E Frage a)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzer möchten nicht, dass die von ihnen gesammelten Daten frei zugänglich sind und sonst anonymisiert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Verarbeitung der am eigenen Rechner oder in der Cloud anonymisiert sind
<p>Kategorie: D</p> <p>Frage: c</p> <p>Teilnehmer: 2/10</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzer möchten während einer Online-Vorlesung Notizen schreiben können die ihnen später in der 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzer kann Notizen schreiben, die später in der Retroperspektive angezeigt werden

Teilnehmer 1 erklärte: „[...] eine Notiz schreiben kann und kommentieren kann [...]“ (siehe Anhang A Fragekategorie D Frage c)	Retroperspektive angezeigt werden	
--	-----------------------------------	--

Tabelle 1: User Needs und User Requirements Spezifikationsphase I

3.3 Designphase

In dieser Phase wurden zunächst ein Low-Fidelity- und darauf aufbauend ein High-Fidelity-Prototyp mit Figma erstellt. Der High-Fidelity-Prototyp basiert auf dem Nutzungskontext der ersten Spezifikationsphase und weicht daher in mehreren Bereichen von der finalen Implementierung ab. Dennoch erwies er sich als nützlich, da sowohl der Applikations-Flow (siehe Abbildung 5) als auch viele ästhetische Details der Applikation maßgeblich aus ihm übernommen wurden.

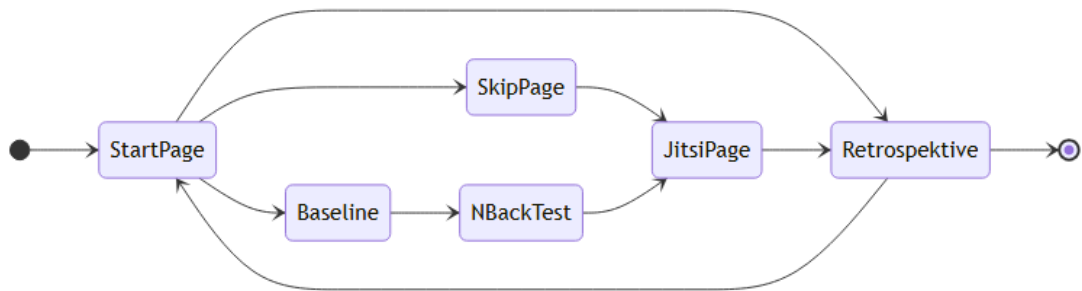


Abbildung 5: Zustandsdiagramm des High- Fidelity- Prototypen

3.4 Analysephase zweite Iteration

3.4.1 Fragebogen für die Visualisierung

Nach erstellen des Prototyps und der Midterm- Präsentation hat sich herausgestellt, dass der Umfang des Projektes zu groß gefasst war und es wurde die Entscheidung getroffen den Fokus auf einen speziellen Anwendungsfall von Video-Meetings nämlich den Online-Vorlesungen zu legen. Wir kamen zu dem Schluss, dass die Entwicklung eines Programms, das die Bedürfnisse aller Nutzergruppen gleichermaßen erfüllt, den Rahmen des Projekts sprengen würde. Stattdessen ermöglicht die Fokussierung auf Vorlesungs-basierte Video-Meetings die Anforderungen der Hauptzielgruppe, den Teilnehmenden an Online-Vorlesungen, bestmöglich zu erfüllen.

Diese Entscheidung wurde auch durch weitere Faktoren beeinflusst. Ein wesentlicher Punkt ist die hohe Sensibilität des zur EEG-Messung verwendeten Kopfhörers, wenn der/die Träger/in spricht. Wenn die Nutzer sprechen, schwanken die Messwerte stark, was zu unzuverlässigen und wenig aussagekräftigen Ergebnissen führt. Dies macht eine präzise Erfassung der kognitiven Belastung in diskussions-lastigen Meetings nahezu unmöglich.

Daraufhin wurde ein Fragebogen durchgeführt, um zu ermitteln, welche Art der Darstellung die Bedürfnisse der Nutzer am besten erfüllt. Der Fragebogen ist in Anhang B zu sehen. Befragt wurden 10 Studierende, von denen 9 von 10 regelmäßig an Online-Vorlesungen teilnehmen oder teilgenommen haben. Der Fragebogen umfasste Fragen zur Person, zur Teilnahme an Vorlesungen, zur Verständlichkeit der Berechnung des CL-Scores sowie zu den verständlichsten Visualisierungsalternativen. Der Fragebogen hatte eine Bearbeitungsdauer von etwa 5 bis 10 Minuten. Der Fragebogen beinhaltet drei verschiedene Visualisierungsalternativen wobei die erste durch verschiedene Apps welche auch Biosignale verwenden inspiriert wurde und aus einer Zahl mit einem Halbkreis-Balken darüber besteht. Die zweite ist ein Barometer mit einem Farbverlauf von Grün über Gelb zu Rot. Die Dritte ist eine Ampeldarstellung mit drei verschiedenen Anzeigen grün, gelb und rot. Die drei Alternativen sind in Abbildung 6 zu sehen Die letzten beiden Visualisierungsalternativen wurden aus den Ergebnissen der Interviews entnommen. Ausgewertet wurde der Fragebogen durch eine Codierung. Dabei stellte sich heraus acht von zehn der Befragten fanden die erste Visualisierungsalternative am verständlichsten.



Abbildung 6: Wahlmöglichkeiten zur Visualisierung aus dem Fragebogen

3.5 Spezifikation zweite Iteration

Nach der Fokussierung auf Online-Vorlesung haben wir die folgenden User Needs und User Requirements aus denen der ersten Spezifikationsphase herausgefiltert. Diese sind die finalen User Requirements welche als Maßstab für die Implementierung dienen.

User Needs	User Requirements
<ul style="list-style-type: none"> - Nutzer möchten nach einer Arbeitssession oder eines Online-Meetings eine Visuelle Darstellung davon haben um retrospectiv dies zu beurteilen und zukünftig zu optimieren -Nutzer möchten während Video-Meetings nicht, dass die Visualisierung in einem extra Fenster geöffnet werden und dadurch die Nutzung verkompliziert -Nutzer möchten für die Arbeit oder Online-Meetings selbst auswählen können ob sie die Echtzeitvisualisierung sehen oder nicht -Nutzer möchten nicht, dass die von ihnen gesammelten Daten frei zugänglich sind und sonst anonymisiert werden -Nutzer möchten während einer Online-Vorlesung Notizen schreiben können die ihnen später in der Retrospektive angezeigt werden 	<ul style="list-style-type: none"> -Das Programm integriert die Onlinevorlesung -Nutzer kann nachträglich seinen CL als Graph oder Diagramm einsehen -Nutzer kann Echtzeitdarstellung ein- und ausschalten -Die Verarbeitung der am eigenen Rechner oder in der Cloud anonymisiert sind -Nutzer kann Notizen schreiben, die später in der Retrospektive angezeigt werden

Tabelle 2: Finale User Needs und User Requirements Spezifikationsphase II

3.6 Design zweite Iteration

3.6.1 Wahl der technischen Mittel

Bei der Wahl der Implementierungswerkzeuge wurde viel Gestaltungsfreiheit eingeräumt, daher wurden auch zahlreiche Ansätze und Werkzeuge in Betracht gezogen. Letztlich waren die wesentlichen Entscheidungsfaktoren immer die Kompatibilität mit den erforderlichen Bibliotheken, die Wiederverwendbarkeit des von unseren Betreuern bereitgestellten Codes sowie die Minimierung von Overhead und Boilerplate (Boilerplate meint in diesem Dokument wiederholbaren, trivialen Code, der für die Projektstruktur unbedingt benötigt wird – z. B., weil er durch ein Framework vorgegeben ist – aber nicht unmittelbar zur Business Logic beiträgt).

Die erste getroffene Wahl war die der Programmiersprache. Diese Entscheidung war unter den gegebenen Umständen fast vorbestimmt, da bereits elementare Code-Snippets von den Betreuern bereitgestellt wurden und Erfahrungen mit den Python-Bindings der für das Projekt zentralen Library BrainFlow vorhanden waren. Eine umfangreiche Gegenüberstellung anderer Optionen war deshalb nicht notwendig – Python war absehbar die beste Entscheidung.

Dann stand die Frage im Raum, ob die Applikation als Desktop- oder Web-Applikation umgesetzt werden sollte. Aus zwei Gründen wurde zugunsten einer Desktopanwendung entschieden: Zum einen richtet sich das Programm ausschließlich an einen einzelnen Nutzer, dessen Daten an seiner lokalen Maschine eingelesen und auch wieder an diese zurückgesendet werden müssen. Der einzige Schritt, der bei einer Web-Anwendung auf einen externen Server verschoben werden könnte, wäre die Verarbeitung der besagten Daten. Da diese in unserer Applikation nicht besonders ressourcenintensiv erfolgt, wäre der durch häufiges Versenden der Daten generierte Kommunikations-Overhead vermutlich größer gewesen. Zum anderen wurde während des ersten Interviews von Teilnehmenden der Wunsch geäußert, dass ihre Daten lokal verarbeitet werden, da sie Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes hatten.

Die nächste größere Entscheidung betraf die Wahl des GUI-Frameworks. Nach einer initialen, breiten Suche kamen für Python Kivy, Tkinter, customTkinter, PySide und PyQt in die nähere Auswahl. Entscheidend waren mehrere Faktoren, wie zum Beispiel die steile Lernkurve bei Kivy oder die eingeschränkte Ästhetik von Tkinter. Letztlich war jedoch das umfangreiche Ökosystem ausschlaggebend. Erste Testläufe mit den verschiedenen Alternativen zeigten, dass es Probleme gab, eine Web-Engine zu finden, die mit customTkinter und der Python-Version anderer wichtiger Abhängigkeiten kompatibel war. Um derartige Probleme in kritischen Phasen des Projekts zu vermeiden, fiel die Wahl auf die Python-Bindings für Qt, die von Haus aus viele Features kompatibel mit einer einzelnen Python-Version anbieten. Zwischen PySide und PyQt fiel die Wahl auf PyQt, da die Unterschiede gering sind und PyQt tendenziell schneller auf neue Qt-Updates reagiert.

