

BERND BORGENTHEIMER (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg)

JENNIFER STEMMANN (Pädagogische Hochschule Freiburg)

**Validität virtueller Technikfachräume in Bezug auf den
Wissenserwerb bei Studierenden des Faches Technik**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

BERND BORGHEIMER / JENNIFER STEMMANN

Validität virtueller Technikfächer in Bezug auf den Wissenserwerb bei Studierenden des Faches Technik

ZUSAMMENFASSUNG: Ein optimal geplanter und ausgestatteter Fachraum ist Voraussetzung für einen unfallsicheren und lerneffizienten Technikunterricht. Da sich Werkstätten und Labore an Hochschulen häufig nicht mit den Technikfächerräumen an Schulen decken und letztere nicht immer dem aktuellen technikdidaktischen Forschungsstand entsprechen, fehlt ein Erfahrungsraum zur Erarbeitung der Fachraumthematik im Lehramtsstudium. Eine Lösung ist in der Einbettung von virtuellen Fachräumen in die Hochschullehre zu sehen, weshalb untersucht wurde, ob virtuelle Technikfächer ein Ersatz für reale Fachräume sind. Es zeigte sich im Quasiexperiment mit Kontrollgruppe, dass der Wissenserwerb im virtuellen und im realen Technikfachraum nahezu gleich ist, die virtuelle Lernumgebung sich positiv auf die Motivation auswirkt.

Schlüsselwörter: virtueller Technikfachraum, Validität, Wissenserwerb, Motivation, Techniklehramtsstudium

Validity of virtual technical classrooms in terms of knowledge acquisition among students of the subject technique

ABSTRACT: An optimally planned and equipped technical room is a prerequisite for accident-free and learning-efficient technical education. Workshops and laboratories at universities often do not match with technical classrooms at schools, which also do not always correspond to the current state of research in technical didactics. There is a lack of experiential space for studying the subject of technical classrooms in teacher training courses. A solution can be seen in embedding virtual classrooms in university teaching. It was investigated whether virtual technical classrooms are a substitute for real technical classrooms. It was shown in the quasi-experiment with control group that knowledge acquisition in virtual and real technical classrooms is the same, and the virtual learning environment has a positive effect on motivation.

Keywords: virtual technical classroom, validity, knowledge acquisition, motivation, technical teacher training course

1 Technikfachräume und ihre Relevanz für die Lehramtsausbildung¹

Schulgebäude und -räume haben vermutlich einen großen Einfluss auf das Lehren und Lernen, das in ihnen stattfindet. Eine internationale Schulbau-Forschung zeigt beispielsweise, dass in antipathisch bewerteten Schulbauformen negative Wirkungen wie Vandalismus, geringere Schulleistungen, erhöhte Krankheitsanfälligkeit und insgesamt ungünstigere Bedingungen zu beobachten seien (Rittelmeyer 2008). Bedingungen, die sich in Bezug auf den Schulbau negativ auswirken, sind beispielsweise bedrängend und beengend wirkende Form- und Farbgebungen sowie als kalt und hart wahrgenommene Schulbauformen (ebd.). Auch die Ausstattung und Funktionalität eines Raums fördert oder hemmt bestimmte Lehr-, Arbeits- und Lernaktivitäten (Fast 2006), so dass für diese auch der Begriff *Pädagogische Architektur*² verwendet wird (Holzbrecher 2022). In ihren Empfehlungen für gesundheits- und lernförderliche Klassenzimmer nennt die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung daher auch wesentliche Faktoren, die die Wirkung eines Raums beeinflussen und nicht nur von Architekturschaffenden, Bauleuten, Schulleitungen, sondern auch von Lehrkräften berücksichtigt werden sollten. Zu diesen Faktoren zählen vor allem die Raumgröße, Raumnutzung und Raumgestaltung (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. 2018). So erfordert das Lernen in Einzel- oder Kleingruppen eine andere Ausgestaltung als beispielsweise ein lehrgangsorientiertes Unterrichten im Klassenverbund (Duismann et al. 2006).

Raumkonzepte können sich aber auch stark an den Leitideen bzw. Richtzielen eines einzelnen Faches orientieren (ebd.). Diese Konzepte spiegeln sich in den sogenannten Fachräumen wider. Fachräume sind Räume, die im Gegensatz zu Klassenräumen nicht einzelnen Schulklassen, sondern einzelnen Fächern oder Fächerverbänden zugeordnet sind. Fachräume sind meist an die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Unterrichtsfachs angepasst (Hofmann, Krug & Uihlein 2010). Die den Technikunterricht unterstützenden Fachräume haben unterschiedliche, sich ergänzende Funktionen und bilden insgesamt das Fachraumsystem. Der Mittelpunkt des Fachraumsystems bildet der universell nutzbare Technikfachraum. Darüber hinaus umfasst das Fachraumsystem eine Reihe spezieller Funktionsräume wie einen Maschinenraum, einen Sammlungs- und Vorbereitungsraum sowie ein Materiallager/Magazin. Optional kann das Fachraumsystem noch einen Keramik-/Brennraum, einen Computerraum sowie einen Außenbereich beinhalten (Bienhaus 2017, 2018b).

Mit einem adäquat konzipierten Technikfachraumsystem lässt sich Technikunterricht in der gesamten Breite seiner Zielsetzungen, Inhalte, Methoden und Sozialformen durchführen und ermöglicht technikbezogene Lernprozesse zu initiieren. Von ihrer Anlage, Ausgestaltung und räumlichen Organisation gehen aber nicht nur erkenntnisfördernde, sondern auch motivierende Effekte aus (Bienhaus 2018a). So zeigt sich in einer Studie in Schulen mit und ohne eigenen Technikfachräumen, dass Lernende den Unterricht in Abhängigkeit von der Ausstattung sehr unterschiedlich bewerten. In Schulen ohne eigenen Technikfachraum wird der Unterricht als nicht seriös und wenig motivierend empfunden (Pfenning, Hiller & Renn 2012). Da neben der Ausstattung und der damit verbundenen pädagogischen Passung des Lernbereichs auch sicherheitsrelevante Aspekte in Fachräumen zu berücksichtigen sind (Fast 2006), sollte die Thematik der Technikfachräume eine hohe Relevanz in der Lehramtsaus- und -fortbildung haben.

Techniklehrkräfte müssen zum einen in die Lage versetzt werden, Technikfachräume nach fachdidaktischen und pädagogischen Gesichtspunkten zu planen und auszustatten. Die Planung darf nicht allein Fachraumausstattungsfirmen überlassen werden. Die Techniklehrkraft sollte die

¹ Die vorliegende Studie wurde von der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg gefördert.

² Einen Abriss über die Schulraumforschung seit dem späten 19. Jahrhundert bis in die Gegenwart findet sich in Jelich (2003).

Verantwortung für die Ausgestaltung ihres Arbeitsplatzes mittragen und sehr genaue Vorstellungen darüber haben, was vor Ort erforderlich ist und dieses auch begründen und vertreten können. Diese Verantwortung ist auch gegenüber Schulträgern, Architekturbüros, Schulleitung und der Fachschaft wahrzunehmen. Zum anderen müssen Techniklehrerinnen und Techniklehrer befähigt werden, Technikfachräume zu pflegen, zu optimieren und weiterzuentwickeln, denn über die Jahre ist der Technikfachraum zwangsläufig einem Wandel unterworfen. Zwar ist dieser Wandel, der von den Lehrkräften gestaltet werden sollte, nicht detailliert vorhersehbar. Er wird aber nur erfolgreich durchgeführt werden können, wenn die betroffenen Lehrkräfte diesen Wandel kompetent begleiten können (Bienhaus 2000, 2018b).

Des Weiteren wird von Techniklehrkräften erwartet, Materialien und Medien sowie den Technikfachraum für die einzelnen Unterrichtsstunden, im Sinne eines Fachraummanagements, vorzubereiten (Bienhaus 2017; Schmayl 2010). Dies dient einerseits dazu, ein hohes Maß an aktiver Lernzeit zu ermöglichen, andererseits Raumgegebenheiten, die zu potenziellen Störungen führen könnten, von vornherein zu berücksichtigen bzw. zu beseitigen (vgl. Syring 2017). Techniklehrerinnen und Techniklehrer müssen zudem ausstattungs- und sicherheitstechnische Mängel in ihren Fachräumen erkennen, um diese auszuräumen bzw. auf deren Beheben zu drängen. Ebenso sollten sie andere Fachraumkonzepte kennen und voneinander unterscheiden, um an der laufenden fachdidaktischen Diskussion, die Fachraumkonzeptionen betreffend, aktiv teilnehmen und mitgestalten zu können.

An Hochschulen und Universitäten deckt sich die Ausstattung der Werkstätten und Labore oftmals nicht mit dem, was zukünftige Techniklehrerinnen und Techniklehrer an Schulen vorfinden. Diese Werkstätten und Labore unterscheiden sich meist erheblich von den Technikfachräumen an Schulen. Sie weisen eher den Charakter von Lehrwerkstätten und Speziallaboren auf, als dass sie universell nutzbare Technikfachräume sind (Bienhaus 2018b). Damit können die Hochschulwerkstätten nicht zur Veranschaulichung und Kompetenzvermittlung in Bezug auf das schulische Fachraumsystem genutzt werden. Reale an allgemeinbildenden Schulen vorzufindende Technikfachräume sind hierzu meist besser geeignet, obwohl auch sie oftmals nicht dem aktuellen Stand der technikdidaktischen Forschung entsprechen. Erkundungen von realen technischen Fachräumen in Schulen sind mit dem Nachteil verbunden, dass sich diese nicht immer in unmittelbarer Nähe zu den Hochschulstandorten befinden. Falls dies doch der Fall sein sollte, sind Absprachen mit den Schulen und den dort tätigen Techniklehrkräften notwendig. Erschwerend kommt hinzu, dass das Schuljahr und die Unterrichtszeiten an den Schulen nicht mit dem Semester und den Vorlesungszeiten an den Hochschulen übereinstimmen. Somit fehlt für die Techniklehrerinnen- und Techniklehrerausbildung ein Lernort, an dem sich das Thema Technikfachräume bzw. das Fachraumsystem in allen seinen Facetten erarbeiten, analysieren, thematisieren und diskutieren lässt und die Studierenden dadurch einen Eindruck von ihrem späteren Arbeitsplatz, der die Schulsituation in idealer Weise wiedergibt, erhalten.

2 Das Konzept eines virtuellen Technikfachraums

Eine Lösung der Problematik im Hinblick auf die Thematik Technikfachräume ist in der Einbettung von Virtualisierungen solcher Fachräume in hochschulische Lehr-Lern-Arrangements zu sehen. Als virtuelle Orte sind alle technisch erzeugten Wirklichkeitserweiterungen zu verstehen (Holischka 2016). Nach Mandl et al. (2002) können solche Lernumgebungen dazu beitragen, Lernsituationen und reale Berufssituationen anzugleichen, wenn diese auch kongruierend gestaltet werden. Damit bieten sie Lernenden die Möglichkeit situierte, anwendungsorientierte und zeit-

und ortsunabhängige Erfahrungen zu sammeln, die so auch in der Realität gesammelt werden können. In dem sich Lernende explorativ mit den simulierten Lernumgebungen auseinandersetzen, wird Wissen aktiv konstruiert, ohne dass ggf. in der Realität vorhandene negative Auswirkungen oder Gefahren bedrohlich wirken (Breuer & Kummer 1990).

