



Das folgende Werk steht unter der **Creative Commons Lizenz CC BY-NC-SA 4.0**
(Namensnennung – Nicht kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.de>

Didaktisches Konzept:
**„Biegebalken – Beanspruchungsanalyse
veranstaltungstechnischer
Installationen“ in virtueller Realität**

Linnea Pehl & Jessica Krohn
Stand: 31.12.2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	2
1.1 Bildungsproblem der Lehrveranstaltung	3
2. Begriffsdefinitionen.....	5
3. Ist-Analyse der Laborübung in Präsenz	10
3.1 Organisatorischer Rahmen der Lehrveranstaltung	11
3.2 Lehr-Lernziele der Lehrveranstaltung	11
3.3 Prüfungsform der Lehrveranstaltung in Präsenz.....	12
3.4 Lehr-Lernmethoden	12
3.4.1 Vermittlung.....	13
3.4.2 Aktivierung.....	14
3.4.3 Betreuung	14
4. Didaktisches Konzept	15
4.1 Lehr-Lernziele.....	15
4.2 Prüfungsform	16
4.3 Lehr-Lernmethoden	16
4.3.1 Vermittlung.....	16
4.3.2 Aktivierung	17
4.3.3 Betreuung	19
5. Gestaltung der VRLE	20
5.1 Erstes Level: Belastungen vorhersagen.....	21
5.2 Zweites Level: Vorgegebenen Verlauf nachbauen	22
5.3 Drittes Level: Auflager belasten	24
5.4 Freeplay-Modus.....	26
6. Fazit.....	27
7. Literatur	29
8. Abbildungsverzeichnis.....	32
9. Anhang	33

1. Einleitung

Das folgende didaktische Konzept entstand im Rahmen des Projekts „Interaktive Lehre in virtuellen MINT-Laboren | MINT-VR-Labs“. Das Projekt hatte zum Ziel, die Hochschullehre an der Berliner Hochschule für Technik (BHT) um die Potenziale Virtual-Reality-basierter Lernumgebungen (engl. *Virtual Reality Learning Environment*, kurz VRLE) zu erweitern und deren Einsatz evidenzbasiert zu evaluieren. Virtual Reality (VR) wird hierbei als computergenerierte Welt verstanden, die von Menschen als Simulation der Realität wahrgenommen wird und möglichst viele Sinnesmodalitäten anspricht, die mithilfe von Eingabegeräten gestaltet und verändert werden (Burdea & Coiffet, 2003). Vom Beginn des Projekts im August 2021 bis Ende Dezember 2025 wurden insgesamt elf interaktive virtuelle Lernumgebungen in verschiedenen Fachbereichen der Hochschule realisiert. Jede dieser Lernumgebungen war als „Open Educational Resource“ (OER) geplant, um ihre Zugänglichkeit auch für andere Hochschulen und Universitäten zu gewährleisten. Das Projekt wurde durch die „Stiftung Innovation in der Hochschullehre“ gefördert. Bei der Konzeption der virtuellen Lernumgebungen stand insbesondere der didaktische Mehrwert im Sinne einer gestaltungsorientierten Mediendidaktik im Mittelpunkt (Kerres, 2018). Das Projekt verfolgte den Anspruch, nur solche Lehrveranstaltungen um virtuelle Lernumgebungen zu ergänzen, bei denen der Einsatz von VR- und AR-Technologien klare Vorteile für die Vermittlung spezifischer Lehr-Lerninhalte bot.¹

¹ Zu dem Mehrwert, den diese Lernumgebungen bieten können, zählt, dass Lernende in ihren individuellen Lernprozessen unterstützt werden können. Dies kann durch asynchrones Lernen geschehen. Zusätzlich können Lernende Übungen in ihren Vorkenntnissen entsprechend absolvieren. Der Einsatz von virtueller Realität eignet sich besonders für Lernumgebungen, deren didaktisches Ziel die Verbesserung von Motivation, räumlichem Vorstellungsvermögen oder/und die Vermittlung von

1.1 Bildungsproblem der Lehrveranstaltung

Im Sinne einer gestaltungsorientierten Mediendidaktik (Kerres, 2018) geschieht die Auswahl der um VR zu ergänzenden Lehrveranstaltung anhand einer pädagogischen Fragestellung, eines sogenannten Bildungsproblems. Die Fragestellung, die hierbei für das MINT-VR-Labs Projekt im Mittelpunkt stand, lautete:

„An welchen Stellen treten innerhalb der Lehrveranstaltung Verständnisprobleme seitens der Studierenden auf und wie können die Lernenden durch den Einsatz von virtuellen Lernumgebungen hierbei unterstützt werden?“

Die zweite Laborübung, die im Rahmen des Projektes virtualisiert wurde, ist Teil der Lehrveranstaltung „Leichtbau: Grundlagen“ des Bachelorstudienganges Theater- und Veranstaltungstechnik und -management. Diese virtuelle Lernumgebung zielt darauf ab, Studierende dabei zu unterstützen, die Balkentheorie der Technischen Mechanik mit Schwerpunkt auf Querkraft- und Biegemomentverläufe zu erlernen. Dafür sollen die Lernenden ein Verständnis hinsichtlich des Einflusses von Kräften und mechanischen Belastungen in ihrem komplexen Zusammenspiel erlangen. Die virtuelle Lernumgebung ist in vier Level und einem Freeplay-Modus unterteilt (s. Kap. 5). Besonders der Freeplay-Modus ermöglicht es Lernenden, eine qualitative Bewertung von Querkraft-

prozedurelem Wissen ist (Makransky, 2022). Auch das kollaborative Arbeiten zwischen Studierenden soll mittels virtueller Realität unterstützt werden. Finden Laborübungen in VR oder AR statt, bietet dies die Möglichkeit der ressourcenschonenden Wiederholung und der Simulation von gefährlichen Situationen. Zudem werden Studierende auf vernetzte Arbeitswelten vorbereitet, da sie durch die Verwendung von virtuellen Lernumgebungen mit der Bedienung der VR-Technik vertraut gemacht werden.

und Biegemomentverläufen vorzunehmen. Gerade diese qualitative Bewertung der Belastung von Trägern kann im späteren Berufsleben von Theater- und Veranstaltungstechniker:innen fester Bestandteil des täglichen Aufgabenbereiches sein.

Die virtuelle Lernumgebung basiert auf einem Prototyp, der im Sommersemester 2021 im Forschungsprojekt „Im/material Theatre Spaces“ von den drei Studenten entwickelt wurde. Das Forschungsprojekt war eine Kooperation zwischen der Berliner Hochschule für Technik und dem Projekt digital.DTHG², in dem Studierende dem „Learners as Designers“ Ansatz³ folgend eigene VR-basierte Lernumgebungen programmiert haben. Da dieser Prototyp von Studierenden, die selbst den Bachelorstudiengang Theater- und Veranstaltungstechnik und -management studiert haben, entwickelt wurde, bietet dessen Weiterentwicklung eine hervorragende Möglichkeit, um die studentische Perspektive in die Hochschullehre mit aufzunehmen.