Zuletzt musste noch ein Architekturmuster festgelegt werden. Diese Entscheidung wurde erst zum Schluss getroffen, da Frameworks manchmal einen starken Einfluss darauf haben. PyQt unterstützt prinzipiell verschiedene Muster wie MVP, MVVM, MVC

und das Model-View-Delegate-Muster. Schlussendlich passte das Projekt ideal zum MVC-Muster, welches sich nur minimal vom Model-View-Delegate-Muster unterscheidet, da in etwa gleichermaßen Business Logic und View-Komponenten vorhanden sind und diese sich sehr gut voneinander trennen lassen. Diese Trennung war insofern vorteilhaft, als dass parallel an View und Model gearbeitet werden konnte und Elemente problemlos austauschbar waren.

Während der Entwicklung kamen neben Git auch Poetry für das Dependency Management sowie Black für ein einheitliches Codeformat zum Einsatz.

Als Video-Meeting-Provider wurde Jitsi-Meet verwendet. Eine kostenfreie, open-source Videokonferenzsoftware verwendet. Diese ließ sich durch ihre gut dokumentierte API reibungsfrei in die Anwendungslogik einfügen. In Abbildung 7 sieht man ein vereinfachtes UML- Diagramm der Anwendung.

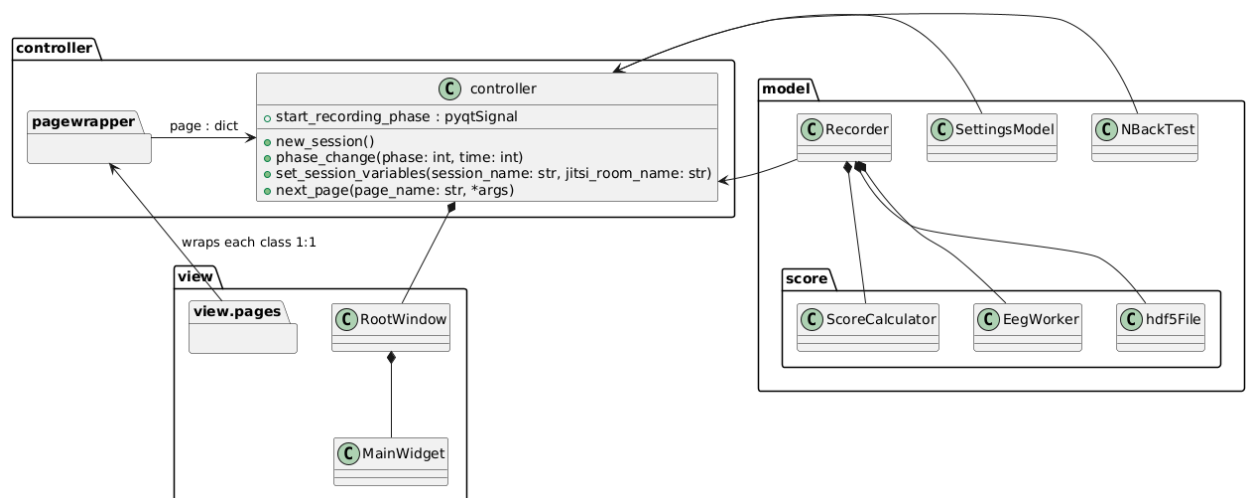


Abbildung 7: Vereinfachtes UML- Diagramm der Anwendung

3.6.2 Verarbeitung der EEG-Daten

Zur Erfassung der EEG-Daten wurde ein Paar OpenExG-Kopfhörer verwendet von Knierim, et al. 2023. Im Folgenden sind die einzelnen Schritte der Datenbeschaffung und –verarbeitung aufgegliedert, beginnen mit genannten Kopfhörern bis zum Cognitive Load Index aufgegliedert:

Das in den Kopfhörern enthaltene OpenBCI-Cython-Board kann über die integrierte RFduino-BLE-Radio-Technologie und den zugehörigen USB-Adapter angesprochen werden. Diese Aufgabe übernimmt in der implementierten Applikation die BrainFlow-Bibliothek. Die EEG-Daten werden dabei sekundlich vom Board abgegriffen.

Im ersten Verarbeitungsschritt werden Störsignale um 50 Hz sowie irrelevante Frequenzen außerhalb des Bereichs von 3 Hz bis 45 Hz herausgefiltert. Anschließend wird aus den Rohdaten die spektrale Leistungsdichte berechnet. Für beide Schritte

wurden von den Betreuenden bereitgestellte Funktionen in den Applikationscode eingebunden.

Im nächsten Schritt wird das Verhältnis der Theta- zur Alphawellenleistung, der Cognitive Load Index, der EEG-Daten berechnet.

Um unplausible Werte des Cognitive Load Index herauszufiltern, kommt eine Ausreißer-Erkennung zum Einsatz. Werte über 7,47 werden entfernt. Der Schwellenwert wurde vorerst mithilfe von Tukey's Fences mit dem Parameter $k = 3$, einer statistischen Heuristik zur Ausreißerbestimmung, ermittelt, die auf 2,5 Stunden ungefilterte Cognitive Load Indexe angewendet wurde.

Alle Werte unterhalb dieses Schwellenwertes werden in einen First-In-First-Out-Buffer mit einer Tiefe von 15 Werten aufgenommen, über den sekundlich ein Durchschnitt berechnet wird. Dieser Schritt dient der Glättung der Daten für das Frontend der Applikation.

Nach dieser Verarbeitung werden die Daten zur Visualisierung und Speicherung weitergeleitet.

Datenspeicherung: Zur Speicherung der gemessenen Daten wurde sich für das hdf5 (Hierarchical Data Format Version 5) Datenformat entschieden. Dieses Format ist für große Datenmengen geeignet. Es ermöglicht weiterhin verschiedene Datenordner in einer hdf5 Datei zu speichern und zuzugreifen. Die gewählte Struktur der hdf5 Daten sieht man in Abbildung 8. Für jede neue Session wird genau eine erstellt.

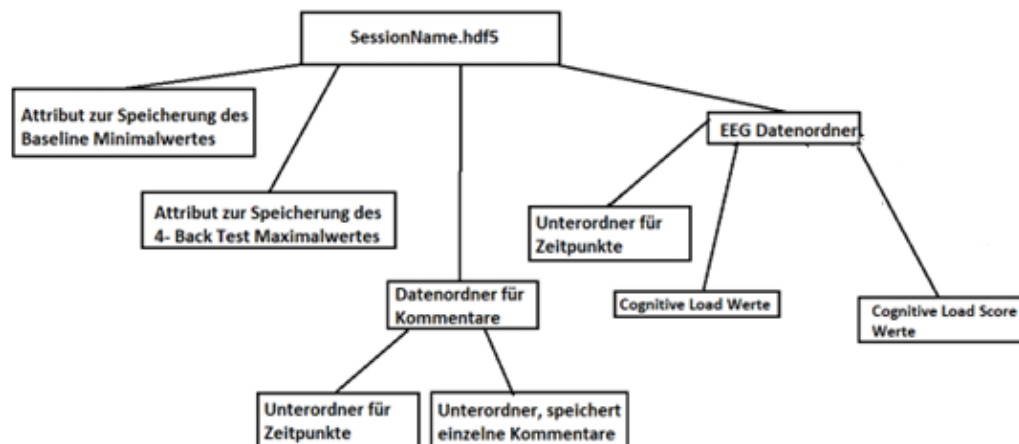


Abbildung 8: Hdf5 Datenstruktur

3.6.3 Cognitive Load Score

Nach der Ermittlung des Cognitive Load Index war das Ziel den Nutzern diesen Wert vernünftig zu vermitteln. Die Tatsache, dass Cognitive Load Index stark von Person zu Person und alltäglichen Bedingungen variiert, führte zum Bedarf eines weiteren aussagekräftigen und intuitiven Index.

Da in anderen Anwendungen, die auch Biosignale nutzen, Begriffe wie “Sleep Score” und “Activity Score” weit verbreitet sind, wurde der neu entwickelte Index als “Cognitive Load Score” bezeichnet.

Der Score wurde so entworfen, dass er den Wertebereich von 0 bis 100 (niedrig bis hoch) hat. Zur Berechnung von Cognitive Load Score wurde von zwei Werten Gebrauch gemacht, nämlich dem minimalen Cognitive Load Index und dem maximalen Cognitive Load Index. Diese zwei Werte spielten eine wichtige Rolle, um die Beziehung, zwischen der vom Nutzer erlebten, kognitiven Belastung und dem gemessenen Index herzustellen. Dadurch konnte festgelegt werden, wann die Nutzer einen niedrigen oder hohen Score sehen sollten. Im Folgenden wird näher darauf eingegangen, wie diese beiden Werte ermittelt werden. In unseren Versuchen wurde festgestellt, dass der Cognitive Load Index unter den gemessenen Minimal- oder Maximalwert fallen oder diesen überschreiten kann. Daher wurden die Werte im Bereich von 0 bis 10 sowie von 90 bis 100 als Puffer beibehalten.

Zur Auswahl der zu verwendenden Score-Funktion wurden zunächst die erforderlichen Bedingungen mathematisch formuliert. Sei S die Score Funktion und I der gemessene Cognitive Load Index:

- $S : I \rightarrow (0, 100), \quad I = (0, \infty)$
- $I_{\min}, I_{\max} \in I$
- $S(I_{\max}) \approx 90$
- $S(I_{\min}) \approx 10$
- $\lim_{I \rightarrow \infty} S(I) = 100$
- $\lim_{I \rightarrow 0} S(I) = 0$

Es wurde entschieden, eine logistische Funktion zu verwenden, da sie alle diese Anforderungen erfüllt:

$$S(I) = \frac{100}{1 + e^{-k(I-x_0)}} \quad \text{mit} \quad x_0 = \frac{I_{\min} + I_{\max}}{2}$$

$$k = \frac{\ln(9)}{I_{\min} + I_{\max}}$$

Die Parameter x_0 und k werden für jede Session basierend auf dem minimalen und maximalen Cognitive Load Index, die vor der Session erfasst werden, neu berechnet. In Abbildung 9 sieht man den beispielhaften Verlauf der Score Funktion, wenn der minimale Index 1,5 und der maximale Index 4,5 ist.