Mit der Möglichkeit der gezielten technischen Konstruktion solcher Orte ergeben sich auch für die Lehrpersonen Vorteile. Lehrende können variable Raumkonzepte thematisieren, ohne dass die entsprechende Anzahl an realen Räumen notwendig ist. Fallbasiert kann die Erweiterung durch neue Maschinen, Werkzeuge und Medien sowie organisatorische Maßnahmen durchdacht und virtuell umgesetzt werden. Ergebnisse können anschließend diskutiert und Entscheidungen ggf. revidiert werden. Problemlösendes Denken und Handeln im Kontext der Gestaltung von Fachräumen kann so bei den Studierenden des allgemeinbildenden Faches Technik gefördert werden. Eine Virtualisierung von Fachräumen als Lernumgebung hat weiter den Vorteil, dass Lehrende die Komplexität dieser Umgebungen gezielt variieren können. Je nach angestrebten Lernzielen lassen sich beispielweise Elemente des Fachraums (wie Sicherheitshinweise und -einrichtungen, Mobiliar, Maschinen, Schrankinhalte und Ordnungssysteme aber auch Materialien und Medien sowie deren Lagerung) ein- und ausblenden sowie gezielt modifizieren. Während zu Beginn einer Lehrveranstaltung die in realen Fachräumen zu berücksichtigenden Faktoren überfordernd wirken (Mansfeld 2016), sollte am Ende der Lehrveranstaltung diese Komplexität für Studierende zu bewältigen sein.

Virtuelle Simulationen werden zudem mit der Eigenschaft in Verbindung gebracht, dass sie die Motivation der Lernenden steigern. Im Gegensatz zu papierbasierten Lernformen bringen sie Lernende in eine Situation, die mit den Anforderungen in der Realität weitestgehend übereinstimmen (Klauer & Leutner 2007; Leutner 1990). Außerdem können die Entscheidungsfreiheit und die Selbstbestimmtheit, die die Lernenden beim Lernen mit virtuellen Simulationen erfahren, und das aktive, entdeckende Lernen zum Autonomieerleben und damit zur Motivationsförderung beitragen (Strzebkowski & Kleeberg 2002; Zumbach 2010).

Den Vorteilen virtueller Simulationen steht die Kritik gegenüber, dass ihre Konzeption sehr aufwendig ist und dass das Aufwand-Nutzen-Verhältnis beim Einsatz von Simulationen sorgfältig abgewogen werden muss (Mansfeld 2016). Da nicht alle Dimensionen der sinnlichen Wahrnehmung detail- und wirklichkeitsgetreu simuliert werden können (Gross, Marotzki & Sander 2008), ist zu prüfen, ob sie als Ersatz für echtes Handeln geeignet sind. Im Folgenden werden nun, um einen Überblick zum Forschungsstand virtueller Simulationen zu geben, Studien dargestellt, die sich mit der Validität dieser auf das Lernen (die Motivation/den Lernerfolg) beschäftigt haben.

3 Validitätsbetrachtungen

Die Übereinstimmungsvalidität interessierte vor allem zu Beginn des Computereinsatzes in der Diagnostik, in der bereits existierende Papier-Bleistift-Verfahren in eine elektronische Form umgewandelt wurden (Funke & Reuschenbach 2011). Seither entwickelten sich Testmaterialien, die ausschließlich mit einem Computer bearbeitet werden können (vgl. Jude & Wirth 2007). Ob mit computersimulierten Szenarien das gleiche Wissen oder sogar die gleichen Fähigkeiten und Kompetenzen erworben oder gemessen werden, wie in realen Anforderungssituationen, ist in der Medizindidaktik bereits seit einigen Jahren Forschungsgegenstand (z. B. Frey 2010; Petri 2014), in der Naturwissenschafts- und Technikdidaktik jedoch bislang nur vereinzelt Gegenstand wissenschaftlicher Forschung.

Baumann et al. (2013) verglichen den in einem realen Experiment und in einer Simulation erzielten Wissenszuwachs im Biologieunterricht miteinander. Neben dem Ergebnis, dass sowohl die Anwendung der computersimulierten Lernumgebung als auch das eigenständige Experimentieren zu einem vergleichbaren nachhaltigen Wissenszuwachs bei den Schülerinnen und Schülern führt, berichten sie weitere positive Erfahrung im Umgang mit der Computersimulation. Ebenfalls im Kontext naturwissenschaftlichen Unterrichts untersuchten Schreiber, Theyßen & Schecker (2014), ob ein Test mit einem physikalischen Realexperiment durch einen Test mit einem Simulationsbaukasten ersetzt werden kann. Für die Beantwortung ihrer Frage betrachten die Autoren die prozessorientierten Schülerleistungen bei der Durchführung zweier Experimente (Realexperiment vs. Simulation) und konnten keine hinreichend hohen Korrelationen (maximal $r = .46$) finden (ebd., S. 170).

In Bezug auf die Eignung von Computersimulationen für die valide Erfassung von Handlungskompetenzen gibt es ebenfalls nur einzelne Studien. Für den Beruf des Kfz-Mechatronikers bzw. der Kfz-Mechatronikerin wurden verschiedene Fehlerdiagnoseaufgaben sowohl an einem realen Fahrzeug als auch in der entsprechenden Simulation konstruiert (Abele, Gschwendtner & Nickolaus 2009). Zwischen der Diagnoseleistung in der Realität und der in der Simulation konnte ein sehr hoher Zusammenhang ($r = .94$) gezeigt werden, so dass die Autoren schlussfolgern, dass die Arbeit mit der Simulation keine anderen Fähigkeiten erfordert als die Arbeit am Fahrzeug (ebd., S. 253). Für den Beruf des Elektrikers bzw. der Elektrikerin für Automatisierungstechnik sind zur Erfassung der Fehlerdiagnosefähigkeit ebenfalls verschiedene Fehler in einer realen und einer simulierten Automatisierungsanlage implementiert worden (Walker, Link & Nickolaus 2015). Auch hier korrelierten die Diagnoseleistungen in den realen und den simulierten Anforderungskontexten sehr hoch miteinander ($r = .99$), sodass davon ausgegangen wird, dass beide Instrumente dieselbe Fähigkeit erfassen (ebd., S. 232 f.).

Auch wenn in dem vorliegenden Beitrag keine Kompetenz, sondern Wissen erfasst werden soll, sind die obigen Ergebnisse für die Validitätsbetrachtungen von Relevanz. Die teils konträren Ergebnisse der Studien lassen sich vermutlich darauf zurückführen, dass sich die verwendeten Simulationen nach dem Grad der Abstraktion unterscheiden und wie detailliert und genau sie die zu modellierenden Aspekte aus der Realität darstellen. Dieses als *Fidelity* (Gray 2002) bezeichnete Merkmal von Computersimulationen kann sich zum einen auf die Ähnlichkeit des Aussehens (display realism) und zum anderen auf die Ähnlichkeit des Verhaltens (response realism) zwischen Realitätsausschnitt und Modell beziehen. Damit die Anforderungen zwischen einer realen und einer simulierten Situation überhaupt vergleichbar sind, muss die Simulation der Wirklichkeit möglichst gut entsprechen, in dem Aussehen (durch Grafiken) und Verhalten (Zulassen fehlerhaften Verhaltens) möglichst viel Ähnlichkeiten zur Realität haben (ebd.). Je größer der Abstraktionsgrad des Modells, desto höher ist seine Generalisierbarkeit. Gleichzeitig sinkt damit die Menge an Details aus der Realität und die Validität der aus den eingesetzten Modellen gewonnenen Ergebnisse. Je weniger gemeinsame Merkmale, die in einer Untersuchungssituation verwendeten Simulationen und der Realitätsausschnitt aufweisen, desto weniger gut lassen sich Rückschlüsse von der Simulation zurück auf die Realität ziehen (vgl. Müller 1993). Diese Aussage stimmt mit der von Funke & Reuschenbach (2011) überein, nach der die Passung zwischen Simulation und realer Anforderung die Höhe der Validität bestimmt.

Studien, die motivationale Aspekte der Übereinstimmung zwischen realen und simulierten Szenarien untersuchen, gibt es vergleichsweise wenig. Zwar ließ sich in einigen Vergleichsstudien ein positiver Einfluss der Motivation beim computergestützten Lernen gegenüber traditionellen Lernformen feststellen. Dies kann aber u. a. auf den Neugierigkeitseffekt (Dekkers & Donatti 1981) zurückgeführt werden, da neuartige Formen des Lernens zunächst Neugier und intrinsische

Motivation wecken (Deci & Ryan 1993). Mit der Gewöhnung reduziert sich diese medieninduzierte Motivation aber wieder. In einigen Untersuchungen wird allerdings auch nachgewiesen, dass Lernende Simulationsumgebungen als technisch-leblos bewerten. Da die Simulationen ihnen die konkrete Erfahrung nehmen, werden sie oft abgelehnt (Gergely 1986; Mandl & Heiland 1992). Damit die Motivation für die Interaktion in einem virtuellen Technikfachraum ähnlich hoch ist, wie in einem realen Fachraum, ist davon auszugehen, dass auch hier eine möglichst hohe Ähnlichkeit des Aussehens und Verhaltens beider Räume erforderlich ist.

4 Ziele und Fragestellungen

Das übergeordnete Ziel des hier dargelegten Forschungsprojektes ist es zu untersuchen, inwiefern virtuelle Technikfachräume einen adäquaten Ersatz für reale Technikfachräume in Bezug auf den Wissenserwerb und die Motivation von Studierenden in Veranstaltungen, die sich inhaltlich mit Technikfachräumen auseinandersetzen, sind. Basierend auf den im Forschungsstand berichteten Vorarbeiten ergeben sich für das hier beschriebene Forschungsprojekt folgende Forschungsfragen bzw. Hypothesen:

Forschungsfrage (F1): Unterscheidet sich der Wissenserwerb von Studierenden aus Lehrveranstaltungen, in denen virtuelle Technikfachräume eingesetzt werden, von Studierenden aus Lehrveranstaltungen, in denen reale Technikfachräume eingesetzt werden?

Hypothese 1 (H1): Es wird in beiden Varianten (realer vs. virtueller Technikfachraum) das gleiche Wissen erworben.

Hypothese 2 (H2): Der Wissenserwerb ist in beiden Varianten (realer vs. virtueller Technikfachraum) gleich hoch.

Forschungsfrage (F2): Wirkt sich die digitale Lernumgebung des virtuellen Technikfachraums positiv auf die Motivation der Studierenden aus?

Hypothese (H3): Die Höhe der Motivation der Studierenden ist in beiden Varianten (realer vs. virtueller Technikfachraum) gleich.

5 Methode

In diesem Kapitel werden zunächst die beiden Messinstrumente (Test zum Wissenserwerb über Technikfachräume, Fragebogen zur aktuellen Motivation) dargestellt. Es schließt sich die Vorstellung der beiden Lernumgebungen an. Dabei handelt es sich um einen realen Technikfachraum und um einen virtuellen Technikfachraum. Im Anschluss wird die Stichprobe präsentiert und das Studiendesign erläutert. Abschließend folgen Angaben zur Datenauswertung.

5.1 Test zum Wissenserwerb über Technikfachräume

Um das inhaltsspezifische Wissen über Technikfachräume zu erfassen, wurde den Studierenden vor und nach der Lernphase ein Vortest bzw. Nachtest zur Bearbeitung vorgelegt. Beide Tests waren identisch und wurden auf die Lernziele des Lernmaterials bzw. der Lernumgebung bezogen konstruiert. Sie bestanden aus insgesamt 35 Items, wobei die Antworten in einem geschlossenen

Antwortformat vorgegeben wurden, d. h. die Studierenden mussten aus mehreren (mehr als zwei) Antwortalternativen die richtige (Single Choice) bzw. die richtigen Antworten (Multiple Choice) identifizieren. Da die Ratewahrscheinlichkeit bei Auswahlaufgaben besonders groß ist (Lienert & Raatz 1998), wurden für jedes Item eine Antwortkategorie „weiß ich nicht“ angeboten. Es wurden Items zu den Bereichen *allgemeine Sicherheit* (3 Items), *bauseitige Ausstattung* (11 Items), *sicherheitsrelevante Ausstattung* (7 Items), *Einrichtungsgegenstände* (10 Items) und *Ordnungssysteme* (4 Items) entwickelt. Alle Items des Wissenstest finden sich im Anhang 1.

