

communicated by:
Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 9

Prof Dr. Ulrik Schroeder



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Diese Arbeit wurde vorgelegt am Lehr- und Forschungsgebiet Lerntechnologien
The present work was submitted to the Learning Technologies Research Group

Kollaboratives Erstellen von interaktiven 360°-Lernumgebungen
Collaborative creation of interactive 360° learning environments

Masterarbeit
Master-Thesis

von / presented by

Rennecke, Paul
368766

Begutachtet von / Examined by

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrik Schroeder
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Horst Lichter

Betreut von / Supervised by

Dr. rer. nat. Matthias Ehlenz

Aachen, 9. Januar 2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Quellcodeverzeichnis	iv
1 Einleitung	2
1.1 Motivation	2
1.2 Anwendungsbereich und Zielsetzung	3
1.2.1 19squared - Just more than 360°	3
1.2.2 Integration kollaborativer Funktionen	5
2 Theoretische Grundlagen	6
2.1 Virtuelle Realität	6
2.1.1 Anwendung von VR in der Bildung	7
2.2 Kollaboration	8
2.2.1 Kooperation vs. Kollaboration	9
2.2.2 Computer-Supported Collaborative Learning	9
2.3 Lerntheorien	9
2.3.1 Konstruktivismus	9
2.3.2 Konnektivismus	10
2.4 Gestaltpsychologie	10
2.4.1 Gestaltgesetze	11
2.4.2 Bedeutung von guter Gestalt	11
2.5 Verwandte Projekte	12
2.5.1 Smart City	12
2.5.2 PaneoVR	13
2.5.3 Andere Autorentools	14
2.6 Schlussfolgerung	15
3 Konzept	16
3.1 Synchronisation	16
3.2 User-Management	18
3.2.1 Gruppen und Token	19
3.3 User-Interface	21
3.3.1 Kollaborative Funktionen	22
3.3.2 Weitere Verbesserungen	23
3.3.3 Gruppen-Management	23

4	Implementation	26
4.1	Synchronisation mit socketIO	26
4.1.1	Online Benutzer*innen	28
4.2	User-Management mit Flask-Security	29
4.3	User-Interface	30
4.3.1	Nutzbarkeit auf mobilen Geräten	31
4.3.2	Bootstrap	31
4.3.3	DataTables	33
4.3.4	Übersetzung der Anwendung	34
4.3.5	Erweiterung der Entwicklungsumgebung	35
5	Evaluation	37
5.1	Methoden	38
5.1.1	System Usability Scale	38
5.1.2	Bewertung und Befragung	39
5.2	Durchführung	39
5.2.1	Versuchs-Ablauf	40
5.3	Auswertung	40
5.3.1	Gesamtprodukt	41
5.3.2	Maßnahmen zur Verbesserung	42
6	Diskussion	45
6.1	Fazit	45
6.2	Ausblick	45
6.3	Anwendungsszenarien	46
6.3.1	Vorbereitung und Übung	46
6.3.2	Präsentationen	47
6.3.3	Exkursionen	47
6.3.4	Beispiel-Touren	47
6.4	Mögliche Weiterentwicklung	48
6.4.1	Touren kollaborativ erleben	48
6.4.2	Offline-Verfügbarkeit durch PWA	48
6.4.3	Touren in Diagrammform und Einstellungen in der Szenenansicht	49
	Anhänge	49
A	Literaturverzeichnis	50
B	Web-Referenzen	52
C	Entwicklung	54
C.1	Repository	54
C.2	Entwicklungswerkzeuge	54
C.3	Evaluation	54
C.3.1	Handout	55

Abbildungsverzeichnis

1.1	Interactive360VR	4
2.1	Edgar Dale - Cone of Experience	10
2.2	Smart-Living auf dem iPad	12
2.3	PaneoVR Editor	14
3.1	Freigabe-Optionen einer Tour	16
3.2	Rollen-Management	18
3.3	User-Management	19
3.4	Prozess des Teilens mit einer Gruppe	20
3.5	Gruppen-Management	20
3.6	19squared Bearbeitungsansicht mit offenem Touren-Chat	22
3.7	Verbesserung im Gruppen-Management: Erstellung neuer Accounts	23
3.8	Benutzer erstellen	25
3.9	Benutzer hinzufügen	25
3.10	Gruppeneinladung in der Tourenübersicht	25
3.11	QR-Code in der Gruppenübersicht	25
4.1	Freigabe-Optionen mit Online-Nutzeranzeige (in der Tourenübersicht)	28
4.2	Datenbank-Tabellen	30
4.3	Profil eines Users in der Desktop und mobilen Ansicht	32
5.1	Adjective Beschreibung des SUS-Scores	39
5.2	System Usability Scale	41
5.3	Freigabe-Optionen mit Online-Nutzeranzeige (in der Tour)	43
5.4	Auswertung Evaluation	44
6.1	19squared mit Arbeitsanweisungen in den Notizen	46
6.2	Beispiel-Touren	47
6.3	Hotspot-Einstellungen in der Szene bei Marzipano	49

Quellcodeverzeichnis

4.1	Ausschnitt vom SocketIO-Server	27
4.2	Ausschnitt vom Client	27
4.3	Auslösen eines Emits	27
4.4	Emit beim Öffnen einer Tour-(Betrachtung)	28
4.5	Flask-Route mit @permissions_required('createtour')	29
4.6	Jinja2 Template mit has_permission()	29
4.7	Bootstrap Beispiel anhand der Passwort-Einstellung im Profil	33
4.8	Flask-Babel Beispiel in HTML	35
4.9	Automatische Sprachenwahl beim Laden der Seite	35
4.10	VS-Tasks zum aktualisieren der Übersetzungen	36

Abstract

Die Digitalisierung der Bildungseinrichtungen ist bekanntermaßen von großer Bedeutung. Neben der technischen Ausstattung und der Weiterbildung der Lehrkräfte ist die Verfügbarkeit frei zugänglicher Software von entscheidender Bedeutung. Geeignete Software ermöglicht es Lehrkräften, eigene Lehrmaterialien zu erstellen und den Unterricht individuell an die Bedürfnisse der Lernenden anzupassen.

Eine neu hinzugekommene Technologie, die der virtuellen Realität (VR), bietet ein erhebliches Potenzial, den Unterricht interaktiver und anschaulicher zu gestalten. Durch den Einsatz von VR-Brillen können Lernende in virtuelle Welten eintauchen und komplexe Sachverhalte besser nachvollziehen. Die Erstellung virtueller Umgebungen stellt jedoch eine erhebliche Herausforderung dar, die viele Lehrkräfte vor Probleme stellt. Hier setzt die Software *19squared* an. *19squared* ermöglicht es Lehrkräften und Lernenden, interaktive 360°-Touren aus eigenen 360°-Aufnahmen zu erstellen, ohne dass hierfür Vorkenntnisse oder Programmiererfahrung erforderlich sind.

Die kollaborative Nutzung solcher Software ist im schulischen Kontext von großer Bedeutung. Um eine optimale Integration kollaborativer Funktionen in *19squared* zu gewährleisten, werden in dieser Arbeit neben dem Begriff der Kollaboration und der Erklärung des Zusammenhangs zu Lerntheorien, wie zum Konstruktivismus und Konnektivismus auch essenzielle Elemente für ein gutes Nutzererlebnis erläutert.

Es werden andere VR-Projekte mit schulischem Bezug vorgestellt und der Unterschied zu *19squared* herausgearbeitet.

Aufbauend auf diesen theoretischen Grundlagen wird die Software um eine Synchronisationsmechanik, ein umfangreiches User-Managementsystem sowie die notwendigen Anpassungen am Interface erweitert.

Abschließend wird die Software evaluiert, um die Integration der kollaborativen Funktionen zu überprüfen. Die Evaluation erfolgt durch ein realitätsnahes Einsatzszenario mit anschließenden Benutzerbefragungen.

Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass die Software *19squared* ein hohes Potenzial für den schulischen Einsatz bietet. Nach dem Resümee werden mögliche Weiterentwicklungen der Software diskutiert, um die Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit weiter zu verbessern.

Kapitel 1 Einleitung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Integration kollaborativer Funktionen in ein bestehendes Projekt. Im Folgenden wird zunächst die Motivation für die Arbeit erläutert, bevor der Anwendungsbereich und die Zielsetzung der Arbeit beschrieben werden.

1.1 Motivation

Defizite in der Digitalisierung von Schulen

Die Digitalisierung in deutschen Bildungseinrichtungen weist erhebliche Defizite auf. Dieses Problem wurde durch die Corona-Pandemie nochmals verschärft. Während der Lockdowns waren Schulen gezwungen, auf digitale Lehr- und Lernformate umzustellen, was sowohl für Lehrkräfte als auch für Schüler*innen eine immense Herausforderung darstellte. Hauptursachen hierfür sind die unzureichende technische Ausstattung sowie der Mangel an Weiterbildungsangeboten für Lehrkräfte. Viele Technologien, die im Alltag und im beruflichen Umfeld längst etabliert sind, finden nur zögerlich Einzug in den Schulalltag.

Bedeutung von VR

Eine Statistik aus dem Herbst 2023 verdeutlicht diesen Rückstand: Nur 15 Prozent der Schulen verfügen über Klassensätze an Laptops, Tablet-PCs und Smartphones für alle Klassen. Bei 75 Prozent der Schulen sind solche Klassensätze zumindest für einige Schulklassen vorhanden [1].

Die Erzeugung virtueller Realitäten, insbesondere durch den Einsatz von VR-Brillen, stellt eine innovative Technologie dar, die im schulischen Kontext bislang nur begrenzt Anwendung findet. Die VR-Technologie bietet jedoch ein erhebliches Potenzial, den Unterricht interaktiver und anschaulicher zu gestalten. Durch den Einsatz von VR-Brillen können Lernende in virtuelle Welten eintauchen und komplexe Sachverhalte besser nachvollziehen. So lassen sich beispielsweise historische Ereignisse nachstellen oder naturwissenschaftliche Phänomene simulieren, was zu einem tieferen Verständnis der Lerninhalte führen kann.

existierende schulische VR-Apps

Auch auf politischer Ebene wurde das Potenzial von VR im Bildungsbereich erkannt, was zur Initiierung entsprechender Erprobungsphasen führte. In Nordrhein-Westfalen wurden im Rahmen einer solchen Initiative insgesamt 3.000 VR-Brillen an Schulen verteilt [2]. Diese Maßnahme wurde durch die Bereitstellung der VR-Anwendung „Smart City für das Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ begleitet, welche eine Lernumgebung bietet, in der Schüler*innen interaktiv zukünftige Stadtentwicklungsszenarien im Erdkunde- bzw. Gesellschaftslehreunterricht erleben können (siehe 2.5.1).

Lehrkräfte sind durch Lehrpläne gebunden, welche Inhalte sie vermitteln sollen. Jede Lehrkraft hat jedoch eigene Methoden und Ansätze, um diese Inhalte optimal zu vermitteln. Dabei ist es oft sinnvoll, auf vorhandene Lehrmaterialien, wie Schulbücher oder digitale Ressourcen zurückzugreifen. In vielen Fällen ist es jedoch ebenso wichtig, dass Lehrkräfte die Möglichkeit haben, eigene Lehrmaterialien zu erstellen, um den Unterricht individuell an die Bedürfnisse der Lernenden anzupassen. In der digitalen Lehre spricht man bei solchen spezialisierten Softwareanwendungen von Autorentools.

*Bedeutung
von
Autorentools*

Das Erstellen virtueller Umgebungen stellt jedoch eine erhebliche Herausforderung dar, die für viele Lehrkräfte schwer zu bewältigen ist. Hier setzt die Software 19squared an. Diese Software ermöglicht es Lehrkräften und Schüler*innen, interaktive 360°-Touren aus eigenen 360°-Aufnahmen zu erstellen, ohne dass hierfür Vorkenntnisse oder Programmiererfahrung erforderlich sind.

Kollaboration, also die Zusammenarbeit mehrerer Personen an einem gemeinsamen Ziel, ist ein wichtiger Aspekt im schulischen Kontext. Durch die Integration kollaborativer Funktionen soll es möglich werden, dass Lehrkräfte das Tool im Unterricht einsetzen, um gemeinsam mit ihren Schüler*innen virtuelle, interaktive Führungen zu erstellen. Dabei soll die Anwendung möglichst niederschwellig und intuitiv bedienbar sein. Um dies zu erreichen braucht es Anpassungen und Erweiterungen an verschiedenen Stellen der Anwendung.

*Notwendig-
keit von
Kollaboration*

1.2 Anwendungsbereich und Zielsetzung

Als Anwendungsbereich soll die Software 19squared vorgestellt werden. 19squared ist ein speziell für den schulischen Kontext entwickeltes Autorentool, das die Erstellung und Bearbeitung interaktiver 360°-Touren ermöglicht.

Im Anschluss soll die Zielsetzung dieser Arbeit abgesteckt werden. Es sollen kollaborative Funktionen in die bestehende Anwendung integriert werden, um eine gemeinsame Nutzung und Bearbeitung der Touren durch Lehrkräfte und Schüler*innen zu ermöglichen.

1.2.1 19squared - Just more than 360°

19squared (ehemals „Interactive 360 VR“) ist aus der Bachelorarbeit „Autorentool für 360° Fotos mit interaktiven Hotspots in VR-Umgebung“ [Jon23] hervorgegangen. Es handelt sich um eine Webanwendung, die es ermöglicht, 360°-Touren zu erstellen und zu bearbeiten. Diese Touren können sowohl mit VR-Brillen, als auch im Webbrowser auf PCs oder mobilen Geräten betrachtet werden.

Nach dem Einloggen in die Anwendung erhält der Nutzer die Möglichkeit, entweder eine neue Tour zu erstellen oder eine bestehende Tour zu bearbeiten.

1.2. Anwendungsbereich und Zielsetzung

Die Bearbeitungsansicht der Anwendung ist von links nach rechts in drei Hauptbereiche unterteilt:

- **Assets** sind alle bereits hochgeladenen Dateien wie Fotos, Videos und Audios.
- **Szenenansicht** zeigt die Szene, die aktuell bearbeitet wird. Unterhalb der Szene befinden sich verschiedene Hotspot-Typen (Text, Bild, Bewegungen, Audio, Video), die per Drag-and-Drop zur Szene hinzugefügt werden können.
- **Mediapages** sind die Listung aller bereits hinzugefügten Szenen. Unter den Szenen werden die einzelnen Hotspots der Szene gelistet. Durch Auswahl eines Hotspots können dessen Eigenschaften, wie der hinterlegte Name oder das verwendete Icon, bearbeitet werden. Bei einem Text-Hotspot ist der Text editierbar, bei einem Bild-, Video- oder Audio-Hotspot kann die hinterlegte Datei ausgewählt werden. Für einen Bewegungen-Hotspot lässt sich die Zielszene einstellen, die durch das Auswählen des Hotspots erreicht werden soll.

Durch einen Klick auf „Show Tour“ gelangt man in die Betrachteransicht einer Tour. Diese lässt sich (anders als die Bearbeitungsansicht) auch in VR betrachten. In VR kann man sich durch Kopfbewegungen in einer Szene umsehen und Hotspots mit dem Controller auswählen. Am PC lässt sich die Szene durch gedrückt halten und ziehen der Maus bewegen und Hotspots sind durch Klicken auswählbar. Mobile Endgeräte können durch Bewegungssensoren die Szene ähnlich wie im VR-Modus bewegen und Hotspots können per Touch ausgewählt werden.



Abbildung 1.1: Interactive360VR (Stand und entnommen aus der Bachelorarbeit [Jon23])

1.2.2 Integration kollaborativer Funktionen

Das Ziel dieser Masterarbeit besteht darin, das bestehende Autorenwerkzeug durch die Integration kollaborativer Funktionen zu erweitern und somit kollaboratives Arbeiten im schulischen Kontext zu ermöglichen. In Kapitel 3 wird eine detaillierte Bedarfsanalyse durchgeführt. An dieser Stelle sollen zunächst nur die zentralen Elemente der geplanten Erweiterungen gelistet werden. *Zielsetzung*

- Integration einer *Synchronisationsmechanik*, die Änderungen in Echtzeit über mehrere parallele Sessions hinweg aktualisiert.
- Implementierung eines *User-Management-Systems*, das eine differenzierte Rechteverwaltung für Lehrkräfte und Schüler*innen ermöglicht.
- Anpassung und Erweiterung des *User-Interfaces*, um eine intuitive und kollaborative Nutzung der Anwendung zu gewährleisten.

Kapitel 2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen erarbeitet, die für die erfolgreiche Integration der geplanten kollaborativen Funktionen in 19squared notwendig sind. Zunächst wird der Begriff der Virtuellen Realität (VR) erläutert und deren Bedeutung im schulischen Kontext eingeordnet. Anschließend werden die Begriffe Kollaboration sowie die Lerntheorien des Konstruktivismus und des Konnektivismus vorgestellt. Um eine benutzerfreundliche Umsetzung zu gewährleisten, werden die Grundlagen der Benutzeroberflächengestaltung anhand der Gestaltgesetze erläutert. Außerdem sollen andere VR-Anwendungen im schulischen Kontext vorgestellt werden.

Abschließend wird zusammengefasst, welche Schlussfolgerungen daraus für die Integration der kollaborativen Funktionen gezogen werden können.

2.1 Virtuelle Realität

VR, AR,
MR & XR

Virtuelle Realität (VR) bezeichnet eine computergenerierte digitale Umgebung, die es den Nutzenden ermöglicht, eine virtuelle Welt zu erleben und mit ihr zu interagieren, als ob sie real wäre. Neben dem Begriff der *Virtuellen Realität* existieren auch die Begriffe *Augmented Reality* (AR) und *Mixed Reality* (MR). AR beschreibt die Überlagerung der realen Welt mit digitalen Bildern/Informationen, während MR die Migration von digitalen und realen Elementen in eine gemeinsame Umgebung bezeichnet. Anders als bei VR, handelt es sich bei AR bzw. MR zwingend um eine Modifikation des Ortes, an dem sich die Nutzenden tatsächlich befinden. Zusammengefasst werden VR, AR und MR unter dem Begriff *Extended Reality* (XR). Im Folgenden wird der Begriff der Virtuellen Realität (VR) näher erläutert, da dieser im Rahmen dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielt. Die nachfolgenden Ausführungen gelten jedoch größtenteils auch für das gesamte Spektrum der Extended Reality.

Immersion

VR ermöglicht es Nutzer*innen, in eine künstlich geschaffene, immersive virtuelle Umgebung einzutauchen und mit dieser zu interagieren. Immersiv bedeutet, dass die Nutzer*innen das Gefühl haben, tatsächlich physisch in der nicht realen Welt zu sein [MS97]. Dies wird durch Einsatz von spezieller Hardware realisiert. Die bekannteste Form der VR-Hardware sind VR-Brillen, die es den Nutzenden ermöglicht, die virtuelle Umgebung dreidimensional wahrzunehmen und sich innerhalb dieser umzuschauen. Steigern lässt sich die Immersion durch weitere Hardware, die die anderen Sinne anspricht, wie beispielsweise haptisches Feedback oder Geruchssimulation.

2.1.1 Anwendung von VR in der Bildung

Unterhaltungselektronik, besonders mobile Endgeräte wie Smartphones oder Tablets, sind für viele Kinder und Jugendliche nicht mehr wegzudenken. Jugendliche, die mit den neuen Medien aufgewachsen sind, nutzen diese täglich und sind mit ihnen vertraut [Joh15]. Durch den Einsatz der neuen Medien im Unterricht können die Schüler*innen besser erreicht und motiviert werden. Insbesondere durch VR-Technologie, die darüber hinaus das Potenzial bietet, den Unterricht interaktiver und anschaulicher zu gestalten. Dies haben Untersuchungen bestätigt, in denen Schüler*innen die Verwendung von VR-Technologie positiv bewertet haben [HUS10].

*Potenzial
Lernende
besser zu
erreichen*

Ein zentrales Problem im Bildungssektor stellt die unzureichende technische Ausstattung dar, insbesondere aufgrund der hohen Anschaffungskosten von VR-Brillen. Daher bieten sich Lösungen an, die alternativ auch mit bereits vorhandener Hardware, wie Smartphones und Tablets, genutzt werden können. Eine Möglichkeit sind 360°-Aufnahmen.

360°-Kameras ermöglichen es, Aufnahmen von einem festen Standpunkt aus zu machen, die im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras nicht nur einen Ausschnitt, sondern die gesamte Umgebung in allen Richtungen erfassen. Diese 360°-Bilder und -Videos werden häufig als VR bezeichnet oder synonym verwendet, da beide ein immersives Seherlebnis bieten. Der wesentliche Unterschied zwischen 360°-Aufnahmen und dem allgemeineren Begriff VR besteht darin, dass erstere reale Aufnahmen darstellen, während letztere auch durch Computersoftware generiert sein können. In reinen 360°-Aufnahmen beschränkt sich die Interaktionsmöglichkeit auf den Blickwinkel innerhalb eines durch die Aufnahme generierten geschlossenen kugelförmigen Raumes, der durch die Perspektive der Filmemacher begrenzt ist. Von VR spricht man häufig erst, wenn eine Interaktion mit Objekten in der simulierten Welt möglich ist, wie beispielsweise das Aufheben eines Objekts oder das Öffnen einer Tür [CY20],[3]. Selbstverständlich können 360°-Aufnahmen auch durch Interaktionsmöglichkeiten erweitert werden. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die Begriffe VR und 360°-Aufnahmen synonym verwendet, da der Übergang fließend ist. Im Gegensatz zu Software, die (meist) ausschließlich für VR-Brillen konzipiert ist, erfordern 360°-Videos keine zusätzliche Hardware. Sie können also auf herkömmlicher Hardware wie Smartphones, Tablets oder PCs betrachtet werden.

