

## Exploration wichtiger ästhetischer Qualitäten der Wissenschaftsillustration am Beispiel von MR- AR- und Web3D Applikationen zur Präsentation von Experimenten in der Quantenphysik.

Jonas Lauströer<sup>+</sup>, Reinhard Schulz-Schaeffer<sup>+</sup>, Paul Schlummer<sup>\*</sup>, Stefan Heusler<sup>\*</sup>, Adrian Abazi<sup>°</sup>, Carsten Schuck<sup>°</sup>, Wolfram H. P. Pernice<sup>°</sup>

<sup>+</sup>Department Design, HAW Hamburg, <sup>\*</sup>Institut für Didaktik der Physik, WWU Münster, <sup>°</sup>Center for Nanotechnology, WWU Münster

[jonas.laustroeer@haw-hamburg.de](mailto:jonas.laustroeer@haw-hamburg.de), [reinhard.schulz-schaeffer@haw-hamburg.de](mailto:reinhard.schulz-schaeffer@haw-hamburg.de), [paul.schlummer@wwu.de](mailto:paul.schlummer@wwu.de), [stefan.heusler@wwu.de](mailto:stefan.heusler@wwu.de), [Adrian.abazi@wwu.de](mailto:Adrian.abazi@wwu.de), [wolfram.pernice@wwu.de](mailto:wolfram.pernice@wwu.de), [carsten.schuck@wwu.de](mailto:carsten.schuck@wwu.de)

### Kurzfassung

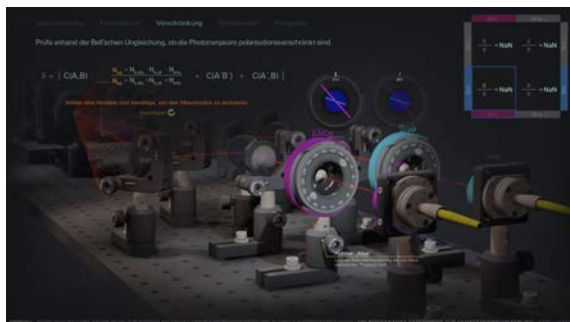
Die aus der Designpraxis entwickelten Designlösungen auf Grundlage der etablierten Wissensbasis der Wissenschaftsillustration werden mit den Gestaltungsprinzipien von Richard E. Mayer Multimedia Learning (CTML) [1] und der Cognitive Load-Theory (CLT) [2] von John Sweller und Paul Chandler ins Verhältnis gesetzt. Obwohl die Prinzipien von E. Mayer auf Bildanalysen der Designpraxis basieren, zeigen sich interessante Differenzen zu den Entscheidungen in diesem good practice Beispiel einer Web3DLernumgebung zur Quantenverschränkung.

### 1. Einleitung

Lehr- und Lern-Applikationen bilden ein Geflecht aus Bild, Text, Interaktivität, Narration, Denkmodell, Didaktik, Experiment und Spiel. Um die Auswirkungen dieser Faktoren auf das Lernen zu verstehen, haben sich entsprechend der Cognitive Load-Theory [2] von John Sweller, Paul Chandler und der Forschung von R. E. Mayer grundlegende Gestaltungsprinzipien etabliert.

In der Wissenschaftsillustration wird Gestaltungswissen angewandt. Der Blick ist also nicht rückblickend analytisch, sondern lösungsorientiert pragmatisch. Die Gestaltungsprinzipien der Wissenschaftsillustration basieren auf dem großen Datensatz der veröffentlichten Arbeiten und dem fachinternen Diskurs über beispielhafte Lösungen und etablierte Methoden.

Am Beispiel einer Web3D Applikation werden Parallelen und Differenzen der Designlösungen zu den Mayerschen Gestaltungsprinzipien gesucht.



**Abb. 1:** In der Web3D-Lehr- und Lernapplikation wird ein Versuch zum Nachweis von verschränkten Lichtquanten dargestellt und visuell erweitert, der Daten aus einem baugleichen realen Experiment verarbeitet. Die Verschränkung wird durch parametrische Fluoreszenz erreicht.