Die interne Konsistenz der Teilskalen wurde mit Hilfe von Cronbachs Alpha aus dem Nachtest berechnet. Diese lag für die Skala allgemeine Sicherheit bei $\alpha = .77$, für die Skala bauseitige Ausstattung bei $\alpha = .89$, für die Skala sicherheitsrelevante Ausstattung bei $\alpha = .87$, für die Skala Einrichtungsgegenstände bei $\alpha = .93$ und für die Skala Ordnungssystem bei $\alpha = .86$. Somit lagen alle Skalen über dem akzeptablen Wert von $\alpha = .70$ (Lienert & Raatz 1998). Für die Kontrollgruppe konnten zudem die Re-Test-Korrelationen als Maß für die Reliabilität berechnet werden, diese lagen alle über $r = .96$.

Der Gesamtscore des Tests wurde aus der Summe der Einzelitems berechnet. Bei Items, bei denen mehr als eine richtige Antwort ausgewählt werden musste, wurde pro falsche Antwort ein Punkt abgezogen und die Gesamtpunktzahl auf einen Wert zwischen null und eins umgerechnet.

5.2 Fragebogen zur aktuellen Motivation

Zur Erfassung der aktuellen Motivation der Studierenden während der Lernphase wurde auf den *Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM)* von Rheinberg, Vollmeyer & Burns (2001) zurückgegriffen. Dieser Fragebogen wurde an verschiedenen Stichproben und Aufgabentypen untersucht. Die internen Konsistenzen nach Cronbach lagen zwischen $.66 \leq \alpha \leq .90$ (ebd.).

Aus dem Fragebogen wurden nur zwei der vier Skalen verwendet: zum einen die Skala *Herausforderung*, zum anderen die Skala *Interesse*. Während die Skala Herausforderung erfasst, ob die Lernaufgabe von den Lernenden überhaupt als leistungsthematisch interpretiert wird, erhebt die Skala Interesse, inwieweit der Aufgabeninhalt für die Lernenden einen Lernanreiz bietet. Die beiden Skalen zeichnen sich durch eine hohe Prädiktionskraft auf den Lernerfolg aus (Rheinberg 2004; Rheinberg, Vollmeyer & Burns 2001). Der Fragebogen beinhaltete somit insgesamt 9 Items (Herausforderung (4 Items), Interesse (5 Items)), die in einem siebenstufigen Antwortformat (1 = trifft nicht zu bis 7 = trifft zu) vorgegeben wurden. Vereinzelt wurden die Items auf die inhaltliche Auseinandersetzung mit Technikfachräumen hin angepasst.

Der Fragebogen wurde den Studierenden direkt vor der Lernphase vorgelegt. Zu diesem Zeitpunkt wurde die anstehende Aufgabe bereits dargeboten. Vor diesem Hintergrund bestand die Aufgabe der Studierenden darin, ihre durch die anstehende Aufgabe angeregte Motivation einzuschätzen. Ebenso wurde der Fragebogen den Studierenden direkt nach der Lernphase vorgelegt, um zu erfassen, ob sich die Motivation der Studierenden während der Lernphase verändert hat.

Die interne Konsistenz wurde mit Hilfe von Cronbachs Alpha berechnet und lag für die einzelnen Skalen zwischen $.68 \leq \alpha \leq .85$. Diese lag im Test vor der Lernphase für die Skala Herausforderung bei $\alpha = .68$ und für die Skala Interesse bei $\alpha = .81$. Im Test nach der Lernphase lag die interne Konsistenz für die Skala Herausforderung bei $\alpha = .71$ und für die Skala Interesse bei $\alpha = .85$. Die einzelnen Skalen wiesen somit eine zufriedenstellende Reliabilität auf. Nur die Skala Herausforderung im Test vor der Lernphase lag knapp unter dem akzeptablen Wert von

$\alpha = .70$ (vgl. Lienert & Raatz 1998). Der Gesamtscore der Motivation wurde aus den Mittelwerten über die 9 Items berechnet.

5.3 Lernumgebung Technikfachraum

Um zu untersuchen, wie sich die Lernumgebung auf den Wissenserwerb auswirkt, wurde als Lernumgebung ein realer und ein virtueller Technikfachraum eingesetzt, die im Folgenden beschrieben werden.

Realer Technikfachraum

Als realer Technikfachraum kam ein universell nutzbarer Technikfachraum zum Einsatz. Dieser Fachraum ist ein nach fachdidaktischen und pädagogischen Gesichtspunkten eingerichteter Technikfachraum, der 2011 in Betrieb genommen wurde. Alle sicherheitsrelevanten Aspekte wurden bei der Planung dieses Technikfachraums berücksichtigt und der Fachraum so gestaltet, dass Gefahrenquellen minimiert und Unfälle weitestgehend ausgeschlossen werden können. Der Technikfachraum beinhaltet im Wesentlichen 16 Universal-Schülerwerkbänke, die sich für jede anfallende Art praktischer und theoretischer Tätigkeit eignen sowie leicht transportierbare Standardhocker und einen Lehrkräftearbeitsplatz als multifunktionaler Arbeitsplatz. An der Fensterfront sind Reihenwerkbänke mit Kleinmaschinen vorhanden. Unter den Reihenwerkbänken befinden sich Schubladenblöcke und Zubehörwagen zur Unterbringung von Maschinenzubehör und Schraubstöcken sowie Materialrestbehälter und Industriestaubsauger. An der Wand sind Werkzeugschränke mit differenzierter, funktionaler Innenaufteilung in Verbindung mit Werkzeugordnungssystemen, Auszügen für elektrische Handmaschinen, ausziehbare Fachböden für Sortimentkästen, Bauteile, Konstruktionsbaukasten sowie Regalböden für Materialboxen angebracht.

Virtueller Technikfachraum

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde ein virtueller Technikfachraum³, der dem realen Technikfachraum annähernd entspricht, entwickelt und programmiert. Zur 3D-Visualisierung der Einrichtungsgegenstände des virtuellen Technikfachraums sowie zu deren Animation wurde die Software *Maya* von Autodesk verwendet. Als Entwicklungsumgebung, in die der virtuelle Technikfachraum programmiert und zusammengestellt wurde, diente die Software *Unreal Engine*.

Nach dem Starten des virtuellen Technikfachraums erscheint zunächst eine Bedienungsanleitung mit den Schaltflächen *Start*, *Hilfe* und *Beenden*. Während mit den Schaltflächen *Start* und *Beenden* der virtuelle Technikfachraum betreten bzw. verlassen werden kann, können bei Betätigung des Buttons *Hilfe* Informationen im Hinblick auf die Navigation im Technikfachraum abgerufen werden. Hierzu wird dargestellt, dass die Bewegung im Technikfachraum mittels *Pfeiltasten* oder der *WASD-Tastenkombination* der Tastatur erfolgt. Eine Sichtfeldveränderung geschieht durch die *Bewegung der Maus*. Um einen Eindruck vom virtuellen Technikfachraum zu bekommen, wird dieser im Folgenden exemplarisch dargestellt.

³ Der virtuelle Technikfachraum wurde von den Autoren in Zusammenarbeit mit Maike Knoll (M.Eng.) entwickelt und programmiert.

Der virtuelle Technikfachraum ist für 16 Schülerinnen und Schüler angelegt und umfasst vier universelle 4er-Schülerwerkbänke als zentralen Arbeitsplatz, der sich sowohl für praktisches als auch für schriftliches und zeichnerisches Arbeiten eignet. An jedem Arbeitsplatz ist ein Drehstuhlspindelhocker mit Fußgestell als Sitzmöbel vorhanden. Die Höhenverstellbarkeit der Schülerwerkbänke und der Hocker ist durch die Gestellfüße der Schülerwerkbank bzw. durch die Darstellung der Hocker angedeutet. Abbildung 1 zeigt eine Schülerwerkbank mit Hocker.



Abbildung 1: Bildschirmfoto einer höhenverstellbaren Schülerwerkbank mit Hocker

Entlang der Fensterfront und teilweise an der Wand, die den Technikfachraum und den Maschinenraum trennt, befinden sich Reihenwerkbänke mit durchlaufenden Bankplatten, an der wandseitig Elektroinstallationsleisten dargestellt sind, an denen Kleinmaschinen wie Tischbohrmaschine, Dekupiersäge und Tellerschleifmaschine eingesteckt sind. Unter den Reihenwerkbänken befinden sich ein Schubladenblock, ein Zubehörwagen mit Schraubstöcken, Materialrestebehälter sowie Industriestaubsauger in der Nähe der Kleinmaschinen. Ein Bildschirmfoto der Reihenwerkbänke, den Kleinmaschinen und der Nutzung des Stauraums unter den Reihenwerkbänken ist in Abbildung 2 abgebildet.



Abbildung 2: Bildschirmfoto der Reihenwerkbänke, Kleinmaschinen und Nutzung des Stauraums unter den Reihenwerkbänken

An der Wand zum Flur hin und teilweise an der Wand zwischen Technikfachraum und Maschinenraum sind Schrankmöbel mit einem Farbleitsystem außen an den Werkzeugschränken (bestimmte Werkzeuggruppen wird eine feste Farbe zugeordnet) angebracht, die eine geordnete, sichere und vor unbefugtem Zugriff geschützte Unterbringung von Werkzeugen, Handmaschinen, Materialien, Objekten, Konstruktionsmedien und Hilfsstoffen ermöglichen. Abbildung 3 zeigt das Bildschirmfoto der Schrankmöbel mit Farbleitsystem außen an den Werkzeugschränken sowie die Innenaufteilung des Werkzeugschranks für die Holzbearbeitung mit Holzbearbeitungswerkzeugen.

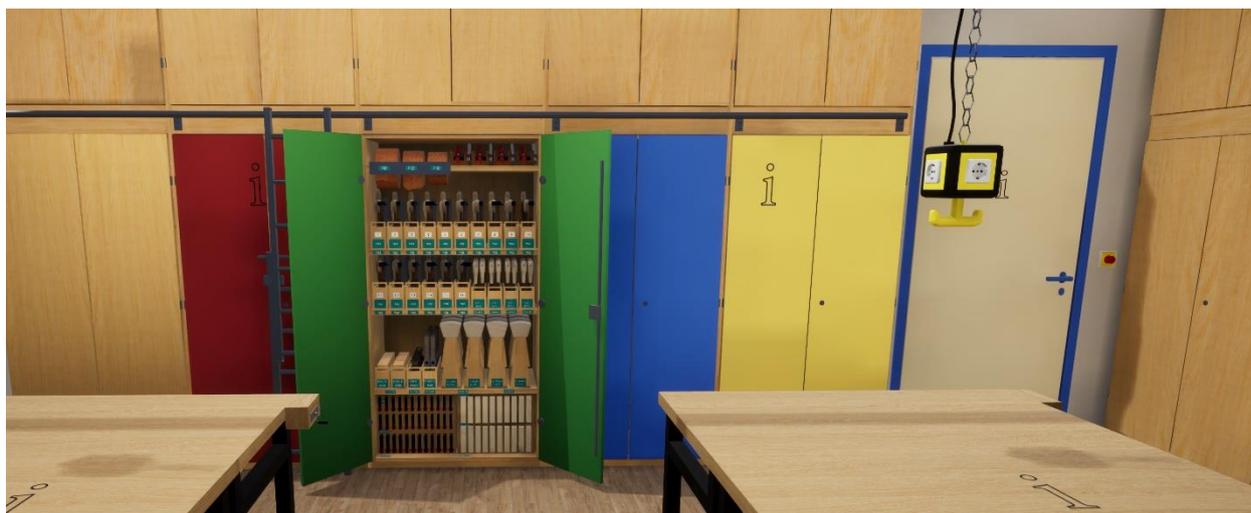


Abbildung 3: Bildschirmfoto der Schrankmöbel mit Farbleitsystem außen an den Werkzeugschränken sowie der Innenaufteilung des Werkzeugschranks für die Holzbearbeitung mit Holzbearbeitungswerkzeugen

Stehen die Lernenden virtuell direkt vor den Schrankmöbeln, erscheint die Einblendung des Textes *Türen – um sie zu öffnen O drücken*. Bei Betätigung der *O-Taste* der Tastatur öffnen sich dann die Schranktüren und die Lernenden erhalten einen Einblick in die funktionale Innenaufteilung des Schrankmöbels. Die Türen schließen wieder, wenn die Lernenden sich vom Schrank wegbewegen. Zum Farbleitsystem gehört auch, dass die einzelnen Werkzeugblöcke im Inneren des Werkzeugschranks ebenfalls mit der zutreffenden Farbmarkierung und zusätzlich mit der entsprechenden Werkzeugbezeichnung versehen sind.