In den letzten Jahren wurde die Unterstützung für 360°-Videos schrittweise in populäre soziale Medien und Video-Sharing-Plattformen integriert. Den Anfang machten YouTube und Facebook im Jahr 2015. Diese Entwicklungen haben den Zugang zu 360°-Inhalten erheblich vereinfacht und deren Popularität gesteigert [CY20].

*verbreitet
und er-
schwinglich*

Ein weiterer Vorteil der 360°-Aufnahmen liegt in der einfachen Handhabung und der geringen technischen Hürde bei der Erstellung. Im Gegensatz zur Erstellung dreidimensionaler Modelle für sonstige VR-Inhalte, die spezielle Kenntnisse und Software erfordern, können 360°-Aufnahmen mit handelsüblichen 360°-Kameras erstellt werden. Diese Kameras sind mittlerweile zu erschwinglichen Preisen erhältlich, beispielsweise die Insta360 X3 für unter 400€[4].

*realistisch im
Schuleinstz*

Dies eröffnet die Möglichkeit, dass auch Schüler*innen eigenständig 360°-Aufnahmen erstellen und diese im Unterricht verwenden können, um eigenen VR-Content zu generieren. Die Erstellung und Zusammenführung der Aufnahmen zu einer interaktiven Tour, wie es in der Anwendung 19squared bereits möglich ist, fördert dabei nicht nur die Kreativität, sondern auch den Orientierungssinn der Lernenden.

Für eine sinnvolle Integration in den Schulunterricht und zur Förderung der Fähigkeit, gemeinsam an einem Projekt zu arbeiten, ist Kollaboration unerlässlich.

2.2 Kollaboration

*Definitions-
versuch*

Kollaboration

Der Begriff *Kollaboration* sowie das *kollaborative Lernen* werden in verschiedenen Disziplinen und teilweise sogar innerhalb derselben Disziplin unterschiedlich definiert. Auch die Abgrenzung zum Begriff *Kooperation* ist nicht immer eindeutig und beide Begriffe werden oft synonym verwendet. Pierre Dillenbourg, ein Pionier im Bereich des computerunterstützten kooperativen Lernens (CSCL), widmete das erste Kapitel seines 1999 überarbeiteten Buches über CSCL der Frage „Was verstehen Sie unter kollaborativem Lernen?“ [Pie99].

Dillenbourg betont, dass es nicht darum geht, eine allgemeingültige Definition zu finden, sondern die verschiedenen Facetten des kollaborativen Lernens zu beleuchten. Verschiedene Disziplinen setzen unterschiedliche Schwerpunkte, was er im weiteren Verlauf begründet: Zunächst wird der Faktor des Maßstabs betrachtet, da es einen erheblichen Unterschied macht, ob zwei Personen für 20 Minuten interagieren oder ob computergestützt 40 Personen über ein Jahr hinweg zusammenarbeiten. Die Varianz in der Auslegung des Begriffs Kollaboration wird schließlich in vier Dimensionen aufgeschlüsselt:

1. Eine *Situation* kann als mehr oder weniger kollaborativ charakterisiert werden. Beispielsweise wird die Interaktion zwischen zwei Lernenden eher als kollaborativ angesehen als die zwischen Lernenden und der Lehrperson, da das Verhältnis zwischen zwei Lernenden auf Augenhöhe ist.
2. Die *Interaktionen* zwischen Gruppenmitgliedern können unterschiedlich stark kollaborativ sein. So haben Abstimmungen zur Herangehensweise an eine Aufgabe einen stärkeren kollaborativen Charakter, als das bloße Geben von Anweisungen.
3. Einige *Lernmechanismen* sind von Natur aus kollaborativer. Beispielsweise hat das gemeinsame Lösen von Problemen einen stärkeren kollaborativen Charakter, als das Auswendiglernen von Informationen.
4. Kollaboratives Lernen wird oft anhand des daraus resultierenden *Effekts* gemessen, was zur terminologischen Unklarheit in diesem Bereich beiträgt.

Intuitiv wird eine Aktivität als *kollaborativ* bezeichnet, wenn die Beteiligten auf einem ähnlichen Niveau agieren, die gleichen Handlungen ausführen können, ein gemeinsames Ziel verfolgen und zusammenarbeiten.

2.2.1 Kooperation vs. Kollaboration

Bei der Kooperation teilen die Partner die Arbeit in Teilaufgaben auf, die individuell bearbeitet und anschließend zu einem Gesamtergebnis zusammengefügt werden. Im Gegensatz dazu wird bei der Kollaboration die Arbeit gemeinsam und interaktiv ausgeführt [Pie99]. Es ist jedoch zu beachten, dass auch bei der Kollaboration eine Arbeitsteilung auftreten kann. Dies geschieht beispielsweise, wenn ein Partner die Hauptverantwortung für die Lösung der Aufgabe übernimmt und der andere unterstützend tätig ist [N. 86]. Diese Form der Arbeitsteilung wird als horizontale Arbeitsteilung bezeichnet. Bei der vertikalen Arbeitsteilung hingegen arbeiten die Partner an unterschiedlichen Teilaufgaben des Problems, was eher einer kooperativen Arbeitsweise entspricht. Bei einer Kooperation ist die Arbeitsteilung meist von vorneherein mehr festgelegt, wohingegen bei der Kollaboration die Arbeitsteilung flexibler ist und sich während des Prozesses entwickeln kann.

An dieser Stelle sei betont, dass weder Kooperation noch Kollaboration per se besser oder schlechter ist, sondern dass die Wahl der Methode von der jeweiligen Aufgabenstellung und den Zielen abhängt.

2.2.2 Computer-Supported Collaborative Learning

Unter dem Begriff des computerunterstützten kollaborativen Lernens (CSCL) versteht man die Unterstützung von kollaborativen Lernprozessen durch den Einsatz von Computern und digitalen Medien. Goodyear et al. beschreibt in *Handbook of Research in Educational Communications and Technology* (2014) dem aktuellen Stand von CSCL und erläuterten die Vorteile im Bildungskontext, in Bezug auf die Kollaboration von Paaren bis hin zur Kollaboration von ganzen Lerngruppen [PCK13]. Dabei wird auch darauf eingegangen, dass CSCL nicht nur die Interaktion und Zusammenarbeit zwischen Lernenden fördert, sondern auch die Möglichkeit bietet, komplexe Probleme gemeinsam zu lösen und tiefere Lernprozesse zu initiieren.

In den letzten Jahren wurde deutlich, dass die Nutzung von digitalen Medien und Lernplattformen sich nicht nur besser in eine zunehmend digitale Welt einfügt und auf diese vorbereitet, sondern auch, wie in der Corona-Pandemie deutlich wurde, essenziell sein kann.

2.3 Lerntheorien

Im Folgendem sollen die Lerntheorien des Konstruktivismus und Konnektivismus vorgestellt werden, deren Ansätze sich auf CSCL übertragen lassen.

2.3.1 Konstruktivismus

Die Lerntheorie des Konstruktivismus besagt, dass Lernen ein aktiver Prozess ist, bei dem Wissen durch Erfahrung und Interaktion konstruiert wird [Jea72]. Dies steht im Gegensatz zu traditionellen Lerntheorien, die davon ausgehen, dass Wissen passiv übertragen wird [Lev78]. Der Konstruktivismus betont die Bedeutung von Interaktion und Zusammenarbeit bei der Wissenskonstruktion [Jer96]. Nach der Theorie lernen Lernende am besten, wenn sie aktiv an dem Prozess beteiligt sind. Lernende sollten

*Lernender
konstruiert
Wissen*

2.4. Gestaltpsychologie

die Möglichkeit haben, an der Gestaltung von Lerninhalten beteiligt zu sein und dadurch ihr Wissen durch Erfahrung und Interaktion selbst zu bilden [Lev78]. Kollaborative Lernumgebungen können dazu beitragen, dass Lernende ihr Wissen gemeinsam im Austausch miteinander konstruieren können.

Cone of Experience

learning by doing

Das Modell „Cone of Experience“, eingeführt von Edgar Dale im Jahr 1946, unterstützt die Annahme, dass Lernende am effektivsten lernen, wenn sie aktiv am Lernprozess beteiligt sind (siehe Abbildung 2.1). Laut diesem Modell behalten Lernende relativ gesehen deutlich weniger von dem, was sie lesen, als von dem, was sie selbst tun [AK04]. Dies verdeutlicht die Bedeutung des „learning by doing“-Prinzips, welches besagt, dass Lernende umso besser lernen, je näher die Lernaktivitäten an realen Erfahrungen orientiert sind.

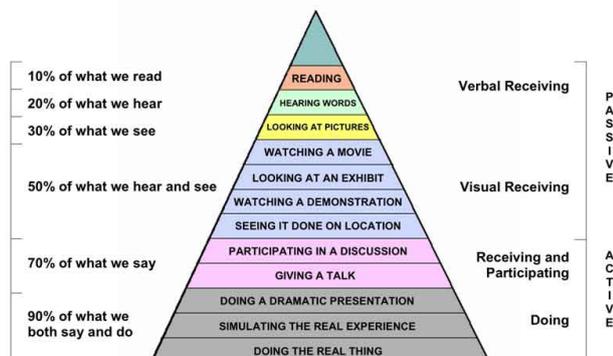


Abbildung 2.1: Edgar Dale - Cone of Experience [5]

Angemerkt sei, dass die Prozentzahlen in der Abbildung nicht wissenschaftlich ermittelt wurden und nur als grobe Orientierung dienen (Kritik siehe [5]). Das Modell soll lediglich verdeutlichen, dass Lernende durch aktive Beteiligung am Lernprozess mehr lernen als durch rein passives Zuhören oder Lesen.

2.3.2 Konnektivismus

Lernender baut Wissens-Netzwerk

Der Konnektivismus ist eine Lerntheorie, die in der digitalen Ära entstanden ist und die Bedeutung von Netzwerken und Verbindungen zwischen Lernenden und Informationsquellen betont. Diese Theorie geht davon aus, dass Wissen in einem Netzwerk von Verbindungen existiert und das Lernen darin besteht, diese Verbindungen zu erkennen und zu pflegen. Im Gegensatz zum Konstruktivismus, der den individuellen Lernprozess betont, liegt der Fokus des Konnektivismus auf der kollektiven Wissenskonstruktion und der Nutzung digitaler Technologien zur Unterstützung des Lernens [Geo05].

2.4 Gestaltpsychologie

Die Gestaltpsychologie ist ein Teilgebiet der Psychologie, das sich mit der menschlichen Wahrnehmung und der Fähigkeit beschäftigt, Strukturen und Ordnungsprinzipien in Sinneseindrücken zu erkennen. Der Begriff *Gestaltentheorie* wurde erstmals von Christian von Ehrenfels im Jahr 1890 eingeführt und bezieht sich auf die Idee, dass die Wahrnehmung von Objekten nicht auf isolierten Elementen basiert, sondern auf der Organisation dieser Elemente zu einer sinnvollen Struktur. Im Jahr 1923 formulierte Max Wertheimer sechs wesentliche Faktoren für die Zusammenhangsbildung in der Wahrnehmung, die später als *Gestaltgesetze* bekannt wurden [Max23]. Stephan Palmer ergänzte 1999 die Liste um drei weitere Gesetze [Ste99].

Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche weitere Gestaltgesetze formuliert, sodass es heute verschiedene Versionen gibt, die teils über 100 Gesetze umfassen. Exemplarisch werden die Gestaltgesetze nach Wertheimer und Palmer aufgeführt.

2.4.1 Gestaltgesetze

- **Gesetz der Nähe:** Elemente, die nahe beieinander liegen, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz der Ähnlichkeit:** Elemente, die sich ähneln, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz der guten Gestalt:** Die Wahrnehmung bevorzugt einfache, klare und symmetrische Strukturen.
- **Gesetz der Kontinuität:** Elemente, die eine kontinuierliche Linie bilden, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz der Geschlossenheit:** Strukturen, die eine geschlossene Form bilden, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz des gemeinsamen Schicksals:** Elemente, die sich in die gleiche Richtung bewegen, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz der gemeinsamen Region:** Elemente, die sich in einem gemeinsamen Bereich befinden, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz der Gleichzeitigkeit:** Elemente, die sich gleichzeitig verändern, werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- **Gesetz der verbundenen Elemente:** Elemente, die miteinander verbunden sind, werden als ein Objekt wahrgenommen.

2.4.2 Bedeutung von guter Gestalt

Der Begriff „Gesetz“ ist hier teilweise irreführend, da es sich um empirisch beobachtete Phänomene und nicht um feststehende Regeln handelt. Die Gestaltgesetze beschreiben, wie Menschen visuelle Informationen organisieren und interpretieren. Sie bieten eine Grundlage dafür, wie Informationen durch Anordnung und Strukturierung verständlicher gemacht werden können. Durch die Anwendung dieser Prinzipien kann die Benutzeroberfläche einer Software intuitiver und benutzerfreundlicher gestaltet werden. Eine gut gestaltete Benutzeroberfläche trägt wesentlich zur positiven Benutzererfahrung bei, da sie die Interaktion mit der Software erleichtert und angenehmer macht. Eine schlecht gestaltete Benutzeroberfläche hingegen macht die Nutzung der Software unattraktiv und führt zu einer negativen Benutzererfahrung. Die englischen Begriffe *User Interface (UI)* für Benutzeroberfläche und *User Experience (UX)* für Benutzererfahrung sind in der Softwareentwicklung verbreiteter. Eine Studie von Chaganti et al. zeigte, dass schlecht gestaltete UI und UX auf Lernplattformen dazu führen, dass diese nicht genutzt werden. In der Studie gaben 73,6% der Teilnehmer*innen an, eine Webseite zu verlassen, wenn die Benutzeroberfläche unübersichtlich oder schwer zu bedienen ist [KUC⁺23].

2.5 Verwandte Projekte

Im Folgenden werden zwei Projekte vorgestellt, die aus einer Initiative des Ministeriums für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen hervorgegangen sind und die Integration von VR-Technologie in den Schulunterricht fördern.

Smart City bietet ein fertiges Modul, das im Unterricht eingesetzt werden kann, um sich immersiv mit dem Thema Stadtentwicklung auseinanderzusetzen.

PaneoVR ist ein Autorentool, mit dem Lehrkräfte interaktive 360°-Touren erstellen können.

2.5.1 Smart City

VR-Lern-
umgebung
für Stadt-
entwicklung

Bei *Smart City für das Lehren und Lernen in der digitalen Welt* handelt es sich um ein Angebot des Ministeriums für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen [6]. Mit der VR-Anwendung sowie den dazugehörigen analogen Lernaufgaben wird eine Lernumgebung geboten, die eine interaktive und handlungsorientierte Vermittlung zukünftiger Stadtentwicklungsszenarien im Erdkunde- und Gesellschaftslehreunterricht ermöglichen soll. Ziel ist es, Schüler*innen durch Immersion und Interaktion nicht nur für die Chancen und Herausforderungen digitaler Technologien in urbanen Räumen zu sensibilisieren, sondern auch ihre kritische Reflexionsfähigkeit zu fördern.

Die Anwendung umfasst drei thematische Schwerpunkte: *Smart Mobility*, *Smart Retail* und *Smart Living in a Smart Environment*. Diese Themenfelder werden durch visualisierte Gegenwarts- und Zukunftsszenarien veranschaulicht, in denen Lernende aktiv Entscheidungen treffen und deren Auswirkungen erleben können. Beispielsweise erlaubt das Modul *Smart Living* die Simulation nachhaltiger Stadtentwicklung durch individuell wählbare Maßnahmen.



Abbildung 2.2: Smart-Living auf dem iPad

Didaktisch verfolgt das Projekt mehrere Ansätze:

- **Förderung von Sach-, Methoden-, Urteils- und Handlungskompetenzen**
Lernende analysieren urbane Systeme, bewerten Szenarien und entwickeln Handlungsstrategien.
- **Motivationssteigerung**
Die immersive Natur der VR-Technologie weckt Neugier und ermöglicht eigenständiges Lernen.
- **Inklusion und Differenzierung**
Die Lernumgebung ist offen gestaltet, sodass Lernende in ihrem eigenen Tempo arbeiten können.

Die Verbindung der VR-Technologie mit dem Konzept der „Smart City“ macht es möglich, zentrale gesellschaftliche Herausforderungen wie nachhaltige Entwicklung, Digitalisierung und urbane Resilienz aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten. Gleichzeitig wird die Professionalisierung von Lehrkräften im Umgang mit VR angestrebt, um die Integration von VR-Technologie in den Unterricht zu fördern.

Die VR-Anwendung adressiert nicht nur Kerninhalte der Lehrpläne, sondern auch Aspekte der Medienkompetenz. Kritische Themen wie Datenschutz, soziale Gerechtigkeit und die Risiken technikabhängiger Systeme werden ebenfalls einbezogen, um eine umfassende Auseinandersetzung mit den Potenzialen und Grenzen moderner Stadtentwicklung zu gewährleisten.

Alle drei thematischen Schwerpunkte sind als eigenständige Module auf der Seite lernen-digital.nrw verfügbar. Die Anwendungen sind als Web-, Windows-, Mac- und eigenständige VR-Brillen-Versionen erhältlich. Neben den Arbeitsblättern und Lehrhandreichungen stehen auch Anleitungen zur Einbindung in den Unterricht sowie ein fertig vorbereiteter Moodle-Kurs zum Download bereit. Auch ein kostenloser Support per E-Mail und Telefon wird angeboten. Darüber hinaus ist das gesamte Projekt Open Source und als Open Educational Resource (OER) verfügbar, was es ermöglicht, sämtliche Inhalte kostenlos zu nutzen, zu verändern und weiterzugeben.

*Open
Educational
Resource*

2.5.2 PaneoVR

PaneoVR ist eine Anwendung, die es Nutzenden ermöglicht, interaktive 360°-Touren zu erstellen und zu betrachten. Ursprünglich wurde die Anwendung von der Forschungsgruppe ViRDIPA als Blended-Learning-Qualifizierungskonzept für den Einsatz von VR-Technologie in der Pflegeausbildung entwickelt. Inzwischen hat sich *PaneoVR* zu einem vielseitigen Autorentool weiterentwickelt, das den Schwerpunkt auf das selbstständige und einfache Erstellen digitaler (VR-)Lerninhalte legt [7]. Es existiert eine dauerhaft kostenlose Community-Version, die alle Grundfunktionen zum Erstellen und Betrachten von Touren umfasst. Darüber hinaus werden kostenpflichtige Lizenzen für Unternehmen und Bildungseinrichtungen angeboten, die zusätzliche Funktionen wie das Teilen oder gemeinsame Bearbeiten von Touren ermöglichen [8].

Autorentool

Mit dem *PaneoVR Editor* erstellen Nutzer*innen Touren zunächst als Diagramm (siehe Abbildung 2.3). In diesem Diagramm können Szenen und Hotspots hinzugefügt und miteinander verbunden werden. Bilder und Videos können währenddessen oder auch erst am Ende hinzugefügt werden. Wenn alle Szenen mit Medieninhalt gefüllt sind, kann das Szenario im *PaneoVR WebPlayer* [9] betrachtet werden. Im Editier-Modus können die Hotspots per Drag-and-Drop an die richtige Stelle in der Szene verschoben werden.

