





# Phasen der Problemlösekompetenz bei der Korrektur elektrischer Schaltkreise in einer VR-Lernumgebung







Axel Wiepke <sup>1</sup>, Alexander Hacke <sup>2</sup>, Christian Manz <sup>1</sup> und Ulrike Lucke <sup>1</sup>

**Abstract:** Die Herausforderungen im alltäglichen Leben werden zunehmend durch mehr Komplexität und Dynamik bestimmt. Dadurch ist es für Lernende seltener möglich, routinierte Vorgehensweisen zur Überwindung auftretender kognitiver Barrieren zu nutzen. In solchen Fällen sind Problemlösekompetenzen gefragt, die meist auf Interaktion mit dem Problem beruhen, was Stift-und-Papier-Studien erschwert. Digitale Lernanwendungen ermöglichen es, Prozessdaten in interagierbaren Szenarien zu erfassen, können aber auf Kosten der ökologischen Validität gehen. Die immersive Eigenschaft von Virtual Reality (VR)-Lernanwendungen kann dabei ein möglicher Faktor zur Verbesserung der ökologischen Validität sein. Der vorliegende Beitrag analysiert eine VR-Lernanwendung hinsichtlich des Gefühls in der VR zu sein. In der Anwendung werden teilweise fehlerhafte, elektrische Schaltkreise präsentiert, die Lernende diagnostizieren und korrigieren sollen. Durch einen virtuellen Fragebogen werden Daten in den verschiedenen Phasen des Problemlöseprozesses erfasst. Die Ergebnisse zeigen ein kontinuierliches, befriedigendes Präsenzerleben.

**Keywords:** Virtual Reality, Problemlösekompetenz, Präsenz

## 1 VR als Lösung für Problemlösen

Die fortschreitende Digitalisierung prägt neben vielen anderen Bereichen des modernen Lebens zunehmend auch die Bildungslandschaft. So werden Aufgaben, die im gleichbleibenden Abarbeiten von Routinen bestehen, seltener, während häufiger neuartige oder komplexe Probleme bearbeitet und gelöst werden müssen [OE14]. Während die Bedeutsamkeit von Faktenwissen und Kompetenzen im automatisierbaren Ausführen von Algorithmen abnimmt, werden ausgeprägte Kompetenzen verlangt, die Schüler\*innen dazu befähigen, Situationen zu bewältigen, für die nicht von vornherein ein eindeutiges Lösungsschema vorliegt [OE14]. Liegen dabei kognitive Barrieren vor, die Lernende an einer direkten Lösung durch routinierte Vorgehensweisen hindern, werden sogenannte Problemlösekompetenzen benötigt [Le12]. Dabei basiert das Problemlösen in realen Situationen meist auf Interaktion mit dem Problem [Ki20]. Die häufigen Veränderungen der Umgebungsvariablen, wie Positionen der Materialien, Zeitpunkte der Interaktionen und Interventionsmöglichkeiten der Lehrenden erschweren Studien, die auf Stift und Papier beruhen. Durch die Nutzung digitaler Lernanwendungen kann jedoch ein interaktives bzw. dynamisches Problemlösen

- 1 Universität Potsdam, Komplexe Multimediale Anwendungsarchitekturen, An der Bahn 2, 14476 Potsdam, Brandenburg, axel.wiepke@uni-potsdam.de,  <https://orcid.org/0000-0002-0555-4040>; christian.manz@alumni.uni-potsdam.de,  <https://orcid.org/0009-0000-6257-3849>; ulrike.lucke@uni-potsdam.de,  <https://orcid.org/0000-0003-4049-8088>
- 2 Universität Potsdam, Didaktik der Informatik, An der Bahn 2, 14476 Potsdam, Brandenburg, alexander.hacke@uni-potsdam.de,  <https://orcid.org/0000-0002-2124-7956>

für die Lernenden in einem realitätsnahen und interaktiven Problemszenario ermöglicht werden, bei gleichzeitiger Datenerhebung in Echtzeit (ebd.).

Doch nicht alle digitalen Lernanwendungen sind gleich gut geeignet zur Darstellung spezifischer Probleme. Probleme, die sich in der psychomotorischen oder affektiven Domäne befinden, werden z.B. in Desktopanwendungen oft nur unzureichend adressiert. Das Einüben von Bewegungsabläufen kann hier nicht authentisch geschehen, und es besteht eine gewisse emotionale und physische Distanz zur Situation. Diese Herausforderungen können von VR-Lernanwendungen, durch deren immersiven Charakter adressiert werden [Ar21]. So kann mit dem Eintauchen in das Medium einhergehen, dass Nutzende sich als Akteure in der virtuellen Umgebung wahrnehmen, mit der sie direkt interagieren können [Wi07]. Das Wahrnehmen dieser Interaktionsmöglichkeiten als potenzielle Handlungen im Prozess des Problemlösens ist bei dynamischen Problemen eine Vorbedingung des Problemlösens, da die benötigten Informationen hier oft erst durch Interaktion mit der Problemsituation verfügbar werden.

Solche und ähnliche Potenziale von VR werden seit längerer Zeit diskutiert [Dö19]. Die Möglichkeiten von VR als authentische Umgebung, um Lernprozesse zu beforschen, sind jedoch unzureichend beleuchtet. Dieser Beitrag stellt eine VR-Umgebung vor, die entwickelt wurde, um Phasen von Problemlöseprozessen untersuchbar zu machen. Dafür werden Arbeitsdefinitionen für Problemlösen, VR, und Präsenz bereitgestellt, und die entwickelte Anwendung „Spicy“ (Solve problems in circuits yourself [Ma23]) präsentiert. Danach wird eine Methodik beschrieben, mit der in Spicy Phasen des Problemlöseprozesses hinsichtlich der erfahrenen Präsenz untersucht wurden. Aus der zugrundeliegenden Studie werden dann Potenziale und Empfehlungen zur Untersuchung von Lernprozessen abgeleitet.

