



Universität Bremen

Fachbereich 3: Mathematik und Informatik

Bachelor Thesis

Simultane Dokumentation von Forschungsdaten Design und Evaluation eines subtraktiv anpassbaren Dokumentationsverfahrens

Guido Knoll

Abgabedatum:
05. August 2019

1. Gutachter *Dr. Robert Porzel*
2. Gutachterin *Prof. Dr. Ute Bormann*
Betreuer *Susanne Putze*

Guido Knoll

Simultane Dokumentation von Forschungsdaten

Design und Evaluation eines subtraktiv anpassbaren Dokumentationsverfahrens

Bachelor Thesis, Fachbereich 3: Mathematik und Informatik

Universität Bremen, August 2019

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Guido Knoll, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Bremen, den 05. August 2019

Guido Knoll

Zusammenfassung

Die Dokumentation von Forschungsdaten ist ein aufwendiger, häufig nachgelagerter und in seiner Bedeutung unterschätzter Prozess. So wird dieser in vielen verschiedenen Formen, unvollständig oder gar nicht durchgeführt. Forschungsdatenmanagement (FDM) geht diese Problematik durch digitale Forschungsdokumentation an, ist jedoch noch nicht vollständig etabliert. Um die Akzeptanz von digitalen Systemen anzutreiben, sind weitere Optimierungen für die Behebung der eben genannten Probleme nötig.

In dieser Arbeit untersuche ich, wie die zu einem Experiment simultane Dokumentation durch Flexibilisierung verbessert werden kann und welches Verfahren zur Anpassung der Dokumentationsbestandteile dafür geeignet ist. Dadurch beabsichtige ich eine weitere Reduktion des Dokumentationsoverheads, um die effiziente, vollständige und wiederverwendbare Dokumentation während der Durchführung von Experimenten zu ermöglichen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	ii
1 Einleitung	1
1.1 Forschungsfrage	3
1.2 Überblick	4
2 Themenbezogene Arbeiten	5
2.1 Wissenschaftliche Dokumentation	5
2.1.1 Forschungsdatenmanagement	5
2.1.2 InfoSys	6
2.2 Flexibilisierung von Forschungsdokumentation	7
2.2.1 Individualisierung von Eingabefeldern	7
2.2.2 CMAD	8
2.2.3 Anpassungsverfahren im Bereich Forschungsdatenmanagement	8
2.3 Einordnung	14
3 Systemdesign	15
3.1 Anforderungsanalyse	16
3.2 Usability Design	16
3.2.1 Layout und Struktur	17
3.2.2 Farbgestaltung	20
3.2.3 Symbolsprache	21
3.3 Prototyp	21
3.3.1 Technologie	23
3.3.2 Relevanzspezifikation	23
3.3.3 Hinweis auf Vollständigkeit	25
3.3.4 Hilfe	25
4 Studiendesign	27
4.1 Hypothesen	27
4.2 Benchmarksysteme	28
4.3 Vorgehen	30

4.4	Aufbau	32
4.5	Aufgaben	33
4.6	Teilnehmer	34
5	Evaluation, Diskussion und Ergebnisse	35
5.1	Evaluation	35
5.1.1	Effizienz	36
5.1.2	Fehlertoleranz	38
5.1.3	Usability und Zufriedenheit	41
5.1.4	Arbeitsaufwand	42
5.1.5	Persönliche Präferenz	43
5.2	Kritik	44
5.3	Diskussion	45
6	Zusammenfassung und Ausblick	47
A	Appendix	49
A.1	Abbildungsverzeichnis	49
A.2	Tabellenverzeichnis	50
A.3	Literatur	51
A.4	Prototyp	53
A.5	Studienmaterial	55
A.6	Inhalt der DVD	63
A.7	DVD	64

Abkürzungen

CD	C oncurrent D ocumentation
CMAD	C oncurrent M odeling and D ocumentation
FDM	F orschungs D aten M anagement
GUI	G raphical U ser I nterface
HCI	H uman C omputer I nteraction
HTTP	H ypertext T ransfer P rotocol
JSON	J avascript O bject N otation
SUS	S ystem U sability S cale
TLX	T ask L oad I ndex
TZI	T echnologie- Z entrum I nformatik
UI	U ser I nterface
UX	U ser E xperience

Kapitel 1

Einleitung

Eine nachhaltige und vollständige Dokumentation ist besonders in der Forschung von großer Bedeutung.

Die Dokumentation von Experimenten und das Festhalten von Forschungsdaten kann auf viele Arten vorgenommen werden - sei es an dem Computer, auf dem Tablet, mit einem ausgedruckten Formular oder gar einem Schmierzettel. Dabei unterscheiden sich die genutzten Softwarelösungen oder Formularstrukturen je nach Institution enorm, sodass sich eine heterogene und nicht wiederverwendbare Masse von Dokumentationen bildet, welche stetig wächst. Hinzu kommt, dass die Dokumentation auch aufgrund des hohen, nachträglichen Aufwandes und fehlender Dokumentationsgrundlage vernachlässigt wird (Munafò u. a. 2017).

Dadurch wird Forschung intransparent, Daten bleiben für andere Forschungsgruppen verborgen und bisherige Versuche müssen aufgrund mangelnder Dokumentationsgrundlage erneut durchgeführt werden.

Dieses Problem wird heutzutage so in vielen Forschungsbereichen vorgefunden (Amoretti u. a. 2002; Fraser u. a. 2018; Munafò u. a. 2017). Das Forschungsdatenmanagement (FDM) geht diese Problematik durch das Einsetzen digitaler Dokumentationssysteme bereits an (Büttner u. a. 2011), die Hemmschwelle für die Migration auf eine digitale Lösung kann jedoch oft noch nicht überwunden werden (Kwok 2019).

Um dem entgegenzuwirken, verfolgt das Projekt AimData¹ in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Digitale Medien² der Universität Bremen einen Ansatz zur schnelleren Dokumentation während der Durchführung wissenschaftlicher Experimente. Dabei wird die Dokumentation nicht als nachgelagerter Prozess betrachtet und anstelle dessen direkt in den Forschungsworkflow integriert. Diese Vorgehensweise wird auch als simultane Dokumentation bezeichnet.

¹<http://dm.tzi.de/projects/aimdata/>

²<https://www.uni-bremen.de/tzi/>

So wurden bisher empirische Studien in dem Forschungsbereich der Materialwissenschaften durchgeführt sowie Prototypen und Produktivsysteme für diesen Bereich entwickelt (Bensch 2018; Hanci 2018; Putze, Porzel, Hanci u. a. 2019; Putze, Porzel, Savino u. a. 2018). Ziel ist es einerseits, durch ein standardisiertes Experimentmodell ein intern, national, aber auch international verwendbares Dokumentationssystem bereitzustellen. Andererseits soll durch diverse Formen der Flexibilisierung eine Reduzierung des Dokumentationsoverheads erwirkt werden. Somit wird der nachträgliche Aufwand reduziert und eine homogene, so gleich für jedes Experiment individuelle Dokumentation aufgebaut, welche von anderen Institutionen und Forschungsgruppen wiederverwendet und geteilt werden kann. Damit soll die Verständlichkeit und Wiederverwendbarkeit wissenschaftlicher Forschungsdaten erhöht werden.

Der Ansatz *Concurrent Modeling And Documentation* (CMAD) (Hanci 2018) ist innerhalb dieses Projektes entstanden. Dieser verfolgt den additiven Ansatz zur Flexibilisierung von Forschungsdokumentation. Additiv bedeutet, dass mit einem leeren Modell von Grund auf begonnen wird und benötigte Dokumentationsbestandteile (Schritte und Attribute) während der Dokumentation hinzugefügt werden.

Dies hat den Vorteil, dass ein auf das Experiment abgestimmtes Dokumentationsmodell erstellt werden kann.

Ein offene Fragestellung dieses Ansatzes ist jedoch, ob durch das manuelle Hinzufügen wichtige Daten übersehen oder vergessen werden können, indem die Attribute oder Schritte dafür fälschlicherweise nicht hinzugefügt werden. Darauf haben Experten aus der Domäne der Materialwissenschaften in Experteninterviews (Bensch 2018; Putze 2019) aufmerksam gemacht. Meine Arbeit greift diese Fragestellung auf und verfolgt nun einen neuen Ansatz zur subtraktiven Anpassung der Dokumentation, welcher anschließend mit dem additiven Ansatz von Hanci verglichen wird. Demzufolge besteht die Dokumentationsvorlage aus allen benötigten Dokumentationsbestandteile des zugrundeliegenden Experimentmodells, welche bei Bedarf ausgeblendet werden können. So können die Dokumentationsbestandteile auf die für den Versuch notwendigen reduziert werden. Darüber hinaus sollen alle Dokumentationsbestandteile in ihrer Reihenfolge vertauscht werden können, um eine auf ein Experiment zugeschnittene Instanz des Experimentmodells bilden zu können. Außerdem ist das Ziel der subtraktiven Anpassung eine weitere Erleichterung des Dokumentationsoverheads dadurch, dass nicht bei jedem Experiment eine Dokumentation aus einer leeren Vorlage erstellt werden muss, da relevante Dokumentationsbestandteile keine weitere Aktion durch Relevanzspezifikation erfordern.

1.1 Forschungsfrage

Das Hauptziel meiner Arbeit ist die Evaluation eines Ansatzes zur subtraktiven Anpassung der zur Experimentdurchführung simultanen Dokumentation von Forschungsdaten. Im Detail vergleiche ich meinen Ansatz der Flexibilisierung mit einem additiven Ansatz sowie einem ohne jegliche Anpassungsverfahren. Die übergreifende Forschungsfrage (RQ) dieser Arbeit lautet also wie folgt:

Kann die simultane Dokumentation von Forschungsdaten durch Anpassungsverfahren verbessert werden? Wenn ja, welche Anpassungsverfahren eignen sich am besten?

Um diese Forschungsfrage zu beantworten, entwickle ich eine Webanwendung zur Abbildung verschiedener Anpassungsverfahren. Für die Evaluation der Anpassungsverfahren wird eine Nutzerstudie mit 20 Probanden durchgeführt.

Das Design der Studie orientiert sich an einem realen Szenario aus einem Experiment der Materialwissenschaften. Dazu simuliere ich einen asynchronen Datenfluss der Dokumentationsattribute, indem ich den Probanden dazu auffordere, die für das System nötigen Daten aus verschiedenen Quellen zu sammeln und zu kombinieren. Durch die Ablenkung, die dieser zusätzliche Prozess erzeugt, wird der Proband leichter dazu verleitet, Fehler zu machen. So möchte ich die Fehlertoleranz der einzelnen Anpassungsverfahren aussagekräftiger testen und miteinander vergleichen können.

Für die Beantwortung der Forschungsfrage messe ich weiterhin die Usability-Kriterien Effizienz und Zufriedenheit (Nielsen 1993) der einzelnen Anpassungsverfahren. Außerdem erhebe ich Daten zu der Arbeitsbelastung sowie der Präferenz der Probanden.

Mit diesen Ergebnissen zeige ich, welche Vorteile die Flexibilisierung bietet und ob diese für die simultane Forschungsdokumentation geeignet ist.

1.2 Überblick

Diese Arbeit ist in 6 Kapitel unterteilt. Nach der Einführung in das Thema und der Bezugnahme auf meine Forschungsfrage sowie der zugrunde liegenden Motivation in Kapitel 1 ordne ich die Thematik anhand verwandter Arbeiten in Kapitel 2 ein. Dort greife ich bisherige Ansätze aus dem Bereich der simultanen Dokumentation auf und analysiere vergleichbare Dokumentationssysteme in Bezug auf ihre Anpassungsverfahren.

In Kapitel 3 führe ich eine Anforderungsanalyse durch und stellen den Entwicklungsprozess des Prototypen vor. Insbesondere gehe ich dabei auf die Ausarbeitung der Anpassungsverfahren ein und erläutere Usability betreffende Designentscheidungen.

Aufgestellte Hypothesen und das Design der Nutzerstudie werden in Kapitel 4 näher betrachtet.

Kapitel 5 evaluiert die erhobenen Daten der Nutzerstudie, präsentiert die Ergebnisse in Bezug auf meine Forschungsfrage und elaboriere diese in einer Diskussion.

Abschließend fasst Kapitel 6 das von mir behandelte Thema zusammen und bietet einen Ausblick auf mögliche weiterführende Forschungen.

Themenbezogene Arbeiten

In diesem Kapitel schildere ich zunächst, was Forschungsdatenmanagement (FDM) bedeutet und diskutiere bestehende Probleme des FDM. Dabei gehe ich insbesondere auf die simultane Dokumentation ein.

Es gibt viele verschiedene Systeme zum Forschungsdatenmanagement, welche sehr unterschiedliche Ansätze verfolgen. Dabei stellt die Anpassbarkeit der Dokumentation ein große Herausforderung dar. Die unterschiedlichen Anpassungsverfahren dieser Systeme stelle ich gegenüber und elabriere diese.

2.1 Wissenschaftliche Dokumentation

2.1.1 Forschungsdatenmanagement

Ray zufolge ist das Interesse für Forschungsdatenmanagement (FDM) bzw. Research Data Management (RDM) durch die digitale Revolution in dem letzten Jahrzehnt deutlich gestiegen (Ray 2014), denn das Speichern, Teilen und Wiederverwenden von Daten ist dadurch erheblich leichter geworden. So wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl an FDM-Systemen entwickelt und für die offene Wissenschaft bereitgestellt. Diese Systeme repräsentieren verschiedene Ansätze zur Erstellung digitaler Infrastrukturen für Forschungsdaten (Putze, Porzel, Savino u. a. 2018). Jedoch fällt vielen Forschern der Umstieg auf eine digitale Dokumentation schwer. Einer der Gründe dafür ist, dass der ELN Markt sehr vielfältig ist und die Auswahl eines geeigneten Systems somit sehr mühselig sein kann (Kwok 2019). Nachwuchsforscher, welche nach der digitalen Revolution aufgewachsen sind, setzen hingegen vermehrt auf digitale Lösungen. Auch die wachsende Menge bei der Forschung anfallender Daten sowie Bedenken bezüglich Reproduzierbarkeit und Daten Management erschweren zunehmend eine analoge Dokumentation.

2.1.2 InfoSys

Im Bereich der zur Experimentdurchführung simultanen Dokumentation arbeitet das Projekt AimData¹ an dem Experimentmodell basierten FDM-System InfoSys (Putze, Porzel, Savino u. a. 2018). Dieses wird speziell für die Domäne der Materialwissenschaften entwickelt. InfoSys hebt sich von anderen FDM-Systemen ab, indem das zugrunde liegende Experimentmodell jede Facette des Experimentes abbildet. So wird die Erfassung strukturierter Daten zu einem integralen Bestandteil des Experimentes und stellt keinen nachgelagerten Prozess dar (ebd.). Diese Integration wird auch als simultane Dokumentation bezeichnet.

Das System InfoSys 1.0² wurde von dem TZI entwickelt und ist ein produktiv eingesetztes System zur strukturierten, simultanen Dokumentation von Forschungsdaten, speziell entwickelt für die Domäne der Materialwissenschaften. Dieses wurde in Version 2.0³ um das Konzept der Experimentserien erweitert, damit hat sich auch die Struktur des zugrundeliegenden Experimentmodells erweitert. Experimentserien bieten den Vorteil, feste Parameter sowie unabhängige und abhängige Variablen für mehrere Experimente vorzugeben und wiederzuverwenden, wie in Abbildung 2.1 zu sehen ist. Dies reduziert den Aufwand bei der Dokumentation von Experimenten, da nur die unabhängigen Variablen spezifiziert werden müssen (ebd.).

Das produktive InfoSys System soll durch stetige Forschungen effizienter, fehlertoleranter und benutzbarer gestaltet werden, um den Dokumentationsoverhead während der Experimentdurchführung zu reduzieren.

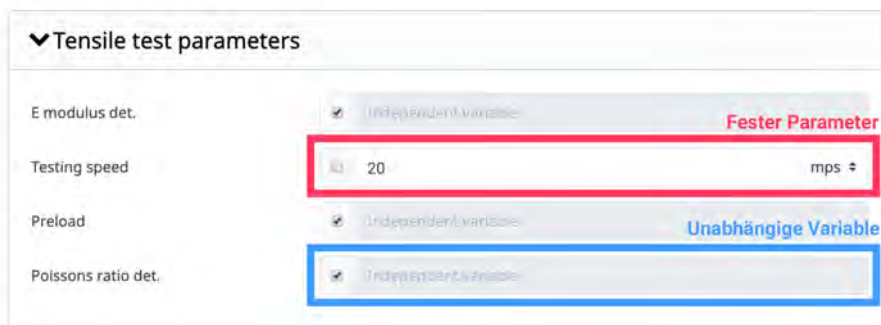


Abbildung 2.1 Erstellung einer Experimentserie in InfoSys (Putze, Porzel, Savino u. a. 2018)

¹<http://dm.tzi.de/projects/aimdata/>

²<https://devinfosys.iwt.uni-bremen.de/>

³<https://www.uni-bremen.de/infosys/>

2.2 Flexibilisierung von Forschungsdokumentation

2.2.1 Individualisierung von Eingabefeldern

Christina Bensch verfolgt in ihrer Bachelorthesis (Bensch 2018) einen Ansatz zur Individualisierung von Formularen, ebenfalls im Kontext der Dokumentation von Experimenten aus den Materialwissenschaften. Sie baut auf ein im Rahmen des Projektes AimData⁴ entwickeltes System *InfoSys*⁵ zur strukturierten Dokumentation mit Experimentreihen auf. Die feste Struktur dieses Systems erweitert Sie um Schalter an jedem Attribut, um die Relevanz dieser anzugeben.

Außerdem sieht Bensch das Erstellen, Filtern, Sortieren und Suchen von Templates vor, welche die Relevanzspezifikation eines Experimentes abbilden. Sie hat untersucht, ob die Verwendung dieser Templates eine Zeitersparnis erwirkt, wenn mehrere Experimente mit der selben Individualisierung durchgeführt werden müssen. Dabei konnte Sie eine Tendenz zur Verbesserung der Effizienz feststellen, welche sich allerdings nicht signifikant von der Dokumentation ohne Templates unterscheiden ließ.

