



Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Didaktik der Elektrotechnik und Informatik

# **Konzeption von Einsatzszenarien für Mixed Reality-Technologie in der Grundlagenlehre der Elektrotechnik**

Bachelorarbeit  
im Studiengang Fächerübergreifender Bachelor Informatik  
von

Anika Jewst

Erstprüfer: Dr. Thomas Jambor  
Zweitprüferin: Dr. Ann-Christin Bartels  
Betreuer: M. Sc. Johannes Paehr

Hannover, 15.05.2021





Zentrum für Didaktik der Technik



Leibniz  
Universität  
Hannover

Dr.-Ing. Thomas Jambor  
Appelstraße 9A  
D-30167 Hannover  
Telefon +49 511 762-3973  
Telefax +49 511 762-4012  
www.zdt.uni-hannover.de

## Aufgabenstellung zur Bachelorarbeit:

*Konzeption von Einsatzszenarien für  
Mixed Reality-Technologie in der Grundlagenlehre der Elektrotechnik*

Bearbeitet von: Anika Jewst  
Studiengang: Fächerübergreifender Bachelor (Informatik)

Matrikel-Nr.: MatrNr. fehlt noch  
Betreut von: M. Sc. Johannes Paehr

Ausgehend von der Tatsache, dass die Modellbildung der physikalischen Vorgänge in einem elektrischen Schaltkreis Studierenden in den ersten Semestern Schwierigkeiten bereitet und sich die gebildeten kognitiven Modelle zudem nur schwierig auf ihre Korrektheit prüfen lassen, sollen im Rahmen dieser Arbeit unterstützende Maßnahmen für die Modellbildung erarbeitet werden. In der Mixed Reality (MR) sind neue Wege der Unterstützung für Lernende möglich. Für die Erprobung dieser müssen zunächst geeignete Konzepte erarbeitet werden.

In ihrer Bachelorarbeit soll Frau Jewst Lehrmaterialien einer Grundlagenveranstaltung aus dem Bereich der Elektrotechnik auf Optimierungsoptionen untersuchen. Von besonderem Interesse sind Sachverhalte, die für Studierende in den ersten Semestern eine nur schwierig zu überwindende Herausforderung darstellen und deshalb besonders anschaulich dargestellt werden sollen. Hierbei soll der Fokus auf die zweckmäßige Integration von Mixed Reality-Anwendungen in die Arbeitsmaterialien gelegt werden. Als Plattform soll das HMD *Hololens 2* genutzt werden.

Die Arbeit umfasst folgende Arbeitspakete:

1. Recherche zu bestehenden Systemen im Bildungsbereich
2. Erarbeitung von Konzeptvorschlägen zur Reduktion von Zugangsbarrieren
3. Konzeptualisierung von Möglichkeiten für MR-Einsatzszenarien in den Arbeitsmaterialien
4. Gestaltung von geeigneten Arbeitsblättern für den Einsatz in der Lehre

Hannover, 5. März 2021

Dr.-Ing. Thomas Jambor

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Hannover, 15.05.2021

---

Anika Jewst



# Abbildungsverzeichnis

2.1. Reality-Virtuality Continuum [35] . . . . .	5
2.2. Ivan Sutherlands Head-Mounted Display [7] . . . . .	6
3.1. Mixed Reality Learning Space [14] . . . . .	10
3.2. Microsoft HoloLens 2 [31] . . . . .	11
3.3. Virtuelle Schaltung im MR-Lab [52] . . . . .	12
3.4. Brick'R'Knowledge Bausteine [10] . . . . .	13
3.5. Aspekte bei der Gestaltung von Mixed Reality-Lernumgebungen [16] . . . . .	15
4.1. Transparentes (Kopfhörer), transluzentes (groß-klein) und abstraktes (ist) Piktogramm [5] . . . . .	19
4.2. Bisheriges Aufgabenmenü [52] . . . . .	20
4.3. Videokonferenz mit der HoloLens [32] . . . . .	22
5.1. Mögliche Darstellung des Stroms in der Mixed Reality [37] . . . . .	35
5.2. Mögliche Darstellung des Potentials in der Mixed Reality . . . . .	39
5.3. Mögliche Darstellung der Maschen in der Mixed Reality [40] . . . . .	44
5.4. Mögliche Maschen der Schaltung . . . . .	44
5.5. Mögliche Darstellung des Kondensators in der Mixed Reality [36] . . . . .	51
5.6. Mögliche Darstellungen der Kondensatorschaltungen in der Mixed Reality [36] .	52
5.7. Schaltung für die Auf- und Entladung des Kondensators . . . . .	54

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	1
1.2. Ziele . . . . .	2
<b>2. Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1. Definition und Abgrenzung . . . . .	3
2.1.1. Virtual Reality . . . . .	3
2.1.2. Augmented Reality . . . . .	4
2.1.3. Augmented Virtuality . . . . .	4
2.1.4. Mixed Reality . . . . .	4
2.2. Historische Entwicklung . . . . .	5
2.3. Systeme im Bildungsbereich . . . . .	6
2.3.1. In der Schule . . . . .	7
2.3.2. In der Ausbildung . . . . .	8
2.3.3. In der Universität . . . . .	8
<b>3. Grundlagen für den MR-Einsatz</b>	<b>10</b>
3.1. Beschreibung des Lernmediums . . . . .	11
3.1.1. Hardware . . . . .	11
3.1.2. Software . . . . .	12
3.1.3. Brick'R'Knowledge . . . . .	12
3.2. Beschreibung des Lernortes . . . . .	13
3.3. Beschreibung der Lernstrategien . . . . .	14
3.3.1. Aufgaben . . . . .	15
3.3.2. Feedback . . . . .	15
3.3.3. Interaktivität . . . . .	16
<b>4. Konzepte zur Reduktion von Zugangsbarrieren</b>	<b>17</b>
4.1. Sprachliche Barrieren . . . . .	17
4.1.1. Textliche Übersetzung . . . . .	17
4.1.2. Textliche Übersetzung unterstützt durch Audio . . . . .	18
4.1.3. Piktogramme . . . . .	19
4.2. Physische Barrieren . . . . .	20
4.2.1. Halbvirtuelles Labor . . . . .	21
4.2.2. Virtuelles Labor . . . . .	21
4.2.3. Konzept für die Kommunikation . . . . .	22
4.2.4. Konzept für die Interaktion . . . . .	23

4.3. Technische Barrieren . . . . .	23
4.3.1. Reduktion durch ein einführendes Tutorial . . . . .	24
4.3.2. Reduktion durch den Einsatz eines pädagogischen Agenten . . . . .	24
4.3.3. Reduktion durch unterstützende Bedienungsanweisungen . . . . .	25
4.3.4. Motion Sickness . . . . .	25
4.4. Kognitive Barrieren . . . . .	26
4.4.1. Reduktion der geteilten Aufmerksamkeit . . . . .	26
4.4.2. Reduktion der Element-Interaktivität . . . . .	28
4.4.3. Reduktion der Lerndifferenzen . . . . .	28
<b>5. Einsatzszenarien in den vorhandenen Materialien</b>	<b>30</b>
5.1. Analyse der vorhandenen Materialien . . . . .	30
5.1.1. Einfache Gleichstromkreise . . . . .	30
5.1.2. Mehrere Spannungsquellen . . . . .	31
5.1.3. Mehrere Maschen . . . . .	31
5.1.4. Spannungs- und Stromquellen . . . . .	32
5.1.5. RC-Glied . . . . .	32
5.2. Konzeptualisierung von Einsatzszenarien . . . . .	33
5.2.1. Allgemeines Konzept . . . . .	33
5.2.2. Gesetzmäßigkeiten der Reihen- und Parallelschaltung . . . . .	34
5.2.3. Elektrisches Potential . . . . .	37
5.2.4. Mehrere Maschen . . . . .	41
5.2.5. Reale Spannungsquellen . . . . .	46
5.2.6. Reale Stromquellen . . . . .	49
5.2.7. Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren . . . . .	50
5.2.8. Auf- und Entladen eines Kondensators . . . . .	53
<b>6. Fazit</b>	<b>56</b>
6.1. Zusammenfassung . . . . .	56
6.2. Ausblick . . . . .	57
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>62</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>63</b>
A.1. Übungsblatt 1 . . . . .	63
A.2. Übungsblatt 2 . . . . .	63
A.3. Übungsblatt 3 . . . . .	63
A.4. Übungsblatt 4 . . . . .	63
A.5. Übungsblatt 5 . . . . .	63

# 1. Einleitung

Neue digitale Technologien sind aus dem Leben nicht mehr wegzudenken. Überall im Alltag wird auf Technik gesetzt, sei es in der Freizeit zur Unterhaltung, im Beruf zur Unterstützung von Tätigkeiten oder auch beim Lernen in Schulen und Universitäten. Durch die freie Verfügbarkeit des Internets und den Einsatz von technischen Geräten sind Lernprozesse nicht mehr nur auf klassische Lehrmaterialien wie Bücher oder Arbeitsblätter beschränkt. Immer mehr Medien und Technologien werden erprobt und vermehrt eingesetzt. Neue Medien wie Computer, Tablets oder Smartphones sind dabei schon länger Bestandteil des Lehren und Lernens. Eine neue Möglichkeit stellen virtuelle Welten dar. Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality erlauben es Nutzenden, die reale Welt ganz oder teilweise hinter sich zu lassen und in eine völlig neue Welt einzutauchen. Unbekannte Orte können auf einmal erkundet werden, unerreichbare Gegenstände werden in die Realität gebracht und es bieten sich vollkommen neue Perspektiven auf bereits Bekanntes. Wohingegen Virtual und Augmented Reality den meisten schon aus Computerspielen bekannt sind und es bereits einige Lernkonzepte gibt, die sich dieser Techniken bedienen, stellt die Mixed Reality eine neuere Art der Virtualität dar. Sie verbindet die reale Welt mit einer virtuellen und bietet vielfältige Interaktions- und Anschauungsmöglichkeiten der digitalen Inhalte. Der Einsatz dieser Technologie für Bildungszwecke ist daher besonders interessant, da das Verständnis komplexer Zusammenhänge auf anschaulichere und verständlichere Weise, als es bisher möglich war, gefördert werden kann.

## 1.1. Motivation

An der Leibniz Universität Hannover müssen Studierende der Elektrotechnik zu Beginn ihres Studiums an der Lehrveranstaltung „Praxis elektrotechnischer Methoden“ teilnehmen. In dieser werden physikalische Grundlagen aus dem Bereich der Elektrotechnik erarbeitet und wiederholt. Viele Gebiete der Elektrotechnik lassen sich dabei nur schwer auf anschauliche Weise erklären. Vor allem bei Vorgängen in Stromkreisen ergeben sich einige Schwierigkeiten, da Studierende zum einen gewisse Vorstellungen haben, die nicht der Realität entsprechen und es für Lehrende zum anderen nahezu unmöglich ist diese Vorstellungen frühzeitig zu erkennen und auf Korrektheit zu prüfen. Durch die neuen Darstellungsmöglichkeiten mit Hilfe der Mixed Reality-Technologie kann die kognitive Modellbildung der Studierenden effektiv unterstützt werden. Dafür müssen jedoch erst geeignete Konzepte entwickelt werden.

## 1.2. Ziele

Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung von konkreten Einsatzszenarien für die Mixed Reality-Technologie in der vorher genannten Lehrveranstaltung. Dazu sollen Konzepte entwickelt werden, die sich in die bestehenden Arbeitsmaterialien integrieren lassen. Als Plattform wird die HoloLens 2 von Microsoft genutzt. Die Konzepte bauen dabei auf die von Tobias Pahl erstellte Anwendung MR-Lab auf [52] und nutzen Brick'R'Knowledge Bausteine zum Aufbauen von elektrischen Schaltungen. Weiterhin werden bereits bestehende Mixed Reality-Lernsysteme beschrieben und Konzeptvorschläge zur Reduktion von Zugangsbarrieren vorgestellt. Zusätzlich zu den Einsatzszenarien werden Arbeitsblätter entwickelt, die zur Unterstützung der Lernprozesse in der Lehre eingesetzt werden sollen.

## 2. Grundlagen

Um einen Rahmen für die Konzeption von geeigneten Einsatzszenarien zu schaffen, werden in diesem Kapitel die Grundlagen der Mixed Reality-Technologie näher beschrieben. Dazu wird die Technologie zu erst definiert, ihre historische Entwicklung aufgezeigt und als letztes bereits bestehende Mixed Reality-Systeme im Bildungsbereich vorgestellt.

### 2.1. Definition und Abgrenzung

Reale und virtuelle Umgebungen und Objekte sind grundsätzlich leicht voneinander zu unterscheiden. Zwischen diesen beiden Seiten bestehen jedoch einige Abstufungen, die häufig miteinander vermischt und synonym füreinander verwendet werden. Da diese Technologien aber nicht dasselbe darstellen und häufig zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt werden, ist es wichtig die Unterscheidungen und genauen Definitionen zu kennen und zu verstehen. Daher werden im Folgenden zunächst die wichtigsten Technologien dargestellt und voneinander abgegrenzt.

#### 2.1.1. Virtual Reality

Virtual Reality ist als Begriff im Alltag, beispielsweise aus Filmen oder Computerspielen, weit verbreitet und bekannt. Mit Hilfe der virtuellen Realität erfolgt die gleichzeitige Darstellung und Wahrnehmung der Wirklichkeit in einer computergenerierten und interaktiven virtuellen Welt. Die reale Umwelt des Nutzenden wird dabei folglich ausgeschaltet und der Nutzende taucht vollkommen in die virtuelle Welt ein [4]. Sie zeichnet sich vor allem durch eine große Interaktivität, multimodale Präsentation, Echtzeitdarstellung und -verarbeitung und eine hohe Immersion aus [41].

Die Interaktivität in Virtual Reality-Anwendungen erlaubt den Benutzenden freie Handlungsmöglichkeiten im Rahmen der virtuellen Welt. Sie können sich durch die Welt navigieren, Objekte verändern und beeinflussen und sich vollkommen frei in der Welt bewegen. Eine multimodale Präsentation unterstützt dies und ergibt sich durch das Ansprechen verschiedener Sinne wie die Wahrnehmung sowie akustische und taktile Reize, sodass die Nutzenden das Gefühl erhalten sich wirklich in der virtuellen Welt zu befinden und somit so zu handeln wie sie es auch in der Realität tun würden. Dies wird vor allem durch eine hohe Immersion verwirklicht. Diese bestimmt den Grad der Übereinstimmung von virtueller und realer Umgebung und trägt dazu bei, dass Nutzende die virtuelle Welt als real erleben und akzeptieren. Realisiert wird dies mit Hilfe von Ein- und Ausgabegeräten wie den Head-Mounted Displays, die die visuellen Eindrücke für die Nutzenden direkt darstellen (vgl. [41], S.13-16). Damit verbunden ist die Echtzeitdarstellung und -verarbeitung, die die Fähigkeit der Virtual Reality-Anwendung

beschreibt, Ergebnisse zuverlässig in einer kurzen Zeitspanne zu liefern und somit den Nutzenden die Auswirkungen ihrer Interaktionen ohne eine wahrnehmbare Verzögerung erlebbar zu machen [41].

### 2.1.2. Augmented Reality

Im Gegensatz zur virtuellen Realität geht es bei Augmented Reality nicht um ein vollständiges Eintauchen in die virtuelle Welt. Stattdessen sollen virtuelle und reale Welt miteinander kombiniert und die Realität um künstliche und virtuelle Inhalte erweitert werden. Die reale Umwelt und darin platzierte virtuelle Objekte werden als Einheit von den Nutzenden wahrgenommen. Mit diesen Objekten kann in Echtzeit interagiert werden und sie verhalten sich so wie reale Objekte es tun würden (vgl. [41], S.20-21).

Augmented Reality wird nach Azuma (vgl. [47]) durch drei grundlegende Merkmale charakterisiert:

- Kombination von Realität und Wirklichkeit
- Interaktion in Echtzeit
- Dreidimensionale Registrierung virtueller Inhalte

Augmented Reality erlaubt es den Nutzenden also im Rahmen der realen Welt zu interagieren, aber dennoch virtuelle Inhalte wahrzunehmen und einzusehen. Dies wird meist durch ein Overlay über der realen Umgebung umgesetzt, welches das virtuelle Objekt an einem festen Platz in der Realität abbildet (vgl. [20]).

### 2.1.3. Augmented Virtuality

Bei Augmented Virtuality handelt es sich um eine Weiterentwicklung von Augmented Reality und eine Annäherung an Virtual Reality. Bei dieser Technologie befindet sich der oder die Nutzende in einer virtuellen Welt, in der Elemente oder Daten der realen Welt eingebracht oder eingeblendet werden [20]. Der Anteil der Virtualität ist im Vergleich zur Augmented Reality daher größer, wobei die Umgebung des Nutzenden nicht ausschließlich virtuell ist [41]. Das heißt konkret, dass im Fall von Augmented Virtuality Informationen aus der realen Welt in die virtuelle Welt eingefügt werden. Das können zum Beispiel reale Gegenstände oder Töne und Geräusche von echten Personen sein.

### 2.1.4. Mixed Reality

Der Begriff Mixed Reality wird vor allem durch das „Reality-Virtuality Continuum“ nach Milgram definiert. Bei diesem handelt es sich um einen fließenden Übergang zwischen realer und virtueller Umgebung, wobei sich der Anteil von Virtualität und Realität je nach Technologie unterscheiden können. Abbildung 2.1 zeigt dieses Kontinuum.

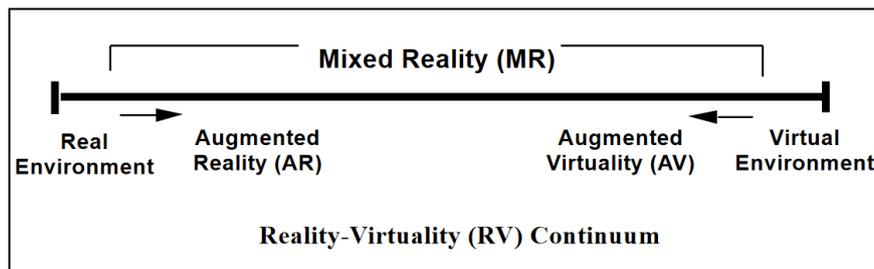


Abbildung 2.1.: Reality-Virtuality Continuum [35]

Die linke Seite, hier bezeichnet mit „Real Environment“, meint dabei Umgebungen, die sich nur aus realen Objekten zusammensetzen, beispielsweise wenn reale Szenen direkt betrachtet werden [35]. Dazu gehören zudem grafische Benutzeroberflächen oder der Einsatz von einfachen Monitoren zur Trennung von realer Welt und virtuellem Inhalt [20].

Bei der rechten Seite, genannt „Virtual Environment“, handelt es sich um rein virtuelle Umgebungen, die ausschließlich aus virtuellen Objekten bestehen, zum Beispiel Simulationen, die auf Computergraphik basieren [35].

Zwischen diesen beiden Extrempunkten befinden sich die vorher behandelten Technologien Augmented Reality und Augmented Virtuality, die die Mixed Reality ausmachen. Mixed Reality bezeichnet also eine Umgebung, in der reale und virtuelle Objekte in einer beliebigen Darstellung miteinander kombiniert werden [4]. Dabei können virtuelle oder reale Inhalte überwiegen. Mixed Reality ist im Gegensatz zu den vorherigen Technologien also ein Kontinuum, das sich zwischen Realität und Virtualität erstreckt und verschiedene Ausprägungen annehmen kann.

## 2.2. Historische Entwicklung

Der Begriff Mixed Reality wurde in der Öffentlichkeit vor allem durch die Microsoft HoloLens im Jahr 2015 geprägt. Die Anfänge reichen jedoch viel weiter zurück.

Bereits im Jahre 1955 entwickelte Morton Heilig einen Simulator namens „Sensorama“. Dieser erlaubte es Nutzenden Sicht, Ton, Wind und Gerüche gleichermaßen wahrzunehmen (vgl. [26], S.8-9). Dieses System kann als Vorreiter weiterer Virtual Reality Anwendungen angesehen werden.

In den 1960er Jahren wurde die weitere Entwicklung vor allem durch Ivan Sutherland angetrieben. Dieser forschte im Bereich der immersiven Technologien und erfand das erste Head-Mounted Display (vgl. Abbildung 2.2). Das System bestand aus einem Datenhelm, den die Anwendenden am Kopf trugen und einem mechanischen oder ultraschallbasierten Trackingsystem (vgl. [41], S.26). Dies ermöglichte es Nutzenden erstmalig simulierte im Raum platzierte Objekte aus der eigenen Perspektive heraus zu betrachten [27].

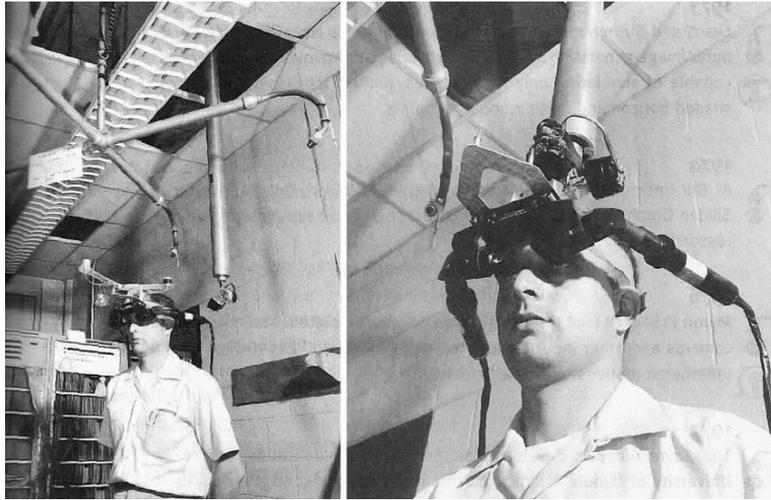


Abbildung 2.2.: Ivan Sutherlands Head-Mounted Display [7]

Der Begriff Augmented Reality wurde in den 1990er Jahren durch ein Pilotprojekt von Boeing geprägt. Dabei sollte das Verlegen von Flugzeugkabeln vereinfacht werden, indem im Gesichtsfeld der Arbeitenden zusätzliche Informationen eingeblendet wurden (vgl. [41], S.27). Außerdem wurde im Bereich der Augmented und Mixed Realität verstärkt geforscht. Es entwickelten sich internationale Projekte, unter anderem in Japan, Amerika und Deutschland. Folge dieser Forschungen ist das „International Symposium on Mixed and Augmented Reality“, das jährlich stattfindet (vgl. [27], S.3-4). 1997 entstand durch die Columbia University das erste portable Augmented Reality-System, genannt Mars [41].

Die bisherigen Technologien waren zunächst nur Forschungseinrichtungen und großen Firmen vorbehalten, da die Systeme aufgrund der nötigen Hardware zu teuer für Privatpersonen waren. Dies änderte sich 2013 mit der Vorstellung der Datenbrille Oculus Rift (vgl. [41], S.28). Diese war die Erste, die auch von Privatpersonen erworben werden konnte und wird bis heute noch, vor allem in der Computerspielindustrie, eingesetzt. In den folgenden Jahren kamen weitere vergleichbare Systeme auf den Markt, dazu gehören die HTC Vive, Playstation VR oder die Microsoft HoloLens [41]. Letztere wurde 2015 vorgestellt grenzt sich von bisherigen Virtual und Augmented Reality-Systemen ab und eröffnet somit Möglichkeiten für den Bereich der Mixed Reality-Anwendungen [1].

### 2.3. Systeme im Bildungsbereich

Mixed Reality-Systeme werden in der Bildung vermehrt eingesetzt, um komplexe Zusammenhänge zu vereinfachen. Es werden neue Möglichkeiten geboten bisher zu abstrakte Konzepte auf anschauliche Weise zu visualisieren und damit das Verständnis zu fördern. Durch die Interaktion mit virtuellen Objekten kann der Umgang und das Verhalten in sonst zu gefährlichen Situationen geübt werden. Außerdem wird kollaboratives Arbeiten in Gruppen auch von zu Hause ermöglicht. Die folgenden Ausführungen bieten einen Überblick über bisherige Anwendungen in den verschiedenen Bildungsbereichen.

### 2.3.1. In der Schule

Dünser et al. [3] haben interaktive Schulbücher mit Hilfe von Augmented Reality-Anwendungen entwickelt. Die Bücher haben sie für das Fach Physik im Bereich des Elektromagnetismus erarbeitet, da dieses Thema komplexe Konzepte beinhaltet, die nicht mit realen Objekten veranschaulicht werden können und Schülerinnen und Schüler oftmals Verständnisschwierigkeiten in diesem Bereich aufweisen. Die Schulbücher haben sie so konzipiert, dass virtuelle Inhalte über die realen Seiten gelegt werden können. Zur Betrachtung wird ein Handheld Augmented Reality Gerät verwendet, das mit einem Computer verbunden wird. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler beispielsweise einen realen Magneten aus Pappe über das Buch bewegen, um einen virtuellen Nagel zu magnetisieren. Zusätzlich werden Anziehung und Abstoßung sowie Magnetfeldlinien visualisiert.

Ein weiteres Mixed Reality-System ist das SMALLab nach Tolentino et al. [24]. Bei diesem handelt es sich um einen offenen Raum in Form eines Würfels, den sie für den Chemieunterricht entwickelt haben. Er bietet eine Mixed Reality-Umgebung, welche reale, manipulierbare Objekte und dreidimensionale physikalische Gesten kombiniert und zusätzlich digitale Komponenten enthält. Speziell haben sie ein Labor für das Konzept der Titration, ein Verfahren zur Bestimmung der Konzentration eines Stoffes, implementiert. Die Schülerinnen und Schüler können die Aktivitäten im Rahmen des virtuellen Labors hören und sehen, zudem zeigt ein virtuelles Interface eine mit Wassertropfen gefüllte Flasche. In dieser findet die Titration statt und die Schülerinnen und Schüler haben die Möglichkeit bestimmte Säuren, Basen und Indikatoren hinzuzufügen und anschließend die Reaktion zu beobachten. Dabei führen diese immer zu Bewegungen der Moleküle und werden unterstützt durch akustische Signale. Mit Hilfe von Gesten können außerdem selbstständig Moleküle gewählt und platziert werden.

Ein ähnliches Konzept verfolgt das Mixed Reality-Chemielabor von Duan et al. [54]. Die Nutzenden befinden sich dabei mit Hilfe eines Head-Mounted-Displays in einem virtuellen Labor und können mit ihrer Umgebung interagieren. Schülerinnen und Schüler können sich so chemisches Wissen in einer sicheren Umgebung aneignen, sich auf reale Experimente vorbereiten und zudem auch Atome oder Strukturmodelle dreidimensional betrachten und verändern.