## 2 Phasen des Problemlösens

Unter einem *Problem* wird eine Situation verstanden, in der ein unerwünschter Anfangszustand unter der Überwindung einer kognitiven Barriere in einen Zielzustand überführt werden muss [Fl10]. Die kognitive Barriere besteht dabei in der Regel darin, dass Problemlösenden zu Beginn keine eindeutige und ihnen bekannte Lösungsroutine zur Verfügung steht. Traditionell wird Problemlösen spätestens seit Pólya (abud. [P645]) dabei als ein Prozess betrachtet, wobei in einer ersten Phase das Problem zunächst verstanden werden muss, um zu erkennen, welche Informationen bereits vorliegen und einzugrenzen, was gefunden oder gelöst werden muss. In der darauffolgenden Phase entwirft der bzw. die Problemlösende eine Strategie, um das Problem anzugehen. Diese kann beispielsweise beinhalten, dass Lösungsstrategien von ähnlich gearteten Problemen in Betracht gezogen bzw. adaptiert werden oder aber das Problem in leichter handhabbare Teilprobleme zerlegt wird. Im nachfolgenden Schritt wird die vorab überlegte Strategie ausgeführt und sich somit systematisch zum gewünschten Zielzustand vorgearbeitet. Ist das Ziel erreicht, prüft der oder die Problemlösende idealerweise in einem letzten Schritt die Lösung auf Korrektheit bzw. Effektivität. Diese normative Darstellung des Problemlöseprozesses veranschaulicht zwar,

welche Schritte das Problemlösen beinhaltet, lässt allerdings die nicht lineare, in Teilen auch iterative Art und Weise, wie Menschen Probleme lösen, außer Betracht. Spätere Modelle u.a. jenes von Wilson et al. [Fe94] berücksichtigen diesen Aspekt, indem sie Rückgriffe auf vorherige Phasen basierend auf dem Ergebnis oder beim Laufen in Sackgassen beinhalten. Ferner macht erfolgreiches Problemlösen nicht nur das Wissen und die erfolgreiche Anwendung von Strategien aus, sondern hängt auch stark vom eigenen Zutrauen ab und davon, wie gut der oder die Problemlösende in der Lage ist, das eigene Fortkommen zu überwachen und zu regulieren [Sc88].

Probleme lassen sich von Aufgaben dadurch abgrenzen, dass bei Problemen auf keine bekannten Lösungsroutinen zurückgegriffen werden kann, um den Zielzustand zu erreichen [Fu03]. Lösungsroutinen können unter anderem fachspezifisch erlernt werden, wodurch Problemlösende mit einem passenden Hintergrund eine Situation als Aufgabe wahrnehmen können, während andere es als Problem erkennen. Um in Untersuchungen diesen zusätzlichen Einflussfaktor auszuschließen, werden in vielen Studien vorwissensneutrale Probleme gewählt [GF13]. Dies kann jedoch mit Einschränkungen darin einhergehen, wie gut sich die Ergebnisse solcher Studien auf alltägliches Problemlösen übertragen lassen, da hier das Vorwissen oft eine größere Rolle spielt. Durch den zusätzlichen Fokus in der Forschung auf psychometrische Gütekriterien während des Lernens und der hohen Standardisierung der Situationen kann es in Studien zu geringerer ökologischer Validität kommen [GKL14].

Dabei hat Problemlösen als grundlegendes Konstrukt in verschiedenen Forschungsdisziplinen eine ausführlich betrachtete Tradition [Fu06]. Die Breite dieses Konstrukts zeigt sich dabei auch in der Vielfältigkeit der Perspektiven und Fragestellungen, unter denen Problemlösen untersucht wird. Die Entwicklungspsychologie befasst sich mit der Entwicklung problemlösenden Denkens im Lebensverlauf, die Sozialpsychologie mit Problemlöseprozessen in Gruppen, die Differenzialpsychologie mit den Unterschieden im Problemlösen verschiedener Personen, die klinische Psychologie mit pathologischen Störungen problemlösenden Denkens, die Arbeitspsychologie mit Problemlösen beispielsweise in technischen Arbeitsbereichen und die pädagogische Psychologie mit der Frage, ob und wie Problemlösen geschult oder trainiert werden kann [Fu03]. Auch die Konzeption einer digitalen Lernanwendung zu Problemlösen beruht auf der Annahme, dass es sich hier um eine trainierbare Kompetenz handelt.

## **2.1 So kann Virtual Reality Problemlösen unterstützen**

Virtual Reality Lernanwendungen zeichnen sich dadurch aus, dass Prozessdaten aufgezeichnet und exakte Situationen repliziert werden können, wodurch eine sehr hohe experimentelle Kontrolle möglich ist [Ki14; Wi23]. Hohe experimentelle Kontrolle kommt häufig auf Kosten der ökologischen Validität [Ku16]. Es wird jedoch angenommen, dass durch eine realistische Darstellung der VR-Umgebung und das Gefühl sich darin zu befinden (Präsenz) die Transferierbarkeit gesteigert werden kann [Wi24].