Vor der Wand, die den Technikfachraum vom Vorbereitungsraum und Garderobenraum trennt, befindet sich der Lehrkräftearbeitsplatz mit Arbeitstisch und abschließbarem Schubladenblock sowie ein höhenverstellbarer Arbeitsstuhl als Sitzmöbel. Ein PC mit Beamer und interaktivem Whiteboard gehört ebenfalls zum Lehrkräftearbeitsplatz. Neben dem Arbeitsplatz und im Eingangsbereich des Technikfachraums befindet sich die Nasszone, die ein Waschbecken mit Wasserhähnen, Seifenspendern sowie Hautschutzspender und Einmalhandtuchspender aufweist. Ebenso befinden sich in diesem Bereich für den Technikfachraum wichtige sicherheitsrelevante Ausstattungselemente wie z. B. die Notrufanlage, der Erste-Hilfe-Verbandkasten und geeignete Feuerlöscher. Abbildung 4 zeigt eine Bildschirmaufnahme aus dem virtuellen Technikfachraum mit Lehrkräftearbeitsplatz, Nasszone und wichtige sicherheitsrelevante Ausstattungselemente sowie eingeblendeter Informationstext zu den hygienischen Einrichtungen.



Abbildung 4: Lehrkräftearbeitsplatz und Nasszone mit wichtigen sicherheitsrelevanten Ausstattungselementen sowie Informationstext zu den hygienischen Einrichtungen

Der virtuelle Technikfachraum ist so gestaltet, dass die Lernenden selbstständig den Technikfachraum erkunden können und sich Informationen im Hinblick auf *allgemeine Sicherheit*, *bauseitige Ausstattung*, *sicherheitsrelevante Ausstattung*, *Einrichtungsgegenstände* und *Ordnungssystem* einholen können. Hierzu sind an relevanten Stellen im Raum und an bedeutsamen Einrichtungsgegenständen *I-Punkte* (Informationspunkte) vorhanden (siehe Abbildung 4). Bewegen sich die Lernenden in Richtung der *I-Punkte*, erscheint eine Einblendung zu welchem Aspekt Informationen zur Verfügung stehen. Das Abrufen der Informationen erfolgt über die Betätigung der *Enter-Taste* der Tastatur. Am Ende des eingeblendeten Informationstextes folgt die Auskunft, ob noch weitere Informationen zur Verfügung stehen bzw. wie sich das Informationsfenster wieder ausblenden lässt. So können bei Betätigung der *I-Taste*, falls vorhanden, noch weitere Informationen zum gewählten Aspekt abgerufen werden. Das Ausblenden des Informationstextes erfolgt durch die Betätigung der *Q-Taste* der Tastatur.

5.4 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 169 Studierende (53 Studentinnen und 116 Studenten) des Faches Technik aus verschiedenen fachdidaktischen, fachwissenschaftlichen und fachpraktischen Veranstaltungen aus den Bachelor- und Masterstudiengängen Lehramt (Sekundarstufe 1, Primarstufe und Sonderpädagogik) teil. Ihr Altersdurchschnitt betrug ca. 25 Jahre ($M = 25.45$, $SD = 1.67$).

Die Probandinnen und Probanden für das Treatment 1 (realer Technikfachraum) und das Treatment 2 (virtueller Technikfachraum) entstammten aus Veranstaltungen, in denen die Thematik des Fachraumsystems Inhalt ist. Diese Veranstaltungen sind im Bachelorstudiengang eher in der Mitte und am Ende des Studiums sowie im Masterstudiengang zu Beginn des Studiums angesiedelt. Die Kontrollgruppe bestand überwiegend aus Studierenden, die sich am Anfang ihres Bachelorstudiums befanden und noch keine Veranstaltungen besucht haben, in denen die Thematik des Fachraumsystems behandelt wurde.

5.5 Studiendesign

Die Durchführung der Untersuchung fand entweder vormittags oder nachmittags mit einer Dauer von jeweils ca. 90 Minuten statt. Die Zuordnung zu den einzelnen Gruppen erfolgte anhand der Veranstaltung, die durch die Studierenden während des Untersuchungszeitraums besucht wurden. Die Gruppe realer Technikfachraum setzte sich aus 56 Studierende zusammen (13 Studentinnen und 43 Studenten), die Gruppe virtueller Technikfachraum bestand aus 57 Studierende (19 Studentinnen und 38 Studenten) und die Kontrollgruppe umfasste 56 Studierende (21 Studentinnen und 35 Studenten). Der Ablauf der Studie ist in Abbildung 5 dargestellt.

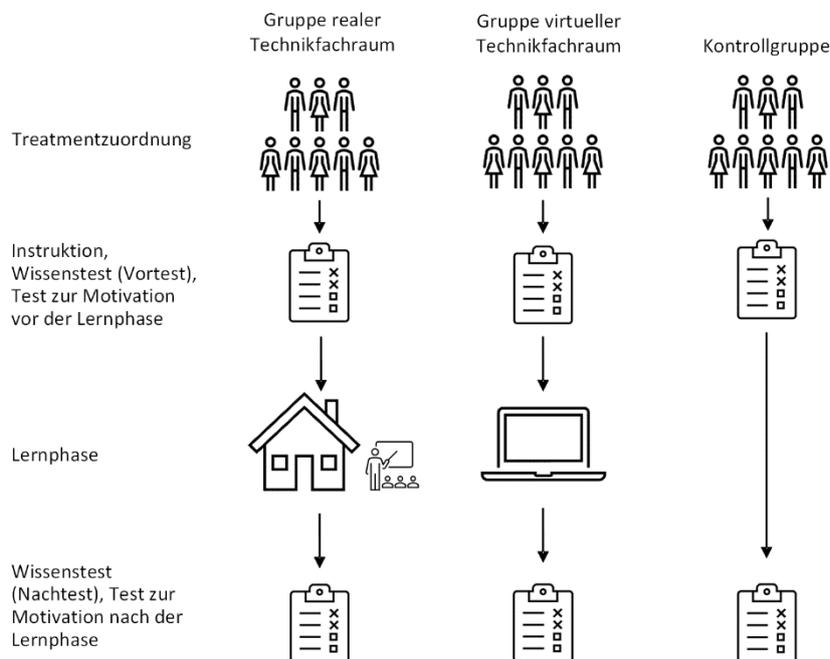


Abbildung 5: Ablauf der Studie

Die Studie wurde von einem der Autoren im Rahmen der eigenen Lehrveranstaltungen durchgeführt. Um Testleitungseffekte zu vermeiden, wurde auf ein standardisiertes Vorgehen bei der Datenerhebung und -auswertung geachtet, das im Folgenden beschrieben wird: Am Testtag wurden die Studierenden vom Testleiter begrüßt, in die Thematik eingeführt und über den Ablauf der Untersuchung informiert. Nach der Instruktion erfolgte die Bearbeitung des Vortests (20 Minuten). Vor der Lernphase wurde den Studierenden ebenfalls der Test zur aktuellen Motivation (3-4 Minuten) zur Bearbeitung vorgelegt. Im direkten Anschluss folgte die Lernphase, in der die Lernenden selbstständig den Technikfachraum erkundeten. Die Lernzeit wurde für die Gruppen konstant gehalten und betrug 45 Minuten. Nach der Lernphase bearbeiteten die Studierenden wiederum den Test zur aktuellen Motivation (3-4 Minuten). Abschließend erfolgte die Bearbeitung des Nachtests (20 Minuten).

Für die Untersuchung fand für die Gruppe realer Technikfachraum die Intervention in einem Technikfachraum einer Schule statt, der nach fachdidaktischen und pädagogischen Gesichtspunkten eingerichtet wurde (siehe Kapitel 5.3). In diesem Technikfachraum wurde eine konventionelle Lehrveranstaltung zum Thema Technikfachraum durchgeführt. Dabei wurden die Themen allgemeine Sicherheit, bauseitige Ausstattung von Technikfachräumen, sicherheitsrelevante Ausstattung in Technikfachräumen, Einrichtungsgegenstände im Technikfachraum sowie das Ordnungssystem im Technikfachraum behandelt. Die Studierenden erhielten hierzu Instruktionen und Texte in verbaler Form. Die Texte wurden an geeigneten Stellen im Technikfachraum angebracht bzw. beigelegt und waren nahezu identisch mit den Texten, die im virtuellen Technikfachraum dargeboten wurden. Die Studierenden konnten somit den realen Technikfachraum eigenständig erkunden und sich die Inhalte zum Technikfachraum anhand der zur Verfügung gestellten Texte selbstständig erschließen.

Für die Untersuchung wurde für die Gruppe virtueller Technikfachraum der virtuelle Technikfachraum auf den hochschulinternen Computern installiert. Den Lernenden stand während der gesamten Studie ein eigener Computerarbeitsplatz zur Verfügung. Der virtuelle Technikfachraum ist so gestaltet, dass die Lernenden selbstständig den Technikfachraum erkunden können und sich Informationen im Hinblick auf allgemeine Sicherheit, bauseitige Ausstattung von Technikfachräumen, sicherheitsrelevante Ausstattung in Technikfachräumen, Einrichtungsgegenstände im Technikfachraum und Ordnungssystem im Technikfachraum einholen können. Hierzu sind an relevanten Stellen im Raum und an bedeutsamen Einrichtungsgegenständen *I-Punkte* (Informationspunkte) vorhanden (siehe Kapitel 5.3). Somit konnten die Studierenden den virtuellen Technikfachraum eigenständig erkunden und sich die Inhalte zum Technikfachraum anhand der zur Verfügung gestellten Informationen selbstständig aneignen.

Bei der Kontrollgruppe wurden während der Lernphase die Inhalte zum Technikfachraum nicht thematisiert. Vor und nach der Lernphase wurde der Kontrollgruppe der Vor- bzw. Nachtest zur Bearbeitung vorgelegt. Auf eine Bearbeitung des Tests zur aktuellen Motivation vor bzw. nach der Lernphase wurde aufgrund der Nichtthematisierung der Inhalte zum Technikfachraum verzichtet.

5.6 Datenauswertung

Von allen Studierenden lagen vollständige Datensätze vor, fehlende Daten gab es dementsprechend keine. Die statistischen Analysen basieren somit auf 169 Datensätzen. Alle Datenanalysen wurden mit der Software R (Version 4.2.2) durchgeführt.

Da die formulierten Hypothesen keinen Effekt postulieren, also die Gruppen als nicht different, sondern äquivalent angenommen werden (Nullhypothesen), wird jeweils ein Äquivalenztest nach Schuirmann (1987), der two-one-sided test (TOST), durchgeführt. Dieser ermöglicht sowohl die obere als auch die untere Grenze der Äquivalenz zu überprüfen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = .05$ festgelegt. Ein signifikanter TOST-Test weist auf die Äquivalenz der beiden verglichenen Gruppen hin (Lakens 2017).

6 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie dargestellt. Zunächst erfolgt die Vorstellung der Ergebnisse zum Wissenserwerb. Daran anschließend wird von den Ergebnissen der Motivation berichtet.

6.1 Wissenserwerb

Um Aussagen über den Wissenserwerb in den verschiedenen Gruppen zu tätigen, wird zunächst das Wissen vor der Intervention, dann das Wissen nach der Intervention und abschließend der Wissenszuwachs betrachtet.