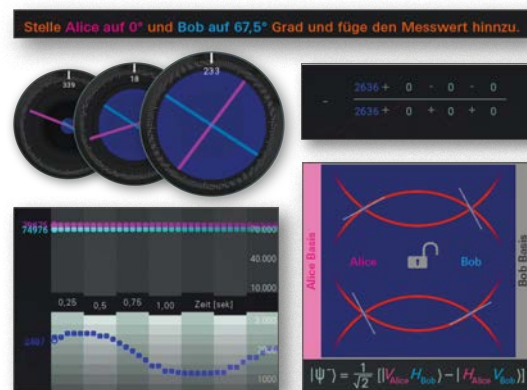
Wir zeigen aus der Praxis auf, wie "vieldimensional" jedes einzelnen Mayer-Prinzip umgesetzt werden kann. Und dass es Erfahrungswissen gibt, das über diese Prinzipien hinausgeht.

### 2. Multimediaprinzip

Menschen lernen besser von Worten und Bildern als nur von Worten allein ([1], S. 397).

#### 2.1. Mediale Synergie

Die Basis der Kommunikation im Bereich Wissenschaftsillustration sind Kompositionen aus verbildlichten Informationen und geschriebenen Worten. Die multimediale Präsentation und die Ansprache möglichst vieler Sinne ist ein Anspruch guter Gestaltung. Diagramme, Handlungsoptionen, mathematische Modellierung, visuelle Modelle und Worte verbinden sich in Echtzeit zu einem synergetischen Geflecht, das wichtige originäre Erfahrungen ermöglicht.



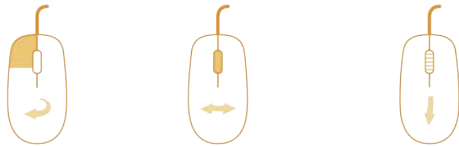
**Abb. 2:** Lernhilfen werden nach Möglichkeit nicht als Text, sondern als Erweiterungen in Form von Messdiagrammen und interpretierenden Grafiken angeboten.

### 3. Vorübungsprinzip

Menschen lernen tiefergreifender von Multimedia-Nachrichten, wenn sie die Namen und Eigenschaften der Hauptkonzepte kennen ([1], S. 265).

#### 3.1. Diagrammatik

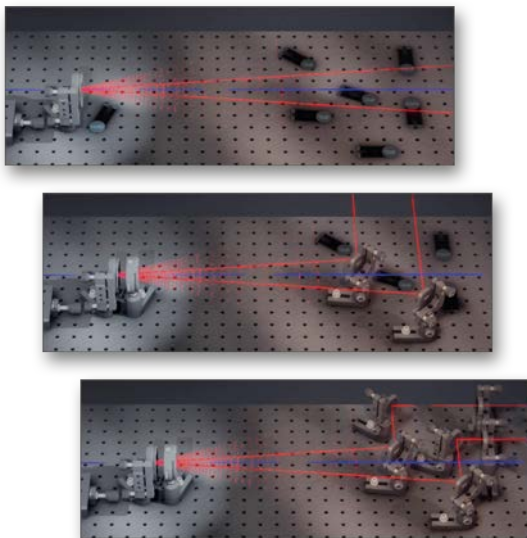
Die Anleitung der Navigation ist auch innerhalb der multimedialen Anwendung sinnvoll. Damit kann gute Gestaltung eine getrennte Vorübung der Hauptkonzepte vermeiden. Eine andere Möglichkeit stellt das sog. pictorial scaffolding dar, bei dem im Vorfeld der präsentierten Animation unterstützende Illustrationen zum Einsatz kommen [3].



**Abb. 3:** Piktogramme zur Vorübung der Navigation (Szene drehen, Szene verschieben, Szene fokussieren).

#### 3.2. Zeitliche Dramaturgie

Die zeitliche Abfolge der Einflüsse auf den Laserstrahl wird mit einem schrittweisen Aufbau der Komponenten verdeutlicht. So können vor der Präsentation einer Animation, welche einen komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang visualisiert, die einzelnen Teilelemente benannt und deren mögliches Verhalten erläutert werden. Dies wird auch als strategic scaffolding bezeichnet ([4], S. 43). Das Verkörperungsprinzip weist dem zeitlich strukturierten Aufbau einer Zeichnung eine höhere Verkörperung zu, als einer statischen Zeichnung. Die Animation des Versuchsaufbaus sollte ebenso eine höhere Verkörperung darstellen als ein statisch präsentierter Aufbau. Nach dem Verkörperungsprinzip stellt der zeitlich strukturierte Aufbau einer Zeichnung eine höhere Verkörperung dar, als die statische Zeichnung ([1], S. 352).