Diese Laborübung wurde ausgewählt, um sie mit einer virtuellen Lernumgebung zu ergänzen, da VR die Möglichkeit bietet, mechanische Belastungen und deren Auswirkungen auf einen Träger zu visualisieren. Besonders die Überbelastung eines Trägers, die durch das Anbringen von Equipment erreicht werden kann, kann aus Sicherheitsgründen nur schwer in der Lehre geübt werden, da Studierende sich verletzen könnten.

² digital.DTHG ist der neue Kompetenzbereich der Deutschen Theatertechnischen Gesellschaft.

³ Innerhalb des „Learners as Designers“ Ansatzes erstellen Lernende digitale Lehr-Lernmedien für andere Lernende (Damnik, et al., 2014).

2. Begriffsdefinitionen

Im Kontext von VR werden zumeist die Begriffe *Immersion* und *Presence* verwendet. Der Begriff der Immersion beschreibt die technischen Voraussetzungen, damit die Sinneseindrücke von Nutzenden möglichst umfassend angesprochen werden und somit eine Illusion der Realität entsteht (Buchner & Aretz, 2020). Slater und Wilbur (1997) beschreiben vier technische Eigenschaften, die für Immersion erforderlich sind. Diese Eigenschaften lauten *Inclusive*, *Extensive*, *Surrounding* und *Vivid*. *Inclusive* beschreibt, dass Sinneseindrücke ausschließlich durch Computer generiert werden und Nutzende von der realen Umwelt somit isoliert werden. Des Weiteren sollen so viele Sinneseindrücke wie möglich angesprochen werden (*Extensive*). Auch soll die computersimulierte Welt nicht nur auf ein enges Sichtfeld beschränkt sein, sondern die Nutzenden vollständig umgeben (*Surrounding*). Darüber hinaus soll die VR lebendig dargestellt werden (*Vivid*). Dies bezieht sich z. B. auf die Auflösung, die Farben und auditive Elemente.

Der Begriff *Presence* beschreibt hingegen das subjektive Gefühl der Nutzenden, sich in der virtuellen Welt anwesend bzw. präsent zu fühlen und als Konsequenz genau wie unter realen Bedingungen zu handeln (Sanchez-Vives & Slater 2005, zitiert nach Buchner & Aretz, 2020, S. 199). Es kann zwischen drei Dimensionen von *Presence* unterschieden werden: Der *physischen Dimension*, der *sozialen Dimension* und der *self-presence* (Makransky & Petersen, 2021). Lee (2004) definiert physische presence als einen psychologischen Zustand, in dem virtuelle physische Objekte als reale physische

Objekte entweder auf sensorische oder nicht-sensorische⁴ Weise erlebt werden. Bei der sozialen presence werden virtuelle soziale Akteur:innen als reale soziale Akteur:innen auf sensorische oder nicht-sensorische Weise erlebt. Virtuelle Personen werden demnach als reale Personen wahrgenommen. Die Selbstpräsenz kennzeichnet sich dadurch, dass das virtuelle Selbst als das tatsächliche Selbst auf sensorische oder nicht-sensorische Weise erfahren wird.

Bei der Erstellung von VRLE gilt es, eine mögliche kognitive Überbelastung des Arbeitsgedächtnisses der in der VRLE agierenden Person zu vermeiden. Dieses verfügt über eine begrenzte Kapazität, die als *Cognitive Load* bezeichnet wird und beschreibt die Art und Menge der Informationen, die das Arbeitsgedächtnis zu einem bestimmten Zeitpunkt aufnehmen und speichern kann (Müser & Fehling, 2022). Hierbei kann zwischen drei Kategorien von Cognitive Load unterschieden werden: Dem *Intrinsic Cognitive Load*, dem *Extraneous Cognitive Load* und dem *Germane Cognitive Load*. Der *Intrinsic Cognitive Load* beschreibt die Belastung, die aus der immanenten Komplexität oder Schwierigkeit einer Lernaufgabe resultiert. Der *Extraneous Cognitive Load* ist die Belastung, die durch ein ungeeignetes didaktisches Design von Lehr-Lernmaterial hervorgerufen werden kann, indem überflüssige oder ablenkende Informationen eingefügt werden. Der *Germane Cognitive Load* ist die Synthese aus *Intrinsic Cognitive Load* und *Extraneous Cognitive Load* und bezeichnet die „effektive“ kognitive Belastung, bei der Lernende mentale Ressourcen für den tatsächlichen Lernprozess verwenden (ebd.). Aus der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (Mayer

⁴ Nicht-sensorisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Wahrnehmung der virtuellen Objekte nicht über die klassischen Sinne (Sehen, Hören, Fühlen usw.) erlebt wird, sondern z. B. über kognitive (mentale Prozesse wie Denken und Vorstellen) oder emotionale Prozesse (Gefühle und emotionale Reaktionen) (Lombardt & Ditton, 1997).

& Fiorella, 2021) lassen sich Gestaltungsprinzipien ableiten, um VRLE hinsichtlich einer Reduzierung des Extraneous Cognitive Load zu gestalten. So sollte dem Kohärenzprinzip folgend hedonistische Aktivitäten innerhalb der VR, die nicht der Unterstützung von Lernprozessen dienen, vermieden werden. Durch die Berücksichtigung des Signalprinzips bei der Gestaltung der Lernumgebung, indem beispielsweise relevante Objekte und Aktionen hervorgehoben werden, können Lernende darin unterstützt werden, ihre Aufmerksamkeit auf die für den Lernprozess relevanten Elemente zu lenken.

Makransky und Petersen (2021) halten in ihrem Cognitive Affective Model of Immersive Learning Modell (CAMIL) *Presence* und *Agency* als Eigenschaften fest, die in immersiver VR-Umgebung zu erfolgreichem Lernen führen.

From: The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality

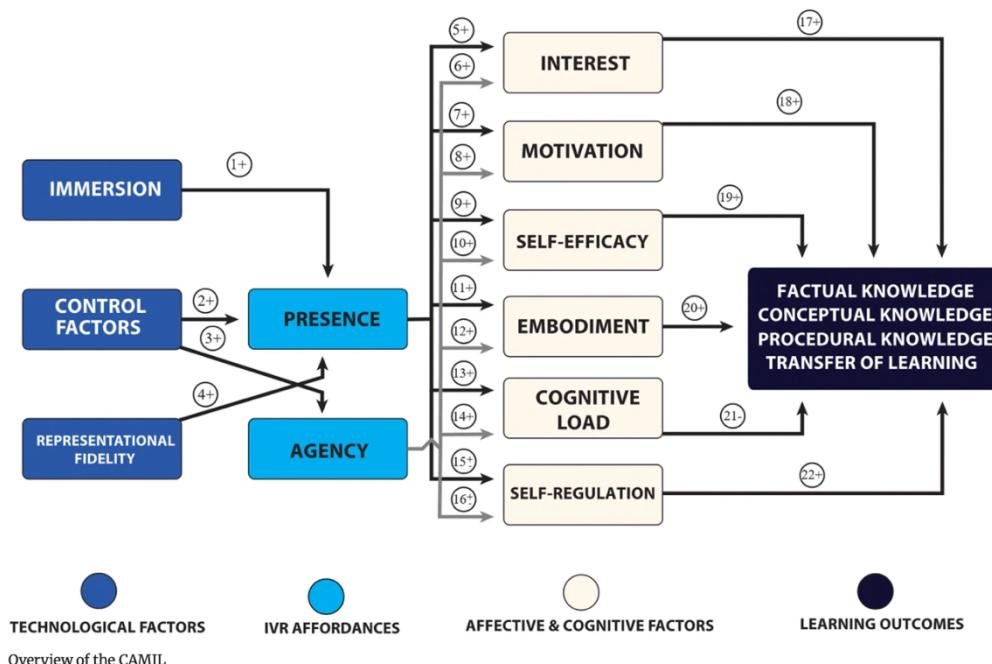


Abbildung 1. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL), (Makransky & Petersen, 2021, S. 943). Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Autoren.⁵