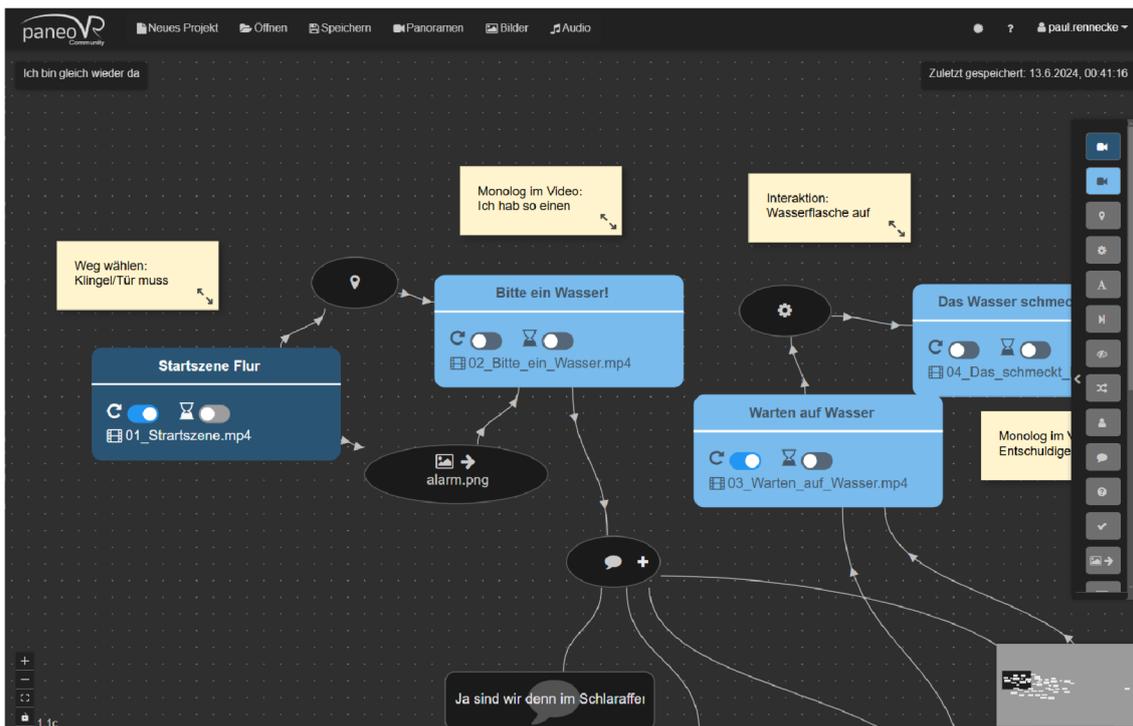


Abbildung 2.3: PaneoVR Editor [10]

Grundfunktionen kostenlos, aber nicht auf iPads

Eine fertig erstellte VR-Szene kann neben der Web-Variante auch direkt über eine PaneoVR-App auf VR-Brillen betrachtet werden. Hierfür stehen Anwendungen für die VR-Brillen von Meta, Pico sowie für die eigenständigen HTC-Brillen zur Verfügung. Eine Anwendung für rechnergebundene VR-Brillen ist derzeit in Planung. Der Zugriff auf die PaneoVR Player App für Android und iOS ist jedoch ausschließlich zahlenden Nutzenden vorbehalten. Die Web-Variante ist nicht für die Nutzung auf Touch-Geräten optimiert und somit dort nicht einsetzbar. Dies bedeutet, dass die Software auf in Schulen weit verbreiteten iPads nicht kostenlos genutzt werden kann.

Zusammenfassend ist PaneoVR ein Autorentool, das es Nutzer*innen ermöglicht, interaktive 360°-Touren zu erstellen und zu betrachten. Die Anwendung kann kostenlos genutzt werden, aber für einen produktiven Einsatz im Bildungskontext sind kostenpflichtige Lizenzen erforderlich.

2.5.3 Andere Autorentools

Neben PaneoVR existieren weitere Autorentools, die es ermöglichen interaktive 360°-Touren zu erstellen und zu betrachten. Die meisten dieser Tools sind jedoch kommerziell und nicht als Open-Source-Software verfügbar. Ein Beispiel hierfür ist die Software von 3DVista [11].

Open-Source-Autorentools im Bereich der 360°-Touren sind noch relativ selten.

Marzipano

Ein Beispiel für ein solches Tool ist *Marzipano*, ein Open-Source-Projekt, das die Erstellung von 360°-Touren ermöglicht [12]. Allerdings ist der Funktionsumfang von Marzipano begrenzt, da es beispielsweise keine Unterstützung für Videos als Szenen bietet. Zudem ist das Tool primär für die Nutzung im Webbrowser optimiert und nicht als VR-Anwendung konzipiert.

Ein weiteres Open-Source-Framework ist *H5P*, das die Erstellung interaktiver Webinhalte ermöglicht [13]. H5P bietet unter anderem die Möglichkeit, 360°-Touren zu erstellen. Allerdings ist auch hier die Funktionalität eingeschränkt und nicht speziell für den Einsatz in VR optimiert.

H5P

2.6 Schlussfolgerung

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Abschnitten zusammengefasst und daraus Schlussfolgerungen für die Integration der geplanten kollaborativen Funktionen gezogen.

19squared wurde bewusst als Webanwendung konzipiert, um die Erstellung von Touren sowohl auf PCs als auch auf mobilen Endgeräten zu ermöglichen. Dies senkt die Einstiegshürde für die Nutzung der Anwendung und erlaubt deren Einsatz im schulischen Kontext, unabhängig von der unterschiedlichen technischen Ausstattung der Schulen. Es war daher essenziell, dass die in 19squared erstellten Touren nicht nur in VR, sondern auch auf (mobilen) Endgeräten erlebbar sind.

Potenzial von VR im Schulkontext

Im Kapitel 2.2 wurde der Begriff der Kollaboration erläutert und die Bedeutung des kollaborativen Lernens, insbesondere des computerunterstützten kollaborativen Lernens (CSCL), im schulischen Kontext hervorgehoben. Die Integration kollaborativer Funktionen in 19squared ermöglicht es Lehrkräften und Schüler*innen, gemeinsam interaktive 360°-Touren zu erstellen und zu bearbeiten. Dies fördert die Zusammenarbeit und den Austausch zwischen den Lernenden und unterstützt sie dabei, ihr Wissen auf kollaborative Weise zu konstruieren. Darüber hinaus stärkt die Nutzung der Anwendung und die gemeinsame räumliche Auseinandersetzung mit den 360°-Aufnahmen den kollektiven Wissensaufbau.

Notwendigkeit von Kollaboration

Die Geplante Erweiterungen wie die Synchronisationsmechanik, das User-Management-System und die Anpassung des User-Interfaces tragen dazu bei, dass die Anwendung möglichst niederschwellig und intuitiv bedienbar ist. Durch die Beachtung der Gestehtgesetze bei der Gestaltung der Benutzeroberfläche wird sichergestellt, dass die Anwendung übersichtlich und benutzerfreundlich ist.

Bedeutung von UI/UX

Zudem wurden die beiden verwandten Projekte Smart City und PaneoVR vorgestellt, die ebenfalls im Bildungsbereich eingesetzt werden. Im Gegensatz zu Smart City handelt es sich bei 19squared um ein Autorentool, das es Lehrkräften ermöglicht, selbst flexibel interaktive 360°-Touren zu erstellen. Ein vergleichbares Autorentool existiert bereits mit PaneoVR. Allerdings wurde PaneoVR nicht als Open-Source-Software entwickelt und stellt daher eine finanzielle Hürde für Bildungseinrichtungen dar.

verwandte Projekte

Open Educational Resources (OER) sind frei verfügbare Bildungsmaterialien, die von Lehrkräften und Schüler*innen genutzt, geteilt und weiterentwickelt werden können. 19squared wurde von Beginn an als Open-Source-Projekt entwickelt, unterstützt somit den OER-Ansatz und ist vollständig kostenlos für alle Nutzer*innen zugänglich. Das Projekt ist in einem Git-Repository¹ unter der MIT-Lizenz verfügbar und damit kann es beliebig genutzt, verändert und weitergegeben werden.

Open Source & OER

¹ <https://git.rwth-aachen.de/medialab/19squared>

Kapitel 3 Konzept

Nach der Erarbeitung der notwendigen Grundlagen wird in diesem Kapitel ein Konzept entwickelt, wie kollaborative Funktionen in 19squared integriert werden können. Dabei werden die drei zentralen Elemente Synchronisation, User-Management und User-Interface berücksichtigt.

Vorbereitungen

Mit 19squared kann man 360°-Touren bearbeiten und anschauen. Bislang war es Erstellenden einer Tour bereits möglich einen Link zu generieren, mit dem andere eine Tour anschauen konnten. Bearbeiten konnten diese aber nur Erstellende.

*Vorbereitung:
Touren teilen*

Als Vorbereitung auf die Integration kollaborativer Funktionen wurde die Übersicht der angelegten Touren überarbeitet und um die Funktion erweitert, Touren mit anderen Benutzerkonten zu teilen. Dabei können diese entweder Bearbeitungsrechte oder lediglich Ansichtsrechte erhalten. In einem späteren Schritt wurde diese Funktion dahingehend ergänzt, dass Touren auch an Gruppen freigegeben werden können. Damit war die Grundlage für kollaboratives Arbeiten geschaffen.

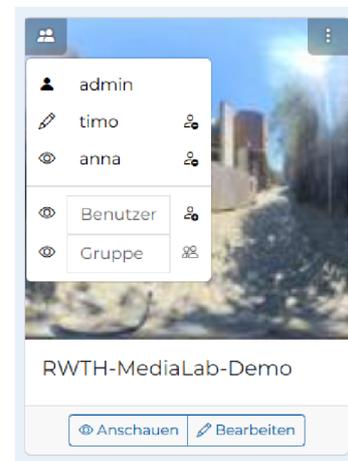


Abbildung 3.1:
Freigabe-Optionen
einer Tour

3.1 Synchronisation

Um paralleles, also gleichzeitiges Arbeiten mehrerer Benutzer*innen zu ermöglichen, ist eine Echtzeitsynchronisation erforderlich. Alle Änderungen, die von einer Person an der Tour vorgenommen werden, müssen unmittelbar bei allen anderen Kollaborateuren, die die Tour ebenfalls bearbeiten oder besuchen, sichtbar werden. Darüber hinaus soll auch die Synchronisation von Zugriffsrechten gewährleistet sein, sodass Änderungen in den Berechtigungen eines Nutzens sich direkt in seiner Tourenübersicht widerspiegeln. Um dies zu ermöglichen verwendet man WebSockets, ein Netzwerkprotokoll (standardisiert 2011), das eine durchgehende bidirektionale Verbindung zwischen einem Client und einem Server ermöglicht [AI11]. 19squared wurde mit dem Web-Framework *Flask* realisiert, welches keine eingebaute Unterstützung für WebSockets integriert hat. Es gibt aber eine Flask-WebSockets-Erweiterung, die allerdings seit 2017 nicht mehr aktualisiert wurde [14].

Websockets

Weit verbreitet hat sich in den letzten Jahren eine Bibliothek namens socketIO [15]. Sie basiert auf WebSockets, vereinfacht aber die Integration in Webanwendungen erheblich. Außerdem gibt es eine aktuelle Flask-Erweiterung, die die JavaScript-Bibliothek in Flask-Anwendungen integriert [16]. Auf die Funktionsweise und die Implementierung von SocketIO wird im nächsten Kapitel eingegangen.

Zunächst wird erläutert, warum die Verwendung bestehender Open-Source-Bibliotheken gegenüber selbst entwickeltem Code vorteilhaft ist. Diese Vorteile ergeben sich aus einer Kombination von Faktoren, die sowohl die Nutzung bestehender Software als auch die spezifischen Vorteile von Open-Source-Software im Vergleich zu proprietärer Software betreffen. Die folgende Auflistung orientiert sich lose an [17].

*Vorteile
Open-Source-
Bibliotheken*

- **Zeitersparnis:** Bereits existierende Lösungen müssen nicht neu entwickelt werden. Dies reduziert die Entwicklungszeit erheblich.
- **Kosten:** Open-Source-Software darf ohne Lizenzkosten beliebig verwendet und angepasst werden.
- **Qualität und Zuverlässigkeit:** Hinter vielen Open-Source-Bibliotheken steht eine große Community. Die kollaborative Natur der Open-Source-Entwicklung trägt dazu bei, dass Fehler schneller gefunden und behoben werden.
- **Sicherheitsvorteile:** Der offene Quellcode ermöglicht es jedem, den Quellcode zu prüfen. Durch die Community werden Sicherheitslücken meist schneller gefunden und behoben.
- **Performance-Optimierung:** Viele Open-Source-Bibliotheken werden von Experten entwickelt und sind daher oft effizienter als selbst geschriebener Code.
- **Community-Support und Dokumentation:** Umfangreiche Dokumentationen und der Support durch die Community erleichtern das Verständnis und die Implementierung der Bibliotheken.
- **Flexibilität und Anpassbarkeit:** Der offene Quellcode ermöglicht es Entwicklern, die Bibliothek an spezifische Anforderungen anzupassen, was oft weniger aufwendig ist als eine komplette Neuentwicklung.
- **Best Practices und Standardisierung:** Open-Source-Bibliotheken implementieren häufig Best Practices und Industriestandards, wodurch die Wartung und Integration in bestehende Systeme erleichtert wird.
- **Langfristige Wartbarkeit:** Eine große Community sorgt für langfristigen Support und kontinuierliche Verbesserungen. Dadurch bleibt auch das eigene Projekt langfristig wartbar.

3.2 User-Management

Bisher darf jeder auf einer Instanz von 19squared, z.B. auf 19squared.de, einen Account mit seiner E-Mail Adresse anlegen, Touren erstellen, bearbeiten und teilen. Das Tool soll primär im Schulkontext genutzt werden, weshalb es möglich sein soll, dass Lehrkräfte Schüler*innen „einladen“ können, um gemeinsam an einer Tour zu arbeiten.

Dabei sollen Lehrkräfte mehr Rechte haben, als Schüler*innen. So soll es Lehrkräften möglich sein ihre Schüler*innen zu Gruppen zusammenzufügen und Speicherkontingente freizugeben.

Rechte / Rolle	admin	manager	user
Neue Tour erstellen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour bearbeiten ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour umbenennen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour duplizieren ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour löschen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour teilen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour exportieren ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tour importieren ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Demo Tour hinzufügen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mitarbeiter bearbeiten ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gruppe erstellen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gruppe bearbeiten ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gruppe löschen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rollen bearbeiten ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Demo Tour einstellen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzerverwaltung ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rollenverwaltung ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzer löschen ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rolle über eine Gruppe vergeben ⓘ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neuen Nutzern diese Rolle geben ⓘ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Speicherplatz ⓘ	100 GB	10 GB	3 GB
			

Abbildung 3.2: Rollen-Management

Nutzerende sollen verschiedene Rollen haben können, die ihnen unterschiedliche Rechte geben. Initial sollen die Rollen *admin*, *manager* und *user* definiert sein. Eine Person mit der Rolle *admin* besitzt sämtliche Rechte, einschließlich dem Recht *role_management* zur Verwaltung von Rechten und Rollen, wie in Abbildung 3.2 dargestellt. Auch besitzt diese das Recht *set_demotour*, um die auf der Startseite verknüpfte Demo-Tour zu ändern.

Nutzende haben Rechte durch Rollen

Neben der Zuweisung von Rechten zu bestimmten Rollen soll auch festgelegt werden können, welche Rollen durch eine Gruppeneinladung vergeben werden dürfen, welche Rollen Nutzende bei der Erstellung eines Accounts erhalten und welches Speicherkontingent durch die Zuweisung einer Rolle zu einem Account maximal zugewiesen wird.

Mit Ausnahme der *admin*-Rolle, soll es möglich sein alle Rollen im User-Interface anzupassen, bzw. neue Rollen anzulegen. Lehrer*innen sollen die Möglichkeit haben, Gruppen zu erstellen und Schüler*innen hinzuzufügen, weshalb sie die Rolle *manager* erhalten sollten.

Nutzende mit der Berechtigung *user-management*, die diese wie in Abbildung 3.2 gezeigt durch die Rolle *admin* bekommen, sollen mit dem User-Management 3.3 die Möglichkeit bekommen alle Accounts zu verwalten.

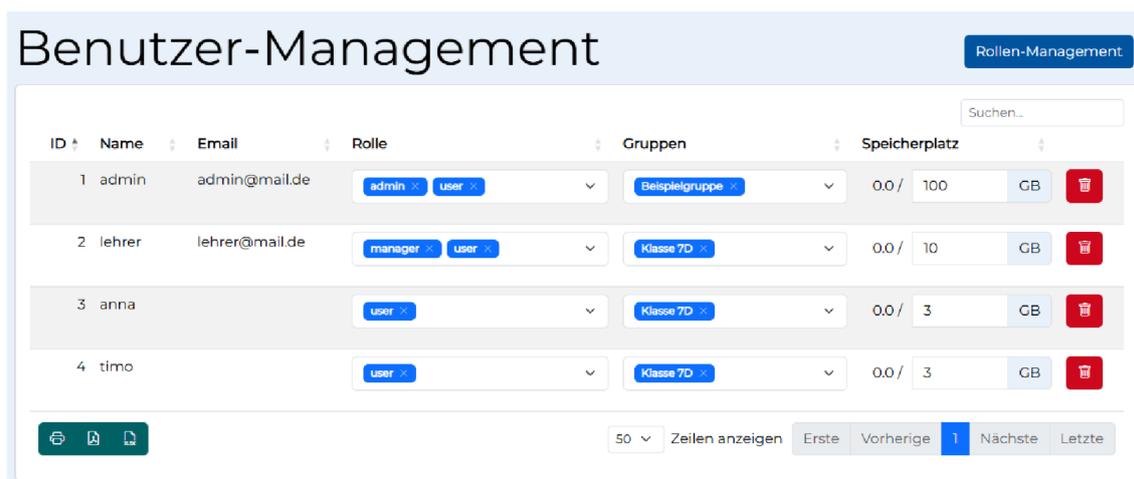


Abbildung 3.3: User-Management

Zur Implementierung der Benutzerverwaltung soll die Flask-Erweiterung *Flask-Security* [18] verwendet werden. Im Kapitel 4.2 wird diese Integration erläutert.

3.2.1 Gruppen und Token

Um Lehrer*innen das Verwalten ihrer Schüler*innen zu ermöglichen, ohne dabei Zugriff auf das globale User-Management zu haben, sollen Gruppen eingeführt werden. Eine Lehrperson legt beispielsweise die Klasse 7D an und lädt seine Schüler*innen ein. Dies geschieht über eine Einladungs-Email oder (wie im Schulkontext häufig verwendet) durch das Einlösen eines Tokens, der an die Schüler*innen verteilt wird.

3.2. User-Management

Rollen vergeben

Durch den Beitritt in eine Gruppe erhalten die Nutzenden die Rolle und die damit verbundenen Rechte, die die erstellende Person festgelegt hat.

Damit könnte beispielsweise Schüler*innen die Berechtigung gegeben werden, selbst Touren zu erstellen oder der verfügbare Speicherplatz erhöht werden.

Touren teilen

Um außerdem das Kollaborieren mit der gesamten Klasse zu vereinfachen, soll es die Möglichkeit geben, Touren mit der Gruppe zu teilen, anstatt einzeln mit allen Mitgliedern. Der Ablauf wird in Abbildung 3.4 verdeutlicht.

Des Weiteren sollen beim Teilen einer Tour mögliche Eingaben vorgeschlagen werden. Beim Teilen mit einer Gruppe sollen entsprechend alle Gruppen vorgeschlagen werden, in denen die aktuelle Person Mitglied ist und das Teilen ist auch nur mit diesen Gruppen möglich. Beim Teilen mit einer Person sollen alle Mitglieder aller Gruppen vorgeschlagen werden, in denen die teilende Person ist. Wenn der Nutzernamen der Person aber bekannt ist, soll auch das Teilen mit nicht gelisteten Personen möglich sein.

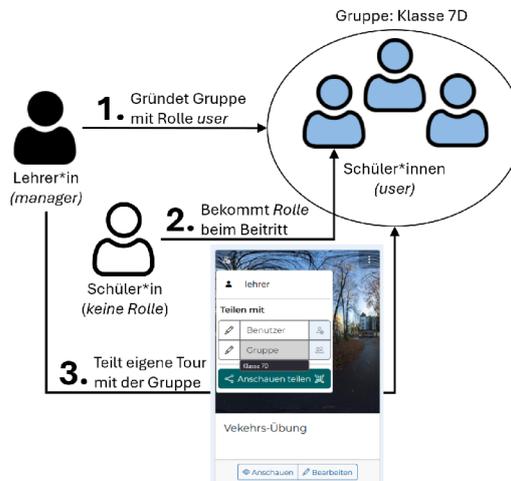


Abbildung 3.4: Prozess des Teilens mit einer Gruppe

Groups

This page displays an overview of your groups

Invite-Token	Username	Email	
FGBWVX		neuer_schueler@mail.de	Invited
LTFRFW		Enter email	Invite
EQODLF	Schülerin	schuelerin@mail.de	Remove
KIKKSA	Schüler	schueler@mail.de	Remove

1 Generate Invites

Abbildung 3.5: Gruppen-Management

Profil

Zusätzlich soll es noch ein Benutzerprofil geben, bei dem die Nutzende selbst ihre Rollen, Berechtigungen und Gruppen sowie andere Konto-Daten einsehen können, ihr Passwort ändern, Gruppen verlassen oder ihr Konto löschen können (siehe Abbildung 4.3).

3.3 User-Interface

In den vorangegangenen Abschnitten wurden zur besseren Verständlichkeit der Konzepte die fertigen User-Interface-Erweiterungen abgebildet. Teil dieser Arbeit soll es auch sein die bestehende Benutzeroberfläche im Sinne der Benutzerfreundlichkeit zu verbessern.

Dazu soll das Design überarbeitet und vereinheitlicht werden, um dadurch die Benutzerführung zu verbessern.

Ziel ist es, eine benutzerfreundliche, ansprechende und intuitive Oberfläche zu entwickeln, die es den Nutzenden ermöglicht, sich schnell zurechtzufinden.

*gutes
Interface
essenziell für
Erfolg*

In Kapitel 2.4 wurden die Gestaltgesetze eingeführt, die bei der Umsetzung im weitesten Sinne berücksichtigt werden sollen. Denn dies ist essenziell für die Akzeptanz und den Erfolg einer Anwendung, insbesondere im schulischen Kontext, wie in Kapitel 2.4.2 dargelegt wurde.