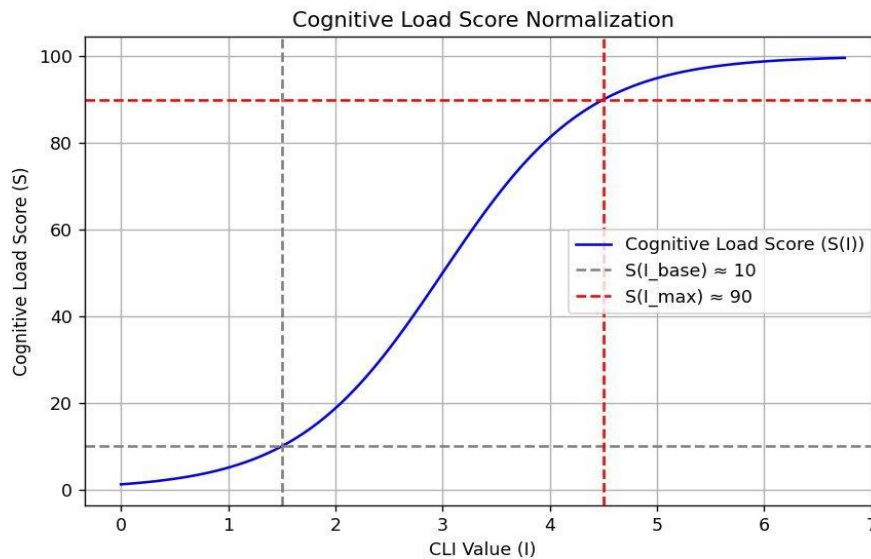


Abbildung 9: Beispielhafter Verlauf der Cognitive Load Score Funktion

Um den minimalen und maximalen Cognitive Load Index der Nutzer zu bestimmen, durchlaufen diese zwei Tests. Diese Tests sind speziell darauf ausgelegt, die mentale Belastung der Nutzer auf die zwei angestrebten Niveaus zu bringen.

Für Fälle, in denen Nutzer keine Zeit mit den Tests verlieren möchten, wurde eine Skip-Funktion in das Programm integriert, die es ermöglicht, Werte aus einer vorherigen Session zu verwenden. Damit diese Werte nicht zu stark von den tatsächlichen Werten abweichen, ist die Auswahl auf Sessions der letzten zwei Tage begrenzt.

Baseline Test:

Zur Ermittlung des minimalen Cognitive Load Index, führen die Nutzer zu Beginn einer Session einen Baseline-Test durch. Sie schließen für 60 Sekunden die Augen und bleiben ruhig. Währenddessen erfasst das Programm den niedrigsten gemessenen Cognitive Load Index aus allen gemessenen Werten und speichert ihn als Minimum.

N-Back Test:

Um den maximalen Cognitive Load Index bestimmen zu können, war ein Test erforderlich, der die mentale Belastung der Nutzer ähnlich wie eine Online-Vorlesung erhöht. Diesen führen die Nutzer nach der Baseline Aufnahme durch und dauert 90 Sekunden. Durch die Analyse der Artikel (Baddeley 2010), (Umberto León-Domínguez 2015) wurde geschlussfolgert, dass N-Back-Tests verlässliche Instrumente zur Steigung des Working Memory sind. Zudem ist das Working Memory ein zentrales Konzept im Lernprozess.

Laut Baddeley: *"Working memory refers to the system or systems that are assumed to be necessary in order to keep things in mind while performing complex tasks such as reasoning, comprehension and learning."* (Baddeley 2010)

Festlegung von N:

Bei der Implementierung des N-Back-Tests war der Wert von N entscheidend für die Benutzererfahrung und die Genauigkeit der Werte. Es gab einen Trade-off, da ein zu niedriger N-Wert die mentale Belastung nicht ausreichend erhöhen konnte, während ein zu hoher N-Wert die Nutzer frustrieren und demotivieren könnte. Aus diesem Grund wurde, gemäß den Prinzipien des Human-Centered Design, eine Untersuchung mit einer Gruppe von 5 Nutzern durchgeführt.

In dieser Untersuchung wurde der N-Back-Test mit den Werten 2, 3, 4 und 5 durchgeführt. Jede Phase dauerte 90 Sekunden und wurde mit 2-minütigen Pausen dazwischen durchgeführt. Zur Messung der mentalen Belastung wurden die über die Kopfhörer erhaltenen Cognitive Load Index Werte mit subjektiven Einschätzungen mittels des NASA-TLX-Fragenbogens ergänzt.

Auf Basis der Ergebnisse wurde der 4-Back-Test gewählt, da der NASA-TLX-Score ab diesem Wert nur noch minimal anstieg. Dies deutete darauf hin, dass bereits ein hohes Niveau der mentalen Belastung erreicht wurde, und ohne höhere N-Werte die mentale Belastung nicht weiter steigerten, sondern lediglich die Frustration erhöhten, wie in der Abbildung 10 dargestellt wurde.

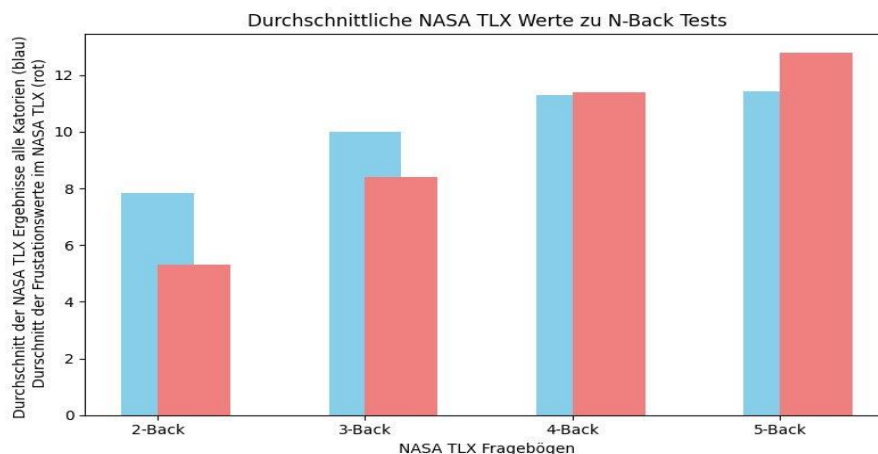


Abbildung 10: Durchschnittliche NASA TLX Werte bei N- Back Tests

3.6.4 Visualisierung

Der nächste Schritt bestand darin, den berechneten Cognitive Load Score den Nutzern auf eine sinnvolle Weise zu vermitteln. Entsprechend den User Requirements wurden zwei verschiedene Visualisierungsoptionen entwickelt, die mit unterschiedlichen Funktionalitäten angereichert wurden, damit die Nutzer sowohl während der Online-Vorlesung als auch nach der Vorlesung auf die Score-Daten zugreifen können.

Anzeige:

Nach dem 4-Back-Test erreichen die Nutzer die Seite des Online-Vorlesungs-Videomeetings. Für eine Echtzeit-Darstellung wurde die Anzeige-Komponente oben rechts auf dieser Seite platziert. Diese sieht man in Abbildung 11. So können die Nutzer sowohl die Vorlesung als auch ihren aktuellen Score auf einen Blick sehen. Um mögliche negative Auswirkungen durch Ablenkung zu vermeiden, wurde ein Button zum Ausblenden der Anzeige integriert siehe Abbildung 12.

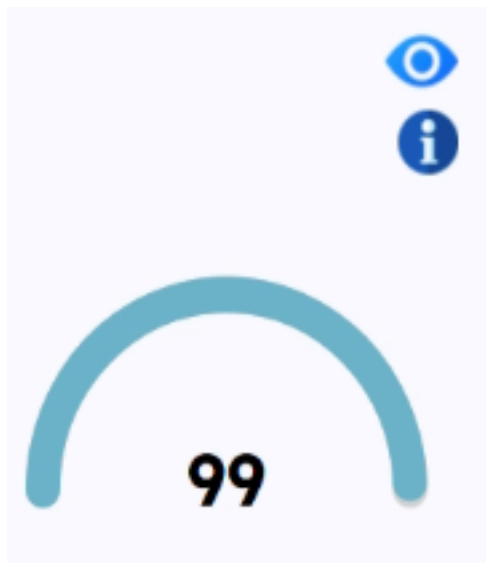


Abbildung 11: Eingblendete Visualisierung der kognitiven Belastung

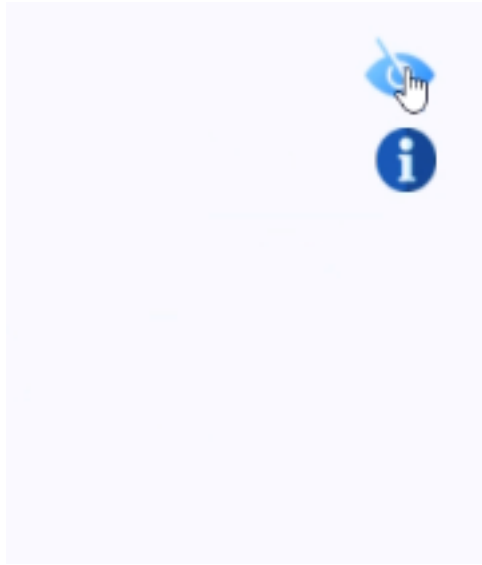


Abbildung 12: Ausgeblendete Visualisierung der kognitiven Belastung

Kommentare:

Es war wichtig, dass die Nutzer ihre angezeigten Scores mit dem erlebten Sachverhalt in Verbindung bringen konnten, um mehr Nutzen aus ihrer Interaktion mit dem Programm zu ziehen. Daher wurde auf der Videomeeting-Seite eine Kommentarfunktion hinzugefügt. Auf diese Weise konnten die Nutzer für wichtige Momente während der Online-Vorlesung oder bei auffälligen Cognitive Load Scores Kommentare hinterlassen.

Pause:

Besonders bei längeren Online-Vorlesungen ist es üblich, Pausen einzulegen. Für diese Pausen wurde eine Funktionalität in das Programm integriert, die den Datenfluss von dem Kopfhörer unterbricht, wenn der Nutzer den Lernraum verlässt und den Kopfhörer abnimmt. Dies dient der Verbesserung der Datenqualität der Session. Mit dem Pause-Button können die Nutzer jederzeit eine Pause einlegen, ohne sich Sorgen machen zu müssen, dass ihre Cognitive Load Index falsch erfasst wird. Den Button sieht man auf Abbildung 13.