Abbildung 2.2 zeigt den von ihr entwickelten Prototypen *Relevance Slider*.

The screenshot displays the 'InfoSys' web application interface. At the top right, there is a red button labeled 'Projekt abschließen' (Finish Project). Below the header, the breadcrumb 'Projekte / 0 / Reihen / Neu' is shown. The main heading is 'Experimentreihe Details' with a blue 'Speichern' (Save) button and the text 'Save the Form (Exit Edit Mode)'. To the right, a 'Vorlage' (Template) dropdown menu is visible, with a 'Durchsuchen Speichern' (Search Save) button below it. A 'Template Menu' on the right side offers 'Browse' and 'Save' options. The 'Experimentbeschreibung' (Experiment Description) section lists attributes with toggle switches and dropdown menus:

- Hergestellt nach Norm (Relevant Attribute) with a dropdown 'Bitte auswählen'.
- Platte Bez. / Nr. (Nicht relevant).
- Verantwortlicher WiMi (Nicht relevant).
- Verantwortlicher TeMi (Non-Relevant Attribute) with a dropdown 'Bitte Wert eingeben'.

The 'Faser' (Fiber) section includes:

- Material with a dropdown 'Bitte auswählen'.

Abbildung 2.2 Prototyp *Relevance Slider* von Christina Bensch (Bensch 2018)

⁴<http://dm.tzi.de/projects/aimdata/>

⁵<https://devinfosys.iwt.uni-bremen.de/>

2.2.2 CMAD

Martin Hanci hat in seiner Masterthesis (Hanci 2018) untersucht, ob Forscher Relevanz, Reihenfolge und den Wert der Attribute einer Dokumentation gleichzeitig bestimmen können. Er vergleicht die einschrittige mit der zweischrittigen Spezifikation von Struktur und Wert einer Dokumentation mit den Systemen CMAD sowie einem von CMAD abgewandelten System zur zweischrittigen Spezifikation von Struktur und Wert der Dokumentation. Diese Systeme führt Hanci als 1-Step-Input und 2-Step-Input in seiner Arbeit ein. Abbildung 2.3 zeigt das System CMAD sowie den Prozess zur gleichzeitigen Bestimmung von Struktur und Wert der Dokumentation. Beide Systeme initiieren ein Experiment mit einem leeren Modell, die Anpassung dieses Modells geschieht anhand eines Experimentmodells. Er kommt zu dem Ergebnis, dass die gleichzeitige Spezifikation mit CMAD eine deutlich bessere Effizienz, höhere Usability Bewertung sowie niedrigere Arbeitsbelastung erzielt.

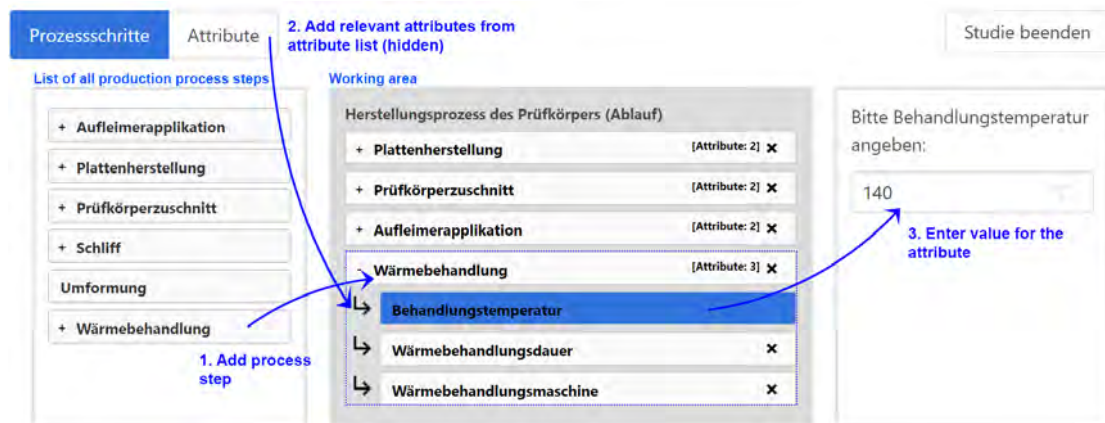


Abbildung 2.3 Prototyp CMAD von Martin Hanci (Hanci 2018)

2.2.3 Anpassungsverfahren im Bereich Forschungsdatenmanagement

Im Bereich des Forschungsdatenmanagement gibt es eine Vielzahl an Dokumentationssystemen, welche häufig eine Anpassung des Dokumentationsmodells an den gegenwärtigen Anwendungsfall bieten.

*Dendro*⁶ beschreibt sich selbst als *Open-Source Dropbox* mit Beschreibungsfeldern. Das System bietet die Möglichkeit, Projekte anzulegen, dazu werden diverse Metadaten vorausgesetzt. Ein solches Projekt dient als Speicherort für alle bei dem Projekt anfallenden Dateien. Diese können mit optionalen Dateiattributen (*Descriptors*) zur Beschreibung versehen werden, initial hat eine Datei keine *Descriptors*. Aufgrund der großen Anzahl können *Descriptors* durchsucht und gefiltert werden. Das Hinzufügen und Entfernen von *Descriptors* geschieht durch zwei unterschiedliche Schaltflächen, die Reihenfolge ist nicht anpassbar.



Abbildung 2.4 FDM-System Dendro

⁶<https://github.com/feup-infolab/dendro>

EDA (Experimental Design Assistant)⁷ erlaubt das generieren von Experiment-Templates. Diese sind in Form eines Diagramms dargestellt, welche aus verbundenen Knoten (Nodes) bestehen. Nodes sind entweder ein Experiment, ein Schritt oder eine Analyse. Die Nodes können innerhalb eines Templates frei angeordnet werden, somit ist die Reihenfolge dieser variabel. Jedoch bestehen Nodes aus festgelegten Attributen, welche nicht in ihrer Relevanz oder Reihenfolge angepasst werden können.

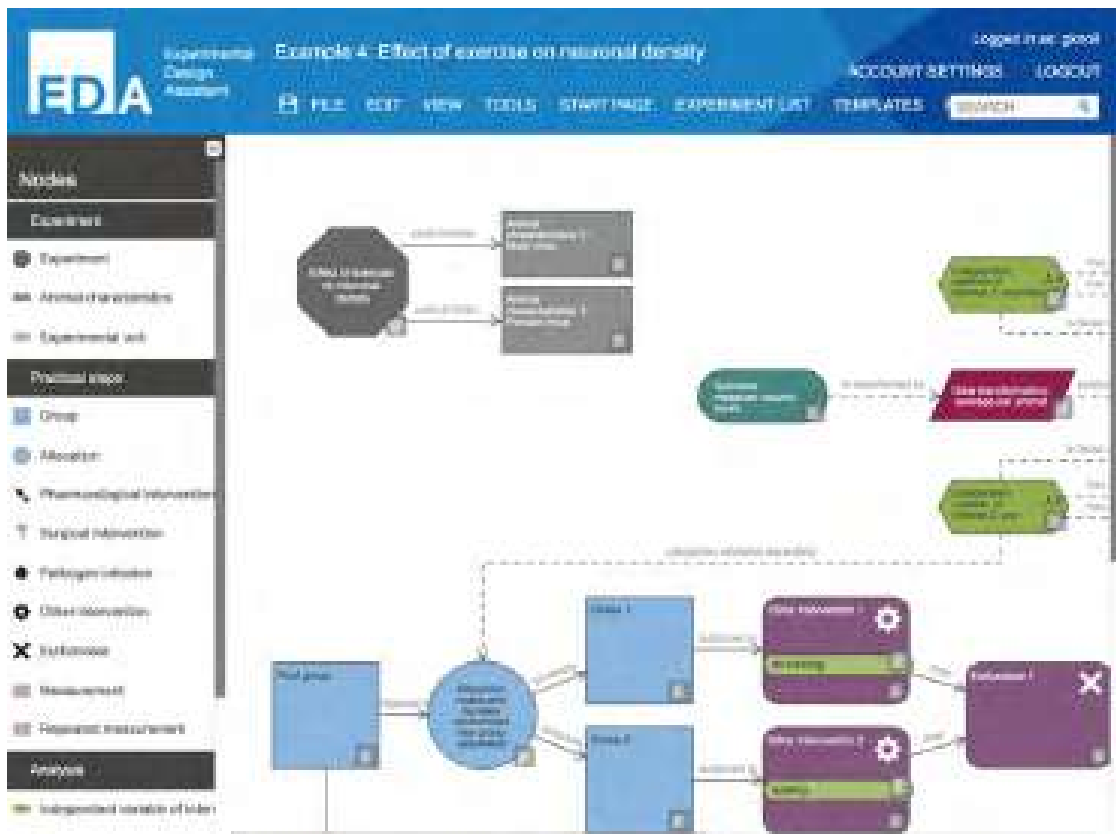


Abbildung 2.5 FDM-System EDA (Experimental Design Assistant)

⁷<https://eda.nc3rs.org.uk/>

Protocols.io⁸ ermöglicht das Erstellen von Protokollen bestehend aus Beschreibungsfeldern, Richtlinien, Materialien und Schritten. Letztere sind durch Abschnitte und Schritte strukturiert. Schritte können beliebig mit Text sowie Komponenten angereichert werden. Komponenten stellen vordefinierte Attribute wie z.B. Temperatur, Equipment oder Notizen dar. Die Reihenfolge dieser kann durch Einfügen der Komponente an die jeweilige Textstelle bestimmt werden, zum Ändern muss diese jedoch gelöscht und an anderer Stelle neu eingefügt werden. Die Schritte können durch zwei Pfeile eine Position nach oben bzw. nach unten verschoben werden, Drag & Drop Funktionalität gibt es keine.

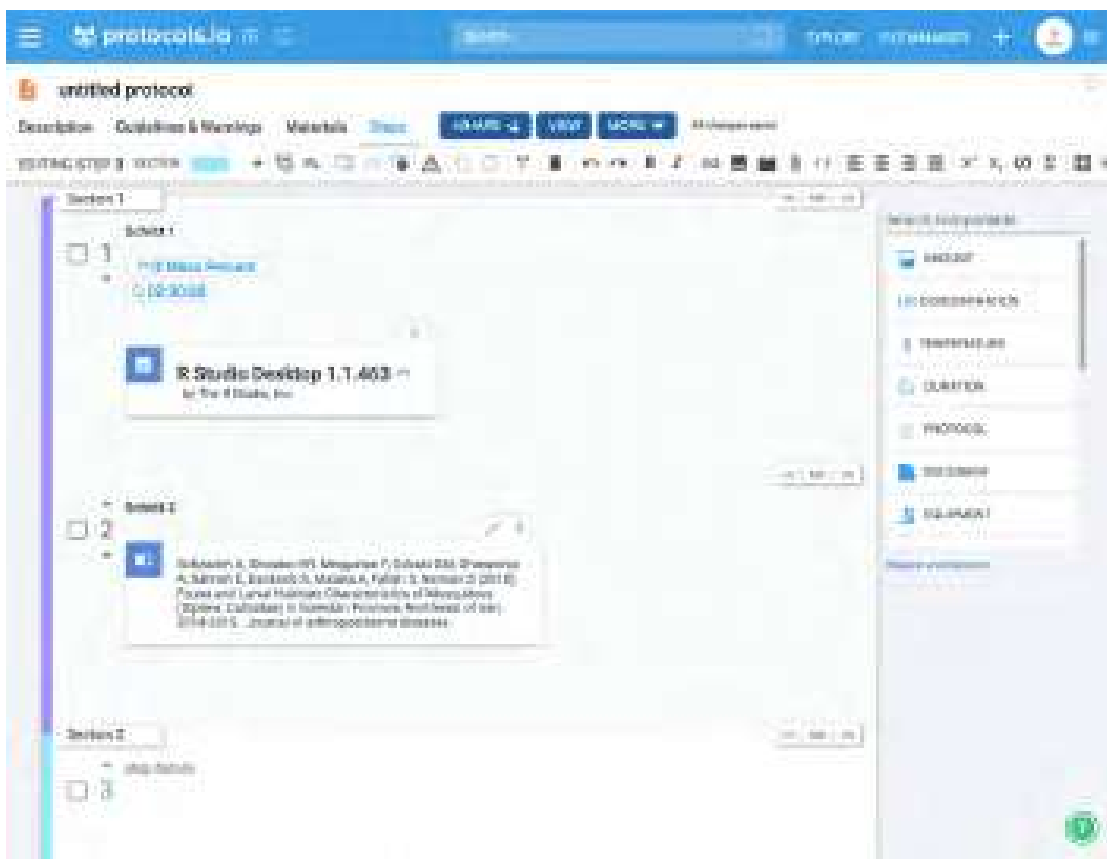


Abbildung 2.6 FDM-System Protocols.io

⁸<https://www.protocols.io/>

2.2. FLEXIBILISIERUNG VON FORSCHUNGSDOKUMENTATION

labarchives⁹ ist ein ELN welches ein reales Laborheft nachstellt. Ein Laborheft besteht aus mehreren Ordnern, welche Seiten enthalten. Seiten sind von Beginn an leer und können mit diversen Einträgen, wie z.B. Textfeldern, Formeln, Anhängen oder Zeichnungen, befüllt werden. Einträge können in ihrer Reihenfolge über zwei Pfeile nach oben und unten jeweils um eine Position nach oben oder nach unten verschoben werden. Einträge können nicht verschachtelt werden, es gibt nur eine Ebene innerhalb einer Seite.

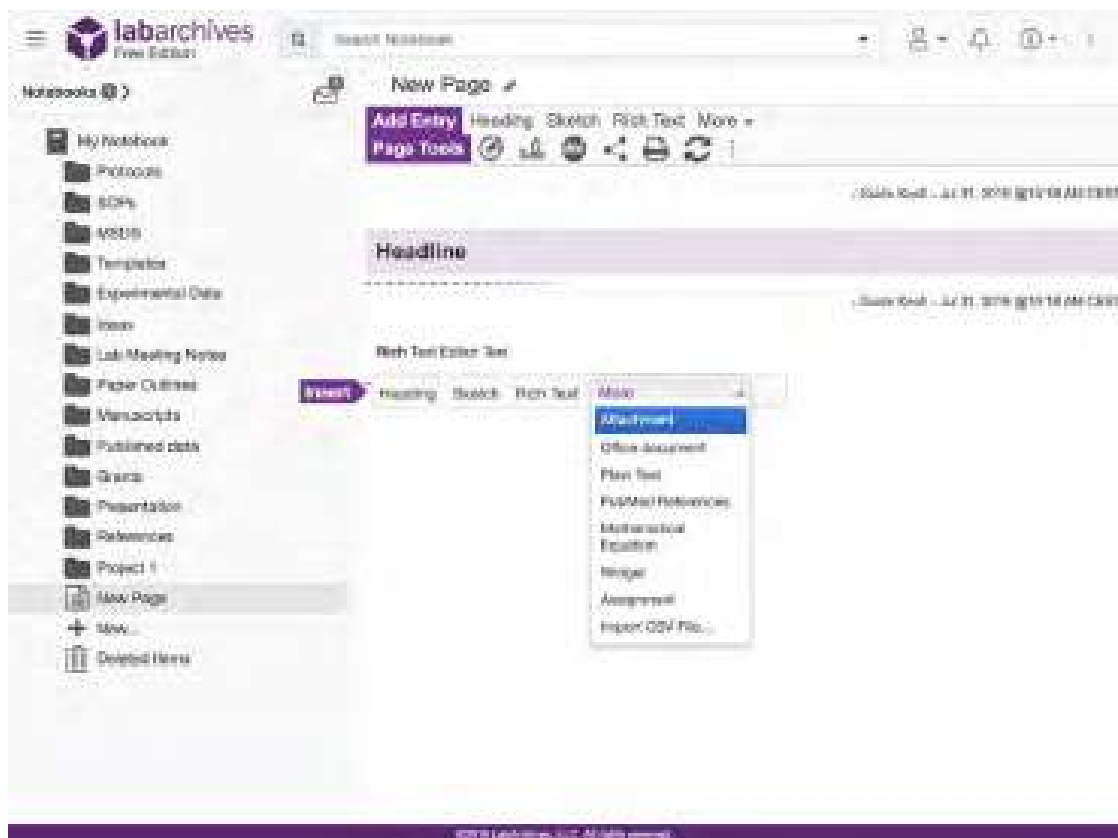


Abbildung 2.7 FDM-System labarchives

⁹<https://www.labarchives.com/>

Die Anpassungsverfahren der hier aufgeführten Systeme sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Tabelle 2.1 Anpassungsverfahren betrachteter RDM-Systeme

<i>System</i>	<i>Additiv/ Subtraktiv/ Sonstiges</i>	<i>Anpassung Anzeige</i>	<i>Anpassung Reihenfolge</i>	<i>Drag & Drop</i>
Dendro	Additiv	ja	nein	nein
EDA	Sonstiges	teilweise	teilweise	teilweise
Protocols.io	Additiv	ja	ja	nein
labarchives	Additiv	ja	ja	nein
CMAD+	Additiv	ja	ja	ja
Relevance Slider	Subtraktiv	ja	nein	nein

Es ist ersichtlich, dass das subtraktive Anpassungsverfahren nur teilweise bis gar nicht in den von mir untersuchten Dokumentationssystemen angewendet wird. Dies lässt darauf schließen, dass ein additives Anpassungsverfahren eine bessere Usability bieten sollte und eher dem entspricht, was der Nutzer von einem solchen System erwartet.

Daher können mögliche Erkenntnisse bezüglich einer größeren Fehlertoleranz, höheren Effizienz und Akzeptanz des subtraktiven Anpassungsverfahrens von besonderem Interesse sein.

Weiter zeigt Tabelle 2.1, dass nahezu alle Systeme eine Anpassung der Anzeige von Dokumentationsbestandteilen erlauben, jedoch nur einige eine Anpassung der Reihenfolge und nur wenige eine Drag & Drop Funktionalität bieten.