Ein bekanntes und weit verbreitetes Framework für die Entwicklung von Webseiten ist Bootstrap [19]. Es bietet eine Vielzahl von vorgefertigten Komponenten und Layouts, die es ermöglichen, Webseiten einheitlich (Gesetz der Kontinuität), benutzerfreundlich und zugleich modern zu gestalten (Gesetz der guten Gestalt). Details zur Implementierung werden in Kapitel 4.3 erläutert.

Neben der Neugestaltung der Tourenübersicht und aller Menüs, soll auch die Überarbeitung der Asset- und Mediapage-Karten in der Bearbeitungsansicht erfolgen. Dabei soll besonderer Wert darauf gelegt werden, dass die Seite auch auf mobilen Endgeräten optimal dargestellt wird. Da in Schulen immer häufiger Tablets verwendet werden, ist also auch eine intuitive Bedienung auf Touch-Geräten von großer Bedeutung.

*responsive
Design*

Die Asset und Mediapage-Karten sollen so angepasst werden, dass sie auch bei kleineren Bildschirmen ein möglichst sinnvolles Format einnehmen, um alle Informationen korrekt anzuzeigen. Alle Icons sollen vereinheitlicht werden und beim überfahren mit der Maus eine kurze Beschreibung anzeigen, um unerfahrene Nutzer*innen zu unterstützen und ihnen die Bedienung der Anwendung zu erleichtern. Auch die Funktionen, wie das Umbenennen einer Szene soll für alle Bildschirmgrößen optimiert werden.

Ebenso sollen dezente, aber prägnante Hinweise bei neu angelegten Touren einblendet werden. Denn trotz intuitiver Gestaltung ist es sinnvoll, Nutzende beim Erstellen der ersten Szene und des ersten Hotspots zu unterstützen, um einen guten Einstieg zu ermöglichen. Dabei soll bewusst auf ein klassisches Tutorial verzichtet werden, das zunächst absolviert werden muss, da dies von erfahreneren Nutzenden als störend empfunden werden könnte.

*verbesserte
Benutzerführung*

Um Nutzenden eine bessere Übersicht über die Hotspots in einer Szene zu geben, sollen Icons in der Szenenübersicht angezeigt werden, die den Typ des Hotspots repräsentieren. Dabei soll außerdem ein Hinweis einblendet werden, wenn beispielsweise bei einem Beweging-Hotspot vergessen wurde, eine Szene zu verlinken.

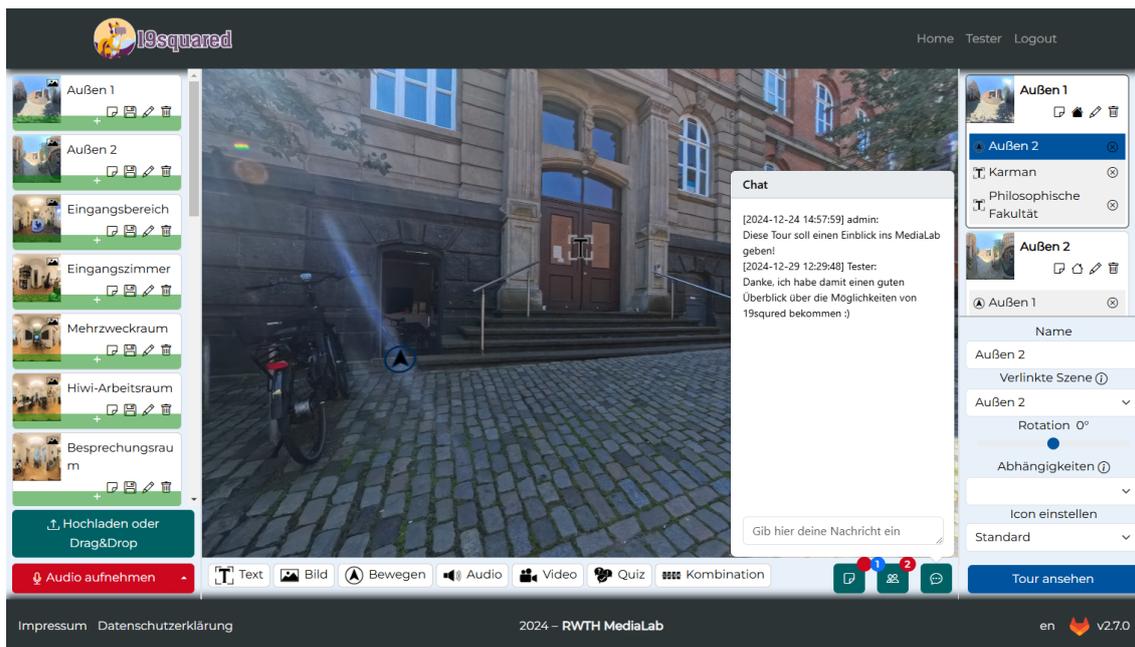


Abbildung 3.6: 19squared Bearbeitungsansicht mit offenem Touren-Chat

Zusätzlich soll die Möglichkeit geschaffen werden, Dateien per Drag-and-Drop hochzuladen, bzw. diese direkt den Szenen oder Mediapages hinzuzufügen. Um diese Option sichtbar zu machen, soll neben dem Hinweis in der Schaltfläche zum Hochladen auch beim drüber ziehen einer Datei über die Bereiche Assets, Szene und Mediapages eine entsprechende Dropzone angezeigt werden. Des Weiteren soll es möglich sein, Audioaufnahmen direkt in der Anwendung aufzunehmen und zu speichern.

3.3.1 Kollaborative Funktionen

*Touren-Chat,
Notizen,
online
Benutzer*

Um Kollaboration zu ermöglichen, sollen zusätzliche Funktionen implementiert werden. Dazu gehört eine Notizfunktion für Assets, Mediapages und Touren, die es den Nutzer*innen ermöglicht, wichtige Informationen direkt zu hinterlegen. Des Weiteren wird ein Touren-Chat eingeführt, der eine Echtzeitkommunikation zwischen den Kollaborateuren der Tour ermöglicht. Zusätzlich soll angezeigt werden, welche Nutzer*innen sich aktuell im Bearbeitungs- bzw. Betrachtungsmodus der Tour befinden. Diese drei neuen Funktionen (siehe Abbildung 3.6) werden mit einem Benachrichtigungs-Icon versehen, das auf neue Notizen, Nachrichten oder Änderungen bei den sich online befindlichen Nutzer*innen hinweist.

3.3.2 Weitere Verbesserungen

Die nachfolgend aufgeführten Verbesserungen wurden auf Basis der Evaluation und des Feedbacks der Proband*innen (siehe Kapitel 5.3) umgesetzt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden sie an dieser Stelle erläutert.

Um die Anwendung barrierefreier in den Unterricht aller Altersstufen zu integrieren, soll die Möglichkeit geschaffen werden, die Sprache der Benutzeroberfläche zu ändern. Bislang war die gesamte Anwendung ausschließlich in englischer Sprache verfügbar. Es soll eine vollständige deutsche Übersetzung der Benutzeroberfläche umgesetzt werden.

*deutsche
Übersetzung*

3.3.3 Gruppen-Management

Um die Kollaboration zwischen Lehrkräften und Schüler*innen weiter zu vereinfachen, soll eine Funktion implementiert werden, die es Lehrkräften ermöglicht, beim Erstellen einer Gruppe direkt Benutzerkonten für die Schüler*innen anzulegen. Diese Konten sollen automatisch mit den erforderlichen Berechtigungen versehen und der entsprechenden Gruppe zugeordnet werden. Dadurch entfällt für die Schüler*innen der Schritt, selbst einen Account zu erstellen und einen Einladungs-Token einzulösen.

*neue Konten
bei Gruppen-
erstellung*

The screenshot shows a web interface titled 'Gruppen' with a 'Gruppe erstellen' button. Below the title, it says 'Diese Seite zeigt eine Übersicht der Gruppen, die du verwaltest'. The main content area is for 'Klasse 7D' and contains a table with the following data:

Benutzername	QR	Email / Einladungs-Token / Passwort	
lehrer		lehrer@mail.de	
anna			
Klasse 7D-1		HJWUOR	
Klasse 7D-2		KKJWYF	
timo		VMEMSZ	
admin		admin@mail.de	
		schüler@mail.de	
		ANZKPA	

At the bottom of the table area, there are buttons for 'Benutzer erstellen' and 'Benutzer einladen', and a note: 'QR-Codes zum einfachen Teilen drucken:

Abbildung 3.7: Verbesserung im Gruppen-Management: Erstellung neuer Accounts

Im Zuge der Erweiterungen soll auch die Gruppen-Übersicht überarbeitet werden (vergleiche Abbildung 3.5 und 3.7). Mitglieder sollen dann eingeladen oder neu erstellt und damit direkt hinzugefügt werden können.

Die Anzeige der bestehenden Einladungen und Gruppenmitglieder soll übersichtlicher gestaltet werden. Dies wird zum einen erreicht, indem die Eingabe der E-Mail-Adressen entfällt und stattdessen die Eingabe direkt bei der Erstellung der Einladungen erfolgt. Zum anderen indem die Einladungsmethoden (Token oder E-Mail) zu einer Spalte zusammengefügt werden und ein kleines Icon zu Beginn jeder Zeile den Status anzeigt. Dabei wird unterschieden zwischen:

Status-Icons

👤 **beigetreten**, Einladung wurde angenommen

👤 **selbst erstellt**, Einladung automatisch angenommen

⌚ **ausstehend**, Einladung wurde noch nicht angenommen

⊗ **abgelehnt**, Einladung wurde abgelehnt

nicht zugeordnet, Token/Email noch keinem Account zugeordnet

Die Icons sollen möglichst selbsterklärend sein. Dennoch soll bei diesen, wie bei grundsätzlich allen Elementen, beim Überfahren mit der Maus ein erklärender Text angezeigt werden.

*Passwort
neuer Konten*

Bei selbst erstellten Benutzerkonten soll der Token auch als initiales Passwort verwendet werden. Das Icon 👤 verdeutlicht dies. Ein sich vom Token unterscheidendes Passwort würde keinen Vorteil bieten und stattdessen nur Verwirrung schaffen, da Nutzende Token und Passwort verwechseln könnten.

*Massen-
eingabe*

Anders als zuvor soll auch eine Masseneingabe möglich sein, um mehrere Benutzerkonten auf einmal hinzuzufügen. So könnte beispielsweise eine Schulklassen-Liste direkt eingefügt werden. Zudem soll es möglich sein, Benutzernamen automatisch generieren zu lassen (siehe Abbildung 3.8).

*Einladung
per Email,
Name oder
Token*

Um die drei verschiedenen Möglichkeiten, Benutzer*innen einzuladen, deutlicher hervorzuheben, erfolgt eine Listung dieser drei Optionen (siehe Abbildung 3.9). Neu hinzukommen soll die Option, Nutzende direkt per Benutzername hinzuzufügen. Diese sowie die Option, Einladungen per E-Mail zu versenden, sollen ebenfalls Masseneingaben ermöglichen. Weiterhin soll die Möglichkeit bestehen bleiben, Tokens zu generieren, die von den Nutzenden selbst eingelöst werden können.

Abbildung 3.8:
Benutzer erstellen

Abbildung 3.9:
Benutzer hinzufügen

Nutzende, die per E-Mail eingeladen wurden, erhalten wie zuvor eine E-Mail-Benachrichtigung. Zusätzlich wird die Einladung direkt in der Tourenübersicht angezeigt, sofern sie bereits über ein Benutzerkonto verfügen. Nutzende, die per Benutzernamen eingeladen wurden, erhalten ebenfalls eine entsprechende Benachrichtigung (siehe Abbildung 3.10).

*Einladung in
Touren-
übersicht*

Abbildung 3.10: Gruppeneinladung in der Tourenübersicht

Um das Teilen der Einladungs-Token und der neu erstellten Benutzerkonten zu vereinfachen, soll eine Druckfunktion implementiert werden. Diese soll es ermöglichen, eine Liste aller Konten-Zugänge und Tokens zu erstellen. Zusätzlich soll eine Version mit QR-Codes bereit gestellt werden. QR-Codes bieten den Vorteil, dass die Schüler*innen direkt eingeloggt starten können. Da in Schulen häufig mobile Endgeräte mit Kameras, verwendet werden, stellen QR-Codes eine ideale Lösung dar, um den Zugang zur Anwendung zu erleichtern. In der digitalen Version werden die QR-Codes beim Klicken oder Überfahren mit der Maus in der entsprechenden Spalte angezeigt (siehe Abbildung 3.11).

*Ausdruck mit
QR-Codes*



Abbildung 3.11:
QR-Code in der
Gruppenübersicht

Kapitel 4 Implementation

Im Folgenden soll die Implementierung der in der Bedarfsanalyse erarbeiteten Konzepte erläutert werden. Dabei sollen nur die wichtigsten Aspekte der Implementation erläutert werden, um den Umfang dieser Arbeit in Grenzen zu halten. Auch sei erwähnt, dass nebenbei eine große Menge an Fehlern in der bestehenden Software behoben wurde, auf welche ebenfalls nicht weiter eingegangen werden soll. Eine detaillierte Liste aller Issues ist im Git-Repository¹ einsehbar.

4.1 Synchronisation mit socketIO

Synchronisation via Emits

Durch das Verwenden der Flask-SocketIO Bibliothek [16] ist die Integration von Websockets deutlich komfortabler und auch verständlicher.

Die Funktionsweise von SocketIO basiert auf der Anmeldung von Clients beim Server und dem bidirektionalen Austausch von Nachrichten, sogenannten *Emits*, die entsprechende Routinen auslösen. Der Server hat die Möglichkeit, Emits an einzelne Clients, alle Clients oder spezifische Gruppen von Clients, die als *Räume* bezeichnet werden, zu senden. Eine direkte Kommunikation zwischen Clients ohne den Server als Vermittler ist nicht möglich. Durch die Verwendung von Räumen wird sichergestellt, dass nur die Nutzenden, für die eine Nachricht relevant ist, diese auch erhalten. Konkret formuliert ist beispielsweise eine Benachrichtigung zu Änderungen an einer Tour nur für die Nutzenden relevant, die sich gerade in dieser Tour befinden. Dieses Vorgehen spart im Vergleich zur Benachrichtigung aller Nutzenden erheblich Ressourcen und ist bei nicht öffentlichen Touren auch sicherheitsrelevant.

Zunächst wird auf Serverseite ein SocketIO-Server erstellt, der auf bestimmte Events reagiert (siehe Quellcode 4.1). Wenn ein User die Bearbeitungsansicht einer Tour öffnet, wird automatisch das Socket-Event `connect` ausgelöst (siehe Quellcode 4.2). Dieses Event sendet an den Server die Information, welche Tour gerade geöffnet ist und welcher User diese Aktion durchführte. Der Server reagiert durch `@socketio.on('joinCreateTour')` auf den Emit und fügt den User daraufhin dem entsprechenden SocketIO-Raum der Tour hinzu.

¹ <https://git.rwth-aachen.de/medialab/19squared>

```

1  from flask_socketio import SocketIO, join_room, leave_room, close_room, send, emit
2
3  socketio = SocketIO(app)
4  socketio.init_app(app)
5
6  @socketio.on('joinCreateTour')
7  def on_joinCreateTour(data):
8      join_room(data['tour_id'])
9
10 @socketio.on('hotspot')
11 def on_hotspot(data):
12     emit('hotspot', data['hotspot_id'], room=data['tour_id'])
13     emit('hotspot', data['hotspot_id'], room="view-"+data['tour_id'])

```

Quellcode 4.1: Ausschnitt vom SocketIO-Server

```

1  var socket = io();
2  socket.on("connect", function () {
3      socket.emit("joinCreateTour", {
4          tour_id: "{{ tour_id }}",
5          user_id: "{{ current_user.id }}",
6          username: "{{ current_user.username }}"
7      });
8  });
9
10 socket.on("hotspot", function (id) {
11     fetchHotspot(id);
12 });

```

Quellcode 4.2: Ausschnitt vom Client

Nimmt der User nun eine Bearbeitung an einem Hotspot vor, wird wie zuvor mittels eines AJAX-Calls eine Flask-Route ausgelöst, die die Änderung auf dem Server speichert und eine Erfolgsmeldung an den Client zurückgibt. Der Client führt daraufhin die Änderung lokal durch und startet zusätzlich einen Emit (Quellcode 4.3), der alle anderen Nutzenden benachrichtigt, die sich gerade in der Tour befinden (unabhängig davon, ob sie im Bearbeitungs- oder Ansichtsmodus sind). Die anderen Clients empfangen diesen Emit, erhalten darüber die Information, bei welchem Hotspot es eine Änderung gab und führen die notwendige Funktion aus, um das Update des Hotspots zu laden.

*Flask-Route
schreibt
Änderung in
DB*

```

1  socket.emit("hotspot", {
2      tour_id: "{{ tour_id }}",
3      hotspot_id: response.hotspot_id,
4  });

```

Quellcode 4.3: Auslösen eines Emits

Es sei darauf hingewiesen, dass es ebenfalls möglich gewesen wäre, den Emit direkt innerhalb der Flask-Route auszulösen und die Änderungen bei allen Clients, einschließlich desjenigen, der die Änderung initiiert hat, durch den Empfang des Emits zu realisieren. Diese Vorgehensweise führte jedoch in seltenen Fällen, in denen die Übertragung des Emits nicht erfolgreich war, dazu, dass Änderungen beim Client nicht korrekt dargestellt wurden. Das gewählte Vorgehen ist daher robuster, da 19squared auch bei einem Ausfall der WebSockets weiterhin funktioniert - dann jedoch entsprechend ohne die Echtzeitsynchronisation.

*Resilienz
Maßnahmen*

4.1.1 Online Benutzer*innen

Für eine effektive Zusammenarbeit ist es essenziell, stets über die aktuell in einer Tour befindlichen Benutzer*innen informiert zu sein. Um diese Anforderung zu erfüllen, wurde zunächst eine Funktion zur Anzeige der online befindlichen Benutzer*innen in der Bearbeitungsansicht implementiert (siehe Abbildung 3.6,  Icon neben dem Chat). Diese Funktionalität wurde später mit der Touren-Teilen-Funktion kombiniert und ist nun sowohl innerhalb der Tour als auch in der Tourenübersicht sichtbar (siehe Abbildung 4.1). Im Folgenden wird das Verfahren zur kontinuierlichen Aktualisierung dieser Anzeige erläutert.



Abbildung 4.1: Freigabe-Optionen mit Online-Nutzeranzeige (in der Tourenübersicht)

Beim Öffnen einer Tour wird die betreffende Person nicht nur dem entsprechenden SocketIO-Raum der Tour hinzugefügt, sondern auch in eine Liste der aktuell in der Tour befindlichen Benutzer*innen eingetragen. Öffnet die Person die Bearbeitungsansicht, wird sie der Liste `users` hinzugefügt. Im Falle der Betrachteransicht erfolgt die Eintragung in die Liste `usersView`. Mit `setdefault` wird sichergestellt, dass die Liste zu dem Raum neu erstellt wird, wenn die Person die Erste ist, die dieser Tour beiträgt.

Im Anschluss wird der emit `updateOnlineUsers` zum einen an alle Nutzende verschickt, die sich in der Tour befinden und zum anderen an alle Nutzenden, die sich in der Tourenübersicht befinden und diese Tour angezeigt bekommen. Daraufhin passen alle die diesen Emit erhalten haben entsprechend ihre Anzeige an. Wenn die Listen Nutzende ohne `username` enthalten, werden diese mithilfe der `sid`, die von SocketIO vergeben wird, von einander unterschieden und nur als Gäste gelistet.

Im Quellcode 4.4 ist der Emit beim Anschauen einer Tour dargestellt. Der Emit beim Bearbeiten einer Tour ist analog dazu aufgebaut und die in Quellcode 4.1 gezeigte Funktion `on_joinCreateTour` wurde entsprechend erweitert.

```

1  @socketio.on('joinViewTour')
2  def on_joinViewTour(data):
3      join_room("view-" + data['tour_id'])
4      users.setdefault(data['tour_id'], [])
5      usersView.setdefault(data['tour_id'], []).append({
6          'username': data['username'], 'sid': request.sid})
7      emit('updateOnlineUsers', {'tour_id': data['tour_id'],
8          'users': users[data['tour_id']], 'usersView': usersView[data['tour_id']]},
9          room=data['tour_id'])
10     emit('updateOnlineUsers', {'tour_id': data['tour_id'],
11         'users': users[data['tour_id']], 'usersView': usersView[data['tour_id']]},
12         room="lib-"+data['tour_id'])

```

Quellcode 4.4: Emit beim Öffnen einer Tour-(Betrachtung)

4.2 User-Management mit Flask-Security

Das bestehende Nutzersystem von 19squared ermöglichte es den Nutzenden, sich einzuloggen, um ihre eigenen Touren zu bearbeiten, während öffentlich freigegebene Touren auch ohne Login einsehbar waren. Dieses System wurde mit der Flask-Bibliothek *Flask-Login* [20] realisiert, welche jedoch kein komplexeres Nutzermanagementsystem integrierte. Da Flask-Security [18] Flask-Login integriert hat, waren nur wenige Anpassungen notwendig, um auf Flask-Security umzustellen.