Abbildung 13: Videomeeting- Seite der Anwendung

Retrospektive:

Das Programm bietet nicht nur eine Echtzeit-Anzeige des Cognitive Load Scores, sondern auch eine retrospektive Darstellung, die den Verlauf des Scores während der Online-Vorlesung anzeigt, um eine Analyse der mentalen Belastung zu ermöglichen. Nach dem Abschluss der Online-Vorlesung wird der Nutzer mit einer Seite begrüßt, die die Daten vergangener Sessions anzeigt. Hier kann die gewünschte Session ausgewählt werden, um auf die Score-Daten der Session zuzugreifen. Die Kommentare, die während der Session abgegeben wurden, sind durch rote Punkte markiert, die den Zeitpunkt des Kommentars anzeigen. Wenn der Nutzer mit der Maus über diese Punkte fährt, kann der Kommentar gelesen werden. Die Funktion ist in Abbildung 14 sichtbar.

Um eine bessere Analyse zu ermöglichen, wurde eine Funktionalität zum Vergleich von Session-Daten implementiert. In diesem Fall werden verschiedene Sessions mit unterschiedlichen Farben dargestellt, um eine klare visuelle Darstellung zu schaffen. Dies dient insbesondere dazu, die Verbindungen zwischen dem Cognitive Load Score und den Sachverhalten zu stärken und genauere Schlussfolgerungen zu erzielen (siehe Abbildung 15).



Abbildung 14: Retrospektive Darstellung einer Session mit Kommentaren

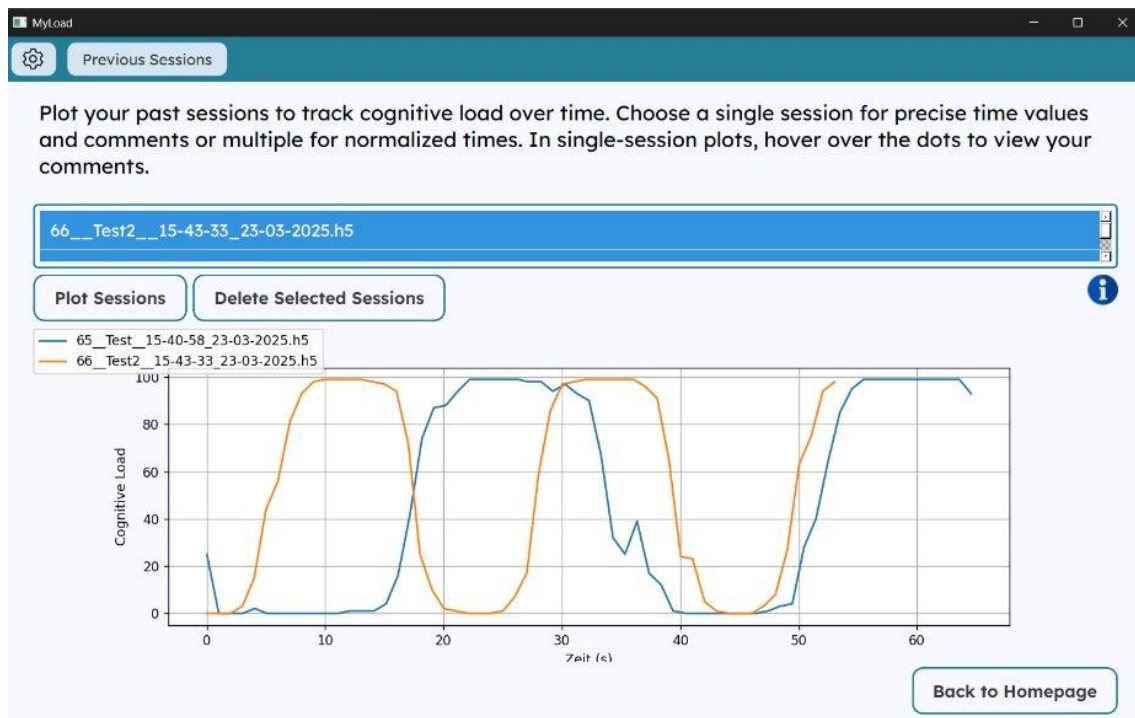


Abbildung 15: Darstellung zweier Sessions zum Vergleich

3.7 Evaluation

Nach der abgeschlossenen Implementierung des Programms wurde eine Evaluation durchgeführt, um die Benutzerfreundlichkeit und die Aussagekraft der Cognitive Load zu ermitteln und mögliche Schwachstellen zu identifizieren. Den Evaluationsbogen mit allen Bestandteilen befindet sich in Anhang C.

Informationen zu den Befragten und zum Versuchsaufbau

An der Evaluation nahmen insgesamt fünf Studierende teil. Das durchschnittliche Alter der Teilnehmenden lag bei 22 Jahren. Die Gruppe setzte sich aus vier männlichen und einer weiblichen Person zusammen. Hinsichtlich des Studienhintergrunds verteilten sich die Teilnehmenden auf die Fachrichtungen Informatik, Wirtschaftsinformatik, Bioingenieurwesen, Maschinenbau und Physik.

Die Dauer des Versuchs betrug etwa 60 bis 90 Minuten. Die Aufzeichnung erfolgte über ein mobiles Endgerät. Zur späteren Analyse wurde das Transkriptionstool des Lehrstuhls (htt) verwendet.

Der Ablauf ist in Abbildung 16 zu sehen

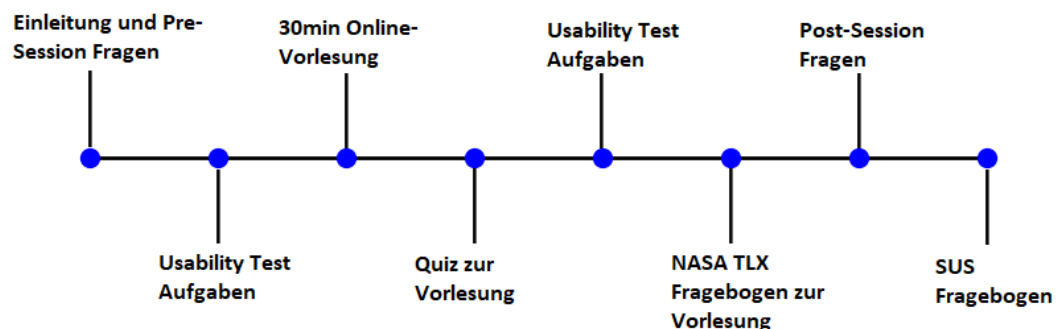


Abbildung 16: Zeitlicher Ablauf der Evaluation

Usability-Test Pre-Session Fragen und Auswertung

- Erfahrung mit Online-Vorlesungen: Alle Teilnehmenden hatten bereits Erfahrung mit Online-Vorlesungen. Die durchschnittliche wöchentliche Nutzung lag bei 1,8 Stunden.
- Skalierte Selbsteinschätzung (1 = sehr unsicher, 5 = sehr sicher):
- Umgang mit Computer-Software: \bar{x} 4,0/5
- Umgang mit Computer-Peripherie: \bar{x} 4,2/5
- Englischkenntnisse: \bar{x} 4,2/5
- Theoretische Informatik-Kenntnisse: \bar{x} 1,6/5

Usability-Test-Aufgaben und Auswertung

Die Aufgaben im Usability-Test wurden in drei Phasen unterteilt: **vor, während und nach** der Online-Vorlesung. Diese Struktur soll einen natürlichen Nutzungsablauf widerspiegeln. Durch das Think Aloud während den Aufgaben konnten wir einige Stellen zur Verbesserung identifizieren, beispielsweise ausführlichere Beschreibungen von Textfeldern.

Online-Vorlesungssimulation

Die Simulation bestand aus einem 30-minütigen Abschnitt aus einer Online-Vorlesung zur Einführung in die theoretische Informatik von (OpenCourseWare 2021). Das Ziel war die Teilnehmer eine möglichst reale Situation durchlaufen zu lassen, in welcher diese Erfahrung mit der Anzeige für die kognitive Belastung und mit der Kommentarfunktion sammeln können.

Im Anschluss an die Vorlesung wurde ein Quiz mit fünf Single-Choice-Fragen durchgeführt. Alle 5 Teilnehmenden haben das Quiz vollständig richtig beantwortet, obwohl ihre Selbsteinschätzung der Kenntnisse in theoretischer Informatik bei durchschnittlich 1,6/5 lag.

Post-Session Fragen

Der Fokus der Post-Session-Fragen lag auf der Visualisierung der mentalen Belastung und der Funktion der Retrospektive. Die Fragen wurden gezielt für eine SWOT-Analyse (Stärken, Schwächen, Chancen, Risiken) konzipiert, um eine differenzierte Bewertung der Visualisierung und ihrer potenziellen Anwendungsbereiche zu ermöglichen.