Schubert [Sc03] teilt Präsenz in die drei Dimensionen Spatial Presence, Involvement und Realness auf. Hier beschreibt Spatial Presence das Gefühl, vollständig von der virtuellen Umwelt umgeben zu sein und direkt mit ihr interagieren zu können. Laut dem MeC-Model von Wirth et al. [Wi07] wird Spatial Presence in zwei Stufen gebildet. Im ersten Schritt wird von der Nutzerin bzw. dem Nutzer von VR ein mentales Modell der (virtuellen) Umgebung erstellt, wobei hierfür zunächst die Aufmerksamkeit auf der wahrgenommenen Umgebung liegen muss. In diesem Modellbildungsprozess werden die in der Situation wahrgenommenen Informationen verarbeitet, sodass am Ende ein Spatial-Situation-Model (SSM) vorliegt. Das SSM ist Voraussetzung für den zweiten Schritt, aus dem das Erleben von Spatial Presence hervorgehen kann. Hier werden Hypothesen, die aus dem SSM hervorgehen, getestet, wobei geprüft wird, ob die wahrgenommene Situation als der primäre egozentrische Referenzrahmen (engl. primary egocentric reference frame, kurz PERF) gedeutet werden kann. Sorgen die verschiedenen beteiligten personellen und medialen Faktoren dafür, dass eine virtuelle Umgebung als PERF akzeptiert wird, verorten sich Nutzende selbst in der virtuellen Umgebung und identifizieren meist auch verschiedene Möglichkeiten zur Interaktion. Auf diese Weise entsteht schlussendlich Spatial Presence [Wi07]. Involvement beschreibt das Gefühl, die Aufmerksamkeit ganz auf der virtuellen Umgebung anstatt der realen Umgebung fokussiert zu haben, während Realness umfasst, als wie realistisch die virtuelle Umgebung beurteilt wird [Sc03]. Auf diesen drei Dimensionen baut auch der Igroup Presence Questionnaire (IPQ) auf, der mit insgesamt 13 Items die drei beschriebenen Dimensionen und mit einem weiteren Item Präsenz als übergeordnetes Konstrukt erfasst [Sc03; SFR01].

Für den Einsatz von VR als Lernmedium werden unterschiedliche Potenziale und Erwartungen in der Literatur formuliert [ZW18]. Durch die vollständige Kontrolle der VR-Umgebung über das IT-System, können z. B. Just-in-Time Lernhilfen eingeblendet, Aufgabe angepasst oder Reflexionsunterstützungen in Form von Statistiken für Lernende angeboten werden. Der Simulationscharakter und der hohe Realismusgrad von VR-Lernanwendungen unterstützt den situativen Konstruktivismus, der davon ausgeht, dass Aktivitäten in der (simulierten) Situation spezifische Wissensstrukturen erzeugen [BCD89]). Durch die Isolation der Lernenden von der physischen Umgebung wird der wahrnehmbare Raum auf die Lernumgebung eingegrenzt. Diese Isolation kann gemeinsam mit der multimodalen Darstellung des Lerngegenstands zu geringerem aufgaben-unangemessenem cognitive Load führen, und damit das Verstehen und Erinnern für Lernende fördern [Ar21]. Weiterhin ist beim Einsatz von neuartigen Medien wie der VR ein gesteigertes Interesse und eine hohe Motivation der Lernenden zu erwarten [Ar21]. Auch die physische Interaktion mit virtuellen Lerngegenständen kann gemäß dem embodied Cognition Ansatz kognitive Prozesse fördern und das Lernen unterstützen [Wi24].

### 3 Problemlösen in der VR Lernanwendung Spicy

Im vorliegenden Beitrag wird eine Pilotversion einer VR-Lernanwendung auf wahrgenommene Präsenz während des Problemlöseprozesses untersucht. Präsenz dient dabei

sowohl als Qualitätskriterium der VR-Anwendung als auch als Indikator für die Übertragbarkeit von Problemlösekompetenzen in reale Situationen. In der Anwendung werden elektrische Schaltkreise dargestellt und verschiedene, funktionale Bauteile eines schulischen Steckbaukastens bereitgestellt. Der Steckbaukasten wurde als Kontext gegenüber echten Schaltungen bevorzugt, da er den Zugang zu Grundkonzepten in diesem Bereich erleichtert. Lernende erhalten teilweise fehlerhafte Schaltkreise, die sie diagnostizieren und korrigieren sollen. Um den immersiven Charakter des Mediums bewerten zu können, werden in den verschiedenen Phasen des Problemlöseprozesses Daten zur Spatial Presence erhoben. Da Problemlösen ein komplexes Konstrukt mit zahlreichen Modellen ist, kann nicht jede Perspektive in einer Anwendung berücksichtigt werden. Daher erscheint die Förderung der Problemlösekompetenz durch einen Fokus auf Teilkompetenzen als praktikabler Ansatz. Die Anwendung fokussiert sich auf einzelne Teilkompetenzen, wie das Aufstellen und Prüfen von Hypothesen.

Andere digitale Tools, die den gesamten Problemlöseprozess darstellen, beinhalten keine VR-Komponente (z.B. [PAD23]) oder untersuchen keine realweltlichen Probleme [Ar21]. Durch den Charakter des digitalen Tools müssen auch komplexe Prozesse gegebenenfalls weiter ausdifferenziert werden. Das Auswählen und Prüfen von Hypothesen lässt sich als Teilkompetenz von Problemlösen in die Phase der Strategieentwicklung einordnen.

Zur Implementierung von Spicy als prototypische VR-Lernanwendung für Problemlösekompetenz wurde die 3D-Engine Unity verwendet. Ein Überblick der entwickelten virtuellen Umgebung ist in Abbildung 1 dargestellt. Dort finden sich ein Arbeitstisch mit einem Steckbrett für elektrische Schaltkreise sowie drei Bildschirme, welche die Problemlösenden durch den Problemlöseprozess leiten. Durch den sparsamen Einsatz von Animationen, das Klassenzimmer als gewohnte Umgebung und das bekannte Steckbaukastenbeispiel, wurde der aufgaben-unangemessene cognitive Load auf ein Minimum beschränkt.