Wie zuvor wird eine Flask-Route mit `@login_required` dekoriert, um sicherzustellen, dass nur eingeloggte Nutzende Zugriff auf die Route haben. Flask-Security erweitert dies mit `@permissions_required('createtour')` und stellt damit sicher, dass ein User auch die entsprechende Berechtigung hat, in diesem Fall das Erstellen einer Tour.

*Rechte-
Check im
Front und
Backend*

```
1 @home_bp.route('/new_tour', methods=['GET'], endpoint='create_tour')
2 @login_required
3 @permissions_required('create_tour')
4 def create_tour():
5     ...
```

Quellcode 4.5: Flask-Route mit `@permissions_required('createtour')`

Ob einem Nutzendem die Schaltfläche zum Erstellen einer Tour überhaupt angezeigt wird, kann durch eine einfache Abfrage beim Rendern des Webseiten-Templates sichergestellt werden (siehe Quellecode 4.6). 19squared verwendet in Verbindung mit Flask die Jinja2-Template-Engine [21], die es ermöglicht, Variablen und Ausdrücke von Flask als Python ähnlichen Code in HTML-Dateien zu integrieren.

```
1 {% if current_user.has_permission('create_tour') %}
```

Quellcode 4.6: Jinja2 Template mit `has_permission()`

Wie in Kapitel 3.2 erläutert, soll ein flexibles Rechte- und Rollensystem implementiert werden. Nutzende sollen primär nicht einzelne Rechte zugewiesen bekommen, sondern Rollen, die verschiedene Rechte bündeln. Exemplarisch wurde dies in Abbildung 3.2 mit den Rollen *admin*, *manager* und *user* dargestellt. Hierfür wurden die Tabellen *role* und *roles_users* in der Datenbank hinzugefügt (siehe Abbildung 4.2). Die Tabelle *role* listet die Rollen mit den ihnen zugeordneten Berechtigungen, während *roles_users* die Zuordnung von Nutzenden zu den Rollen verwaltet. Es ist dabei explizit erlaubt, dass Nutzende mehrere Rollen haben können.

*Datenbank-
Tabellen*

Die Tabellen, die für die Verwaltung von Gruppen notwendig sind, folgen einem ähnlichen Prinzip. Die Tabelle *group* enthält neben dem Namen und dem/der Ersteller*in auch die Rolle(n), die Nutzerende automatisch erhalten, wenn sie einer Gruppe beitreten. Die Tabelle *group_users* verwaltet die Zuordnung von Nutzenden zu Gruppen. Gruppenersteller*innen können andere Personen per E-Mail einladen oder einen *invite_token* mit ihnen teilen. Wenn eine Person diese Einladung annimmt, wird dessen ID hinzugefügt.

4.3. User-Interface

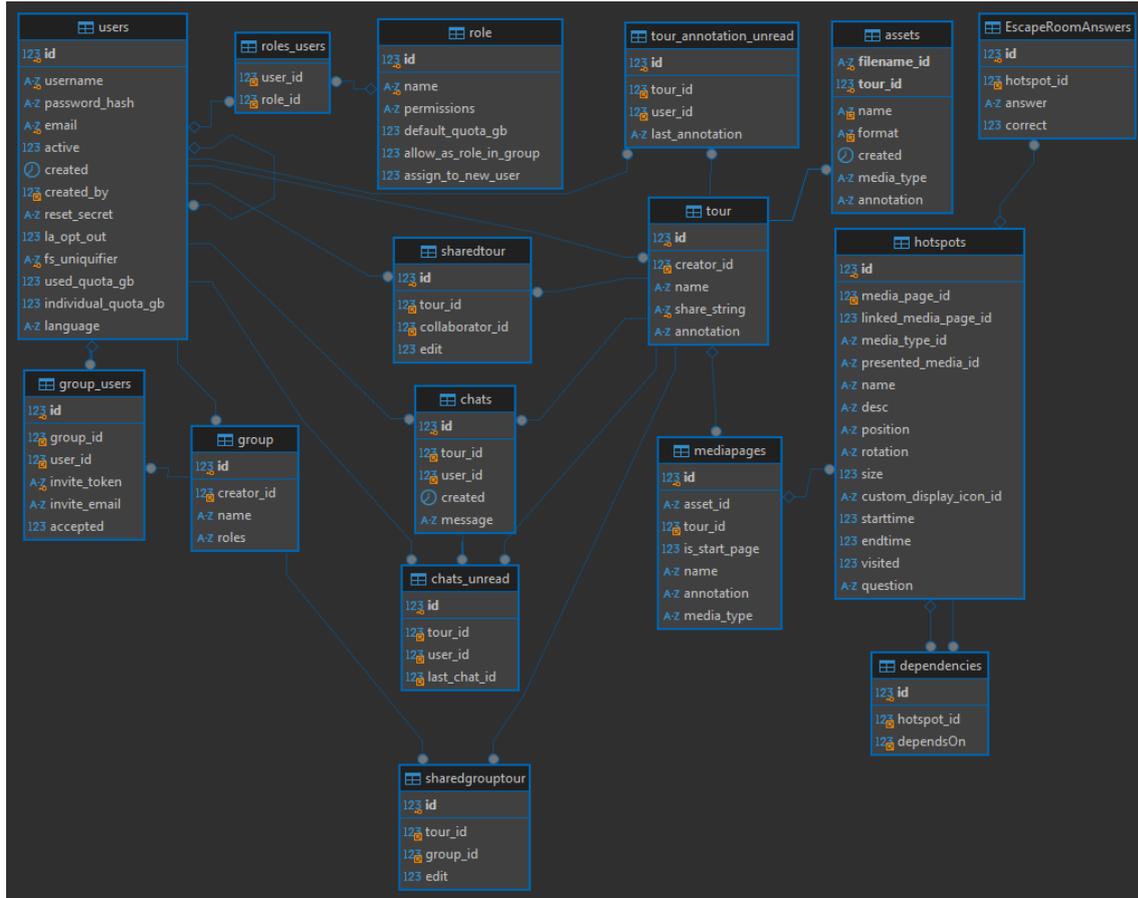


Abbildung 4.2: Datenbank-Tabellen

Um das Teilen einer Tour nun auch mit einer Gruppe zu ermöglichen, wurde die Tabelle *sharedtour* als *sharedgrouptour* dupliziert und gibt an, welche Tour mit welchem Nutzenden bzw. jetzt mit welcher Gruppe geteilt wurde und ob ein Bearbeitungsrecht besteht.

4.3 User-Interface

Paket-
manager

Als erster Schritt wurden alte Bibliotheken aktualisiert und um diese langfristig aktuell zu halten, wurde *npm* als JavaScript-Paketmanager [22] eingeführt. Dieser stellt sicher, dass alle beim Client ausgeführten Bibliotheken aktuell gehalten werden. Serverseitig verwendete Pakete werden durch *pip* als Python-Paketmanager [23] aktuell gehalten. Auf die Serverseitige Komponente wird in der Arbeit [Lar25] eingegangen.

4.3.1 Nutzbarkeit auf mobilen Geräten

A-Frame [24], das zur Darstellung der 360°-Touren verwendet wird, unterstützt auf mobilen Geräten neben der Nutzung des Gyroskops auch die Steuerung per Touch-Gesten. Allerdings ist im Gegensatz zur Maussteuerung nur eine horizontale Rotation möglich, da primär der Gyroskop-Sensor als Bewegungselement vorgesehen ist. Diese Einschränkung erschwerte jedoch das Hinzufügen von Hotspots. Daher wurden die *look-controls* angepasst, um auch auf mobilen Geräten eine vertikale Rotation zu ermöglichen.

*Touch
Optimierung*

Die Anwendung wurde zudem als *Progressive Web App* (PWA) deklariert. Dies wurde durch das Hinzufügen eines *Manifests* erreicht, welches eine JSON-Datei ist, die den Browsern mitteilt, wie sie sich verhalten sollen. PWAs sind Webanwendungen, die sich wie native Apps verhalten. Sie können als Verknüpfung auf Home-Screens oder Desktops hinzugefügt werden und öffnen sich dann als Vollbild-Anwendung ohne Browser-UI. Neben dem App-ähnlichen Design bieten PWAs auch die Möglichkeit, zukünftig Push-Benachrichtigungen und Offline-Funktionalitäten zu realisieren.

*Progressive
Web App*

4.3.2 Bootstrap

Ein zentrales Element bei der Anpassung der Benutzeroberfläche war die konsequentere Integration von Bootstrap 5 [19]. Durch das Hinzufügen vordefinierter Klassen zu HTML-Elementen konnte schnell ein modernes und ansprechendes Design realisiert werden. Dies wurde bei allen Schaltflächen, Textfeldern und weiteren Komponenten angewendet. Einfache Browser-Dialoge wie `alerts()`, `prompts()` und `confirms()` wurden durch Bootstrap `modals` ersetzt, um eine einheitlichere und benutzerfreundlichere Interaktion zu gewährleisten.

*Bootstrap-
Integration*

Darüber hinaus wurden die Bootstrap-Icons, die als eigenständiges Paket integriert wurden, verwendet, um eine konsistente und zum Bootstrap-Design passende Symbolsprache zu etablieren. Diese Icons zeigen nun mittels Bootstrap-Tooltip beim Überfahren mit der Maus eine kurze Erklärung ihrer Funktion an. Der neu hinzugefügte Touren-Chat und die Touren-Notizen werden durch `popover` realisiert, die im Vergleich zu einfachen `modals` einen fließendren Übergang ermöglichen.

Dank der Unterstützung von *responsivem Design* durch Bootstrap war es möglich, die Bearbeitungsansicht zu optimieren. Auf schmaleren Bildschirmen werden die Icons nun nicht mehr starr nebeneinander angezeigt, sondern mithilfe der Bootstrap-Flex-Klassen flexibel an das jeweilige Bildschirmformat angepasst. Zusätzlich wurde der Footer *responsiv* gestaltet und die Startseite überarbeitet, um eine verbesserte Benutzererfahrung zu bieten (vergleiche Abbildung 1.1 und 3.6)

*responsive
Design*

Die Erstellung und Bearbeitung von Touren ist nun auch auf mobilen Endgeräten möglich, da die Benutzeroberfläche auf Touch-Geräte optimiert wurde. Dabei liegt der Fokus primär auf Tablets, da die Darstellung auf Smartphones aufgrund des kleineren Bildschirms herausfordernd ist. Dennoch wurde die Benutzeroberfläche so angepasst, dass auch auf Smartphones eine Nutzung möglich ist.

Alle anderen bestehenden und neu hinzugekommenen Seiten wurden ebenfalls überarbeitet. Exemplarisch sei in Abbildung 4.3 das neu integrierte Profil eines Nutzerkontos in der Desktop- und mobilen Ansicht gezeigt.

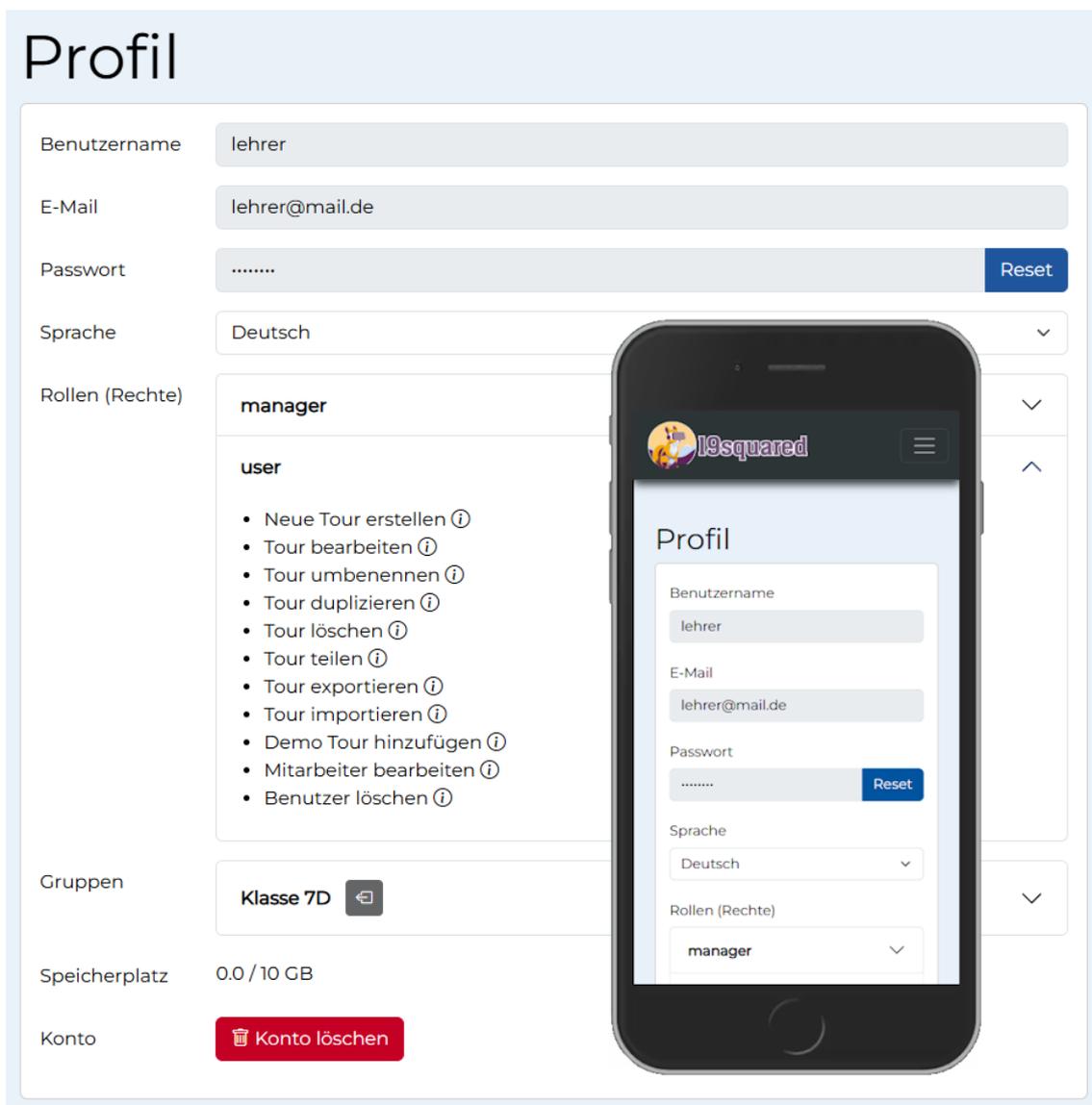


Abbildung 4.3: Profil eines Users in der Desktop und mobilen Ansicht

Bootstrap-Klassen

Der Quellcode 4.7 zeigt den Ausschnitt, der die Möglichkeit zum Zurücksetzen des Passworts erzeugt. An diesem Beispiel lässt sich gut erklären, wie Bootstrap-Klassen genutzt werden. Es handelt sich um eine Zeile (*row*), die eine Formular-Gruppe (*form-group*) enthält. Innerhalb dieser *form-group* befindet sich eine Beschriftung (*col-form-label*), die durch *col-sm-2* zwei Teile der Breite einnimmt.

Das *div*-Element, welches eine Eingaben-Gruppe (*input-group*) enthält, nimmt durch *col-sm-10* zehn Teile der Breite ein. Insgesamt sind es nach Definition von Bootstrap 12 Teile.² In der *input-group* befindet sich ein Eingabefeld (*input*) und eine Schaltfläche (*button*). Das Eingabefeld ist nur symbolisch mit `*****` gefüllt und kann nicht bearbeitet werden. Der Knopf erhält seine Gestalt durch *btn* und seine Farbe durch *btn-primary*.

² Die Zahl 12 wurde von Bootstrap bewusst gewählt, da sie eine flexible Breitenaufteilung ermöglicht. Denn bis zur Zahl 60 gibt es keine Zahl, die mehr Teiler hat als die Zahl 12.

Erwähnenswert ist außerdem die Klasse `mb-3` in der ersten Codezeile, die zu den Bootstrap-Spacing-Klassen gehört. Das `m` steht für Margin, den äußeren Abstand und das `b` für Bottom. Die Zahl 3 gibt an, dass der Abstand nach unten 3 Einheiten beträgt. Ebenso existiert die Klasse für Padding `p`, welche den inneren Abstand definiert. Neben `b` gibt es auch `t` (top) für oben, `s` (start) für links und `e` (end) für rechts.³ So lassen sich schnell einheitliche Abstände realisieren, welche nach den Gestaltgesetzen essenziell für eine gutes Design sind.

```

1  <div class="form-group row mb-3">
2  <label class="col-sm-2 col-form-label">{{ _("Password") }}</label>
3  <div class="col-sm-10">
4    <div class="input-group">
5      <input
6        type="password"
7        class="form-control"
8        value="*****"
9        readonly
10     />
11     <button
12       type="button"
13       class="btn btn-primary ResetBtn"
14       id="resetPW"
15     >
16       {{ _("Reset") }}
17     </button>
18   </div>
19 </div>
20 </div>

```

Quellcode 4.7: Bootstrap Beispiel anhand der Passwort-Einstellung im Profil

Alle Stilvorgaben wurden folglich durch vordefinierte Bootstrap-Klassen umgesetzt. In Abbildung 4.3 wird zudem ersichtlich, dass diese Klassen auch ein responsives Design ohne zusätzlichen Aufwand ermöglichen. Einige Klassen, wie beispielsweise `primary`, bzw. die in der SCSS-Datei definierte `$primary`-Farbe, sind darauf ausgelegt, angepasst zu werden. In diesem Fall wurden die Farben an die Farbpalette der RWTH Aachen angepasst. Eine SCSS- bzw. SASS-Datei (Syntactically Awesome Stylesheets) bietet im Vergleich zu herkömmlichen Cascading Style Sheets (CSS) unter anderem den Vorteil von Variablen, die in CSS nicht vorhanden sind. Allerdings müssen SCSS/SASS-Dateien vor der Verwendung in CSS-Dateien kompiliert werden.

SCSS/SASS

4.3.3 DataTables

Um das Benutzer- und Gruppen-Management übersichtlich zu gestalten, wurden sortierbare und filterbare Tabellen integriert. Hierfür kam die weit verbreitete JavaScript-Bibliothek *DataTables* [25] zum Einsatz. DataTables ist eine Open-Source-Bibliothek, die es ermöglicht, Tabellen dynamisch zu gestalten und zu verwalten. Eine Erweiterung, die die Bearbeitung von Tabellen ermöglicht [26], wird allerdings kostenpflichtig vertrieben. Stattdessen wurden die notwendigen Funktionen selbst implementiert.

dynamische
Tabelle

³ In Bootstrap 5 wird, anders als noch in Bootstrap 4, nicht mehr `l` und `r` für left und right verwendet, da in manchen Sprachen und damit auf manchen Webseiten von rechts nach links gelesen wird und dies somit spiegelverkehrt wäre.

*Mehrfach-
Auswahl*

Im Benutzer-Management werden zur Rollen- und Gruppenverwaltung Mehrfach-Auswahl-Komponenten eingesetzt, die durch die Bibliothek *bootstrap5-tags* [27] realisiert wurden (siehe Abb. 3.3).

*sortieren,
paginieren,
durchsuchen,
exportieren*

DataTables generiert beim Seitenaufruf aus einer normal durch HTML-Tags definierten Tabelle eine dynamische Version und ersetzt die ursprüngliche Tabelle durch diese. Die Bibliothek bietet umfangreiche Konfigurations- und Erweiterungsmöglichkeiten. Neben der Möglichkeit, Tabellen zu sortieren, zu paginieren und zu durchsuchen, bietet die Bibliothek auch Export-Funktionen für den Druck, PDF- oder XLSX-Dateien. Im Gruppenmanagement wurde die Exportfunktion so angepasst, dass eine Druckvariante erstellt werden kann, in der QR-Codes mit abgebildet werden. Die QR-Codes werden in der DataTable durch klicken oder überfahren mit der Maus über die entsprechende Zelle angezeigt und wurden ebenfalls durch eine Open-Source-Bibliothek realisiert [28].

Benutzerkonto erstellen und einladen

Durch die Anpassung, Registrierungen auf 19squared auch ohne Angabe einer E-Mail-Adresse zu ermöglichen, wurde die Integration einer automatischen Konten-Erstellung im Gruppen-Management vereinfacht.

Bei der automatischen Generierung von Benutzernamen wird an den Gruppennamen eine aufsteigende Nummer angehängt, wobei überprüft wird, ob der Benutzername bereits vergeben ist.

Zusätzlich wird beim Erstellen der Gruppenmitglieder geprüft, ob der Benutzername bereits existiert und gegebenenfalls eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Wird eine Einladung per Benutzernamen verschickt, erfolgt eine Überprüfung, ob der Benutzername existiert und ob dieser bereits Mitglied der Gruppe ist.

Bei der Einladung per E-Mail wird kontrolliert, ob die E-Mail-Adresse bereits in der Datenbank existiert und ob der/die Benutzer*in bereits Mitglied der Gruppe ist. Sollte diese*r Benutzer*in noch nicht in der Gruppe sein, wird neben der Zustellung der E-Mail der Benutzername automatisch referenziert und er oder sie erhält auch eine Einladung direkt in der Tourenübersicht.