Anzeige	<p>3 von 5 hat es gut gefallen die Änderung live zu sehen</p> <p>Die Personen fanden sie 4 von 5 intuitiv</p> <p>5 von 5 fanden sie größtenteils akkurat (Teilnehmer 3 erklärte: „<i>I think it informed well, it was similiar to whwat I was feeling.</i>“ (siehe Anhang C Evaluierung Post-Session Fragen 3. Frage)</p> <p>3 von 5 bemerkten kleinere Probleme mit der Richtigkeit der Anzeige</p> <p>3 von 5 fanden sie nicht unklar</p> <p>2 von 5 fanden Kleinigkeiten verwirrend</p> <p>3 von 5 hatten Situationen, in denen es Ihnen schwer fiel die Anzeige richtig zu interpretieren</p> <p>4 von 5 fanden sie nützlich (Teilnehmer 1 erklärte: „<i>Ich hatte das Gefühl, dass die Anzeige trotz der Bedenken ein hilfreiches Werkzeug darstellte.</i>“ (siehe Anhang C Evaluierung Post-Session Fragen 7. Frage)</p> <p>4 von 4 hatten kleinere Vorschläge für Verbesserungen</p> <p>3 von 5 hatten Situationen in denen die Anzeige falsch/irreführend war</p> <p>4 von 5 hatten das Gefühl, dass die Anzeige negative Auswirkungen auf den Nutzer haben kann (Teilnehmer 1 erklärte: „<i>Als ich den kognitiven load gestiegen gesehen habe, befürchte ich, dass mich dies weiter belastet hat.</i>“ (siehe Anhang C Evaluierung Post-Session Fragen 13. Frage)</p>
Retrospektive	<p>2 von 5 hat diese besonders gut gefallen (Teilnehmer 5 erklärte: „<i>Die Retrospektive war gut.</i>“ (siehe Anhang C Evaluierung Post-Session Fragen 1. Frage)</p> <p>Die Personen fanden sie 4 von 5 hilfreich</p> <p>3 von 5 fanden nichts unklar</p> <p>2 von 5 hatten Probleme beim Vergleichen von 2 Sessions</p> <p>3 von 5 können sich keine Verbesserung vorstellen</p>

Kommentar	2 von 5 haben diese besonders gut gefallen.
Anwendung	<p>4 von 5 würden die Anwendung für Online-Vorlesungen nutzen (Teilnehmer 2 erklärte: „<i>I would actually use it in the lessons and i would want to use it when I study on my own, I can study a pomodoro session and I can take look to the retroperspective plot.</i>“ (siehe Anhang C Evaluierung Post-Session Fragen 10. Frage)</p> <p>2 von 5 würden sie auch fürs normale Lernen benutzen</p> <p>5 von 5 hatten keine Datenschutz bedenken</p>

Tabelle 3: Ergebnisse der Post- Session- Fragen

SWOT-Analyse dient der Positionierung und Strategieentwicklung eines Unternehmens. Dies sind die Positionen des Projektes welche aus den Evaluierungen geschlussfolgert wurden

Stärken	Schwächen	Chancen	Risiken
<p>-intuitiv (4/5)</p> <p>-Retroperspektive hilfreich(4/5)</p> <p>-Größtenteils akkurate Daten (5/5)</p> <p>-Keine Datenschutzbedenke, da lokal verarbeitet (5/5)</p>	<p>-Mehr Stress (3/5)</p> <p>-kein großer Vorteil (1/5)</p> <p>-falsche/ irreführende Daten(3/5)</p> <p>-Schwer verständliche Features(Think Aloud)</p>	<p>-Für normales Lernen nutzen(2/5)</p>	<p>-Datenschutz-bedenken</p> <p>-Verständnis-problem(Think Aloud)</p>

Tabelle 4: SWOT Positionen

Des Weiteren sind dies die Schlüssel-Strategien für das Projekt.

	Stärken	Schwächen
Chancen	Wir nutzen die Stärken, dass es intuitiv ist und die Retroperspektive hilfreich ist, um die Chance zu ergreifen, dass die Anwendung auch für das normale Lernen und/oder für Arbeit verwendet werden kann	Schwäche, wie schlechte Daten reduzieren durch andere Messgeräte, um Chancen zu nutzen, wie Markterweiterung auf normales Lernen (etc.)
Risiken	Wir nutzen, dass unsere Daten lokal verarbeitet werden, um das Risiko von Datenschutzbedenken zu reduzieren	Wir erklären schwierig verständliche Situationen in der Anwendung, um Verständnisprobleme zu reduzieren

Tabelle 5: SWOT Schlüsselstrategien

Ergebnisse der Usability- und Belastungstests

Der NASA TLX (Task Load Index) mit Test Skala 0-20 wurde verwendet, um die subjektive Einschätzung der mentalen Belastung während der Online-Vorlesung zu erfassen. Dabei bewerteten die Teilnehmenden verschiedene Dimensionen der kognitiven Belastung, darunter mentale Anforderungen, zeitliche Beanspruchung und Anstrengung.

- Durchschnittliche Gesamtbelastung: 6,77
- Durchschnitt ohne "Physical Demand" (da keine körperliche Anstrengung erforderlich war): 7,64

Diese Werte deuten auf eine moderate kognitive Belastung während der 30min Online- Vorlesung.

Der SUS- Fragebogen wurde eingesetzt, um die subjektive Einschätzung der Usability des Systems zu bewerten. Die Ergebnisse werden als Prozentwert interpretiert:

- Ergebnis: 86%
- Interpretation gemäß Rauer 2011: Gute bis exzellente Usability

Dieser Wert deutet darauf hin, dass das System von den Teilnehmenden als benutzerfreundlich und effizient wahrgenommen wurde.

Mit den aufgezeichneten Cognitive Load Score Werten der Teilnehmenden, während der Online- Vorlesungssimulation haben wir den Durchschnitt für jede Person berechnet und mit dem jeweiligen Ergebnis des NASA TLX Fragebogens verglichen. Es konnte ein Bravais- Pearson Korrelationskoeffizient von 0,7 ermittelt werden. Hier ist zu beachten, dass wir Werte von nur fünf Teilnehmenden hatten. Eine graphische Darstellung ist in Abbildung 17 zu sehen.

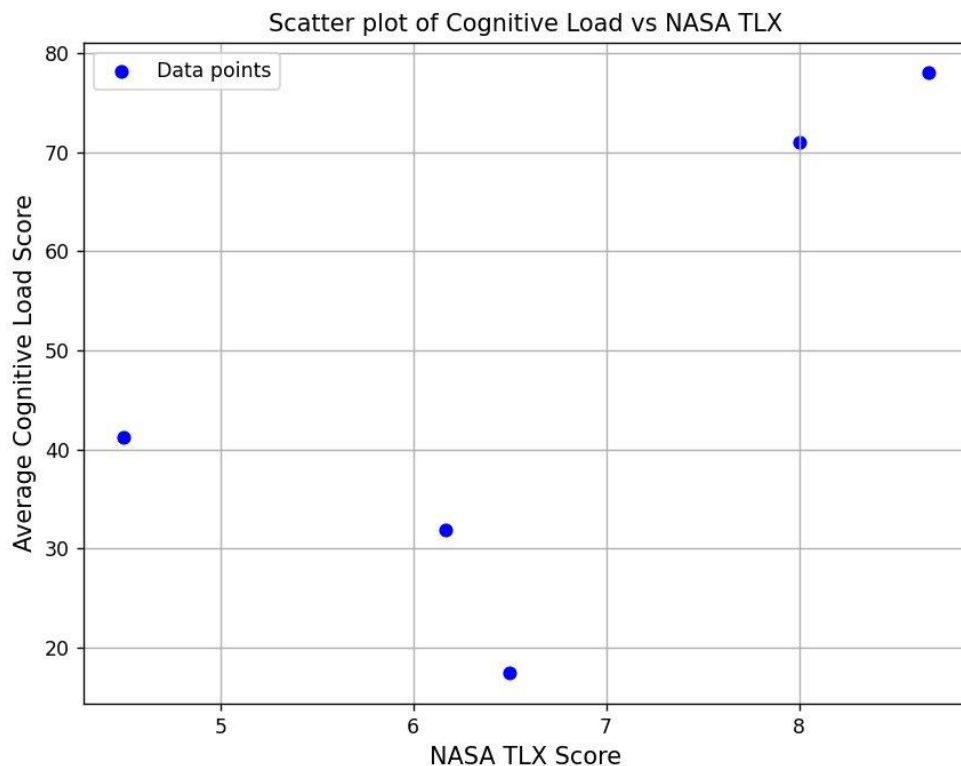


Abbildung 17: Graph NASA TLX Werte / Durchschnitt CL Score Werte

Auch ist zu beachten, dass wir in anderen Messungen auch negative Korrelationen beobachten konnten, zum Beispiel der Bestimmung des N_s für den N-Back-Test. Folglich waren die mit den Kopfhörern bestimmten Daten nicht immer oder nur durch Zufall akkurat. Aus den Antworten des Interviews kam heraus, dass die Nutzer die angezeigte kognitive Belastung größtenteils als korrekt empfunden, so berichtete Teilnehmer 3 „*I think it informed well, it was similiar to whwat I was feeling.*“ (siehe Anhang C Evaluierung Post-Session Fragen 3. Frage). Es gab jedoch Momente, in denen die angezeigte Belastung nicht mit der empfundenen übereinstimmte.

4 Fazit

Im Verlauf des Human-Centered-Design Prozesses wurden eine Literaturrecherche und mehrere Interviews durchgeführt, um die aktuelle Situation und Probleme zu erfassen. Außerdem sollte diese über mögliche Lösungen der Probleme aufklären. Daraufhin wurde ein Prototyp entwickelt, welcher eine gute Orientierung bot. Im nächsten Schritt wurde der Fokus des Projekts auf einen Spezialfall die Online-Vorlesungen gelegt. Und durch einen Fragebogen auf die finale Visualisierung festgelegt. Die Anwendung wurde so entwickelt, um die wichtigsten User Requirements zu erfüllen und einfach verständlich zu sein. Nach der Implementierung der Anwendung wurde diese evaluiert, um ausstehende Probleme aufgedeckt zu verbessern.

5 Ausblick

Das Projekt lief zu Anfang etwas langsam an, da die Teilnehmer noch kein vertrautes Team darstellten, was sich jedoch über die Dauer des Projektes verbesserte, sodass die Teilnehmer gut als Team zusammenarbeiteten. Des Weiteren stellte sich der Umfang des Projekts als Herausforderung dar, da dieser anfangs zu groß gewählt wurde. Nach evaluieren unserer Lage und dem Feedback der Betreuerinnen und Prof. Dr. Mädele Autoritäten wurde der Fokus des Projekts spezialisiert auf Online-Vorlesungen und somit das Projekt auf eine angemessene Größe heruntergebrochen.

Mögliche weitere Schritte wären, die Implementierung der Möglichkeit auch Vorlesungsaufzeichnungen anschauen zu können. Desweiterem wäre eine Erweiterung der Anwendung für Online-Meetings und individuelle Arbeit denkbar.

Während des Projektes wurde festgestellt, dass die EEG-Kopfhörer ein limitierender Faktor der Anwendung waren, daher könnte es auch sinnvoll sein ein anderes EEG-Messgerät zu verwenden welches möglicherweise bessere Daten liefert.