Durch Abarbeitung der Anweisungen auf dem Instruktionsbildschirm folgen Problemlösende dem in Abb. 2 skizzierten Problemlöseprozess. Dieser lässt sich mit dem von Pólya ([P645]) vergleichen, zieht aber die zyklische Natur von Problemlöseprozessen in Betracht, indem aus verschiedenen Phasen wieder zu einer der vorherigen zurückgesprungen werden kann, sofern gewünscht oder notwendig. Beim Auswählen und Prüfen von Hypothesen werden die Phasen nach Pólya *Entwickeln eines Plans* und *Plan durchführen* jeweils einmal unterteilt. So wurde das Entwickeln des Plans sequenzialisiert, um Lernenden zu ermöglichen verschiedene Hypothesen zu generieren, jedoch nur einzeln zu überprüfen. In der Durchführung des Plans beinhaltet der Verlaufsplan von Spicy unterschiedliche Pfade für den Erfolg beim Problemlösen und den Misserfolg. Welches die jeweils aktuelle Phase im Problemlöseprozess ist, ergibt sich aus den bisherigen Interaktionen mit dem Hypothesen-Bildschirm. Wenn der bzw. die Problemlösende beispielsweise eine Hypothese ausgewählt hat, ein Urteil zu einer Hypothese abgibt oder auf den Knopf zur Bestätigung der aktuellen Problemlösung drückt, wird angenommen, dass er bzw. sie nun in die nächste Phase der Problemlösung übergeht. Je nach Phase aktualisieren sich daraufhin diese beiden Bildschirme, sodass auf dem Instruktionsbildschirm eine Anweisung für die neue Phase erscheint und auf dem



Abb. 1: Ausschnitt der virtuellen Umgebung in Spicy. In der Mitte ist ein Tisch zu sehen, an dem Problemlösende mit dem defekten Schaltkreis interagieren können. Auf den drei Bildschirmen werden das gewünschte Verhalten des Schaltkreises definiert, Instruktionen zum nächsten Schritt im Problemlöseprozess vermittelt und ein Interface für das Auswählen von Hypothesen bereitgestellt.

Hypothesen-Bildschirm andere Interaktionsmöglichkeiten aktiviert werden, beispielsweise das Bewerten einer Hypothese anstelle des Auswählens. Eine zusätzliche Schaltfläche ermöglicht es, aus späteren Phasen zur Vorauswahl der Hypothesen zurückzukehren. Die auf diese Weise im Programm möglichen Übergänge zwischen Phasen im Problemlöseprozess sind in Abbildung 2 dargestellt, in welcher erneut die iterative Natur des beschriebenen Problemlöseprozesses deutlich wird. Dadurch, dass Spicy durch die Phasen führt, wird den Problemlösenden eine Art von Scaffolding zuteil, das einerseits sehr unerfahrenen Teilnehmenden eine Art Guideline gibt und andererseits dazu beiträgt, den Fokus auf die spezifischen Phasen zu lenken.

Die Phasen werden dabei wie folgt beschrieben:

1. **Problem verstehen** Der bzw. die Problemlösende erfasst den Aufbau des defekten Schaltkreises sowie den Unterschied des derzeitigen Verhaltens zum gewünschten Verhalten.
2. **Vorauswahl relevanter Hypothesen** Der bzw. die Problemlösende wählt basierend auf seinem bzw. ihrem Vorwissen bis zu drei Optionen aus einer Sammlung relevanter Hypothesen, die mögliche Ursachen für den Defekt im Schaltkreis begründen.
3. **Hypothesen zur Prüfung auswählen** Der bzw. die Problemlösende wählt ausgehend von seinem bzw. ihrem Vorwissen eine Hypothese aus, um sie im Folgenden zu überprüfen. Die Auswahl erfolgt dabei aufgrund dessen, für wie wahrscheinlich das Zutreffen der Hypothese gesehen wird und als wie aufwendig die Überprüfung eingeschätzt wird.

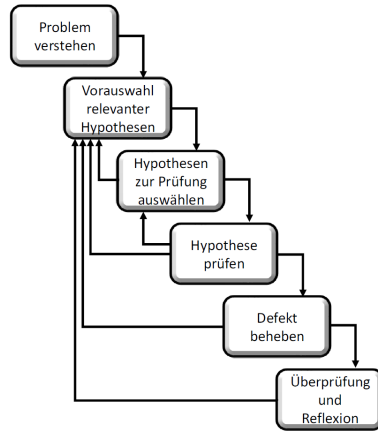


Abb. 2: Ablaufdiagramm zu von Spicy unterstützten Problemlöseprozessen, aufbauend auf Pólya [P645]. Die Übergänge erfolgen in der Regel durch die Betätigung von Schaltflächen am Hypothesen-Bildschirm.

4. **Hypothesen prüfen** Die gewählte Hypothese wird überprüft und anschließend dahingehend beurteilt, ob sie die Ursache für den Defekt im Schaltkreis darstellt oder nicht. Zur Überprüfung der Hypothese interagiert der bzw. die Problemlösende mit dem Schaltkreis, beispielsweise durch das Durchführen von Messungen oder das Umrorden und Austauschen von Bauteilen.
5. **Defekt beheben** Ausgehend von den zuvor identifizierten Ursachen behebt der bzw. die Problemlösende den Defekt im Schaltkreis, indem er bzw. sie diesen modifiziert.
6. **Überprüfung und Reflexion** Der bzw. die Problemlösende überprüft, ob die durchgeführte Behebung tatsächlich dafür gesorgt hat, dass der Schaltkreis nun das gewünschte Verhalten zeigt. Dabei wird evaluiert, ob die vorherigen Urteile zur Gültigkeit der überprüften Hypothesen weiterhin als zutreffend angesehen werden können.