Dies lässt darauf schließen, dass die Reihenfolge dokumentierter Daten nicht immer von Bedeutung ist. Außerdem lässt dies vermuten, dass solche Dokumentationssysteme nur selten auf mobilen Geräten verwendet werden. Wenn doch, dann nur mit leichten bis erheblichen Einschränkungen durch die Peripherie von Mobilgeräten (Kim 2013). Durch die nicht an Mobilgeräten angepasste Usability wird ein weiterer Overhead erzeugt, welcher den Dokumentationsprozess aufwendiger gestaltet.

2.3 Einordnung

Abschließend ordne ich die Ansätze zur Flexibilisierung der simultanen Dokumentation ein und vergleiche diese mit der klassischen Forschungsdokumentation. Diese sind *InfoSys* (siehe Abschnitt 2.1.2), *Relevance Slider* (siehe Abschnitt 2.2.1) und *CMAD* (siehe Abschnitt 2.2.2).

Abbildung 2.8 kategorisiert die Systeme nach Flexibilität des Modells und Struktur der Dokumentation.

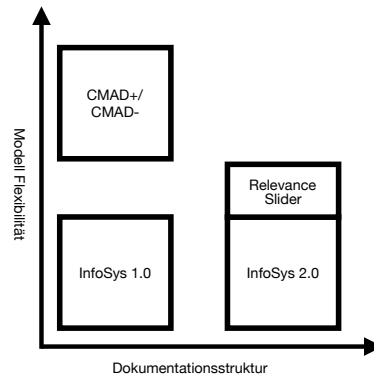


Abbildung 2.8 Übersicht der Ansätze zur Flexibilisierung der simultanen Forschungsdokumentation

Abbildung 2.9 vergleicht die in *CMAD* eingesetzte Flexibilisierung (grün hervorgehoben) mit der klassischen Forschungsdokumentation (blau hervorgehoben). Für die flexible Forschungsdokumentation wird zunächst ein angepasstes Modell erzeugt, welches auf einem Experimentmodell basiert. Dieses wird daraufhin mit strukturierten Daten zu einer Dokumentation angereichert. Das angepasste Modell von *CMAD* wird aus einem von Grund auf leeren Modell modelliert. *CMAD* vereint diese beiden Schritte in einem Schritt.

Bei der klassische Dokumentation wird keine Anpassung an dem Experimentmodell vorgenommen.

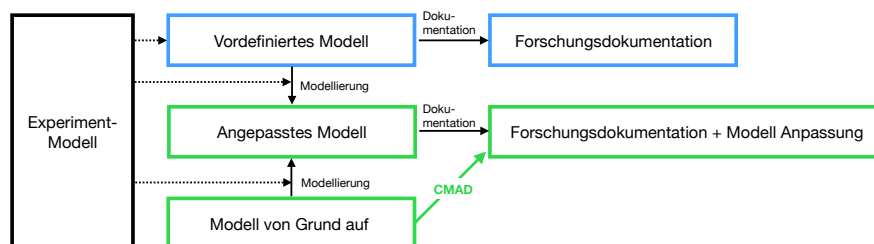


Abbildung 2.9 Übersicht Flexibilisierung

Kapitel 3

Systemdesign

In diesem Kapitel schildere ich die Analyse und Umsetzung des subtraktiven Anpassungsverfahrens von Forschungsdokumentation. Wie in Kapitel 2 offengelegt, verwenden wenige bis keine Forschungsdatenmanagement-(FDM-)Systeme die subtraktive Anpassung.

Ich gehe diesen alternativen Ansatz auf eine Ähnliche Weise wie Hanci an. Abbildung 3.1 stellt das subtraktive Anpassungsverfahren *CMAD-* in rot dar. Anders wie *CMAD* (grün hervorgehoben) wird das angepasste Modell aus einem vordefinierten Modell, dem Experimentmodell, modelliert. So sieht der Nutzer des Systems zu Beginn seiner Dokumentation das vollständige Experimentmodell, welches er auf die für sein Experiment notwendigen Bestandteile reduzieren kann.

Das Ergebnis von *CMAD* und *CMAD-* soll schlussendlich das gleiche sein, eine Forschungsdokumentation mit angepasstem Modell.

In Abbildung 3.1 blau hervorgehoben ist die Dokumentation ohne Flexibilisierung.

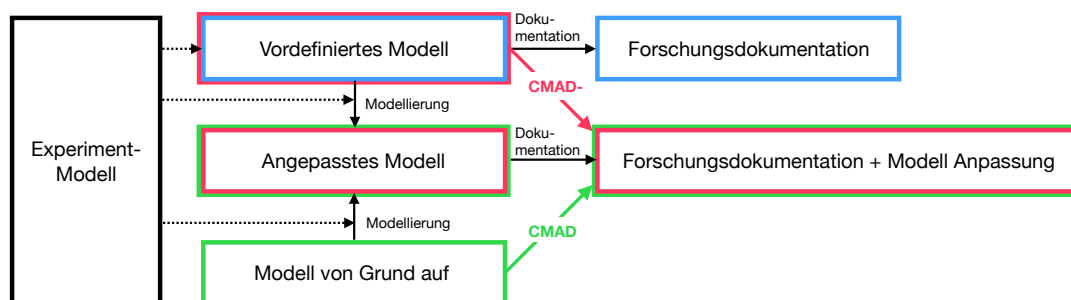


Abbildung 3.1 Veranschaulichung der simultanen Dokumentation im Vergleich zu *CMAD*

3.1 Anforderungsanalyse

Aus den vorherigen Experteninterviews (Bensch 2018; Hanci 2018; Putze 2019) mit Forschern des Instituts für Werkstofftechnik Bremen (IWT)¹ und des Faserinstituts Bremen (FIBRE)² habe ich folgende Anforderungen für die Flexibilisierung von FDM-Systemen abgeleitet.

Tabelle 3.1 Anforderungen an das FDM-System zur simultanen Forschungsdokumentation

<i>ID</i>	<i>Anforderung</i>
A1	Der Nutzer kann Experimentinstanzen erstellen, bearbeiten und löschen.
A2	Der Nutzer kann zwischen einem Bearbeitungs- und Ansichtsmodus wechseln.
A3	Der Nutzer kann Experimentbestandteile einer Experimentinstanz in ihrer Reihenfolge und Relevanz anpassen.
A4	Das System muss für die Materialwissenschaften angemessene Eingabefelder aufweisen und die Angabe von Einheiten unterstützen.
A5	Das System muss den additiven und subtraktiven Flexibilisierungsmechanismus sowie keine Flexibilisierung abbilden können.

Die Anforderungen A1 bis A4 sorgen dafür, dass die grundsätzliche Funktion zur Dokumentation von Forschungsdaten durch das Systems gewährleistet werden kann. Anforderung A5 ergibt sich indirekt aus den Experteninterviews, denn Forscher der Institute² haben die Fehlertoleranz an einem vorherigen System bemängelt (Putze 2019). Sie bedenken, dass Attribute durch den additiven Ansatz von Hanci (Hanci 2018) vergessen oder übersehen werden könnten, indem diese fälschlicherweise nicht zu der Experimentinstanz hinzugefügt werden. Dem versuche ich durch den subtraktiven Ansatz der Flexibilisierung entgegenzuwirken. So ist für jedes Attribut, welches nicht benötigt wird, eine manuelle Aktion des Ausblendens notwendig (siehe Abschnitt 4.2). Weiterhin wird es für beide Anpassungsverfahren einen auffälligen Hinweis auf nicht ausgefüllte Eingabefelder geben, um die Fehlertoleranz im Allgemeinen zu verbessern. Schritte mit leeren Eingabefeldern, welche nicht explizit ausgeblendet wurden, werden ebenfalls hervorgehoben, wie in Abbildung 3.5 dargestellt.

3.2 Usability Design

Der von mir entwickelte Prototyp baut auf den von Martin Hanci in seiner Masterarbeit entwickelten Prototypen CMAD auf (ebd.). Im folgenden gehe ich auf Änderungen ein, welche ich aus Gründen der Verbesserung von Usability und User Experience (UX) vorgenommen habe.

¹<http://www.iwt-bremen.de/iwt/>

²<https://www.faserinstitut.de/>

3.2.1 Layout und Struktur

CMAD ist durch ein 3-Spalten-Layout definiert, welches die drei Schritte des Dokumentationsprozesses darstellen soll. Dieses Layout ist in Abbildung 3.2 dargestellt. In der linken Spalte befindet sich eine Toolbox (1) mit allen vorhandenen Dokumentationsbestandteilen. Mittig befindet sich der Arbeitsbereich (2), in dem die Dokumentationsbestandteile in ihrer Reihenfolge und Relevanz definiert werden können. In der rechten Spalte (3) werden die Werte der Attribute gesetzt.



Abbildung 3.2 Hervorhebung der Hauptkomponenten in CMAD (Hanci 2018)

Dieses Layout wurde so gewählt, um die bessere Usability der simultanen Dokumentation, d.h. die gleichzeitige spezifikation von Relevanz, Reihenfolge und Werten, zu bekräftigen. Hanci konnte diese Hypothese mit seiner Arbeit bestätigen:

The results of the study evaluation show that the new 1-Step-Input approach is more efficient and rated with a better usability. (ebd.)

Dieses 3-Spalten-Layout birgt jedoch auch einige Nachteile, wie in Tabelle 3.3 aufgelistet. Um diese zu beseitigen, ist nun eine Umstrukturierung der simultanen Dokumentation möglich. So hoffe ich, die Usability Hancis Prototypen mit meinem Ansatz weiter optimieren zu können.

Folgende Optimierungen haben sich aus den vorherigen Experteninterviews (Bensch 2018; Hanci 2018) ergeben:

Tabelle 3.3 Optimierungen des CMAD Systems

<i>ID</i>	<i>Problem</i>	<i>Optimierung</i>	<i>Auswirkung</i>
01	Es kann nur ein Wert eines Attributes gleichzeitig angezeigt werden.	Das einsehen aller Attributwerte ist zu jeder Zeit möglich.	Die Übersichtlichkeit der Dokumentation wird gewährleistet.
02	Alle zur Auswahl stehende Experimentbestandteile werden nicht gleichzeitig angezeigt.	Anzeige aller Attribute im zugehörigen Schritt.	Es sind weniger Interaktionen für die Spezifikation der Relevanz nötig, indem die Ansicht der Toolbox (1) nicht jeweils gewechselt werden muss.
03	Die Schaltflächen für die Relevanzspezifikation sind klein, liegen weit auseinander und sind nicht hervorgehoben.	Gruppierung, Hervorhebung und Vergrößerung der Schaltflächen	Ersichtlichere und benutzerfreundlichere Anpassung von Relevanz und Reihenfolge.
04	Der Hinweis auf nicht ausgefüllte Attribute und unvollständige Schritte fehlt.	Nicht ausgefüllte Attribute und unvollständige Schritte werden hervorgehoben.	Der Nutzer wird auf fehlende Daten aufmerksam gemacht.

Wie in Abbildung 3.3 zu sehen, habe ich die Toolbox mit allen Dokumentationsbestandteilen sowie die Spalte für die spezifikation von Attributwerten in den Arbeitsbereich integriert, um die Optimierungen O1 und O2 umzusetzen (siehe Tabelle 3.3). So erübrigt sich das Problem, dass in CMAD immer nur ein Wert des ausgewählten Attributes angezeigt werden konnte, während die Übersicht über alle definierten Werte für eine korrekte und vollständige Dokumentation von Bedeutung ist (siehe Anhang A.2).



Abbildung 3.3 Hervorhebung der Hauptkomponenten meines Prototypen

In Abbildung 3.4 sind die Schaltflächen zur spezifikation von Relevanz (1) und Reihenfolge (2) sowie für das Einklappen des Schrittes (3) markiert. Um O3 umzusetzen, habe ich diese, wie in Abbildung 3.5 zu sehen ist, angepasst. Die Schaltflächen sind nun farblich hervorgehoben (siehe 3.2.2) und links neben dem Eingabefeld gruppiert. Außerdem wurde die Größe dieser an die Bedienung auf Mobilgeräten angepasst. Der Griff für die Anpassung der Reihenfolge wird nun durch ein entsprechendes Icon symbolisiert, um dem Nutzer zu zeigen, dass diese Möglichkeit besteht. Diese Interaktion fand bei CMAD mittels Greifen des Attributes selbst statt.

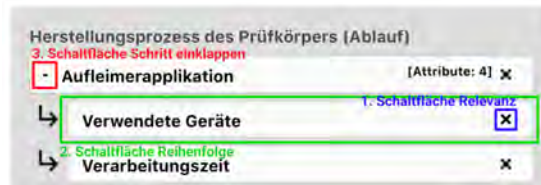


Abbildung 3.4 Hervorhebung der Schaltflächen in CMAD (Hanci 2018)

In Abbildung 3.5 gelb hervorgehoben ist der Hinweis auf nicht ausgefüllte Dokumentationsbestandteile in Form eines roten Kreises in der oberen rechten Ecke von Eingabefeldern oder Schritten. Eine Dokumentation ist vollständig, wenn keine solcher Hinweise mehr zu sehen sind. Damit ist auch Optimierung O4 umgesetzt. Dieser Hinweis wird in Abschnitt 3.3.3 näher betrachtet.



Abbildung 3.5 Hervorhebung der Schaltflächen meines Prototypen

3.2.2 Farbgestaltung

Die Farbgestaltung des Systems folgt einer klaren Linie und wurde über alle Komponenten des Systems hinweg gleichmäßig eingesetzt. Durch die verwendete UI Bibliothek Angular Material³ wird die Designsprache Material Design⁴ bereits vorgegeben, allerdings sind viele Anpassungen möglich. Das Farbschema der Designsprache sieht eine Primär- und Akzentfarbe vor. Ich habe mich für ein gesättigtes Orange als Akzentfarbe entschieden, welches hauptsächlich für Schaltflächen bezüglich der Relevanzspezifikation von Experimentbestandteilen verwendet wird. Diese Farbe wird durch ihre hohe Sättigung als dynamisch, klar und aktiv wahrgenommen und hat eine starke psychologische Auswirkung auf den Nutzer (Ou 2015). So verbindet der Nutzer unterbewusst die orange gefärbten Schaltflächen mit dieser Farbwahrnehmung. Es wird nahegelegt, dass diese Schaltflächen eine Aktion hervorrufen. Als Primärfarbe verwende ich ein entsättigtes, dunkles Blau. Somit sind Primär- und Akzentfarbe komplementär, dadurch wirken die Systemfarben harmonisch (ebd.).

³<https://material.angular.io/>

⁴<https://material.io/design/>

3.2.3 Symbolsprache

Für die leichtere und schnellere Verständlichkeit verwende ich Symbole bzw. Icons, welche die Aktion einer Schaltfläche ohne eine Beschriftung vermitteln können. Außerdem spart das Auslassen von Beschriftungen Platz und erwirkt eine übersichtlichere Benutzeroberfläche. Alle verwendeten Icons sind in Abbildung 3.6 dargestellt und stammen aus der Material Icons Bibliothek⁵. Sollte die Intention eines Icons dem Nutzer nicht verständlich sein, gibt es einen Hilfe-Dialog, in welchem sämtliche Schaltflächen erklärt werden (siehe Abschnitt 3.3.4). Das Icon für die Schaltfläche, welche diesen Dialog öffnet, ist zusätzlich mit einer Beschriftung versehen, um Missverständnisse zu vermeiden.

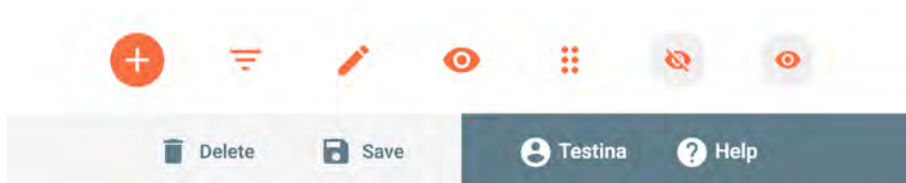


Abbildung 3.6 Verwendete Symbole für die Vermittlung der Symbolsprache

3.3 Prototyp

Basierend auf den zuvor festgelegten Anforderungen habe ich einen Prototypen (Knoll 2019) zur Durchführung der Nutzerstudie entwickelt. Diesen habe ich explizit als Open Source freigegeben. In den folgenden Abschnitten gehe ich auf Besonderheiten des Prototypen ein und erläutere getroffene Designentscheidungen.

Die Dokumentation innerhalb dieses Prototypen erfolgt in Form von Projekten, welche Metadaten sowie die Dokumentation eines Experimentes beinhalten. Abbildung 3.7 stellt die Ansicht eines neu erstellten Projektes dar.

Die darin ersichtlichen Komponenten beschreibe ich im Folgenden von oben nach unten. In dem oberen Header des Systems kann ein Hilfe-Dialog geöffnet werden (siehe Abschnitt 3.3.4). Der darunterliegende Header bleibt auch bei dem Scrollen innerhalb des Systems sichtbar und bildet die Grundlegenden Operationen eines Projektes wie Löschen, Speichern, Bearbeiten und Ansehen ab. Darüber hinaus kann über diesen zurück zu der Projektübersicht (siehe Anhang A.1) navigiert, die Anpassungsverfahren der Schritte aktiviert und der Projektname angezeigt werden.

Unterhalb des Headers befinden sich Attribute, welche das Projekt mit Metadaten wie einem Namen und Start- sowie Enddatum versehen.

⁵<https://material.io/tools/icons>

Darunter folgen die Dokumentationsschritte, welche in die Teile *Prüfkörperherstellung* und *Prüfkörper Test* unterteilt sind. Diese beinhalten jeweils passende Attribute in Form eines Eingabefeldes, Selektierfeldes oder eines doppelten Eingabefeldes. Das Selektierfeld dient zur Auswahl vordefinierter Werte. Dies erleichtert den Dokumentationsaufwand zusätzlich, denn der ausgewählte Wert ist von dem Nutzer nicht manuell einzutragen. Jedes Eingabefeld verfügt über zwei Schaltflächen zur Spezifikation von Relevanz und Reihenfolge dieser. Diese werde in Abschnitt 3.3.2 näher betrachtet.

Eine Abbildung aller Schritte und Attribute im Ansichts- sowie Bearbeitungsmodus ist in Abbildung A.2 zu sehen.