6 Quellen

- kein Datum. <https://diarization-01-hubii.k8s.iism.kit.edu/docs#/default>.
- Baddeley, Alan. „Working Memory.“ In *Current Biology* Elsevier Inc., 2010.
- Carlos Ferran, Stephanie Watts. „Videoconferencing in the Field: A Heuristic Processing Model.“ In *Management Science* 54(9). 2008.
- de Jong, T. „Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought.“ In *Instructional Science*, 105-134. 2010.
- Hiebel, Nina. „Individual differences in working memory : investigating the Influence of cognitive control.“ 2016, 2016.
- Hinds, Pamela J. „The Cognitive and Interpersonal Costs of Video.“ In *Media Psychology*, 283-311. 2009.
- John Sweller, Jeroen J. G. van Merriënboer & Fred G. W. C. Paas. „Cognitive Architecture and Instructional Design.“ In *Educational Psychology Review* 10, 251-296. Springer, 1998.
- Knierim, Michael Thomas, Daniel Puhl, Gabriel Ivucic, und Tobias Röddiger. „OpenBCI + 3D-Printed Headphones = Open ExG Headphones – An Open-Source Research Platform for Biopotential Earable Applications.“ In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23)*., 2023: 1 - 7.
- Mutlu-Bayraktar, D., Cosgun, V., & Altan, T. „Cognitive load in multimedia learning environments: A systematic review.“ In *Computers & Education Volume 141*. 2019.
- Riedl, R. „On the stress potential of videoconferencing: definition and root causes of Zoom fatigue.“ In *Electronic Markets*, 153-177. 2022.
- Skulmowski, A., Xu, K.M. „Understanding Cognitive Load in Digital and Online Learning: a New Perspective on Extraneous Cognitive Load.“ In *Educational Psychology Review*, 171-196. Springer, 2022.
- Umberto León-Domínguez, Juan Francisco Martín-Rodríguez, José León-Carrión. „Executive n-back tasks for the neuropsychological assessment of working memory.“ In *Behavioural Brain Research Volume 292*, 167-173. Elsevier, 2015.

Anhänge

Anhang A

Interview Guideline

>> Einwilligungserklärung und Datenschutzerklärung

A. Einleitung

- a. Erklärung der Interview-Umstände:
 - i. **Wir beschäftigen uns mit** der Visualisierung von Cognitive Load bei der individuellen Aufgabendurchführung und in Videomeetings. Hierfür verwenden wir EEG-Daten, die mit einem speziell dafür konzipierten Headset ausgelesen werden.
 - ii. **Erklären von CL:** "The load that performing a particular task imposes on the cognitive system" (Sweller et. al. 1998) also die Belastung des kognitiven Systems, die durch Ausführung einer bestimmten Aufgabe verursacht wird
- b. Interviewverlauf:
 - i. Es handelt sich außerdem um ein semistrukturiertes Interview. Wir werden offene, vorformulierte Fragen aus unserem Leitfaden stellen, können aber auch während der Durchführung des Interviews von diesen abweichen und auf andere interessante Punkte näher eingehen.
 - ii. Wir möchten das Interview gerne als Audio aufnehmen. Die Aufnahmen werden nach der Auswertung von uns gelöscht. Zudem wird die Zusammenfassung anonymisiert.
 - iii. Allerdings hätten wir trotzdem gerne ein paar demographische Daten (Alter, Geschlecht, Studiengang bzw. Berufsfeld, Fachsemester bzw. Berufserfahrung)

B. As-Is-Situation – Individuelle Aufgabendurchführung

- a. Gibt es Aufgaben während des Lernens oder beim Arbeiten am Computer, die Sie, in Ihrer Selbstwahrnehmung, stark kognitiv belasten? Beschreiben Sie solche Situationen.
- b. Wie oft begegnen Ihnen solche Situationen während Ihres Arbeitsalltags am Computer oder einer zusammenhängenden Lerneinheit?
- c. Wie erkennen Sie eben beschriebene Situationen, in denen Sie hohe kognitive Belastung erleben, momentan?
- d. Wie gehen Sie mit solchen Situationen um? *Schließen Sie Ihren Rechner, öffnen Sie Social-Media-Apps oder verlassen Sie den Raum?*
- e. Wie bewerten Sie den Lernerfolg / Arbeitserfolg einer thematisch oder zeitlich zusammenhängende Einheit von Arbeit oder Lernen (Session) momentan?

C. As-Is-Situation – Online Meeting

- a. Allgemeine Informationen zur Meeting-Teilnahme
 - In welchem **Kontext** nehmen Sie an Videomeetings teil?
 - **Wie viele Personen** nehmen üblicherweise mit Ihnen teil?
 - Wie **lang** sind Meetings typischerweise?
- b. Gibt es Momente in Videomeetings in denen Sie sich besonders stark kognitiv belastet fühlen? Beschreiben Sie solche.
- c. Wie erkennen Sie eben beschriebene Situationen von kognitiver Belastung momentan?
- d. Wie gehen Sie bis jetzt mit solchen Situationen um?
- e. Wie bewerten Sie bis jetzt die Lernerfolg / Arbeitserfolg eines Meetings?

D. Meinung zur Nützlichkeit einer digitalen Visualisierung (z.B. Im Browser) des CL – *Fragen a bis c sind entweder zu Meetings oder zu individueller Aufgabendurchführung zu stellen. Bitte um Absprache, damit es ungefähr 50/50 bleibt.*

- a. Wie könnten Sie sich eine (**Echtzeit-**)Visualisierung während des Meeting/ der Lern-/ Arbeitszeit allgemein vorstellen? >> *Skizzierfrage*
- b. Würde es Ihnen gefallen, auf einen hohen CL zusätzlich durch visuelle oder auditive Signale oder z.B. eine Benachrichtigung aufmerksam gemacht zu werden?
 - Falls ja, an welche Rahmenbedingungen sollen solche Signale gebunden sein (z.B. *minimaler zeitlicher Abstand zum Anfang der Aufnahme*) und in welcher Form würden sie diese präferieren?
 - Möchten Sie gegebenenfalls Tipps in Situationen des hohen CL oder fänden Sie so etwa s ablenkend? In welcher Form (bei jeder Benachrichtigung oder nur bei Bedarf aufrufbar) sollten Tipps dargestellt werden?
 - Falls es Ihnen nicht gefällt, können Sie dies begründen?
- c. Würde Ihnen ein Verlauf Ihres CL über die Dauer einer Lern-/ Arbeitssession/ eines Meetings zur Bewertung Ihres Lern-/ Arbeitserfolg helfen? (**retrospektive Visualisierung**)
 - Falls ja, wie stellen sie sich so eine Visualisierung vor? >> *Skizzierfrage*
- d. In welchen Bereichen sollte sich die Visualisierung beim Arbeiten oder lernen alleine von jener für Meetings unterscheiden? Denken Sie signifikante Anpassungen sind notwendig?
- e. (optional, *nur für Meetings*) Würden Sie Adaptionen, wie zum Beispiel das Schließen Ihrer Selbstansicht, bei hohem CL in Meetings befürworten?
 - Wenn ja, sollen solche Adaptionen direkt erfolgen oder als Empfehlungen ausgegeben werden?
 - Wenn nein, können Sie dies begründen?

E. Bedenken

- a. Würden Sie eine solche Visualisierung benutzen, was sind Ihre Gründe dagegen / dafür?
 - i. *Datenschutz oder allgemein die Erhebung von EEG-Daten*
 - ii. *zusätzlicher Aufwand*
 - iii. *Unbequemlichkeit der Sensoren*
 - iv. *Ablenken von der eigentlichen Tätigkeit*
- b. Braucht es eine Option die z.B. auditiven Signale der Benachrichtigungen stummzuschalten?
- c. **Auffangfrage:** Haben Sie sonst noch Ideen, Anregungen oder nicht genannte Bedenken bezüglich der Visualisierung oder der Nutzung von EEG-Daten?

Hinweis:

Bei kursiv geschriebenen Sätzen handelt es sich entweder um Anmerkungen für den Interviewer oder um Beispiele bzw. unterstützende Fragen, die gestellt werden können, falls der Interviewteilnehmer Schwierigkeiten hat, eine Frage zu beantworten.

Anhang B

MyLoad – Fragebogen zu Visualisierungsmöglichkeiten

Das Projekt MyLoad beschäftigt sich mit der Echtzeit-Visualisierung des Cognitive Loads während Online-Vorlesungen. Cognitive Load ist: „The Load that performing a particular task imposes on the cognitive system“ (Sweller et. Al. 1998). Zur Messung dieser werden EEG-Daten der Nutzer erfasst und daraus ein Cognitive Load Score berechnet, worauf dann auch die Visualisierung basiert. Zu Beginn wird ein Baseline Test durchgeführt welcher uns einen Score als Basiswert liefert. Danach wird ein Maximaltest durchgeführt welcher einen Score ausgibt der als Referenz für eine sehr hohe kognitive Belastung dient. Um dann während der Vorlesung die kognitive Belastung anzuzeigen, möchten wir dafür die bestmögliche Visualisierungs Art herausfinden, welche für den Nutzer am verständlichsten ihre mentale Belastung anzeigt. Damit soll der Nutzer bei Online-Vorlesungen unterstützt werden um mehr aus diesen mitzunehmen und das Nacharbeiten zu verbessern.

Zur Einordnung erstmal allgemeine Fragen über Sie:

Wie alt sind Sie?

Was studieren Sie und in welchem Semester?

Wie oft nehmen Sie pro Woche an Video-Meetings teil?

Welche Art von Video-Meetings sind das normalerweise?

Falls oben nicht erwähnt: Nehmen Sie an Online-Vorlesungen teil, falls ja wie oft?

Hier ist noch ein Bild unseres Interface zum besseren Verständnis wie die Anwendung aussehen soll und wie die Visualisierung eingearbeitet werden soll.



In den Roten Kasten unten links soll die Visualisierung eingefügt werden.