Die Schritte der Anwendung korrespondieren mit den vier Phasen des Problemlöseprozesses nach Pólya. Der erste Schritt deckt sich mit dem Verstehen des Problems, während die Schritte zwei und drei das Entwickeln eines Plans darstellen. Die Schritte vier und fünf sind dem Ausführen des Plans zugeordnet. Abschließend spiegelt der sechste Schritt die Reflexion wider, was der letzten Phase in Pólyas Modell entspricht.

## 4 Demografie, Methodik und Verlauf der empirischen Studie

Mit einer empirischen Pilotstudie wurde die Angemessenheit der implementierten VR-Lernanwendung Spicy als Studienumgebung für das Problemlösen untersucht. Als Gütekriterium für die VR-Lernanwendung wurde Spatial Presence in vier der Phasen des

Problemlöseprozesses erhoben. Phase eins „Problem verstehen“ und zwei „Vorauswahl relevanter Hypothesen“ konnten nicht durch Interaktion mit der VR-Umgebung von den anderen Phasen abgegrenzt werden, wodurch kein Zeitpunkt identifiziert werden konnte, an dem eine Erhebung angebracht wäre. Die deutsche Version des IPQ wurde nach Abschluss der anderen Phase des Problemlöseprozesses als virtueller Fragebogen angezeigt, wobei Fragen durch Antippen auf einer 7-stufigen Likert-Skala beantwortet wurden (siehe Abbildung 3). Die Interaktion mit der virtuellen Umgebung wurde während der Erhebung auf die Beantwortung der virtuellen Fragebögen beschränkt, sodass ein Voranschreiten im Problemlösungsprozess erst nach der Datenerhebung möglich war. Da der in Abbildung 2 dargestellte Prozess durch die Hilfestellungen zum Problemlösen bereits in Spicy modelliert war, wurde die Annahme getroffen, dass sich Problemlösende tatsächlich kognitiv in der jeweiligen Phase des Problemlösens befinden, solange sie in Spicy zur Bearbeitung dieser Phase aufgefordert werden. So sollten die Spatial Presence Werte Aufschluss über die kognitiven Prozesse während der Korrektur der virtuellen, elektrischen Schaltkreise liefern.

Die Studie wurde über drei Tage hinweg mit insgesamt  $N = 14$  Proband\*innen im Institut für Informatik der Universität Potsdam durchgeführt. Von den 14 Proband\*innen waren 13 im Alter von 18-27 Jahren und 13 Studierende unterschiedlicher Fachrichtungen. Die Proband\*innen erhielten keine Aufwandsentschädigung. Spicy wurde auf einer Meta Quest 1 VR-Brille ausgeführt, die neben der Brille selbst über zwei Controller zur Interaktion mit der virtuellen Welt verfügt.

Die Studie begann mit der Erläuterung des Ablaufes. Nach dieser setzten die Proband\*innen die VR-Brille auf, auf welcher Spicy bereits im Anfangszustand gestartet war. Dort wurde ein Einführungstext akustisch abgespielt, der die Proband\*innen mit der Steuerung in Spicy vertraut machte. Anschließend bearbeiteten die Proband\*innen bis zu fünf konsekutiv schwieriger werdende Probleme. Nach spätestens 35 Minuten wurden sie darauf hingewiesen, die erwartete Studiendauer überschritten zu haben. Die Proband\*innen verbrachten in der Regel 30-35 Minuten in der VR-Lernanwendung. Proband\*innen füllten während jedes Problems mehrere Male den virtuellen IPQ aus. Ein Datensatz musste wegen technischer Probleme während der Studie ausgeschlossen werden. Gegen Ende der Studie schauten viele Proband\*innen seltener auf den Instruktionsbildschirm, wodurch sie die Definition des Problems nicht mehr gelesen haben. Stattdessen schienen sie anzunehmen, das Problem bestehe darin, die nicht leuchtenden Glühlampen im defekten Schaltkreis zum Leuchten zu bringen.

## 5 Ergebnisse der Pilotstudie

Die erhobenen Antworten der Likert-Skalen wurden mit Methoden von metrischen Skalen verarbeitet, wobei in der Interpretation der Ergebnisse auf die ordinale Natur der Daten geachtet wird (nach Empfehlung von [SL16]). Für die Auswertung der aufgenommenen Daten zu Spatial Presence wurden die Antworten zu den fünf Items für Spatial Presence jeweils gemittelt. Um Spatial Presence in den verschiedenen Phasen des Problemlöseprozesses



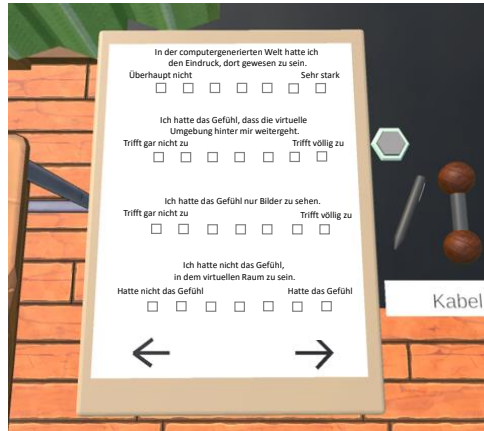


Abb. 3: Einbindung des IPQ [SFR01] als virtueller Fragebogen in Spicy. Die Items wurden auf mehrere Seiten verteilt, um eine bessere Lesbarkeit in VR zu gewährleisten.