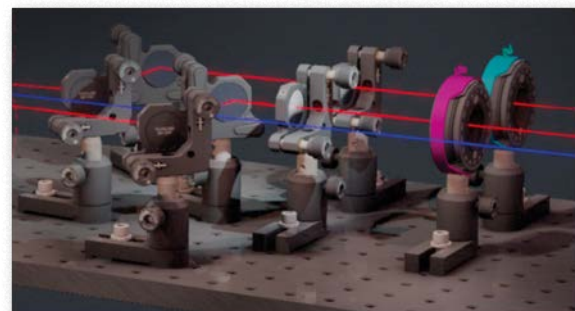
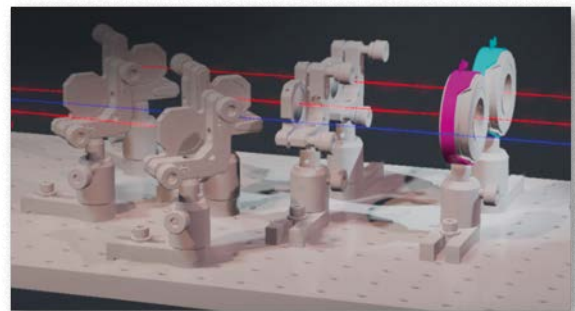
**Abb. 4:** Bildschirmfotos des animierten Versuchsaufbaus.

### 4. Immersionsprinzip

Menschen lernen in 3D immersiver Virtual Reality nicht unbedingt besser als mit einer entsprechenden 2D-Präsentation ([1], S. 357).

#### 4.1. Aufmerksamkeit

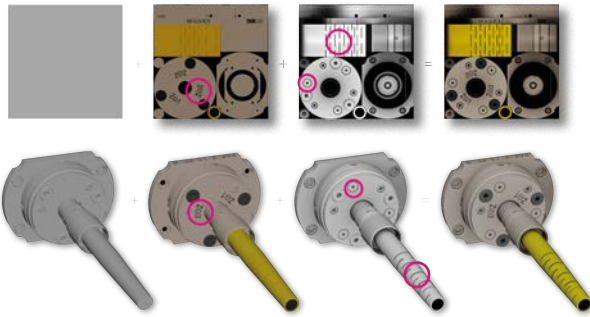
Immersive, ästhetische Designlösungen bündeln die gesamte sinnliche Wahrnehmung und konzentrieren sie auf ein Ziel. Das Immersionspotential der 3D-Visualisierung ist höher als das der 2D-Visualisierungen. Die Nützlichkeit von Immersion in Web3D-Anwendungen ist maßgeblich von den ästhetischen Qualitäten abhängig. Es ist eine Frage der Dramaturgie und Szenografie, ob dieses Potential lernfördernd wirksam wird. Komposition, Licht, Schatten, Farbgebung, Texturierung und Modellierung spielt dabei eine wichtige Rolle.



**Abb. 5:** Bildschirmfotos der 3D-Modelle ohne Textur (oben) und mit Textur (unten).

#### 4.2. Ambient Occlusion und Trompe-l'œil

Mit einer differenzierten und illusionistischen Beleuchtung kann die Immersion gesteigert werden. Die weichen indirekten Schatten (ambient occlusion) können über Texturen imitiert und statisch implementiert werden. Die Trompe-l'œil-Methode ermöglicht zudem die Darstellung von komplexen Details auf polygonreduzierten Geometrien (texture baking). So können räumliche Details, wie Schrauben oder Kabelschlitze Performanceschonend in Echtzeit dargestellt werden. Die höhere Immersion durch eine authentische Darstellung wird in der Wissenschaftsillustration als lernfördernd bewertet. Um Immersion zu steigern, nutzt die Wissenschaftsillustration Gestaltungen glaubwürdiger und vollständiger Kontexte.