Giraudeau et al. [38] haben zudem CARDS entwickelt. Dieses System erlaubt es digitale Inhalte auf reale Papierblätter zu projizieren und mit ihnen zu interagieren. Dafür wird ein Videoprojektor, eine Webcam, ein interaktiver Stift sowie ein Computer verwendet. Die Schülerinnen und Schüler sitzen während der Arbeit gemeinsam an einem Tisch und bearbeiten die virtuellen Inhalte. So können beispielsweise Mindmaps entwickelt oder Kategorien verschiedener Themenbereiche erstellt werden.

Im Grundschulbereich wurden zwei Mixed Reality-Unterrichtstools erprobt. Dazu gehören ein Mixed Reality Solar- und Pflanzensystem. Bei beiden tragen die Schülerinnen und Schüler ein Head-Mounted Display, durch das sie das jeweilige System betrachten können. Außerdem sind Interaktionen mit den virtuellen Objekten möglich. So können Planeten genauer betrachtet werden und virtuelle Samen eingepflanzt oder die Fotosynthese anschaulich verfolgt werden (vgl. [53]).

### 2.3.2. In der Ausbildung

In der beruflichen Ausbildung werden auch Mixed Reality-Systeme eingesetzt. Ein Beispiel stellt ein System zur Ausbildung von Bauarbeitenden dar. Dieses soll dazu genutzt werden den Auszubildenden beizubringen wie in realistischen und herausfordernden Situationen gehandelt werden soll. Durch die Virtualität können Sicherheits- und Gesundheitsrisiken vermindert werden. Ziel ist es, den Auszubildenden sichere und virtuelle Bauumgebungen zur Verfügung zu stellen, in denen sie der Realität nachempfundene Aufgaben und manuelle Tätigkeiten mit den Händen und Werkzeugen durchführen können. Außerdem können so Arbeiten in großen Höhen simuliert werden, die sonst nur schwer übbar sind, da sie zu gefährlich sind. Das System besteht aus einer Virtual Reality-Brille und einem Tracking System, das die Bewegung im Raum ermöglicht (vgl. [18]).

In der medizinischen Ausbildung werden Mixed Reality Humans für das Einüben von Untersuchungstechniken bei der Behandlung von Brustkrebs eingesetzt. Das System verbindet taktile Wahrnehmung mit Interaktionen zwischen Studierenden und virtuellem Patient. Es besteht aus einer realistischen Nachbildung einer menschlichen Brust, die auf einer Puppe angebracht ist. Das Modell verfügt zudem über Kraftsensoren. Die Studierenden tragen während der Untersuchung ein Head-Mounted Display, welches ein Bild eines virtuellen Patienten an Stelle der Puppe zeigt. Das System kann Bewegungen und Gesten an dem Brustmodell verarbeiten und reagiert mit realistischen Antworten des virtuellen Patienten. Dieser kann zum Beispiel Stresssymptome oder Angst zeigen (vgl. [9], S.483-484).

In der Ausbildung von Tierärztinnen und Tierärzten werden ähnliche Systeme genutzt. Parkes [43] beschreibt einen Simulator einer Katze, der zum Einüben von Bauchabtastungen eingesetzt wird. Das System besteht aus einem physikalischen Modell, einer Plüschkatze, und haptischen Geräten. Die Studierenden können mit Hilfe dieses Simulators das Untersuchen von Tieren einfach üben.

### 2.3.3. In der Universität

In der Hochschullehre werden Mixed Reality-Systeme entwickelt, um auch Studierende von entfernten Standorten in Vorlesungen und Hörsäle einzubringen. MiRTLE stellt solch eine Mixed Reality-Umgebung dar. Es verbindet die reale Welt des Hörsaals mit einer virtuellen Welt für die Fernlehre. Dabei kommen reale und virtuelle Studierende zusammen, wodurch das Zusammenheitsgefühl unabhängig vom Standort der Beteiligten gefördert wird. Studierende, die nicht vor Ort sind, erhalten die Möglichkeit, virtuell von zu Hause aus an Lehrveranstaltungen teilzunehmen. Dozierende können so ihre Kurse vergrößern und dennoch wie gewohnt lehren (vgl. [29]).

Das InterReality Portal ist eine dreidimensionale virtuelle Lernumgebung, die reale und virtuelle Objekte miteinander verbindet. Ziel ist es, dass Studierende Lernaktivitäten mit Hilfe einer Kombination aus Virtualität und Realität gemeinsam bearbeiten. Realisiert wird dies in einem virtuellen Labor, in dem die Studierenden Internet of Things-Anwendungen implementieren sollen. Das System vereinfacht die Kommunikation zwischen den Studierenden, auch wenn diese sich an unterschiedlichen Standorten befinden (vgl. [2]).

An der ETH Zürich wird im Rahmen der Lehrveranstaltung „Computer-Assisted Drug Design“ die HoloLens eingesetzt, um den Studierenden den Aufbau von Proteinen zu visualisieren. Dafür wurde die App Molegram entwickelt. Mit dieser können virtuelle Moleküle erzeugt werden. Die Studierenden haben die Möglichkeit verschiedene Proteine zu betrachten und zu untersuchen. Zudem können sie mit Hilfe der Mixed Reality-Brille selbst als Wassermolekül im Protein die Struktur erleben. So können Oberfläche und Strukturmerkmale virtuell und einfach erkundet werden (vgl. [46]).

Yazykova et al. [25] haben ein Mixed Reality-Labor für den Einsatz an der Universität im Themengebiet der theoretischen Grundlagen der Elektrotechnik entwickelt. Dieses nutzt Computer oder Smartphones, um den Studierenden virtuelle Zusatzinformationen über elektrische Bauteile zu liefern und auf Basis von Schaltsymbolen virtuelle Abbildungen dieser zu generieren, die untersucht werden können. Das Labor besteht aus zwei Komponenten, dazu gehören rein theoretisches Material, welches vom Dozierenden zur Verfügung gestellt wird und das Labor, welches auf realen oder virtuellen Schaltsymbolen basiert. Diese können entweder in der Realität durch die Kameras betrachtet werden oder innerhalb der Anwendung können virtuelle Schaltsymbole zur Verfügung gestellt werden, sodass die dazugehörigen Bauteile zwei- oder dreidimensional betrachtet werden können. Zusätzlich werden weiterführende Informationen dargeboten.

Die RWTH Aachen hat im Rahmen einer Lehrveranstaltung für Studierende der Ingenieurwissenschaften zwei Mixed Reality-Lernumgebungen konzipiert, mit der theoretische und abstrakte Prozesse im Bereich der Industrie 4.0 praktisch erfahrbar werden und zusätzlich die Problemlösefähigkeit trainiert wird. Eine der Lernumgebungen nutzt das Spiel Minecraft als Grundlage für die virtuelle Welt. Diese stellt ein Industriegelände dar, wobei die Studierenden die Aufgabe haben als Mitarbeitende einer Softdrink-Firma auf diesem einen Transportweg zu entwickeln, um ihre Waren zu transportieren. Dabei befinden sich auf dem virtuellen Gelände verschiedene Hindernisse wie Gebäude oder Autos, die die Studierenden beachten müssen. Bei der anderen Lernumgebung befinden sich die Studierenden in einer virtuellen Festhalle mit Beleuchtung. Die Stromversorgung dieser ist an verschiedenen Stellen unterbrochen und die Studierenden sollen in Zweierteams die Ursache identifizieren und beheben. Beide Partner befinden sich in unterschiedlichen Räumen, können sich also nur virtuell sehen und müssen daher über ein Headset oder Chat miteinander kommunizieren, um die Aufgabe zu lösen. Beide Lernumgebungen nutzen zur Darstellung der virtuellen Welten ein Head-Mounted Display (vgl. [48], S.456-459).

### 3. Grundlagen für den MR-Einsatz

Es müssen zunächst geeignete Hardware- sowie Softwaresysteme ausgewählt werden, um die Mixed Reality-Technologie sinnvoll in der Lehre einzubinden und geeignete Konzepte zum Einsatz zu entwickeln. Außerdem müssen Hintergründe und Rahmenbedingungen des Einsatzes näher erläutert werden. In diesem Kapitel werden daher das zu verwendende System und die Lehrveranstaltung sowie Aspekte zur Gestaltung von Mixed Reality-Anwendungen beschrieben, für die die späteren Konzepte gelten sollen.

Die Beschreibung der organisatorischen Rahmenbedingungen beruht dabei auf dem „Mixed Reality Learning Space“ nach Müller [14]. Dieses stellt ein Konzept zur Verfügung, mit dem Lernszenarien und Lernprozesse in einer Mixed Reality-Umgebung entwickelt und geplant werden können. Dabei werden wie in Abbildung 3.1 dargestellt drei Dimensionen betrachtet:

- Dimension des Lernmediums
- Dimension des Lernorts
- Dimension der Lernstrategie

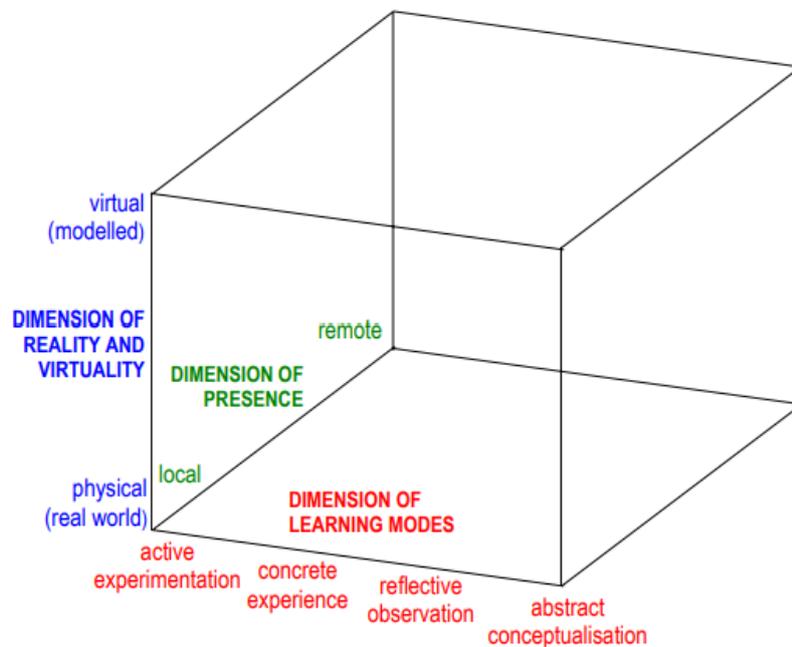


Abbildung 3.1.: Mixed Reality Learning Space [14]

## 3.1. Beschreibung des Lernmediums

Die Dimension des Lernmediums bezieht sich auf das zuvor beschriebene Reality-Virtuality Continuum. Lernumgebungen können dabei vollkommen virtuell oder real sein oder sich zwischen diesen beiden Extrema befinden [14]. In dieser Arbeit wird die HoloLens 2 und eine speziell für diese entwickelte Software verwendet, um eine Mixed Reality-Lernumgebung zu erzeugen.

### 3.1.1. Hardware

Die HoloLens 2 (vgl. Abbildung 3.2) wird von Microsoft als eigenständiger, ungebundener und holographischer Computer beschrieben. Diese Beschreibung beruht darauf, dass das System nicht mit externen Geräten verbunden werden muss und völlig auf Kabel verzichtet werden kann. Die Nutzenden können mit Hilfe der Brille dreidimensionale Objekte aus allen Winkeln betrachten, sich entlang dieser bewegen und mit ihnen interagieren (vgl. [1], S.3).



Abbildung 3.2.: Microsoft HoloLens 2 [31]

Die Mixed Reality-Brille besteht aus einem Stirnband mit Visier, welches auf den Kopf der Anwendenden gesetzt wird. Das Visier kann über die Augen geklappt werden und enthält Sensoren und Anzeigen, mit denen die Bilder für die Nutzenden generiert werden. Die Gläser sind dabei durchsichtig, sodass direkt durch diese geblickt werden und somit die reale Umgebung betrachtet werden kann. Die Linsen innerhalb der Gläser erzeugen ein virtuelles Bild, das in die Augen des Anwendenden projiziert wird und so realistische Hologramme erzeugt (vgl. [1], S.6). Das Gerät beinhaltet vier Kameras für das Kopf-Tracking und die Erkennung der Hände des Nutzers sowie eine Webcam. Damit werden Veränderungen der virtuellen Objekte innerhalb der Mixed Reality-Umgebung realisiert. Hologramme in der Nähe können so angetippt oder gegriffen werden und auch mit weiter entfernten Objekten kann durch das Einblenden eines Handstrahls interagiert werden. Grundsätzlich können alle virtuellen Objekte, die in eine Umgebung eingebettet sind, durch Gesten verschoben, verdreht und in ihrer Größe verändert werden. Durch das Kopf-Tracking wird die virtuelle Ansicht immer in das Blickfeld des Nutzenden gebracht, wodurch freie Bewegungen mit der HoloLens möglich sind. Zusätzlich verfügt das



beliebig mit anderen Bauteilen erweitert werden können. Auf der Oberseite der Bausteine sind Abbildungen der elektrischen Bauteile, die sie repräsentieren, abgedruckt (vgl. [11]). Abbildung 3.4 zeigt einige dieser Bricks.

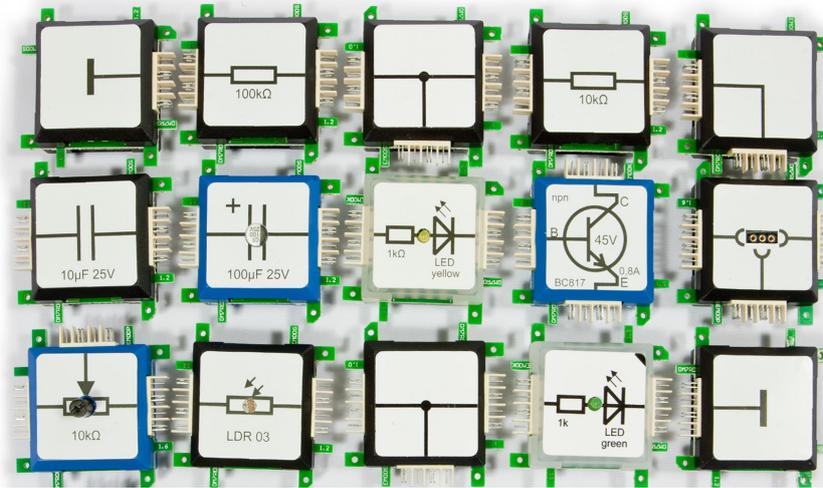


Abbildung 3.4.: Brick'R'Knowledge Bausteine [10]

Durch das Zusammenstecken der jeweiligen Bauteile können Stromkreise einfach und schnell realisiert werden. Zudem können auch 3D-Konstruktionen und kompaktere Schaltungen aufgebaut werden. Die unkomplizierte Verwendung des Stecksystems eignet sich daher vor allem zum Lehren, Lernen und Experimentieren (vgl. [11]) und wird daher für die späteren Konzepte genutzt.

## 3.2. Beschreibung des Lernortes

Lernorte können sich über Präsenz- bis hin zu Distanzlernen erstrecken. Dabei geht es um Interaktionen in lokalen Umgebungen oder auch von zu Hause aus (vgl.[14]). In dieser Arbeit geht es um das Präsenzlernen im Rahmen einer Grundlagenveranstaltung der Elektrotechnik.

Die vorher beschriebene Mixed Reality-Brille und die dafür entwickelte Anwendung sollen im Rahmen der Lehrveranstaltung „Praxis elektrotechnischer Methoden“ eingesetzt werden. Bei dieser handelt es sich um eine Veranstaltung, welche Vorlesung, Übung und Laborversuche miteinander kombiniert und an welcher Studierende der Elektrotechnik im ersten Semester teilnehmen. Ziel ist es, bei den Studienanfängern und Studienanfängerinnen ein umfassendes und systematisches Wissen in den physikalischen Grundlagen der Elektrotechnik aufzubauen. Dafür werden die Konzepte erst eingeführt und dann in Gruppen elektrotechnische Problemstellungen theoretisch und praktisch bearbeitet.

Folgende Themen werden im Rahmen der Veranstaltung von den Studierenden erarbeitet:

- Grundlegende Begriffe der Elektrotechnik
- Einfache Gleichstromkreise

- Messung von elektrischen Größen
- Gemischte Schaltungen mit mehreren Maschen und Spannungsquellen
- Messbereichserweiterung
- Ausgleichsvorgänge
- Grundlagen der Wechselstromtechnik

### 3.3. Beschreibung der Lernstrategien

Lernstrategien beschreiben die verschiedenen Wege, auf denen ein Lernprozess basiert. Das „Mixed Reality Learning Space“ beruht dabei auf dem erfahrungsbasierten Lernen nach Kolb [14]. Dieses Lernkonzept versteht das Lernen als einen Prozess, bei dem Wissen durch die Transformation von Erfahrung sowie der Kombination des Erfassens und Transformierens von Erfahrung gewonnen wird [13]. Der Prozess besteht dabei aus vier grundlegenden Phasen. Dazu gehören konkrete Erfahrungen, eine reflektierende Beobachtung, die Konzeptualisierung sowie aktives Experimentieren (vgl. [14]).

Zu Beginn des Lernprozesses werden Lernende mit neuen Situationen konfrontiert oder zum Überdenken bisheriger Erfahrungen angeregt. Danach wird die neue Erfahrung analysiert, evaluiert und interpretiert. Durch diese Reflexion entstehen neue Ideen und bestehende Konzepte werden angepasst. Als letztes wird das neu gebildete Konzept in der Praxis angewandt und erprobt. Dadurch ergeben sich wieder neue Erfahrungen und der Prozess kann von vorne beginnen. Durch das wiederholte Durchlaufen dieser Phasen werden immer mehr Erfahrungen gemacht, die sich dann zu Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten verfestigen (vgl. [51]).

Damit der Einsatz von Mixed Reality-Anwendungen überhaupt sein volles Wirkungspotential, in Form dieser Lernstrategien, entfalten kann, darf der Lernprozess nicht unsystematisch erfolgen. Er muss ausreichend strukturiert werden und es muss immer ein übergeordnetes Ziel verfolgt werden, damit sich der Mixed Reality-Einsatz nicht nur zu einem reinen Erkunden der virtuellen Welt entwickelt. Außerdem müssen Anzahl und Arten von Handlungsmöglichkeiten überlegt werden. Hier bieten sich Handlungen an, die sich an natürlichen Verhalten orientieren und aus alltäglichen Handlungen ergeben (vgl. [49]).

Daher müssen bei der Gestaltung von Mixed Reality-Anwendungen zu Lehrzwecken einige weitere Aspekte beachtet werden. Aufbauend auf diesen werden später konkrete Konzepte entwickelt. Kapp et al. [16] konnten vier wichtige Aspekte für die Gestaltung von Mixed Reality-Anwendungen zu Bildungszwecken identifizieren. Die Gestaltung von Lernprozessen mit der Mixed Reality-Technologie hat dabei immer ein übergeordnetes Lernziel, das verfolgt werden soll, als Ausgangspunkt. Aufbauend auf diesem Ziel werden die Lernaufgaben sowie Feedback und Interaktivität konzipiert und zusätzlich Game-Features, also spielerische Elemente, eingebunden. Diese vier Aspekte sind kontextabhängig und werden durch technische und didaktische Voraussetzungen beeinflusst und erzeugen Lernprozesse verschiedener Art (vgl. Abbildung 3.5). Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Game-Features verzichtet, da keine vollwertige Lernumgebung entwickelt wird, sondern nur einzelne unterstützende Aufgaben.

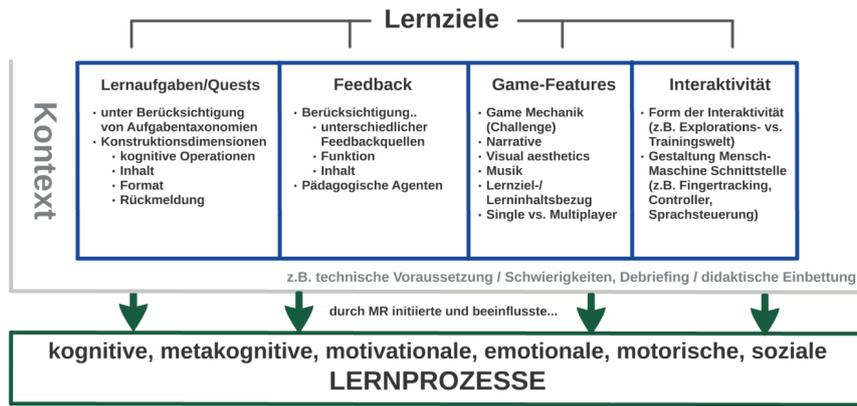


Abbildung 3.5.: Aspekte bei der Gestaltung von Mixed Reality-Lernumgebungen [16]

### 3.3.1. Aufgaben

Es wird zunächst genauer auf die Aufgaben eingegangen. Diese stellen im Rahmen dieser Arbeit die Grundlage aller Anwendungen und Einsatzszenarien dar. Eine Aufgabe besteht immer aus genau zwei Elementen: einer Frage- oder Problemstellung und einer dazu passenden Lösung. Aufgaben stellen einen Stimulus dar, auf den auf verschiedenen Weisen reagiert wird. Durch die Lösung der Aufgaben, anhand kognitiver Prozesse und Aktionen, werden Lernende aktiv dazu angeregt sich mit der Entwicklung von Wissen zu beschäftigen (vgl. [6], S.1606). Aufgabenstellungen können verschiedene Ziele verfolgen. Beispielsweise führen sie dazu, dass Lernende sich vertieft mit Inhalten auseinandersetzen, Fertigkeiten entwickeln oder mentale Modelle aufbauen [16]. Beim Einsatz von technologiebasierten Lernumgebungen eignen sich vor allem interaktive Aufgaben. Bei der Lösung dieser können Lernende mit anderen Personen oder dem System, in dem die Aufgabe gestellt wird, interagieren. Unterstützung während der Bearbeitung kann durch Möglichkeiten zur Wiederholung oder Vertiefung von Aufgaben realisiert werden. Zudem ist es sinnvoll, komplexere Aufgaben in kleinere Teilschritte zu unterteilen sowie Hinweise und Feedback anzubieten (vgl. [6], S.1606). Bei der Entwicklung von Aufgaben müssen individuelle Voraussetzungen wie Vorwissen, Kompetenzen und Fehlerquellen beachtet werden. Zusammenfassend müssen nach Kapp et al. [16] vier Dimensionen betrachtet werden:

- Welches Wissen soll mit der MR-Anwendung vermittelt werden?
- Welche Schritte werden zur Lösung eingesetzt?
- In welchem Format werden die Aufgaben dargestellt?
- Welcher Grad an Interaktivität wird realisiert?

### 3.3.2. Feedback

Eng mit den Aufgaben verbunden ist das Feedback an Lernende. Dieses ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für jegliche Lernprozesse. Rückmeldungen an Lernende können sich hinsichtlich Inhalt

und Feedbackquellen unterscheiden. Im inhaltlichen Bereich können Rückmeldungen zur Aufgabenlösung, zum Vorgehen bei der Lösung oder eine allgemeine Einschätzung von Kompetenzen gegeben werden (vgl. [16]). Feedbackquellen können extern sein, beispielsweise durch andere Mitlernende oder Lehrende oder intern sein. Dies sind beispielsweise Informationen, die sich während der Bearbeitung einer Aufgabe entwickeln (vgl. [50]). Feedback kann elaboriert und informativ oder kurz und prägnant, ohne weiterführende Hilfestellungen, sein [16]. Elaboriertes Feedback soll Lernende bei der Entwicklung von Wissen und Kompetenzen unterstützen. Es sollen Fehler gefunden, Hindernisse überwunden und neue Strategien zur Problemlösung angeboten werden. Ein eher kurzes Feedback dient dann nur dazu festzustellen, ob Antworten richtig oder falsch sind und geben keine weiteren Hinweise (vgl. [50]). Eine weitere Möglichkeit für Feedback stellt die Nutzung eines pädagogischen Agenten dar. Bei diesem handelt es sich um einen virtuellen Charakter, der Lernende in der virtuellen Lernumgebung anleiten soll und als Unterstützer für die Lernprozesse dient. Pädagogische Agenten können für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, so können sie Informationen vermitteln, Erklärungen zu Sachverhalten liefern, Inhalte demonstrieren und Lernprozesse evaluieren sowie personalisieren (vgl. [44], S.98-99). Fehlen die Rückmeldungen, entwickelt sich der Lernprozess zu einem unkontrollierten Vorgehen, was die Gefahr eines geringeren Lernerfolgs erhöht sowie den Aufbau von Fehlkonzepten begünstigt [49]. Konzepte für den Mixed Reality-Einsatz müssen daher Hilfestellungen und Rückmeldungen bieten, um dies zu verhindern.

### 3.3.3. Interaktivität

Von besonderer Wichtigkeit ist außerdem die Interaktivität im Rahmen der Aufgaben in der virtuellen Welt. Dabei können verschiedene Arten von virtuellen Welten unterschieden werden. Trainingswelten dienen zur Ausbildung von handlungsbezogenen Fertigkeiten [49]. Es werden prozedurales Wissen, also das Wissen über Handlungsabläufe, sowie psychomotorische Fähigkeiten entwickelt [33]. Trainingswelten sind vor allem dann sinnvoll, wenn Handlungen geübt werden sollen, die in der Realität nur schwer umsetzbar oder mit hohen Kosten verbunden sind. Das Lernverhalten in diesen Welten ist weniger selbstgesteuert und abhängig von Aufgabenstellungen und Vorgaben des Lehrenden (vgl. [49]). Bei Explorationswelten stehen Verstehensprozesse im Vordergrund. Sie sollen Lernprozesse für Lernende flexibel und begehbar machen und ihnen freie Möglichkeiten in Bezug auf Tempo und Betrachtung von Objekten ermöglichen. Außerdem können so Gegenstandsbereiche korrekt erfasst, eigenständig erkundet und aus unterschiedlichen räumlichen Winkeln betrachtet werden (vgl. [49]). Beim Lernen handelt es sich um ein spielerisches und selbstgesteuertes Erkunden zum Erwerb deklarativen Wissens, es dient also dem Aufbau von Sachwissen [33]. Experimentalwelten zielen auf das Verständnis von komplexen Mechanismen eines Phänomens ab. Lernenden können in der virtuellen Welt herrschende Gesetzmäßigkeiten und Eigenschaften von Objekten selbst festlegen und daraus resultierende Konsequenzen erleben (vgl. [49]). Damit können Hypothesen be- oder widerlegt und Kausalzusammenhänge festgestellt werden [33]. Konstruktionswelten werden eingesetzt, um eigenständig virtuelle Objekte oder ganze virtuelle Welten zu erstellen. Damit soll der Erwerb mentaler Modelle über komplexe Sachverhalte angeregt werden (vgl. [49]).