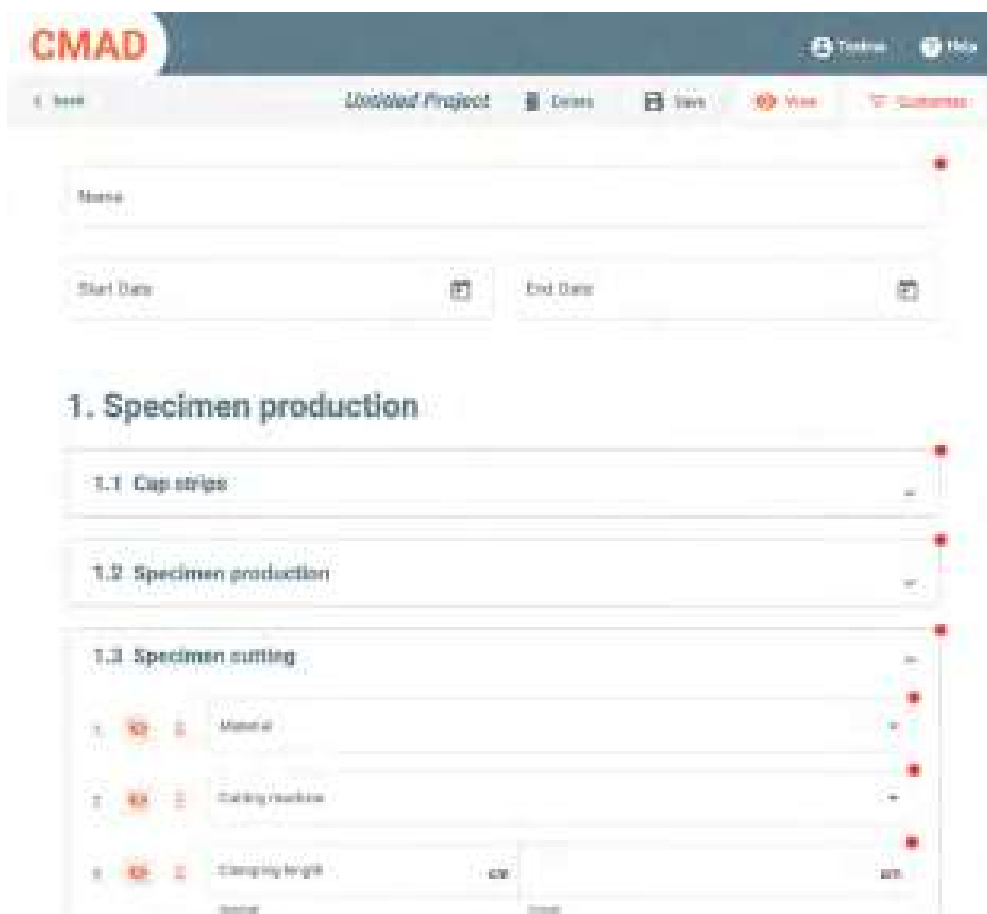


Abbildung 3.7 Screenshot des für die Nutzerstudie entwickelten Prototypen

3.3.1 Technologie

Bei der Wahl einer geeigneten Technologie spielten die Faktoren Entwicklungszeit, Flexibilität und Kompatibilität mit Mobilgeräten eine große Rolle. Durch Vorerfahrungen im Bereich der Webentwicklung habe ich mich für das Front-End-Framework Angular⁶ entschieden. In Kombination mit der UI Komponenten Bibliothek Angular Material⁷ ließ sich schnell ein web-basierter, individueller Prototyp entwickeln, welcher über den Browser auf Mobilgeräten verwendet werden kann. Diese Bibliothek enthält bereits Grundlegende UI Komponenten für Layout, Navigation, Formulare, Dialoge und weitere Elemente sowie ein Toolkit für Drag & Drop⁸ Funktionalität. Dadurch lässt sich die Entwicklungszeit maßgeblich reduzieren. Für die Komplexität des Formulars, welches zentraler Bestandteil des Dokumentationssystems ist, sowie den speziellen Anwendungsfall der simultanen Dokumentation, habe ich jedoch noch einige händische Anpassungen vornehmen müssen. Beispielsweise mussten einige Anpassungen für die Schaltflächen zur Relevanzspezifikation vorgenommen werden, diese haben insgesamt die Meisten Änderungen während der Entwicklung erfahren (siehe 3.3.2).

Die Persistenz erfolgt in Form eines lokalen Mock-Servers⁹, welcher Daten in Form von JSON einlesen und ausgeben kann sowie gängige HTTP-Methoden unterstützt.

3.3.2 Relevanzspezifikation

Abbildung 3.8 zeigt die Änderungen an den Schaltflächen zur Spezifikation der Relevanz und Reihenfolge, welche während der Entwicklung des Prototypen vorgenommen wurden. Anfangs gab es noch keine Möglichkeit, ein Attribut als nicht relevant zu markieren. In Version 2 wurde diese Funktion in Form eines schwarzen Kreuzes auf der rechten Seite hinzugefügt. Die Positionierung wurde jedoch bereits in Version 3 nach links verschoben, da der Nutzer meist zuerst die Relevanz der Schritte definiert und von links nach rechts arbeitet. In Version 4 kam der Drag & Drop Griff für die Anpassung der Reihenfolge hinzu. Dieser hatte zu dem Zeitpunkt die Form von zwei Pfeilen nach oben und unten, um die Zieh-Richtung darzustellen. Außerdem wurden die Schaltflächen orange gefärbt, damit der Nutzer durch die farbliche Hervorhebung eine Aktion mit der Schaltfläche verbindet (siehe 3.2.2). Dieser Griff wurde in Version 5 nach rechts neben das Kreuz verschoben, um für beide Schaltflächen eine größere Aktionsfläche zu bieten, welches die Betätigung auf Mobilgeräten erleichtert. In Version 6 wurden beide Schaltflächen der Einheitlichkeit zugunsten nach links außerhalb des Eingabefeldes verschoben. Weiterhin wurde dem Kreuz in Version 7 ein hellgrauer Hintergrund zur Verdeutlichung der Klickbarkeit gegeben und das Icon des Griffes zu einem 6-Punkte-Symbol

⁶<https://angular.io/>

⁷<https://material.angular.io/>

⁸<https://material.angular.io/cdk/drag-drop>

⁹<https://www.npmjs.com/package/json-server>

geändert, welches in vielen mobilen Anwendungen einen Drag & Drop Griff symbolisiert¹⁰. So soll dem Nutzer die Funktion der Schaltflächen verständlicher sein. Zu guter Letzt wurde das Kreuz in Version 8 durch ein Ausblenden-Symbol mit einem durchgestrichenem Auge ersetzt, da das Kreuz in einigen Piloten der Nutzerstudie eher mit einer Löschen-Aktion verbunden wurde. Ein ausgeblendetes Attribut ist wie in Abbildung 3.9 dargestellt, zum Einblenden ist die Schaltfläche mit dem Auge zu betätigen.

Im Header des Prototypen gibt es einen Hilfe-Dialog, welcher die Funktion aller Schaltflächen erläutert (siehe 3.3.4).

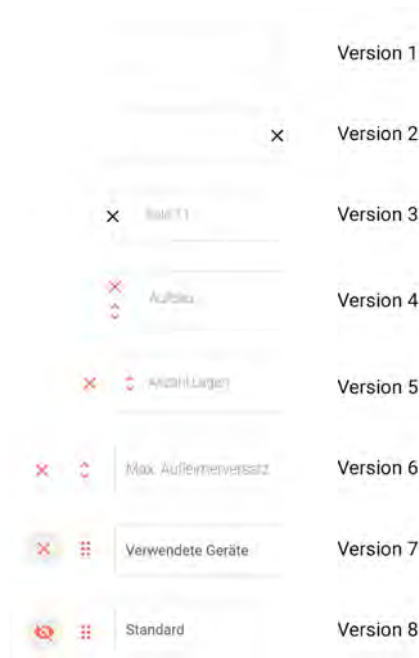


Abbildung 3.8 Entwicklung der Schaltflächen zur Abbildung der Anpassungsverfahren



Abbildung 3.9 Darstellung eines nicht relevanten Attributes

¹⁰<https://uxdesign.cc/drag-and-drop-for-design-systems-8d40502eb26d>

3.3.3 Hinweis auf Vollständigkeit

Wie in Abbildung 3.7 zu sehen, werden unvollständige Schritte und nicht ausgefüllte Attribute mit einem roten Punkt in der oberen rechten Ecke hervorgehoben. Dies soll dem Nutzer verdeutlichen, an welcher Stelle Werte fehlen oder ausgeblendet werden müssen. Ein Schritt ist unvollständig, wenn dieser nicht ausgefüllte Attribute enthält.

Eine vollständige Dokumentation ist daran zu erkennen, dass keine roten Hinweise mehr sichtbar sind.

3.3.4 Hilfe

Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung der Usability des Prototypen ist ein Dialog zur Hilfestellung bei der Bedienung. Wie in Abbildung 3.10 zu sehen, sind alle Funktionen des Prototypen in der Hilfe zusammengefasst. Dadurch soll die Nutzung auch für Personen mit geringerer Affinität zu digitalen Systemen gewährleistet werden. Der Dialog wird mittels einer Schaltfläche im Header des Prototypen aufgerufen und ist somit von jeder Seite zu erreichen.

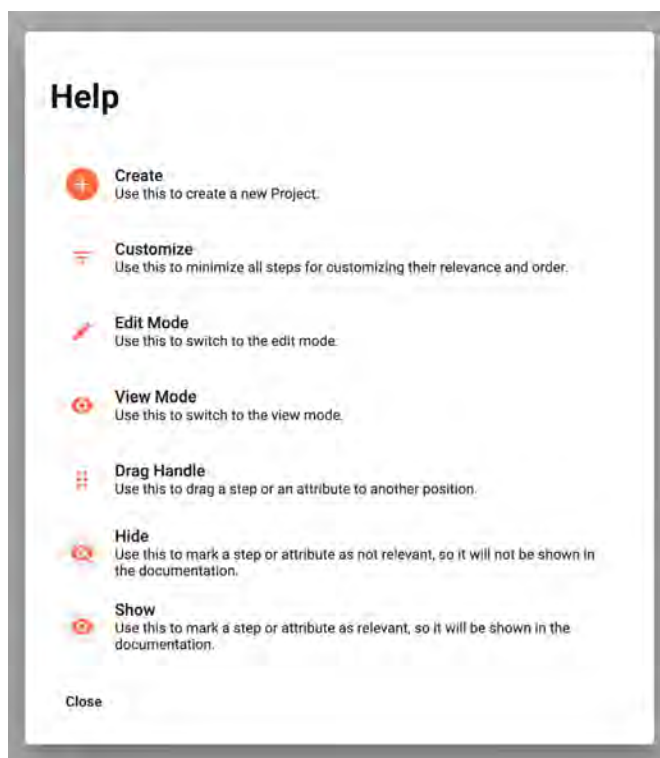


Abbildung 3.10 Hilfe Dialog

Kapitel 4

Studiendesign

In diesem Kapitel präsentiere ich zunächst meine Hypothesen, welche ich zur Beantwortung meiner Forschungsfrage *„Kann die simultane Dokumentation von Forschungsdaten durch Anpassungsverfahren verbessert werden? Wenn ja, welche Anpassungsverfahren eignen sich am besten?“* festgelegt habe.

Weiterhin elaboriere ich, wie ich die Studie in Bezug auf meine Forschungsfrage konzipiert habe.

4.1 Hypothesen

Die für meine Studie interessanten Usability-Kriterien sind Effizienz, Fehlertoleranz und Zufriedenheit. Diese gehören zu den fünf Usability-Kriterien definiert von Nielsen (Nielsen 1993). Hypothese *H1* adressiert den generellen Vergleich einer Dokumentationen ohne Flexibilisierung sowie einer Dokumentationen mit Flexibilisierung durch Anpassungsverfahren in Bezug auf die drei Usability-Kriterien sowie den subjektiv wahrgenommenen Arbeitsaufwand. Die Hypothesen *H2* bis *H4* fokussieren sich auf die drei Usability-Kriterien in Bezug auf das subtraktive und additive Anpassungsverfahren. *H5* adressiert den subjektiv wahrgenommenen Arbeitsaufwand der beiden Anpassungsverfahren.

Tabelle 4.1 Aufgestellte Hypothesen

<i>ID</i>	<i>Hypothese</i>
H1	Dokumentationen mit Anpassungsverfahren sind gegenüber Dokumentationen ohne Flexibilisierung schneller, fehlertoleranter und vom Nutzer bevorzugt sowie weisen einen subjektiv wahrgenommen geringeren Arbeitsaufwand auf.
H2	Das subtraktive Anpassungsverfahren ist schneller als das additive Anpassungsverfahren.
H3	Das subtraktive Anpassungsverfahren ist fehlertoleranter als das additive Anpassungsverfahren.
H4	Die Nutzer bevorzugen das subtraktive Anpassungsverfahren gegenüber dem additiven Anpassungsverfahren.
H5	Der subjektiv wahrgenommene Arbeitsaufwand des subtraktiven Anpassungsverfahrens ist geringer als der des additiven Anpassungsverfahrens.

4.2 Benchmarksysteme

Um die subtraktive Anpassung (CMAD-) zu evaluieren, vergleiche ich diese mit zwei abgewandelten Dokumentationssystemen.

Zum einen führe ich den ersten Durchlauf der Nutzerstudie ohne Flexibilisierung durch, d.h. es kann weder die Reihenfolge noch die Relevanz der Experimentbestandteile angepasst werden (CD). Dieses Benchmarksystem nutze ich, um den generellen Unterschied von Anpassungsverfahren in der simultanen Dokumentation hervorzuheben sowie Usability und Arbeitsaufwand dieser zu evaluieren.

Zum anderen gibt es ein zweites Benchmarksystem, welches die additive Anpassung abbildet (CMAD+). Das Konzept der additiven Anpassung wurde in der Masterthesis von Martin Hanci (Hanci 2018) vorgestellt. Der Vergleich mit dem additiven System dient zur Beantwortung der Frage, welche der Anpassungsverfahren am besten für die simultane Dokumentation geeignet ist sowie um Vor- und Nachteile dieser gegenüberzustellen. Im folgenden sind die Anpassungsverfahren noch einmal im Detail erklärt.

Keine Flexibilisierung (CD)

Alle Funktionen des Prototypen sind ausschließlich der Flexibilisierung vorhanden. Demnach kann keine Anpassung der Relevanz und Reihenfolge vorgenommen werden, alle Experimentbestandteile werden angezeigt.

Subtraktive Anpassung (CMAD-)

Alle Funktionen des Prototypen sind vorhanden, die Flexibilisierung erfolgt durch das Entfernen von Attributen und Schritten sowie Anpassen der Reihenfolge. Entfernte Experimentbestandteile können wieder hinzugefügt werden.

Additive Anpassung (CMAD+)

Alle Funktionen des Prototypen sind vorhanden, die Flexibilisierung erfolgt durch das Hinzufügen von Attributen und Schritten sowie Anpassen der Reihenfolge. Hinzugefügte Experimentbestandteile können wieder entfernt werden.

Meinen Prototypen habe ich dahingehend entwickelt, diese verschiedenen Mechanismen abbilden zu können, wie in Abbildung 4.1 dargestellt.

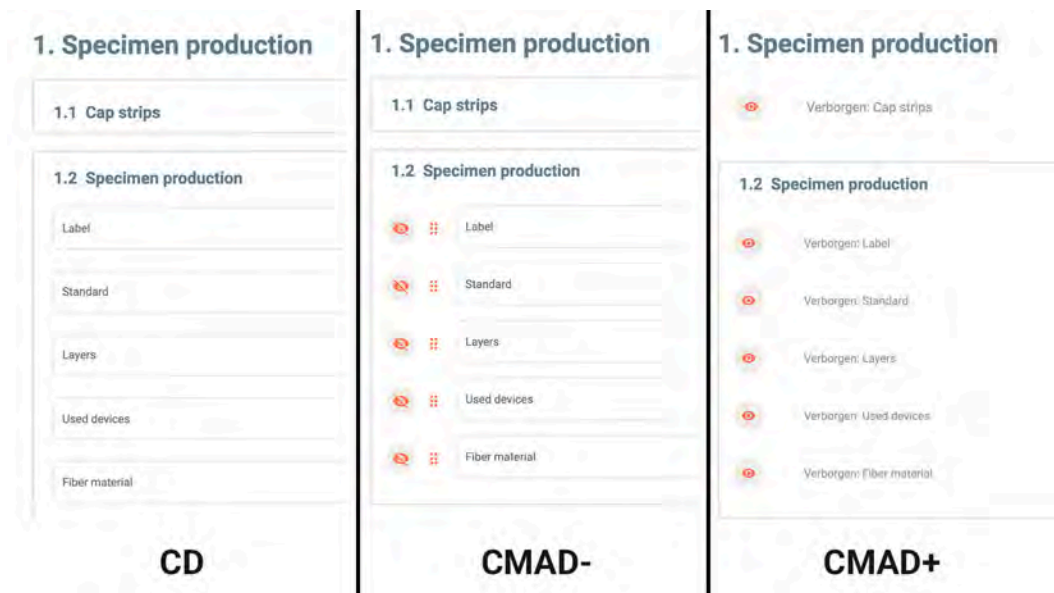


Abbildung 4.1 Gegenüberstellung der Benchmark Systeme

4.3 Vorgehen

Für die Festlegung meines Vorgehen habe ich mich stark an das Vorgehen von Lazar gerichtet (Lazar u. a. 2017), wie in Abbildung 4.2 dargestellt. Ich habe nur eine unabhängige Variable, diese ist das gewählte Anpassungsverfahren des Dokumentationssystems. Demnach entscheide ich mich für ein klassisches Studiendesign. Meine unabhängige Variable kann drei Konditionen annehmen: Kein Anpassungsverfahren, die additive Anpassung sowie die subtraktive Anpassung. Nach Lazar habe ich nun die Wahl zwischen dem Within-Group und dem Between-Group Design. Ersteres ist für meinen Anwendungsfall angemessen, denn es ist für meine Studie von Bedeutung, dass jedes System von dem selben Probanden evaluiert wird. So habe ich einen direkten Vergleich der drei Systeme in einem gleichbleibenden Umfeld und der Proband kann mir durch seinen eigenen, subjektiven Vergleich qualitatives Feedback geben. Außerdem kann ich so die Anzahl an nötigen Probanden reduzieren.