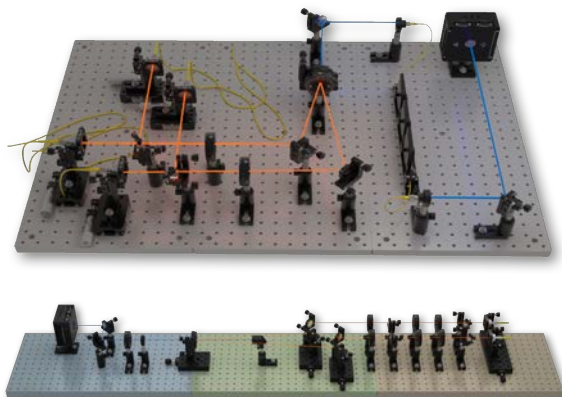
**Abb. 6:** Bildschirmfotos des virtuellen 3D-Modell der Faserkopplung ohne Textur (links), mit Farben, mit indirekten Schatten, mit Farben und indirekten Schatten (rechts).

## 5. Kohärenzprinzip

Menschen lernen besser, wenn unwesentliche Materialien ausgeschlossen statt einbezogen werden. Das Kohärenzprinzip kann in drei komplementäre Versionen unterteilt werden: 1. das Lernen wird verbessert, wenn interessante, aber irrelevante Wörter und Bilder aus einer Multimedia-Präsentation ausgeschlossen werden; 2. das Lernen wird verbessert, wenn nicht benötigte Wörter und Symbole aus einer Multimedia-Präsentation entfernt werden; und 3. das Lernen wird verbessert, wenn interessante, aber irrelevante Musik von einer Multimedia-Präsentation ausgeschlossen wird ([1], S. 143).

### 5.1. Passepartout und Rahmen

Eine wichtige Dimension der Kohärenz in der Gestaltung ist der Einfluss von der Blickführung auf die Wahrnehmung von Inhalten. Die Organisation der Bildfläche ist optimiert in Hinblick auf die Kohärenz. Die Umgestaltung des ursprünglichen Experiments für die Lehr- und Lernapplikation entstand als virtuelle Entwurf unter der Prämisse der Kohärenz zwischen zeitlichem Ablauf und intuitiven Blickrichtungen. Eine lineare Abfolge vermeidet Überschneidungen und erlaubt Beschriftungen und visuelle Erweiterungen über und unter jeder einzelnen Komponente. Die Format- und Größenwahl für die Präsentation des Experiments ist so entscheidend.



**Abb. 7:** Der ursprüngliche reale Aufbau des Experiments (oben) wurde zu einem linearen Aufbau (unten) umgebaut.

## 5.2. Visuelle Kontexte

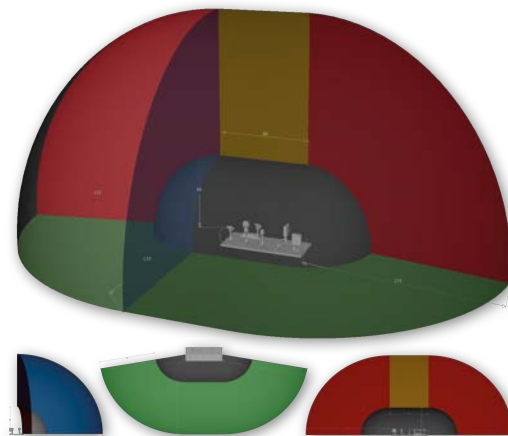
In der Gestaltung wird das Kohärenzprinzip differenzierter betrachtet. Das interpretierende Bild erhält seine Stärke durch die Fokussierung auf das Modellhafte. Dabei wird die Gestaltung der Kontexte als ein entscheidendes Prinzip der Verständlichkeit sehr ernst genommen. Visuelle Kontexte könnten aufgrund des Kohärenzprinzips nach Mayer als überflüssig abgetan werden. Dieses Missverständnis gilt es zu vermeiden. Beleuchtung, räumliche Bezüge, Details und Materialität sind Kontexte, die für die Orientierung, die Immersion und Kausalitäten wichtige Erfahrungswerte vermitteln. Vermutlich ist es schwierig, diese ganzheitlichen Lernerfolge im Rahmen einer sehr konkreten Lernabfrage zu messen.