In Bezug auf die Interaktivität ist zudem auch die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Mensch und System zu beachten. In Mixed Reality-Umgebungen können zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten wie Gesten oder Sprache eingesetzt werden, um den Lernprozess zu unterstützen (vgl. [16]).

## 4. Konzepte zur Reduktion von Zugangsbarrieren

In den vorangegangenen Kapiteln sind die Mixed Reality-Technologie und die Rahmenbedingungen für ihren Einsatz näher erläutert worden. Im Folgenden werden nun konkrete Konzepte für den Einsatz der HoloLens im Rahmen der beschriebenen Lehrveranstaltung zur Verringerung von Zugangsbarrieren vorgestellt. Vor allem Studierende in den Anfangssemestern haben verschiedenste Schwierigkeiten zu bewältigen. Um diesen eine ausreichende Unterstützung zu bieten und Probleme effektiv abzubauen, können Technologien einen neuen Ansatz darstellen. Aber auch die Einführung dieser bringt einige Herausforderungen mit sich. Im Folgenden werden daher Vorschläge beschrieben, die zum einen den individuellen Problemen von Studienanfängern und Studienanfängerinnen entgegenwirken und zum anderen auch Ratschläge zum Einsatz von Mixed Reality-Anwendungen geben.

### 4.1. Sprachliche Barrieren

Im Wintersemester 2020/2021 sind 502 Studierende im Fach Elektro- und Informationstechnik eingeschrieben. Dazu gehören 239 ausländische Studierende, was einem Anteil von rund 48% entspricht (vgl. [23]). Es ist davon auszugehen, dass ein Teil dieser Gruppe sich im ersten Semester befindet, also an der vorher beschriebenen Lehrveranstaltung teilnimmt und eventuell sprachliche Probleme in diese mitbringt.

Viele dieser ausländischen Studierenden haben vor allem Schwierigkeiten beim Lesen und Verstehen von langen, deutschen Texten, wodurch sich auch Verständnisschwierigkeiten bei den fachlichen Inhalten entwickeln können. Unbekannte Fachwörter und generelle Unverständlichkeit in den Übungsblättern können die Mitarbeit der betroffenen Studierenden erschweren und die Effizienz bei der Bearbeitung der Aufgaben im Rahmen der Lehrveranstaltung verringern. Mit Hilfe der HoloLens 2 und der Mixed Reality-Technologie können diese Probleme ohne großen Aufwand reduziert werden, indem dynamische Übersetzungen in reiner Textform, in Kombination von Audio und Text oder durch das Einblenden unterstützender Piktogramme angeboten werden.

#### 4.1.1. Textliche Übersetzung

Die erste Möglichkeit stellt das Generieren einer textlichen Übersetzung in eine andere Sprache dar. Im MR-Lab öffnet sich momentan nach Auswählen einer Aufgabe ein virtuelles Textfeld, in dem die Aufgabenstellung auf deutscher Sprache vorgestellt wird. Zusätzlich wird an der Seite

ein Menü eingeblendet, das zum Scannen der aufgebauten Schaltung dient. In dieses Menü kann ein weiterer Button integriert werden, sodass die Studierenden anhand diesem zwischen Audio- und Textübersetzung wählen können.

Ein Szenario für den Einsatz wird im Folgenden beschrieben. Der oder die betroffene Studierende betrachtet das Übungsblatt und stellt Verständnisschwierigkeiten fest, möglicherweise sind die deutschen Fachbegriffe nicht bekannt und daher kann die Aufgabe nicht richtig bearbeitet werden. Es kann dann die HoloLens 2 sowie das MR-Lab zur Unterstützung hinzugezogen werden. Dazu wird im MR-Lab die jeweilige Aufgabe ausgewählt, die Probleme bereitet und im Menü wird zwischen den verschiedenen Optionen gewählt. Wählt der oder die Studierende die Textform, wird anstatt der deutschen Aufgabenstellung ein neues virtuelles Textfeld mit der übersetzten Aufgabe in englischer Sprache angezeigt. Der oder die Studierende kann die übersetzte Aufgabe an verschiedenen Stellen in der Mixed Reality platzieren, lesen und dann die Aufgabe bearbeiten.

Wichtig ist bei diesem Konzept, dass mit dem virtuellen Text interagiert werden soll. Die Studierenden sollen die Möglichkeit haben den Text variabel zu verschieben und an verschiedenen Orten in der realen Welt zu platzieren. Dies soll möglich sein, da nicht alle Aufgaben auch in der Mixed Reality Anwendung bearbeitet werden, aber für alle Übersetzungen zur Verfügung stehen sollen, da Verständnisschwierigkeiten überall möglich sind. So könnte der virtuelle Text neben oder über das reale Übungsblatt abgelegt werden, um die Arbeit oder das Lesen zu erleichtern. Durch das Overlay des virtuellen Texts über der realen Welt, bleibt der Bezug zum Übungsblatt bestehen. Die Studierenden lösen sich nicht komplett von diesem, sodass das Verständnis der deutschen Sprache verbessert wird, da Original- und übersetzter Text gleichzeitig und nebeneinander wahrgenommen werden.

Möglich ist auch, nicht den gesamten Text zu übersetzen, sondern nur einzelne wichtige Schlüsselwörter. Dafür eignen sich beispielsweise die relevanten elektrotechnischen Fachbegriffe. Das Szenario gestaltet sich wie zuvor, der oder die Studierende kann jedoch nach Auswahl der Textoption zwischen englischer bzw. deutsch-englischer Übersetzung entscheiden. Bei letzterem wird der virtuelle Aufgabentext präsentiert, wobei hinter den deutschen Fachbegriffen in Klammern die englischen zu sehen sind. Damit können die Studierenden zum einen die Aufgaben verstehen und bearbeiten und zum anderen wird die deutsche Sprache erlernt, da die Übersetzung der wichtigsten Begriffe direkt zusammen dargestellt wird. Auch für nicht ausländische Studierende kann diese Methode eingesetzt werden, um die englische Fachsprache zu lernen oder fördern.

#### **4.1.2. Textliche Übersetzung unterstützt durch Audio**

Aufbauend auf das vorherige Konzept kann die textliche Übersetzung durch eine Audiofunktion unterstützt werden. Der Ablauf für eine Kombination aus Text und Ton gestaltet sich ähnlich wie zuvor. Nach Auswahl der Aufgabe wählt der oder die Studierende im Menü nun statt der Textübersetzung die Audioform aus. Es erscheint erneut ein virtuelles Textfeld in englischer Sprache und zusätzlich eine Audiobleiste, über die die Aufgabenstellung vorgelesen wird. Der oder die Studierende hat zudem die Möglichkeit mit dieser zu interagieren und kann dann die Aufgabe bearbeiten. An dieser Stelle sollen also über die Lautsprecher der HoloLens die Texte zusätzlich vorgelesen werden. Die Funktionalitäten für den Text, also das Verschieben und Platzieren an beliebigen Stellen, bleiben bestehen. Zudem soll mit der Audio interagiert

werden können. Studierende sollten die Möglichkeit erhalten sich die Texte erneut vor lesen zu lassen, die Geschwindigkeit anzupassen, das Audio zu stoppen, wieder zu starten und vor oder zurückzuspulen oder zu bestimmten Stellen zu springen. Durch Verbindung von realen, virtuellen und akustischem Text wird das Verständnis noch weiter gefördert und sprachliche Barrieren werden einfach und effektiv verringert. Für Dozierende ergibt sich so ein geringerer Betreuungsaufwand der Sprachprobleme und es ist eine stärkere Konzentration auf fachliche Probleme möglich.

### 4.1.3. Piktogramme

Eine weitere Möglichkeit die sprachliche Barriere zu reduzieren, ist der Einsatz von unterstützenden Piktogrammen. Diese sind einfache und verständliche Bilder, die einen Begriff aktivieren oder eine bestimmte Handlung auslösen sollen. Sie stellen dabei ein Wort oder eine Einzelaussage dar und haben immer eine bestimmte Bedeutung. Piktogramme lassen sich in unterschiedliche Kategorien unterteilen und erstrecken sich von abbildhaften zu abstrakten Darstellungen (vgl. [5]).

Transparente Piktogramme weisen die höchste Ikonizität, also den höchsten Grad der Übereinstimmung zwischen dem Piktogramm und dem Objekt, das es repräsentieren soll, auf. Dies liegt daran, dass sie eine offensichtliche Verbindung zu dem, was sie darstellen, besitzen, da sie über eine hohe Ähnlichkeit mit den Objekten oder Handlungen, die sie veranschaulichen, verfügen.

Die Bedeutung transluzenter Piktogramme ist nicht direkt erkennbar, es besteht jedoch eine leicht nachvollziehbare Verbindung zwischen dem Piktogramm und den Objekten und Handlungen, die durch sie visualisiert werden.

Bei abstrakten Piktogrammen besteht keine Verbindung zu dem Inhalt, den sie darstellen. Sie sind daher vollkommen willkürlich.

Piktogramme können auf unterschiedliche Arten eingesetzt werden. „Functional Symbols“ unterstützen einen Satz nur durch ein Piktogramm für ein einzelnes Wort. Möglich ist es auch alle wichtigen Schlüsselwörter eines Satzes zu visualisieren. Bei diesen „Keyword Symbols“ werden jedoch keine grammatischen Elemente betrachtet. Die umfangreichste Möglichkeit ist das Visualisieren jedes Wortes durch ein passendes Piktogramm, dies wird „Symbol reading“ genannt (vgl. [5]).



Abbildung 4.1.: Transparentes (Kopfhörer), transluzentes (groß-klein) und abstraktes (ist) Piktogramm [5]

Um sprachliche Barrieren in Bezug auf elektrotechnisches Fachwissen zu reduzieren, ist es zweckmäßig transparente Piktogramme einzusetzen. Diese sind zum einen für alle Studierenden leicht verständlich und zum anderen sind sie ein natürliches Element der Elektrotechnik, da sie auch bei der Darstellung von Schaltungen in Form von Schaltsymbolen genutzt werden.

Zudem sind „Keyword Symbols“ vergleichsweise einfach zu realisieren und stellen deshalb eine attraktive Möglichkeit dar. So werden also Sprachprobleme effektiv verringert und zudem noch weiteres fachliches Wissen erworben. Die Piktogramme können leicht in die vorher beschriebene Mixed Reality-Anwendung eingebunden werden. Eine erste Möglichkeit bietet sich schon im Aufgabenmenü. Dieses ist in Abbildung 4.2 dargestellt.



Abbildung 4.2.: Bisheriges Aufgabenmenü [52]

Statt der Symbole, die sich momentan links neben den Aufgabennamen befinden, können Schaltpläne einer Parallelschaltung und eines Spannungsteilers abgebildet werden. So wird direkt ersichtlich, um welche Aufgabe es sich handelt. Bei den konkreten Aufgabenstellungen können zusätzliche Symbole zur Unterstützung eingeblendet werden. Folgende (abgeänderte) Aufgabe wird in der Lehrveranstaltung eingesetzt:

*Bauen Sie zunächst eine Reihenschaltung auf. Verwenden Sie dabei **zwei identische Lämpchen** und eine **Batterie**. **Beantworten Sie schriftlich** folgende Frage: Ist die **Helligkeit** der beiden Lämpchen annähernd **identisch**? Was bedeutet dies für den **elektrischen Strom**, der durch die einzelnen Lämpchen fließt, und die **elektrische Spannung**, welche an den einzelnen Lämpchen anliegt?*

Diese Aufgabe kann mit Hilfe der HoloLens und dem MR-Lab virtuell betrachtet werden. Über den fett gedruckten Begriffen können dann passende Piktogramme abgebildet werden. Beispielsweise einen Stift, der die schriftliche Antwort verdeutlichen soll oder zwei leuchtende Lampen, zwischen denen sich ein Gleichheitszeichen befindet, um zu zeigen, dass diese identisch sein sollen. Für elektrotechnische Begriffe wie Lampen, Batterien, Strom und Spannung können die jeweils korrekten Schaltzeichen eingeblendet werden. So wird zusätzlich das Verstehen dieser und auch das Textverständnis gefördert.

## 4.2. Physische Barrieren

Die Mixed Reality-Technologie kann jedoch nicht nur bei sprachlichen Barrieren eingesetzt werden. Möglich ist der Einsatz auch bei Studierenden, die nicht selbst vor Ort an der Lehrveranstaltung teilnehmen können. Vor allem im Bereich der Onlinelehre lohnt sich der Einsatz. So können die realen Tätigkeiten innerhalb der Lehrveranstaltung in die virtuelle Welt übertragen werden. Dabei wird dann nicht, wie so oft nur auf eine Simulation der Sachverhalte zurückgegriffen, sondern das Ziel ist es möglichst originalgetreue Handlungen zu realisieren.

### 4.2.1. Halbvirtuelles Labor

Eine erste Möglichkeit ergibt sich durch den Einsatz des MR-Labs mit den Brick'R'Knowledge Bausteinen. Dafür müssen die Studierenden mit diesen sowie einer HoloLens 2 ausgestattet werden. Der allgemeine Lernprozess kann sich dann so gestalten, dass die Studierenden sich zu Hause befinden und ein Übungsblatt zur Bearbeitung vor sich haben. Sie setzen dann die HoloLens 2 auf, starten das MR-Lab und wählen die jeweilige Aufgabe, die sie bearbeiten wollen. Danach können sie mit Hilfe der Brick'R'Knowledge Bausteine eine reale Schaltung aufbauen, die durch die HoloLens eingescannt wird, sodass im MR-Lab ein virtuelles Abbild der Schaltung erscheint. Mit diesem kann gearbeitet werden und zusätzlich können die Studierenden eine virtuelle Videokonferenz starten, um mit ihren Gruppenmitgliedern zusammenzuarbeiten. Vorteil dieses Konzeptes ist, dass die Studierenden nicht komplett auf virtuelle Schaltungen zurückgreifen müssen, sondern sie zunächst eine reale aufbauen können. Dies fördert den Umgang mit Schaltungen und wichtigen Bauteilen, was ein grundlegendes Prinzip der Elektrotechnik ist. Weiterhin benötigen die Studierenden keine weiteren Geräte außer der HoloLens 2. Messungen können direkt und ohne großen Aufwand in der virtuellen Welt durchgeführt werden. Außerdem kann auch eine Zusammenarbeit mit anderen realisiert werden, was der echten Lehrveranstaltung nachempfunden ist. Dabei sind die anderen nicht nur passive Zuschauer, sondern können auch aktiv mit der virtuellen Schaltung interagieren. Dies wird in Abschnitt 4.2.3 genauer erklärt. Die Aufgaben können also, auch ohne das Vor Ort Sein in der Universität, korrekt bearbeitet werden. Da die Studierenden von zu Hause arbeiten und der Kontakt zum Lehrenden ggf. erschwert ist, soll zudem ein Hinweismenü integriert werden, das den Studierenden bei der Bearbeitung der Aufgaben hilft. Dieses soll optional wählbar und mehrere Hilfen enthalten, die aufeinander aufbauen und sie schrittweise zur Lösung der Aufgaben führen. Dieses kann zum Beispiel im Handmenü des MR-Labs eingebunden werden.

### 4.2.2. Virtuelles Labor

Das vorherige Konzept kann zudem so weiterentwickelt werden, dass eine komplett virtuelle Schaltung zur Bearbeitung der Aufgaben genutzt wird. Dabei befinden sich die Studierenden zum Beispiel wieder zu Hause und verfügen über eine HoloLens. Sie können dann im MR-Lab eine Aufgabe wählen, wodurch sich neben dem Aufgabentext ein virtueller Baukasten öffnet, welcher die Materialien enthält, die für die Bearbeitung benötigt werden. Die Studierenden können aus diesem Bauteile auswählen, mit ihnen Schaltungen aufbauen und zusätzlich erneut eine virtuelle Videokonferenz starten. Auch bei diesem Konzept spielt die Interaktivität eine große Rolle. Studierende sollen zunächst selbstständig zwischen den Aufgaben wählen und wechseln können. Beim virtuellen Baukasten ist wichtig, dass selbst Bauteile ausgewählt werden können, damit ein gewisses Realitätsgefühl entsteht. So sollen nicht schon bestimmte Teile vorgegeben werden, die nur noch zusammengefügt werden müssen. Zusätzlich sollen sich diese Bauteile, durch den Einsatz von Gesten, in der virtuellen Welt überall platzieren und miteinander verbinden lassen. So können Studierende dann zum Beispiel eine virtuelle Schaltung auf ihrem eigenen Schreibtisch aufbauen und betrachten. Weiterhin sollen an den Bauteilen Einstellungen vorgenommen werden können, beispielsweise das Festlegen der charakteristischen Eigenschaften dieser. Die Interaktionen mit den Bauteilen sollen so real wie möglich sein. Auf bestimmte Aktionen sollen Reaktionen folgen, die auch in der Realität auftreten. Durch falsch

verbundene Kabel oder Bauteile soll auch der Stromfluss nicht richtig funktionieren, virtuelle Messgeräte, die falsch angeschlossen werden, sollen Error-Meldungen anzeigen und falsch gewählte Parameter für Bauteile sollen zu virtuellen Kurzschlüssen führen. Unterstützung dieser Reaktionen wäre durch akustische Signale oder Animationen wie der Ausbruch eines kleinen Feuers möglich. Die betroffene Schwachstelle soll jedoch nicht sofort markiert werden, wie es oft bei Simulationen am Computer der Fall ist, sondern die Studierenden sollen, wie sonst auch, erst einmal versuchen selbst den Fehler zu finden. Durch das Integrieren eines Hinweismenüs können dann eigenständig Impulse ausgewählt werden, um die Fehlerquellen zu identifizieren. Diese Rolle übernehmen normalerweise Dozierende, was im Falle einer Onlinelehre aber nur schwer bis gar nicht möglich ist. Durch dieses Konzept können die Studierenden jedoch dennoch effektiv an den Aufgaben arbeiten, auch wenn Probleme auftreten. Insgesamt sollen die Studierende das Gefühl erhalten sie würden an und mit einer echten Schaltung experimentieren und sich nicht nur durch eine Simulation klicken.

### 4.2.3. Konzept für die Kommunikation

Die vorher beschriebenen Konzepte sehen beide die Möglichkeit vor, virtuelle Videokonferenzen zu starten, um die Zusammenarbeit zwischen den Studierenden zu fördern. Wichtig ist dabei, dass die Kommunikation möglichst natürlich stattfindet. Virtuelle Avatare oder Körper werden häufig nur unzureichend dargestellt oder bewegen sich unrealistisch [42]. Dies würde zu Ablenkungen führen und den Lernprozess negativ beeinflussen. Daher sollte auf diese verzichtet werden. Stattdessen soll es möglich sein, wie auf dem Computer, ein zweites Fenster zu öffnen, in dem die Konferenz stattfindet.



Abbildung 4.3.: Videokonferenz mit der HoloLens [32]

Abbildung 4.3 zeigt wie so eine virtuelle Konferenz aussehen kann. Mit der HoloLens 2 können außerdem Hologramme für verschiedene Benutzer geteilt werden. So kann einer der Studierenden eine virtuelle Schaltung bei sich aufbauen und diese dann mit seinen Gruppenmitgliedern teilen. Diese nutzen dann zu Hause selbst eine HoloLens 2 und können das Hologramm sehen sowie mit diesem interagieren. Möglich ist es dann auch Dozierende, die selbst über ein Gerät

verfügen, dazuzuschalten. Dadurch können sie eventuelle Probleme feststellen, Hilfestellungen leisten und Änderungen vornehmen, um die Studierenden bei der Bearbeitung zu unterstützen. Diese Funktion reduziert außerdem die Anzahl der notwendigen Brick'R'Knowledge Bausteine, wenn das erste Konzept verfolgt wird. Es ist dann ausreichend pro Gruppe nur einen Baustatz auszuteilen. Es kann immer jeweils ein Gruppenmitglied die Bausteine zum Aufbauen der Schaltung nutzen und dann nur noch das virtuelle Hologramm mit den anderen teilen. Weiterführende Messungen können gemeinsam an einer virtuellen Schaltung durchgeführt werden. Es ergeben sich für die Onlinelehre also neue Möglichkeiten, die in ihren Interaktionen weniger eingeschränkt sind als bisherige und der echten Lehrveranstaltung somit sehr nahe kommen.

#### 4.2.4. Konzept für die Interaktion

Der Erfolg der Konzepte für den Einsatz in der Onlinelehre hängt stark von den Interaktionen der Studierenden mit der Mixed Reality-Umgebung ab. Zwar ergeben sich neue Interaktionsformen wie der Einsatz von Gesten oder Sprachsteuerung. Es muss jedoch darauf geachtet werden, auf welche Weise Interaktionen eingesetzt werden. Sie müssen vor allem benutzerfreundlich und intuitiv sein, um die Bedienbarkeit nicht zu beeinflussen. Diese vermindert die Produktivität von Lernprozessen und Lernende verlieren viel Zeit, wenn sie zum Beispiel erst den richtigen Umgang mit der Technologie ausprobieren müssen [34]. Daher sollen die Anwendungen für die Verwendung in der Lehre vor allem natürlichen Interaktionen folgen. Denkbar sind einfache Handbewegungen, wie das Tippen mit einem Finger oder Fingerbewegungen zum Scrollen in Menüs. Diese Gesten sind echten nachempfunden und werden durch Studierende auch beim Bedienen von Alltagsgeräten eingesetzt, sodass diese jedem bekannt sind. Auf eine Steuerung durch Sprachkommandos soll verzichtet werden. Die HoloLens 2 verfügt zwar über diese Möglichkeit, jedoch führt dies zu einem zu keinem Mehrwert beim Lernprozess und zum anderen kann sich der Einsatz dann zu einer Art Technologieschulung entwickeln. Das eigentliche Ziel, also das Experimentieren mit elektrotechnischen Schaltungen, gerät in den Hintergrund. Daher sollen bei den Aufgabenstellungen auch keine Texteingaben durch die Hände verwendet werden. Diese brauchen zu viel Zeit und bieten keinen Vorteil zu klassischen Mitschriften auf Papier. Die Interaktion soll nur durch die Hände der Studierenden erfolgen. Zu beachten ist dabei, dass auf Aktionen eine bestimmte Reaktion folgen muss. Fehlendes haptisches Feedback kann hinderlich sein [42], ersetzt werden kann dieses beispielsweise durch Töne, die eingespielt werden, wenn Bauteile zusammengesetzt oder virtuelle Messgeräte angeschlossen werden.

### 4.3. Technische Barrieren

Die Mixed Reality-Technologie stellt eine junge technische Innovation dar. Sie ist daher noch nicht weit verbreitet und nur wenige bis gar keine Studierende der Zielgruppe werden schon in Kontakt mit ihr gekommen sein. Der effektive Einsatz von Mixed Reality-Anwendungen kann daher auch durch technische Barrieren, die sich erst im Umgang mit der Anwendung ergeben, verringert werden. Bedienungsschwierigkeiten stellen in Bezug auf Lernprozesse ein großes Problem dar. Kann nicht korrekt mit den Anwendungen und Systemen umgegangen werden, kann es zu Frustrationen auf Seiten der Studierenden kommen [22]. Aufgaben werden dann abgebrochen oder nur oberflächlich bearbeitet. Außerdem müssen Lernende beim Einsatz von neuen

Technologien zeitgleich mehrere Kompetenzen erwerben: Den Umgang mit dem neuen System und das Lösen von Problemen [28]. Dies gilt es zu verhindern. Dafür eignen sich insbesondere das wiederholte Einblenden von Hinweisen und Hilfestellungen während der Bearbeitung sowie ein einführendes Tutorial, das vor der Durchführung von komplexeren Aufgaben in der Mixed Reality-Umgebung von allen Studierenden durchgeführt werden soll.

### 4.3.1. Reduktion durch ein einführendes Tutorial

Das MR-Lab verfügt dabei bereits über ein interaktives Tutorial. Die Studierenden lernen beim Durchlaufen alle wichtigen Funktionen der Anwendung kennen. Diese werden durch Texte und Animationen erklärt und dann selbstständig ausprobiert. Das Tutorial läuft wie folgt ab (vgl. [52]):

1. Die Studierenden lernen zunächst wie sie das Handmenü öffnen können. Zum besseren Verständnis zeigt eine virtuelle Hand wie dies geschieht.
2. Als nächstes wird gezeigt wie die Aufgabenauswahl erfolgt. Studierende lernen das Scrollen und Auswählen durch Handgesten.
3. Danach soll eine Beispielschaltung aus vier Bricks, wobei einer eine Kapazität oder einen Widerstand darstellt, aufgebaut werden. Die Durchführung wird erneut animiert.
4. Die Schaltung soll dann gescannt werden. Zudem wird das Einstellungsmenü für die Kalibrierung der Lichtparameter angezeigt.
5. Den Studierenden wird anschließend erklärt, dass Schaltungen unvollständige Bauteile enthalten können, bei denen erst noch charakteristische Werte ausgewählt werden müssen. Diese sind gelb markiert. Die Studierenden sollen dann einen Wert für die Kapazität oder den Widerstand auswählen.
6. Als letztes wird das Ergebnis der virtuellen Schaltung präsentiert.

Das Tutorial ist bereits gut geeignet, um es im Rahmen der Lehrveranstaltung einzusetzen. Es zeigt alle grundlegenden Funktionen auf anschauliche und interaktive Weise, sodass die Studierenden schnell und einfach den Umgang mit der Anwendung lernen können. Es sollte daher von den Studierenden unbedingt vor der ersten Bearbeitung der Aufgaben durchgeführt werden.

### 4.3.2. Reduktion durch den Einsatz eines pädagogischen Agenten

Eine alternative Möglichkeit für ein Tutorial stellt die Nutzung eines pädagogischen Agenten dar. Dieser wurde bereits im Abschnitt 3.3.2. näher erläutert. Ein pädagogischer Agent kann in einer Mixed Reality-Anwendung zum Beispiel als virtueller Führer agieren, der den Studierenden die Funktionsweise und den Umgang mit ihr erläutert. Möglich ist es, dass dieser nach dem Start der Anwendung zum ersten Mal in Erscheinung tritt und den Nutzenden zunächst das Menü erklärt, indem er auf die verschiedenen Optionen zeigt und erklärt, wofür diese stehen. Danach kann durch die Studierenden eine Option gewählt werden, zum Beispiel

das Tutorial. Dieses erklärt die wichtigsten Funktionen dann nicht mehr durch Text und Animationen, sondern wird vom virtuellen Charakter übernommen. Dazu kann er zum Beispiel die Anweisungstexte in Sprechblasen darstellen, gleichzeitig vorlesen und die Handlungen, die im Rahmen der Anwendung möglich sind selbst durchführen und die Studierenden zur Nachahmung animieren. Der Ablauf ist derselbe sein wie beim bereits existierenden Tutorial. Der einzige Unterschied ist, dass die Studierenden so das Gefühl bekommen mit einer echten Person zu interagieren. Auch bei dieser Methode handelt es sich um eine interaktive und anschauliche Erklärung der grundlegenden Funktionen, um technischen Schwierigkeiten entgegenzuwirken. Zusätzlich lässt sich die Motivation der Studierenden steigern, da der virtuelle Charakter einen hilfreichen Begleiter darstellt.