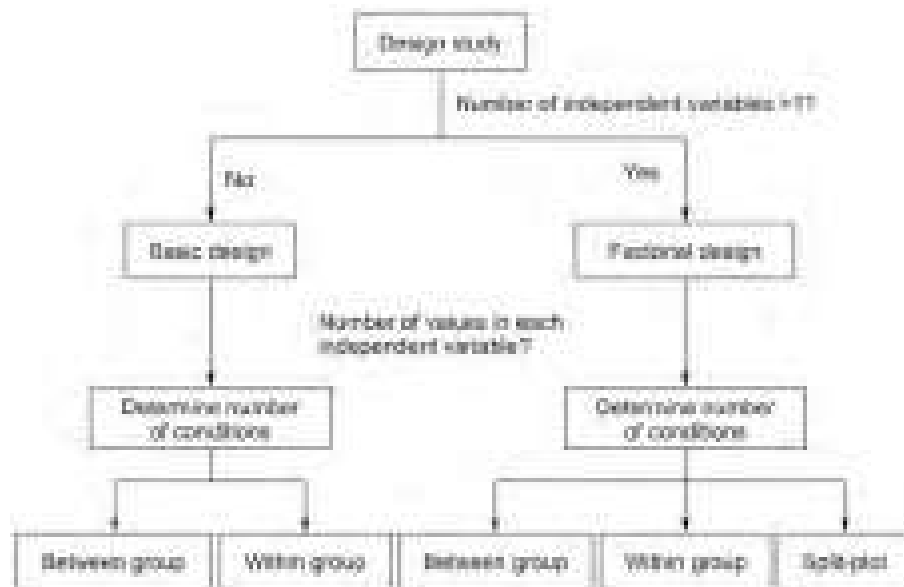


Abbildung 4.2 Wahl eines passenden Studiendesigns nach Lazar u. a. 2017

Zur Reduktion des Lerneffektes randomisiere ich den Ablauf der Anpassungsverfahren. Um den Nutzer durch eine Reduktion der Komplexität des Systems während der Studie nicht zu irritieren, habe ich mich dafür entschieden, das Anpassungsverfahren ohne Flexibilisierung bei jedem Probanden als erstes zu untersuchen. So entscheide ich mich schlussendlich dafür, die Probanden in zwei gleich große Gruppen aufzuteilen.

Nach Hornbæk sollte es in HCI Studien je Kondition mindestens 20 Probanden geben (Hornbæk u. a. 2013). Daher möchte ich meine Studie mit mindestens 20 Probanden in Summe durchführen, dies resultiert in 10 Probanden je Gruppe. Aufgrund des Between-Group Designs habe ich so 20 Probanden je Kondition.

Wie in Abbildung 4.3 dargestellt, wird jedem Probanden jedes der drei Anpassungsverfahren vorgelegt, Gruppe 1 und 2 unterscheiden sich lediglich in der Reihenfolge des additiven und subtraktiven Anpassungsverfahrens. Für jedes Anpassungsverfahren gibt es einen Durchlauf mit zwei Aufgaben, während die erste dieser jeweils dazu dient, sich mit dem neuen System vertraut zu machen. Die zweite Aufgabe dient zur qualitativen Evaluation des jeweiligen Systems (siehe Abschnitt 4.5). Die Gesamtdauer der Studie mit einem Probanden beträgt etwa 45 Minuten.

Nach jedem Durchlauf füllt der Proband zwei standardisierte Fragebögen aus. Zum einen den SUS (System Usability Scale) Fragebogen (Brooke 1996), welcher mittels zehn einfacher Fragen die subjektive Bewertung der Usability des evaluierten Systems angibt. Dieser Fragebogen ist in Abbildung A.5 zu finden. Der NASA TLX (Hart u. a. 1988) ist ein Fragebogen zur Bestimmung des subjektiv wahrgenommenen Arbeitsaufwandes (Task Workload).

	Gruppe 1	Gruppe 2
	Teilnahmezustimmung, Demographischer Fragebogen, Einführung	
Durchlauf 1 Onboarding + Aufgabe	CD	CD
	SUS + NASA-TLX Fragebogen	
Durchlauf 2 Onboarding + Aufgabe	CMAD+	CMAD-
	SUS + NASA-TLX Fragebogen	
Durchlauf 3 Onboarding + Aufgabe	CMAD-	CMAD+
	SUS + NASA-TLX Fragebogen	
	Interview	

Abbildung 4.3 Ablauf der Studie

4.4 Aufbau

Um die Begebenheiten eines realen Szenarios eines wissenschaftlichen Experimentes in den Materialwissenschaften zu imitieren, verwende ich einen Aufbau, bei dem der Proband an einem Stehtisch arbeitet. Vor ihm befinden sich ein Aufgabenzettel, eine Schiebelehre, ein Prüfkörper sowie zwei iPads, wie in Abbildung 4.4 zu sehen.



Abbildung 4.4 Aufbau der Nutzerstudie

Die Schiebelehre sowie der Prüfkörper (3) finden innerhalb jeder Aufgabe Verwendung, indem diese dazu dienen, jeweils ein Wert für eines der zu dokumentierenden Attribute zu messen. Die Maße des Prüfkörpers variieren in jeder Aufgabe.

Eines der beiden iPads steht aufrecht vor dem Probanden (1) und dient als interaktive Anzeige zur Simulation des asynchronen Datenflusses eines Experimentes. Diesem muss der Proband relevante Schritte und Attribute durch Navigieren zwischen den einzelnen Schritten entnehmen. Dabei ist immer nur ein Schritt sichtbar.

Das andere iPad liegt direkt vor dem Probanden (2) und stellt diesem das zu testende System bereit.

Beide iPads werden mit dem Finger bedient.

Neben dem Stehtisch befindet sich ein Tisch mit zwei Stühlen, an welchem ich dem Probanden gegenüber sitze. Dort werden Zustimmungserklärung (siehe Anhang A.3) und Fragebögen (siehe Anhang A.4 und A.5) ausgefüllt, die Einführungsvideos über einen Laptop angesehen sowie das abschließende Interview durchgeführt.

4.5 Aufgaben

Für jedes der drei Systeme habe ich ein Einführungsvideo, ein Onboarding sowie eine Aufgabe konzipiert. Das Einführungsvideo sowie das Onboarding (siehe Anhang A.7) soll den Probanden jeweils mit dem System vertraut machen. In dem ein- bis zweiminütigen Video werden kurz grundlegende Funktionen des jeweils folgenden Systems erklärt, darauf folgt ein passendes Onboarding, bei dem der Proband die in dem Video erklärten Funktionen durch die Bedienung näher kennenlernt. Dieses kleine Aufgabe dauert auch etwa zwei Minuten.

Die Aufgaben (siehe Anhang A.8, A.9, A.10) erzielen jeweils das Erstellen eines neuen Projektes sowie das Entnehmen von Informationen aus einer interaktiven Anzeige, welche ein Experiment aus der Domäne der Materialwissenschaften simuliert (siehe Anhang A.6). Dabei wird als Experimentmodell eine Vereinfachung eines realen Experimentmodells aus den Materialwissenschaften verwendet, um die Dauer der Studie unter einer Stunde zu halten. Diese Informationen sollen den korrekten Attributen der angelegten Dokumentation in dem vorliegenden System zugeordnet werden. Ergänzend soll ein Teilnehmer die Dokumentationsbestandteile bei Aufgabe 2 und 3 in eine vorgeschriebene Reihenfolge bringen sowie die Relevanz von Attributen durch Ein- bzw. Ausblenden dieser festlegen. Alle drei Aufgaben verlangen das Befüllen von drei der sechs Schritte mit insgesamt 11 von 54 Attributen, außerdem sind für die letzten beiden Aufgaben 7 Anpassungen der Reihenfolge von Attributen und Schritten gefordert. Somit ist die Komplexität aller Aufgaben gleich, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Nur die Komplexität zwischen dem System ohne Anpassung sowie den Systemen mit Anpassung unterscheidet sich durch die Flexibilisierung. Die Komplexität unterscheidet sich zwischen den Systemen mit Anpassungsverfahren nicht signifikant. Die Werte innerhalb der interaktiven Anzeige, die durchgeführten Dokumentationsschritte sowie die vorgeschriebene Reihenfolge unterscheiden sich bei jeder Aufgabe, um einen Lerneffekt zu vermeiden.

Da ich in Hypothese $H1$ und $H3$ die Fehlertoleranz der Systeme teste, versuche ich Umstände aus realen Experimenten nachzustellen. So kann der Proband nicht alle Informationen seines simulierten Experimentes gleichzeitig abrufen, sondern muss diese durch den asynchronen Datenfluss der interaktiven Anzeige in seiner Dokumentation sammeln. Darüber hinaus hat er mehrere Datenquellen. Diese sind die eben genannte interaktive Anzeige, der Aufgabenzettel mit der geforderten Reihenfolge sowie einer der drei Prüfkörper, welcher in jeder Aufgabe für ein Attribut des Experimentes gemessen werden muss. Jede Aufgabe hat einen eignen Prüfkörper mit anderen Maßen.

Tabelle 4.3 Benötigte Aktionen je Aufgabe

<i>Aufgabe</i>	<i>System</i>	<i>Attribute</i>	<i>Verschiebungen</i>	<i>Einblendungen</i>	<i>Ausblendungen</i>	<i>Messungen</i>
T1	CD	11	0	0	0	1
T2	CMAD+	11	7	14	0	1
T3	CMAD-	11	7	0	19	1

4.6 Teilnehmer

Die Stichprobengröße dieser Studie beträgt $n=20$ Teilnehmer. Davon sind 7 weiblich und 13 männlich. Das Alter variiert von 19 bis 45 Jahren mit einem Durchschnitt von $\bar{x}=32.47$ Jahren und einer Standardabweichung von $s=6.5$ Jahren.

18 Teilnehmer sind Mitarbeiter des Arbeitgebers CTS Eventim Solutions GmbH, ein Teilnehmer ist ein Auszubildender bei eben genannter Firma und ein Teilnehmer ist ein externer Softwareentwickler. 10 der Teilnehmer sind in der Softwareentwicklung, 3 in dem Bereich User Experience (UX), 2 in der Qualitätssicherung und weitere 2 im Bereich IT-Operations tätig. Ein Teilnehmer ist Produkt Manager, einer Auszubildender und einer Communications & Brand Manager.

Ich habe mich gegen eine Studie mit Experten aus der Domäne der Materialwissenschaften entschieden, da auch Fachfremde in der Lage sind, die Usability eines Dokumentationssystems zu testen. Außerdem sind die Aufgaben so gestaltet, dass für die Durchführung dieser kein Vorwissen nötig ist (siehe Abschnitt 4.5).

Kapitel 5

Evaluation, Diskussion und Ergebnisse

In diesem Kapitel evaluiere ich die erhobenen Daten, welche aus der für diese Arbeit durchgeführten Studie resultieren.

Abschnitt 5.1 evaluiert die Ergebnisse meiner Nutzerstudie in Bezug auf die in Abschnitt 4.1 aufgestellten Hypothesen H1 bis H5.

Schließlich diskutiere ich in Abschnitt 5.3 die Ergebnisse der Studie und beziehe diese auf meine Forschungsfrage.

5.1 Evaluation

Für die Visualisierung der Ergebnisse verwende ich die Python Bibliothek Matplotlib¹.

Einige Diagramme sind in Form von Boxplots dargestellt. Ein Boxplot besteht aus einer Box, welche den Bereich abbildet, in dem 50% der beobachteten Werte liegen. Ein Strich innerhalb dieser Box zeigt den Media der Verteilung an. Die Antennen (Errorbars) zeigen die außerhalb der Box liegenden Werte dar, diese messen eine maximal 1.5-Fache Länge des Interquartilabstandes. Messwerte außerhalb der Antennen werden als Outlier bezeichnet.

Für die Auswertung der erhobenen Stichproben verwende ich T-Tests, da diese Art von Signifikanztest am weitesten verbreitet ist (Rosenthal u. a. 2008). Signifikanzen durchgeführter t-Tests habe ich mit Hilfe der Python Bibliothek SciPy² ermittelt.

¹<https://matplotlib.org/>

²<https://www.scipy.org/>

Die Signifikanzniveaus lege ich nach Bortz u. a. 2006 wie folgt fest:

Signifikant

5% Signifikanzniveau ($p \leq 0.05$)

Sehr Signifikant

1% Signifikanzniveau ($p \leq 0.01$)

Hoch Signifikant

0.1% Signifikanzniveau ($p \leq 0.001$)

Die Auswertung erfolgt gruppiert nach den von mir untersuchten Kriterien *Effizienz*, *Fehlertoleranz*, *Zufriedenheit*, *Arbeitsaufwand* sowie *Persönliche Präferenz*, dabei adressiere ich die jeweiligen Hypothesen. Außerdem Werte ich diese Kriterien qualitativ basierend auf den Interviews aus, welche ich mit jedem Probanden durchgeführt habe.

5.1.1 Effizienz

Die Effizienz der drei Systeme messe ich anhand der Zeit, welche zur Fertigstellung der Aufgaben jeweils benötigt wird. Diese Zeit berechne ich mittels Logs, welche während der Nutzerstudie durch den Prototypen digital erfasst wurden. Diese Log-Einträge sind mit Zeitsampeln versehen, sodass die Differenz zwischen der ersten und letzten Aktion berechnet werden kann. Es wurden nur die Zeiten der Aufgaben 1 bis 3 gemessen, die Zeiten der Onboardings nicht. Eine Normalisierung anhand der Anzahl an je Aufgabe benötigten Aktionen findet nicht statt, da die Dauer der Spezifikation von Relevanz und Reihenfolge bei den Probanden stark variiert und nur geschätzt werden könnte. Außerdem unterscheidet sich die Anzahl an Aktionen der Systeme mit Anpassungsverfahren nur marginal (5 Relevanzspezifikationen).

Bei der qualitativen Auswertung der Fertigstellungszeiten ist der Mehraufwand durch die Flexibilisierung jedoch zu beachten.

Die in Abbildung 5.1 gezeigten Fertigstellungszeiten lassen darauf schließen, dass sich diese für die Systeme *CMAD+* ($\bar{x}_{cmad+}=5.85$, $s_{cmad+}=1.46$) und *CMAD-* ($\bar{x}_{cmad-}=6.12$, $s_{cmad-}=1.47$) mit Anpassungsverfahren nicht signifikant unterscheiden. Dies wird durch einen T-Test bestätigt, die zeitliche Differenz zwischen *CMAD+* und *CMAD-* ist nach ebd. mit $t(19) = -0.68$, $p=0.50$ nicht signifikant.

Hingegen ist die Differenz der Systeme *CD* ($\bar{x}_{cd}=4.53$, $s_{cd}=1.39$) und *CMAD+* mit $t(19) = -3.33$, $p=0.0035$ sehr signifikant.

Die Differenz zwischen *CD* und *CMAD-* ist mit $t(19) = -5.17$, $p=0.0001$ sogar hoch signifikant (ebd.).

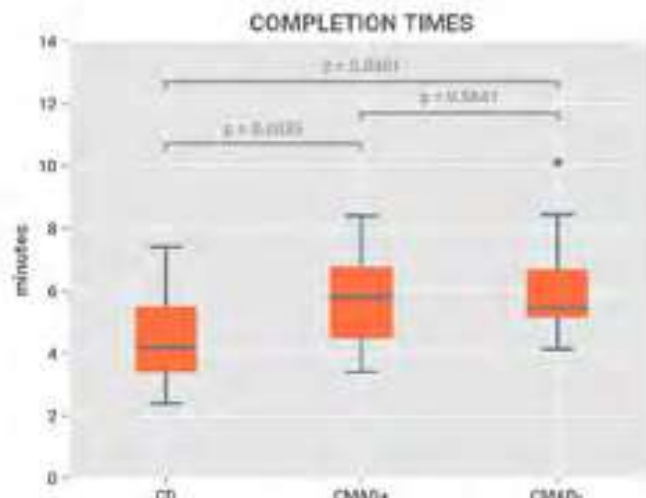


Abbildung 5.1 Boxplots der Dauer der vollständigen Durchführung je System

Proband 19 sticht in der Statistik bei dem System *CMAD-* mit einer Fertigstellungszeit von 10.10 Minuten als Outlier negativ heraus. Er begründet dies damit, dass er sich an das System *CMAD+* des zweiten Durchlaufes gewöhnt habe. Außerdem hat er die Schaltfläche zur Spezifikation der Relevanz missverstanden. So dachte er, dass das Symbol auf der Schaltfläche die aktuelle Relevanz des Attributes abbildet, während das Symbol tatsächlich die Aktion der Schaltfläche und somit die zukünftige Relevanz des Attributes darstellt. Diese missverständliche Symbolik hat bei mehreren Probanden für Verwirrung gesorgt, die meisten haben diese jedoch nach kurzer Zeit verstanden.

Abbildung 5.2 zeigt die Anzahl der getätigten Aktionen, gruppiert nach benutztem System und Art der Aktion. Ich unterscheide zwischen den Aktionen *Attribut/Schritt verschieben*, *Attribut/Schritt ein-/ausblenden* und *Attribut ausfüllen*. Die durch die Aufgaben minimal benötigte Anzahl an Aktionen ist jeweils durch eine horizontale, graue Linie gekennzeichnet.

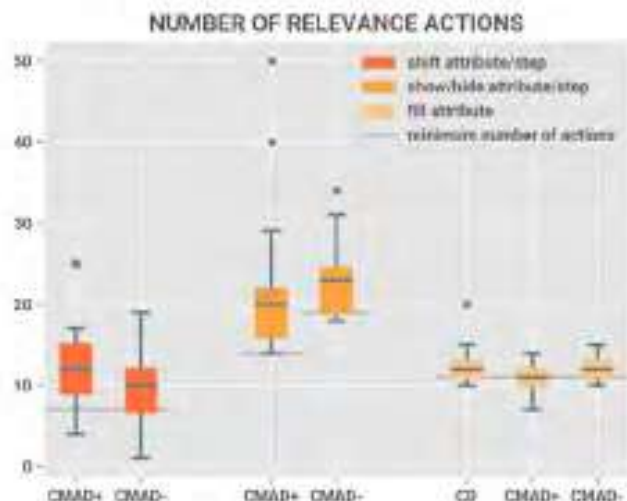


Abbildung 5.2 Boxplots der Anzahl an Aktionen je System

Die Effizienz der Systeme habe ich in Bezug auf die Hypothesen $H1$ und $H2$ gemessen. Hypothese $H1$ muss abgelehnt werden, da die zusätzlichen Anpassungsverfahren einen deutlichen Mehraufwand implizieren, welche sich auch auf die Fertigstellungszeit auswirken. Auch Hypothese $H2$ muss abgelehnt werden, da sich $CMAD-$ mit dem subtraktiven Anpassungsverfahren und $CMAD+$ mit dem additiven Anpassungsverfahren nicht signifikant unterscheiden.