Agency definieren sie als Gefühl, welches dadurch entsteht, dass Aktionen innerhalb der VR selbst erzeugt und gesteuert werden können. Das CAMIL-Modell beschreibt, wie Presence und Agency aus technologischen Merkmalen resultieren und wie das Lernen durch affektive und kognitive Prozesse beeinflusst wird. Zu den technologischen Merkmalen, die das CAMIL-Modell berücksichtigt, zählen Immersion, Kontrollfaktoren und die Repräsentationsgenauigkeit. Der Begriff Kontrollfaktoren beschreibt, inwieweit in der VR Körperdarstellungen kontrolliert und die Umwelt

⁵ Dieses Werk steht unter der **Creative Commons Lizenz CC BY-NC-SA 4.0** (Namensnennung – Nicht kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen). **Ausnahme:** Abbildung 1 wurde mit Genehmigung der Autoren (Makransky & Petersen, 2021) verwendet und ist **nicht** Teil dieser offenen Lizenz.

inklusive ihrer Objekte verändert werden können. Die Repräsentationsgenauigkeit bezieht sich auf den Realismus der Darstellung und auf die Konsistenz des Objektverhaltens. Zu den affektiven und kognitiven Faktoren, die berücksichtigt werden, zählen: Das situative Interesse der Lernenden, deren intrinsische Motivation und wahrgenommene Selbstwirksamkeit, ihr Embodiment (bezogen auf die Erfahrung einen virtuellen Körper zu besitzen), ihre kognitive Belastung und ihre Selbstregulierung. Makransky und Petersen (2021) unterstreichen in ihrem Modell die Bedeutung einer planvollen Nutzung von VR-Anwendungen im Lehr-/Lernkontext. Bei der Gestaltung von VR-basierten Lernumgebungen gilt es diese so zu gestalten, dass eine realistische Darstellung und ein reibungsloser Blickwechsel gewährleistet und ein hohes Maß an unmittelbarer Kontrolle ermöglicht werden kann. Auch heben sie hervor, wie wichtig es ist, einen potenziellen Cognitive Load bei der Gestaltung der Lernumgebung zu vermeiden.

Dörner et al. (2013) beschreiben vier Interaktionsmöglichkeiten innerhalb von VR-Anwendungen. Zum einen können Nutzende virtuelle Objekte auswählen (*Selektion*) und diese verändern (*Manipulation*). Zum anderen können sie Einfluss auf die *Navigation* innerhalb der VR-Anwendung nehmen, indem sie die eigene Position und die Blickrichtung verändern. Eine weitere Interaktionsmöglichkeit ist die der *Systemsteuerung*, innerhalb derer eine Interaktion mit dem VR-System selbst, wie etwa das Laden einer neuen Welt stattfinden kann.

Schwan und Buder (2006) gruppieren virtuelle Lernwelten entsprechend der in ihnen vorherrschenden lernbezogenen Interaktivität und deren Möglichkeiten der handlungsbezogenen Gestaltung. Dazu zählen Explorationswelten, Trainingswelten,

Experimentalwelten und Konstruktionswelten. Innerhalb von Explorationswelten können Lernende selbstgesteuerte Lernerfahrungen in authentischen Umgebungen sammeln und Parameter wie das Tempo oder den räumlichen Blickpunkt verändern. Trainingswelten rücken die Vermittlung von prozedurelem Wissen und psychomotorischen Fähigkeiten in den Mittelpunkt, besonders dann, wenn reale Trainings zu gefährlich oder mit hohen Kosten verbunden sind. In Experimentalwelten können Lernende physikalische Grenzen überwinden, u. a. innerhalb von Lernszenarien, die in der Realität nicht oder nur schwer möglich sind. Konstruktionswelten ermöglichen Lernenden, die Gestaltung einer (eigenen) virtuellen Umgebung vorzunehmen.

3. Ist-Analyse der Laborübung in Präsenz

Nachfolgend erfolgt die Ist-Analyse der Laborübung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“, welche Teil der Lehrveranstaltung Leichtbau: Grundlagen des Bachelorstudiengangs Theater- und Veranstaltungstechnik und -management der Berliner Hochschule für Technik ist. Als Grundlage der Analyse dient sowohl das Modulhandbuch des Studiengangs (Stand Juni 2022) als auch Gespräche mit dem Modulbeauftragten. Darüber hinaus fanden ebenfalls Gespräche mit einem ehemaligen Studenten statt, der Teil des „Im/material Theatre Spaces“ Projektes war und als VR-Coach Theater hinsichtlich des Einsatzes von VR schult. Die Ist-Analyse zielt darauf ab, die Rahmenbedingungen und den Ablauf der Laborübung abzubilden und dient als Grundlage für

die Erarbeitung des didaktischen Konzepts der Realisierung der Übung in virtueller Realität.

3.1 Organisatorischer Rahmen der Lehrveranstaltung

Die Lehrveranstaltung findet an vier Semesterwochenstunden statt und ist als seminaristischer Unterricht konzipiert. Der Workload für die Studierenden gliedert sich in 68 Stunden Präsenzzeit und 82 Stunden Selbststudium. I. d. R. besuchen die Studierenden die Veranstaltung im 4. Semester. Die Lehrveranstaltung wird jedes Semester angeboten und regulär von 44 Studierenden besucht. Den Lernenden wird empfohlen, zuvor die Veranstaltungen Technische Mechanik 1 und 2 besucht zu haben, da die Veranstaltungen inhaltlich auf diesen aufbaut. Für die Durchführung der Laborübung wird ein Seminarraum benötigt.

3.2 Lehr-Lernziele der Lehrveranstaltung

Nachfolgend werden die kognitiven Lehr-Lernziele (LZ) der Lehrveranstaltung aufgelistet und der Lernzieltaxonomie nach Anderson und Krathwohl (2001) zugeordnet.

LZ1: Die Studierenden **kennen** die Grundsätze und Vorschriften für Leichtbaukonstruktionen im Veranstaltungsbereich (*Taxonomiestufe 1, Erinnern*).

LZ2: Die Studierenden **besitzen Kompetenzen**⁶ in der Konstruktion (Taxonomiestufe 1, *Kennen*) und statischen **Beurteilung** (Taxonomiestufe 5, *Beurteilen*) von Leichtbauten im Veranstaltungsbereich.