### 4.3.3. Reduktion durch unterstützende Bedienungsanweisungen

Durch das einführende Tutorial werden die größten technischen Barrieren reduziert, indem vor der Benutzung zunächst die wichtigsten Funktionen kennengelernt werden. Jedoch kann es immer möglich sein, dass Studierende während der Bearbeitung von Aufgaben Funktionen vergessen oder nicht mehr wissen wie diese ausgeführt werden und so nicht weiter arbeiten können. Damit der Arbeitsprozess aber nicht jedes Mal unterbrochen werden muss, um das Tutorial erneut durchzuführen, können Bedienungsanweisungen in das Handmenü integriert werden. Zur Zeit ermöglicht dieses nur die Rückkehr zum Hauptmenü und das neu Scannen von Bausteinen. Daher kann ein weiterer Button für Hilfestellungen implementiert werden. Durch drücken des Buttons sollen den Studierenden kurze Hinweise für den Umgang mit der Anwendung erläutert werden. Diese sollen nur in Textform angeboten werden, da sie zur schnellen Wiederholung dienen. Möglich wäre eine Liste, aus der die wichtigsten Funktionen, die erneut erklärt werden sollen, ausgewählt werden können. So können die Studierenden sich schnell den Umgang in Erinnerung rufen und ihre Aufgaben ohne große Verzögerung weiter bearbeiten. An dieser Stelle kann auch wieder der pädagogische Agent in Erscheinung treten und die Funktionen kurz noch einmal erklären. Wichtig ist dann, dass er durch die Studierenden selbstständig zur Hilfe gerufen werden kann, aber nicht dauerhaft zu sehen sein soll, da dies von der Arbeit ablenken kann. Das heißt auch hier ist ein zusätzlicher Button hilfreich.

### 4.3.4. Motion Sickness

Ein Effekt, der häufig mit Virtual Reality in Verbindung gebracht wird, ist Motion Sickness. Dieses Schwindel- oder Übelkeitsgefühl entsteht, wenn Informationen verschiedener Sinne nicht übereinstimmen. Dies passiert zum Beispiel, wenn die Augen und das Innenohr unterschiedliche Wahrnehmungen an das Gehirn senden, wodurch dieses verwirrt wird (vgl. [19]). Da sich die HoloLens 2 virtuellen Aspekten bedient, kann dieser Effekt also auch beim Einsatz auftreten. Beim Lernen ist das problematisch, da die Studierenden dann erst einmal nicht weiterarbeiten können und sich erholen müssen. Damit dies nicht passiert, soll der Einsatz nicht über einen längeren Zeitraum erfolgen bzw. sollen Pausen eingehalten werden, in der die HoloLens 2 nicht verwendet wird. Erreicht werden kann dies, indem die verwendeten Aufgaben nicht nur auf die Mixed Reality-Technologie setzen. Beispielsweise können zunächst Arbeitsblätter verteilt werden, auf der die Aufgaben zu sehen sind. Die Schaltungen können mit Hilfe der Bricks auch

zu erst ohne das Aufsetzen einer HoloLens 2 aufgebaut werden. Erst danach kann das MR-Lab verwendet werden, um sich Ströme visualisieren zu lassen und Mixed Reality-Aufgaben zu bearbeiten. Danach können Erkenntnisse wieder in der Realität notiert werden, sodass die Brille wieder zur Seite gelegt werden kann. Es sollen also Phasen des virtuellen und realen Lernens eingebaut werden zwischen denen gewechselt wird, um der Motion Sickness entgegenzuwirken.

## 4.4. Kognitive Barrieren

Ein großes Problem, das häufig beim Erwerb von Wissen beobachtet werden kann, ist die kognitive Belastung bei Lernenden. Diese kommt dadurch zustande, dass das menschliche Arbeitsgedächtnis nur eine begrenzte Verarbeitungskapazität besitzt (vgl. [15], S.470). Diese muss bei der Gestaltung von Lernumgebungen berücksichtigt werden, um die Belastung so gering wie möglich zu halten. Die kognitive Belastung lässt sich dabei in drei Kategorien unterteilen.

Die „intrinsic cognitive load“ hängt von der Komplexität von Informationen und Materialien, die verstanden werden müssen, ab [21]. Zudem hängt sie stark mit der Element-Interaktivität zusammen. Wenn ein Sachverhalt aus vielen miteinander vernetzten Begriffen besteht, muss ein Lernender alle Begriffe kennen und zusätzlich ihre Beziehungen verstehen, wodurch die intrinsische Belastung erhöht wird (vgl. [17], S.37).

Die „extraneous cognitive load“ beschreibt Belastungen, die auf sachfremde Aspekte zurückzuführen sind [15]. Sie bezieht sich auf die Gestaltung von Lernumgebungen [21] und wird hoch, wenn Lernende zum Beispiel in Gleichungen mit ungewohnten Notationen konfrontiert werden, da dann Symbolik und Inhalte gleichzeitig verstanden werden müssen [15].

Das Zusammenspiel aus intrinsischer und extrinsischer Belastung bildet die „germane cognitive load“. Eine reduzierte extrinsische Belastung lässt mehr Ressourcen für die intrinsische und andersherum lässt eine erhöhte extrinsische Belastung weniger Kapazitäten für die intrinsische (vgl. [17], S.38). Wichtig ist es also genügend Kapazitäten für die Lernsituationen zur Verfügung zu stellen und die Belastung nicht durch schlecht gestaltete Materialien zu erhöhen.

Mit Hilfe neuer Technologien wie der Mixed Reality können kognitive Belastungen von Lernenden jedoch reduziert werden. Im Folgenden werden daher einige Konzepte beschrieben, die dieses Ziel verfolgen, um Lernprozesse noch effektiver zu gestalten.

### 4.4.1. Reduktion der geteilten Aufmerksamkeit

Die kognitive Belastung wird häufig durch den „split-attention effect“ erhöht. Dieser kommt dadurch zustande, dass Lernende sich beim Durcharbeiten von Lernmaterialien gleichzeitig auf mehrere unterschiedliche Quellen konzentrieren müssen. Die Belastung lässt sich jedoch reduzieren, wenn die Informationsquellen ineinander integriert werden (vgl. [15], S.471). Dies lässt sich in einer Mixed Reality Umgebung leicht realisieren.

Wichtige Informationen, die in der virtuellen Welt zur Verfügung gestellt werden, müssen direkt an der Stelle eingeblendet werden, an der sie auch benötigt werden. Folgende Vorschläge sollten eingehalten werden:

- Wichtige Messwerte sollen direkt an oder über den entsprechenden Bauteilen eingeblendet werden.
- Unterstützende Beschriftungen wie Bauteilbezeichnungen oder Standardwerte sollen direkt an den Bauteilen stehen und nicht gesondert dargestellt werden.
- Hinweise oder Hilfestellungen zur Bearbeitung müssen an der entsprechenden Stelle eingeblendet werden. Haben die Studierenden eine Schaltung beispielsweise nicht korrekt aufgebaut und lassen sich zur Fehlerbehebung einen Hinweis anzeigen, soll dieser direkt an der relevanten Stelle stehen und nicht erst gesucht werden.
- Verschiedene Darstellungsformen sollen sich direkt aufeinander beziehen. Werden unterstützende Visualisierungsformen genutzt, dürfen diese nicht isoliert für sich stehen, sondern müssen eine Verbindung zu dem, was sie veranschaulichen, aufweisen.
- Auf isolierte Informationsquellen wie Tabellen oder Texte ohne Bezug soll nach Möglichkeit verzichtet bzw. sollen diese sparsam eingesetzt werden.

Ist die Aufgabe der Studierenden beispielsweise das Messen von Strömen oder Widerständen in einer Schaltung, müssen diese auch an den entsprechenden Bauteilen angezeigt werden. So werden die beiden Informationsquellen, nämlich Körper und ihr zugehöriger Messwert, direkt zusammen erfasst und können leichter für weiterführende Berechnungen abgelesen werden. Hinderlich kann das Einfügen einer Messwerttabelle in der virtuellen Umgebung sein. Die Studierenden müssen ihre Aufmerksamkeit immer zwischen Tabelle und Schaltung aufteilen und sich die Werte für das jeweilige Bauteil erst zusammensuchen. Das erhöht die kognitive Belastung und reduziert die Effektivität des Lernprozesses. Bei einfachen Messungen soll daher auf diese verzichtet werden. In anderen Kontexten kann es jedoch sinnvoll sein Tabellen einzufügen, vor allem wenn verschiedene Werte gleichzeitig gemessen werden sollen wie beispielsweise beim Aufnehmen von Kennlinien. Diese Tabellen sollen ausblendbar sein, damit sie nur bei Bedarf betrachtet werden und nicht dauerhaft zu sehen sind. Ein Bezug kann zudem hergestellt werden, wenn neben der Tabelle auch das entsprechende Diagramm eingeblendet wird. Somit werden Werte und Graphen gleichzeitig wahrgenommen und die Bedeutung der Tabelle wird direkt ersichtlich. Hilfestellungen oder Hinweise sollen daher an den entsprechenden Stellen eingeblendet werden und nicht getrennt neben der Schaltung stehen, da auch hier die Aufmerksamkeit wieder geteilt werden muss. Zudem kamen Studien, die sich mit dem Einsatz von virtuellen Lernumgebungen beschäftigt haben, zu dem Schluss, dass diese die Belastung erhöhen, wenn Lernende sich zu stark von den virtuellen Informationen ablenken lassen und ihre eigentliche Aufgabe vernachlässigen [22]. Dies geschieht insbesondere dann, wenn die Informationen, die den Lernenden angeboten werden, isoliert für sich stehen und keinen Bezug zu dem, was sie erklären sollen, herstellen. Das muss verhindert werden und gelingt, wenn die angebotenen virtuellen Informationen nicht die gesamte Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Sie müssen den Lernenden als Zusatz angeboten und nicht als wichtigste Lernquelle. Eine zusätzlicher Text zieht sofort die gesamte Aufmerksamkeit auf sich, wohingegen kleine Einblendungen von Werten über Bauteilen zusammen aufgenommen werden und nicht von der eigentlichen Aufgabe ablenken. Daher eignen sich die vorher beschriebenen Vorschläge, da diese virtuelle Informationen nur als Zusatz zu den eigentlichen Informationen anbieten.

### 4.4.2. Reduktion der Element-Interaktivität

In weiteren Studien wurde zudem beschrieben, dass ein Virtual und Augmented Reality Einsatz die kognitive Belastung dadurch erhöhen, dass Aufgaben zu komplex und umfangreich erscheinen [22]. Dies beruht vor allem auf dem „element-interactivity effect“, der auftritt, wenn Inhalte zu stark voneinander abhängen. Abhilfe kann man schaffen, indem Aufgaben in Sequenzen eingeteilt werden. Anstatt Lernenden eine große fertige Lernsequenz anzubieten, sollte diese in kleinere Abschnitte unterteilt werden, die durch die Lernenden selbständig gewählt und gesteuert werden können [45]. Wichtig ist also eine Interaktivität mit den Aufgaben, was sich leicht in einer Mixed Reality-Lernumgebung umsetzen lässt. Komplexere Aufgabe, die mehrere Unterfragen enthalten, sollen nicht als komplette Aufgabe präsentiert werden, sondern Schritt für Schritt abgearbeitet werden. Dabei soll es möglich sein, selbst zu bestimmen, wann die nächsten Fragen bearbeitet werden und auch Rücksprünge zu vorherigen Fragen sollen möglich sein. Das Prinzip wird im Folgenden an einer bestehenden Aufgabe näher erläutert:

*Bauen Sie zunächst eine Reihenschaltung auf. Verwenden Sie dabei zwei identische Lämpchen und eine Batterie. Beantworten Sie schriftlich folgende Fragen:*

- a) Ist die Helligkeit der beiden Lämpchen annähernd identisch? Was bedeutet dies für den elektrischen Strom, der durch die einzelnen Lämpchen fließt, und die elektrische Spannung, welche an den einzelnen Lämpchen anliegt?*
- b) Erwarten Sie eine Änderung der Helligkeit, wenn Sie die beiden Lämpchen vertauschen? Überprüfen Sie Ihre Antwort und begründen anschließend die Ergebnisse.*
- c) Sind leichte Unterschiede bzgl. der Helligkeit der Lämpchen beobachtbar? Begründen Sie diese Unterschiede, wenn sie feststellbar sind.*

Wird diese Aufgabe in einer Mixed Reality-Anwendung wie dem MR-Lab implementiert, soll bei der Auswahl dieser, nicht sofort der gesamte Aufgabentext dargestellt werden. Stattdessen soll den Studierenden erst der einführende Satz präsentiert werden. Dann erhalten sie die Möglichkeit die Reihenschaltung aufzubauen und erst einmal selbst zu untersuchen ohne auf einen bestimmten Weg gelenkt zu werden. Danach sollen sie zum Beispiel über einen Weiter-Button zur Frage a) springen können, sodass dann ihr Aufgabentext erscheint. Haben sie auch diese bearbeitet, können sie entweder zu Frage b) übergehen oder noch einmal einen Schritt zurück. Vorteil dieser Sequenzierung ist, dass die Studierenden nicht mit einem großen Textblock konfrontiert werden, der zu komplex erscheinen kann und möglicherweise auch ablenkend wirkt. Stattdessen können sie sich schrittweise vorarbeiten, ihr eigenes Tempo wählen und die Aufgabe wird kompakt präsentiert, sodass sie nicht zu umfangreich erscheint. Das Abarbeiten kleinerer Fragen kann zudem die Motivation erhöhen, da einem der bisherige Fortschritt direkt vor Augen geführt wird. Werden außerdem zum besseren Verständnis Animationen von Sachverhalten eingebunden, sollen auch diese selbst steuerbar sein. Anstatt sie automatisch durchlaufen zu lassen, soll es möglich sein sich einzelne Schritte mehrmals anzugucken, zurück zu vorherigen zu springen oder den nächsten zu wählen.

### 4.4.3. Reduktion der Lerndifferenzen

Eine große Herausforderung, die bei jeglichen Lernprozessen eine große Rolle spielt, ist das unterschiedliche Vorwissen der Lernenden. So haben einige bereits umfangreiche Kompetenzen,

währenddessen andere noch große Verständnisschwierigkeiten aufweisen. Vor allem Studierende unterscheiden sich häufig sehr stark in ihrem Kenntnisstand, da sie ihre Abschlüsse an verschiedenen Schulen oder auch in anderen Bundesländern oder im Ausland erworben haben, in denen die Bildung sich anders gestalten kann. Mit Hilfe der Mixed Reality kann differenziert auf die unterschiedlichen Voraussetzungen der Studierenden reagiert werden.

Für leistungsschwächere Studierenden ist das Einblenden von Hinweisen oder Hilfestellungen während der Aufgabenbearbeitung möglich. Wichtig ist dabei, dass diese nicht dauerhaft angezeigt werden, da diese zum einen zu Ablenkungen führen und zum anderen für leistungsstärkere eine redundante Information darstellen können. Daher sollen diese Hinweise optional sein und selbst ausgewählt werden. Wird beispielsweise das MR-Lab genutzt, kann im Handmenü ein weiterer Button eingefügt werden, mit dem Tipps dargestellt werden. Dieses Option kann im Sinne von gestuften Lernhilfen entwickelt werden. Dabei sollen die Hinweise also im Grad ihrer Hilfe zunehmen. Ein erster Hinweis kann dann eher allgemeiner gestaltet sein und nur einen Denkanstoß geben, wobei der letzte einen vollständigen Lösungsweg darstellen kann. Damit können die Studierenden dann vollkommen eigenständig arbeiten und die Aufgaben an ihr eigenes Wissensniveau anpassen.

Aber auch eine Anpassung an leistungsstärkere Studierende ist möglich. Neben den Hinweisen können im Handmenü des MR-Labs zudem optionale Extraaufgaben realisiert werden. Auch diese sollen selbstständig wählbar sein, damit nur die Lernenden sie wahrnehmen, die sie auch benötigen. Studierende, die schneller mit ihren Aufgaben fertig sind als andere, können dann eine Zusatzaufgabe bearbeiten und müssen nicht auf die anderen warten und sich langweilen. Auch besonders interessierte Studierende können sich so vertieft mit den Inhalten auseinandersetzen und ihren Lernweg selbst mitgestalten.

Dieses Hilfs- und Förderungsangebot kann individuell wahrgenommen werden und da es in einer Mixed Reality-Anwendung integriert ist, kann es immer wiederverwendet werden. Es muss daher nur ein einziges Mal entwickelt werden, was einen großen Vorteil für Lehrende darstellt. Zudem ist eine Differenzierung, die vor allem in so großen Gruppen wie bei Studierenden nur schwer umsetzbar ist, nun einfach möglich. Die Mixed Reality ermöglicht es also Lernenden selbstständig zu arbeiten und ihren eigenen Weg zu verfolgen.

# 5. Einsatzszenarien in den vorhandenen Materialien

Nachdem bereits Konzepte zur Reduktion allgemeiner Zugangsbarrieren vorgestellt wurden, werden in diesem Kapitel nun konkrete Szenarien zum Einsatz der Mixed Reality-Technologie in der Grundlagenlehre der Elektrotechnik beschrieben. Dafür werden die bisher verfügbaren Arbeitsmaterialien der Lehrveranstaltung zunächst analysiert und auf mögliche Verständnisschwierigkeiten untersucht. Anschließend werden Konzepte vorgestellt, die die Mixed Reality nutzen, um diese zu verringern.

## 5.1. Analyse der vorhandenen Materialien

Die Arbeitsmaterialien der Lehrveranstaltung setzen sich zusammen aus allgemeinen Folien zur Erläuterung wichtiger Zusammenhänge und aus den Übungsblättern, die von den Studierenden theoretisch oder praktisch bearbeitet werden. Für den Mixed Reality-Einsatz sollen vor allem die Übungsblätter betrachtet und optimiert werden.

### 5.1.1. Einfache Gleichstromkreise

In der ersten Einheit der Lehrveranstaltung werden zunächst relevante physikalische Grundlagen wie elektrische Ladung, Strom, Feld, Potential, Spannung, Widerstand, Arbeit und Leistung vorgestellt. Außerdem wird den Studierenden erläutert wie Stromstärken und Spannungen gemessen werden. Das erste Übungsblatt vertieft diese Grundlagen, indem einfache Gleichstromkreise in Form von Reihen- und Parallelschaltung vorgestellt und bearbeitet werden. Die Studierenden sollen zunächst eine Reihenschaltung bestehend aus zwei Verbrauchern aufbauen und auf Helligkeit sowie ihre Auswirkungen auf den Strom und die Spannung untersuchen. Danach werden diese Erkenntnisse mit einer Reihenschaltung mit nur einem Verbraucher verglichen. Als letztes sollen Formeln für Gesamtwiderstand und -strom durch Hinzufügen weiterer Lampen gefunden und anhand einer Messung bewiesen werden. Dasselbe wird für die Parallelschaltung erarbeitet. Abschließend gibt es vertiefende Übungsaufgaben, in denen das neu gewonnene Wissen angewandt und erprobt wird.

Probleme können bei diesem Übungsblatt vor allem beim Aufstellen der Formeln für Gesamtwiderstand und -strom auftreten. Diese sollen nur durch Messungen experimentell gefunden werden und die Schwierigkeit besteht hier darin, die Auswirkungen durch Veränderungen in einer Stelle des Stromkreises zu erklären, da diese nicht direkt ersichtlich werden. Studierende betrachten Stromkreise häufig nur sequentiell oder lokal und können die Auswirkungen auf

Strom und Spannung in anderen Stellen nur schwer deuten (vgl. [12], S.91). Dem kann durch alternative Vorgehensweisen und Anschauungen entgegengewirkt werden, sodass das Verständnis über Änderungen in Stromkreisen gestärkt wird.

### 5.1.2. Mehrere Spannungsquellen

Das nächste Übungsblatt behandelt Stromkreise mit mehreren Spannungsquellen und den Begriff des Potentials. Dazu wird zunächst eine theoretische Wiederholungsaufgabe bearbeitet, die eine Reihenschaltung aus zwei Verbrauchern beinhaltet, wobei einer unbekannt ist. Für diese Schaltung sollen Widerstand und Strom betrachtet werden. Danach bauen die Studierenden verschiedene Reihenschaltung aus mehreren Spannungsquellen und Lampen auf und untersuchen sie bezüglich ihrer Stromstärke und Spannung. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Aufgaben soll eine Regel für die Verteilung der Spannung in einer Reihenschaltung gefunden werden. Dafür werden Spannungen an verschiedenen Stellen abgeschätzt und gemessen. In der nächsten Aufgabe wird erneut eine Reihenschaltung aus mehreren Spannungsquellen aufgebaut, wobei diese nun mehrere parallel geschaltete Lampen enthält. An dieser Stelle werden erneut Helligkeit, Spannung und Stromstärke betrachtet. Die bisherigen Erkenntnisse werden durch die Beantwortung zweier allgemeiner Fragen festgehalten und anschließend folgt eine theoretische Aufgabe zum Potential. Den Studierenden wird eine gemischte Schaltung mit einer Spannungsquelle und mehreren Lampen vorgestellt. Für diese sollen sie sich zunächst eine Helligkeitsreihenfolge überlegen und für verschiedene markierte Punkte Spannungen und Potentiale abschätzen.

Schwierigkeiten sind bei diesen Aufgaben bei der Betrachtung des Potentials denkbar. Vielen Studierenden fällt die Unterscheidung der Begriffe Spannung und Potential schwer. Häufig werden beide miteinander vermischt und ein höheres Potential mit einer höheren Spannung gleichgesetzt (vgl. [12], S.91-92). Um den Studierenden den Unterschied deutlicher zu machen, kann eine alternative Darstellungsform helfen, die konkret zwischen Spannung und Potential unterscheidet und diese visualisiert, um so die Bedeutung beider Größen zu veranschaulichen.

### 5.1.3. Mehrere Maschen

Als nächstes werden die Studierenden in das Konzept der Maschen in einem Stromkreis eingeführt. In einer ersten Aufgabe werden zwei gemischte Schaltungen mit mehreren Maschen betrachtet. Für die verschiedenen Verbraucher soll die Spannung erst abgeschätzt, dann gemessen und als letztes die Maschen eingezeichnet sowie die Summe aller Spannungen berechnet werden, wodurch die Studierenden die Maschenregel aufstellen. Aufbauend auf diesem Zusammenhang werden zwei weitere Schaltungen vorgestellt. Für diese sollen die Lampen nach ihrer Helligkeit und der Spannung geordnet sowie Formeln für den Zusammenhang verschiedener Spannungen gefunden werden. Zudem sollen die Studierenden sich überlegen, was mit der Helligkeit der Lampen passiert, wenn eine entfernt wird. Ähnliches wird auch in der folgenden Aufgabe untersucht. Dort sollen die Lampen einer Schaltung nach ihrer Helligkeit geordnet und dann beschrieben werden wie sich Spannungen und Strom ändern, wenn die Schaltung verändert wird. In der letzten Aufgabe wird eine Schaltung mit Schalter präsentiert. Die Studierenden sollen sich für diese überlegen, welche Spannungen anliegen, wenn der Schalter geschlossen

bzw. offen ist und sollen diese dann messen. Danach sollen alle Maschen eingezeichnet sowie die Maschengleichungen aufgestellt werden.

Den Studierenden könnte es schwer fallen, die Veränderungen der Helligkeit beim Entfernen von Lampen richtig zu deuten, da die inneren Vorgänge innerhalb eines Stromkreises nicht direkt zu beobachten sind. Auch an dieser Stelle tritt wieder das Problem der sequentiellen oder lokalen Betrachtung von Stromkreisen auf. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass die Studierenden annehmen, dass die Helligkeit der Lampen dadurch zustande kommt, dass der Strom von ihnen verbraucht wird (vgl. [12], S.90-91). Durch das Visualisieren der Vorgänge und Veränderungen wichtiger Größen kann diesem Fehlkonzept entgegengewirkt werden.

#### 5.1.4. Spannungs- und Stromquellen

Nachdem in den ersten drei Veranstaltungen ideale Spannungs- und Stromquellen betrachtet werden, werden in der vierten reale behandelt. Dazu sollen die Studierenden zunächst eine Reihenschaltung aus zwei Batterien aufbauen, dann nacheinander mehrere Lampen hinzufügen und die Veränderung der Spannung beobachten. Dadurch wird der Begriff des Innenwiderstands eingeführt. Für die Bestimmung dessen soll eine Methode entwickelt und diese anschließend genutzt werden, um den Innenwiderstand der verwendeten Batterien zu finden. Darauf aufbauend soll in der nächsten Aufgabe das Ersatzschaltbild der Batterien um die neuen wichtigen Größen ergänzt, diese berechnet und die Kennlinie der realen Spannungsquelle gezeichnet werden. Diese Kennlinie stellt die Arbeitsgerade dar, die vertiefend behandelt wird. Die Studierenden sollen Steigung, Beziehung zwischen Steigung und Innenwiderstand und Veränderungen von Eigenschaften der realen Spannungsquelle auf die Arbeitsgerade untersuchen. Zusätzlich soll eine Funktion für den Strom gefunden werden. Die folgende Aufgabe thematisiert den Arbeitspunkt, indem die Studierenden zu erst eine Funktion für den Strom des Lastwiderstands finden und dann seine Kennlinie zeichnen sollen. Mit Hilfe dieser soll dann der Arbeitspunkt zeichnerisch und rechnerisch bestimmt werden. In den letzten beiden Aufgaben werden ideale und reale Stromquellen untersucht. Dazu soll das Verhalten der realen Stromquelle in einem U-I-Diagramm skizziert werden. Danach wird den Studierenden ein falsches Modell einer realen Stromquelle präsentiert, welches sie korrigieren sollen. Zudem wird das Verhalten der realen Stromquelle berechnet, die Arbeitsgerade gezeichnet und dann mit der realen Spannungsquelle verglichen.

Das Konzept des Innenwiderstands von Spannungs- und Stromquellen ist nur theoretisch untersuchbar und kann zu Verwirrungen führen, da in vorherigen Messungen immer von idealen Quellen ausgegangen wird und mit diesen Beobachtungen erklärt werden. Zudem ist der Innenwiderstand in der Realität normalerweise nicht direkt beobachtbar. Durch die Mixed Reality kann dieser Sachverhalt interaktiv untersucht und mit Hilfe verschiedener Darstellungen leicht visualisiert werden, sodass die Studierenden das Konzept besser aufnehmen und nachvollziehen können.