5.1.2 Fehlertoleranz

In Abbildung 5.3 ist die summierte Anzahl an Fehlern aller Probanden je System dargestellt, gruppiert nach *Eingabe/Relevanz Fehler* und *Reihenfolge Fehler* sowie unterteilt nach Gruppen.

Die Fehler messe ich anhand einer manuellen Auswertung der durch das System digital erfasst Logs. Ich fasse Eingabe- und Relevanz Fehler zusammen, da letztere auch zu einem Eingabefehler führen. Dabei liegt ein Eingabefehler dann vor, wenn kein Korrelation zwischen dem eingegebenen Wert und dem erwarteten Wert zu erkennen ist. Demzufolge sind leichte Abweichungen beispielsweise der Messwerte keine Fehler. Die Eingabe eines anderen Messwertes hingegen ist ein Fehler.

Die Anzahl an Reihenfolge Fehlern messe ich anhand der mindestens benötigten Aktionen, um einen korrekten Datensatz zu erzeugen.

Deutlich zu sehen ist, dass erheblich mehr Fehler in der Reihenfolge erzeugt wurden als bei

der Relevanz bzw. Eingabe.

In dem System ohne Anpassungsverfahren *CD* wurden die meisten Eingabefehler gemacht ($\sum_{cd}(e_{input})=14$), gefolgt von dem System mit dem additiven Anpassungsverfahren *CMAD+* ($\sum_{cmad+}(e_{input})=9$). Die wenigsten Eingabefehler wurden bei dem System mit dem subtraktiven Anpassungsverfahren *CMAD-* produziert ($\sum_{cmad-}(e_{input})=2$). Da *CD* in beiden Gruppen zu Beginn evaluiert wurde, ist keine Aussage darüber zu treffen, ob die Fehlerdifferenz zwischen den Systemen auf einen Lerneffekt zurückzuführen ist. Aufgrund des Onboardings vor jeder Aufgabe sowie der unterschiedlichen Aufgaben sollten jedoch für alle System etwa gleiche Bedingungen herrschen. Die geringe Anzahl an Eingabefehlern des subtraktiven Anpassungsverfahrens aufgrund eines Lerneffektes ist auszuschließen. Wie in Abbildung 5.3 und 5.4 zu sehen, wurde in beiden Gruppen jeweils nur 1 Eingabefehler in *CMAD-* produziert.

Durch die geringe Fehlerzahl sowie einer vergleichsweise hohen Standardabweichung unterscheiden sich die Stichproben jedoch nicht signifikant, sodass die genannten Aussagen bezüglich der Fehlerzahl lediglich auf Vermutungen basieren. So differenzieren sich die Eingabefehler von *CMAD+* und *CMAD-* mit $t(19)=1.79, p=0.089$ nicht signifikant. Lediglich die Differenz an Eingabefehlern zwischen *CD* und *CMAD-* ist mit $t(19)=2.35, p=0.030$ innerhalb des 5% Signifikanzniveaus signifikant.

CD und *CMAD+* differenzieren sich mit $t(19)=0.87, p=0.398$ nicht signifikant.

Abbildung 5.3 zeigt weiterhin, dass sich die Gesamtzahl an Eingabefehlern aller Systeme zwischen den beiden Gruppen jeweils nur marginal unterscheiden.

In dem System *CMAD-* wurden die meisten Reihenfolge-Fehler erzeugt ($\sum_{cmad-}(e_{order})=34$), *CMAD+* hat hingegen nur $\sum_{cmad+}(e_{order})=26$ solche Fehler erzeugt. Auffällig ist, dass das zu Beginn durchgeführte System mit Anpassungsverfahren in beiden Gruppen jeweils weniger Reihenfolge-Fehler aufweist, wie in Abbildung 5.4 zu sehen. Dabei hat die Reihenfolge der Systeme in der Nutzerstudie die Fehlerzahl des Systems *CMAD-* am stärksten beeinflusst. Demnach wurden in Gruppe 2, in der *CMAD-* vor *CMAD+* getestet wurde, innerhalb von *CMAD-* 41.66% weniger Reihenfolge-Fehler erzeugt. Dies impliziert, dass sich die Probanden der ersten Gruppe an das additive System gewöhnt haben und dann bei dem subtraktiven System Probleme hatten, sich umzugewöhnen. Dies bestätigen auch einige Probanden in den Interviews.

Umgekehrt war dieser Effekt nicht zu erkennen, die Reihenfolge-Fehler von *CMAD+* unterscheiden sich nur marginal zwischen den Gruppen.

Würde ich mich auf die gesamte Fehleranzahl beziehen, müsste ich Hypothese *H1* ablehnen, da die Systeme mit Anpassungsverfahren mehr Fehler ermöglichen und somit weniger Fehlertolerant sind. Da in dem System ohne Anpassungsverfahren jedoch keine Reihenfolge Fehler gemacht werden können, ist der Vergleich diesbezüglich verfälscht. Vergleicht man nur die Anzahl an Eingabefehlern, so ermöglichen die Systeme mit Anpassungsverfahren we-

niger Fehler. *CMAD+* und *CMAD-* haben in Summe 35.7% und 85.7% weniger Eingabefehler generiert. Dies belegt die Hypothese *H1*. Auch der Signifikanztest der Eingabefehler zwischen *CD* und *CMAD-* unterstützt *H1* in Bezug auf die Fehlertoleranz.

Um Hypothese *H3* zu testen, vergleiche ich sowohl Reihenfolge- als auch Eingabefehler der Systeme *CMAD+* und *CMAD-*. Da sich sowohl Eingabefehler mit $t(19)=1.79, p=0.089$ als auch Fehler in der Reihenfolge mit $t(19)=0.88, p=0.39$ nicht signifikant unterscheiden, muss ich *H3* ablehnen, da dies die Nullhypothese bestätigt.

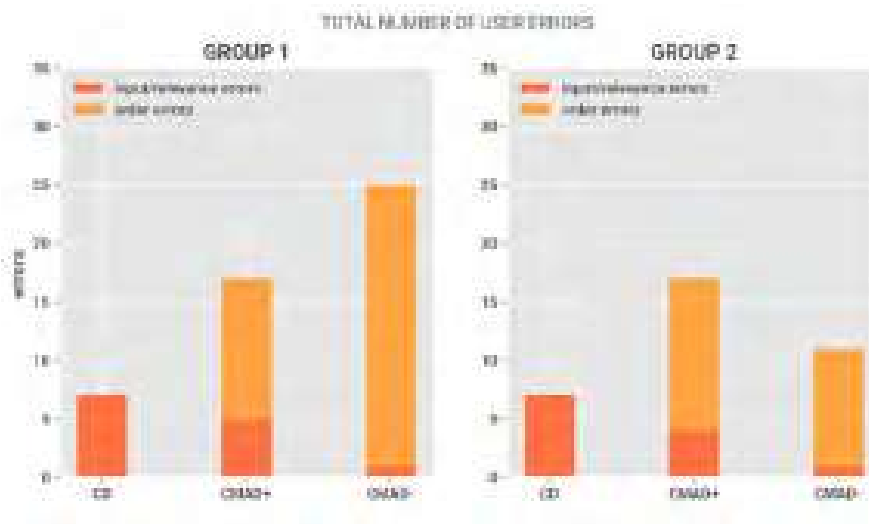


Abbildung 5.3 Gesamtzahl der Fehler je System und Gruppe

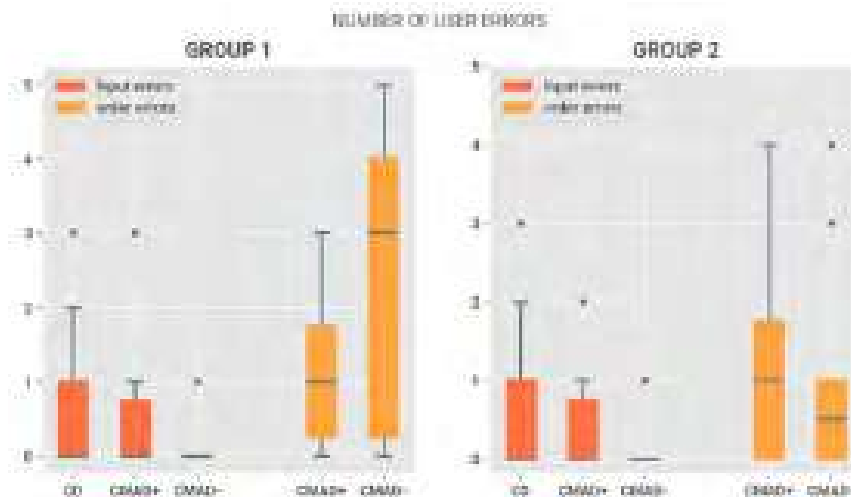


Abbildung 5.4 Boxplots der Fehler je System und Gruppe

5.1.3 Usability und Zufriedenheit

Die Evaluationsergebnisse der Usability basieren auf den Wertungen aus den SUS Fragebögen (Brooke 1996), welche von den Probanden nach jedem der drei Durchläufe ausgefüllt wurde. Diese Wertungen werden auf einer Skala von 0 bis 100 abgebildet und setzen sich aus 10 Fragen zusammen. Mithilfe dieser möchte ich die Hypothesen $H1$ und $H4$ testen. Abbildung 5.5 zeigt die Ergebnisse aller SUS Fragebögen Gruppirt nach Systemen.

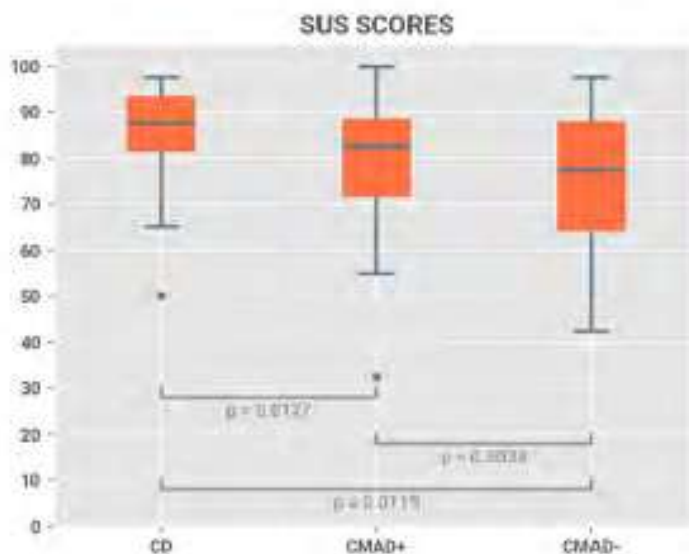


Abbildung 5.5 Boxplots der SUS-Bewertungen

Insgesamt fällt auf, dass sich ein Großteil der Ergebnisse im oberen viertel der Skala befindet. Während alle drei Stichproben bei 97 bis 100 beginnen, streuen diese nach unten unterschiedlich weit. Das obere 75% Quantil von CD und $CMAD+$ befindet sich nach Bangor u. a. 2009 in dem Bereich *Gut*, bei $CMAD-$ zumindest noch das obere 50% Quantil.

Der Median von CD liegt bereits nach ebd. in dem Bereich *Excellent*, die Mediane von $CMAD+$ und $CMAD-$ liegen in dem Bereich *Gut*.

CD streut bis zu einem niedrigsten Score von 65, während die kleinste Beobachtung von $CMAD+$ bis 55 reicht. Die kleinste Beobachtung von $CMAD-$ ist ein Score von 42.5. Weiterhin fällt auf, dass CD und $CMAD+$ jeweils einen Ausreißer nach unten besitzen.

Bezogen auf die Hypothese $H1$ unterscheiden sich CD ($\bar{x}_{cd}=85.62$, $s_{cd}=11.31$) und $CMAD-$ ($\bar{x}_{cmad-}=74.88$, $s_{cmad-}=16.67$) am stärksten und differenzieren sich mit $t(19)=2.78$, $p=0.012$ signifikant innerhalb des 5% Signifikanzniveaus. Auch CD und $CMAD+$ ($\bar{x}_{cmad+}=78.88$, $s_{cmad+}=16.08$) unterscheiden sich signifikant ($t(19)=2.75$, $p=0.013$). Allerdings wird CD im Ge-

gensatz zu Hypothese $H1$ mit einem besseren SUS-Score bewertet als die Systeme mit Anpassungsverfahren, demnach muss ich die Hypothese $H1$ bezogen auf die allgemeine Usability ablehnen.

Hypothese $H4$ bezieht sich auf den Vergleich von Usability der beiden Anpassungsverfahren. $CMAD+$ und $CMAD-$ unterscheiden sich mit $t(19)=1.06, p=0.304$ nicht signifikant, somit kann Hypothese $H4$ ebenfalls nicht bestätigt werden.

5.1.4 Arbeitsaufwand

Für die Evaluation der Hypothesen $H1$ und $H5$ habe ich den subjektiv wahrgenommenen Arbeitsaufwand jedes Systems mittels des Nasa TLX Fragebogens (Hart u. a. 1988) gemessen. Ich habe den raw TLX Fragebogen ohne Gewichtung verwendet. Diese Messungen werden auf einer Skala von 0 bis 100 abgebildet und setzen sich aus sechs Fragen zusammen. Eine hohe Zahl spiegelt dabei einen hohen subjektiv wahrgenommenen Arbeitsaufwand wieder. Die Verteilung der erhobenen Daten ist in Abbildung 5.6 dargestellt.

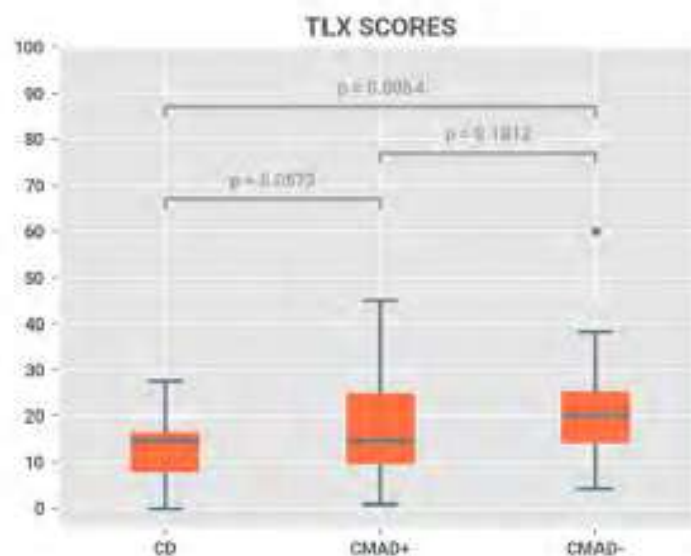


Abbildung 5.6 Boxplots der TLX-Bewertungen

Sehr Signifikant unterscheiden sich CD ($\bar{x}_{cd}=13.21, s_{cd}=7.05$) und $CMAD-$ ($\bar{x}_{cmad-}=21.58, s_{cmad-}=12.78$) mit $t(19)=-3.14, p=0.005$, somit wird CD mit einem geringeren Arbeitsaufwand bewertet.

CD und $CMAD+$ ($\bar{x}_{cmad+}=17.38, s_{cmad+}=11.40$) differenzieren sich mit $t(19)=-2.02, p=0.057$

nicht signifikant. Hypothese *H1* muss demzufolge abgelehnt werden, da sowohl *CMAD+* also auch *CMAD-* einen ähnlich hohen bis höheren Arbeitsaufwand erzeugen.

Hypothese *H5* bezieht sich auf den Vergleich des Arbeitsaufwandes der beiden Anpassungsverfahren. *CMAD+* und *CMAD-* unterscheiden sich mit $t(19) = -1.39, p = 0.181$ nicht signifikant, somit kann Hypothese *H5* ebenfalls nicht bestätigt werden.

Die von mir evaluierte Arbeitsbelastung ist schwer mit anderen Studien in den Vergleich zu setzen, da keine Leitlinien zur Interpretation der NASA-TLX-Ergebnisse veröffentlicht wurde (Grier 2015). Allerdings gehe ich durch die eher im unteren Viertel befindlichen Ergebnisse von einer vergleichsweise geringen Arbeitsbelastung durch meinen Prototypen aus.

5.1.5 Persönliche Präferenz

Die persönliche Präferenz beziehe ich aus den Interviews, welche ich mit jedem Probanden durchgeführt habe. Ich habe den Probanden gefragt, welches der drei Systeme ihm am besten gefällt, warum ihm dieses System gefällt und ob er sich mögliche Vorteile von *CMAD-* erklären könne, falls er sich für *CMAD+* entschieden hat. Sind dem Probanden keine Vorteile eingefallen, habe ich ihn gefragt, ob er sich vorstellen könne, bei *CMAD-* weniger Fehler zu erzeugen. Die Ergebnisse dieser Fragen habe ich in Tabelle 5.1 zusammengefasst.

Tabelle 5.1 System-Präferenz der Probanden

	<i>Gruppe 1</i>	<i>Gruppe 2</i>	<i>Gesamt</i>
<i>Präferenz CD</i>	0	0	0
<i>Präferenz CMAD+</i>	6	6	12
<i>Präferenz CMAD-</i>	4	4	8

Insgesamt präferieren 12 Probanden das additive System *CMAD+* und 8 das subtraktive System *CMAD-*, keiner der Probanden hat sich für das System *CD* ohne Anpassungsverfahren entschieden. Beide Gruppen sind bezüglich ihrer Präferenz gleichverteilt. Weiterhin haben die Interviews ergeben, dass 8 der 12 Probanden, welche sich für *CMAD+* entschieden haben, eine geringere Anzahl an Fehlern bei System *CMAD-* für möglich halten. Hingegen glauben 4 dieser 12 Probanden, dass Sie bei *CMAD+* gleich viele bis weniger Fehler erzeugen.