LZ3: Die Studierenden besitzen Fertigkeiten in der statischen **Berechnung** und **Bemessung** (Taxonomiestufe 2, *Verstehen*) von Leichtbaukonstruktionen im Veranstaltungsbereich und können in der jeweils angemessenen Genauigkeit **rechnen** (Taxonomiestufe 3, *Anwenden*).

3.3 Prüfungsform der Lehrveranstaltung in Präsenz

Um die Lehrveranstaltung erfolgreich zu absolvieren, müssen die Studierenden eine Klausur mit einer Prüfungsdauer von 60-90 Min. absolvieren und bestehen. Die Klausur besteht aus mehreren Berechnungsaufgaben im Closed-Book-Verfahren⁷, bei dem die Studierenden eine selbstgeschriebene Formelsammlung verwenden dürfen. Die Prüfungsleistung dieser Veranstaltung setzt sich zu 100 % aus der Klausur zusammen.

3.4 Lehr-Lernmethoden

Nachfolgend werden die Lehr- und Lernmethoden beschrieben, die im Rahmen der Veranstaltung zum Erwerb der angestrebten Kompetenzen eingesetzt werden.

⁶ Hartig und Klieme (2007) definieren Kompetenzen „als kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen“ die sich auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen und erworben werden können.

⁷ Closed-Book-Prüfungen kennzeichnen sich dadurch, dass während der Überprüfung des Wissens/Kompetenzen keine weiteren als die zugelassenen Hilfsmittel verwendet werden dürfen (Humboldt-Universität zu Berlin, 2022).

3.4.1 Vermittlung

Die Inhalte der Lehrveranstaltung werden durch die Lehrperson in Form von Präsentationen vermittelt, die zumeist den Charakter von Frontalunterricht haben. Der Dozent ergänzt die theoretischen Seminarinhalte mit Erfahrungsberichten aus der beruflichen Praxis von Veranstaltungstechniker:innen. Diese Vorträge werden durch Phasen ergänzt, in denen die Studierenden individuell Berechnungsaufgaben erarbeiten. Die Ergebnisse werden gemeinsam im Plenum besprochen. Zur Visualisierung der Inhalte werden ein Beamer und eine Tafel eingesetzt. Frontalunterricht eignet sich besonders dann als Lehr-Lernform, wenn die Lehrperson die Inhalte gleichzeitig und effektiv an die Lernenden vermitteln möchte (Schaub & Zenke, 2000, zitiert nach Hoffmann, 2008). Dies kann sich besonders für das Einführen in neue Inhalte eignen. Grundsätzlich verfolgt diese Lehrform den Anspruch, dass eine Lehrkraft die Arbeits-, Interaktions- und Kommunikationsprozesse in einem Lernverband steuern und kontrollieren kann (Meyer, 1987, zitiert nach Hoffmann, 2008).

Innerhalb des Kurses des Learning Management Systems (LMS) steht den Lernenden ein Skript zur Verfügung, welches stichwortartig und ergänzt um Bilder relevante Aspekte der Veranstaltung festhält. Das Skript ist nicht selbsterklärend und soll vor allem zur Nachbereitung der einzelnen Sitzungen dienen. Darüber hinaus ist innerhalb des LMS weiterführende Literatur verlinkt, wie etwa Konstruktionshandbücher, die Auskunft über die Beschaffenheit von einzelnen Materialien geben. In Sonderfällen, wie etwa bei Krankheit des Dozenten, werden Videos von vorab aufgezeichneten Vorlesungsinhalten als Ersatz zur Präsenzveranstaltung innerhalb des LMS hochgeladen.

3.4.2 Aktivierung

Die Studierenden werden bei der Auswertung der Ergebnisse der Berechnungsaufgaben mit eingebunden und können freiwillig ihre Ergebnisse an der Tafel vorstellen. Dabei erhalten sie nicht nur vom Dozenten Feedback, sondern auch von Mitstudierenden. Des Weiteren können die Lernenden auch freiwillig weitere Berechnungsaufgaben zu Hause bearbeiten, die am folgenden Termin der Lehrveranstaltung gemeinsam besprochen werden können. Die Besprechung wird hierbei durch den Lehrenden initiiert.

Durch die Lehrform des Frontalunterrichts kann eine aktive Auseinandersetzung der Lernenden mit den Lerninhalten u. U. zu kurz kommen. Weiterhin kann die Förderung individueller Lernprozesse, dadurch dass das Lerntempo eher seitens des Lehrenden vorgegeben wird, eher in geringerem Maße stattfinden. Darüber hinaus können auch die Möglichkeiten der Interaktion zum einen zwischen den Lernenden untereinander und zum anderen zwischen den Lernenden und der Lehrperson gering sein (Hoffmann, 2008). Durch die Ergänzung der Laborübung um eine virtuelle Lernumgebung wird angestrebt, die Möglichkeiten zur Aktivierung der Lernenden zu erweitern.

3.4.3 Betreuung

Die Lehrveranstaltung wird vom Modulbeauftragten Dozenten betreut. Dieser steht bei Fragen sowohl innerhalb des seminaristischen Unterrichts als auch innerhalb seiner wöchentlichen Sprechstunde zur Verfügung. Die Studierenden erhalten innerhalb des Unterrichts direkt mündliches Feedback zu den von ihnen berechneten Aufgaben.

Da die Balkentheorie der Technischen Mechanik seitens Studierender vermehrt als abstrakt wahrgenommen wird, wurde die Lehrveranstaltung um eine virtuelle Lernumgebung ergänzt, in der das Zusammenspiel zwischen Querkraft- und Biegemomentverläufen visualisiert wird. Diese Visualisierung, aufgeteilt in vier Level, die unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten bietet (s. Kap. 5), soll die Lernenden darin unterstützen, die Lerninhalte verstehen und anwenden zu können. Besonders soll hierbei die Aktivierung der Lernenden in den Mittelpunkt gerückt werden, indem die Lehrform des Frontalunterrichts um Potenziale von VR-basierten Lernumgebungen erweitert wird (s. Kap. 4.3.2).

4. Didaktisches Konzept

Nachfolgend wird zunächst das didaktische Konzept zur Realisierung der Laborübung „Biegebalken - Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“ in virtueller Realität beschrieben. Daran anknüpfend erfolgt eine Beschreibung der Gestaltung der virtuellen Lernumgebung und deren Levelaufbau.

4.1 Lehr-Lernziele

Im Folgenden werden die Lehr-Lernziele der virtuellen Lernumgebung aufgelistet und der Taxonomie nach Anderson und Krathwohl (2001) zugeordnet. Die Lehr-Lernziele wurden gemeinsam mit der Lehrkraft abgestimmt und neu formuliert.

LZ1: Die Lernenden **erlangen** ein **Verständnis** hinsichtlich der Schnittgrößen in statisch bestimmt gelagerten Balken, entsprechend der Balkentheorie der Technischen Mechanik mit Schwerpunkt auf

Querkraft- und Biegemomentverläufen (*Taxonomiestufe 2, Verstehen*).