#### 5.1.5. RC-Glied

Im letzten Übungsblatt werden Kondensatoren bzw. Schaltungen bestehend aus Kondensatoren und Widerständen behandelt. Die Studierenden sollen in der ersten Aufgabe zunächst

Kapazitäten für verschiedene Ausgangsgrößen eines Kondensators berechnen und sich dann Formeln für die Berechnung der Gesamtkapazität von Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren überlegen. Danach werden mehrere gemischte Schaltungen vorgestellt, die nach ihrer Gesamtkapazität geordnet werden sollen. In den nächsten beiden Aufgaben wird der Auf- und Entladevorgang eines Kondensators untersucht. Dafür sollen die Studierenden zunächst eine Schaltung aufbauen, die Spannung bei Auf- und Entladung messen und anhand dieser Kurven zeichnen. Danach sollen Zeitkonstanten berechnet und mit den gemessenen Werten verglichen werden sowie eine Schaltung für die Bestimmung der Kapazität eines Kondensators entwickelt und diese genutzt werden, um Kapazitäten verschiedener Kondensatoren zu messen. Abschließen sollen die Gesamtkapazität einer Reihen- und Parallelschaltung von zwei Kondensatoren bestimmt und damit die vorher gefundenen Formeln verifiziert werden. Bei der letzten Aufgabe handelt es sich um eine Simulationsaufgabe, bei der der Blindwiderstand näher untersucht wird. Für verschiedene Frequenzen sollen als erstes die Blindwiderstände gemessen und damit die Kapazität des verwendeten Kondensators berechnet werden. Als letztes soll der Blindwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz skizziert und mit den Ergebnissen der Simulation verglichen werden.

Die Vorgänge in einem Kondensator können anhand klassischer Messungen und Darstellungen nur teilweise nachvollzogen werden. Veränderungen der Kapazitäten lassen sich zwar berechnen und somit können Aussagen über die Ladungen gemacht werden, mit Hilfe der Mixed Reality können diese Auswirkungen jedoch noch anschaulicher dargestellt werden, indem diese bildlich präsentiert und die abstrakten Sachverhalte den Studierenden zugänglich gemacht werden.

## 5.2. Konzeptualisierung von Einsatzszenarien

Nachdem die momentan vorhandenen Materialien auf mögliche Probleme und neue Darstellungsmöglichkeiten untersucht wurden, werden im Folgenden konkrete Einsatzszenarien beschrieben und näher erläutert. Die Konzeption richtet sich dabei nach den zuvor beschriebenen Lernstrategien aus dem „Mixed Reality Learning Space“ und den Aspekten, die bei der Gestaltung von Mixed Reality-Lernumgebungen zu beachten sind. Diese werden aufgegriffen und ihre Umsetzung dargestellt sowie begründet.

### 5.2.1. Allgemeines Konzept

Das übergeordnete Ziel des Mixed Reality-Einsatzes ist es, den Studierenden die komplexen Sachverhalten der Elektrotechnik auf eine anschaulichere Weise zu vermitteln. Dazu werden unterstützende Visualisierungen eingesetzt, die das Verständnis fördern sollen und die inneren Vorgänge in einem Stromkreis beobachtbar machen. Wenn nicht anders erklärt, sollen die verschiedenen Darstellungen innerhalb der Aufgaben beliebig wählbar und optional sein, damit Studierende, die diese zusätzliche Darstellung nicht benötigen auch ohne diese arbeiten können. Nach dem Aufbau von Schaltungen sollen die Animationen daher nicht sofort eingeblendet werden, sondern von den Studierenden zum Beispiel durch einen Button aktiviert werden. Sollen Messwerte aufgenommen werden, sollen diese nur dann angezeigt werden, wenn die Studierenden das entsprechende Bauteil antippen. Zusätzlich sollen sie durch erneutes An-

tippen auch wieder verschwinden. Dies ist wichtig, damit die Studierenden nicht mit zu vielen virtuellen oder Informationen konfrontiert werden und sich durch diese ablenken lassen. Alle Einsatzszenarien nutzen für die Interaktivität eine Experimentalwelt, da vor allem physikalische Gesetzmäßigkeiten untersucht und die Studierenden Konsequenzen von Veränderungen beobachten sollen.

Die folgenden Einsatzszenarien werden unterstützt durch Arbeitsblätter, die sich im Anhang befinden. Diese enthalten die Arbeitsaufträge, die den Studierenden auch in der Mixed Reality-Anwendung präsentiert werden. Der Ablauf gestaltet sich dabei immer auf dieselbe Weise. Die Studierenden erhalten das Übungsblatt und sollen dann die Aufgaben bearbeiten. Dazu sollen sie die HoloLens aufsetzen und das MR-Lab starten. Im Aufgabenmenü wird der Name der jeweiligen Aufgabe angezeigt. Die Studierenden können diese wählen und ihnen wird zunächst der zugehörige Einleitungstext präsentiert. Durch einen Button können sie die nächste Seite aufrufen bzw. zum nächsten Aufgabenteil springen oder auch wieder einen Schritt zurückgehen und sich so durch die einzelnen Fragen navigieren. Je nach Aufgabe werden ihnen weitere Erklärungen geliefert, zum Beispiel welche Aktionen sie in der Mixed Reality durchführen können. Zudem wird im Handmenü des MR-Labs ein Hinweismenü integriert. Dieses enthält eine Liste aus nummerierten und gestuften Hinweisen, die die Studierenden nacheinander wählen können.

Bei allen Konzepten wird zunächst das Ziel sowie die Umsetzung der einzelnen Phasen der Lernstrategien beschrieben, die die Studierenden beim Mixed Reality-Einsatz durchlaufen. Gleichzeitig wird näher auf die entwickelten Aufgaben eingegangen, indem Inhalt, Operationen, Format sowie die Art der Interaktivität beschrieben wird. Als letztes wird Form und Umsetzung des Feedbacks erläutert.

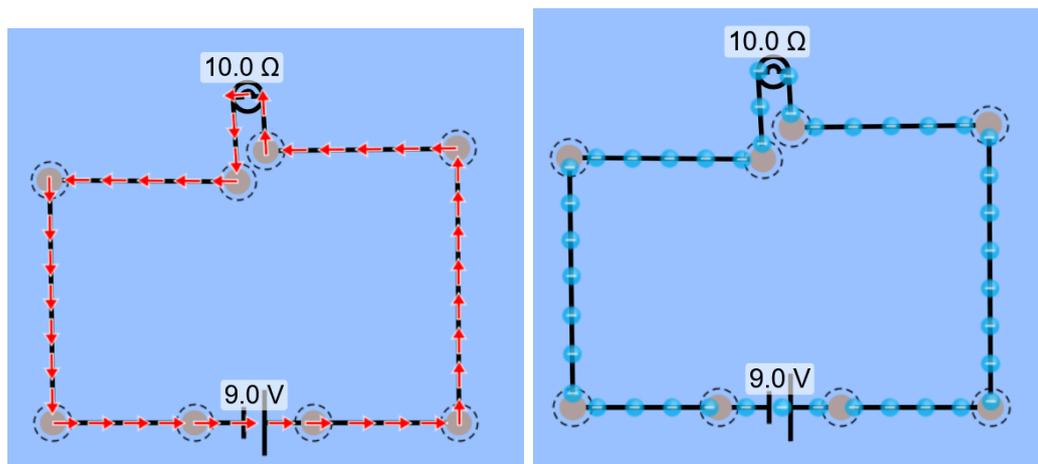
### 5.2.2. Gesetzmäßigkeiten der Reihen- und Parallelschaltung

Das Einsatzszenario für den Themenbereich der einfachen Gleichstromkreise soll den Studierenden beim Aufstellen der Berechnungsformeln für Gesamtwidestand und -strom in einer Reihen- und Parallelschaltung und beim Verstehen der inneren Zusammenhänge in einem Stromkreis helfen. Dafür werden die Studierenden in der Mixed Reality experimentieren und Beobachtungen machen, die durch Animationen von Strom und Spannung unterstützt werden. Das Ziel ist, neben dem Finden der Formeln, dass die Studierenden erläutern können wie sie diese aufgestellt haben und warum sie korrekt sein müssen. Das zugehörige entwickelte Arbeitsblatt befindet sich im Anhang A.1. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf die Aufgabe der Reihenschaltung, sie gelten analog aber auch für die Aufgabe der Parallelschaltung, da die Konzeption dieser nach denselben Kriterien erfolgt ist.

Die Mixed Reality-Aufgaben wurden so konzipiert, dass die Studierenden als erstes mit Hilfe der Brick'R'Knowledge Bausteine und dem MR-Lab eine Reihenschaltung aus zwei Lampen aufbauen. Danach wird ihnen die erste virtuelle Frage präsentiert, die sich auch auf dem Übungsblatt befindet. Die Studierenden werden hier ohne bereits eine Messung durchgeführt zu haben, eine erste Vermutung abgeben, wie sich Gesamtwidestand- und strom ändern, wenn eine weitere Lampe in die Schaltung eingebaut wird. Dies dient nach dem erfahrungsbasierten Lernen dazu, die Lernenden mit einer neuen Erfahrungssituation zu konfrontieren und zudem ihre Vorstellungen abzufragen, die sie im weiteren Verlauf der Aufgabe entweder korrigieren oder verfestigen werden. Dazu soll die Frage in der Mixed Reality-Umgebung mit Checkboxes

zum Antippen zur Verfügung gestellt werden, sodass die Antworten der Studierenden gespeichert werden, um sie am Ende noch einmal aufzugreifen.

Im nächsten Aufgabenteil werden die Studierenden mit der virtuellen Schaltung experimentieren, indem sie zu erst eine weitere virtuelle Lampe und dann n weitere Lampen in ihre Reihenschaltung einbauen. Hier eignet sich die Mixed Reality vor allem dafür, dass beliebig viele virtuelle Lampen in die Schaltungen eingebaut werden können, ohne diese in der Realität benötigen zu müssen. Durch das freie Experimentieren werden die neuen Erfahrungen analysiert. Dabei machen die Studierenden in der Mixed Reality-Umgebung vielfältige Beobachtungen beim Experimentieren. Dazu sollen die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten in diesem Aufgabenteil nicht optional sein, sondern allen angezeigt werden. Neben klassischen Einblendungen von Messwerten für Strom, Spannung und Widerstand an den jeweiligen Bauteilen werden zudem die Vorgänge im Inneren des Stromkreises visualisiert. Es soll die Möglichkeit bestehen zwischen mehreren Darstellungsformen zu wechseln. Anstatt der bisher im MR-Lab verfügbaren festen Strompfeile über den Bauteilen, sollen bewegliche Pfeile und Elektronen eingebaut werden, welche sich je nach Stromstärke in ihrer Größe unterscheiden. Sie sollen nicht nur über den jeweiligen Bausteinen zu sehen sein, sondern dynamisch und dreidimensional über die gesamte Schaltung fließen. Beispielhafte Darstellungsformen für den Strom sind in Abbildung 5.1 zu sehen. Die Veranschaulichung der Spannung durch Pfeile verschiedener Größen über den Bauteilen soll jedoch bestehen bleiben.



(a) Darstellung mit beweglichen Strompfeilen (b) Darstellung mit beweglichen Elektronen

Abbildung 5.1.: Mögliche Darstellung des Stroms in der Mixed Reality [37]

Diese Animationen dienen vor allem der Anschaulichkeit, um den Studierenden klar zu machen, welche Vorgänge in einem Stromkreis vor sich gehen und unterstützen das Verständnis über die Ursachen von Veränderungen beim Hinzufügen weiterer Lampen. So wird auf den ersten Blick erkennbar, dass in einer Reihenschaltung mehrere Widerstände mehrere Hindernisse darstellen, was zu kleineren Strompfeilen, also einer Bremsung der Elektronen und somit zu einer geringeren Stromstärke, die überall gleich ist, führt. Für die Parallelschaltung wäre beispielsweise beobachtbar, dass die Strompfeile in den Zweigen jeweils gleich groß sind, aber kleiner als die äußeren, was folglich bedeuten muss, dass die Stromstärke sich auf die Lampen aufteilt und

die Widerstände nur die Zweige beeinflussen. Klassische Messungen können diese Vorgänge im Inneren nicht darstellen und bauen nur auf den ablesbaren Messwerten auf, wodurch die Ursachen oft nicht deutlich werden.

Der nächste Schritt behandelt die Konzeptualisierung der Beobachtungen, indem die beobachteten Gesetzmäßigkeiten formalisiert werden. Dafür können die Studierenden erneut die verschiedenen Visualisierungen zu Rate ziehen, es sollen jedoch auch weitere Hilfestellungen in der virtuellen Welt angeboten werden, um die Studierenden schrittweise zur Lösung der Aufgabe anzuleiten, ohne diese jedoch zu verraten. Die Hilfestellungen könnten folgendermaßen angeboten werden:

1. Betrachten Sie die Lampen genauer. Was sehen Sie?
2. Betrachten Sie den Stromfluss. Was fällt Ihnen auf?
3. Betrachten Sie die Spannungspfeile. Was passiert mit der Spannung?
4. Das Ohm'sche Gesetz lautet:  $U = R \cdot I$ . Wie können Sie das auf Ihre Schaltung übertragen?

In einer Reihenschaltung gilt

$$I_{\text{ges}} = \text{const.} \text{ und } R_{\text{ges}} = \sum^n R_n$$

Die erste Hilfe soll die Studierenden an die vorherigen Untersuchungen erinnern und verdeutlichen, dass die gleiche Helligkeit aller Lampen einen gleichen Stromfluss bzw. eine gleiche Stromstärke bedeuten muss. Reicht dies nicht, kann der nächste Tipp angezeigt werden. Dieser verweist nun konkret auf die dargebotene Stromanimation, bei der die Strompfeile bzw. Elektronen an jeder Stelle dieselbe Größe haben. Haben die Studierenden Probleme den Gesamtwiderstand zu bestimmen, kann ein weiterer Hinweis ausgewählt werden. Durch diesen sollen die Studierenden die Spannungen betrachten und erkennen, dass die Gesamtspannung sich auf die verschiedenen Lampen aufteilt. Dies ist dadurch zu beobachten, dass jede Lampe einen gleich großen Spannungspfeil hat, diese aber kleiner sind als die der Spannungsquelle. Dadurch kann ein Rückschluss auf die Widerstände erfolgen, da jede Lampe einen darstellt. Haben die Studierenden dann immer noch Probleme, soll die letzte Hilfe eingeblendet werden. Diese verbindet die vorherigen Beobachtungen und zeigt den Studierenden direkt den Zusammenhang zwischen Gesamtspannung, Gesamtstrom und Gesamtwiderstand. Sie konnten sehen, dass der Gesamtstrom konstant ist, die einzelnen Spannung aber addiert werden müssen, was sie auf  $U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$  führt. Sie wissen zudem, dass die Lampen einzelne Widerstände darstellen und können mit dem Ohm'schen Gesetz somit  $U_{\text{ges}} = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + \dots + R_n \cdot I$  herleiten und wissen damit, dass die Widerstände in einer Reihenschaltung addiert werden müssen. Für die Aufgabe der Parallelschaltung werden dieselben Hilfen zur Bearbeitung zur Verfügung gestellt, die Studierenden machen jedoch andere Beobachtungen. In einer Parallelschaltung gilt

$$I_{\text{ges}} = \sum^n I_n \text{ und } R_{\text{ges}} = \frac{1}{\sum^n \frac{1}{R_n}}$$

Bei dieser Schaltung leuchten die Lampen auch gleich hell, da jede Lampen von demselben Strom durchflossen wird, was die Studierenden durch Experimentieren bereits beobachten

konnten. Dies können sie anhand der Stromanimation erneut sehen. Bei den Spannungspfeilen können sie zudem erkennen, dass alle Pfeile dieselbe Größe haben, die Spannungen also gleich sein müssen. Führen sie diese Beobachtungen und ggf. die Hilfen zusammen, kommen sie zu  $I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  und mit dem Ohm'schen Gesetz zu  $I_{\text{ges}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$ , wodurch sie also wissen, dass die Kehrwerte der Widerstände addiert werden müssen. Die Studierenden haben bei dieser Aufgabe die Möglichkeit komplett selbstständig zu arbeiten und die verschiedenen Darstellungen eigenständig zu wählen. Alternativ können sie sich durch die Hinweise leiten lassen. Dadurch werden leistungsstärkeren Studierenden keine redundanten Informationen präsentiert und eher schwächere Studierende können trotzdem effektiv an der Aufgabe arbeiten.

Als letztes wird durch erneutes Experimentieren zur Bestätigung der Gesetzmäßigkeiten das neue Konzept in der Praxis erprobt. Die Studierenden sollen hier konkrete Werte aufnehmen und mit diesen prüfen, ob ihre Formeln korrekt sind. Nach Bearbeitung dieser Aufgabe wird den Studierenden zudem die Checkbox vom Anfang angezeigt, die ihre und die richtige Antwort markiert. Die Studierenden sollen so zum einen sehen, ob ihre Vorstellungen richtig waren und zum anderen wird ihnen so ihr Lernprozess vor Augen geführt. Die richtige Antwort soll abschließend durch die Studierenden erläutert werden. Dafür können sie ihr neu erworbenes Wissen nutzen oder sich erneut die Animationen ansehen.

Das Feedback, das im Rahmen der Aufgaben durch die Anwendung gegeben werden soll, soll vor allem informativer Natur sein. Eine erste Rückmeldung erhalten die Studierenden beim Aufbau der Schaltung. Dort soll ihnen mitgeteilt werden, ob diese korrekt aufgebaut wurde. Weiteres Feedback soll es beim Vergleich von Vorstellung und Realität geben. Den Studierenden wird die korrekte Antwort präsentiert bzw. aufgezeigt, ob ihre erste Vermutung richtig oder falsch war. Dazu werden zwei ausgefüllte Checkboxes präsentiert, wobei eine die Antwort der Studierenden anzeigt und die andere die richtige Antwort. Es sollen an dieser Stelle keine weiteren Informationen geliefert werden, da dieses Feedback nur den Zweck hat den Studierenden ihre Vorstellungen bewusst zu machen und die Differenzen aufzuzeigen. Die Erklärung der richtigen Antwort soll durch die Studierenden selbst kommen und nicht vorgegeben werden, um ihnen die Möglichkeit zu geben ihr neues Wissen anzuwenden.

### 5.2.3. Elektrisches Potential

Die Aufgabe zum Potential soll den Studierenden die Definition des Potentials verständlicher machen und den Unterschied zur Spannung auf eine beobachtbare Weise vermitteln. Dazu wird mit Hilfe der Mixed Reality eine gemischte Schaltung auf ihr Potential und ihre Spannung untersucht und eine neue Darstellung der Schaltung, durch das Einfügen von Erhebungen für die Potentiale, zur Verfügung gestellt, sodass die Studierenden nach der Bearbeitung der Aufgabe ein tieferes Verständnis über Potentiale und Spannungen erworben haben. Die zugehörige Aufgabe befindet sich im Anhang A.2.

Ähnlich wie beim vorherigen Einsatzszenario werden in einem ersten Schritt die Vorstellungen der Studierenden abgefragt. Dafür werden bereits bekannte Erkenntnisse wie Helligkeiten und Spannungen von Lampen aufgegriffen, aber die Studierenden werden auch mit einem neuen Konzept konfrontiert: Dem Potential. Dieses wurde bislang nur theoretisch eingeführt und soll nun konkret betrachtet werden. Die Vermutungen der Studierenden sollen in der virtuellen Welt

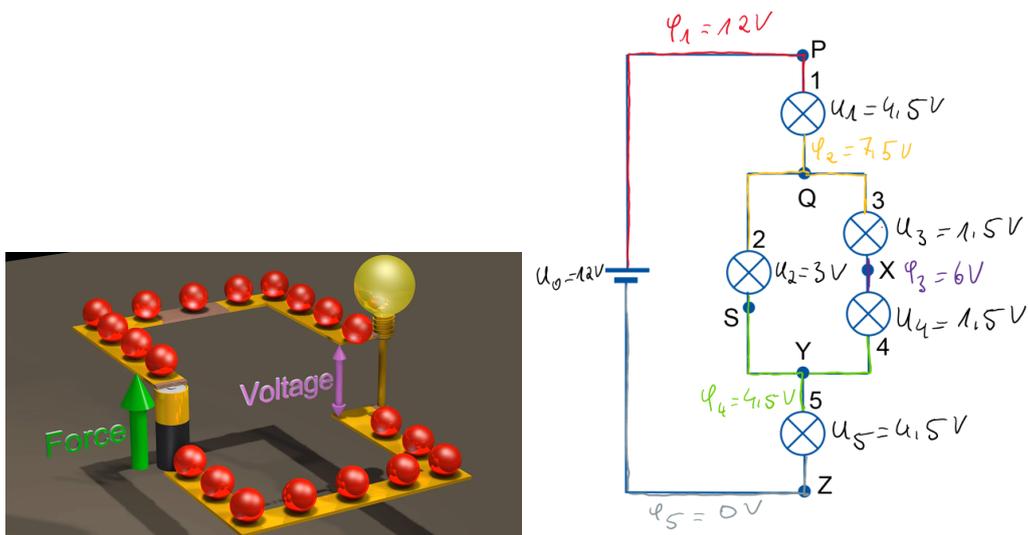
festgehalten und interaktiv bearbeitet werden. Dafür wird die Schaltung von den Studierenden aufgebaut und anschließend die HoloLens aufgesetzt. Zur Beantwortung der ersten Frage werden virtuelle, nummerierte Lampen präsentiert, die durch Handbewegungen in eine Reihenfolge gebracht werden können. Diese erste Frage soll das bisher erworbene Wissen abfragen und bereitet auf die weiterführenden Aufgaben vor. In der nächsten Frage werden die Studierenden Markierungen in der virtuellen Schaltung vornehmen, um Stellen gleichen Potentials zu identifizieren. Dafür wird ihnen ein virtueller Farbkasten zur Verfügung gestellt, aus dem Farben zum Einzeichnen der einzelnen, unterschiedlichen Potentiale gewählt werden können. Dies dient dazu, dass die Studierenden sich erste Gedanken darüber machen wie sich das Potential in einer Schaltung verhält und sie zudem direkt erkennen können, wo unterschiedliche Potentiale vorhanden sein könnten und was dies bedeuten muss. Zur Beantwortung der dritten Frage soll es erneut eine virtuelle Checkbox geben, wobei durch Antippen die Antwort gewählt wird. Als letztes soll dann eine Reihenfolge für die Potentiale der eingezeichneten Punkte gefunden werden. Auch hier erfolgt dies durch Handgesten. Die Antworten werden in der Mixed Reality-Anwendung festgehalten, da diese danach wieder aufgegriffen werden, um im weiteren Verlauf eigenständig korrigiert zu werden.

Die Phasen des Beobachtens und Konzeptualisierens fallen in diesem Szenario zusammen, da die vorher aufgestellten Vermutungen im nächsten Schritt von den Studierenden auf Korrektheit überprüft werden. Dafür wird mit der virtuellen Schaltung nicht nur experimentiert, sondern die Beobachtungen auch begründet und die Vermutungen korrigiert. Zur Überprüfung nehmen die Studierenden Messungen an der Schaltung vor und geben anhand dieser in der Mixed Reality-Anwendung eine abschließende Antwort. Während der Bearbeitung der Aufgabe soll es möglich sein, sich die anfänglichen Vermutungen wieder anzeigen zu lassen und dann ggf. anzupassen, also beispielsweise die Reihenfolgen zu ändern, neue Potentiale einzuzeichnen oder eine andere Antwort anzutippen. Beim Experimentieren soll vor allem die Spannung bzw. das Potential gemessen werden. Dies soll mit Hilfe beider Hände erfolgen, wobei jede Hand eine Klemme des Messgeräts darstellt. So würde die Funktionsweise einfach simuliert werden und zudem lernen die Studierenden wie Potentiale gemessen werden können. Da ein Messgerät nur Spannungen, also Potentialunterschiede, messen kann, muss in der Schaltung eine Stelle als neutral bzw. 0V festgelegt werden. Dafür muss eine Hand bzw. ein Kabel des Messgeräts an den Minuspol gelegt werden, um das Potential an einer beliebigen anderen Stelle zu bestimmen. Diesen Zusammenhang müssten sich die Studierenden also zunächst überlegen. Den Studierenden sollen im Rahmen der Mixed Reality verschiedene Hilfen im Form unterschiedlicher Darstellungsmöglichkeiten und Hinweise angeboten werden. Dabei soll es folgende Hinweise geben:

1. Wie wird die Spannung definiert? Was bedeutet das für die Messung von Potentialen?
2. Legen Sie ein Kabel bzw. eine Hand an 0V an. Wo muss das andere Kabel bzw. die Hand anliegen, um das Potential zu messen?
3. Aktivieren Sie den Stromfluss. Was können Sie beobachten?
4. Aktivieren Sie die Spannungspfeile. Was fällt ihnen auf?
5. Aktivieren Sie die Potentialerhebungen. Was beobachten Sie?

Der erste Hinweis soll den Studierenden helfen, wenn sie Probleme dabei haben, die Potentiale zu messen. Sie werden auf die Definition von Spannungen hingewiesen, woraus abgeleitet

werden kann, dass die Potentialmessung immer einen neutrale Stelle benötigt. Die nächsten Hinweise dienen dann zur Begründung der Antworten. Dabei sollen als erstes die unterschiedlichen Stromanimationen zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe dieser können die ersten Vermutungen erklärt werden, da eine größere Stromstärke auch mit einer größeren Spannung einhergeht, sodass die Reihenfolge der Helligkeit der Lampen begründet werden kann. Auch die Frage nach den Spannungen zwischen den zwei verschiedenen Punkten kann anhand der Stromanimationen beantwortet werden, da durch die unterschiedlich großen Pfeile verschiedene Stromstärken vorhanden sein müssen und die Studierenden durch das Ohm'sche Gesetz wissen, dass beide Größen proportional zueinander sind. Reicht dies nicht, werden die Spannungspfeile des MR-Labs hinzugezogen. Diese werden über den verschiedenen Bauteilen angezeigt und unterscheiden sich in ihrer Größe, um so unterschiedliche Spannungen zu verdeutlichen. So würden die Studierenden einen weiteren Hinweis zur Beantwortung ihrer Aufgaben bekommen, indem sie zum Beispiel die Beobachtung machen, dass eine heller leuchtende Lampe einen größeren Spannungspfeil hat, also somit eine höhere Spannung anliegen muss. Mit diesen Hilfen sind bis jetzt nur Rückschlüsse auf die Spannung möglich, eine Reihenfolge des Potentials kann zwar auch schon durch eine Messung gefunden werden, Probleme kann es eventuell jedoch bei der Begründung dieser geben. Daher werden zur Veranschaulichung des Potentials weitere Hilfen geboten. Die Studierenden haben in einem ersten Schritt schon Markierungen an der Schaltung vorgenommen, die die Stellen gleichen Potentials darstellen sollten. Um dies noch anschaulicher zu gestalten, sollen diese Stellen als farbliche Erhebungen dargestellt werden. Zusätzlich können in dieser Darstellung an den Bauteilen die gemessenen Spannungen und an den jeweiligen Stellen die gemessenen Potentiale eingeblendet werden, dies soll jedoch optional sein. Abbildung 5.2 zeigt das Prinzip der Erhebungen sowie die Darstellung der Schaltung mit den Markierungen und Werten. In der Mixed Reality sollen beide Darstellungen zusammengeführt werden.