Alle diese Überprüfungen erfolgen serverseitig durch Flask-Routen, da zum einen alle Nutzernamen selbstverständlich nur serverseitig vorliegen und zum anderen, um Manipulationen durch den Client zu verhindern.

4.3.4 Übersetzung der Anwendung

Die Übersetzung einer Anwendung erfolgt natürlich nicht durch eine bloße Duplikation und den einfachen Austausch sämtlicher Wörter. Dies würde zu zwei getrennten Versionen der Anwendung führen und die zukünftige Weiterentwicklung signifikant erschweren. Statt separate Versionen der Anwendung zu erstellen, werden alle Texte in der bestehenden Anwendung durch Variablen ersetzt. Diese Variablen werden in einer zentralen Datei gespeichert, die anschließend für jede gewünschte Sprache dupliziert und mit den entsprechenden Übersetzungen versehen wird.

Zur Umsetzung dieser Funktionalität kam das Flask-Plugin *Flask-Babel* [29] zum Einsatz. Jeder anzuzeigende Text wird dabei mithilfe der Funktion `gettext()` oder deren Kurzform `_()` umrahmt. Da die meisten Texte direkt im HTML-Code eingebettet sind, erfolgt die Einbettung zusätzlich über den Jinja2 `{{ }}`-Tag.

Flask-Babel

```
1 <a href="/view/demo" class="btn btn-primary">{{ _("View Demo Tour") }}</a>
```

Quellcode 4.8: Flask-Babel Beispiel in HTML

Um die Übersetzungen anzufertigen, wird zunächst mit einem Befehl eine *messages.pot*-Datei erstellt, die alle zu übersetzenden Texte enthält. Anschließend wird mit dem Befehl `pybabel init -i messages.pot -d translations -l de` eine Übersetzungsdatei (*messages.po*) für die deutsche Sprache generiert. Diese Datei wird dann mit den entsprechenden Übersetzungen gefüllt. Schließlich wird die Datei mit einem weiteren Befehl in eine *messages.mo*-Datei kompiliert, welche beim Aufrufen der Seite verwendet wird, um die entsprechende Übersetzung zu laden.

Beim Aufruf der Webseite wird die Sprache automatisch ausgewählt. Ist der Nutzer eingeloggt, erfolgt die Auswahl basierend auf der im Benutzerkonto hinterlegten Sprache. Andernfalls wird die in einem Cookie gespeicherte Sprache verwendet. Existiert kein entsprechendes Cookie, wird die Spracheinstellung des Browsers berücksichtigt. Sind mehrere Sprachen im Browser hinterlegt, erfolgt die Auswahl gemäß der festgelegten Reihenfolge. Falls keine Übereinstimmung gefunden wird, wird die Sprache verwendet, die bei der Anwendungsinstanz als primär hinterlegt wurde. Benutzer*innen können die Sprache jederzeit im Profil oder über einen Link im Footer der Seite ändern.

*automatische
Sprachen-
wahl*

```
1 def get_locale():
2     if current_user.is_authenticated:
3         return current_user.language
4     cookie_language = request.cookies.get('language')
5     if cookie_language:
6         return cookie_language
7     else:
8         return request.accept_languages.best_match(app.config["LANGUAGES"])
```

Quellcode 4.9: Automatische Sprachenwahl beim Laden der Seite

4.3.5 Erweiterung der Entwicklungsumgebung

Um den Übersetzungsprozess bei der zukünftigen Weiterentwicklung zu vereinfachen, wurden zwei zusätzliche Task-Skripte für VisualStudio (VS) [38], der verwendeten Entwicklungsumgebung, erstellt. Diese Skripte aktualisieren die zu übersetzenden Variablen und kompilieren anschließend die Übersetzungen. Darüber hinaus wurde die Entwicklungsumgebung so angepasst, dass dieser Vorgang ohne Neustart des Servers möglich ist.

VS-Tasks

```
1  {
2    "label": "Babel Update",
3    "type": "shell",
4    "command": "cd ./src/app;
5                pybabel extract -F babel.cfg -o messages.pot . ;
6                pybabel update -i messages.pot -d translations;";
7    ...
8  },
9  {
10   "label": "Babel Compile Translations",
11   "type": "shell",
12   "command": "cd ./src/app;
13              pybabel compile -d translations";
14   ...
15 }
```

Quellcode 4.10: VS-Tasks zum aktualisieren der Übersetzungen

prettier und
autopep8

Zudem wurde die VS-Task zur Code-Formatierung angepasst. Mit diesem Task werden automatisch die Tools *prettier* [30], welches HTML-, CSS- und JavaScript-Dateien formatiert, sowie *autopep8* [31], das Python-Dateien formatiert, ausgeführt. Dies trägt zu einer besseren Lesbarkeit des Codes bei und reduziert insbesondere Merge-Konflikte. *Prettier* wurde mit einem Plugin erweitert, das eine verbesserte Formatierung von HTML-Dateien ermöglicht, in denen Jinja-Templates verwendet werden.

Kapitel 5 Evaluation

Im Rahmen dieser Arbeit wurden im Wesentlichen die drei Bereiche Synchronisation, Benutzerverwaltung und Benutzeroberfläche implementiert. Die korrekte Funktionalität aller neuen Funktionen wurde zunächst lokal und anschließend auf einer Testinstanz überprüft, die dieselbe Konfiguration wie das Produktivsystem auf 19squared.de aufweist. Darüber hinaus wurde die Git-Pipeline erweitert, sodass bei jedem neuen Commit automatisch überprüft wird, ob alle primären Funktionen von 19squared weiterhin einwandfrei funktionieren. Dies schließt nun auch alle Funktionen der Benutzer-, Gruppen-, Rollen- und Rechte-Verwaltung sowie das Teilen von Touren ein.

Pre-Evaluation: Aachener Didaktiktag 2024

19squared wurde im Rahmen des Workshops „Kollaborative Lernspiele“ auf dem Aachener-Didaktiktag 2024 [32] vorgestellt. Der Workshop richtete sich an Lehrkräfte und Lehramtsstudierende. Die Teilnehmer*innen hatten die Möglichkeit, 19squared selbst auf bereitgestellten Laptops oder eigenen Geräten auszuprobieren und Feedback zu geben.

*erstes
Feedback*

Nach einer 30-minütigen freien Testphase gab es Feedback in offener Runde. Insgesamt wurde das Konzept der Anwendung positiv aufgenommen und die vielen und flexiblen Einsatzmöglichkeiten gelobt.

Folgende Verbesserungsvorschläge wurden geäußert:

Um die Anwendung noch niederschwelliger zu gestalten, sollte eine Registrierung ohne E-Mail-Adresse möglich sein.

ohne Email

Auch wurde angeregt, die sich aktuell online befindlichen Benutzer*innen anzuzeigen, um die Kollaboration zu verbessern. Die Umsetzung dieser Synchronisation wurde in dem Kapitel *Synchronisation mit socketIO* beschrieben (siehe 4.1.1).

online user

Zudem äußerten die Teilnehmer*innen den Wunsch nach Fortbildungsangeboten, in denen die Software vorgestellt wird und Technik, besonders 360°-Kameras, zur Verfügung gestellt werden. Dies würde den Einstieg in die Nutzung der Anwendung erleichtern.

Workshops

Die meisten der angeregten Verbesserungsvorschläge wurden bereits umgesetzt oder sind in Planung.

Evaluation

primär Evaluation der Usability

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit war die Implementierung neuer sowie die Verbesserung bestehender Funktionen der Benutzeroberfläche. In Kapitel 3.3 wurde detailliert erläutert, welche Verbesserungen vorgenommen wurden und aus welchen Gründen diese notwendig waren. Da die Wahrnehmung von Benutzeroberflächen jedoch stark subjektiv ist und damit variieren kann, ist es von großer Bedeutung, die Benutzeroberfläche von Personen testen zu lassen, die nicht an der Entwicklung beteiligt waren.

gemeinsame Evaluation

Da die Weiterentwicklung von 19squared in verschiedenen Bereichen parallel erfolgte, überschneiden sich die Evaluationsaspekte teilweise. Die Arbeit „*A Scalable Infrastructure for Interactive 360° XR-Tours with Integrated User Management and Learning Analytics*“ [Lar25] fokussiert sich primär auf die Optimierung der Infrastruktur sowie die Integration von Learning Analytics. Darüber hinaus wurden unter anderem Speicherplatzkontingente implementiert, die es ermöglichen, Nutzenden einzeln verfügbaren Speicherplatz für das Erstellen von Touren zuzuweisen. Diese und weitere Funktionen stehen in direktem Zusammenhang zu dem in dieser Arbeit entwickelten User-Management und sollen daher gemeinsam evaluiert werden. Das Evaluationskonzept wurde in Zusammenarbeit erarbeitet und gemeinsam durchgeführt.

5.1 Methoden

Evaluation Gesamt- produkt

Es ist hervorzuheben, dass die Evaluation primär auf die Funktionen und die Benutzerfreundlichkeit der neu integrierten Features abzielt. Dennoch werden diese Funktionen im Gesamtkontext der Anwendung betrachtet, sodass die Evaluation auch als eine Bewertung des aktuellen Gesamtprodukts verstanden werden kann. Die im Folgenden vorgestellte Methode der *System Usability Scale* dient somit der Bewertung des Gesamtprodukts.

5.1.1 System Usability Scale

System Usability Scale

Eine etablierte Methode zur Evaluation von Benutzeroberflächen ist die Durchführung von Usability-Tests. Dabei werden die Proband*innen aufgefordert, spezifische Aufgaben innerhalb der Anwendung zu erledigen. Im Anschluss daran wird die System Usability Scale (SUS) [Bro96] angewendet, um die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung zu bewerten. Hierzu wird ein Fragebogen mit zehn standardisierten Fragen verwendet, die von den Proband*innen auf einer Likert-Skala von 0 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 (trifft voll und ganz zu) beantwortet werden. Jede zweite Frage ist dabei bewusst negiert formuliert, um die Aufmerksamkeit der Teilnehmenden zu gewährleisten. Nach Abschluss der Versuchsdurchläufe werden zunächst die negierten Fragen umgepolt, der Durchschnitt aller 10 Fragen summiert und mit 2,5 multipliziert. Dies ergibt einen Gesamtwert, den sogenannten SUS-Score. Dieser gibt prozentual an, wie nutzbar ein System ist. Ab 70% befindet sich die Bewertung in einem akzeptablen Bereich. Dem SUS-Score kann auch eine adjektive Beschreibung zugeordnet werden, siehe Abbildung 5.1.

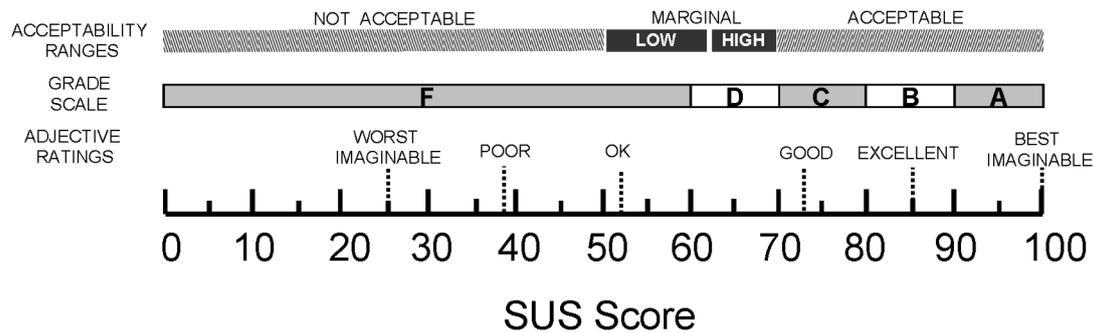


Abbildung 5.1: Adjektive Beschreibung des SUS-Scores [APJ09]

5.1.2 Bewertung und Befragung

Neben den gesamtheitlichen SUS-Befragungen sollen die Proband*innen auch nach jedem Versuchsabschnitt spezifische Fragen zu den neuen Features der Benutzeroberfläche beantworten. Zusätzlich wurden die Proband*innen aufgefordert, Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten und Wünsche zu äußern, um die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung weiter zu optimieren. Anhand dieser Feedbacks und den direkten Beobachtungen, wie Nutzende auf bestimmte Funktionen reagieren, sollen in der Auswertung mögliche Verbesserungskonzepte abgeleitet werden.

*Reaktion
auf neue
Features*

5.2 Durchführung

Die Evaluation wurde auf den eigenen Geräten der Proband*innen durchgeführt. Dies gewährleistet eine realitätsnahe Bewertung der Anwendung unter Bedingungen, die denen der späteren Nutzung entsprechen. Zur Dokumentation wurden sowohl der Bildschirm als auch die verbale Kommunikation zwischen den Proband*innen und dem Versuchsleiter aufgezeichnet. Nach der Zustimmung zur Aufzeichnung wurden die Proband*innen aufgefordert, die 360°-Testaufnahmen zunächst auf ihr Gerät herunterzuladen und das Handout zu öffnen, welches die zu bearbeitenden Aufgaben listet. Das Handout ist im Appendix C.3.1 zu finden, die Testdaten sowie die Versuchsaufzeichnungen sind ebenfalls im Anhang C.3 verlinkt.

*realitäts-
nahes
Beispiels-
szenario*

Aufzeichnung

Es ist anzumerken, dass im Rahmen der Evaluation nicht durchgängig identische Versionen von 19squared verwendet wurden. Stattdessen wurde nach Möglichkeit auf Versionen zurückgegriffen, bei denen in vorherigen Evaluationen identifizierte Fehler bereits behoben wurden. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da der Erkenntnisgewinn aus der Überprüfung der Wirksamkeit der Fehlerbehebungen als bedeutsamer eingeschätzt wurde, als die Schaffung einer absolut identischen Evaluationsgrundlage. Insgesamt nahmen acht Personen an der Evaluation teil. Davon waren bewusst fünf Personen aus dem Bildungssektor, da diese die primäre Zielgruppe der Anwendung darstellen.

*primär
Zielgruppe*

5.2.1 Versuchs-Ablauf

Nach einer kurzen verbalen Einführung in die Anwendung wurden die Proband*innen gebeten, die Aufgaben möglichst selbstständig zu lösen und dabei laut zu denken, um ihre Gedankengänge nachvollziehbar zu machen. Es war ihnen jederzeit gestattet, Fragen zu stellen. Der Arbeitsauftrag war in drei Abschnitte unterteilt:

Aufgabenabschnitt 1

*Anwendung
kennenlernen*

Im ersten Abschnitt sollten die Proband*innen sich zunächst die Demo-Tour anschauen. Anschließend wurden sie aufgefordert, einen Account zu erstellen und sich anhand der Demo-Tour mit den grundlegenden Funktionen der Anwendung vertraut zu machen.

Aufgabenabschnitt 2

*Tour
kollaborativ
erstellen*

Im zweiten Abschnitt wurde den Proband*innen das Versuchs-Szenario vorgestellt, in dem sie als Lehrkräfte die Software nutzen möchten, um gemeinsam mit ihren Schüler*innen eine Tour zum Thema „Verkehrsschilder“ zu erstellen. Dazu sollten sie ihre Schüler*innen in eine Gruppe einladen, eine Tour erstellen und diese für die Gruppe freigeben. Für die Tests standen 360°-Testaufnahmen zur Verfügung, die zuvor auf dem Verkehrsübungsplatz der Verkehrswacht Aachen e.V. [33] erstellt wurden. Die Lehrkräfte sollten die Testdaten hochladen, die Szenen erstellen und diese durch den Bewegen-Hotspot verknüpfen. Anschließend sollten sie einen Arbeitsauftrag für die Schüler*innen in den Notizen festhalten. Ein Schüler (dargestellt durch den Versuchsleiter) meldete sich via integriertem Chat und bat um Hilfe beim Erstellen eines Text-Hotspots. Dabei wurden alle essenziellen Features der Live-Synchronisation getestet.

Aufgabenabschnitt 3

*User-
Management*

Im dritten Abschnitt sollten die Proband*innen als Administratoren verschiedene Aufgaben im User-Management durchführen. Dazu gehörten das Hinzufügen und Entfernen von Rollen, Gruppen, Quotas und Berechtigungen.

Nach jedem Abschnitt wurde direkt im Anschluss ein Teil des Evaluationsbogens ausgefüllt. Am Ende der Evaluation wurde eine allgemeine Befragung, die System Usability Scale sowie die Proband*innen-Daten erhoben.

5.3 Auswertung

Es ist zu beachten, dass der Testlauf, wie zuvor beschrieben, nur mit einer begrenzten Anzahl von Proband*innen durchgeführt wurde. Daher soll die folgende Auswertung lediglich einen Eindruck vermitteln und kann erst bei der Befragung einer größeren Testgruppe als repräsentativ angesehen werden.

Im Folgenden wird zunächst die Bewertung des Gesamtprodukts analysiert. Anschließend werden die spezifischen Fragen zu den neuen kollaborativen Funktionen detailliert betrachtet und Schlussfolgerungen gezogen.

5.3.1 Gesamtprodukt

Wie in Abschnitt 5.1 beschrieben, wurde zur Bewertung der Benutzerfreundlichkeit der Anwendung die System Usability Scale (SUS) herangezogen.

System Usability Scale

Die zehn standardisierten Fragen wurden von den Proband*innen auf einer Likert-Skala von 0 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 (trifft voll und ganz zu) beantwortet. Die Ergebnisse der Bewertungen sind in Abbildung 5.2 als Boxplot dargestellt. Die Auswertung ergab einen *SUS-Score* von 82,81%, was adjektiv beschrieben als *gut* eingestuft wird (vergleiche Abbildung 5.1).

SUS-Score
von 82,81%

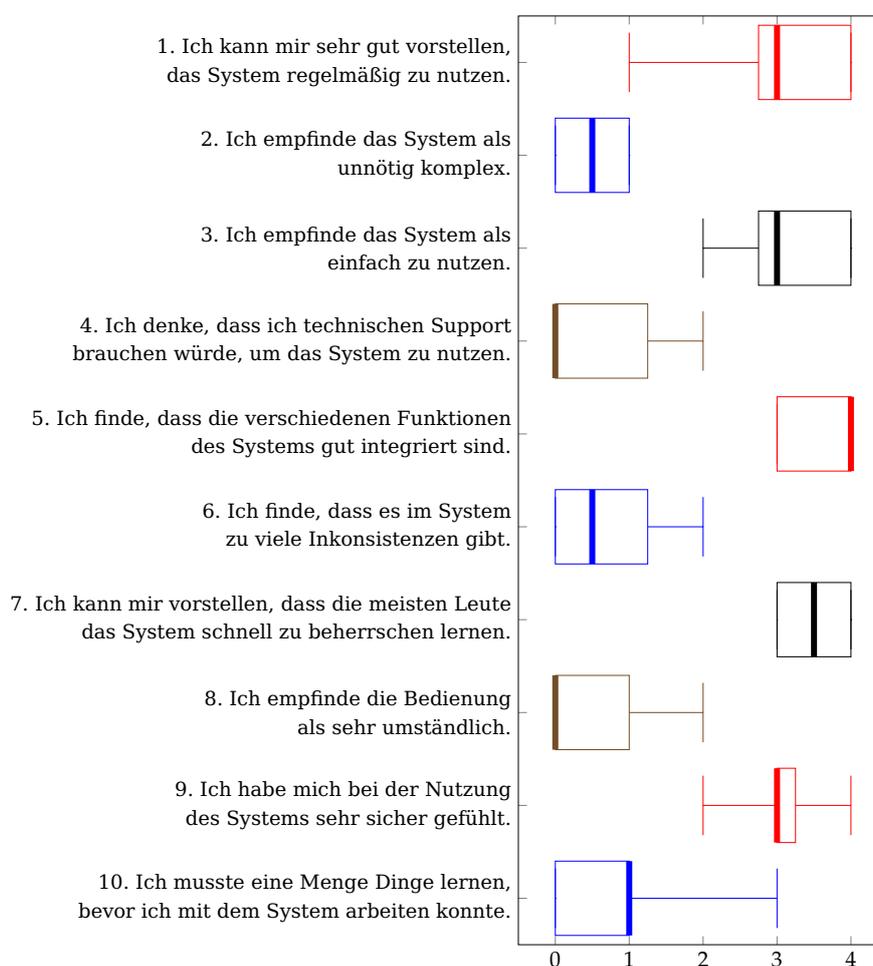


Abbildung 5.2: 10 Fragen des System Usability Scale mit Auswertung der Bewertungen (Minimum, unteres Quartil, Median, oberes Quartil, Maximum)

Die Auswertung der allgemeinen Fragen zur Benutzbarkeit, die am Ende der Evaluation gestellt wurden (siehe unterer Teil von Abbildung 5.4), ergab ein positives Gesamtbild. Die Proband*innen äußerten, dass sie die Idee hinter 19squared nachvollziehen können und die Anwendung als Bereicherung für den Schulunterricht betrachten. Zudem empfanden sie es als einfach, sich einen Anwendungszweck für 19squared vorzustellen.