Die Präferenz wird in Hypothese *H1* und *H4* adressiert. Die Nullhypothese zu *H1* kann ich bezogen auf die Präferenz eindeutig ablehnen, da sich keiner der Probanden für das System *CD* entschieden hat. Hingegen muss Hypothese *H4* abgelehnt werden, da eine knappe Mehrheit sich für das additive Anpassungsverfahren entschieden hat.

5.2 Kritik

Wie in Kapitel 1.1 anfangs erwähnt, habe ich bei der Entwicklung des Prototypen besondere Priorität auf die Usability des Prototypen gelegt und betrachte diese daher auch bei der Evaluation in besonderem Maße.

Neben den meist guten bis exzellenten SUS-Scores wurde der Prototyp häufig als intuitiv, übersichtlich und ansprechend bezeichnet. Darüber hinaus gab es auch Feedback mit Verbesserungsvorschlägen. Die in Tabelle 5.3 dargelegten Kritikpunkte wurden häufig genannt.

Tabelle 5.3 Von den Probanden angemerkte Kritikpunkte

<i>ID</i>	<i>Kritikpunkt</i>
K1	Das Tastaturlayout wird nicht an numerische Eingabefelder angepasst.
K2	Dokumentationsschritte sind ausgeklappt nicht in Relevanz und Reihenfolge anpassbar.
K3	Die Schaltfläche zur Relevanzspezifikationen ist nicht eindeutig und kann eine gegenteilige Aussage vermitteln.
K4	Attribute und Schritte können nicht über die Gesamte Fläche in ihrer Reihenfolge und Relevanz angepasst werden.
K5	Attribute sind nach dem Einblenden nicht direkt fokussiert.
K6	Ausgeblendete Attribute müssen manuell unter die eingeblendeten Attribute verschoben werden.

5.3 Diskussion

Um die Usability des subtraktiven und additiven Anpassungsverfahrens sowie den Unterschied dieser Verfahren zu einer wissenschaftlichen Dokumentation ohne Anpassungsverfahren zu prüfen, habe ich einen auf meine Forschungsfrage maßgeschneiderten Prototypen entwickelt, eine Nutzerstudie durchgeführt sowie diese evaluiert. Innerhalb dieser Studie mussten Probanden simulierte Experimente mit drei sich durch die Flexibilisierung unterscheidenden Systemen dokumentieren.

Durch das additive Anpassungsverfahren wurde ein durchschnittlich zeitlicher Mehraufwand von 1.32 Minuten erzeugt, durch das subtraktive Anpassungsverfahren 1.59 Minuten, welche sich beide signifikant von einem Dokumentationssystem ohne Anpassungsverfahren unterscheiden.

Die subjektive Usability-Bewertung fiel insgesamt eher gut bis exzellent aus (Bangor u. a. 2009), allerdings unterschieden sich die Systeme mit Anpassungsverfahren signifikant von dem ohne solche mit einem schlechteren SUS-Score. Dies könnte mit der geringeren Komplexität durch fehlende Flexibilisierung sowohl des Systems als auch der Aufgabenstellung in Beziehung stehen.

Die von mir evaluierte Arbeitsbelastung ist schwer mit anderen Studien in den Vergleich zu setzen, da keine Leitlinien zur Interpretation der NASA-TLX-Ergebnisse veröffentlicht wurde (Grier 2015). Allerdings gehe ich durch die eher im unteren Viertel befindlichen Ergebnisse von einer vergleichsweise geringen Arbeitsbelastung durch meinen Prototypen aus. Dies ist für eine zu der Experimentdurchführung simultanen Dokumentation von Vorteil, da bereits eine Arbeitsbelastung durch das Experiment besteht. Allerdings ist die Arbeitsbelastung durch das Dokumentationssystem, unabhängig der verschiedenen Ausprägungen, möglicherweise durch ein komplexeres Experiment im realen Umfeld eine höhere. Die Systeme mit Anpassungsverfahren haben eine durchschnittlich höhere Arbeitsbelastung, diese unterscheidet sich bei dem subtraktiven Anpassungsverfahren signifikant, bei dem additiven Anpassungsverfahren nicht.

Jedoch erzeugten die Probanden bei den Systemen mit Anpassungsverfahren weniger Eingabefehler. Dabei hat das subtraktive Anpassungsverfahren sich mit 85.7% weniger Eingabefehlern signifikant abgehoben, das additive Anpassungsverfahren mit 35.7% weniger Eingabefehlern hat sich allerdings aufgrund einer hohen Abweichung nicht signifikant von dem System ohne Anpassungsverfahren unterschieden. Aus dieser Betrachtung ausgeschlossen sind Reihenfolge-Fehler, welche in dem System ohne Anpassungsverfahren nicht erzeugt werden und somit nicht verglichen werden können.

Außerdem präferieren alle Probanden ein System mit Anpassungsverfahren. So ist zu vermuten, dass der Vorteil durch Flexibilisierung verstanden und angenommen wurde.

Im Folgenden stelle ich diese Ergebnisse in Bezug auf den ersten Teil meiner Forschungsfrage *„Kann die simultane Dokumentation von Forschungsdaten durch Anpassungsverfahren*

verbessert werden?“ (siehe Abschnitt 1.1): Auch wenn Effizienz, Usability und Arbeitsbelastung auf den ersten Blick zugunsten des Ansatzes ohne Flexibilisierung sprechen, ist dies in Relation zu den Vorteilen zu setzen, welche eine Flexibilisierung mit sich zieht.

So gehen Informationen über Relevanz und Reihenfolge bei dem System ohne Anpassungsverfahren verloren, welche jedoch für die Forscher der Materialwissenschaften von Bedeutung sind. Dies macht die Dokumentation unvollständig und fehlerhaft.

Die geringere Anzahl an Eingabefehlern sowie die hohe Präferenz der Probanden unterstützen diese Aussage. Demzufolge habe ich gezeigt, dass die simultane Dokumentation von Forschungsdaten durch Anpassungsverfahren in Bezug auf die Fehlertoleranz, Vollständigkeit und Akzeptanz verbessert werden kann.

Das additive Anpassungsverfahren wird von 60% der Probanden präferiert, hingegen das subtraktive von 40%. Allerdings können sich 80% der Probanden vorstellen, bei dem subtraktiven Ansatz weniger Fehler zu produzieren. Dies spiegelt sich auch in der Auswertung der Eingabefehler wieder, so wurden 77.78% weniger Eingabefehler bei der subtraktiven Anpassung erzeugt. Dies unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von der additiven Anpassung. Auch die Anzahl der Reihenfolge Fehler unterscheidet sich zwischen den Anpassungsverfahren nicht signifikant. Diese Fehler der Reihenfolge treten etwa 3 bis 17 mal so häufig auf wie Eingabefehler, da diese Anpassung häufig vergessen oder fälschlicherweise basierend auf der Experimentsimulation spezifiziert wurde anstelle auf der Reihenfolge, welche durch die Aufgabenstellung vorgegeben war.

Bezugnehmend auf die Effizienz lässt sich zwischen den beiden Anpassungsverfahren kein signifikanter Unterschied feststellen. Auch die Usability Bewertung durch den SUS-Fragebogen unterscheidet sich zwischen den Anpassungsverfahren nicht signifikant, fällt jedoch, so wie auch die Effizienz, geringfügig besser bei der additiven Anpassung aus. Schließlich lassen sich auch bei der Bewertung der subjektiven Arbeitsbelastung keine signifikanten Differenzen erkennen, auch diese fällt aber minimal höher für die subtraktive Anpassung aus. Dies wird in den Interviews häufig damit begründet, dass insgesamt mehr Attribute ausgeblendet als eingeblendet werden müssen und somit mehr Aktionen bei der subtraktiven Anpassung erforderlich sind. Da dieser Unterschied jedoch nur in einer Differenz von 5 Relevanzspezifikationen besteht, ist dieser Eindruck der subjektiv.

Im Folgenden stelle ich diese Ergebnisse in Bezug auf den zweiten Teil meiner Forschungsfrage *“Wenn ja, welche Anpassungsverfahren eignen sich am besten?”* (siehe Abschnitt 1.1): Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem subtraktiven und dem additiven Anpassungsverfahren zeigen. Allerdings konnte ich eine geringere Anzahl an Eingabefehlern bei der subtraktiven Anpassung feststellen, welche sich jedoch nicht signifikant unterscheidet.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Forschungsdokumentation wird in vielen verschiedenen, häufig noch analogen, Formen durchgeführt. So bildet sich eine heterogene und nicht wiederverwendbare Masse von Dokumentationen, welche stetig wächst. Außerdem kann die Hemmschwelle für die Migration auf eine digitale Lösung häufig noch nicht überwunden werden.

Dazu habe ich in meiner Arbeit elaboriert, ob die zu der Experimentdurchführung simultane Forschungsdokumentation durch Flexibilisierung optimiert werden kann. Hierfür habe ich zwei verschiedene Anpassungsverfahren zur Flexibilisierung untereinander und mit einem Dokumentationssystem ohne Flexibilisierung in einer Nutzerstudie verglichen. Innerhalb dieser Studie mussten Probanden simulierte Experimente mit diesen drei sich durch die Flexibilisierung unterscheidenden Systemen dokumentieren.

Die Evaluation der Studie mit 20 Probanden hat ergeben, dass die Forschungsdokumentation durch Anpassungsverfahren in Bezug auf Fehlertoleranz, Vollständigkeit und Akzeptanz verbessert werden kann.

Somit habe ich gezeigt, dass die Flexibilisierung eine Reduktion des Dokumentationsoverheads erwirken kann. Dadurch wird der nachträgliche Aufwand reduziert und eine homogene, sogleich für jedes Experiment individuelle Dokumentation aufgebaut, welche von anderen Institutionen und Forschungsgruppen wiederverwendet und geteilt werden kann. Damit wird die Verständlichkeit und Wiederverwendbarkeit wissenschaftlicher Forschungsdaten erhöht.

Eine geringere Anzahl an Eingabefehlern konnte ich bei dem subtraktiven Anpassungsverfahren feststellen, jedoch unterscheidet diese sich nicht signifikant von der des additiven Anpassungsverfahrens. Darüber hinaus konnte ich keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen dem subtraktiven und dem additiven Anpassungsverfahren feststellen.

Ich sehe dennoch Potential in meinem Ansatz zur subtraktiven Anpassung und glaube, dass eine Mischform aus dem additiven und subtraktiven Anpassungsverfahren eine messbare Verbesserung der Kriterien Effizienz, Fehlertoleranz, Zufriedenheit, Arbeitsaufwand sowie

Präferenz mit sich bringt.

Die erhobenen Ergebnisse mögen bei einer Durchführung der Studie mit Domänenexperten variieren. Dazu könnte eine aufbauende Studie in ähnlicher Form mit Forschern aus den Materialwissenschaften durchgeführt werden.

Die in der Evaluation aufgezeigten Kritikpunkte können bei einer Weiterentwicklung des Prototypen berücksichtigt werden, um eine Weitere Optimierung der Usability zu bezwecken.

Appendix

A.1 Abbildungsverzeichnis

2.1	Erstellung einer Experimentserie in InfoSys (Putze, Porzel, Savino u. a. 2018)	6
2.2	Prototyp <i>Relevance Slider</i> von Christina Bensch (Bensch 2018)	7
2.3	Prototyp <i>CMAD</i> von Martin Hanci (Hanci 2018)	8
2.4	FDM-System Dendro	9
2.5	FDM-System EDA (Experimental Design Assistant)	10
2.6	FDM-System Protocols.io	11
2.7	FDM-System labarchives	12
2.8	Übersicht der Ansätze zur Flexibilisierung der simultanen Forschungsdocumentation	14
2.9	Übersicht Flexibilisierung	14
3.1	Veranschaulichung der simultanen Dokumentation im Vergleich zu <i>CMAD</i>	15
3.2	Hervorhebung der Hauptkomponenten in <i>CMAD</i> (Hanci 2018)	17
3.3	Hervorhebung der Hauptkomponenten meines Prototypen	19
3.4	Hervorhebung der Schaltflächen in <i>CMAD</i> (Hanci 2018)	20
3.5	Hervorhebung der Schaltflächen meines Prototypen	20
3.6	Verwendete Symbole für die Vermittlung der Symbolsprache	21
3.7	Screenshot des für die Nutzerstudie entwickelten Prototypen	22
3.8	Entwicklung der Schaltflächen zur Abbildung der Anpassungsverfahren	24
3.9	Darstellung eines nicht relevanten Attributes	24
3.10	Hilfe Dialog	25
4.1	Gegenüberstellung der Benchmark Systeme	29
4.2	Wahl eines passenden Studiendesigns nach Lazar u. a. 2017	30
4.3	Ablauf der Studie	31

4.4	Aufbau der Nutzerstudie	32
5.1	Boxplots der Dauer der vollständigen Durchführung je System	37
5.2	Boxplots der Anzahl an Aktionen je System	38
5.3	Gesamtzahl der Fehler je System und Gruppe	40
5.4	Boxplots der Fehler je System und Gruppe	40
5.5	Boxplots der SUS-Bewertungen	41
5.6	Boxplots der TLX-Bewertungen	42
A.1	Projektübersicht des Prototypen	53
A.2	Gegenüberstellung Bearbeitungs- und Ansichtsmodus des Prototypen	54
A.3	Zustimmungserklärung der Nutzerstudie	55
A.4	NASA TLX Fragebogen der Nutzerstudie	56
A.5	SUS Fragebogen der Nutzerstudie	57
A.6	Interaktive Anzeige am Beispiel der Aufgabe 1 der Nutzerstudie	58
A.7	Onboarding Aufgaben der Nutzerstudie	59
A.8	Aufgabe 1 der Nutzerstudie	60
A.9	Aufgabe 2 der Nutzerstudie	61
A.10	Aufgabe 3 der Nutzerstudie	62

A.2 Tabellenverzeichnis

2.1	Anpassungsverfahren betrachteter RDM-Systeme	13
3.1	Anforderungen an das FDM-System zur simultanen Forschungsdokumentation	16
3.3	Optimierungen des <i>CMAD</i> Systems	18
4.1	Aufgestellte Hypothesen	28
4.3	Benötigte Aktionen je Aufgabe	34
5.1	System-Präferenz der Probanden	43
5.3	Von den Probanden angemerkte Kritikpunkte	44

A.3 Literatur

- Amoretti, M. u. a. (2002). »Production and detection of cold antihydrogen atoms«. In: *Nature* 419.6906, S. 456–459. doi: 10.1038/nature01096.
- Bangor, Aaron, Philip Kortum und James Miller (2009). »Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale«. In: *Journal of usability studies* 4.3, S. 114–123.
- Bensch, Christina (2018). *Individualization of Input Forms for Research Data*.
- Bortz, Jürgen und Nicola Döring (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human und Sozialwissenschaftler, 4. überarb. Aufl.*
- Brooke, John (1996). »SUS - A quick and dirty usability scale«. In: *Usability Evaluation In Industry*, S. 189–194. ISBN: 978-0-74-840460-5. doi: 10.1017/CB09781107337930.020.
- Büttner, Stephan, Hans-Christoph Hobohm und Lars Müller (2011). *Handbuch Forschungsdatenmanagement*. Bock+ Herchen.
- Fraser, Hannah, Tim Parker, Shinichi Nakagawa, Ashley Barnett und Fiona Fidler (Juli 2018). »Questionable research practices in ecology and evolution«. In: *PLOS ONE* 13.7, S. 1–16. doi: 10.1371/journal.pone.0200303.
- Grier, Rebecca A. (2015). »How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores«. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 59.1, S. 1727–1731. doi: 10.1177/1541931215591373.
- Hanci, Martin (2018). »Authoring for Scientific Experiments in Material Sciences«. Master Thesis. Universität Bremen.
- Hart, Sandra G und Lowell E Staveland (1988). »Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research«. In: *Advances in psychology*. Bd. 52. Elsevier, S. 139–183.
- Hornbæk, Kasper u. a. (2013). »Some whys and hows of experiments in human–computer interaction«. In: *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction* 5.4, S. 299–373.
- Kim, Bohyun (2013). »Responsive web design, discoverability, and mobile challenge«. In: *Library technology reports* 49.6, S. 29–39.
- Knoll, Guido (2019). *CMAD- Prototype*. doi: 10.5281/zenodo.3332734.
- Kwok, Roberta (2019). »How to pick an electronic laboratory notebook«. In: *Nature*. URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05895-3>.
- Lazar, Jonathan, Jinjuan Heidi Feng und Harry Hochheiser (2017). »Chapter 3 - Experimental design«. In: *Research Methods in Human Computer Interaction (Second Edition)*. Hrsg. von Jonathan Lazar, Jinjuan Heidi Feng und Harry Hochheiser. Second Edition. Morgan Kaufmann, S. 45–69. ISBN: 978-0-12-805390-4. doi: 10.1016/B978-0-12-805390-4.00003-0. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128053904000030>.