(a) Alternative Darstellung des Potentials (b) Darstellung der Schaltung mit Markierungen und Messwerten [39]

Abbildung 5.2.: Mögliche Darstellung des Potentials in der Mixed Reality

So wird die Bedeutung des Potentials und vor allem der Unterschied zur Spannung erkennbar. Die Spannung eines Bauteil ist die Differenz zweier Stellen gleichen Potentials und dieses nimmt immer um den jeweiligen Spannungswert der Lampe ab und nimmt nur durch eine Spannungsquelle zu, was durch die neue Darstellung anhand der Erhebungen dreidimensional beobachtet werden kann. Damit können die Studierenden die angegebenen Punkte neu anordnen und ihre Reihenfolge begründen. Durch diese Visualisierung wird das Potential auf eine neue Weise zugänglich, da die Veränderungen selbst beobachtet werden können, was in der Realität sonst nur indirekt durch Messungen möglich ist.

Anhand der letzten beiden Fragen sollen die Studierenden durch aktives Experimentieren die gewonnenen Erkenntnisse zum Potential vertiefen. Die Studierenden haben die Schaltung bereits auf Spannungen und Potential untersucht und Messwerte aufgenommen sowie Veränderungen beider Größen erläutert. Anhand ihrer Messungen und Beobachtungen können sie entscheiden, ob zwei Lampen dieselbe Spannung haben, ihre Klemmen aber unterschiedliches Potential aufweisen. Haben sie solche Lampen identifiziert, sollen sie diese in der virtuellen Schaltung markieren, indem sie diese antippen. Mögliche Hilfen zur Begründung sind dabei folgende:

1. An welchen Lampen liegt dieselbe Spannung an?
2. Welche Potentiale ergeben sich vor und nach diesen?
3. In was für einer Art Schaltung befinden sich die Lampen?
4. An welcher Stelle befinden sich die Lampen?
5. Aktivieren Sie die Potentialerhebungen.

Die erste Frage soll den Studierenden als erstes helfen, die Lampen zu identifizieren, wenn dies nicht vorher schon geschehen ist. Dann sollen sie sich das Potential vor und nach den Lampen genauer ansehen und erkennen, dass dies unterschiedlich ist. Die zwei Lampen, nämlich Lampe 1 und Lampe 5, für die Beantwortung der Fragen wurden so also gefunden. Um dann zu begründen, warum das möglich ist, sollen die Studierenden durch den nächsten Hinweis darauf aufmerksam gemacht werden, dass die zwei Lampen in Reihe zueinander geschaltet sind. Sie können daher nicht dasselbe Potential aufweisen, da dieses immer über Lampen abfällt. Diesen Zusammenhang haben sie in der vorherigen Aufgaben bereits beobachten können. Wird dennoch weiterführende Hilfe benötigt, sollen die Studierenden dann überlegen, wo sich die Lampen in der Schaltung befinden. Lampe 1 ist mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden, Lampe 2 mit dem Minuspol. Da die erste Lampe direkt mit dem Pluspol verbunden ist und kein weiterer Verbraucher zwischengeschaltet ist, konnte das Potential dort noch nicht abfallen. Bei Lampe 2 ist das anders, da vor ihr noch andere Lampen für eine Veränderung des Potentials sorgen. So wird also erkennbar, dass sich die Potentiale auch bei gleichen Spannungen unterscheiden. Als letzter Schritt kann wieder auf die Darstellung der Erhebungen zurückgegriffen werden. Durch die unterschiedlichen Höhen der Lampen wird dann deutlich, dass sie nicht dasselbe Potential aufweisen.

Als letztes soll dann entschieden werden, ob zwei Lampen dasselbe Potential aber unterschiedliche Spannungen haben können. Auch dafür sollen die jeweiligen Lampen, hier Lampe 2 und Lampe 3, in der Mixed Reality-Schaltung markiert werden. Die Hilfen sind ähnlich zu denen der vorherigen:

1. Wo gibt es Stellen gleichen Potentials?

2. Welche Lampen gehören zu diesen?
3. In was für einer Art Schaltung befinden sich die Lampen?
4. Aktivieren Sie die Potentialerhebungen.

Wie auch schon bei der anderen Fragen sollen zunächst die jeweiligen Stellen gefunden und die Art der Schaltung identifiziert werden. Die Studierenden sollen erkennen, dass die Lampen 2 und 3 dasselbe Potential aufweisen, aber sich in ihrer Spannung unterscheiden. Der Unterschied der Spannung liegt daran, dass Lampe 3 in Reihe zu Lampe 4 geschaltet, die Gesamtspannung sich auf beide also aufteilen muss und somit kleiner als die der Lampe 2 ist. Da Lampe 2 und 3 zudem parallel zueinander geschaltet sind, kann sich das Potential erst nach den beiden verändert, da es über die Lampen abfällt. Durch Beobachten der Erhebungen wird dies noch deutlicher, da beide Lampen auf derselben Höhe liegen, aber unterschiedlich große Spannungen anliegen.

Das Feedback soll in diesem Einsatzszenario vor allem informativ sein. Die Studierenden sollen im Verlauf der Aufgabe ihre anfänglichen Vermutungen korrigieren und dann eine abschließende Antwort abgeben, auf welche eine Rückmeldung erfolgt, ob die Antworten richtig oder falsch waren. Bei falschen Antworten wird die Erläuterung der Lösung nicht verraten, die Studierenden sollen aber die Möglichkeit erhalten erneut zu experimentieren und werden darauf hingewiesen die Hilfen zu nutzen, falls sie dies noch nicht getan haben. Die Lösungen sollen an dieser Stelle nicht erklärt werden, da die Studierenden möglichst selbstständig auf diese kommen sollen. Das Erklären der gemachten Beobachtungen ist das Kernstück der Aufgabe und wird durch die Mixed Reality unterstützt. Kommen die Studierenden dennoch nicht auf die richtigen Lösungen, können diese im Plenum mit dem Dozierenden und den anderen Studierenden diskutiert werden, sodass ihnen noch weitere Sichtweisen zur Verfügung gestellt werden.

#### 5.2.4. Mehrere Maschen

Die Mixed Reality-Aufgabe zu den Maschen verfolgt das Ziel den Studierenden die Auswirkungen von Verbrauchern und Maschen in einem Stromkreis anschaulich zu vermitteln. Dazu wird eine weitere Visualisierung angeboten, die die Bedeutung der Maschen vermittelt. In der konzipierten Aufgaben werden die Studierenden daher eine gemischte Schaltung aufbauen und beobachten, wie sich Helligkeit, Spannung und Maschen verhalten, wenn einer der Verbraucher entfernt wird. Nach der Bearbeitung des Übungsblattes (vgl. Anhang A.3) sind sie dazu in der Lage die Bedeutung von Maschen für Spannungen und Helligkeiten zu erklären.

Im ersten Aufgabenteil geht es darum, zunächst ohne Experimente und Aufbau der Schaltung eine Reihenfolge für Helligkeit und Spannung der einzelnen Lampen der Schaltung zu finden. Hier werden die Studierenden mit einer neuen Situation konfrontiert und zudem das Vorwissen aus den vorherigen Veranstaltungen abgefragt, da in diesen schon behandelt wurde, wie sich Spannungen in Reihen- und Parallelschaltung verhalten und welchen Einfluss das auf die Helligkeit der Lampen haben muss. Die Aufgabe wird interaktiv bearbeitet, dazu werden wieder die nummerierten Lampen präsentiert, welche dann von den Studierenden in der jeweiligen Reihenfolge angeordnet werden können. Dies soll dann einmal für die Helligkeit und einmal für

die Spannung durchgeführt werden. Haben die Studierenden eine abschließende Reihenfolge gefunden, können sie die Antwort bestätigen und der nächste Aufgabenteil wird angezeigt.

Beim Aufgabenteil b) werden die ersten Überlegungen durch Aufbau der Schaltung überprüft und ggf. korrigiert. Die Studierenden machen durch Beobachtungen neue Erfahrungen, erkennen Abweichungen ihrer Vermutungen zur Realität und interpretieren diese. Das Finden und Erklären der richtigen Reihenfolgen soll nicht durch Nachmessen der Spannungen erfolgen, stattdessen können die Beobachtungen in der Mixed Reality-Umgebung genutzt werden. Dazu sollen die Animation des Stroms durch Pfeile oder Elektronen sowie die Spannungspfeile optional zur Verfügung gestellt werden, konkrete Messwerte sollen jedoch nicht zu sehen sein und auch nicht wählbar sein. Die Studierenden wissen bereits, dass die Helligkeit von Lampen durch die Bestimmung der Leistung, die sie erzeugt, abgeschätzt werden kann. Dieses Wissen sollen sie nutzen, um so Formeln für die Leistungen der einzelnen Lampen aufzustellen und dadurch die richtige Reihenfolge zu begründen. Dies kann durch die Mixed Reality unterstützt werden. Anhand der Animationen wäre zum Beispiel beobachtbar, dass die Lampe 6 den größten Spannungspfeil aufweist, die Spannung und die Helligkeit hier also am größten sein müssen. Die Reihenfolgen der Spannungen und Helligkeiten könnten so also schon überprüft werden. Die Animationen sollen aber vor allem bei der Begründung der Reihenfolge helfen. Wichtig ist in dieser Aufgabe, dass die Studierenden sich zunächst überlegen wie die Schaltung zusammengefasst werden kann und die einzelnen Teilschaltungen identifizieren. Für die Begründung der Reihenfolgen sind dann einige Schritte nötig, die durch Hinweise innerhalb der Mixed Reality-Umgebung angeregt werden können:

1. Wovon hängt die Helligkeit der Lampen ab?
2. Berechnen Sie für die einzelnen Lampen die Leistung und begründen Sie damit ihre Reihenfolge.
3. Für die Leistung gilt  $P = U \cdot I$ . Finden Sie eine alternative Formel?
4. Betrachten Sie die Schaltung genauer, schalten Sie dazu die Stromanimation sowie die Spannungspfeile ein. Was fällt Ihnen auf?
5. Wie können Sie den Strom in einer Schaltung berechnen?
6. Nutzen Sie das Ohm'sche Gesetz. Identifizieren Sie  $R_{\text{ges}}$  und  $U_{\text{ges}}$  und bestimmen Sie damit  $I_{\text{ges}}$ .
7. Betrachten Sie die einzelnen Teilschaltungen genauer. Bestimmen Sie für jeden Verbraucher den Strom.
8. Was gilt für den Strom in einer Parallelschaltung? Was für die Spannung?
9. Stellen sie das Ohm'sche Gesetz für beide Zweige auf. Wie können Sie damit die Teilströme bestimmen?
10. Für zwei Zweige gilt:  $I_{\text{ges}} = I_1 + I_2$  und  $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$ . Stellen Sie die 2. Gleichung nach einem der Ströme um, setzen Sie ihn dann in  $I_{\text{ges}}$  ein und bestimmen Sie somit beide Ströme.

Für die Abschätzung der Helligkeit sollen die Studierenden sich an die Leistung erinnern und diese zur Begründung nutzen. Dafür kennen sie bereits die Formel  $P = U \cdot I$  bzw.  $P = I^2 \cdot R$ .

Kommen sie nicht von alleine darauf, helfen ihnen die Hinweise 1-3. Um die jeweiligen Leistungen zu bestimmen, müssen sie also genau diese Größen betrachten. Dies können sie durch die Animationen machen. Dabei sollen die Studierenden zunächst erkennen, dass durch die einzelnen in Reihe geschalteten Teilschaltungen derselbe Strom fließt. Dies kann dadurch beobachtet werden, dass die Strompfeile oder Elektronen vor und nach den einzelnen Parallelschaltungen dieselbe Größe haben und somit die Stromstärke gleich groß sein muss. Nur innerhalb der Parallelschaltungen werden die Ladungsträger kleiner und der Strom teilt sich auf die Zweige auf. Außerdem können sie durch die Spannungspfeile sehen, dass diese für parallel geschaltete Lampen gleich groß sind und für in Reihe geschaltete unterschiedlich. Diese Zusammenhänge haben sie bereits untersucht, sie können hier aber anschaulich wieder in Erinnerung gerufen werden, sodass die Studierenden erkennen, dass sie die Spannungen der einzelnen Teilschaltungen zu einer Gesamtspannung zusammenfassen müssen. Dadurch wissen sie auch, dass die einzelnen Widerstände der Verbraucher zusammengefasst werden müssen, da die Spannungen an diesen abfallen und sie die Widerstände zur Berechnung brauchen. Auch diese Erkenntnis haben sie bereits machen können und sollen sich auf diese berufen. Somit können die Studierenden den Gesamtstrom und -widerstand der Schaltung bestimmen. Haben sie Probleme diese Schritte selbständig zu finden, können sie sich nacheinander die Hinweise 4-6 anzeigen lassen, die sie bei der Bestimmung leiten. Wurde der Gesamtstrom bestimmt, kann dieser genutzt werden, um die einzelnen Teilströme der Lampen zu berechnen. Die Beobachtung in der Mixed Reality helfen dabei erneut, indem die Studierenden die einzelnen Teilschaltungen genauer betrachten. Anhand der vorherigen Beobachtung, dass der Strom sich in einer Parallelschaltung auf die Zweige aufteilt, können sie erkennen, dass für den Gesamtstrom  $I_{\text{ges}} = I_1 + I_2$  gelten muss. Zusätzlich sehen sie auch, dass die Spannungen in beiden Zweigen gleich sind, da die Spannungspfeile gleich groß sind und können damit sowie mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes die einzelnen Ströme bestimmen. Für die Parallelschaltung 4 und 5 würde zum Beispiel  $R_4 \cdot I_4 = R_5 \cdot I_5$  gelten, wobei die Studierenden durch Umstellen auf  $\frac{R_4}{R_5} = \frac{I_5}{I_4}$  kommen. Danach müssen noch die Widerstände eingesetzt und nach einem der Ströme aufgelöst werden. Diese Gleichung kann dann in  $I_{\text{ges}}$  eingesetzt werden und die Teilströme sind somit bestimmt. Dabei helfen die Hinweise 7-10, die die Studierenden schrittweise auf diesen Weg führen. Die einzelnen Leistungen sind nun bestimmt, sodass die Reihenfolge der Helligkeiten begründet werden kann und durch die Bestimmung der einzelnen Ströme kann zudem auch eine Aussage über die Reihenfolge der anliegenden Spannung getroffen werden.

Durch die Untersuchung von Spannungen, Strömen, Leistung und Helligkeit haben die Studierenden die Vorarbeit für die Formalisierung der Beobachtungen und somit die Bestimmung der Maschen geleistet. Diese sollen im nächsten Aufgabenteil eingezeichnet und zudem die zugehörigen Maschengleichungen aufgestellt werden. Die Maschen werden dabei zum einen auf dem realen Übungsblatt eingezeichnet und zum anderen auch innerhalb der Mixed Reality-Umgebung. Dafür kann eine neue Darstellung der Schaltung als Hilfe gewählt werden. Diese zeigt die Schaltung dreidimensional mit Erhebungen für die Lampen bzw. Widerstände. Die Erhebungen ergeben dabei sich anhand des Verbraucher-Zählpfeilsystem, sodass ein Absinken einen Spannungsabfall und eine Erhöhung einen Spannungsanstieg bedeutet. In diese Darstellung sollen die Studierenden ihre Maschen einzeichnen. Dazu wird erneut ein virtueller Farbkasten zur Verfügung gestellt, aus dem die Studierenden verschiedene Farben für die Maschen wählen können. Eine Masche soll durch den Zeigefinger direkt über die Schaltung bzw. die Bauteile gemalt werden, die sie enthält. Zusätzlich können sie durch Antippen einer Stelle einen Startpunkt markieren, um besser nachzuvollziehen wie die Masche verläuft. Nach dem

Einzeichnen müssen die Maschen sowie der Startpunkt bestätigt werden, damit die Studierenden danach das Abbild der Schaltung verschieben und aus verschiedenen Positionen betrachten können, um so ihre Maschen abzugehen und den Verlauf real nachzuempfinden. Abbildung 5.3 zeigt die Idee der Visualisierung.

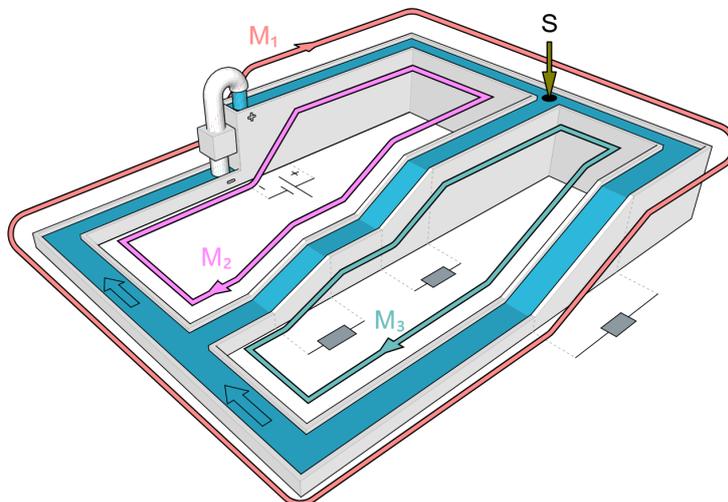


Abbildung 5.3.: Mögliche Darstellung der Maschen in der Mixed Reality [40]

Zudem hilft diese Darstellung beim Aufstellen der Maschengleichungen. Die Studierenden haben gelernt, dass Spannungen, die eine identische Richtung zur Umlaufrichtung haben mit einem positiven Vorzeichen versehen werden müssen. Durch diese Abbildung ist beobachtbar, dass der Weg für Lampen mit Spannungen in Umlaufrichtung absinkt und sich für Lampen mit Spannungen entgegen der Umlaufrichtung erhebt, sodass die Studierenden die Maschenregeln einfach aufstellen und nachvollziehen können. Ein Absinken in einer Masche kann als positives Vorzeichen der Spannung gedeutet werden, da Umlaufrichtung und Spannungsrichtung gleich sind und ein Anstieg als negatives, da sich beide Richtungen unterscheiden. Außerdem sollen die Studierenden noch erkennen, dass es für die Spannungsquelle verschiedene Maschen und somit verschiedene Maschengleichungen geben kann (vgl. Abbildung 5.4). Dies sollen sie nach dem Einzeichnen der Maschen beobachten und erklären, dass es daran liegt, dass zwei Parallelschaltungen vorhanden sind, also verschiedene Wege genommen werden können. Diese können sie erneut selbst nachverfolgen und sich dreidimensional anschauen.

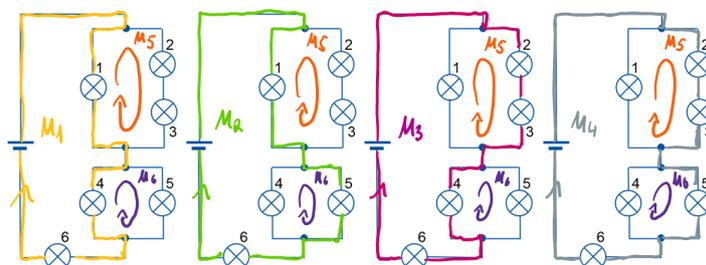


Abbildung 5.4.: Mögliche Maschen der Schaltung

Aufgabe d) dient dazu, das erworbene Wissen anzuwenden und in einer neuen Situation zu erproben. Die Studierenden sollen nun die Lampe 2 aus der Schaltung entfernen und erneut die Maschen einzeichnen sowie die Maschengleichungen aufstellen. Dies erfolgt auf dieselbe Weise wie zuvor. Der Unterschied ist, dass jetzt drei der Maschen wegfallen, da der Stromkreis an einer Stelle unterbrochen wird. Dazu gehören die innere Masche in der ersten Parallelschaltung (Masche M5) sowie zwei der äußeren (Maschen 3 und 4). Dies soll in der Maschendarstellung beobachtbar sein, in dem ein Loch an Stelle der entfernten Lampe zu sehen ist. Damit erhalten die Studierenden bereits einen Hinweis darauf wie sich die Helligkeit der Lampen verändern muss. Dies sollen sie nämlich in Aufgabe e) beurteilen und erklären, wobei die Studierenden zunächst vermuten sollen, was passiert. Dafür gibt es eine virtuelle Checkbox, in der sie ihre Antwort auswählen können. Danach wird die Maschendarstellung beendet und die Schaltung mit der Strom- bzw. Spannungsanimation zur Verfügung gestellt, sodass anhand der Beobachtung dieser Aussagen über die Helligkeit gemacht werden können. Beispielsweise ist zu sehen, dass durch die Lampe 3 keine Strompfeile zu sehen sind, folglich also kein Strom fließt. Auch der Spannungspfeil über Lampe 3 verschwindet, sodass deutlich wird, dass auch keine Spannung mehr anliegt, die Lampe also gar nicht mehr leuchten kann. Für Lampe 6 ist zu beobachten, dass zum einen der Spannungspfeil kleiner wird und zum anderen auch die Größe der Ladungsträger abnimmt. Bei Lampe 1 gilt genau das Gegenteil, Spannungspfeil und Strompfeile werden größer. Die Spannung und Stromstärke werden durch das Entfernen der einen Lampe also beeinflusst. Für Lampe 1 könnte die Studierenden argumentieren, dass der Strom durch die Lampe zunimmt, da diese nicht mehr parallel zu den anderen zwei Lampen geschaltet ist, der Gesamtstrom sich also nicht auf sie aufteilen muss. Durch das Ohm'sche Gesetz wissen sie zudem, dass ein größerer Strom auch mit einer größeren Spannung eingeht, was sie auch beobachten konnten. Für Lampe 6 ergibt sich ein kleinerer Strom, da der Gesamtwiderstand der Schaltung zunimmt, weil für die erste Teilschaltung aufgrund des Wegfalls der Parallelschaltung keine Kehrwerte mehr addiert werden müssen, sondern nur der Widerstand von Lampe 1. Die Spannung nimmt zudem ab, da die Gesamtspannung sich auf die Teilschaltungen aufteilt und da die Spannung von Lampe 1 zunimmt, muss die von Lampe 6 abnehmen. Für die Erklärung dieser Antworten sollen die Studierenden zusätzlich wieder die Leistungen bestimmen. Dies erfolgt auf dieselbe Weise wie zuvor, daher werden keine neuen Hilfen zur Verfügung gestellt.

Eine Rückmeldung erhalten die Studierenden an mehreren Stellen. Es soll ihnen vor allem aufzeigen, ob ihre Antworten korrekt sind. Ein erstes Feedback soll es nach Aufgabenteil a) geben. Die Studierenden haben hier Reihenfolgen von Helligkeit und Spannungen angegeben und ihnen soll angezeigt werden, ob ihre Vorüberlegung richtig oder falsch war. Dabei soll die richtige Antwort nicht angezeigt werden, sondern die Studierenden darauf hingewiesen werden, dass ihre Vermutung im nächsten Aufgabenteil korrigiert werden und die richtige Antwort begründet werden soll. Bei einer richtigen Antwort werden die Studierenden dazu aufgefordert eine Erklärung zu finden. Weiteres ähnliches Feedback gibt es in Aufgabenstellung e). Auch hier sollen die Studierenden sich vorher überlegen, was passieren könnte und nach der Abgabe ihrer Antwort wird ihnen die Richtigkeit dieser angezeigt. Auch hier wird die Lösung nicht vorgegeben, die Studierenden sollen wieder selbst die richtige Lösung und eine Erklärung für diese finden.

### 5.2.5. Reale Spannungsquellen

Durch die Mixed Reality-Technologie soll den Studierenden auf anschauliche Weise das Konzept der realen Spannungs- und Stromquellen vermittelt werden. Dazu werden sie eine reale Spannungsquelle modellieren, ihre Zusammenhänge experimentell untersuchen und durch Beobachtungen in der Mixed Reality Formeln für die wichtigsten Größen finden. Das Ziel ist es, dass die Studierenden am Ende reale und ideale Quellen unterscheiden können und verstehen wie sich reale Quellen modellieren lassen. Die folgenden Erklärungen beziehen sich auf die Aufgabe 1 vom Übungsblatt 4, welches im Anhang A.4 zu finden ist.

Die Studierenden sollen in der ersten Aufgabe zunächst die abgebildete Schaltung aufbauen und auf Helligkeit der Lampen untersuchen. An dieser Stelle werden die Vorstellungen nicht vor der Bearbeitung der Aufgaben abgefragt, da in den vorangegangenen Übungen Beeinflussungen der Helligkeit schon ausreichend betrachtet wurden und die Studierenden in dieser Aufgabe stattdessen direkt mit einer neuen Erfahrung konfrontiert werden sollen. Nach dem Aufbau der Schaltung soll beobachtet werden, dass sich die Helligkeit der Lampen nicht ändert, da diese parallel geschaltet sind, was bedeutet, dass die Spannung an den Bauteilen gleich sein muss. Diese bereits bekannte Erkenntnis wird im nächsten Aufgabenteil durch eine neue Beobachtung erweitert und in Frage gestellt. Die Studierenden sollen die Spannung an den Klemmen der Batterien erst ohne Lampen messen und dann nacheinander mehrere Lampen hinzufügen und sehen, dass die Spannung an den Klemmen immer weiter abnimmt, sodass ein Widerspruch zur vorherigen Beobachtung erzeugt wird. In der Mixed Reality-Umgebung sollen die Studierenden die Möglichkeit haben beliebig viele virtuelle Lampen in ihre Schaltung einzubinden, um so die Veränderungen der Spannung zu beobachten. In der Realität könnten nur eine begrenzte Anzahl von Lampen zur Verfügung gestellt werden, durch die Mixed Reality können die Studierenden jedoch auch Schaltungen mit mehr als vier Lampen aufbauen und sehen wie die Spannung immer weiter abnimmt. Zusätzlich sollen wieder die Spannungspfeile an den Bauteilen wählbar sein. So würde auch ohne Messung beobachtbar sein, dass die Spannungen abnehmen, da die Pfeile bei mehr Lampen immer kleiner werden würden. Eine konkrete Messung soll aber trotzdem durchgeführt werden, da die Studierende später Werte für die Berechnung des Innenwiderstands benötigen. Dafür sollen die Studierenden ihre Hände als Klemmen nutzen und so ein Messgerät simulieren. Der Messwert wird dann über der jeweiligen Stelle eingeblendet und kann einfach abgelesen werden.