Wissen vor der Intervention

Zunächst wurde das (Vor-)Wissen über Technikfachräume erfasst. Die Analyse ergab, dass das Wissen über Technikfachräume über alle Probanden ($n = 169$) hinweg vor der Intervention mit $M = .52$ [$MIN = .12$, $MAX = .78$] mittelhoch war. Die Standardabweichung betrug hier $SD = .18$.

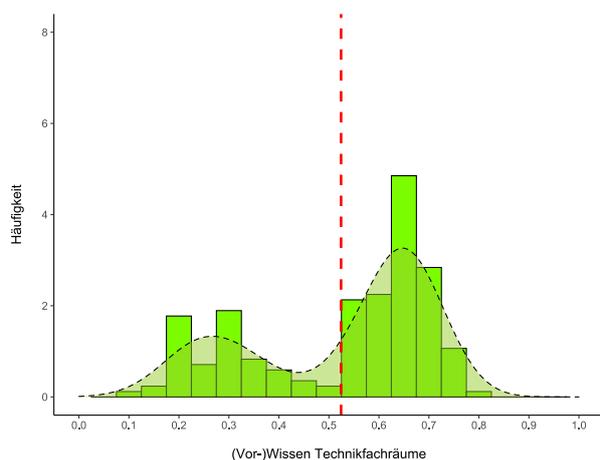


Abbildung 6: Histogramm mit Dichteverteilung und Mittelwertlinie des erfassten (Vor-)Wissens über Technikfachräume über alle Probanden

Im Histogramm (Abbildung 6) lässt sich eine Abweichung der Verteilung der empirischen Daten von einer Normalverteilung erkennen. Die Prüfgröße $D = .20$ des Kolmogorow-Smirnov-Tests wird signifikant ($p < .05$). Betrachtet man das (Vor-)Wissen über Technikfachräume zwischen den drei Gruppen, so lässt sich feststellen, dass sich das Vorwissen zwischen den beiden

Interventionsgruppen fast nicht unterschied ($M_{real} = .63$; $M_{virt} = .65$), wohl aber in der Kontrollgruppe ($M_{cont} = .29$). Das erfasste (Vor-)Wissen über Technikfachräume nach Gruppen ist zur besseren Veranschaulichung in Abbildung 7 graphisch präsentiert. Ebenso sind die deskriptiven Werte des Vorwissens nach Gruppen in Tabelle 1 dargestellt.

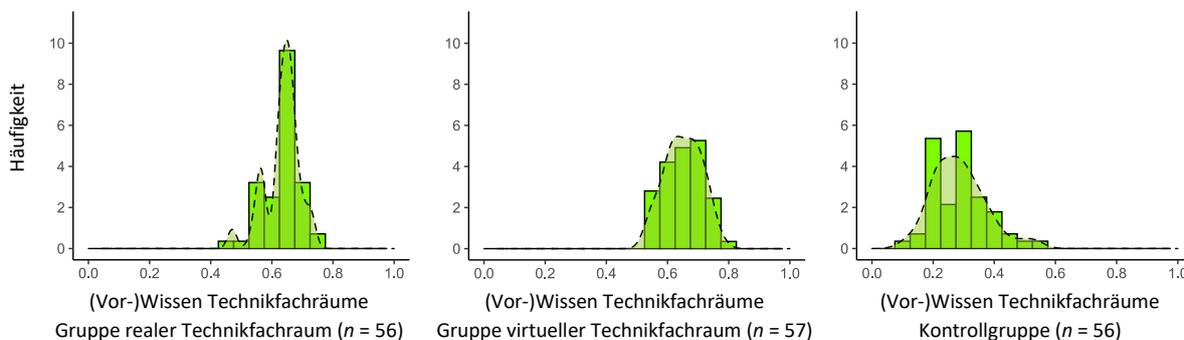


Abbildung 7: Histogramme mit Dichteverteilung des erfassten (Vor-)Wissens über Technikfachräume nach Gruppen

Tabelle 1: Wissen der Gruppen über Technikfachräume vor der Intervention

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gruppe realer Technikfachraum	56	.63	.06
Gruppe virtueller Technikfachraum	57	.65	.06
Kontrollgruppe	56	.29	.09

Anmerkungen: *n* = Stichprobengröße; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

Um zu prüfen, ob der Vorwissensunterschied zwischen den beiden Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe signifikant wird, erfolgte eine varianzanalytische Betrachtung der Daten mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse. In die Analyse gingen die Gruppenzugehörigkeit sowie als abhängige Variable das Vorwissen ein. Das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse lässt darauf schließen, dass sich das Vorwissen zwischen den Gruppen signifikant unterscheidet ($F(2,166) = 499.17, p < .001$). Zwischen welchen der drei Gruppen ein Unterschied existiert, wurde mittels paarweisen t-Tests mit nach Bonferroni angepassten p-Werten analysiert. Hierbei zeigte sich, dass der Vorwissensunterschied zwischen der Gruppe, die Aufgaben in Bezug zum realen Technikfachraum bearbeiteten und der Gruppe, die diese Aufgaben in Bezug zum virtuellen Technikfachraum bearbeiteten, nicht signifikant wird ($t(111) = -1.62, p = .52$). Lediglich zwischen den beiden Treatmentgruppen und der Kontrollgruppe besteht ein signifikanter Unterschied ($t(110) = -25.03, p < .001$ (zwischen Treatment real und Kontrollgruppe), $t(111) = -26.05, p < .001$ (zwischen Treatment virtuell und Kontrollgruppe)).

Wissen nach der Intervention

Im Anschluss an die eigenständige Wissensaneignung im realen bzw. im virtuellen Technikfachraum wurde das Wissen über Technikfachräume erneut erfasst. Um einen möglicherweise festzustellenden Wissenszuwachs auch auf die vorher stattfindende Wissensaneignung in dem jeweiligen Treatment zurückführen zu können, wurde auch in der

Kontrollgruppe das Wissen über Technikfachräume nach 45 Minuten wieder erfasst. In Abbildung 8 ist wiederum das (Nach-)Wissen über Technikfachräume nach Gruppen graphisch präsentiert. Die deskriptiven Werte sind in Tabelle 2 dargestellt.

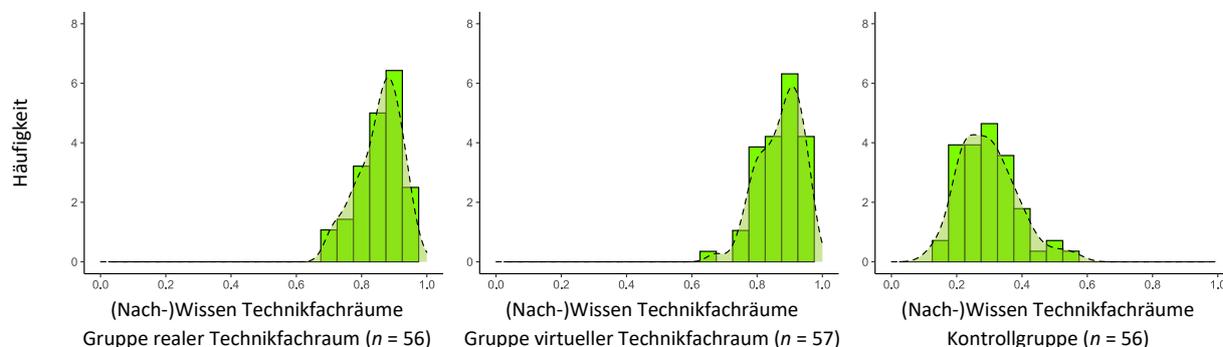


Abbildung 8: Histogramme mit Dichteverteilung des erfassten (Nach-)Wissens über Technikfachräume nach Gruppen

Tabelle 2: Wissen der Gruppen über Technikfachräume nach der Intervention

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gruppe realer Technikfachraum	56	.85	.07
Gruppe virtueller Technikfachraum	57	.87	.07
Kontrollgruppe	56	.30	.09

Anmerkungen: *n* = Stichprobengröße; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

Die Analyse ergab, dass das Wissen über Technikfachräume nach der Intervention sich zwischen den beiden Interventionsgruppen nahezu nicht unterschied ($M_{real} = .85$; $M_{virt} = .87$), wohl aber in der Kontrollgruppe ($M_{cont} = .30$). Die Kontrollgruppe beschäftigte sich allerdings auch nicht mit der Thematik Technikfachräume während der Lernphase, so dass dieses Ergebnis zu erwarten war.

Wissenszuwachs

Ob sich der Wissenserwerb der Gruppen unterscheidet, ist eine zentrale Frage der Studie. Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der Analyse zur Beantwortung dieser Frage aufgezeigt. Zur besseren Veranschaulichung wurden die Leistungen im Vor- und Nachtest und der Wissenszuwachs getrennt nach Wissensbereichen (siehe Abbildung 9) auch hier wieder grafisch präsentiert. Die deskriptiven Werte des Vor- und Nachtests getrennt nach Wissensbereichen sowie für den Gesamttest sind in Tabelle 3 dargestellt.

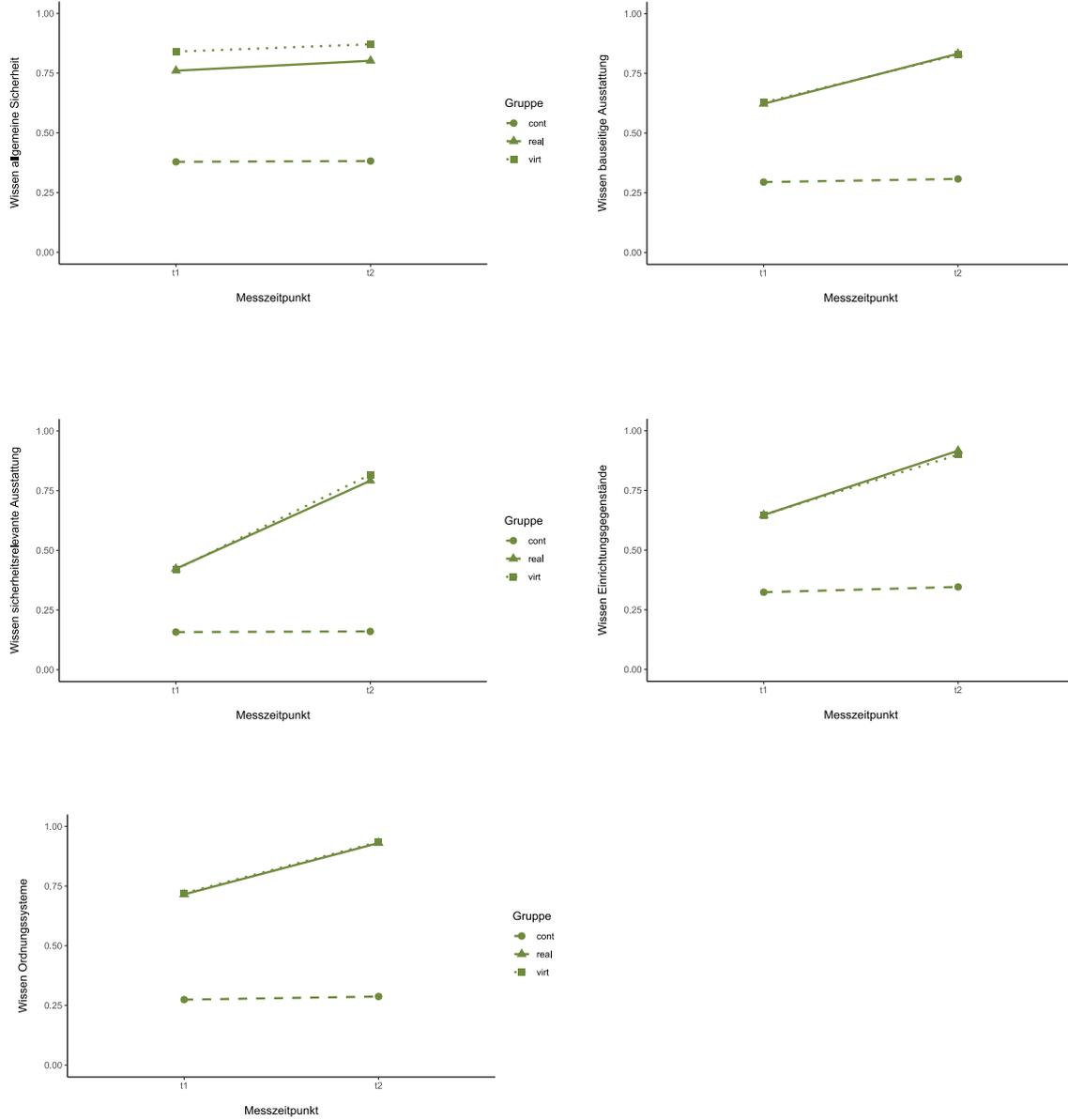


Abbildung 9: Wissenszuwachs zwischen den Gruppen getrennt nach Wissensbereichen

Tabelle 3: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Vor- und Nachtests getrennt nach Wissensbereichen sowie für den Gesamttest