- Munafò, Marcus R., Brian A. Nosek, Dorothy V. M. Bishop, Katherine S. Button, Christopher D. Chambers, Nathalie Percie du Sert, Uri Simonsohn, Eric-Jan Wagenmakers, Jennifer J. Ware und John P. A. Ioannidis (Jan. 2017). »A manifesto for reproducible science«. In: *Nature Human Behaviour* 1, 0021 EP -. doi: 10.1038/s41562-016-0021.
- Nielsen, Jakob (1993). *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. ISBN: 0125184050.
- Ou, Li-Chen (2015). »Color emotion and color harmony«. In: *Handbook of Color Psychology*. Hrsg. von Andrew J. Elliot, Mark D. Fairchild und AnnaEditors Franklin. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, S. 401–418.
- Putze, Susanne (2019). »Model Based Research Data Management - Maintainable and Concurrent Management of Experimental Research Data With Domain-specific Knowledge Models«. unveröffentlichte Dissertation.
- Putze, Susanne, Robert Porzel, Martin Hanci und Rainer Malaka (2019). *Concurrent Modeling and Documentation of Experimental Research Data*. Techn. Ber. Universität Bremen.
- Putze, Susanne, Robert Porzel, Gian-Luca Savino und Rainer Malaka (2018). »A Manageable Model for Experimental Research Data: An Empirical Study in the Materials Sciences«. In: *Advanced Information Systems Engineering*. Hrsg. von John Krogstie und Hajo A. Reijers. Cham: Springer International Publishing, S. 424–439. ISBN: 978-3-319-91563-0.
- Ray, Joyce M. (2014). *Research Data Management : Practical Strategies for Information Professionals*. Charleston Insights in Library, Archival, and Information Sciences. Purdue University Press. ISBN: 9781557536648. URL: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=686368&site=ehost-live>.
- Rosenthal, Robert und Ralph L Rosnow (2008). »Essentials of behavioral research: Methods and data analysis«. In:

A.4 Prototyp



Abbildung A.1 Projektübersicht des Prototypen

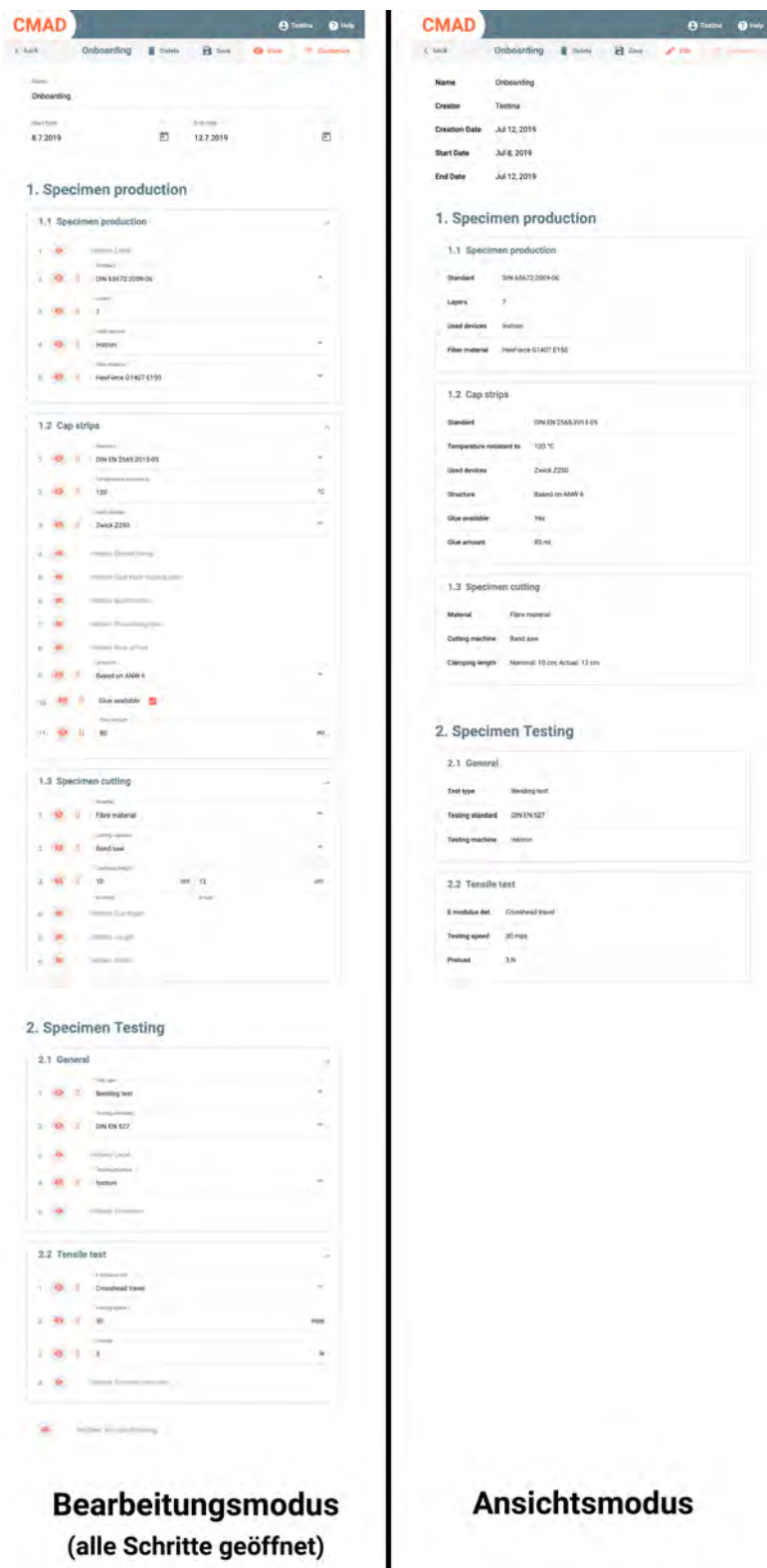


Abbildung A.2 Gegenüberstellung Bearbeitungs- und Ansichtsmodus des Prototypen

A.5 Studienmaterial

Zustimmung zur Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie

Ich bin mir bewusst, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig erfolgt und dass ich jederzeit, ohne die Angabe von Gründen, von meiner Teilnahme zurücktreten kann. Ein Abbruch hat keine weiteren Konsequenzen. Alle bis dahin gesammelten Daten werden gelöscht.

Ich stimme zu, dass die im Experiment erhobenen Daten wissenschaftlich analysiert und anschließend in anonymisierter Form veröffentlicht werden.

Zutreffende Punkte bitte ankreuzen:

- Ich stimme einer Teilnahme an der Studie unter den oben und im beiliegenden Informationsblatt beschriebenen Konditionen zu.**
 - Ich bin mit Audioaufnahmen zu Auswertungszwecken (anonymisiert) einverstanden.**
 - Ich bin auch mit der Veröffentlichung einzelner Ausschnitte des Audiomaterials einverstanden.**
-

Vor- und Nachname: _____







Ort und Datum: _____ Eigene Unterschrift: _____

Nicht durch Teilnehmer(innen) auszufüllen:

P.____ | G.____ | Exp.Leit: _____ | T.____ | Kommentar: _____

Abbildung A.3 Zustimmungserklärung der Nutzerstudie

Fragebogen zur Beanspruchungshöhe

<p>GEISTIGE ANFORDERUNGEN</p> <p>Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder war sie fehlertolerant?</p>	
<p>KÖRPERLICHE ANFORDERUNGEN</p> <p>Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. Ziehen, Drücken, Drehen, Steuern, Aktivieren...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?</p>	
<p>ZEITLICHE ANFORDERUNGEN</p> <p>Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?</p>	
<p>LEISTUNG</p> <p>Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?</p>	
<p>ANSTRENGUNG</p> <p>Wie hart mussten sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?</p>	
<p>FRUSTRATION</p> <p>Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?</p>	

P: _____

G: _____

E: _____

Abbildung A.4 NASA TLX Fragebogen der Nutzerstudie

Fragebogen zur System Gebrauchlichkeit

1. Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Ich empfinde das System als unnötig komplex.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.

Stimme überhaupt nicht zu			Stimme voll zu	
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P: _____

G: _____

E: _____

Abbildung A.5 SUS Fragebogen der Nutzerstudie

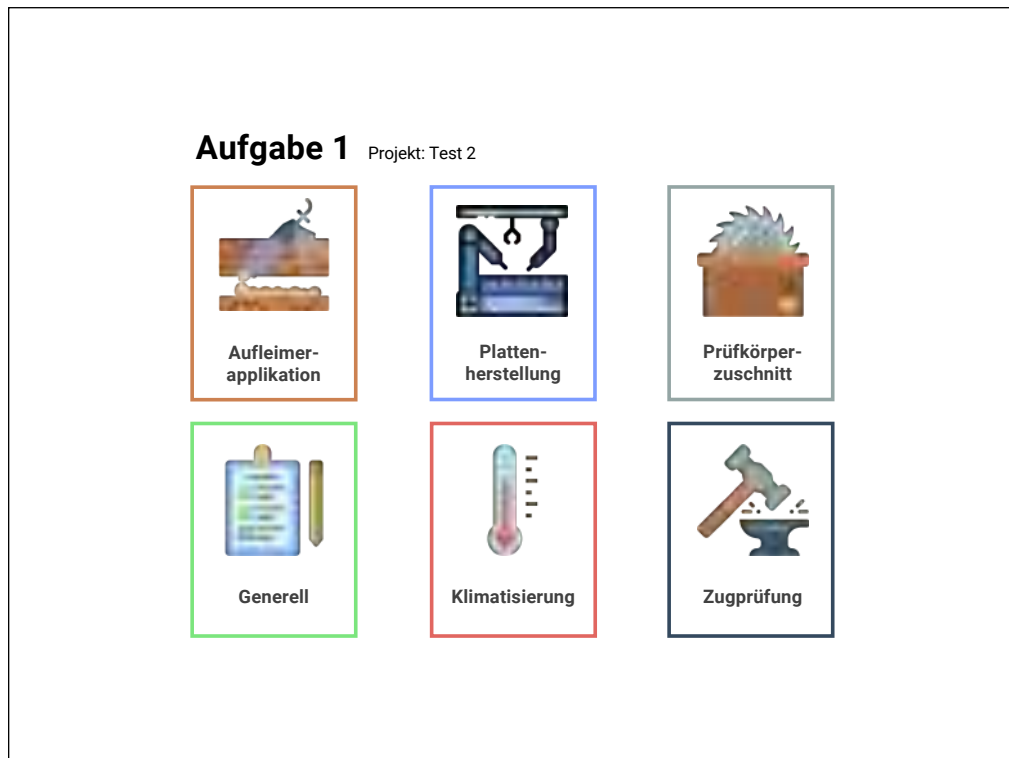


Abbildung A.6 Interaktive Anzeige am Beispiel der Aufgabe 1 der Nutzerstudie

Onboarding 1

Öffnen Sie das Projekt „Onboarding“. Dieses wurde bereits während eines Experimentes durchgeführt. Jedoch müssen Sie nachträglich noch Anpassungen vornehmen.

1. Wechseln Sie in den Bearbeitungs-Modus und öffnen den Schritt **1.1 Plattenherstellung**.
2. Wählen Sie den Standard **DIN 65672:2009-06** aus.
3. Öffne den Schritt **2.3 Generell**.
4. Setze den Standard **DIN EN 527**.
5. Schreibe als Kommentar **Druckversuch**.
6. Schließen Sie das Projekt mit einem Klick auf **Fertig** ab.
7. Wechseln Sie in den **Ansichtsmodus** und sehen sich die Dokumentation an.

Onboarding 2

Öffnen Sie das Projekt „Onboarding“. Dieses wurde bereits während eines Experimentes durchgeführt. Jedoch müssen Sie nachträglich noch Anpassungen vornehmen.

1. Wechseln Sie in den Bearbeitungs-Modus und öffnen den Schritt **1.3 Prüfkörperzuschnitt**.
2. Wählen Sie den Standard **DIN EN ISO 291** aus.
3. Gebe eine Breite von **30cm** an.
4. Öffne den Schritt **2.3 Klimatisierung**.
5. Setze den Klimaanlage Typ **Luft-Kältemittel**.
6. Ziehe das Attribut Klimaanlage Typ an den Anfang des Schrittes.
7. Schließen Sie das Projekt mit einem Klick auf **Fertig** ab.
8. Wechseln Sie in den **Ansichtsmodus** und sehen sich die Dokumentation an.

Onboarding 3

Öffnen Sie das Projekt „Onboarding“. Dieses wurde bereits während eines Experimentes durchgeführt. Jedoch müssen Sie nachträglich noch Anpassungen vornehmen.

1. Wechseln Sie in den Bearbeitungs-Modus und öffnen den Schritt **1.2 Aufleimerapplikation**.
2. Wählen Sie das verwendete Gerät **Instron** aus.
3. Öffne den Schritt **2.2 Zugprüfung**.
4. Gebe eine Vorspannung von **10N** an.
5. Setze die Elastizitätsmodul Bestimmung auf **Dehnungsmessstreifen**.
6. Ziehe das Attribut Elastizitätsmodul Bestimmung an den Anfang des Schrittes.
7. Schließen Sie das Projekt mit einem Klick auf **Fertig** ab.
8. Wechseln Sie in den **Ansichtsmodus** und sehen sich die Dokumentation an.

Abbildung A.7 Onboarding Aufgaben der Nutzerstudie

Aufgabe 1

Legen Sie ein neues Projekt an und benennen es „**Test 2**“.

Speichern Sie dieses erst über die Schaltfläche „Fertig“, wenn Sie die Aufgabe abgeschlossen haben.

Sie führen nun ein simuliertes Experiment durch, **die Werte dieses Experimentes entnehmen Sie der interaktiven Anzeige**. Diese geben Sie bitte in das System ein.

Felder, für die kein passender Wert vorliegt, sollen **leer bleiben**.

Abbildung A.8 Aufgabe 1 der Nutzerstudie

Aufgabe 2

Legen Sie ein neues Projekt an und benennen es „**Test 3**“.

Speichern Sie dieses erst über die Schaltfläche „Fertig“, wenn Sie die Aufgabe abgeschlossen haben.

Sie führen nun ein simuliertes Experiment durch, **die Werte dieses Experimentes entnehmen Sie der interaktiven Anzeige**. Diese geben Sie bitte in das System ein.

Felder, für die **kein** passender Wert vorliegt, sollen **ausgeblendet werden**.

Felder, für die **ein** passender Wert vorliegt, sollen **eingebildet werden**.

Bitte achten Sie bei der Bearbeitung darauf, die ausgefüllten Schritte und Felder in **folgende Reihenfolge zu bringen**:

1. Prüfkörperherstellung	2. Prüfkörper Test
1.1 Plattenherstellung 1. Fasermaterial 2. Beschriftung 3. Standard 4. Verwendete Geräte 5. Anzahl Lagen 6. Herstellungsdruck 7. Ausrichtung 8. Verarbeitungszeit 9. Kommentar	2.1 Generell 1. Test Standard 2. Beschriftung 3. Verwendetes Gerät 4. Test Typ 5. Einspannlänge 6. Kommentar
1.2 Prüfkörperzuschnitt 1. Standard 2. Beschriftung 3. Verwendetes Gerät 4. Material 5. Einspannlänge 6. Schnittkanten 7. Länge 8. Breite 9. Tiefe 10. Sonstige Mängel 11. Kommentar	2.2 Klimatisierung 1. Klima-Standard 2. Beschriftung 3. Klimaanlage Typ 4. Temperatur 5. Luftfeuchtigkeit 6. Dauer 7. Kommentar
1.3 Aufleimerapplikation 1. Standard 2. Beschriftung 3. Verarbeitungszeit 4. Temperaturbeständig bis 5. Max. Aufleimerversatz 6. Verwendetes Gerät 7. Klebstoff 8. Klebstoff Harz-Mischverhältnis 9. Applikationsprüfung 10. Aufbau 11. Aufleimermenge 12. Kommentar	2.3 Zugprüfung 1. Standard 2. Beschriftung 3. Elastizitätsmodul Bestimmung 4. Geschwindigkeit 5. Vorspannung 6. Poisson-Verhältnis Bestimmung 7. Dehngrenze 8. Maximale Prüfdauer 9. Kommentar

Abbildung A.9 Aufgabe 2 der Nutzerstudie

Aufgabe 3

Legen Sie ein neues Projekt an und benennen es „**Test 4**“.

Speichern Sie dieses erst über die Schaltfläche „Fertig“, wenn Sie die Aufgabe abgeschlossen haben.

Sie führen nun ein simuliertes Experiment durch, **die Werte dieses Experimentes entnehmen Sie der interaktiven Anzeige**. Diese geben Sie bitte in das System ein.

Felder, für die **kein** passender Wert vorliegt, sollen **ausgeblendet werden**.

Felder, für die **ein** passender Wert vorliegt, sollen **eingeblenet werden**.

Bitte achten Sie bei der Bearbeitung darauf, die ausgefüllten Schritte und Felder in **folgende Reihenfolge zu bringen**:

1. Prüfkörperherstellung	2. Prüfkörper Test
1.1 Plattenherstellung 1. Standard 2. Beschriftung 3. Verwendete Geräte 4. Anzahl Lagen 5. Fasermaterial 6. Herstellungsdruck 7. Ausrichtung 8. Verarbeitungszeit 9. Kommentar	2.1 Klimatisierung 1. Klima-Standard 2. Beschriftung 3. Klimaanlage Typ 4. Luftfeuchtigkeit 5. Temperatur 6. Dauer 7. Kommentar
1.2 Aufleimerapplikation 1. Aufbau 2. Verarbeitungszeit 3. Standard 4. Beschriftung 5. Temperaturbeständig bis 6. Verwendetes Gerät 7. Klebstoff 8. Klebstoff Harz-Mischverhältnis 9. Applikationsprüfung 10. Max. Aufleimerversatz 11. Aufleimermenge 12. Kommentar	2.2 Generell 1. Test Typ 2. Beschriftung 3. Einspannlänge 4. Verwendetes Gerät 5. Test Standard 6. Kommentar
1.3 Prüfkörperzuschnitt 1. Standard 2. Beschriftung 3. Verwendetes Gerät 4. Material 5. Einspannlänge 6. Schnittkanten 7. Länge 8. Breite 9. Tiefe 10. Sonstige Mängel 11. Kommentar	2.3 Zugprüfung 1. Standard 2. Beschriftung 3. Elastizitätsmodul Bestimmung 4. Geschwindigkeit 5. Vorspannung 6. Poisson-Verhältnis Bestimmung 7. Dehngrenze 8. Maximale Prüfdauer 9. Kommentar

Abbildung A.10 Aufgabe 3 der Nutzerstudie

A.6 Inhalt der DVD

Die beiliegende DVD enthält folgende Inhalte:

- Diese Abschlussarbeit im PDF-Format
- Der Quellcode des Prototypen
- Die Python Scripte zur Auswertung der Nutzerstudie
- Die Daten der SUS-Fragebögen im PDF-Format
- Die Daten der TLX-Fragebögen im PDF-Format
- Die Daten der demographischen Fragebögen im CSV-Format
- Die Audioaufnahmen der Interviews mit den Probanden
- Die Bildschirmaufnahmen der Durchläufe aus der Nutzerstudie