## 6. Verkörperungsprinzip

Menschen lernen tiefer aus Multimedia-Präsentationen, wenn ein Lehrer auf dem Bildschirm eher eine hohe als eine niedrige Verkörperung zeigt ([1], S. 341).

### 6.1. Schulterblick

Eine First-Person-Perspective ([1], S. 349) in Web3D, Augmented- und Virtual-Reality-Anwendungen ermöglicht dem Benutzer eine Schulterblick-Perspektive bzw. die unmittelbare Perspektive des Instruktors.



**Abb. 8:** Die perspektivische Ansicht (oben) visualisiert den limitierten Bewegungsraum der Kamera vor dem Experiment. Die Blickrichtung ist dabei stets ins Zentrum gerichtet. Die Ansichten (unten) zeigen die Einschränkungen von der Seite (blau), von oben (grün) und von vorne (rot).

### 6.2. Blickregie

Die Kamera ist in ihrer Bewegung limitiert. Zwischen einer Übersicht und Detailansicht können beliebige Positionen eingenommen werden. Die Ausrichtung der Kamera zielt dabei stets auf den Laserstrahl. Die Kamera kann sich weder hinter noch unter den Komponenten befinden. Dies ermöglicht eine eindeutige räumliche Orientierung. Rechts, Links, Oben und Unten bleiben verbindliche Raumrichtungen. Die Lese- richtung bleibt immer parallel zur Ausbreitung des

Laserlichts. Irritationen werden minimiert, die Orientierung erleichtert und die Immersion gesteigert. Die Bewegungsräume entsprechen einem Beobachter, der vor einem Tisch mit dem Aufbau steht und nicht um den Aufbau herum gehen kann. Damit entsteht der Eindruck einer geleiteten Perspektive, die als Aspekt der Verkörperung verstanden werden kann. Der natürliche Bewegungsradius einer Person (Schulterblick) wird hiermit imaginiert.

### 7. Räumliches Kontiguitätsprinzip

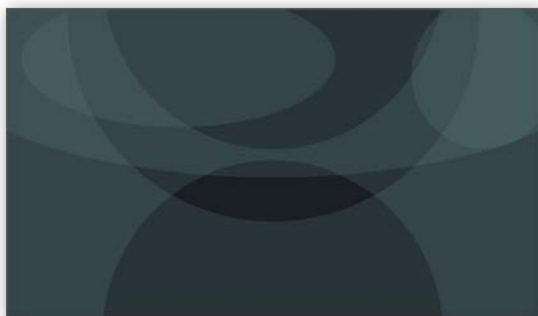
Menschen lernen besser, wenn entsprechende Wörter und Bilder auf der Seite oder dem Bildschirm nah und nicht weit voneinander entfernt dargestellt werden ([1], S. 207).

#### 7.1. Überlagerungen versus Kontiguität

Je näher die Texte an die Objekte rücken, umso klarer ist der inhaltliche Bezug. Dies erlaubt kürzere Texte, da auf die Formulierungen der inhaltlichen Bezüge verzichtet werden kann. Optische Störungen, wie schlechte Kontraste oder Überschneidungen von Texten, zerstören die positive Wirkung. Mit dem Positionswechsel des Betrachters verändern sich die Objekt-Hintergrund-Beziehungen. Störpotentiale durch unplanbare Überlagerungen müssen bedacht und durch geschickte Organisation der Räume reduziert werden. Die Variante mit der höchsten räumlichen Kontiguität ist nicht zwangsläufig die beste.

#### 7.2. Wichtungsbereiche

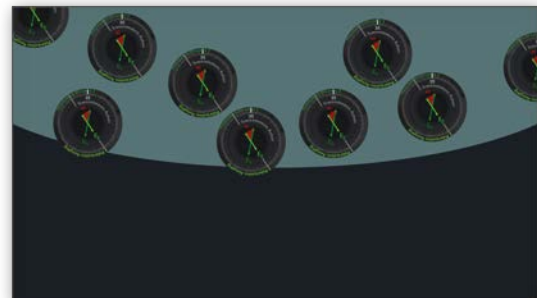
Das Kontiguitätsprinzip von Text und Bild ist ein fundamentales Prinzip der Infografik und der Grafik Novelle. Es gilt aber auch für Bildkompositionen ohne Text. Bildkompositionen sind auf der Fläche organisierte Bildinhalte. Es geht immer darum, den Blick zu führen, um die visuelle Argumentation zu strukturieren. Kontiguität wird nicht nur durch Raumbezüge, sondern auch durch Farben und gleiche grafische Attribute erzeugt. Damit sich die Inhalte nicht überlagern, wurde die Kamera in ihrer Bewegung eingeschränkt.