Allgemeines zur Auswertung:

Wie oben schon erwähnt werden wir einen Baselinetest und einen Maximaltest durchführen wobei wir dann zwei Werte erhalten, woraus wir dann eine Skala ermitteln um ihren derzeitigen Cognitive Load Score einzuordnen. Die Zahl wird aus dem Echtzeit-Score der EEG-Daten ermittelt, der dann in Verhältnis zu ihrer Baseline und ihres Maximalwerts ist, wobei ihre Baseline 10% und ihr Maximalwert 90% sind. Falls sie eine Zahl über 90 % oder unter 10 % haben würden, werden diese gegen 100 und 0 konvergieren. Also je höher Ihre kognitive Belastung ist, desto höher wird dann diese Prozentzahl auch sein.

Diese Berechnung wird für alle der drei der folgenden Visualisierungen genutzt, lediglich in anderen Formen.

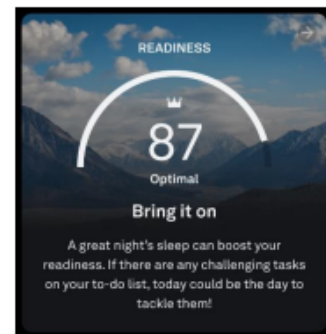
Ist die Berechnung des Cognitive Load Scores für Sie verständlich?

Hier sind drei verschiedene Möglichkeiten der Visualisierung.

(Dies sind alles Ideen die von anderen Projekten genommen wurden um diese zu veranschaulichen und werden nicht direkt ins unser Programm kopiert.)

1.

Hier wird die Prozentzahl aus obiger Berechnung direkt dargestellt.



Q1: <https://images.app.goo.gl/vRYo9kFg9JMfABxeA>

2.

Hier soll ihre kognitive Belastung in einem Barometer mit verschiedenen Farben dargestellt werden.

Falls die Prozentzahl aus obiger Berechnung hoch ist geht der Barometer in den roten Bereich falls sie niedrig in den grünen.



Q2: <https://images.app.goo.gl/x92auq3TdXaugJpP6>

3.

Hier soll Ihre kognitive Belastung in einer Ampel dargestellt werden um so farblich anzuzeigen wie hoch dieser ist. Wobei Rot eine hohe Prozentzahl und grün eine niedrige Prozentzahl aus obiger Berechnung wäre.



Welche Visualisierung wäre am verständlichsten für Sie?

Anhang C

1. Usability Test – Moderated

Ziel:

Evaluierung der Desktop-Anwendung zur Echtzeit-Visualisierung von Cognitive Load in Online-Vorlesungen

- Ermittlung der Verständlichkeit und Benutzerfreundlichkeit der Benutzeroberfläche.
- Identifikation von Schwachstellen in der Anzeige und Navigation.
- Überprüfung der Aussagekraft der Cognitive Load Messungen.

Anzahl der Teilnehmer: 5

Zielgruppe: Studenten, die an Online-Vorlesungen teilnehmen

Dauer des Tests: 1,5 Stunden

Moderator: Anian, Alex, Clara, Kerem, Ömer

Zeitplan: Briefing 10min, Pre-Session 5min, Usability Test Aufgaben 20-30min, Vorlesung anschauen 30min, Quiz ca 5min, NASA TLX ca 5min, SUS Fragebogen ca 5min

Skript:

Briefing:

Das Ziel dieses Usability Tests ist es, dass die Benutzer die Desktop-App unter realen Bedingungen erleben und deren Verständlichkeit und Benutzerfreundlichkeit testen. Zudem evaluieren wir die Aussagekraft der gemessenen Cognitive Load Werte.

Die App misst die kognitive Belastung während einer Online-Vorlesung. Ihre Aufgabe ist es, sich in die Rolle eines potenziellen Nutzers hineinzuversetzen, nämlich die eines Studierenden, welcher eine Online- Vorlesung anschauen will. Dabei testen wir nicht Ihr Verhalten, sondern die Anwendung selbst.

Dies ist ein moderierter Usability-Test. Wir geben Ihnen Aufgaben, die Sie durchführen sollen. Bitte äußern Sie Ihre Gedanken laut, damit wir Ihre Überlegungen nachvollziehen können. (Hier zeigt der Moderator ein Video zur Think Aloud-Methode:

https://www.youtube.com/watch?v=yRjksKI5xs&ab_channel=SeibertGroup)

Gegebenenfalls stellen wir Ihnen währenddessen kurze Fragen. Der Test wird als Audio aufgezeichnet. Die Aufnahmen werden nach der Auswertung gelöscht, und alle Daten werden anonymisiert.

Pre-Session Fragen:

- Was studieren Sie?
- Geschlecht, Alter?
- Wie viel Stunden pro Woche nehmen Sie durchschnittlich an Online- Vorlesungen teil?

- Falls aktuell nicht, gab es Zeiten, in denen Sie an Online- Vorlesungen teilnahmen?
 - Wenn dies der Fall ist, wie viel Stunden pro Woche waren das?
- Wie sicher fühlen Sie sich im Umgang mit Computer-Software? (Skala 1-5: 1 = sehr unsicher, 5 = sehr sicher)
- Wie sicher fühlen Sie sich im Umgang mit Computer-Peripherie, wie z.B. Maus, Tastatur, Monitor oder anderen Geräten, die mit Ihrem Computer verbunden sind? (Skala 1-5: 1 = sehr unsicher, 5 = sehr sicher)
- Wie würden Sie Ihr allgemeines Englisch- Niveau einschätzen, insbesondere im Hinblick auf das Verstehen von gesprochenem Englisch z.B. Videos, Vorlesungen. (Skala 1-5: 1 = sehr unsicher, 5 = sehr sicher) (Vorlesung -Video ist auf Englisch)

Aufgaben:

Einleitung: Stellen Sie sich vor, dass Sie an einer Online- Vorlesung teilnehmen zur letzten Wiederholung vor der Klausur. Nebenbei wollen Sie Ihre kognitive Belastung messen. Ihr Dozent hat Ihnen per Email den Raumnamen „myload“ für die Online- Vorlesung auf jitsi, einer Online- Videokonferenzplattform, mitgeteilt.

(An die Moderatoren:

Während der Aufgabenbearbeitungen, sollten die Nutzer nicht mit Fragen von überwältigt werden und nicht in eine Richtung gelenkt werden oder Tipps gegeben werden. In passenden Momenten ist dennoch sinnvoll Fragen zu stellen, wenn Ihr denkt man kann dadurch gute Informationen erlangen:

Bsp: „Ich sehe, dass Sie [X] gemacht haben. Können Sie kurz erklären warum?“

„Sie wirkten etwas zögerlich bei [X]. Können Sie kurz erklären warum?“)

1. Aufgaben vor der Online- Vorlesung:
 - a. Machen Sie sich kurz mit der Startseite der Anwendung vertraut. (Auf der Startseite steht nochmal, was der Zweck der myLoad Anwendung ist und CL wird erklärt.)
 - b. Gehen Sie in die Einstellungen und geben Sie einen beliebigen Namen ein, welcher Sie in der Online- Vorlesung identifizieren soll.
 - c. Benennen Sie Ihre Session. Starten Sie die Session mit dem Jitsi Raum Namen, den Ihr Dozent mitgeteilt hat.
 - d. Führen Sie den Baseline Test aus.
 - e. Führen Sie den Maximalwert- Test aus.

(Die Online- Vorlesung simulieren wir mit einem Einführungsvideo zu Automaten in der theoretischen Informatik https://www.youtube.com/watch?v=9syvZr-9xwk&list=PLUl4u3cNGP60_JNv2MmK3wkOt9syvfQWY&index=3. Davon zeigen wir die ersten 30min.)

2. Aufgaben während der Online- Vorlesung:

Mitzuteilender Kontext für Teilnehmer: Sie werden gleich 30min lang eine einführende Online-Vorlesung zu Automaten in der theoretischen Informatik auf Englisch anschauen.

f. Die Vorlesung beginnt in Kürze, begeben Sie sich schon in die Online- Vorlesung.

An Teilnehmer: Sie werden nach der Online- Vorlesung ein Quiz über die Thematik aus der Vorlesung lösen. Dafür dürfen Sie die Kommentarfunktion nutzen, um für sich Notizen zu machen. Diese sind nach Beendigung der Vorlesung in der Retrospektive sichtbar.

g. Testen Sie die Kommentarfunktion mit einem beliebigen Wort aus.

Frage: Haben Sie verstanden, wie die Kommentarfunktion funktioniert oder dazu noch Fragen? (Ja / Nein)

(An die Moderatoren: Während der Online- Vorlesung darauf achten, dass Sie keine Sicht auf den Monitor haben, damit sich die Teilnehmer nicht unter Druck fühlen oder beeinflusst werden.)

Nachdem die 30min rum sind:

i. Blenden Sie die Anzeige Ihrer kognitiven Belastung kurz aus und wieder ein.

j. Die Vorlesung ist vorbei. Verlassen Sie den Jitsi Konferenzraum.

Führen Sie nun das Quiz aus. Geben Sie bitte Bescheid, wenn Sie fertig sind.

Quiz

Q1: What are the two main parts of the "Theory of Computing" course as described in the lecture?

- a) Algorithms and Data Structures
- b) Computability Theory and Complexity Theory
- c) Software and Hardware
- d) Programming Languages and Operating Systems

Q2: What does Computability Theory primarily explore?

- a) How to write efficient code.
- b) What can be computed in principle using algorithms.
- c) The physical limitations of computers.
- d) The history of computing.

Q3: What is the focus of Complexity Theory?

- a) What is computable in practice within a reasonable time frame.
- b) The theoretical limits of computation.
- c) The history of computer hardware.
- d) The development of new algorithms.

Q4: What are the key components of a state diagram for a finite automaton?

- a) Circles (states), squares (transitions), a starting state, and an ending state.
- b) Circles (states), arrows (transitions), a starting state, and accepting states.
- c) Lines (states), arrows (transitions), a starting state, and accepting states.
- d) Circles (states), arrows (transitions), a starting state, and a rejecting state.

Q5: What are strings and languages as defined in the lecture?

- a) Strings are sentences, and languages are paragraphs.
- b) Strings are finite sequences of symbols, and languages are sets of strings.
- c) Strings are words, and languages are dictionaries.
- d) Strings are characters, and languages are alphabets.