LZ2: Sie können Querkraft- und Biegemomentverläufe Belastungen **zuordnen** und bemessungsrelevante Querschnitte der Balken **erkennen** (*Taxonomiestufe 3, Anwenden*).

LZ3: Die Lernenden **können** belastete Balken in Bezug auf die Schnittgrößen (Querkraft- und Biegemomentverläufe) **analysieren** (*Taxonomiestufe 4, Analysieren*) und **qualitativ bewerten** (*Taxonomiestufe 5, Evaluieren*).

4.2 Prüfungsform

Bei der Realisierung der Laborübung „Biegebalken - Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“ in virtueller Realität gilt dieselbe Prüfungsform wie bei der Durchführung der Lehrveranstaltung ohne den Einsatz von VR. So setzt sich die Prüfungsleistung auch hier zu 100 % aus einer Klausur im Closed-Book-Verfahren zusammen.

4.3 Lehr-Lernmethoden

Nachfolgend werden die Lehr- und Lernmethoden beschrieben, die im Rahmen der Veranstaltung zum Erwerb der angestrebten Kompetenzen eingesetzt werden.

4.3.1 Vermittlung

Die Lehrveranstaltung folgte zunächst demselben Ablauf wie die Lehrveranstaltung ohne den Einsatz von VR. Auch hier wurden die

Inhalte in Form von Präsentationen vermittelt, die zumeist den Charakter von Frontalunterricht hatten. Ab der Hälfte des Semesters nahm die Einbindung der VR-Anwendung Einfluss auf den üblichen Ablauf der Lehrveranstaltung. Der Einsatz der virtuellen Lernumgebung erfolgte an mehreren Terminen zu Zeiten des seminaristischen Unterrichts, jeweils mit einer Teilgruppe der Studierenden.

Die Studierenden konnten sich vorab über das LMS eigenständig für einen der jeweiligen Termine eintragen. Die Anzahl der Termine richtete sich nach der Kohortengröße der Studierenden, die sich für die Veranstaltung angemeldet hatten (siehe Kapitel 4.3.3). An den Terminen, an denen die VR-basierte Lernumgebung eingesetzt wurde, wurde der Frontalunterricht um Videos von vorab aufgezeichneten Vorlesungsinhalten ergänzt. Diese Videos richteten sich in erster Linie an die Studierenden, die an dem jeweiligen Tag in der VR-Gruppe waren. Die anderen Studierenden absolvierten wie gewohnt die Lehrveranstaltung in Präsenz.

Bei der Gestaltung der einzelnen Level wurden die Lehr-Lernziele der virtuellen Lernumgebung berücksichtigt (siehe Kapitel 5).

4.3.2 Aktivierung

Durchlaufen Studierende die VR-Anwendung, findet eine technikorientierte Interaktion zwischen den Nutzenden und dem Medium (VR-Anwendung) statt. Hierbei sind die Aktionen und Reaktionen vorab programmiert worden, die Nutzenden haben jedoch Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten. Die Lernprozesse der Studierenden sollen dadurch unterstützt werden, dass sie sich eigenständig virtuell im Theaterlabor bewegen können. In der VR-

Anwendung ist eine Steuerung zum einen durch die Bewegung des Kopfes und der damit verbundenen Bewegung der Brille möglich. Darüber hinaus können sich die Lernenden mithilfe der Controller durch die virtuelle Lernumgebung bewegen. Auch können sich die Lernenden, falls gewünscht, über die Hilfefunktion die Anleitung des jeweiligen Levels einblenden lassen. Die Studierenden erhalten sowohl in auditiver als auch in textueller Form Feedback zur Bearbeitung der Aufgabe. Wurde die Aufgabe korrekt gelöst, wird auditiv ein Lob eingespielt (wie bspw. „Das lief doch super.“) und die Lernenden werden zum nächsten Abschnitt weitergeleitet. Wurde die Aufgabe nicht korrekt gelöst, gibt es eine Rückmeldung in dreistufiger Form. Die erste Stufe ist in allen drei Leveln gleich. Ist das Ergebnis der Aufgabe zum ersten Mal falsch, wird auditiv noch einmal die genaue Aufgabenstellung wiederholt und erwähnt, dass die Lernenden auf die Anordnung des Koordinatensystems achten sollen, welches grafisch neben dem Träger eingeblendet wird. Ist das Ergebnis zum zweiten Mal falsch, wird im ersten Level ein Hinweis zur Anzahl der positiven und negativen Symbole, die platziert werden sollen, eingeblendet. Im zweiten und dritten Level wird den Studierenden die Anzahl der jeweiligen anzubringenden Lasten angezeigt. Wurde zum dritten Mal ein falscher Lösungsvorschlag eingeloggt, wird im ersten Level die genaue Anordnung der Vorzeichen eingeblendet, im zweiten und dritten Level werden den Lernenden farbige blinkende Markierungen innerhalb der Bereiche des Trägers, an denen das Equipment angebracht werden soll, angezeigt (siehe Abb. 2). Die Markierungen werden den Lernenden so lange angezeigt, bis sie die eingeblendete Hinweistafel aktiv wegklicken.



Abbildung 2. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“.

Wurde ein Level erfolgreich absolviert, werden auditiv Klatschgeräusche eingeblendet und ein virtuelles Feuerwerk ist zu sehen. Ferner kann die virtuelle Lernumgebung auch in einem Multiplayer-Modus absolviert werden. Dabei können mehrere Lernende an einer Online-Session teilnehmen und gleichzeitig an denselben Aufgabenstellungen arbeiten.

4.3.3 Betreuung

Bevor die Studierenden die VR-Anwendung virtuell absolvierten, erhielten sie eine Einführung in die technischen Grundfunktionen der VR-Brillen. Dafür wurde den Lernenden zunächst die Funktionsweise der Controller und das korrekte Aufsetzen der VR-Brille erklärt. Anschließend konnten die Studierenden die Controller selbst in die Hand nehmen und sich mit dem Tragen der VR-Brille vertraut machen. Darüber hinaus wurden die Studierenden hinsichtlich eines potenziellen Auftretens von Motion Sickness sowie des Umgangs

damit aufgeklärt, also dem möglichen Unwohlsein innerhalb der virtuellen Lernumgebung. Anschließend hatten alle Lernenden die Möglichkeit, sich in VR zu bewegen und die verschiedenen Funktionen der Controller auszuprobieren.

Die für die technische Einführung vorgesehene Zeit variierte je nach Kohortengröße. Bei einer Gruppengröße von sechs Personen wurden 90 Minuten und acht Brillen eingeplant; zwei der Brillen dienten als Backup, falls es zu technischen Problemen kommen sollte. Damit die Betreuung der Lernenden während ihres VR-Einsatzes erleichtert wurde, wurde das Live-Bild der Anwendung auf einen Monitor gestreamt.

Für die im Projekt verwendeten VR-Brillen der Typen Meta Quest Pro und Meta Quest 2 musste vorab sichergestellt werden, dass in dem Raum, in dem die technische Einführung stattfand, eine stabile WLAN-Verbindung vorhanden war, da eine Übertragung des Live-Bildes ansonsten nicht möglich gewesen wäre.