auf statistisch signifikante Unterschiede zu überprüfen, wurden paarweise alle vier Phasen, in denen Spatial Presence gemessen wurde, mit einem zweiseitigen t-Test für abhängige Stichproben ausgewertet. Dieser Test wurde gewählt, da die gleichen Proband\*innen zu unterschiedlichen Zeitpunkten befragt wurden und die erhobenen Daten optisch nahe einer Normalverteilung waren. Durch die geringe Anzahl an Teilnehmenden ( $N=14$ ) hätte ein Studiendesign mit mehreren Gruppen eine noch geringere Aussagekraft gehabt. Die ermittelten Werte mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 6 für Spatial Presence in den jeweiligen Phasen können in Abbildung 4a) gesehen werden. Keiner der paarweisen t-Tests zwischen den Phasen zeigte ein Signifikanzniveau von  $\alpha < 0.05$ . Die für die einzelnen Phasen gemittelten Werte für Spatial Presence liegen zwischen 4,37 „Defekt beheben“ und 4,59 „Hypothesen zur Prüfung auswählen“. Zur Einordnung dieser Werte lässt sich die qualitative Skala für Spatial Presence von Melo et al. [Me23] verwenden, die in Abbildung 4b) dargestellt ist. Dort liegen die ermittelten Werte an der Grenze der Bewertungen *Satisfactory* und *Marginal*.

## 6 Diskussion

Auch wenn die ermittelten Werte von Spatial Presence insgesamt ein zufriedenstellendes Niveau erreichen konnten, konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Phasen des Problemlöseprozesses ermittelt werden.

Mögliche Erklärungsansätze für diesen Befund bestehen darin, dass sich die unterschiedlichen kognitiven und handlungsbezogenen Anforderungen, die für die verschiedenen Phasen des skizzierten Problemlöseprozesses angenommen werden, nicht oder nur schwach auf das Erleben von Spatial Presence auswirken. Vor dem Hintergrund des MeC-Modells zur

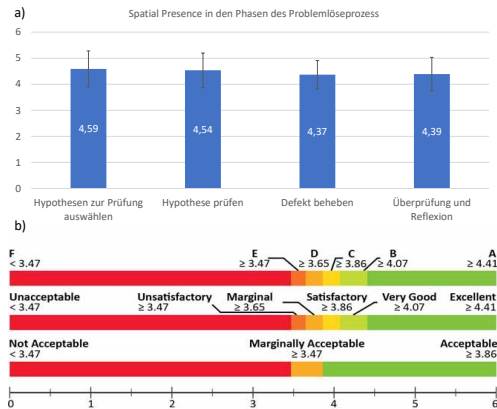


Abb. 4: Die Erhebung der Präsenz zu verschiedenen Zeitpunkten im Problemlöseprozesses resultiert in nicht signifikanten Unterschieden. Die Ergebnisse sind über alle Phasen hinweg befriedigend, gemäß [Me23].

Bildung von Spatial Presence kann zudem argumentiert werden, dass VR-Nutzende während der teilweise kurzen Dauer einer einzelnen Phase keine Neubewertung dessen vornehmen, ob sie die virtuelle Umgebung als primären egozentrische Referenzrahmen (PERF) deuten sollten. Falls die Bewertung der aus dem Spatial Simulation Model (SSM) hervorgehenden Hypothesen nicht erneut geprüft wird, würde dieses Modell somit nicht dafürsprechen, dass sich die erlebte Spatial Presence ändert.

Für die beschriebene Art der Operationalisierung lässt sich ein hohes Maß an Objektivität erwarten, da sie auf durch die Software festgelegten Regeln beruht und keine Urteile durch die Studienleitung benötigt. Sie könnte jedoch eine Schwachstelle bezüglich der Validität darstellen, falls sich Proband\*innen nicht von den gegebenen Instruktionen im Problemlöseprozess leiten lassen, sondern die Problemlösung ohne kontinuierliche Interaktion mit dem Hypothesen-Bildschirm durchführen. Zudem konnte beobachtet werden, dass die Phase 6 „Überprüfung und Reflexion“ oft in zeitlich nur sehr geringem Umfang bearbeitet wurde. So finalisierten die Proband\*innen die Bewertungen ihrer Hypothesen oft innerhalb weniger Sekunden. Zudem wurde das anschließende Feedback zu den Urteilen von vielen Teilnehmer\*innen kaum zur Kenntnis genommen, wenn in dieser Phase ein Fragebogen ausgefüllt werden musste. In diesen Fällen schien die derzeitige Version von Spicy die Proband\*innen nicht erfolgreich zu einer ausführlichen Reflexion anhand des Feedbacks anleiten zu können.

## 6.1 Potenziale für Forschung mit VR am Problemlösen

Basierend auf den vorliegenden Erkenntnissen wird deutlich, dass die Anwendung zur Messung der Spatial Presence mit dem gegenwärtig verwendeten normativen Problemlösemodell nur der Initialschritt auf dem Weg zu weiteren Untersuchungen ist. Die zweite Phase im Problemlöseprozess nach Pólya, in der die eigentliche Lösungsstrategie entwickelt wird [Pó45], wurde durch die Vorgabe von Hypothesen in Spicy nur teilweise repräsentiert. Obgleich ein lineares oder zyklisches Durchlaufen des Problemlöseprozesses dadurch nicht ausgeschlossen wird und die Problemlösenden nach Wahl einer Hypothese ihre konkrete Herangehensweise selbst organisieren müssen, nimmt die Vorgabe eine wichtige initiale Komponente der strategischen Denkphase vorweg.