Aufgabenabschnitt 1

invertierte Blickrichtung Alle Proband*innen konnten die Demo-Tour ohne Schwierigkeiten betrachten. Einige benötigten eine kurze Eingewöhnungszeit, da die Steuerung der Blickrichtung mittels Maus von einigen als invertiert wahrgenommen wurde. Die Einarbeitung in die grundlegenden Funktionen der Anwendung anhand der Demo-Tour wurde von allen Proband*innen als einfach empfunden.

Aufgabenabschnitt 2

fehlende Szenen-übersicht Die Erstellung einer eigenen Gruppe und Tour gelang den meisten Proband*innen ohne größere Schwierigkeiten. Verwirrungen bei der Erstellung von Szenen und Hotspots wurden von den Proband*innen hauptsächlich darauf zurückgeführt, dass sie die Aufnahmen nicht selbst gemacht hatten und sich zunächst mit den Szenenbildern vertraut machen mussten. In diesem Zusammenhang wurde sich ein Grundriss oder eine Minimap gewünscht, um die Orientierung innerhalb der Tour zu erleichtern.

versteckte Freigabe Kleinere Komplikationen traten auch beim Hochladen der Testdaten auf. Hervorzuheben sind Probleme bei der Freigabe von Touren für eine Gruppe. Einige Nutzer empfanden es als verwirrend, dass diese Funktion nicht direkt über die Gruppenverwaltung oder innerhalb der Tour, sondern nur in der Tourenübersicht verfügbar war. Zudem wurde die entsprechende Schaltfläche bei einer Tour häufig übersehen und die Freigabeoptionen waren nicht für alle verständlich.

Aufgabenabschnitt 3

Die Einstellungen beim User-Management wurden von allen als sehr einfach eingestuft. Einzelne Personen hatten leichte Probleme bei den Einstellungen einer neuen Rolle.

weitere Verbesserungsvorschläge

Sprachbarriere, Accounts neu anlegen Es wurde angesprochen, dass die Nutzung der Software in englischer Sprache bei vielen Schüler*innen und einigen Lehrkräften auf Sprachbarrieren stoßen könnte. Außerdem wurde angeregt, ob es nicht möglich wäre, bei der Gruppenfreigabe die Accounts direkt zu erstellen und die Schüler*innen automatisch einzuladen, sodass der Prozess einfacher und im Unterricht schneller zu bewältigen ist. Auch wurde festgestellt, dass gerade die Notwendigkeit einer guten Internetverbindung ein großes Problem in Schulen darstellen könnte.

5.3.2 Maßnahmen zur Verbesserung

Basierend auf dem gesammelten Feedback wurden potenzielle Maßnahmen identifiziert und im Git-Repository als Issues dokumentiert. Diese sollen bei zukünftigen Weiterentwicklungen berücksichtigt werden. Einige dieser Ideen werden im Kapitel *Mögliche Weiterentwicklung* detaillierter vorgestellt. Kleinere während der Evaluation aufgetretene Fehler wurden bereits behoben oder ebenfalls als Issues festgehalten.

kollaborative Funktionen

Im Folgenden werden die Maßnahmen zur Verbesserung der kollaborativen Funktionen beschrieben.

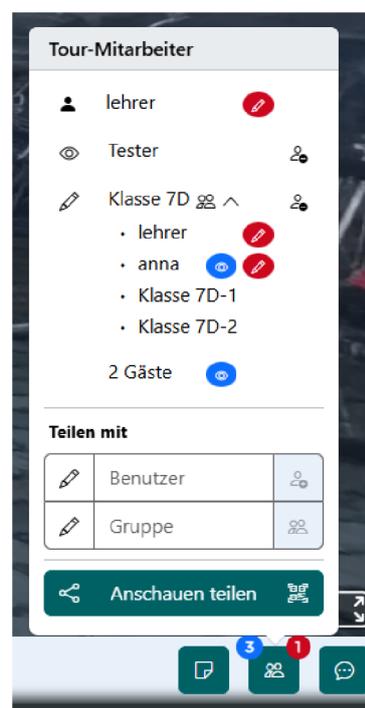
Zwei zentrale Verbesserungen sind die Überarbeitung des Gruppenmanagements sowie die Übersetzung der Anwendung. Um diese Anpassungen sinnvoll in diese Arbeit einzubetten, wurden sie am Ende der Kapitel Konzept (3.3.3) bzw. Implementation (4.3.4) eingefügt und dort umfangreich erläutert. Durch Erstellen neuer Nutzer*innen direkt im Gruppenmanagement und den Export von QR-Codes soll die Integration in den Schulunterricht deutlich vereinfacht werden. Die Übersetzung soll die Software für eine breitere Zielgruppe zugänglich machen und Sprachbarrieren abbauen.

Gruppenverwaltung, Übersetzung

Ein weiterer zentraler Kritikpunkt war die mangelnde Intuitivität beim Teilen von Touren. Der primäre Grund war die nicht ausreichende Sichtbarkeit des Icons  zur Tourenfreigabe. Dieses Problem wurde behoben, indem das Icon durch einen Hintergrund und Rahmen hervorgehoben wurde, wie in Abbildung 3.1 dargestellt. Um die Optionen besser zu erklären, wurden die Tooltips angepasst und die Schaltflächen zum neu hinzufügen deutlicher hervorgehoben. Außerdem wurde das Teilen des Touren-Links bzw. des QR-Codes mit in das Fenster aufgenommen.

Sichtbarkeit der Tourenfreigabe

Zusätzlich wurde die Tourenfreigabe nun auch direkt in der Tour ermöglicht (siehe Abbildung 5.3). Dazu wurde das Fenster, das in der Bearbeitungsansicht die sich online befindlichen Nutzer*innen anzeigte, durch die Freigabeoptionen ersetzt und so angepasst, dass die aktuell online befindlichen Nutzer*innen in derselben Liste kenntlich gemacht werden. Die Anzeige in der Tourenübersicht und in der Tour sind also nun identisch und dadurch ist jetzt auch schon in der Tourenübersicht zu sehen, welche Personen aktuell online sind.



Freigabe direkt in der Tour

Abbildung 5.3: Freigabe-Optionen mit Online-Nutzeranzeige (in der Tour)

In der Tourenübersicht werden nun auch alle Gruppen gelistet.

Da der Menüpunkt zur Gruppenverwaltung für einige Nutzerende nicht sofort ersichtlich war, wurde ein prägnanter Knopf neben dem zum Beitreten einer Gruppe hinzugefügt. Außerdem wird nun im Menü die Unterseite hervorgehoben, auf der man sich aktuell befindet.

Übersicht & Menüführung

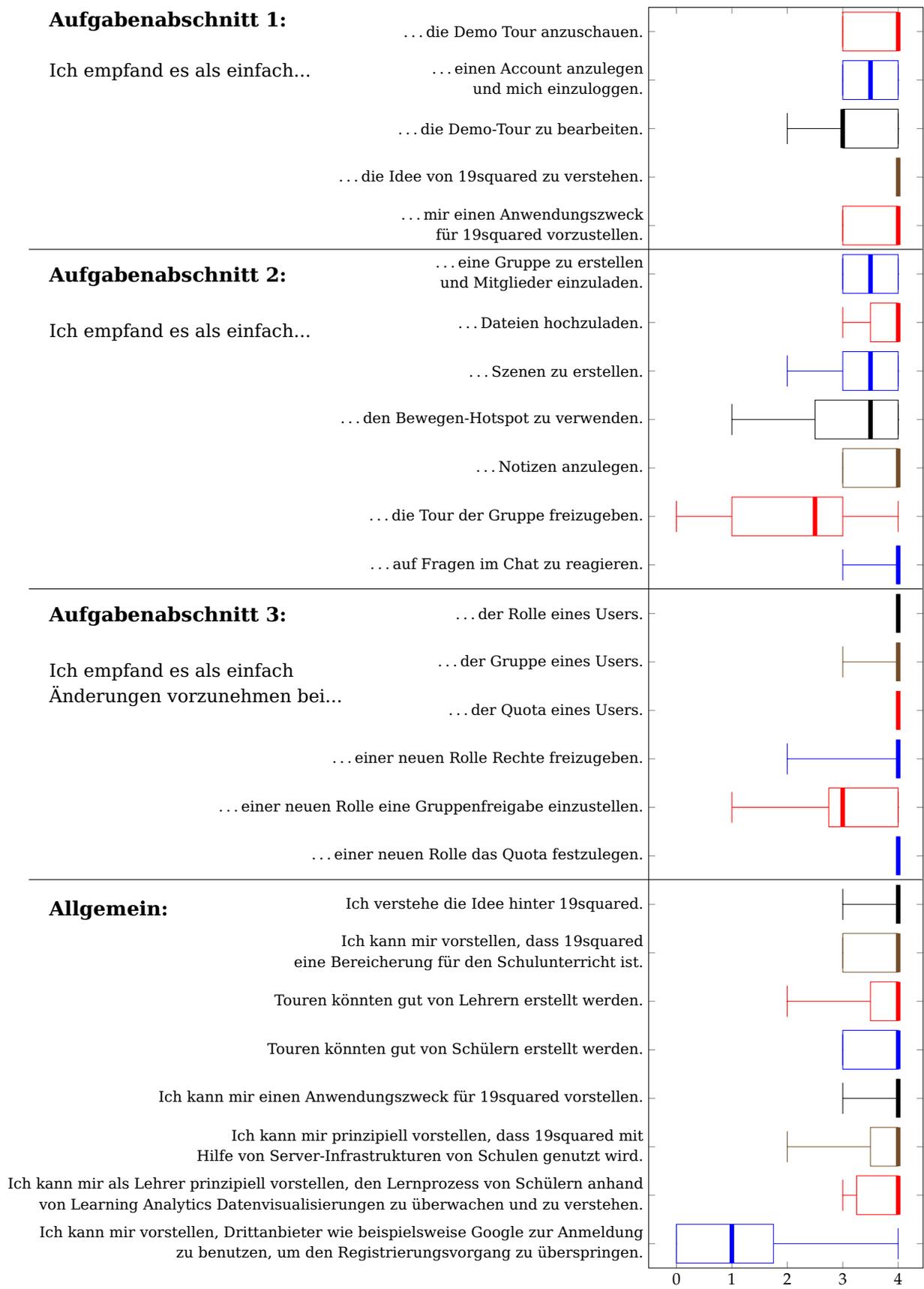


Abbildung 5.4: Auswertung Evaluation, trifft überhaupt nicht zu (0) - trifft voll und ganz zu (4) (Minimum, unteres Quartil, Median, oberes Quartil, Maximum)

Kapitel 6 Diskussion

6.1 Fazit

19squared wurde erfolgreich um kollaborative Funktionen erweitert. Die Synchronisationsmechanik ermöglicht es, dass mehrere Personen gleichzeitig an einer Tour arbeiten können. Das User-Management-System erlaubt es, Nutzende in Gruppen zu organisieren und diesen spezifischen Rechte zuzuweisen. Die Benutzeroberfläche wurde angepasst und erweitert, um eine intuitive und kollaborative Nutzung der Anwendung zu gewährleisten.

*erfolgreiche
Integration*

Die Evaluation hat gezeigt, dass die Integration kollaborativer Funktionen in 19squared positiv aufgenommen wurde. Die Verbesserungsvorschläge in den Bereichen der Benutzeroberfläche wurden ernst genommen und zum größten Teil bereits umgesetzt. Die Nutzer*innen empfanden die Anwendung als intuitiv und einfach zu bedienen. Die Synchronisationsmechanik funktionierte zuverlässig und ermöglichte eine reibungslose Zusammenarbeit. Das Benutzermanagement bzw. die Gruppenverwaltung konnte nachträglich verbessert werden.

*Evaluation
positiv*

6.2 Ausblick

Im Verlauf dieser Arbeit wurde 19squared kontinuierlich weiterentwickelt und erhielt durchweg positive Rückmeldungen sowie Interessensbekundungen. Meiendresch [Lar25] und Köster [Tim25] brachten in ihren Arbeiten das Projekt ebenfalls voran. Weitere Forschungsarbeiten und Entwicklungen an dieser Anwendung sind bereits in Planung.

*Weiterent-
wicklung*

Das MediaLab Lehramt am Lehrerbildungszentrum der RWTH führt seit einiger Zeit Workshops für Lehrkräfte durch, in denen 19squared vorgestellt und dessen Einsatzmöglichkeiten erläutert werden. Zukünftig ist geplant, die Anwendung weiter zu bewerben und Bildungseinrichtungen bei der Erstellung und Nutzung einer eigenen Instanz von 19squared zu unterstützen.

Workshops

Diese Arbeit hat dazu beigetragen, dies zu ermöglichen bzw. zu verbessern. Durch die Integration kollaborativer Funktionen, die Implementierung eines User-Management-Systems und die Anpassung der Benutzeroberfläche ist 19squared einen großen Schritt in Richtung einer breiteren Anwendung und Akzeptanz in Bildungseinrichtungen gegangen.

Akzeptanz

6.3 Anwendungsszenarien

Auch Szenarien außerhalb der Schule

Die Anwendung 19squared bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die über den schulischen Kontext hinausgehen. So sind beispielsweise Anwendungen zur Wohnungsbesichtigung, zur Präsentation von Immobilien oder zur Erstellung von virtuellen Produktpräsentationen denkbar. Der Schwerpunkt dieser Arbeit und auch der Entwicklungsfokus der Anwendung liegt jedoch auf dem schulischen Einsatz. Im Folgenden werden einige Anwendungsszenarien vorgestellt, deren Umsetzung durch die Integration kollaborativer Funktionen in 19squared erleichtert wurde.

6.3.1 Vorbereitung und Übung

Das in der Evaluation verwendete Szenario basierte auf den ersten Überlegungen einer Grundschullehrerin, die sie nach einer kurzen Vorstellung der Software hatte. Sie entwickelte die Idee, selbst eine Tour für ihre Erstklässler*innen zu erstellen. Mit dieser könnte sie gemeinsam mit ihren Schüler*innen den Schulweg und dessen Gefahren im Schulunterricht besprechen und spielerisch üben.

Altersgerechter Einsatz

Das Erstellen einer Tour wäre für Erstklässler*innen jedoch zu komplex, allein das Zusammenfügen der Szenen erfordert ein gewisses Maß an räumlichen Vorstellungsvermögen, das in diesem Alter noch nicht gegeben ist. Dennoch ist das Nutzen der fertigen Tour ein gutes Einsatzszenario.

Wissen festigem

Schüler*innen in höheren Klassenstufen könnten hingegen selbst Touren erstellen. Das in der Evaluation verwendete Szenario basierte auf der Idee, dass Schüler*innen der vierten Klasse im Rahmen des „Fahrradführerscheins“ die Verkehrsschilder lernen müssen. Beim Erstellen einer Tour könnten sie ihr Wissen kollaborativ festigen.

Die Anwendung eignet sich also gut für die Vorbereitung auf neue und Übung bekannter Lebenssituationen.

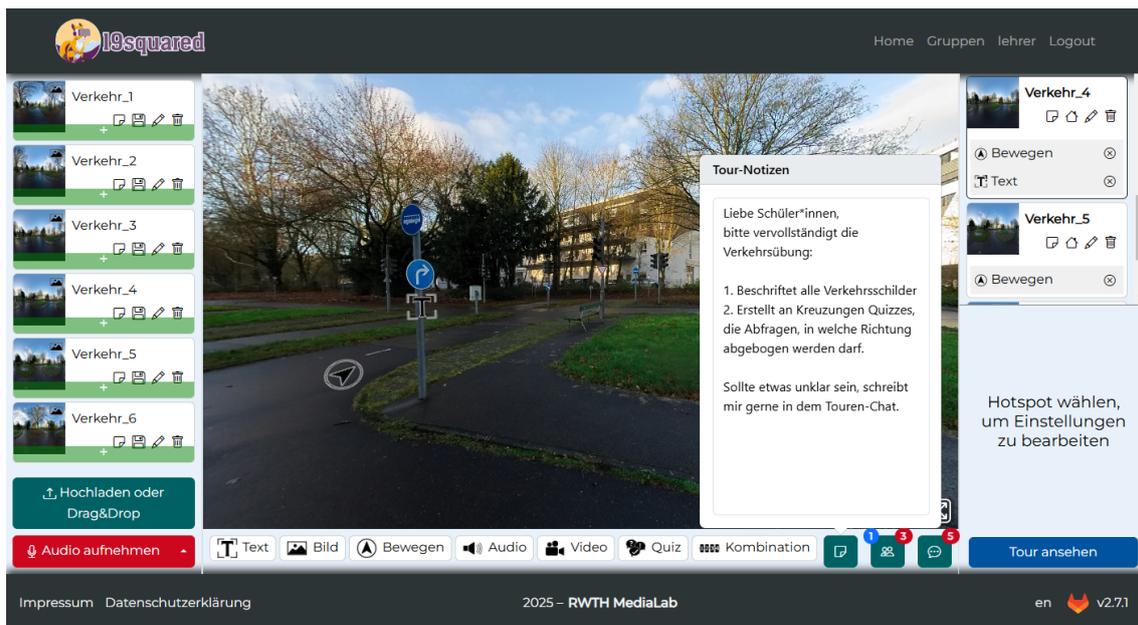


Abbildung 6.1: 19squared mit Arbeitsanweisungen in den Notizen

Ein weiteres Szenario könnte das Vertraut machen mit Laborräumen sein, beispielsweise den Chemie-Räumen einer Schule. Als Teil der Arbeit von Stoerkmann ist bereits eine solche Tour [34] zum Kennenlernen der Geräte und Sicherheitsvorkehrungen im Chemie-Labor der RWTH Aachen entstanden [Tob24].

Labore

6.3.2 Präsentationen

Schüler*innen könnten im Rahmen des Unterrichts selbstständig Touren durch die Räumlichkeiten oder die gesamte Schule erstellen. Diese Touren könnten sowohl zu Schulungszwecken als auch zur Präsentation auf der Schulwebseite genutzt werden, um zukünftigen Schüler*innen und deren Eltern einen Einblick in die Schule zu ermöglichen.

*Schule
vorstellen*

Ebenfalls ist der Einsatz im Geschichtsunterricht denkbar. Hier könnten Kleingruppen von Schüler*innen eigene Aufnahmen von verschiedenen historischen Orten ihrer Stadt erstellen und diese mit historischen Daten versehen. Dies würde nicht nur das historische Bewusstsein der Schüler*innen fördern, sondern auch ihre Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Medien und kollaborativen Werkzeugen stärken.

*historische
Orte*

6.3.3 Exkursionen

Bei der Evaluation kam eine Niederländischlehrerin auf die Idee, bei ihrem nächsten Urlaub in den Niederlanden selbst Aufnahmen zu erstellen, um diese im Unterricht zu verwenden. So könnten im Unterricht mehrere Orte virtuell besucht werden, die aus zeitlichen und kostentechnischen Gründen nicht bei einer echten Exkursion besucht werden konnten.

*virtuelle
Exkursion*

Neben entfernten Orten ist auch die virtuelle Erkundung von Orten, deren physischer Besuch entweder gefährlich oder nicht möglich ist, wie beispielsweise ein aktiver Vulkan, ein Atomkraftwerk oder eine Raumstation, denkbar.

*gefährliche
Orte*

6.3.4 Beispiel-Touren



Abbildung 6.2: Beispiel-Touren

Gerne darf die Anwendung auf 19squared.de ausprobiert und möglicherweise für eigene neue Projekte verwendet werden. Die QR-Codes sollen einen schnellen Zugriff auf die zuvor beschriebenen Beispiel-Touren ermöglichen.

6.4 Mögliche Weiterentwicklung

Um 19squared weiter zu verbessern und mehr Anwendungsszenarien zu erschließen, sind verschiedene Weiterentwicklungen denkbar. Abschließend sollen einige Vorschläge für mögliche Weiterentwicklungen vorgestellt werden.

6.4.1 Touren kollaborativ erleben

Neben der Erstellung von 360°-Touren sollte auch deren gemeinsames Erleben kollaborativ ermöglicht werden. Ein anschauliches Beispiel hierfür sind Escape Rooms, die typischerweise so gestaltet sind, dass sie nur durch die Zusammenarbeit mehrerer Personen erfolgreich gemeistert werden können. Dieses Konzept könnte auf 360°-Touren übertragen werden.

In der Arbeit „Pädagogische Escape Rooms in 360° Lernumgebungen“ [Tim25] hat Köster neue Hotspot-Typen integriert, die die Erstellung von Escape Rooms ermöglichen. Die Synchronisation des Fortschritts mehrerer Betrachter*innen innerhalb einer Tour kann problemlos mit socketIO realisiert werden. Ebenso sollte es möglich sein, einen Chat oder eine verbale Kommunikation zu implementieren. Eine größere Herausforderung stellt jedoch die Darstellung der anderen Betrachter*innen im eigenen Sichtfeld dar. Da es bisher nur möglich ist, sich in einem 360°-Raum zu drehen, jedoch kein „echter“ dreidimensionaler Raum geschaffen wird, in dem man sich frei bewegen kann, befinden sich alle gleichzeitigen Betrachter*innen an exakt derselben Stelle. Dies erschwert die Visualisierung erheblich und mindert die Immersion. Die Erweiterung von 19squared um dreidimensionale Räume stellt einen erheblichen Aufwand dar und könnte die Komplexität der Tourenerstellung erhöhen, da dann nicht mehr einfach nur beliebige 360°-Fotos oder -Videos verwendet werden können. Diese Entscheidung sollte daher sorgfältig abgewogen und gut umgesetzt werden, um eine weiterhin geringe Einstiegsschwelle in 19squared zu gewährleisten.