Zukünftig sollte auch eine *Labormitarbeiterin*, der*die in den praktischen Seminaren des Studiengangs die Lehrkraft unterstützte, in die Betreuung miteinbezogen werden.

5. Gestaltung der VRLE

Innerhalb der virtuellen Laborübung befinden sich die Lernenden in einer Messehalle, in deren Mitte ein Träger aus der Veranstaltungstechnik angebracht ist. Die virtuelle Lernumgebung besteht aus drei Leveln und einem Freeplay-Modus. Alle drei Level sind zusätzlich in drei Abschnitte mit jeweils steigenden Schwierigkeitsgraden unterteilt. Bei der Gestaltung der VR-Anwendung wurde versucht, das Kohärenzprinzip und das

Signalisierungsprinzip der Kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (Mayer & Fiorella, 2021) zu berücksichtigen. So wurde auf hedonistische Aktivitäten innerhalb der VR, die nicht der Unterstützung von Lehr-Lernprozessen dienen, verzichtet. Im zweiten und dritten Level erhalten die Lernenden Unterstützung bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung in Form von farbigen, blinkenden Markierungen, die die Bereiche des Trägers anzeigen, an denen Lasten angebracht werden sollen.

5.1 Erstes Level: Belastungen vorhersagen

Im ersten Level soll der Verlauf des Biegemomentes und der Querkraft eines belasteten Trägers dahingehend vorhergesagt werden, ob dieser innerhalb eines Bereichs des Trägers positiv oder negativ ist. Hierfür sollen „Plus Symbole“ oder „Minus Symbole“ in einen blau markierten Bereich oberhalb des Trägers platziert werden (s. Abb. 3). Das positive Symbol steht für eine Belastung in Richtung entgegen dem Uhrzeigersinn, das negative Symbol für eine in Richtung im Uhrzeigersinn. Im ersten Abschnitt befindet sich nur eine Lampe an dem Träger und die Lernenden sollen vier Symbole platzieren. Im zweiten Abschnitt gilt es, acht Symbole zu platzieren und auch die Anzahl des am Träger angebrachten Equipments hat sich erhöht (zwei Lampen, ein kopfbewegter Scheinwerfer). Im dritten Abschnitt wird der Träger durch zwei Kragarme erweitert (es befinden sich nun vier Lampen und ein kopfbewegter Scheinwerfer am Träger) und das Biegemoment muss nun an den Stellen der Lasteneinteilung angegeben werden. Es gilt hier, elf Symbole zu platzieren.

Die Anforderungen an die Lernenden bei der Bearbeitung des Levels richten sich an das **LZ1**. Durch das Vorhersagen des Verlaufs des

Biegemomentes und der Querkraft sollen die Lernenden ein Verständnis hinsichtlich der Schnittgrößen in statisch bestimmt gelagerten Balken erlangen.

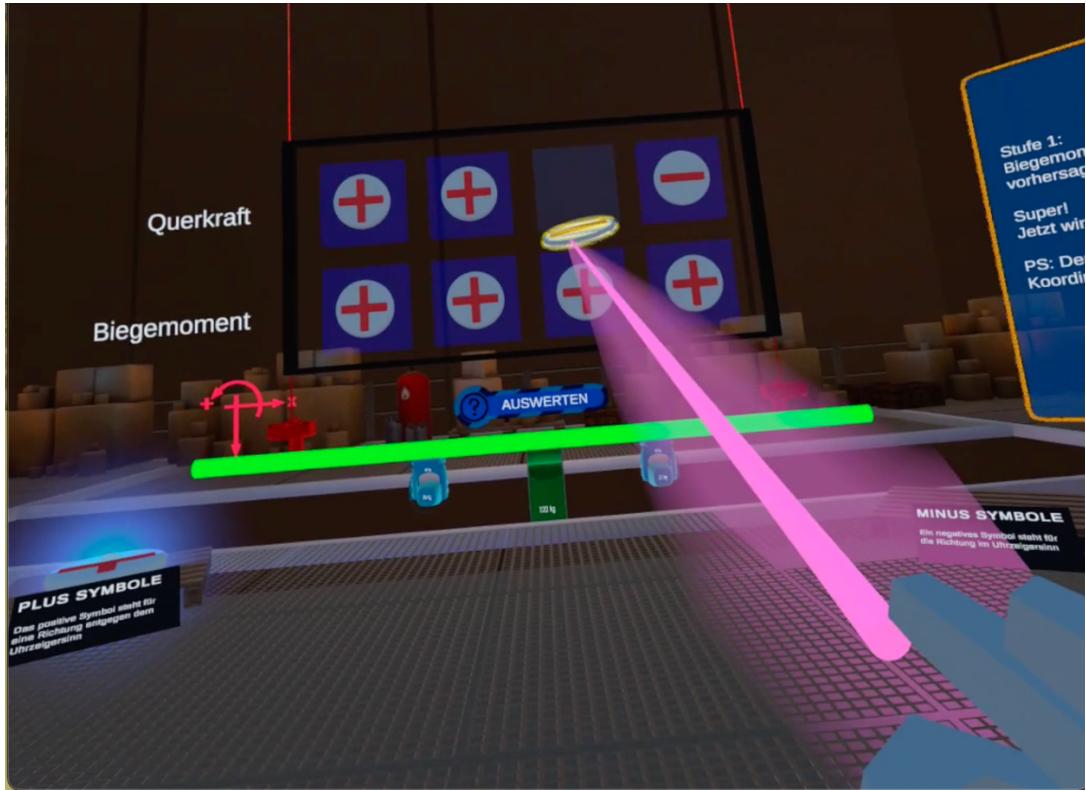


Abbildung 3. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“; Level 1.

5.2 Zweites Level: Vorgegebenen Verlauf nachbauen

Im zweiten Level sind die Biegemoment- und Querkraftverläufe vorgegeben und die Lernenden sollen die Belastung mit Equipment aus dem Veranstaltungsbereich wie Lautsprecher und Scheinwerfer so nachbauen, dass sie den vorgegebenen Verläufen entsprechen. Objekte sollen dafür an die Stellen des Trägers angebracht werden, an denen sich ein Sprung im Querkraftverlauf befindet. Der Verlauf wird in Grau über dem Träger angezeigt. Innerhalb der drei Abschnitte

des Levels werden jeweils andere Biegemoment- und Querkraftverläufe angezeigt. Von Abschnitt zu Abschnitt steigt die Anzahl des anzubringenden Equipments:

1. Abschnitt: zwei Lampen
2. Abschnitt: eine Lampe, ein Lautsprecher, ein kopfbewegter Scheinwerfer
3. Abschnitt: zwei Lampen, drei kopfbewegte Scheinwerfer

Abbildung 4 zeigt den Aufbau des zweiten Abschnitts des zweiten Levels. Links befindet sich ein blauer kopfbewegter Scheinwerfer an einem Träger, mittig in Grün ein Lautsprecher und rechts daneben in Gelb eine Lampe. Im dritten Abschnitt wird die Schwierigkeit dadurch erhöht, dass zwei Kragarme an den Seiten des Trägers zum Einsatz kommen.