Eine zweite Version der Anwendung müsste in der Lage sein, dieses Scaffolding nach und nach zu reduzieren, um Einblicke in die metakognitiven Fähigkeiten der Problemlösenden bei der Planung und Überlegung zu ermöglichen. In zukünftiger Forschung könnte man die Teilnehmenden ihr Vorgehen selbst bestimmen lassen, indem die Problemlöseprozesse anhand eines deskriptiven Modells wie dem von Rott [RSK21] aufgezeichnet werden, anstatt sie vorzugeben. Es ließen sich dann Aussagen darüber machen, ob die Teilnehmenden bereits einen (Teil-)Lösungsweg im Hinterkopf haben, wie viel Zeit in den einzelnen Phasen verbracht wird und wie viele Wechsel zwischen unterschiedlichen Phasen vorgenommen werden. Hierfür wäre eine verbesserte Operationalisierung der Phasen notwendig, um sie deutlicher voneinander abzugrenzen und möglicherweise auch automatisiert erfassen zu können. In VR könnten beispielsweise gezielt Objekte, die phasenrelevant sind, im virtuellen Raum positioniert werden, um Bewegungen zwischen diesen Orten als Phasenwechsel zu dokumentieren. Am Beispiel von Spicy könnte etwa eine Glühlampe, die zum Leuchten gebracht werden soll, hinter den Lernenden platziert werden, damit durch ein Umdrehen erkennbar ist, dass gerade eine Ergebnisprüfung stattfindet. Weiterführende Untersuchungen könnten auch klären, ob sich Problemlöseprozesse in VR grundsätzlich von jenen mit Papier und Stift unterscheiden, beispielsweise in der Art der Fehler oder der Anzahl von Zyklen im Problemlösevorgang.

Letztlich könnte eine darauffolgende dritte Version der Anwendung, Problemlösende anhand gesammelter Forschungsdaten gezielt in ihrem individuellen Vorgehen unterstützen, indem beispielsweise durch die Erkennung von mehrfach auftretenden Zyklen ohne Fortschritt darauf hingewiesen wird, sich neu zu orientieren oder eine Neubewertung der aktuellen Lösungsstrategie vorzunehmen. Aus der Forschungsperspektive bietet das Problemlösen in VR den Forschenden die neuartige Möglichkeit, den Problemlöseprozess aus der Perspektive der Problemlösenden in authentischen (Problem-)Situationen zu beobachten und zu analysieren. Diese direkte Einsicht erlaubt es, präzise Daten über die Entscheidungsfindung und die Interaktion mit virtuellen Objekten zu sammeln, was zu tieferen Einsichten in kognitive Prozesse führen könnte.

## Literaturverzeichnis

- [Ar21] Araiza-Alba, P.; Keane, T.; Chen, W. S.; Kaufman, J.: Immersive virtual reality as a tool to learn problem-solving skills. en, *Computers & Education* 164, S. 104121, 2021, ISSN: 0360-1315, DOI: 10.1016/j.compedu.2020.104121, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131520303195>, Stand: 02.08.2023.
- [BCD89] Brown, J. S.; Collins, A.; Duguid, P.: Situated Cognition and the Culture of Learning. en, *Educational Researcher* 18 (1), Publisher: American Educational Research Association, S. 32–42, 1989, ISSN: 0013-189X, DOI: 10.3102/0013189X018001032, URL: <https://doi.org/10.3102/0013189X018001032>, Stand: 10.04.2024.
- [Dö19] Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B., Hrsg.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019, ISBN: 978-3-662-58861-1.
- [Fe94] Fernandez, M. L.; Hadaway, N.; Wilson, J. W.; Graeber, A. O.: Connecting Research to Teaching: Problem Solving: Managing It All. EN, *The Mathematics Teacher* 87 (3), Publisher: National Council of Teachers of Mathematics Section: The Mathematics Teacher, S. 195–199, 1994, ISSN: 0025-5769, 2330-0582, DOI: 10.5951/MT.87.3.0195, URL: <https://pubs.nctm.org/view/journals/mt/87/3/article-p195.xml>, Stand: 11.04.2024.
- [Fl10] Fleischer, J.; Wirth, J.; Rumann, S.; Leutner, D.: Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz. Analyse von Aufgabenprofilen. Projekt Problemlösen. In: *Zeitschrift für Pädagogik*. Bd. Beiheft; 56, ISSN: 0514-2717, pedocs, 2010, ISBN: 978-3-407-41157-0, URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0111-opus-34329>, Stand: 10.04.2024.
- [Fu03] Funke, J.: Problemlösendes Denken. Google-Books-ID: bD94DwAAQBAJ, Kohlhammer Verlag, 2003, ISBN: 978-3-17-022830-6.
- [Fu06] Funke, J.: Denken und Problemlösen. Google-Books-ID: DqCbEAAAQBAJ, Hogrefe Verlag GmbH & Company KG, 2006, ISBN: 978-3-8409-0527-8.
- [GF13] Greiff, S.; Fischer, A.: Der Nutzen einer komplexen Problemlösekompetenz: Theoretische Überlegungen und empirische Befunde. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 27 (1-2), Publisher: Hogrefe AG, S. 27–39, 2013, ISSN: 1010-0652, DOI: 10.1024/1010-0652/a000086, URL: <https://econtent.hogrefe.com/doi/10.1024/1010-0652/a000086>, Stand: 10.04.2024.
- [GKL14] Greiff, S.; Kretzschmar, A.; Leutner, D.: Problemlösen in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 28 (4), Publisher: Hogrefe AG, S. 161–166, 2014, ISSN: 1010-0652, DOI: 10.1024/1010-0652/a000140, URL: <https://econtent.hogrefe.com/doi/10.1024/1010-0652/a000140>, Stand: 10.04.2024.
- [Ki14] Kinateter, M.; Ronchi, E.; Nilsson, D.; Kobes, M.; Müller, M.; Pauli, P.; Mühlberger, A.: Virtual Reality for Fire Evacuation Research. In: S. 313–321, 2014, DOI: 10.15439/2014F94, URL: <https://fedcsis.org/proceedings/2014/drp/94.html>, Stand: 23.01.2023.
- [Ki20] Kipman, U.: Problemlösen bei PISA. In (Kipman, U., Hrsg.): *Komplexes Problemlösen: Begriff – Einflussgrößen – Korrelate – Erkenntnisse am Beispiel der PISA-Studie*. Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 9–31, 2020, ISBN: 978-3-658-30826-1, DOI: 10.1007/978-3-658-30826-1\_3, URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-658-30826-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-30826-1_3), Stand: 27.03.2024.