3. Aufgaben nach der Online- Vorlesung:

- k. Geben Sie sich den Verlauf Ihrer kognitiven Belastung während der Online- Vorlesung aus.
 - l. Gestern hatten Sie eine Online- Vorlesung zu „Einführung in die Mathematik“ und wollen diese mit der gerade eben vergleiche. Geben Sie beide Verläufe der kognitiven Belastungen gleichzeitig aus.
 - m. Kehren Sie zur Startseite zurück. Der Dozent von gerade eben hat Euch Studierenden per Mail mitgeteilt, dass er etwas vergessen hat zu erwähnen und bittet euch nochmal kurz teilzunehmen. Der Raum Name ist immer noch „myload“. Starte eine erneute Session.
 - n. Da Sie immer noch die gleichen Bedingungen wie vorhin haben, wollen Sie die Baseline- und den Maximaltest überspringen. Überspringen Sie diesen.
 - o. Anscheinend ist der Dozent schon fertig. Beenden Sie die Session.
-

NASA TLX

An die Teilnehmenden: "Wir möchten herausfinden, wie anspruchsvoll Sie das Ansehen der 30-minütigen Online-Vorlesung empfunden haben. Dazu nutzen wir den NASA Task Load Index (NASA-TLX), ein Verfahren zur Messung der mentalen Belastung. Sie bewerten gleich sechs verschiedene Aspekte der Vorlesung – darunter geistige Anstrengung, Zeitdruck und Frustration – jeweils auf einer Skala von 0 bis 20. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten, uns interessiert Ihre persönliche Wahrnehmung."

Name	Task	Date
------	------	------

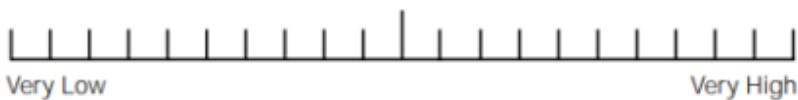
Mental Demand

How mentally demanding was the task?



Physical Demand

How physically demanding was the task?



Temporal Demand

How hurried or rushed was the pace of the task?



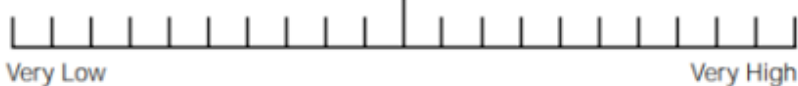
Performance

How successful were you in accomplishing what you were asked to do?



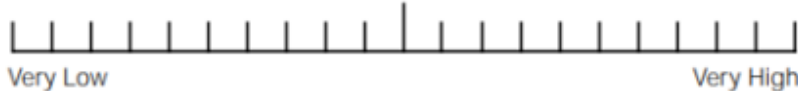
Effort

How hard did you have to work to accomplish your level of performance?



Frustration

How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?



Post Session Fragen

(Skala Werte 1 = besonders niedrig, 5 = besonders gut)

Stärken (Strengths)

- Was hat Ihnen an der Visualisierung der mentalen Belastung besonders gut gefallen?
- Wie intuitiv war die Darstellung der mentalen Belastung für Sie? (Skala 1-5)
- Hatten Sie das Gefühl, dass die Anzeige Sie gut über Ihre aktuelle Belastung informiert hat? Warum (nicht)?
- Wie hilfreich fanden Sie die Retrospektive zur Nachbetrachtung Ihrer mentalen Belastung? (Skala 1-5)

Schwächen (Weaknesses)

- Gab es etwas an der Visualisierung, dass Sie verwirrend oder unklar fanden? Falls ja, was genau?
- In welchen Situationen fiel es Ihnen schwer, die Anzeige richtig zu interpretieren?
- Hatten Sie den Eindruck, dass die Visualisierung in der aktuellen Form für Sie persönlich nützlich ist? Falls nein, warum nicht?
- Gab es etwas, das für Sie unklar oder schwer verständlich war in der Retrospektive Funktion?

Chancen (Opportunities)

- Wie könnte die Anzeige verbessert werden, damit sie für Sie hilfreicher ist?
- Könnten Sie sich vorstellen, diese Art der Anzeige in Ihrem Studium zu nutzen? Falls ja, in welcher Form?
- Welche Verbesserungen würden Sie sich für die Retrospektive wünschen?

Risiken (Threats)

- Gab es Situationen, in denen Sie der Meinung waren, dass die Visualisierung möglicherweise falsch oder irreführend war?
- Könnte die Anzeige Ihrer Meinung nach zu Fehlinterpretationen oder ungewolltem Stress führen? Falls ja, warum?
- Haben Sie Datenschutzbedenken bei der Speicherung der Werte?

4. SUS Fragebogen (von <https://germanupa.de/sites/default/files/2021-12/brooke1996sus.pdf>)

An die Teilnehmenden: "Wir möchten herausfinden, wie benutzerfreundlich Sie unsere Anwendung empfunden haben. Dafür nutzen wir den System Usability Scale (SUS), einen Fragebogen zur Bewertung der Nutzerfreundlichkeit. Sie beantworten gleich 10 kurze Aussagen zur Anwendung auf einer Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) bis 5 (stimme voll zu). Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten – uns interessiert Ihre persönliche Einschätzung."

	Strongly disagree								Strongly agree
1. I think that I would like to use this system frequently	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
2. I found the system unnecessarily complex	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
3. I thought the system was easy to use	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
5. I found the various functions in this system were well integrated	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
6. I thought there was too much inconsistency in this system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
7. I would imagine that most people would learn to use this system very quickly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
8. I found the system very cumbersome to use	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
9. I felt very confident using the system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5				

Anhang D

Title	DOI	Source
Investigating the impact of AR face filters and self-view on videoconference fatigue and affect	https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100088	ScienceDirect
Zoom fatigue in review: A meta-analytical examination of videoconferencing fatigue's antecedents	https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100571	ScienceDirect
Too tired to connect: Understanding the associations between video-conferencing, social connection and well-being through the lens of zoom fatigue	https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107968	ScienceDirect
Video-conferencing usage dynamics and nonverbal mechanisms exacerbate Zoom Fatigue, particularly for women	https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100271	ScienceDirect
Some things are better left unseen: Toward more effective communication and team performance in video-mediated interactions	https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.039	ScienceDirect
Influence of Online and Face-to-face Collaboration and Learning Style on Cognitive Load and Engagement in a Health Introductory Course	https://doi.org/10.1145/3340037.3340069	ACM
EyeMeet: A Joint Attention Support System for Remote Meetings	https://doi.org/10.1145/3491101.3519792	ACM
The Cognitive and Interpersonal Costs of Video	https://doi.org/10.1207/s1532785xmep0104_1	Taylor & Francis
Effects of personalised feedback approach on knowledge building, emotions, co-regulated behavioural patterns and cognitive load in online collaborative learning	https://doi.org/10.1080/02602938.2021.1883549	Taylor & Francis
Videoconferencing in the Field: A Heuristic Processing Model	https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0879	JSTOR
On the stress potential of videoconferencing: definition and root causes of Zoom fatigue	https://doi.org/10.1007/s12525-021-00501-3	Springer
The effects of attention monitoring with EEG biofeedback on university students' attention and self-efficacy: The case of anti-phishing instructional materials	https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.003	ScienceDirect
Neurodiversity and cognitive load in online learning: A systematic review with narrative synthesis	https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100604	ScienceDirect
Cognitive load in multimedia learning environments: A systematic review	https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103618	ScienceDirect
Cognitive Load Theory in Online Education: Leveraging Interactive Media, Testing, Interaction and to Enhance Engagement and Active Learning	https://doi.org/10.1109/TENCON58879.2023.10322455	IEEE Explore
Attention Recognition System in Online Learning Platform Using EEG Signals	https://doi.org/10.1007/978-981-16-1550-4_15	Springer
Enhancing the feasibility of cognitive load recognition in remote learning using physiological measures and an adaptive feature recalibration convolutional neural network	https://doi.org/10.1007/s11517-022-02670-5	Springer
Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning	https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6	Taylor & Francis
CoLoTiMa: A Cognitive-Load Based Time Management Tool	https://doi.org/10.1145/3670653.3677485	ACM
Bridging Cognitive Load and Self-Regulated Learning Research: A complementary approach to contemporary issues in educational research	https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.06.001	ScienceDirect
Cognitive load theory and individual differences	https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102423	ScienceDirect
The framework for learning using video based on cognitive load theory among visual learners	doi: 10.1109/ICEED.2013.6908295	IEEE Explore
How Does Cognitive Load Interact with Self-Regulated Learning? A Dynamic and Integrative Model	https://doi.org/10.1007/s10648-023-09794-6	Springer
Technology-Enhanced Learning for a Free, Safe, and Sustainable World	https://doi.org/10.1007/978-3-030-86436-1	Springer
Using cognitive load theory to structure computer-based learning including MOOCs	https://doi.org/10.1111/jcal.12188	Wiley
EEG-based Biofeedback for Improving Learning Performance	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12284	Wiley
Effects of Visualizing Cognitive Load Feedback on Task Performance	https://doi.org/10.1080/02602938.2021.1883549	Taylor & Francis
Cognitive Load in Online Collaborative Learning	https://doi.org/10.1080/02602938.2021.1883549	Taylor & Francis
The Effects of Biofeedback on Cognitive Load and Learning Engagement	https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.003	ScienceDirect
Cognitive Load and Video Conferencing Stress: A Review	https://doi.org/10.1007/s12525-021-00501-3	Springer

Anhang E

Das GitLab Repository stellt einen weiteren Anhang dar, da dort alle Weiteren Dateien enthalten sind.

Affidavit

We hereby declare that we have developed and written the enclosed report entirely on our own and have not used outside sources without declaration in the text. Any concepts or quotations applicable to these sources are clearly attributed to them. This report has not been submitted in the same or substantially similar version, not even in part, to any other authority for grading and has not been published elsewhere. I am aware of the fact that a misstatement may have serious legal consequences.

Karlsruhe, März 31, 2025

Kerem Beker, Ömer Can Küçük, Clara Schmid, Alexander Zinn, Anian Geist

Prototype Video Publication Agreement (if applies)

We hereby agree that the prototype video submitted by us may be published on the Internet.

Karlsruhe, März 31, 2025

Kerem Beker, Ömer Can Küçük, Clara Schmid, Alexander Zinn, Anian Geist