	Vortest						Nachtest					
	realer Technik-fachraum		virtueller Technik-fachraum		Kontroll-gruppe		realer Technik-fachraum		virtueller Technik-fachraum		Kontroll-gruppe	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
<i>allgemeine Sicherheit</i>	.76	.15	.84	.12	.39	.19	.80	.14	.87	.10	.29	.19
<i>bauseitige Ausstattung</i>	.62	.16	.63	.13	.29	.14	.83	.16	.83	.15	.31	.15
<i>sicherheitsrelevante Ausstattung</i>	.42	.08	.42	.11	.16	.11	.79	.14	.82	.14	.16	.11
<i>Einrichtungsgegenstände</i>	.65	.09	.65	.08	.32	.15	.92	.07	.90	.08	.35	.14
<i>Ordnungssystem</i>	.72	.19	.72	.18	.28	.21	.93	.10	.94	.08	.29	.22
Gesamttest	.63	.06	.65	.06	.29	.09	.85	.07	.87	.07	.30	.09

Anmerkungen: M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Die Analysen zeigen, dass in den einzelnen Bereichen sowohl in der Gruppe realer Technikfachraum als auch in der Gruppe virtueller Technikfachraum nahezu das gleiche Wissen erworben wurde. Bei der Kontrollgruppe ist in den einzelnen Bereichen nahezu kein Wissenszuwachs erfolgt. Um Aussagen über den Wissenszuwachs der Gruppen nach der Intervention zu tätigen, wurde als Maß für den Wissenszuwachs der residuale Lerngewinn betrachtet. Der residuale Lerngewinn stellt dabei den Differenzwert dar, der sich aus dem Nachtest und dem Vortest berechnet. Betrachtet man den Wissenszuwachs getrennt nach den jeweiligen Wissensbereichen, so betrug der Wissenszuwachs bei den Items zur *allgemeinen Sicherheit* für die Gruppe realer Technikfachraum $M = .04$ ($SD = .07$), für die Gruppe virtueller Technikfachraum $M = .03$ ($SD = .07$) und für die Kontrollgruppe $M = .00$ ($SD = .01$). Die Leistung beim Bereich *bauseitige Ausstattung* machte für die Gruppe realer Technikfachraum $M = .21$ ($SD = .12$), für die Gruppe virtueller Technikfachraum $M = .20$ ($SD = .10$) und für die Kontrollgruppe $M = .01$ ($SD = .03$) aus. Der Zugewinn beim Bereich *sicherheitsrelevante Ausstattung* betrug für die Gruppe realer Technikfachraum $M = .37$ ($SD = .15$), für die Gruppe virtueller Technikfachraum $M = .40$ ($SD = .16$) und für die Kontrollgruppe $M = .00$ ($SD = .02$). Der Wissenszuwachs bei den Items zu den *Einrichtungsgegenständen* betrug für die Gruppe realer Technikfachraum $M = .27$ ($SD = .11$), für die Gruppe virtueller Technikfachraum $M = .25$ ($SD = .10$) und für die Kontrollgruppe $M = .02$ ($SD = .04$). Für den Bereich *Ordnungssysteme* machte der Lernzuwachs für die Gruppe realer Technikfachraum $M = .22$ ($SD = .17$), für die Gruppe virtueller Technikfachraum $M = .21$ ($SD = .18$) und für die Kontrollgruppe $M = .01$ ($SD = .03$) aus. Die deskriptiven Werte des Wissenszuwachses nach Gruppen für den Gesamttest sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Wissenszuwachs nach Gruppen für den Gesamttest

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gruppe realer Technikfachraum	56	.221	.04
Gruppe virtueller Technikfachraum	57	.216	.07
Kontrollgruppe	56	.01	.01

Anmerkungen: *n* = Stichprobengröße; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

Die Analyse ergab, dass sich der Wissenszuwachs in der Gruppe realer Technikfachraum ($M = .221$) und in der Gruppe virtueller Technikfachraum ($M = .216$) nicht signifikant unterscheidet ($d = .04$, 90% CI[-.27, .35]). Der Äquivalenztest mittel TOST zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Treatmentgruppen ($p < .001$). Bei der Kontrollgruppe ($M = .01$) ist fast kein Wissenszuwachs zu verzeichnen. Die Hypothesen H1 und H2 können somit beibehalten werden.

6.2 Lernmotivation

Um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welche Lernumgebung Studierende mehr motivieren kann, sich mit der Thematik der Technikfachräume auseinanderzusetzen, wurde die Lernmotivation der beiden Gruppen (realer Technikfachraum und virtueller Technikfachraum) vor und nach der Intervention erfasst und abschließend die Veränderung der Lernmotivation während der Lernphase betrachtet.

Lernmotivation vor der Intervention

Zunächst wurde die Lernmotivation der teilnehmenden Personen vor der Intervention erfasst. Dabei zeigte sich, dass alle Personen ($n = 113$) der beiden Interventionsgruppen zu Beginn durchschnittlich motiviert waren, sich mit dem Inhalt Technikfachräume auseinanderzusetzen. Der Mittelwert betrug $M = 3.77$ [$MIN = 1.11$, $MAX = 6.55$], die Standardabweichung $SD = 1.11$. In Abbildung 10 ist das Histogramm der erfassten Motivation vor der Intervention dargestellt.

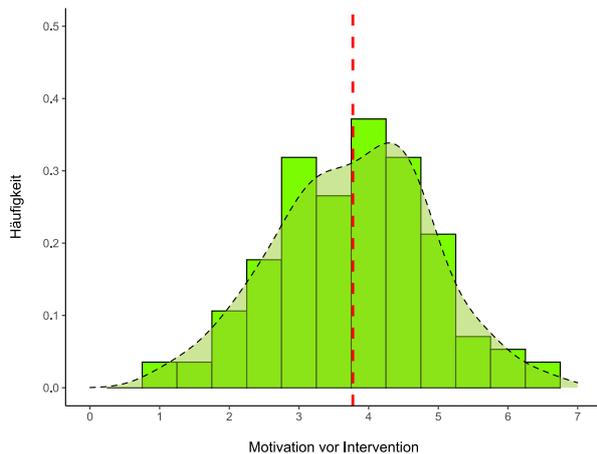


Abbildung 10: Histogramm mit Dichteverteilung und Mittelwertlinie der erfassten Motivation vor der Intervention über alle Probanden

Die Prüfgröße $D = .06$, die sich aus der Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests ergibt, wird nicht signifikant ($p = .74$), was für die Beibehaltung der Nullhypothese des Vorliegens eines normalverteilten Merkmals spricht. Betrachtet man die Lernmotivation zwischen den beiden Gruppen vor der Intervention, so lässt sich feststellen, dass die Motivation in der Gruppe, die Aufgaben im realen Technikfachraum bearbeiten sollte, vor der Aufgabenbearbeitung höher war ($M = 3.93$) als in der Gruppe, die diese Aufgaben in einem virtuellen Technikfachraum bearbeiten sollte ($M = 3.61$). Die erfasste Lernmotivation vor der Intervention differenziert nach den beiden Gruppen ist zur besseren Veranschaulichung in Abbildung 11 graphisch präsentiert. Ebenso sind die deskriptiven Werte der Motivation der Gruppen vor der Intervention in Tabelle 5 dargestellt.

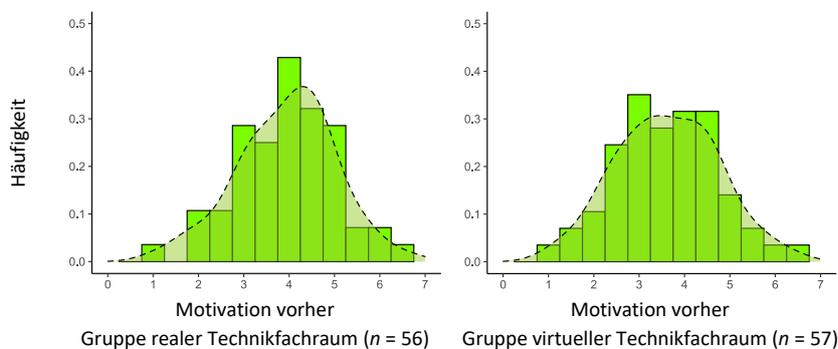


Abbildung 11: Histogramme mit Dichteverteilung der erfassten Motivation vor der Intervention nach Gruppen

Tabelle 5: Motivation der Gruppen vor der Intervention

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gruppe realer Technikfachraum	56	3.93	1.08
Gruppe virtueller Technikfachraum	57	3.61	1.12

Anmerkungen: *n* = Stichprobengröße; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

Da sich die Lernmotivation vor der Intervention zwischen den beiden Gruppen unterschied, erfolgte eine varianzanalytische Betrachtung der Daten. Der Unterschied zwischen den varianzhomogenen Gruppen (Levene-Test: $F(1,111) = .24$, $p = .63$) wird nicht signifikant $t(111) = 1.55$, $p = .13$. Es ist also davon auszugehen, dass beide Gruppen vor der Intervention ähnlich hoch motiviert waren.

Lernmotivation nach der Intervention

Im Anschluss an die eigenständige Wissensaneignung im realen bzw. im virtuellen Technikfachraum wurde die Motivation, sich mit solchen Aufgaben zu beschäftigen, erneut erfasst. Die Analyse ergab, dass über alle Personen ($n = 113$) der beiden Interventionsgruppen hinweg nach der Intervention eine etwas überdurchschnittliche Lernmotivation gemessen wurde. Der Mittelwert betrug $M = 4.10$ [$MIN = 1.24$, $MAX = 7.00$], die Standardabweichung lag bei $SD = 1.24$. In Abbildung 12 ist das Histogramm der erfassten Motivation nach der Intervention dargestellt.

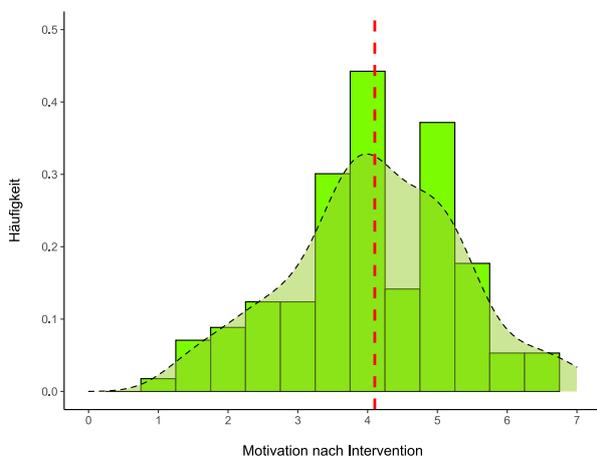


Abbildung 12: Histogramm mit Dichteverteilung und Mittelwertlinie der erfassten Motivation nach der Intervention über alle Probanden

Auch hier weichen die Daten nicht von einer Normalverteilung ab. Die Prüfgröße $D = .05$, die sich aus der Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests ergibt, wird nicht signifikant ($p = .88$), was für die Beibehaltung der Nullhypothese des Vorliegens eines normalverteilten Merkmals spricht.