Die Anforderungen der Aufgabenstellung in diesem Level richten sich sowohl an das **LZ1**, als auch an das **LZ2**, da die Lernenden den Belastungen Querkraft- und Biegemomentverläufe zuordnen sollen.

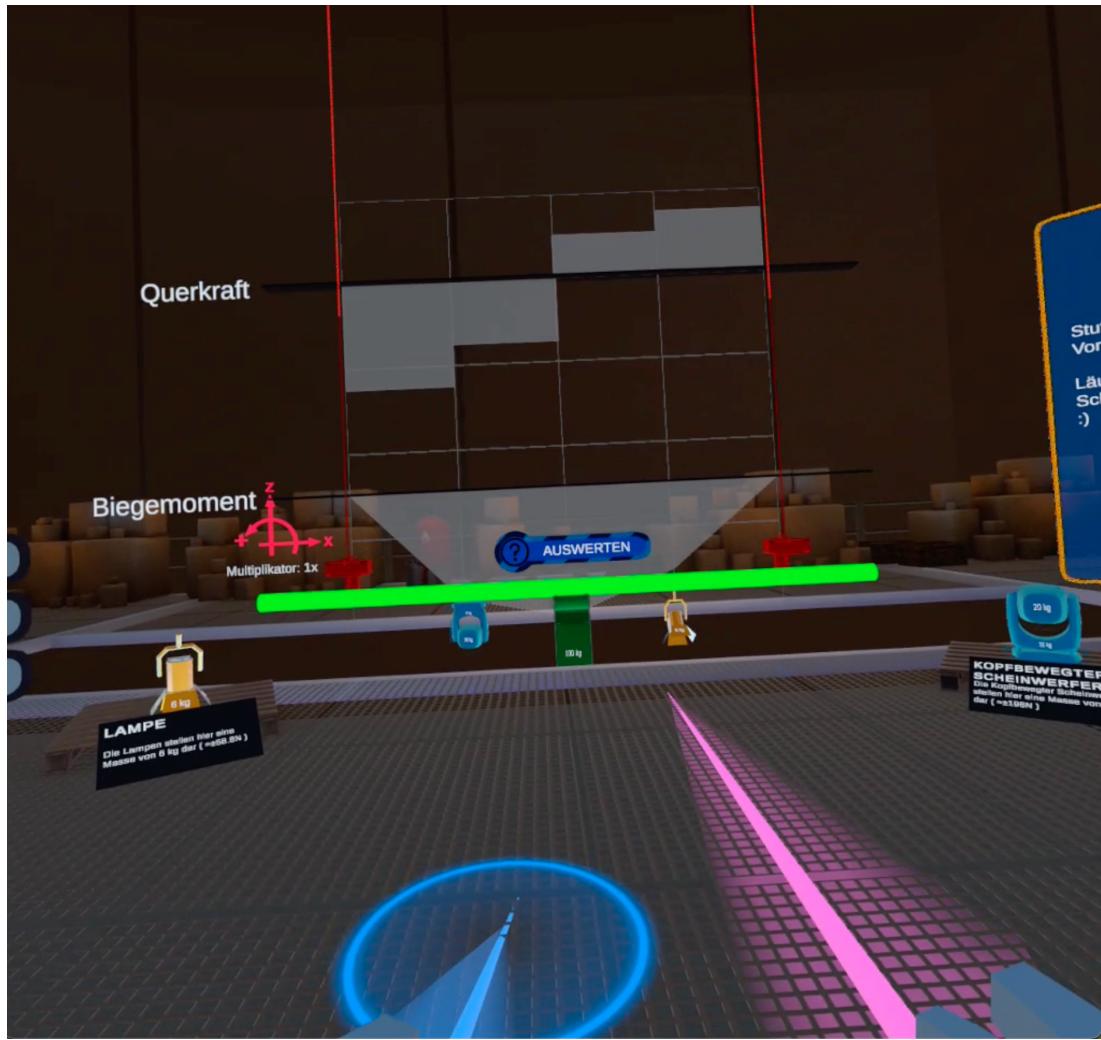


Abbildung 4. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“; Level 2.

5.3 Drittes Level: Auflager belasten

Das dritte Level (s. Abb. 5) kennzeichnet sich dadurch, dass eine vorgegebene Belastung der beiden Auflager des Balkens erreicht werden soll. Dafür sollen die Lernenden die korrekte Art und Anzahl an technischem Equipment an einen Träger anbringen. Die vorgegebene Belastung wird durch graue Pfeile am Rand des Trägers visualisiert. Je größer der Pfeil dargestellt wird, desto größer ist die Belastung an dieser Seite des Trägers. Den Lernenden werden die Bereiche des Trägers, an denen Equipment potenziell angebracht werden kann, durch blaue Markierungen in Form von transparenten

Quadern angezeigt. Auch in diesem Level steigt von Abschnitt zu Abschnitt die Anzahl der anzubringenden Lasten:

1. Abschnitt: zwei Lampen
2. Abschnitt: zwei Lampen, zwei kopfbewegte Scheinwerfer,
3. Abschnitt: eine Lampe, ein Lautsprecher, zwei kopfbewegte Scheinwerfer

Im dritten Level wird die Schwierigkeit dadurch erhöht, dass zwei Kragarme an den Seiten des Trägers zum Einsatz kommen. Die Anforderungen der Aufgabenstellung im dritten Level richten sich ebenfalls sowohl an das **LZ1** als auch an das **LZ2**, da die Lernenden den Belastungen Querkraft- und Biegemomentverläufe zuordnen sollen. In diesem Level wird die Schwierigkeitsstufe jedoch dadurch erhöht, dass die Studierenden über die korrekte Art und Anzahl der anzubringenden Lasten entscheiden müssen.



Abbildung 5. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“; Level 3.

5.4 Freeplay-Modus

Aufbauend auf die vorherigen Level verfügt die virtuelle Lernumgebung auch über einen Freeplay-Modus. Dieser unterstützt Lernende dabei, eine qualitative Bewertung von Querkraft- und Biegemomentverläufen eines Trägers vorzunehmen. Hierfür können die Studierenden verschiedene Lasten an einen Träger befestigen und erhalten direkt eine Rückmeldung dazu, ob der Balken durch das angebrachte Equipment überbelastet ist oder nicht. Eine potenzielle Belastung wird durch farbliche Markierungen am Balken angezeigt. Die Aufgaben dieses Levels beruhen auf Zufallsvariablen, die bei jedem Durchlauf durch das Level neu angepasst werden. Diese Echtzeitberechnung ermöglicht es den Lernenden, direkt eine Rückmeldung zu erhalten. Der Aufbau des Freeplay-Modus orientiert sich an dem **LZ3**, da die Studierenden hier eine qualitative Bewertung der Querkraft- und Biegemomentverläufe vornehmen können. Gerade

das Belasten eines Trägers bis hin zu einer Überbelastung und einem Verbiegen des Trägers kann in Realität von Studierenden nur schwer erprobt werden.