Die neue Beobachtung soll die Studierenden darauf aufmerksam machen, dass ihre vorherigen Annahmen einer idealen Spannungsquelle nicht korrekt sein können. Die Abnahme der Spannung deutet darauf hin, dass in der Schaltung ein weiterer Verbraucher sein muss, die Batterien also einen Innenwiderstand aufweisen. Um ihre Beobachtungen zu interpretieren, sollen die Studierenden als erstes ein Ersatzschaltbild ihres Aufbaus erstellen. Dies soll interaktiv in der Mixed Reality-Umgebung erfolgen. Dafür wird die bereits präsentierte virtuelle Schaltung als Ausgangspunkt genutzt. Die Studierenden können dann die verschiedenen Lampen bzw. Widerstände durch Greifen und aufeinander platzieren zusammenfassen und so einen Gesamtwiderstand erhalten, den sie für ihr Ersatzschaltbild nutzen sollen. Für diesen sollen sie zudem den Widerstandswert eingeben. Dafür gibt es im MR-Lab ein virtuelles Textfeld mit Pfeiltasten, sodass zwischen verschiedenen Werten gewählt werden kann. Es werden mehrere Werte zur Verfügung gestellt, wobei die Studierenden durch Berechnungen auf den korrekten kommen und diesen wählen können. Die Batterien sollen auf dieselbe Weise zu einer Spannungsquelle

zusammengefasst werden. Ist dies geschehen, soll es möglich sein, diese durch beide Hände auseinanderzuziehen, sodass sich daraus ein Innenwiderstand löst. Die Studierenden haben sich somit die einzelnen Bausteine für die Erstellung des Ersatzschaltbilds selbständig erarbeitet und können diese dann zu einer Schaltung verbinden. Dies kann durch den Zeigefinger und das Zeichnen einer Verbindungslinie zwischen den jeweiligen Bauteilen erfolgen. Zur Beschriftung des Ersatzschaltbilds werden dann einige Begriffe sowie Pfeile präsentiert, die durch Verschieben an der jeweiligen Stelle in der Schaltung platziert werden können. Damit wird durch die Studierenden anschaulich und in Eigenarbeit das Modell der realen Spannungsquelle erarbeitet. Zudem können sie so erleben wie eine ideale Spannungsquelle in eine reale umgewandelt wird und haben die Möglichkeit die Modellierung praktisch nachzuempfinden. Die möglichen Interaktion zur Erstellung des Ersatzschaltbilds werden den Studierenden zudem in der Mixed Reality erläutert damit sie wissen, was sie tun können. Bei Problemen werden erneut verschiedene Hinweise angeboten:

1. Betrachten Sie die Schaltung. Welche Stellen können zusammengefasst werden?
2. Betrachten Sie die Lampen. Wie sind diese verschaltet?
3. Wie können Widerstände einer Parallelschaltung zusammengefasst werden?
4. Betrachten Sie die Spannungsquellen. Wie sind diese verschaltet?
5. Wie können Spannungsquellen einer Reihenschaltung zusammengefasst werden?
6. Wie muss ein Widerstand verschaltet werden, damit die Spannung sich aufteilt?
7. An welcher Stellen haben Sie die Klemmenspannung gemessen?
8. Erinnern Sie sich an die Pfeilsysteme? In welche Richtung zeigen Spannung und Strom?

Die Hinweise 1-6 sollen den Studierenden bei der Erstellung des Ersatzschaltbildes helfen. So sollen zunächst gleiche Bauteile identifiziert und dann erkannt werden, dass die Lampen parallel zueinander sind, also die Kehrwerte ihrer Widerstände addiert werden müssen, um sie zusammenzufassen. Für die Spannungsquellen können dann direkt die Widerstandswerte addiert werden, da diese in Reihe geschaltet sind. Zudem sollen sie daran erinnert werden, dass sich die Spannung in einer Reihenschaltung auf die Verbraucher aufteilt, der Innenwiderstand also in Reihe zur Spannungsquelle geschaltet werden muss. Diese Gesetzmäßigkeiten haben die Studierenden bereits bearbeitet, sodass die Hilfen sie auf diese Erkenntnisse hinweisen. Die Hilfen 7-8 sollen die Studierenden bei der Beschriftung des Ersatzschaltbildes unterstützen, damit sie die Begriffe und Pfeile richtig zuordnen können. Auch hier werden bereits bekannte Erkenntnisse wie die Pfeilsysteme wieder aufgegriffen.

Nach der Transformation in eine reale Spannungsquelle sollen die Ergebnisse festgehalten werden, indem die Studierenden Formeln für die verschiedenen Größen finden und eine Methode zur Bestimmung des Innenwiderstands entwickeln. Dies soll auf Basis des vorher erstellten Ersatzschaltbildes erfolgen, welches den Studierenden weiterhin dargestellt wird. Der Mixed Reality Einsatz soll in diesem Aufgabenteil eher als Hilfe als zum Experimentieren verwendet werden. Folgende Hilfestellungen sollen nacheinander wählbar sein:

1. Wie kann der Widerstand alternativ ausgedrückt werden?

2. Das Ohm'sche Gesetz ist  $U = R \cdot I$ . Wie können Sie damit den Innenwiderstand bestimmen?
3. Aktivieren Sie den Stromfluss. Was sehen Sie?
4. Zeichnen Sie eine Masche in das Schaltbild ein. Wie hilft Ihnen das weiter?
5. Denken Sie erneut an das Ohm'sche Gesetz: Wie können Sie damit Spannungen berechnen? Wie Stromstärken?
6. Für die Spannung gilt  $U = R \cdot I$  und für die Stromstärke  $I = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}}$ . Übertragen Sie das auf Ihren Aufbau.

Ziel dieser Aufgabe ist es, den Innenwiderstand zu bestimmen, ohne eine Widerstandsmessung durchzuführen. Der erste und zweite Hinweis soll die Studierenden daher daran erinnern, dass für die Berechnung von Widerständen das Ohm'sche Gesetz hinzugezogen werden kann. Durch Umstellen dessen erhalten sie eine Formel für den Innenwiderstand, nämlich  $R_i = \frac{U_{R_i}}{I_{R_i}}$ , wobei der Spannungsabfall und die Stromstärke noch gefunden werden müssen. Dabei helfen die nächsten zwei Hinweise. So sollen die Studierenden das virtuelle Schaltbild betrachten und sehen, dass die Pfeile oder Elektronen an jeder Stelle dieselbe Größe besitzen und somit die Stromstärke konstant sein muss, wodurch  $I_{R_i} = I$  gelten muss. Um  $U_{R_i}$  zu bestimmen, sollen die Studierenden sich an die Maschenregel erinnern. Nach Anzeigen des Hinweises können sie mit ihrem Zeigefinger eine Masche in ihr Schaltbild zeichnen. Dies zeigt, dass für die Quellenspannung  $U_q = U_{R_i} + U_{\text{Batt}}$  bzw.  $U_{R_i} = U_q - U_{\text{Batt}}$  gilt. Nun haben sie alle Größen für die Bestimmung des Innenwiderstand gefunden und können die Formel  $R_i = \frac{U_q - U_{\text{Batt}}}{I}$  aufstellen. Die letzten beiden Hinweise helfen dabei Formeln für die Klemmenspannung und die Stromstärke zu finden. Dabei wird erneut das Ohm'sche Gesetz verwendet, denn daraus ergibt sich  $U_{\text{Batt}} = R_L \cdot I$  und  $I = \frac{U_q}{R_i + R_L}$ .

Im letzten Schritt werden die neuen Erkenntnisse erprobt. Dafür sollen die Studierenden mit Hilfe ihrer selbst gefundenen Formeln den Innenwiderstand ihrer Batterien berechnen. Diese Aufgabe benötigt die Mixed Reality nicht mehr und kann auf Papier in der Realität durchgeführt werden, ist aber wichtig, um den Lernprozess zu vervollständigen und ist daher ein wichtiger Aufgabenteil.

Eine Rückmeldung sollen die Studierenden in erste Linie beim Erstellen des Ersatzschaltbildes erhalten. Haben sie dieses fertig erstellt, sollen sie es in der Mixed Reality-Anwendung bestätigen und erhalten daraufhin ein Feedback. Dieses soll die falsch platzierten Begriffe oder Pfeile sowie falsch zusammengefasste Bauteile markieren und die Studierenden auffordern diese nochmal zu betrachten. Dabei sollen konkrete Hilfestellungen zur Erstellung des korrekten Ersatzschaltbildes präsentiert werden. Folgende sind denkbar:

- Falscher Wert des Lastwiderstands: Wie sind die Lampen verschaltet? Welche Gesetzmäßigkeit gilt für Widerstände in dieser Schaltung?
- Falscher Strompfeil: Wie ist der Strom definiert? Was bedeutet das für seine Richtung?
- Falscher Spannungspfeil: Wie ist die Spannung definiert? Was bedeutet das für ihre Richtung?
- Falsche Schaltung von Spannungsquelle und Innenwiderstand: Wie muss ein Widerstand

verschaltet werden, damit die Spannung sich aufteilt?

### 5.2.6. Reale Stromquellen

Aufgabe 2 vom Übungsblatt 4 (vgl. A.4) thematisiert die realen Stromquellen. Sie hat als Ziel, den Studierenden nach der Betrachtung der realen Spannungsquellen auch das Konzept der realen Stromquellen zu vermitteln und zudem aufzuzeigen, dass beide sich in ihrer Schaltung unterscheiden aber ineinander überführt werden können. Die Aufgabenteile b) und c) wurden analog zum Aufgabenteil c) der vorherigen Aufgabe entwickelt. Die Schritte in der Mixed Reality-Umgebung zur Durchführung der Aufgabe sind dieselben wie auch schon zuvor und werden daher nicht erneut erläutert. Im Folgenden wird daher nur der Aufgabenteil a) sowie die wichtigsten Unterschiede zur vorherigen Aufgabe behandelt.

In der ersten Aufgabe sollen die Studierenden mit der realen Stromquelle konfrontiert werden. Dafür sollen sie sich überlegen wie diese modelliert werden kann. Für die Lösung der Aufgabe wird die Mixed Reality nicht benötigt. Die Studierenden sollen möglichst selbständig ohne weitere Hilfestellungen auf die korrekte Modellierung kommen, da diese auf bereits bekannten Gesetzmäßigkeiten aufbaut. Sie wissen, dass eine ideale Stromquelle einen konstanten Ausgangsstrom liefert, also ein Innenwiderstand parallel zu dieser geschaltet werden muss, damit der Gesamtstrom gleich bleibt und sich nur auf die einzelnen Zweige aufteilt. Durch diese Erkenntnis sollen die Studierenden wie auch schon in der ersten Aufgabe ein Ersatzschaltbild für die reale Stromquelle erstellen und die wichtigsten Größen sowie ihre Richtungen einzeichnen. Dieses soll interaktiv, also in der Mixed Reality-Umgebung, erstellt werden. Da die Studierenden nun aber noch keine Schaltung aufgebaut haben, sollen ihnen die verschiedenen Bauteile und Begriffe virtuell zur Verfügung gestellt werden, sodass sie diese auswählen und zu dem Ersatzschaltbild zusammenfügen können. Weiterführende Hilfen werden nicht angeboten, da zum einen keine Bauteile zusammengefasst werden müssen und die Studierenden zum anderen schon ein Ersatzschaltbild erstellt haben und ihr Wissen hier nur übertragen müssen.

Nach der Modellierung der realen Stromquelle sollen die Studierenden diese untersuchen und ihre Ergebnisse erneut in Formeln festhalten, also neue Beobachtungen machen und diese konzeptualisieren. Dafür wird mit dem virtuellen Ersatzschaltbild experimentiert. Die Studierenden sollen erneut mit Hilfe ihrer Hände Messwerte aufnehmen. Dazu trennen sie die virtuelle Schaltung an einer Stelle wieder auf und schließen den Stromkreis durch ihre Hände, sodass ein realer Strommesser simuliert wird. Zudem sollen sie die Werte des Lastwiderstands verändern, um die Auswirkungen auf die Schaltung zu beobachten. Ähnlich wie in Aufgabe 1 werden verschiedene Hilfen angeboten:

1. Welche Schaltung liegt vor? Was gilt in dieser für den Strom?
2. Aktivieren Sie den Stromfluss und die Spannungspfeile. Was sehen Sie?
3. Denken Sie an das Ohm'sche Gesetz. Wie können Sie damit Stromstärken berechnen? Wie Spannungen?
4. Durch welches Bauteil fließt  $I_{R_i}$ ? Durch welches  $I$ ?

Anhand der ersten beiden Hilfestellungen sollen die Studierenden erkennen, dass eine Parallelschaltung vorliegt, der Quellenstrom sich also auf die Zweige aufteilt und die Spannung

überall konstant ist. Das können sie anhand der Animationen zudem beobachten, da sich die Größen der Pfeile bzw. Elektronen unterscheiden und die Spannungspfeile an allen Bauteilen gleich groß sind. Dadurch könnten sie sich dann überlegen, dass die Teilströme addiert werden müssen, um den Gesamtstrom zu erhalten, also  $I_q = I_{R_i} + I$  gelten muss. Die Hinweise 3 und 4 sollen dabei helfen, die Formeln für  $I_{R_i}$ ,  $I$  und  $U_{out}$  zu finden. Die Studierenden beobachten, dass  $I_{R_i}$  durch den Innenwiderstand und  $I$  durch den Lastwiderstand fließt, sodass nach dem Ohm'schen Gesetz  $I_{R_i} = \frac{U}{R_i}$  bzw.  $I = \frac{U}{R_L}$  gefunden werden kann. Durch die Betrachtung der Spannungspfeile und die zuvor beobachteten Zusammenhänge wird zudem klar, dass  $U_{out}$  an allen Bauteilen abfällt, in dieser Schaltung also  $U_{out} = R_{ges} \cdot I_q$  gelten muss.

Durch die zuvor gefundenen Zusammenhänge sollen sich die Studierenden anschließend überlegen wie Strom- in Spannungsquellen umgewandelt werden können. In der Mixed Reality-Anwendung wird den Studierenden für die Lösung der Aufgabe erneut ihr virtuelles Ersatzschaltbild präsentiert. Dieses sollen sie dann durch Greifen und neu Positionieren der einzelnen Bauteile und Beschriftungen zu einem Ersatzschaltbild einer realen Spannungsquelle umwandeln. Dadurch sollen sie erkennen, dass zum einen die Verschaltung vom Innenwiderstand und der Quelle verändert werden und zum anderen die Strom- in eine Spannungsquelle gewandelt werden muss. So können sie beschreiben, dass aus dem Quellenstrom die Quellenspannung  $U_q = I_q \cdot R_i$  werden muss. Hilfen soll es in dieser Aufgabe nicht geben, da die Studierenden ihr neu erworbenes Wissen eigenständig erproben sollen.

Eine Rückmeldung erhalten die Studierenden bei der Modellierung der realen Stromquelle. Diese gestaltet sich bis auf einige Kleinigkeiten analog zu dem der realen Spannungsquellen:

- Falscher Strompfeil: Wie ist der Strom definiert? Was bedeutet das für seine Richtung?
- Falscher Spannungspfeil: Wie ist die Spannung definiert? Was bedeutet das für ihre Richtung?
- Falsche Schaltung von Stromquelle und Innenwiderstand: Wie muss ein Widerstand verschaltet werden, damit die Stromstärke sich aufteilt?

### 5.2.7. Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren

Im Themengebiet der Kondensatoren soll die Mixed Reality dazu eingesetzt werden, den Studierenden die Vorgänge im Inneren deutlich zu machen und bei der Untersuchung der Eigenschaften von Kondensatoren zu helfen. Dazu werden sie Schaltungen mit Kondensatoren aufbauen und anhand von Beobachtungen, die durch die Mixed Reality-Umgebung bereitgestellt werden, erklären, welche Auswirkungen durch Veränderungen von Parametern auftreten können. Das zugehörige Arbeitsblatt ist unter A.5 zu sehen. Im Folgenden wird Aufgabe 1 thematisiert.

Der einführende Text sowie der erste Aufgabenteil führen die Studierenden in das Konzept des Kondensators ein. Dazu sollen die Studierenden sich für verschiedene Gegebenheiten überlegen wie sich die Kapazität eines Kondensators ändern kann. Hier werden erste Erfahrungen mit der Kapazität gesammelt sowie die Vorstellungen abgefragt. Die HoloLens wird an dieser Stelle genutzt, um die Überlegungen der Studierenden festzuhalten. Dies soll durch eine virtuelle Checkbox geschehen, in der die Antwort angekreuzt werden kann. Diese wird zudem gespeichert und im nächsten Teil wieder aufgegriffen, um selbstständig korrigiert zu werden.

Die vorherigen Erkenntnisse sollen danach praktisch untersucht werden, indem die Studierenden experimentieren und konkrete Beobachtungen machen. Dafür wird ihnen in der Mixed Reality Umgebung eine virtuelle Schaltung bestehend aus einem dreidimensionalen Kondensator und einer Batterie präsentiert. Über verschiedene Griffe sollen durch Greifen dieser Abstand, Abmessungen der Kondensatorplatten, Dielektrikum und die anliegende Spannung verändert werden. Das Dielektrikum kann dabei zwischen die Kondensatorplatten geschoben und durch Antippen kann ein anderes Material gewählt werden, um zu beobachten, was dieses bewirkt. Standardmäßig wird Vakuum verwendet, durch mehrmaliges Tippen kann jedoch zwischen den weiteren Dielektrika, die sich auch auf dem Übungsblatt befinden, gewählt werden. Über den Platten des Kondensators werden zudem die jeweiligen Ladungsträger und zwischen ihnen die elektrischen Feldlinien angezeigt. Die Studierenden sollen die verschiedenen Parameter beliebig verändern und beobachten, was mit dem Kondensator passiert. So soll erkennbar sein, dass eine Vergrößerung der Fläche der Kondensatorplatten dazu führt, dass mehr Ladungsträger Platz auf dem Kondensator haben und somit die Kapazität auch größer wird, da diese das Fassungsvermögen der gespeicherten Ladung beschreibt. Dasselbe wäre auch für eine größere Dielektrizitätszahl beobachtbar. Es soll zu sehen sein, dass das jeweilige Dielektrikum, bevor es sich zwischen den Kondensatorplatten befindet, feste Atome enthält, seine Ladungsträger also nicht getrennt sind. Erst beim Verschieben in den Kondensator lösen sich diese voneinander, wobei die positiven sich nach der negativen Platte ausrichten und die negativen nach der positiven Platte. Zusätzlich fließen Ladungen zu den Platten nach, es haben nun also mehr Ladungen Platz auf dem Kondensator. Wird der Abstand vergrößert, ist zu sehen, dass sich weniger Ladungen auf dem Kondensator befinden und die Feldlinien immer länger werden, die Kapazität also abnimmt, da die Ladungsträger eine größere Strecke überwinden müssen. Es kann somit anschaulich festgestellt werden, dass eine doppelte Fläche und Dielektrizitätszahl zu einer doppelten Kapazität und ein doppelter Abstand zu einer halben Kapazität führen. Hilfen werden an dieser Stelle nicht zur Verfügung gestellt, da die Studierenden selbstständig anhand ihrer Beobachtung zu einer Erklärung kommen sollen. Abbildung 5.5 stellt die grundlegende Idee der Kondensatordarstellung dar.

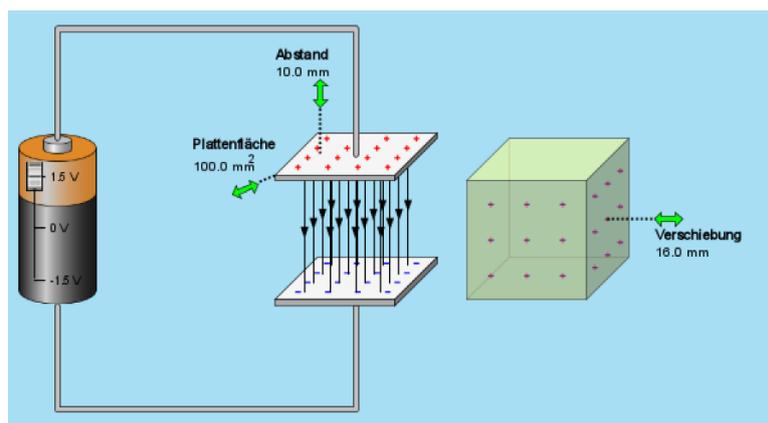
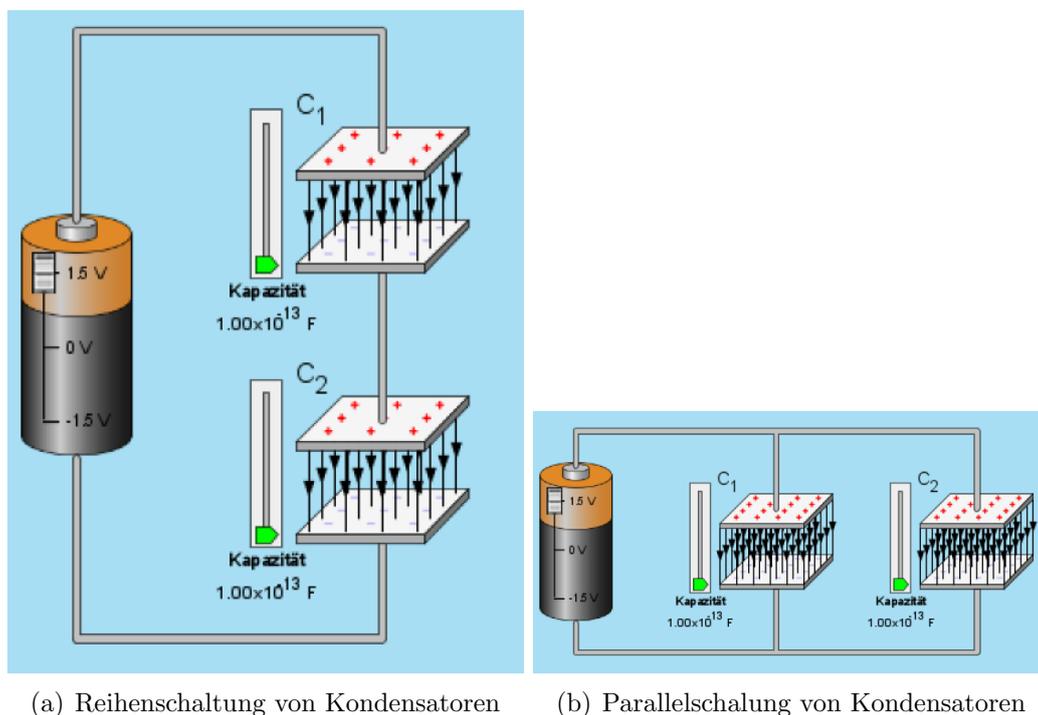


Abbildung 5.5.: Mögliche Darstellung des Kondensators in der Mixed Reality [36]

Nachdem bereits die Veränderung der Kapazität untersucht wurde, sollen Formeln für die Gesamtkapazität in einer Reihen- bzw. Parallelschaltung gefunden werden, indem die Studierenden mit Hilfe der Brick'R'Knowledge Bausteine zunächst eine Schaltung aus zwei Kondensatoren aufbauen. In der Mixed Reality soll es möglich sein beliebig viele weitere einzufügen. Nach Aufbau der Schaltung sollen an Stelle der Kondensatoren die zuvor beschriebene Darstellung sowie die Stromanimationen eingeblendet werden, damit die Studierenden die Auswirkungen auf die Ladungen des Kondensators beobachten können. Dadurch können sie erklären, dass sich die Ladungen der Spannungsquelle in einer Parallelschaltung auf beide Kondensatoren aufteilen und in einer Reihenschaltung die Ladungen von einem Kondensator zum nächsten übergeben werden. Damit sind bereits erste Rückschlüsse auf die Berechnungsformeln möglich. In Abbildung 5.6 wird dargestellt wie die Reihen- bzw. Parallelschaltung in der Mixed Reality aussehen könnte, wobei auf die Werte für die Kapazität verzichtet werden soll.



(a) Reihenschaltung von Kondensatoren

(b) Parallelschaltung von Kondensatoren

Abbildung 5.6.: Mögliche Darstellungen der Kondensatorschaltungen in der Mixed Reality [36]

Bei Problemen sollen jedoch auch folgende Hilfe dargeboten werden:

1. Betrachten Sie die Schaltung genauer. Welche Parameter könnten Sie zusammenfassen?
2. Betrachten Sie die Schaltung genauer. Welche Parameter ändern sich?
3. Erinnern Sie sich an die vorherigen Erkenntnisse. Welche Parameter wurden wie verändert? Wie können Sie das auf die Schaltung übertragen?
4. Klicken Sie nacheinander auf die einzelnen Kondensatoren. Wie können Sie die Beobachtung deuten?

Die Hilfen 1 und 2 sollen den Studierenden verdeutlichen, dass in einer Parallelschaltung die Flächen der Kondensatorplatten und bei einer Reihenschaltung die Abstände verändert werden. Dies soll vor allem durch die Anordnung der Platten beobachtbar sein. In einer Reihenschaltung

befinden sich beispielsweise zwei Plattenpaare gleicher Fläche übereinander, wobei die oberste Platte positiv und die unterste negativ geladen ist, wodurch die mittleren beiden weggelassen und nur ihre Abstände zusammengefasst werden können. In einer Parallelschaltung befinden sich die Plattenpaare nebeneinander, die Abstände bleiben also gleich, die Flächen können jedoch addiert werden. Der Hinweis 3 erinnert zudem an die vorherige Aufgabe, in der die Studierenden selbst Abstände und Fläche variiert und ihre Auswirkungen betrachtet haben. Damit könnten sie dann zuordnen, welche Veränderung zu welcher Schaltung passt. Haben sie dennoch Schwierigkeiten sollen sie durch Hilfe 4 die einzelnen Kondensatoren ihrer Schaltung antippen. Dies führt dazu, dass diese, wie zuvor beschrieben, zusammengefasst werden und somit direkt ersichtlich wird, was jeweils verändert wird. Diese Erkenntnisse könnten dann in die bereits bekannte Formel eingesetzt und jeweils umgestellt werden. Damit wären die Berechnungsformeln für die jeweilige Schaltung gefunden.