Die Überprüfung der Vergleichbarkeit der Gruppen bzgl. der Lernmotivation nach der Intervention erfolgte nach demselben methodischen Vorgehen wie für die Motivation vor der Intervention. Betrachtet man die Lernmotivation zwischen den beiden Gruppen nach der Intervention, so lässt sich feststellen, dass die Motivation in der Gruppe, die Aufgaben im realen Technikfachraum bearbeitete höher ausfiel ($M = 4.18$) als in der Gruppe, die diese Aufgaben in

einem virtuellen Technikfachraum bearbeitete ($M = 4.02$). In Abbildung 13 ist auch hier die Motivation nach der Intervention differenziert nach den beiden Gruppen graphisch präsentiert. Die deskriptiven Werte sind in Tabelle 6 aufgeführt.

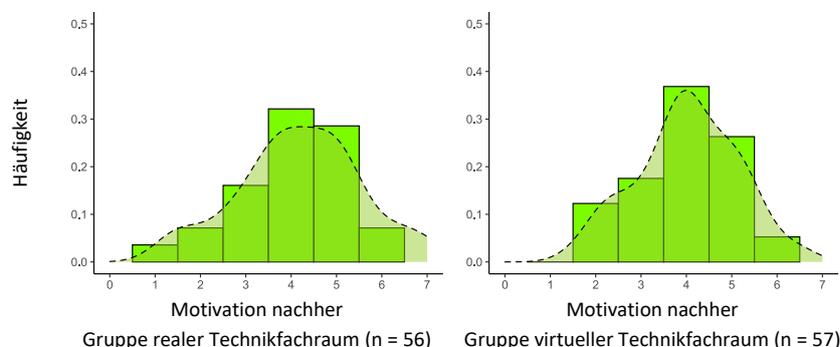


Abbildung 13: Histogramm mit Dichteverteilung der erfassten Motivation nach der Intervention nach Gruppen

Tabelle 6: Motivation der Gruppen nach der Intervention

	n	M	SD
Gruppe realer Technikfachraum	56	4.18	1.36
Gruppe virtueller Technikfachraum	57	4.02	1.11

Anmerkungen: n = Stichprobengröße; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Da sich die Lernmotivation nach der Intervention zwischen den beiden Gruppen unterschied, erfolgte auch hier eine varianzanalytische Betrachtung der Daten. Aber auch dieser Unterschied zwischen den varianzhomogenen Gruppen (Levene-Test: $F(1,111) = 2.07$, $p = .15$) wird nicht signifikant $t(111) = .68$, $p = .50$.

Veränderung der Lernmotivation

Ob die Motivation, sich mit fachdidaktischen Fragen der Technikfachräume auseinanderzusetzen, abhängig von dem Lernort (real, virtuell) ist, ist eine weitere zentrale Frage der vorliegenden Studie. Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der Analyse zur Beantwortung dieser Frage aufgezeigt. Zur besseren Veranschaulichung wurde die Lernmotivationsveränderung in Abbildung 14 grafisch präsentiert.

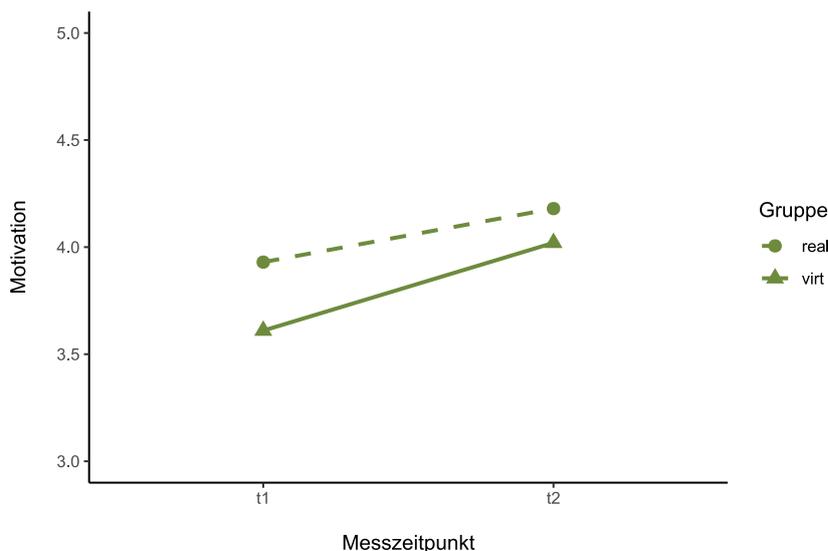


Abbildung 14: Motivationsveränderung zwischen den beiden Treatmentgruppen

Um Aussagen über die Motivationsveränderung der Gruppen zu machen, wurde als Maß für die Motivationsveränderung der Differenzwert, der sich aus der Lernmotivation nach der Intervention und der Lernmotivation vor der Intervention, berechnet. Die deskriptiven Werte der Motivationsveränderung der beiden Gruppen sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Motivationsveränderung der Gruppen

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gruppe realer Technikfachraum	56	.25	1.18
Gruppe virtueller Technikfachraum	57	.41	1.03

Anmerkungen: *n* = Stichprobengröße; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

Der Äquivalenztest mittels TOST ergibt für den Test gegen ΔL , $t(108) = 1.62$, $p = .05$ ein nicht signifikantes Ergebnis und für den Test gegen ΔU , $t(108) = -3.17$, $p < .001$ ein signifikantes Ergebnis. Das heißt die Nullhypothese, dass sich die Lernmotivation in beiden Treatmentgruppen gleich verändert, muss abgelehnt werden. Da sich die Motivationsveränderung zwischen den beiden Gruppen unterschied ($M_{real} = .25$; $M_{virt} = .41$), erfolgte eine varianzanalytische Betrachtung der Daten. Um zu prüfen, ob sich die virtuelle Lernumgebung positiv auf die Motivation der Lernenden auswirkt, wurde ein t-Test für Beobachtungspaare durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass das Ergebnis signifikant wird $t(56) = 3.00$, $p < .01$, d. h. die Motivation in der virtuellen Technikfachraumgruppe hat sich positiv verändert (Cohens $d = .40$). In der Gruppe, die mit dem Realraum gearbeitet hat, hat sich hingegen die Motivation nicht signifikant verändert $t(55) = 1.57$, $p = .12$.

7 Diskussion und Ausblick

Ausgehend von der Relevanz, dass (angehende) Techniklehrkräfte Wissen über die von ihnen genutzten Technikfachräume haben sollten, deuten die Ergebnisse der vorliegenden Studie darauf hin, dass Wissen über Technikfachräume sowohl in einem virtuellen Technikfachraum als auch in

einem realen Technikfachraum erworben werden kann. Der festgestellte Wissenszuwachs war in den hier eingesetzten Lernumgebungen ähnlich hoch, während die Kontrollgruppe kein Wissen erworben hat. Auch wenn nach einzelnen Wissensbereichen wie beispielsweise die sicherheitsrelevante Ausstattung, Einrichtungsgegenstände oder die bauseitige Ausstattung differenziert wurde, ließen sich keine Unterschiede im Wissenszuwachs zwischen den Lernumgebungen (realer und virtueller Technikfachraum) ausmachen. Demnach ist davon auszugehen, dass in beiden Lernumgebungen nicht nur annähernd gleich viel Wissen, sondern auch das gleiche Wissen erworben wird. Der hier vorgestellte virtuelle Technikfachraum kann somit als valide in Bezug auf den mit ihm beabsichtigten Wissenserwerb bezeichnet und damit als Ersatz für reale Technikfachräume in der Hochschullehre eingesetzt werden. Die Ergebnisse bleiben dabei aber zunächst beschränkt auf den Einsatz in Lernsituationen, in denen Faktenwissen über Technikfachräume erworben wird. Aussagen darüber, ob sich der virtuelle Fachraum auch eignet, um Kompetenzen wie beispielsweise Planungskompetenzen oder Bewertungskompetenzen im Kontext von Technikfachräumen zu erwerben, können nicht getroffen werden. Hierfür ist zum einen eine Weiterentwicklung des virtuellen Technikfachraums und zum anderen sind weitere Studien notwendig. Nicht verallgemeinern lassen sich die Erkenntnisse zudem auf jeglichen Ersatz konventioneller Medien durch digitale Medien.

Aufgrund des wesentlich geringeren Vorwissens der Kontrollgruppe gegenüber den beiden Interventionsgruppen, sind die berichteten Ergebnisse wieder etwas einzuschränken, da die Voraussetzungen der Gruppen nicht die Gleichen waren. Eine Möglichkeit die großen Varianzen zwischen den Gruppen hinsichtlich des Vorwissens auszuschließen, ist die Zuteilung der Studierenden anhand des Vorwissens zu den experimentellen Bedingungen nach dem Matching-Verfahren (Bortz & Döring 2006). Eine andere Möglichkeit wäre es, die Studie nur mit Studierenden mit nahezu gleichem Vorwissen durchzuführen, d. h. mit Studierenden, die sich im gleichen Semester befinden. Da die Zuteilung der Studierenden zu den Gruppen anhand des Besuchs der Veranstaltung erfolgte, sind damit einhergehend sicher auch Probleme verbunden, da keine Randomisierung stattgefunden hat. In diesem Fall wäre es sinnvoll gewesen, die Studierenden aus den einzelnen Veranstaltungen jeweils den drei Gruppen zuzuordnen. Zu diskutieren ist zudem die Beteiligung von Lehramtsstudierenden der Primarstufe und der Sonderpädagogik an der Studie. Die hier thematisierten Fachräume sind auf den allgemeinbildenden Technikunterricht der Sekundarstufe I ausgerichtet. Inwieweit die beteiligten Primar- und Sonderpädagogikstudierende die Relevanz des Themas für das eigene Studium eingeschätzt und sich ggf. abweichend von den Sekundarstufenstudierenden verhalten haben, kann nicht beantwortet werden.

Da auf der einen Seite reale Fachräume mehr Möglichkeiten bieten, sich mit den in ihnen dargebotenen Lerngegenständen auseinanderzusetzen, aber auf der anderen Seite virtuelle Technikfachräume einen hohen Neuigkeitseffekt aufweisen, sind wir davon ausgegangen, dass die Motivation sich mit der Fachraumthematik zu beschäftigen in beiden Lernumgebungen etwa gleich groß ist und auch die Motivationsveränderung gleich hoch ausfällt. Erwartungswidrig zeigten die Ergebnisse jedoch, dass Lernende, die sich im realen Technikfachraum mit den Aufgaben beschäftigten, vor der eigentlichen Lernphase noch motivierter waren als in der virtuellen Umgebung. Das mag daran liegen, dass der Besuch der realen Umgebung außerhalb der Hochschule schon mit der Erwartung Primärerfahrungen zu gewinnen verbunden war, während Lernende, die sich mit dem virtuellen Technikfachraum beschäftigten, dies im Seminarraum der Hochschule taten. Während der Bearbeitung der Aufgaben hat es in der Gruppe der virtuellen Lernumgebung allerdings einen deutlichen Motivationszuwachs ($d = .40$) gegeben, während die Motivation in der Gruppe der realen Lernumgebung nur wenig gestiegen ist. Einfluss auf dieses

Ergebnis hat wahrscheinlich die virtuelle Lernumgebung selbst. In dieser Studie wurde eine Lernumgebung eingesetzt, in der die einzelnen Fachraumelemente sehr detailgetreu nachgebildet wurden, was sich positiv auf die Motivation der Lernenden ausgewirkt haben kann. Zudem kann sich der oben bereits vermutete Neuigkeitsgehalt einer solchen Simulationsumgebung ebenfalls positiv ausgewirkt haben. Denkbar ist auch, dass die Studierenden in der virtuellen Umgebung selbstständiger und auch explorierender interagieren konnten ohne das Gefühl, dabei beobachtet zu werden.