- [Ku16] Kubbe, I.: Gütekriterien experimenteller Forschung. In (Kubbe, I., Hrsg.): Experimente in der Politikwissenschaft: Eine methodische Einführung. Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 61–76, 2016, ISBN: 978-3-658-09424-9, DOI: 10.1007/978-3-658-09424-9\_4, URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-658-09424-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-658-09424-9_4), Stand: 10. 04. 2024.
- [Le12] Leutner, D.; Fleischer, J.; Wirth, J.; Greiff, S.; Funke, J.: Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien. Psychologische Rundschau 63 (1), Publisher: Hogrefe Verlag, S. 34–42, 2012, ISSN: 0033-3042, DOI: 10.1026/0033-3042/a000108, URL: <https://econtent.hogrefe.com/doi/10.1026/0033-3042/a000108>, Stand: 02. 08. 2023.
- [Ma23] Manz, C., 2023, URL: <https://github.com/DancingAsteroid/Spicy>, Stand: 12. 06. 2024.
- [Me23] Melo, M.; Gonçalves, G.; Vasconcelos-Raposo, j.; Bessa, M.: How Much Presence is Enough? Qualitative Scales for Interpreting the Igroup Presence Questionnaire Score. IEEE Access 11, Conference Name: IEEE Access, S. 24675–24685, 2023, ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3254892, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10064261>, Stand: 09. 04. 2024.
- [OE14] OECD: PISA 2012 Results: Creative Problem Solving (Volume V): Students' Skills in Tackling Real-Life Problems. OECD, 2014, ISBN: 978-92-64-20807-0.
- [PAD23] Pechorina, Y.; Anderson, K.; Denny, P.: Metacodentition: Scaffolding the Problem-Solving Process for Novice Programmers. In: Proceedings of the 25th Australasian Computing Education Conference. ACE '23, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, S. 59–68, 2023, ISBN: 978-1-4503-9941-8, DOI: 10.1145/3576123.3576130, URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3576123.3576130>, Stand: 10. 04. 2024.
- [P645] Pólya, G.: How to Solve It. Princeton University Press, 1945.
- [RSK21] Rott, B.; Specht, B.; Knipping, C.: A descriptive phase model of problem-solving processes. en, ZDM – Mathematics Education 53 (4), S. 737–752, 2021, ISSN: 1863-9704, DOI: 10.1007/s11858-021-01244-3, URL: <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01244-3>, Stand: 12. 04. 2024.
- [Sc03] Schubert, T. W.: The sense of presence in virtual environments: Zeitschrift für Medienpsychologie 15 (2), Publisher: Hogrefe Verlag, S. 69–71, 2003, ISSN: 1617-6383, DOI: 10.1026/1617-6383.15.2.69, URL: <https://econtent.hogrefe.com/doi/10.1026/1617-6383.15.2.69>, Stand: 10. 04. 2024.
- [Sc88] Schoenfeld, A.: Problem solving in context (s). In: The teaching and assessing of mathematical problem solving. S. 82–92, 1988.
- [SFR01] Schubert, T.; Friedmann, F.; Regenbrecht, H.: The Experience of Presence: Factor Analytic Insights. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 10 (3), S. 266–281, 2001, ISSN: 1054-7460, DOI: 10.1162/105474601300343603, URL: <https://doi.org/10.1162/105474601300343603>, Stand: 15. 08. 2022.
- [SL16] Sauro, J.; Lewis, J. R.: Chapter 9 - Six enduring controversies in measurement and statistics. In (Sauro, J.; Lewis, J. R., Hrsg.): Quantifying the User Experience (Second Edition). Morgan Kaufmann, Boston, S. 249–276, 2016, ISBN: 978-0-12-802308-2, DOI: 10.1016/B978-0-12-802308-2.00009-6, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128023082000096>, Stand: 29. 05. 2024.
- [Wi07] Wirth, W.; Hartmann, T.; Böcking, S.; Vorderer, P.; Klimmt, C.; Schramm, H.; Saari, T.; Laarni, J.; Ravaja, N.; Gouveia, F. R.; Biocca, F.; Sacau, A.; Jäncke, L.; Baumgartner, T.; Jäncke, P.: A Process Model of the Formation of Spatial Presence Experiences. Media Psychology 9 (3), Publisher: Routledge \_eprint: <https://doi.org/10.1080/15213260701283079>, S. 493–525, 2007, ISSN: 1521-3269, DOI: 10.1080/15213260701283079, URL: <https://doi.org/10.1080/15213260701283079>, Stand: 10. 04. 2024.

- [Wi23]     Wiepke, A.: Virtual reality as experimental method in embodied cognition. In: *Experimental Methods in Embodied Cognition*. Num Pages: 13, Routledge, 2023, ISBN: 978-1-00-329069-8.
- [Wi24]     Wiepke, A.; Belli, F.; Fischer, M. H.; Miklashevsky, A.: Embodied Learning in Virtual Reality. In (Senkbeil, K.; Ahlers, T., Hrsg.): *Virtual Reality in den Geisteswissenschaften. Konzepte, Methoden und interkulturelle Anwendungen*. in press, Peter Lang Group AG, 2024.
- [ZW18]     Zender, R.; Weise, M.: Lehren und Lernen mit VR und AR – Was wird erwartet? Was funktioniert? In: *Proceedings der Pre-Conference-Workshops der 16. E-Learning Fachtagung Informatik*. Bonn, 2018.