6. Fazit

Das vorliegende didaktische Konzept zeigt, wie die im Rahmen des Projekts „Interaktive Lehre in virtuellen MINT-Laboren“ (MINT-VR-Labs) entwickelte virtuelle Lernumgebung „Biegebalken - Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“ in die Lehrveranstaltung „Leichtbau: Grundlagen“ des Bachelorstudiengangs Theater- und Veranstaltungstechnik und -management an der Berliner Hochschule für Technik eingebunden worden war. Ziel war es, die bestehende Präsenzlehre gezielt um ein interaktives, visuelles und sicherheitssensibles Lernformat zu erweitern.

Bei der virtuellen Lernumgebung handelt es sich um die zweite Anwendung, die gemeinsam mit dem Projektteam und einem externen Partner entwickelt wurde. Da sich der Einsatz von virtueller Realität u. a. für Lehr-Lernszenarien eignet, in denen Lernende in Experimentalwelten Versuche durchführen können, die in Realität nicht oder nur schwer möglich sind, wie etwa das Herbeiführen einer Überbelastung eines Trägers, wurde diese Lehrveranstaltung ausgewählt. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass in dem didaktischen Konzept der Lehrveranstaltung in Präsenz die Vermittlung in Form von Frontalunterricht dominiert. Dies kann sich besonders für das Einführen in neue Inhalte eignen, kann aber auch dazu führen, dass eine aktive Auseinandersetzung der Lehrenden mit den Lerninhalten in eher geringeren Maß stattfindet. Hier bietet der

Einsatz einer virtuellen Lernumgebung die Möglichkeit, weitere Vermittlungsformen auszuprobieren und im Rahmen des Projektes hinsichtlich des didaktischen Mehrwerts zu evaluieren.

Ein wichtiger Schritt zur praktischen Integration dieser Lernformate an der Hochschule war die Einrichtung einer VR-Zone in der Campusbibliothek. Diese bietet Studierenden und Lehrenden die Möglichkeit, die entwickelten Anwendungen eigenständig zu erleben und in ihren Lehr- und Lernalltag zu integrieren. Damit wurde ein zentraler Ort geschaffen, an dem VR-basierte Lerninhalte nachhaltig verankert und flexibel genutzt werden konnten.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die virtuelle Lernumgebung das bestehende didaktische Design der Lehrveranstaltung sinnvoll ergänzt. Durch die Verbindung von Präsenzlehre, individualisierbaren VR-Erfahrungen und unmittelbarem Feedback wurden zusätzliche Lernwege eröffnet, die besonders bei abstrakten Inhalten der Technischen Mechanik einen Mehrwert bieten. Das Konzept zeigt damit exemplarisch, wie VR-basierte Anwendungen fachlich komplexe Themen zugänglicher machen und gleichzeitig die Aktivierung der Lernenden fördern können.

7. Literatur

- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- Buchner, J. & Aretz, D. (2020). Lernen mit immersiver Virtual Reality: Didaktisches Design und Lessons Learned. In K. Rummler, I. Koppel, S. Aßmann, P. Bettinger, K. D. Wolf (Hrsg.), *Zeitschrift MedienPädagogik 17* (Jahrbuch Medienpädagogik), (195–216). Zeitschrift MedienPädagogik, Sektion Medienpädagogik.
<https://www.medienpaed.com/article/view/794>
- Burdea, G. C. & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology* (2. Aufl.) John Wiley & Son.
- Damnik, G., Hilbig, A. & Proske, A. (2014). *Learners-as-Designers. Ein innovatives Lehrkonzept zum aktiven Erwerb von inhaltlichem und didaktischem Wissen*. Waxmann: Münster u. a.
<https://doi.org/10.25656/01:10555>
- Dörner, R., Geiger, C., Oppermann, L. & Paelke, V. (2013). *Interaktionen in Virtuellen Welten. In Virtual und Augmented Reality (VR / AR)* (S. 157–193). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3_6
- Hartig, J. & Klieme, E. (2007). *Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik. Eine Expertise im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung* (S. 5–15). Bonn u. a.: BMBF.
- Hoffmann, B. (2008): *Frontalunterricht*. Universität

Trier. https://silo.tips/download/frontalunterricht-std-bernhard-hoffmann-2008-universitt-trier-2008-universit#google_vignette

Humboldt-Universität zu Berlin (2022). *Die Closed-Book-Prüfung*. <https://www.digitales-pruefen.hu-berlin.de/de/guide/auswaehlen/closed-book/closed-book>

Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (5. Aufl.). De Gruyter Oldenbourg Verlag.

Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27-50 http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010_2f_ec_82_ac_e_d_9a_8c_ed_95_99_ec_a0_81_ec_a0_91_ea_b7_bc/Presence.pdf.

Lombard, M. & Ditton, T. B. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2). <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>

Makransky, G. (2022). The Immersion Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (296–303). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.031>

Makransky, G. & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>

Mayer, R. E. & Fiorella, L. (2021). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333>

Müser, S. & Fehling, C. D. (2022). AR/VR.nrw – Augmented und Virtual Reality in der Hochschullehre. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 59(1), 122–141.

<https://doi.org/10.1365/s40702-021-00815-y>

Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6, 603–616.

<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>

Schwan, S. & Buder, J. (2006). *Virtuelle Realität und E-Learning*.

<https://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/vr/vr.pdf>

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL), (Makransky & Petersen, 2021, S. 943). Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Autoren.	8
Abbildung 2. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“.....	19
Abbildung 3. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“; Level 1.	22
Abbildung 4. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“; Level 2.	24
Abbildung 5. Screenshot aus der virtuellen Lernumgebung „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“; Level 3.	26

9. Anhang

Danksagungen

Wir danken der „Stiftung Innovation in der Hochschullehre“ für die Finanzierung des Projekts „Interaktiver Unterricht in virtuellen MINT-Labors“ (FBM2020-EA-2650-07710). Wir danken allen aktuellen und ehemaligen Teammitgliedern des Projekts für ihre Fachkompetenz und ihre Unterstützung bei der Entwicklung des didaktischen Designs. Besonders danken wir den beteiligten Lehrkräften, deren fachliche Expertise, didaktische Erfahrung und konstruktive Rückmeldungen maßgeblich zur Ausarbeitung dieses didaktischen Konzepts beigetragen haben. Ihr Engagement und ihre Bereitschaft, innovative Lehransätze zu erproben, haben das Konzept entscheidend bereichert.

Zitationsvorschlag

Pehl, L., & Krohn, J. (2025). *Didaktisches Konzept: „Biegebalken – Beanspruchungsanalyse veranstaltungstechnischer Installationen“ in virtueller Realität*. Projekt MINT-VR-Labs, Berliner Hochschule für Technik. <https://projekt.bht-berlin.de/mint-vr-labs/>

Lizenzbedingungen

Dieses Werk steht unter der **Creative Commons Lizenz CC BY-NC-SA 4.0** (Namensnennung - Nicht kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen).

Ausnahme: Abbildung 1 wurde mit Genehmigung der Autoren (Makransky & Petersen, 2021) verwendet und ist **nicht** Teil dieser offenen Lizenz.