Im letzten Aufgabenteil sollen die Studierenden erneut die virtuelle Schaltung aus Aufgabe b) untersuchen, aber nun die anliegende Spannung variieren. Dadurch sollen sie erkennen, dass eine höhere Spannung dazu führt, dass mehr Ladungen zwischen den Kondensatorplatten transportiert werden. Dies soll dadurch dargestellt werden, dass bei einer Veränderung der Spannung entweder mehr oder weniger Ladungen an den Platten anliegen. Mit Hilfe dieser Beobachtung sollen die Studierenden darauf kommen, dass die Spannung proportional zur Ladung  $Q$  sein muss. Zudem wissen sie bereits, dass die Kapazität das Maß der gespeicherten Ladungen des Kondensators angibt, also auch diese proportional zur Ladung ist. Dadurch haben sie die Formel  $Q = C \cdot U$  hergeleitet, die dann nach  $C$  umgestellt werden kann. Diese Formel haben sie selbstständig nur durch ihre Beobachtungen in der Mixed Reality hergeleitet. Hilfen sollen an dieser Stelle nicht zur Verfügung gestellt werden, da die Studierenden ihr bisheriges Wissen selbstständig anwenden sollen, um die Formel zu bestimmen.

Ein kurzes, informatives Feedback erhalten die Studierenden nach Aufgabenteil b) bzw. nach der Korrektur ihrer ersten Vermutungen. Nach Bearbeitung dieser wird die anfängliche Check-box erneut gezeigt, wobei die Korrektheit markiert wird, sodass den Studierenden ihre anfänglichen Vorstellungen nochmal vor Augen geführt und Differenzen zur Realität deutlich werden, sodass ihnen ihr Lernfortschritt und neuen Erkenntnisse bekannt gemacht werden.

### 5.2.8. Auf- und Entladen eines Kondensators

Zusätzlich soll die Mixed Reality eingesetzt werden, um die Vorgänge beim Auf- und Entladen eines Kondensators zu visualisieren. Dafür sollen die Studierenden die klassischen Auf- und Entladevorgänge praktisch untersuchen und anhand einer Animation die Veränderungen verschiedener Größen beobachten und erklären. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Aufgabe 2 vom Arbeitsblatt 5 (vgl. A.5).

Den Studierenden wird auf dem Übungsblatt zunächst die Schaltung präsentiert, mit der sie experimentieren werden (vgl. Abbildung 5.7). In einem ersten Schritt sollen sie sich überlegen wie groß  $U_{c_{\max}}$  bzw.  $U_{c_{\min}}$  werden können. Haben sie eine Vermutung aufgestellt, sollen sie die Schaltung mit Hilfe der Brick'R'Knowledge Bausteine aufbauen, die HoloLens aufsetzen und dann die Spannungen messen. Dabei werden die Hände, wie auch schon in vorherigen Aufgaben, zur Messung genutzt. Zusätzlich können sie sich Spannungspfeile oder Stromanimationen anzeigen lassen. Die Aufgabe hat den Zweck die Vorstellungen der Studierenden erst abzufra-

gen und dann anhand einer Messung die Realität aufzuzeigen, um Abweichungen zu erklären. Dabei könnte die erste Vermutung der Studierenden sein, dass  $U_{c_{\max}} = U_q$  gelten muss, der Kondensator also die gesamte Spannung der Spannungsquelle annehmen kann. Dies ist jedoch nicht korrekt, da durch das Anschließen eines Spannungsmessgeräts parallel zum Kondensator die Schaltung durch den Innenwiderstand des Geräts verändert wird und somit nicht die gesamte Spannung der Quelle am Kondensator anliegen kann. Dies würden sie anhand ihrer Messung erkennen, zudem können sie dies auch mit Hilfe der Spannungspfeile beobachten, die über der Quelle und dem Kondensator vorhanden sind, sich aber in ihrer Größe unterscheiden.

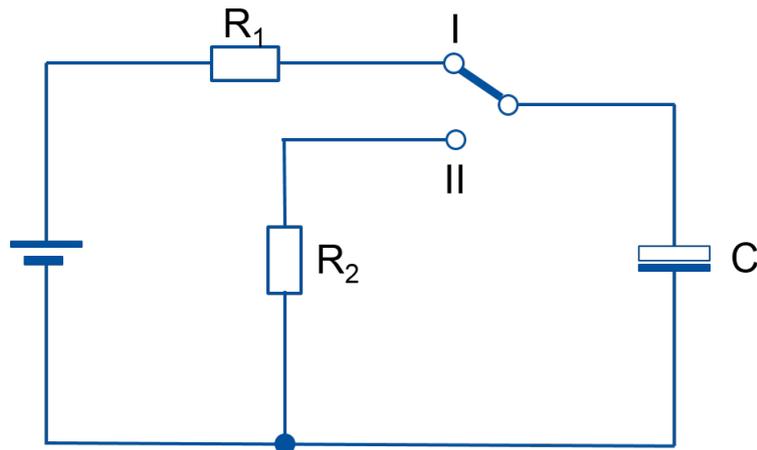


Abbildung 5.7.: Schaltung für die Auf- und Entladung des Kondensators

Danach sollen die Studierenden die Spannung am Kondensator während des Auf- und Entladevorgangs messen sowie die Schaltung während dieser beobachten. Hier wird in der Mixed Reality erneut die vorher beschriebene Darstellung des Kondensators angeboten, die die inneren Vorgänge in der Schaltung deutlich macht. Dafür werden die Animation des Stroms, die Spannungspfeile sowie die Darstellung der Ladungen genutzt. Wird der Kondensator aufgeladen, können die Studierenden beobachten, dass der vorher leere bzw. ungeladene Kondensator immer mehr Ladungen der Spannungsquelle aufnimmt bis keine Ladungen mehr hinzu kommen, der Kondensator also voll aufgeladen ist. Gleichzeitig werden die Strompfeile immer kleiner bis sie ganz verschwinden und der Spannungspfeil am Kondensator wird immer größer bis er ein Maximum erreicht und nicht weiter anwächst. Auf diese Weise haben die Studierenden bereits ohne Formeln oder Messungen die Erfahrung gemacht, dass beim Aufladen eines Kondensators der Strom abnimmt und gegen 0 geht, die Spannung gegen ein Maximum geht und auch die Ladungen bis zu einem Maximum ansteigen. Diese Erkenntnisse können normalerweise nur mit Hilfe von Messungen gesammelt werden, durch die Mixed Reality können sie jedoch visualisiert werden. Legen die Studierenden den Schalter um, dies soll durch Antippen möglich sein, startet der Entladevorgang des Kondensators. Zu sehen ist dann, dass die Ladungen am Kondensator mit der Zeit abnehmen bis sie ganz verschwunden sind, der Kondensator also entladen ist. Die Strompfeile sind wieder zu sehen, fließen nun aber in die umgekehrte Richtung und werden immer kleiner bis sie ganz verschwunden sind. Auch die Größe des Spannungspfeils am Kondensator nimmt immer weiter ab bis er ganz verschwindet. Diese Beobachtungen sollen zusätzlich durch Messung der Spannung am Kondensator unterstützt werden, dazu wird eine virtuelle Stoppuhr zur Verfügung gestellt, die per Antippen gestartet und gestoppt werden

kann. Eine Messung könnte dann beispielsweise durch das Starten der virtuellen Stoppuhr begonnen werden. Zur Messung der Spannung legen die Studierenden ihre beiden Hände an die entsprechende Stelle in der Schaltung, wodurch der Spannungswert sowie die zugehörige Zeit neben der Schaltung angezeigt werden. Dies könnte für weitere variable Zeitpunkte wiederholt werden und so die Werte bestimmt werden. Stoppen die Studierenden dann die Stoppuhr, wird die Messung beendet und es wurde eine volle Messwerttabelle aufgenommen, die dann von den Studierenden übernommen werden kann. Nach der Messung können die Studierenden diese Tabelle auch wieder schließen, um nicht von den virtuellen Informationen gestört zu werden. Vorteil dieser Methode ist, dass genauere Messwerte aufgenommen werden können, da Zeit und Spannung nicht gleichzeitig gemessen, sondern von der Mixed Reality-Umgebung erfasst werden. Messung und Beobachtungen können gleichzeitig durchgeführt werden, die Studierenden könnten aber auch erst einen Durchlauf starten, um sich die Veränderungen anzusehen und danach einen weiteren, um Messwerte aufzunehmen. Es soll daher möglich sein die Animationen mehrmals und selbst zu starten.

Durch die vorherigen Messwerte sollen abschließend Kurven für die Spannung des Kondensator während der Auf- und Entladung erstellt werden. Zusätzlich sollen die Studierenden sich überlegen, wie die Kurven für den Strom und die Ladung für den jeweiligen Vorgang aussehen könnten. Dies soll anhand der vorherigen Beobachtungen bzw. der Animation der verschiedenen Größen geschehen. Die Studierenden konnten bereits beobachten wie sich diese verändern und können dieses Wissen nutzen, um den Verlauf der Kurven abzuleiten. Zusätzlich konnten sie anhand ihre Messwertkurven erkennen, dass sich die Spannung exponentiell verändert, dasselbe also auch für den Strom und die Ladung gilt. Zur Unterstützung soll es zudem möglich sein, sich die Animation erneut anzugucken, um so ein Gefühl für die Kurven zu bekommen.

Auf Feedback wird in dieser Aufgabe verzichtet, da diese nicht auf Interaktivität und das Ausführen von Tätigkeiten in der Mixed Reality ausgelegt ist, sondern die Technologie als Visualisierungsmöglichkeit zur Erleichterung des Verständnisses komplexer Sachverhalte nutzt. Die Studierenden sollen zwar experimentieren, Ziel ist es jedoch ihnen anschaulich zu vermitteln, was beim Auf- und Entladen eines Kondensators genau geschieht.

## 6. Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurden konkrete Szenarien für den Einsatz der Mixed Reality-Technologie für die Reduktion von allgemeinen Zugangsbarrieren sowie zu Lehrzwecken in einer Grundlagenveranstaltung der Elektrotechnik erarbeitet. Im Folgenden werden diese Ergebnisse zusammengefasst und zusätzlich ein Ausblick auf weitere Entwicklungsmöglichkeiten gegeben.

### 6.1. Zusammenfassung

Mit Hilfe der Mixed Reality und der HoloLens 2 von Microsoft wurden Vorschläge konzipiert, mit welchen Barrieren verschiedener Art verringert werden können. Dabei wurde ein Konzept für den Abbau sprachlicher Barrieren entwickelt, das Studierenden Übersetzungen als Text, Ton oder Piktogramme zur Verfügung stellt. Zusätzlich wurden Konzepte zur Reduktion physischer Barrieren vorgestellt, welche ein halb- oder vollkommen virtuelles Labor nutzen und durch virtuelle Konferenzen und das Teilen von Objekten aus der Mixed Reality unterstützt werden, um Studierende Aufgaben von zu Hause aus bearbeiten zu lassen, ohne in der Universität zu sein. Da die Mixed Reality eine neue Technologie darstellt, die noch nicht häufig eingesetzt wird, wurden zudem auch Ideen entwickelt, um technischen Schwierigkeiten entgegenzuwirken. Dafür wurden Vorschläge für ein Tutorial, den Einsatz eines pädagogischen Agenten, das Einfügen von Bedienungsanweisungen sowie die Verringerung der Motion Sickness erarbeitet. Als letztes wurden Konzepte für die Reduktion kognitiver Barrieren vorgestellt, welche dafür entwickelt wurden die kognitive Belastung der Studierenden zu verringern und eine Differenzierung in Lehrveranstaltungen einfach zu realisieren.

Außerdem wurden konkrete Aufgaben und Szenarien für den Einsatz der Mixed Reality-Technologie in der Veranstaltung „Praxis elektrotechnischer Methoden“ entwickelt, um Studierende bei der kognitiven Modellbildung der Vorgänge innerhalb eines elektrischen Stromkreises zu unterstützen. Dafür wurden die vorhandenen Materialien analysiert und auf Basis dieser ergänzende Übungsblätter erarbeitet, die die Aufgaben enthalten und für die Lehre verwendet werden können. Für den Einsatz dieser Szenarien wurden zudem der Ablauf der Lernprozesse, mögliche Hilfestellungen und Feedback, die Anforderungen an die Mixed Reality-Anwendungen sowie die neuen Anschauungsmöglichkeiten innerhalb der Mixed Reality entwickelt und erläutert. Zur Visualisierung der Vorgänge in einem Stromkreis wurden Vorschläge für die Darstellung von Strömen, Spannungen, Potentialen, Maschen und Kondensatoren innerhalb der Mixed Reality-Umgebung gemacht.

## 6.2. Ausblick

Damit die erarbeiteten Konzepte sinnvoll in der Lehre eingesetzt werden können, müssen die Aufgaben sowie ihre Interaktionsmöglichkeiten, das Hinweismenü sowie die Rückmeldungen zunächst in die bestehende Mixed Reality-Anwendung integriert und implementiert werden. Dies muss der nächste Schritt sein und erst danach können die Einsatzszenarien konkret in der Lehre erprobt werden.

Zusätzlich kann anstatt der einzelnen ergänzenden Aufgaben eine vollwertige Mixed Reality-Lernumgebung entwickelt werden, die auch Game-Features enthält. Dazu können die konzipierten Aufgaben als Ausgangsbasis dienen und diese mit spielerischen Elementen verbunden werden. So kann eine Rahmenhandlung erarbeitet werden, in der die Studierenden die Tätigkeiten zur Lösung der Aufgaben ausführen müssen, um ein übergeordnetes Problem zu lösen. Dazu eignet sich zum Beispiel ein typischer Auftrag aus dem Arbeitsalltag eines Elektroingenieurs oder einer Elektroingenieurin. Außerdem können Spielstände oder Fortschrittsbalken eingebunden werden, die den Studierenden zeigen wie weit sie mit der Bearbeitung sind. Das Feedback kann durch einen pädagogischen Agenten übernommen werden, der beispielsweise den Vorgesetzten darstellt und den Studierenden während der Arbeit Hinweise und Rückmeldungen gibt.

Da die meisten Konzepte als ersten Schritt die Abfrage des Vorwissens der Studierenden vorsehen, ist es zudem möglich Abfragen für den Wissenszuwachs der Studierenden nach Bearbeitung der Aufgaben einzubauen und damit abzuschätzen, ob der Einsatz einen größeren Lernerfolg erzielt als klassische Lehrmaterialien. Denkbar wäre auf Basis des Vorwissens der Studierenden individuelle Extraaufgaben innerhalb der Mixed Reality zur Verfügung zu stellen, die entweder das Wissen fördern oder vertiefen.

Um die Gefahr einer Ablenkung der Studierenden durch zu viele virtuelle Informationen zu reduzieren, können die Eye-Tracker der HoloLens eingesetzt werden, um adaptive Informationen zu realisieren. Dabei können die Bewegungen der Augen der Studierenden getrackt werden und wenn bestimmte Informationen zu lange oder zu oft betrachtet werden, können diese automatisch ausgeblendet werden, um die Aufmerksamkeit wieder auf die eigentliche Aufgabe zu lenken. Damit kann dem Effekt der geteilten Aufmerksamkeit noch mehr entgegengewirkt werden.

# Literaturverzeichnis

- [1] Allen G. Taylor. *Develop Microsoft HoloLens Apps Now*. Apress, 2016. ISBN:978-1-4842-2201-0.
- [2] Anasol Peña-Rios, Victor Callaghan, Michael Gardner, Mohammed Alhaddad. Remote Mixed Reality Collaborative Laboratory Activities: Learning Activities within the Inter-Reality Portal. In *Proceedings of the The 2012 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology - Volume 03*, dec. 2012. DOI:10.1109/WI-IAT.2012.43.
- [3] Andreas Dünser, Lawrence Walker, Heather Horner, Daniel Bentall. Creating interactive physics education books with augmented reality. In *OZCHI*, pages 107–114, nov. 2012. DOI:10.1145/2414536.2414554.
- [4] Anett Mehler-Bicher, Lothar Steiger. Augmentierte und Virtuelle Realität. In *CSR und Digitalisierung. Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft*, pages 266–290. Springer Gabler, 2017. ISBN:978-3-662-53201-0.
- [5] Anna Noll, Jürgen Roth, Markus Scholz. Lesebarrieren im inklusiven Mathematikunterricht überwinden-visuelle und sprachliche Unterstützungsmaßnahmen im empirischen Vergleich. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 41:157–190, jan. 2020. DOI:10.1007/s13138-020-00158-z.
- [6] Antje Proske, Hermann Körndle, Susanne Narciss. *Interactive Learning Tasks*, pages 1606–1610. Springer US, jan. 2012. ISBN:978-1-4419-1427-9.
- [7] Basu, Aryabrata. *A brief chronology of Virtual Reality*. 2019.
- [8] Bitnamic. Microsoft HoloLens 2-Funktionen und Verbesserungen. <https://bitnamic.net/microsoft-hololens-2-funktionen-und-verbesserungen/>. zuletzt aufgerufen am 18.03.2021.
- [9] Borko Furht. *Handbook of Augmented Reality*. Springer, 2011. ISBN:978-1-4614-0063-9.
- [10] Brick'R'Knowledge. Basic Set. <https://www.brickrknowledge.de/sets/experiments/basic-set/>. zuletzt aufgerufen am 19.03.2021.
- [11] Brick'R'Knowledge. Über Brick'R'knowledge. <https://www.brickrknowledge.de/>. zuletzt aufgerufen am 19.03.2021.
- [12] Christian Kautz. *Verständnisschwierigkeiten und Fehlvorstellungen in Grundlagenfächern des ingenieurwissenschaftlichen Studiums*, pages 81–111. Michael Rentschler, Gottfried Metzger, 2014. ISBN:978-3-8440-3013-6 .

- [13] David Kolb. *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.
- [14] Dieter Müller. Mixed Reality Learning and Working Environments - The MARVEL approach. In *Proceedings of the 12th European Conference for Educational and Information Technology*, 2004. DOI:10.1109/WI-IAT.2012.43.
- [15] Ernst Kircher, Raimund Girwidz, Hans E. Fischer. *Physikdidaktik-Grundlagen*. Springer, 2020. ISBN:978-3-662-59489-6.
- [16] Felix Kapp, Linda Kruse, Nadien Matthes, Pia Spangenberg. AR-VR-MR? Erfolgsfaktoren für immersive Lernumgebungen am Beispiel einer Lernanwendung für die Windenergiebranche. In Sandra Schulz, editor, *Proceedings of DELFI Workshops 2019*, pages 139–152, Bonn, 2019. Gesellschaft für Informatik e.V.z. DOI:10.18420/delfi2019-ws-116.
- [17] Fred Paas, John Sweller. *Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning*, pages 27–42. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press, 2014. DOI:10.1017/CBO9781139547369.004.
- [18] Frédéric Bosché, Mohamed Abdel-Wahab, Ludovico Carozza. Towards a Mixed Reality System for Construction Trade Training. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, 2015.
- [19] Immersive Learning News. Übelkeit durch VR: Wie ihr mit Motion Sickness umgehen könnt. <https://www.immersivelearning.news/2020/02/20/uebelkeit-durch-vr-wie-ihr-mit-motion-sickness-umgehen-koennt/>. zuletzt aufgerufen am 22.03.2021.
- [20] Jochen Teizer, Mario Wolf, Markus König. Mixed Reality Anwendungen und ihr Einsatz in der Aus- und Weiterbildung kapitalintensiver Industrien. *Bauingenieur*, 2018.
- [21] John Sweller. Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22:123–138, jun. 2010. DOI:10.1007/s10648-010-9128-5.
- [22] Jorge Bacca-Acosta, Silvia Baldiris, Ramón Fabregat, Sabine Graf, Dr Kinshuk. Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology and Society*, 17:133–149, oct. 2014.
- [23] Leibniz Universität Hannover. Studierendenstatistik WS 2020/21. [https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/planung\\_controlling/statistik/studierendenstatistik/studierendenstatistik\\_wisem\\_2020\\_2021.pdf](https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/planung_controlling/statistik/studierendenstatistik/studierendenstatistik_wisem_2020_2021.pdf). zuletzt aufgerufen am 11.04.2021.
- [24] Lisa Tolentino, David Birchfield, Colleen Megowan-Romanowicz, Mina C. Johnson-Glenberg, Aisling Kelliher, Cristopher Martinez. Teaching and Learning in the Mixed-Reality Science Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18:501–517, 2009.
- [25] Liubov Yazykova, Inna Muzyleva, Alina Gorlach, Yakov Gorlach. Laboratory for Electrical Engineering Using Mixed Reality. In *2020 2nd International Conference on Control*

- Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*, pages 663–668, 2020. DOI:10.1109/SUMMA50634.2020.9280808.
- [26] Manfred Brill. *Informatik im Fokus. Virtuelle Realität*. Springer-Verlag, 2009. ISBN:978-3-540-85117-2.
- [27] Marcus Tönnis. *Informatik im Fokus. Augmented Reality. Einblicke in die erweiterte Realität*. Springer-Verlag, 2010. ISBN:978-3-642-14178-2.
- [28] Matt Dunleavy, Chris Dede, Rebecca Mitchell. Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18:7–22, feb. 2009. DOI:10.1007/s10956-008-9119-1/.
- [29] Michael Gardner and Maire-Luce O’driscoll. MiRTLE (Mixed-Reality Teaching and Learning Environment): from prototype to production and implementation. In *EC-TEL 2011 Workshop: Learning activities across physical and virtual spaces*, 2011.
- [30] Microsoft. HoloLens 2-Hardware. <https://docs.microsoft.com/de-de/hololens/hololens2-hardware>. zuletzt aufgerufen am 18.03.2021.
- [31] Microsoft. HoloLens 2.Eine neue Computing-Vision. <https://www.microsoft.com/de-de/hololens/hardware>. zuletzt aufgerufen am 18.03.2021.
- [32] Microsoft. HoloLens 2.Eine neue Realität für Computing. <https://www.microsoft.com/de-de/hololens>. zuletzt aufgerufen am 17.03.2021.
- [33] Miriam Mulders, Josef Buchner. Lernen in immersiven virtuellen Welten aus der Perspektive der Mediendidaktik. *Medienimpulse*, 58:1–23, jun. 2020. DOI:10.21243/mi-02-20-22.
- [34] Murat Akçayir, Gökçe Akçayir. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20:1–11, 2017.
- [35] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, Fumio Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, 01 1994. DOI:10.1117/12.197321.
- [36] Phet Colorado. Kondensatorlabor. <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/capacitor-lab/latest/capacitor-lab.html?simulation=capacitor-lab&locale=de>. zuletzt aufgerufen am 14.04.2021.
- [37] Phet Colorado. Stromkreise schalten: Virtuelles Gleichstrom-Labor. [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab\\_de.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_de.html). zuletzt aufgerufen am 14.04.2021.
- [38] Philippe Giraudeau, Alexis Olry, Joan Sol Roo, Joan Sol, Stephanie Fleck, David Bertolo, Robin Vivian, Martin Hachet. CARDS: A Mixed-Reality System for Collaborative Learning at School. In *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, pages 55–64. Association for Computing Machinery, 2019. DOI:10.1145/3343055.3359721.

- [39] Physics Videos by Eugene Khutoryansky. Electric Circuits: Basics of the voltage and current laws. <https://www.youtube.com/watch?v=m4jzgzqZu-4s&list=PLkyBCj4JhHt9dIW507GaTU149BkIFbo5y&index=5>. zuletzt aufgerufen am 15.04.2021.
- [40] Physik Libre. 11.9 Verzweigte elektrische Stromkreise. <https://physikbuch.schule/multiloop-circuits.html>. zuletzt aufgerufen am 13.04.2021.
- [41] Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm, Bernhard Jung. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer Vieweg, 2019. ISBN:978-3-662-58860-4.
- [42] Raphael Zender, Matthias Weise, Markus von der Heyde, Heinrich Söbke. Lehren und Lernen mit VR und AR-Was wird erwartet? Was funktioniert? In *DeLFI Workshops*, sep. 2018.
- [43] Rebecca Sahrah Parkes, Neil Forrest, Sarah Baillie. A Mixed Reality Simulator for Feline Abdominal Palpation Training in Veterinary Medicine. *Studies in health technology and informatics*, 142:244–246, 2009. DOI:10.3233/978-1-58603-964-6-244.
- [44] Reiner Neumann, Ralf Nacke, Alexander Ross. *Corporate E-Learning Book.Strategien, Märkte, Anwendungen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2002. ISBN:978-3-322-82376-2.
- [45] Richard Mayer, Paul Chandler. When Learning Is Just a Click Away: Does Simple User Interaction Foster Deeper Understanding of Multimedia Messages? *Faculty of Education - Papers*, 93, jun. 2001. DOI:10.1037//0022-0663.93.2.390.
- [46] Roland Baumann. In die Welt der Moleküle eintauchen. <https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2018/02/hololens.html>. zuletzt aufgerufen am 16.03.2021.
- [47] Ronald T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, pages 355–385, 1997. DOI:10.1162/pres.1997.6.4.355.
- [48] Simone Kauffeld, Julius Othmer. *Handbuch Innovative Lehre*. Springer, 2019. ISBN:978-3-658-22796-8.
- [49] Stefan Schwan, Jürgen Buder. Virtuelle Realität und E-Learning. <https://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/vr/vr.pdf>. zuletzt aufgerufen am 19.03.2021.
- [50] Susanne Narciss. Designing and Evaluating Tutoring Feedback Strategies for digital learning environments on the basis of the Interactive Tutoring Feedback Model. *Digital Education Review*, 23:7–26, jun. 2013.
- [51] Tobias Haertel, Claudius Terkowsky, Christian Pleul. Entwicklung von Remote-Labs zum erfahrungsbasierten Lernen. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung ZFHE*, Jg. 8:79–87, jan. 2013.
- [52] Tobias Pahl. *Realisierung einer MR-Applikation für die Unterstützung der kognitiven Modellbildung von elektrotechnischen Grundlagen*. 2021.
- [53] Wei Liu, Adrian Cheok, Charissa Lim, Yin Theng. Mixed reality classroom: Learning from entertainment. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Interactive*

*Media in Entertainment and Arts*, volume 274, pages 65–72. Association for Computing Machinery, 2007. DOI:10.1145/1306813.1306833.

- [54] Xiao-yun Duan, Shinjin Kang, Jong In Choi, Soo Kyun Kim. Mixed Reality System for Virtual Chemistry Lab. *Ksii Transactions on Internet and Information Systems*, 14:1673–1688, 2020.

# **A. Anhang**

Die in der Arbeit verwendeten Arbeitsblätter werden aufgrund von Vertraulichkeitsgründen nicht mit veröffentlicht. Wenden Sie sich bei Fragen daher bitte an die Autorin.

## **A.1. Übungsblatt 1**

## **A.2. Übungsblatt 2**

## **A.3. Übungsblatt 3**

## **A.4. Übungsblatt 4**

## **A.5. Übungsblatt 5**