Herausforderungen bei Darstellung

6.4.2 Offline-Verfügbarkeit durch PWA

Ein wesentliches Problem, das in den Evaluationen identifiziert wurde, ist die unzureichende Internetverbindung in vielen Schulen, welche die Nutzung von 19squared erheblich einschränkt. Um die Anwendung auch in solchen Umgebungen nutzbar zu machen, könnte eine Offline-Verfügbarkeit implementiert werden.

Die Anwendung wurde bereits als *Progressive Web App (PWA)* entwickelt, was bedeutet, dass sie auf mobilen Geräten wie eine native App installiert werden kann. Außerdem bieten PWAs die Möglichkeit eine Offlinenutzung zu ermöglichen. Mithilfe von *Service Workern* können benötigten Dateien im Cache gespeichert werden. Dies würde es ermöglichen, die Touren vorab herunterzuladen und dann offline zu betrachten. Ebenso müsste das Erstellen von Touren zwischengespeichert werden, um eine nahtlose Nutzung zu gewährleisten.

Um dies zu realisieren, müsste die Anwendung weiter optimiert werden, indem die Benutzeroberfläche und die Infrastruktur besser voneinander getrennt werden. Die Implementierung einer sogenannten *Application Shell*, welche zur Darstellung und Ausführung der unabhängigen progressiven App notwendig ist, würde dies erleichtern.

Service Worker

Ein weiterer Vorteil bestünde in der Möglichkeit, Push-Benachrichtigungen zu senden, um Nutzende über neue Touren oder Nachrichten zu informieren. Während der Offline-Nutzung ist eine Echtzeit-Synchronisation naturgemäß nicht möglich. Eine Lösung bestünde darin, die Synchronisation zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen, wenn die Nutzenden wieder eine Internetverbindung haben.

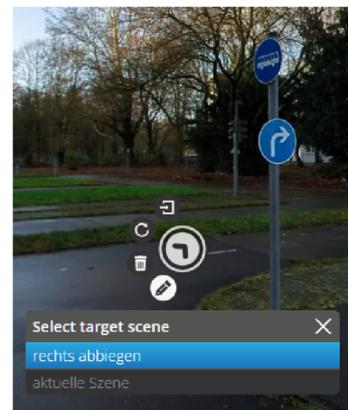
*Push-
Nachrichten*

6.4.3 Touren in Diagrammform und Einstellungen in der Szenenansicht

Das Autorentool PaneoVR nutzt zur Erstellung von Touren ein Diagramm, welches die einzelnen Szenen und Hotspots sowie deren Verknüpfungen visualisiert (siehe Abbildung 2.3). Diese Darstellungsform kann für unerfahrene Nutzende zunächst überfordernd wirken. Aus diesem Grund wird bei 19squared eine einfache Auflistung der Szenen und Hotspots verwendet. Jedoch überwiegen insbesondere bei umfangreicheren Touren die Vorteile hinsichtlich Übersichtlichkeit und Benutzerfreundlichkeit durch die Verwendung eines solchen Diagramms. Daher könnte in 19squared eine ähnliche Darstellungsform integriert werden, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen und die Navigation zu erleichtern. Zudem sollte eine mögliche Wechseloption zwischen beiden Anzeige-Modi in Betracht gezogen werden, um den unterschiedlichen Bedürfnissen der Nutzenden gerecht zu werden.

*optionale
Diagramm-
Ansicht*

Eine Möglichkeit, die aktuelle Variante intuitiver zu gestalten, wäre das Anzeigen der Hotspot-Einstellungen direkt in der Szene, vergleichbar mit der Umsetzung, die in dem Tool Marzipano gewählt wurde (Abbildung 6.3).



*Hotspot-
Einstellungen
in der Szene*

Abbildung 6.3: Hotspot-Einstellungen in der Szene bei Marzipano

Anhang A Literaturverzeichnis

- [AI11] Alexey Melnikov and Ian Fette. The WebSocket Protocol. RFC 6455, dec 2011.
- [AK04] A. Kovalchick and K. Dawson. *Education and Technology [2 Volumes]: An Encyclopedia*. ABC-CLIO E-Books. Bloomsbury Academic, 2004.
- [APJ09] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3):114–123, 2009.
- [Bro96] Brooke. *Usability Evaluation In Industry*. London: Taylor and Francis, 1996.
- [CY20] Chareen Snelson and Yu-Chang Hsu. Educational 360-Degree Videos in Virtual Reality: a Scoping Review of the Emerging Research. *TechTrends*, 64(3):404–412, 2020.
- [Geo05] George Siemens. *Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age*. Creative Commons, 2005.
- [HUS10] Hsiu-Mei Huang, Ulrich Rauch, and Shu-Sheng Liaw. Investigating learners’ attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3):1171–1182, 2010.
- [Jea72] Jean Piaget. *The Psychology of the Child*. Basic Books, 1972.
- [Jer96] Jerome Bruner. *The Culture of Education*. Harvard University Press, 1996.
- [Joh15] Johannes Fromme. *Freizeit als Medienzeit. Wie digitale Medien den Alltag verändern*, pages 431–466. 06 2015.
- [Jon23] Jonas Rothhardt. Autorentool für 360° Fotos mit interaktiven Hotspots in VR-Umgebung. Bachelorarbeit, Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 9, RWTH Aachen University, Aachen, Germany, Juli 2023.
- [KUC⁺23] Koushik Reddy Chaganti, Uttham Sai Ramula, Cheruku Sathyanarayana, Ravindra Changala, N. Kirankumar, and K. Gurnadha Gupta. Ui/ux design for online learning approach by predictive student experience. In *2023 7th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, pages 794–799, 2023.

- [Lar25] Lars Florian Meiendresch. A Scalable Infrastructure for Interactive 360° XR-Tours with Integrated User Management and Learning Analytics. Masterarbeit, Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 9, RWTH Aachen University, Aachen, Germany, Januar 2025.
- [Lev78] Lev Vygotsky. *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press, 1978.
- [Max23] Max Wertheimer. Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II. *Psychologische Forschung*, 4(1):301–350, 1923.
- [MS97] Mel Slater and Sylvia Wilbur. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6):603–616, 12 1997.
- [N. 86] N. Miyake. Constructive Interaction and the Iterative Process of Understanding. *Cognitive Science*, 10:151–177, 1986.
- [PCK13] Peter Goodyear, Chris Jones, and Kate Thompson. *Computer-Supported Collaborative Learning: Instructional Approaches, Group Processes and Educational Designs*, pages 439–452. 05 2013.
- [Pie99] Pierre Dillenbourg. *What Do You Mean by Collaborative Learning?*, pages 1–19. Elsevier, 1999. Visited on 2024-12-01.
- [Ste99] Stephen E. Palmer. *Vision Science*. MIT Press, Cambridge, USA, 1999.
- [Tim25] Timm Köster. Pädagogische Escape Rooms in 360° Lernumgebungen. Bachelorarbeit, Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 9, RWTH Aachen University, Aachen, Germany, Januar 2025.
- [Tob24] Tobias Störkmann. Konzeption und Erstellung digitaler Unterstützungsmaterialien für die Laborsicherheit in der Chemie. Masterarbeit, RWTH Aachen University, Institut für Physikalische Chemie, Lehrstuhl für Physikalische Chemie, Didaktik der Chemie, Aachen, Germany, Januar 2024.

Anhang B Web-Referenzen

Alle Web-Referenzen wurden zuletzt am 01.01.2025 abgerufen.

- [1] "Umfrage zu Tablets und Smartphones in Schulen." <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1298496/umfrage/umfrage-zu-tablets-und-smartphones-in-schulen/>.
- [2] "Schulministerin Feller: Mit Virtual Reality holen wir die ganze Welt ins Klassenzimmer." <https://www.schulministerium.nrw/presse/pressemitteilungen/schulministerin-feller-mit-virtual-reality-holen-wir-die-ganze-welt-ins.>
- [3] "Vimeo 360: A home for immersive storytelling." <https://vimeo.com/blog/post/introducing-vimeo-360.>
- [4] "Insta360 X3." <https://store.insta360.com/product/x3.>
- [5] "Lernpyramide." <https://lexikon.stangl.eu/37974/lernpyramide.>
- [6] "Smart City für das Lehren und Lernen der digitalen Welt." <https://www.lernen-digital.nrw/arbeitshilfen/smart-city-fuer-das-lehren-und-lernen-der-digitalen-welt.>
- [7] "Paneo VR - 360° Autorentool mit kostenlosem Nutzungsmodell." <https://www.vil.digital/marktplatz-inhalt/paneo-vr---360deg-autorentool-mit-kostenlosem-nutzungsmodell.>
- [8] "PaneoVR Versions." <https://paneovr.net/versions/>.
- [9] "PaneoVR Webclient." <https://webclient.paneovr.net/>.
- [10] "PaneoVR App." <https://app.paneovr.net/>.
- [11] "3DVista." <https://www.3dvista.com/>.
- [12] "Marzipano." <https://www.marzipano.net/>.
- [13] "H5P." <https://h5p.org/>.
- [14] "Flask-WebSocket." <https://pypi.org/project/Flask-WebSocket/>.
- [15] "Socket.IO." <https://socket.io/>.
- [16] "Flask-SocketIO." <https://github.com/miguelgrinberg/Flask-SocketIO.>

-
- [17] "Was ist Open Source?." <https://www.redhat.com/de/topics/open-source/what-is-open-source#vorteile-von-open%2%A0source>.
- [18] "Flask-Security." <https://flask-security-too.readthedocs.io/en/stable/>.
- [19] "Bootstrap." <https://getbootstrap.com/>.
- [20] "Flask-Login." <https://flask-login.readthedocs.io/en/latest/>.
- [21] "Jinja2." <https://pypi.org/project/Jinja2/>.
- [22] "npm." <https://www.npmjs.com/>.
- [23] "pip." <https://pypi.org/project/pip/>.
- [24] "A-Frame." <https://aframe.io/>.
- [25] "DataTables." <https://github.com/DataTables/DataTables>.
- [26] "DataTables Editor." <https://editor.datatables.net/>.
- [27] "Bootstrap 5 Tags." <https://github.com/lekoala/bootstrap5-tags>.
- [28] "QRCode.js." <https://github.com/llyys/qrcodejs>.
- [29] "Flask-Babel." <https://python-babel.github.io/flask-babel/>.
- [30] "Prettier." <https://prettier.io/>.
- [31] "autopep8." <https://pypi.org/project/autopep8/>.
- [32] "Aachener Didaktiktag 2024." <https://www.lbz.rwth-aachen.de/cms/lbz/forschung/forschungskooperation/aachener-didaktiktag/~fkcyt/aachener-didaktiktag-2024/>.
- [33] "Verkehrswacht Aachen." <https://verkehrswacht-aachen.de/>.
- [34] "19squared: Labor-Tour." <https://19squared.de/view/elmukmjegcfx>.
- [35] "19squared: RWTH-MediaLab-Demo." <https://19squared.de/view/inmnbztgtrxi>.
- [36] "19squared: Evaluations-Testdaten, Teil des Verkehrsübungsplatz der Verkehrswacht Aachen e.V." <https://19squared.de/view/inmnbztgtrxi>.
- [37] "19squared: Verkehrsübungsplatz der Verkehrswacht Aachen e.V." <https://19squared.de/view/yf7v>.
- [38] "Visual Studio Code." <https://code.visualstudio.com/>.
- [39] "GitHub Copilot." <https://github.com/features/copilot>.
- [40] "Aufzeichnungen der Evaluationsdurchläufe." <https://www.youtube.com/playlist?list=PLcuJB0Y2DJFwmfk-QsvXtblcSy6VFLSMg>.

Anhang C Entwicklung

C.1 Repository

Das Projekt 19squared ist ein Open-Source-Projekt. Die gesamte Implementierung, einschließlich aller im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Weiterentwicklungen, ist im Git-Repository unter <https://git.rwth-aachen.de/medialab/19squared> verfügbar. Eine öffentliche und aktuelle Instanz des Projekts ist unter <https://19squared.de> zu finden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden neben spezifischen Entwicklungsschritten auch allgemeine Weiterentwicklungen am Projekt 19squared vorgenommen. Zusätzlich wurden zahlreiche kleinere Verbesserungen und Bugfixes durchgeführt, deren detaillierte Auflistung jedoch den Umfang dieser Arbeit sprengen würde.

C.2 Entwicklungswerkzeuge

Als Entwicklungsumgebung wurde Visual Studio Code (VS) [38] verwendet, das sich durch seine zahlreichen Funktionen und Erweiterbarkeiten bewährt hat. Die nahtlose Integration von Git hat die Entwicklung erheblich vereinfacht. Zudem ermöglichte die Verwendung von VS-Tasks das schnelle Starten von Test- und Produktivinstanzen sowie das automatische Formatieren des Codes. Auch die Integration von GitHub Copilot [39] trug dazu bei, den Code effizienter zu schreiben.

Für das Verfassen dieser Arbeit wurde ebenfalls Visual Studio Code mit der Erweiterung L^AT_EX Workshop verwendet. Dabei kamen unterstützende Textformulierungsfunktionen von Copilot zum Einsatz.

C.3 Evaluation

Zur Dokumentation wurden alle Evaluationsdurchläufe aufgezeichnet und unter [40] verfügbar gemacht. Die Aufzeichnungen enthalten sowohl die Bildschirmaufnahmen, als auch die Audioaufnahmen der Proband*innen. Im Rahmen der Evaluation wurden zuvor erstellte 360°-Aufnahmen des Verkehrsübungsplatzes der Verkehrswacht Aachen e.V. [33] verwendet. Eine exemplarische Tour, wie sie erstellt werden sollte, ist unter [36] verfügbar. Zudem kann der gesamte Verkehrsübungsplatz unter [37] betrachtet werden.

C.3.1 Handout

19squared ist ein Tool, das es Lehrer*innen und Schüler*innen ermöglichen soll, selbst gemachte 360°-Fotos und Videos zu einer Tour zusammenzufügen, um diese für andere auf einem Tablet oder mit einer VR-Brille erlebbar zu machen.

Die folgenden Aufgaben sollen **möglichst selbstständig gelöst** werden.

Denke dabei **laut**, damit Deine Gedankengänge nachvollziehbar sind.

Du darfst jeder Zeit Fragen stellen, wenn Dir etwas völlig unklar ist.

Aufgabenabschnitt 1:

1. Gehe auf 19squared.de und schaue Dir die Demo-Tour an
2. Erstelle einen eigenen Account
3. Klicke auf "Add Demo Tour" und schaue Dir an, wie diese erstellt wurde und mache Dich mit dem Tool vertraut
 - a. links siehst Du die hochgeladenen Dateien
 - b. in der Mitte die aktuelle Szene, in die Du Hotspots per Drag&Drop hinzufügen kannst
 - c. rechts die verschiedenen Szenen und die darin enthaltenen Hotspots
 - i. Wenn Du einen Hotspot auswählst, kannst Du dessen Eigenschaften bearbeiten
4. Versuche, etwas an der Tour zu verändern und schaue Dir das mit "Show Tour" an

Aufgabenabschnitt 2:

Du bist ein(e) **Lehrer*in** und möchtest die Software nutzen, um gemeinsam mit

Deinen Schüler*innen eine Tour zum **Thema "Verkehrsschilder"** zu erstellen.

1. Erstelle eine Gruppe für zwei Personen, die Gruppenmitglieder sollen die Rolle "user" erhalten
2. Lade die beiden Mitglieder per Email ein oder gebe ihnen die Codes zum einlösen
 - a. Email-Adressen: timo@rennecke.org, peter@rennecke.org
3. Erstelle eine neue Tour
4. Lade zunächst die vorgegebenen Dateien hoch
5. Füge jedes 360° Bild als Szene hinzu
6. Füge in allen Szenen sinnvolle Move-Hotspots hinzu und verbinde diese damit
7. Öffne die Annotationen (Notizzettel unten rechts) und schreibe einen kurzen Arbeitsauftrag an dein(e) Schüler*innen
 - a. fordere sie dazu auf, die Verkehrsschilder mit einer kurzen Erklärung, um welche Schilder es sich handelt, zu beschriften
 - i. beschrifte die Szenen und Hotspots (wenn Du das für sinnvoll hältst) und schreibe ggf. Annotationen zu den einzelnen Szenen
 - b. denke Dir selber einen weiteren Auftrag aus
8. Gehe zurück in die Touren-Übersicht und lade die Gruppe dazu ein, mit an der Tour zu arbeiten
 - a. stelle dabei sicher, dass sie die Tour nicht nur betrachten, sondern **auch bearbeiten** können
9. Schreibe eine Nachricht in den Chat, in der Du Deine Schüler*innen dazu aufforderst, dem Arbeitsauftrag in den Annotationen nachzukommen.
10. Reagiere auf die Nachrichten Deiner Schüler*innen und unterstütze sie beim Erfüllen des Auftrags.

Aufgabenabschnitt 3:

Du bist nun **Admin** und sollst ein paar Dinge im User-Management einstellen

1. Ändere bei Peter:
 - a. füge die Rolle "user" hinzu
 - b. entferne ihn aus der Gruppe "Klasse 7D"
 - c. setze sein Quota auf 10GB hoch
2. Öffne das Role-Management:
 - a. lege die Rolle "Schüler" an
 - b. gebe der Rolle die Permissions
 - i. create_tour, edit_tour, rename_tour
 - c. stelle ein, dass die Rolle bei Gruppen verwendet werden darf und zukünftig die **einzige** Rolle ist, die ein neuer Benutzer hat
 - d. setze die Quota auf 7GB

Eidesstattliche Versicherung

Declaration of Academic Integrity

Rennecke, Paul
Name, Vorname/Last Name, First Name

368766
Matrikelnummer (freiwillige Angabe)
Student ID Number (optional)

Ich versichere hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit/Bachelorarbeit/
Masterarbeit* mit dem Titel

I hereby declare under penalty of perjury that I have completed the present paper/bachelor's thesis/master's thesis* entitled

Kollaboratives Erstellen von interaktiven 360°-Lernumgebungen

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe (insbes. akademisches Ghostwriting) erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt; dies umfasst insbesondere auch Software und Dienste zur Sprach-, Text- und Medienproduktion. Ich erkläre, dass für den Fall, dass die Arbeit in unterschiedlichen Formen eingereicht wird (z.B. elektronisch, gedruckt, geplottet, auf einem Datenträger) alle eingereichten Versionen vollständig übereinstimmen. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

independently and without unauthorized assistance from third parties (in particular academic ghostwriting). I have not used any other sources or aids than those indicated; this includes in particular software and services for language, text, and media production. In the event that the work is submitted in different formats (e.g. electronically, printed, plotted, on a data carrier), I declare that all the submitted versions are fully identical. I have not previously submitted this work, either in the same or a similar form to an examination body.

Aachen, 9. Januar 2025
Ort, Datum/City, Date

Unterschrift/Signature
*Nichtzutreffendes bitte streichen/Please delete as appropriate

Belehrung: Official Notification:

§ 156 StGB: Falsche Versicherung an Eides Statt

Wer vor einer zur Abnahme einer Versicherung an Eides Statt zuständigen Behörde eine solche Versicherung falsch abgibt oder unter Berufung auf eine solche Versicherung falsch aussagt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

§ 156 StGB (German Criminal Code): False Unsworn Declarations

Whosoever before a public authority competent to administer unsworn declarations (including Declarations of Academic Integrity) falsely submits such a declaration or falsely testifies while referring to such a declaration shall be liable to imprisonment for a term not exceeding three years or to a fine.

§ 161 StGB: Fahrlässiger Falscheid; fahrlässige falsche Versicherung an Eides Statt

(1) Wenn eine der in den §§ 154 bis 156 bezeichneten Handlungen aus Fahrlässigkeit begangen worden ist, so tritt Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder Geldstrafe ein.

(2) Straflosigkeit tritt ein, wenn der Täter die falsche Angabe rechtzeitig berichtigt. Die Vorschriften des § 158 Abs. 2 und 3 gelten entsprechend.

§ 161 StGB (German Criminal Code): False Unsworn Declarations Due to Negligence

(1) If an individual commits one of the offenses listed in §§ 154 to 156 due to negligence, they are liable to imprisonment for a term not exceeding one year or to a fine.

(2) The offender shall be exempt from liability if they correct their false testimony in time. The provisions of § 158 (2) and (3) shall apply accordingly.

Die vorstehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:
I have read and understood the above official notification:

Aachen, 9. Januar 2025
Ort, Datum/City, Date

Unterschrift/Signature

Danksagung

Ich möchte meinen aufrichtigen Dank an alle aussprechen, die mich während meines Studiums unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt meinen Freund*innen und Kommiliton*innen, deren unermüdliche Unterstützung es mir ermöglicht hat, auch anspruchsvolle Module erfolgreich zu absolvieren.

Ebenso möchte ich meiner Familie danken, die mir den Weg zu diesem Studium geebnet und mich während dieser Zeit stets unterstützt hat.

Darüber hinaus freue ich mich, an dem Projekt 19squared mitgewirkt zu haben, und möchte allen Beteiligten für die hervorragende Zusammenarbeit danken.