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Arbeit wäre weiterhin zu prüfen, ob eine Änderung des virtuellen Technikfachraums durch eine Bedienung bzw. Bewegung im Technikfachraum mit VR-Brillen zu demselben Lernerfolg und derselben Motivation führen würde oder ob sich die Motivation und der Lernerfolg sogar noch erhöhen ließen. Die momentane Bewegung im virtuellen Technikfachraum mittels *Pfeiltasten* oder *WASD-Tastenkombination* der Tastatur und die Sichtfeldveränderung durch die *Bewegung der Maus* ist für die Nutzerinnen und Nutzer etwas gewöhnungsbedürftig.

Darüber hinaus wäre es wünschenswert, den virtuellen Technikfachraum zum Fachraumsystem mit virtuellem Maschinenraum, Materiallager, Sammlungs- und Vorbereitungsraum zu erweitern. Somit könnte der gesamte Themenkomplex Fachraumsystem des allgemeinbildenden Technikunterrichts abgedeckt und thematisiert und das virtuelle Fachraumsystem auf seine Wirksamkeit hin untersucht werden.

Ein solch erweitertes virtuelles Technikfachraumsystem sollte dann noch einmal einer größeren Stichprobe in einem experimentellen Design (mit randomisierten Gruppen) vorgelegt werden. Darüber hinaus wäre zu prüfen, inwieweit das mit den verschiedenen Lernumgebungen erworbene Wissen auch nach ein paar Wochen noch verfügbar ist (Follow Up). Ergänzt werden sollte eine solche Untersuchung zudem mit einem Treatment, in dem Lernende das Wissen ausschließlich über schriftliche Informationen erwerben. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können dann für die Weiterentwicklung des virtuellen Technikfachraums genutzt werden. Der virtuelle Technikfachraum soll dann Hochschullehrenden und Techniklehrkräften als Lehr-, Lern- und Anschauungsmedium zur Verfügung gestellt werden.

Basierend auf den Erkenntnissen, dass ein adäquat konzipierter Fachraum bzw. ein Fachraumsystem Einfluss auf die Lehr-, Arbeits- und Lernaktivitäten hat, geht man implizit davon aus, dass das Wissen über entsprechend gestaltete Fachräume relevant für Lehrkräfte ist und dass sie mit diesem Wissen auch Einfluss auf die tatsächliche Gestaltung nehmen (können). Dieser Zusammenhang ist jedoch kaum untersucht. Abgesehen von einer kleineren Umfrage an niedersächsischen Schulen zur Situation von Technikräumen und deren Ausstattung (Wiemer 2023) gibt es kaum empirisch fundierte Informationen über den Zustand von Technikfachräumen an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland. Darüber hinaus wäre es in diesem Zusammenhang auch relevant zu wissen, welchen Spielraum Lehrkräfte bei der Gestaltung ihrer Fachräume haben und inwieweit sie diesen in Abhängigkeit ihres Wissens auch nutzen.

Literatur

Abele, S., Gschwendtner, T. & Nickolaus, R. (2009). Berufliche Handlungskompetenz valide erfassen – computerbasierte Simulationen technischer Systeme als innovative Diagnoseinstrumente. *Die berufsbildende Schule*, 61(9), 252–254.

- Baumann, M., Simon, U., Wonisch, A. & Guttenberger, H. (2013). Computersimulation versus Experiment. Gibt es Unterschiede im Erzeugen nachhaltigen Wissens und in der Attraktivität für die Schüler? *MNU*, 66(5), 305–310.
- Bienhaus, W. (2000). forschungsstelle fachräume technische bildung – fftb. Eine Vorstellung in aller Kürze. *tu Zeitschrift für Technik im Unterricht*(96), 11–13.
- Bienhaus, W. (2017). Bemerkungen zum Fachraumsystem des allgemeinbildenden Technikunterrichts. *tu Zeitschrift für Technik im Unterricht*(166), 4–15.
- Bienhaus, W. (2018a). Bemerkungen zum Fachraumsystem des allgemeinbildenden Technikunterrichts. In M. Binder & C. Wiesmüller (Hrsg.), *Lernorte Technischer Bildung. 19. Tagung der DGTB in Frankfurt 15.09.-16.09.2017 sowie 5. Nachwuchsforum 16.09.2017* (17–38). Offenbach am Main: Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung.
- Bienhaus, W. (2018b). *Das Fachraumsystem des allgemeinbildenden Technikunterrichts. Hinweise zur Planung - Anlage - Einrichtung - Ausrüstung*. Konstanz: Christiani.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg: Springer.
- Breuer, K. & Kummer, R. (1990). Cognitive effects from process learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 6(1), 69–81.
- Deci, E.L. & Ryan, R.M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Dekkers, J. & Donatti, S. (1981). The integration of research studies on the use of simulation as an instructional strategy. *The Journal of Educational Research*, 74(6), 424–432.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2018). *Klasse(n) – Räume für Schulen. Empfehlungen für gesundheits- und lernfördernde Klassenzimmer*. <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/20>, Stand vom 14.11.2023.
- Duismann, G.H., Fast, L., Meier, B. & Meschenmoser, H. (2006). Lernräume gestalten. Lernkonzepte realisieren – Qualität sichern. *Unterricht Arbeit + Technik*, 30(06), 5–9.
- Fast, L. (2006). Entwicklungslinien für Fachkonzepte und Fachraumkonzepte für Technikunterricht. *Unterricht Arbeit + Technik*, 30(06), 44–46.
- Frey, C. (2010). *Einfluss von Simulationen im Rahmen der Lehre der digitalen rektalen Untersuchung auf Hemmungen und Wissenserwerb von Studenten*. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität zu München.
- Funke, J. & Reuschenbach, B. (2011). Einsatz technischer Mittel in der psychologischen Diagnostik. In L.F. Hornke, M. Amelang & M. Kersting (Hrsg.), *Leistungs-, Intelligenz- und Verhaltensdiagnostik* (595–631). Göttingen: Hogrefe.
- Gergely, S.M. (1986). *Wie der Computer den Menschen und das Lernen verändert. Ein kritischer Ratgeber für Eltern, Lehrer und Schüler*. München: Piper.
- Gray, W.D. (2002). Simulated task environments: The role of high-fidelity simulations, scaled worlds, synthetic environments, and laboratory tasks in basic and applied cognitive research. *Cognitive Science Quarterly*, 2(2), 205–227.
- Gross, F. von, Marotzki, W. & Sander, U. (2008). *Internet, Bildung, Gemeinschaft*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hofmann, F.L., Krug, A. & Uihlein, J. (2010). *Erfahrungen mit veränderten Schulraumkonzepten. Fachraumsystem, Lehrerraumsystem, Lernatelier*. Stuttgart: Landesinstitut für Schulentwicklung (LS).

- Holischka, T. (2016). *CyberPlaces – Philosophische Annäherungen an den virtuellen Ort*. Bielefeld: transcript.
- Holzbrecher, A. (2022). Räume bilden. Architektur und Lernkultur im Dialog. In F.F. Mersch & J.-P. Pahl (Hrsg.), *Handbuch Gebäude Berufsbildender Schulen* (122–138). Bielefeld: wbv Media.
- Jelich, F.-J. (2003). *Die pädagogische Gestaltung des Raums. Geschichte und Modernität*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Jude, N. & Wirth, J. (2007). Neue Chancen bei der technologiebasierten Erfassung von Kompetenzen. In J. Hartig & E. Klieme (Hrsg.), *Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik. Eine Expertise im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung* (49–56). Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Klauer, K.J. & Leutner, D. (2007). *Lehren und Lernen. Einführung in die Instruktionspsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Lakens, D. (2017). Equivalence tests: A practical primer for t tests, correlations, and meta-analyses. *Social psychological and personality science*, 8(4), 355–362.
- Leutner, D. (1990). Simulation und Modellbildung. In Deutsches Institut für Fernstudien (Hrsg.), *Computereinsatz im Fachunterricht. Nutzung des Computers als Medium und Werkzeug* (22–52). Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien (DIFF).
- Lienert, G.A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz.
- Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A. & Issing, L.J. (2002). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In L.J. Issing (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia. Lehrbuch für Studium und Praxis* (138–148). Weinheim: Beltz.
- Mandl, H. & Heiland, A. (1992). Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf kognitive Leistungen, soziale Kommunikation und Persönlichkeit von Kindern und Jugendlichen. In Staatsinstitut für Frühpädagogik (Hrsg.), *Computer und Kulturtechniken* (21–36). München: Ehrenwirth.
- Mansfeld, T. (2016). Neue Lehr-Lernkonzepte – die Nutzung von Computersimulationen als Lernmedium. *Zeitschrift für Bildungsverwaltung*, 32(1), 21–31.
- Müller, H. (1993). *Komplexes Problemlösen: Reliabilität und Wissen*. Bonn: HoloS.
- Petri, N. (2014). *Verbessert Virtual-Reality-Simulationstraining die Fertigkeiten interventioneller Kardiologen? Eine stratifiziert randomisierte Studie*. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Pfenning, U., Hiller, S. & Renn, O. (2012). Zentrale Ergebnisse der empirischen MINT-Bildungsforschung. In U. Pfenning & O. Renn (Hrsg.), *Wissenschafts- und Technikbildung auf dem Prüfstand. Zum Fachkräftemangel und zur Attraktivität der MINT-Bildung und -Berufe im europäischen Vergleich* (129–142). Baden-Baden: Nomos.
- Rheinberg, F. (2004). *Motivationsdiagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B.D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57–66.
- Rittelmeyer, C. (2008). Architektur von Bildungseinrichtungen. In T. Coelen & H.-U. Otto (Hrsg.), *Grundbegriffe Ganztagsbildung* (714–723). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.

- Schmayl, W. (2010). Didaktik allgemeinbildenden Technikunterrichts. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2014). Diagnostik experimenteller Kompetenz. Kann man Realexperimente durch Simulationen ersetzen? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 161–173.
- Schuirmann, D.J. (1987). A comparison of the two one-sided tests procedure and the power approach for assessing the equivalence of average bioavailability. *Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics*, 15(6), 657–680.
- Strzebkowski, R. & Kleeberg, N. (2002). Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In L.J. Issing (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia. Lehrbuch für Studium und Praxis* (228–245). Weinheim: Beltz.
- Syring, M. (2017). *Classroom Management. Theorien, Befunde, Fälle – Hilfen für die Praxis*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Walker, F., Link, N. & Nickolaus, R. (2015). Berufsfachliche Kompetenzstrukturen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Berufsausbildung. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 111(2), 222–241.
- Wiemer, T. (2023). Die Ausstattung von Technikräumen in Niedersachsen - eine empirische Untersuchung. In M. Binder & C. Wiesmüller (Hrsg.), *Technikunterricht – konkret: 24. Jahrestagung der DGTB in Reutlingen (157–177)*. Offenbach am Main: Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung.
- Zumbach, J. (2010). *Lernen mit neuen Medien. Instruktionspsychologische Grundlagen*. Stuttgart: Kohlhammer.

DR. BERND BORGHEIMER

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Chemie, Physik und Technik, Abteilung Technik und ihre Didaktik

Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg

borgenheimer@ph-ludwigsburg.de

PROF. DR. JENNIFER STEMMANN

Pädagogische Hochschule Freiburg, Institut für Chemie, Physik, Technik und ihre Didaktiken, Fach Technik

Kunzenweg 21, 79117 Freiburg

jennifer.stemmann@ph-freiburg.de

Zitieren dieses Beitrags:

Borgenheimer, B. & Stemmann, J. (2025). Validität virtueller Technikfachräume in Bezug auf den Wissenserwerb bei Studierenden des Faches Technik. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 13(1), 116–143.