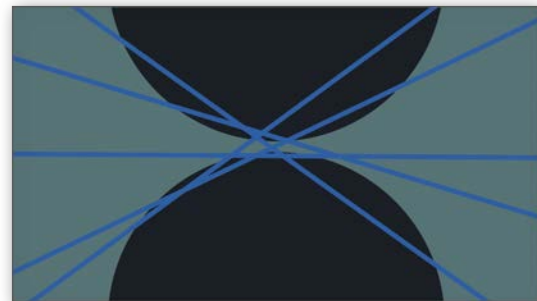
**Abb. 9:** Die Ebenen (hell) zeigen die möglichen Erscheinungsbereiche der Bild- und Textinhalte. Im Zentrum bleibt ein Bereich (dunkel) für die anvisierte Komponente und den Laserstrahl frei. In den stark frequentierten Bereichen oben links und rechts wird das Experiment durch eine künstliche Vignette (siehe Vignetteeffekt) abgedunkelt.



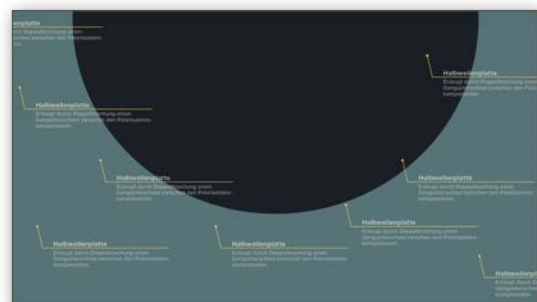
**Abb. 10:** Die Kameraeinschränkung erzwingt stets Ansichten, bei denen sich die Laserquelle (links) nahe dem Menü und die Detektoren (rechts) nahe dem Messbereich befinden.



**Abb. 11:** Diagramme stehen nur in der oberen Bildhälfte, immer planar über den Komponenten des Experiments. Ihr Erscheinen blendet die Anweisungen aus.



**Abb. 12:** Der Laserstrahl geht immer durch die Bildmitte. Er teilt so den Bildschirm in den Bereich der Menüs und Diagramme und den Bereich des Experimentalaufbaus.



**Abb. 13:** Die Annotationen werden durch Mouseover aufgerufen und sind am Sockel der Komponenten angeordnet. Sie überlagern sich nie mit den Diagrammen.

## 8. Signalisierungsprinzip

Menschen lernen besser, wenn Hinweise hinzugefügt werden, die die Organisation des wesentlichen Materials hervorheben ([1], S. 166).

### 8.1. Vignetteeffekt

Ursprünglich basiert dieser Effekt auf der zum Rand hin abnehmenden Ausleuchtung fotografischer Objekte. Hier wird er genutzt, um die Aufmerksamkeit zur Bildmitte zu lenken. Kontrastreiche Elemente ziehen den Blick auf sich. Zusätzlich dient die erweiterte Vignette, die hier als Maske zu sehen ist, der Beruhigung des Hintergrunds. Die Anweisungstexte stehen gut lesbar vor den Bereichen, in denen die Vignette Kontrast und Helligkeit reduziert.

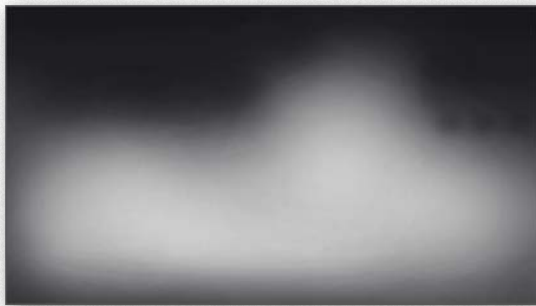


Abb. 14: Ebene der überlagerten Vignette.

### 8.2. Idel-Mode

Bewegung lenkt den Blick noch stärker auf sich als auf andere Kontraste. Der Bewegungskontrast hebt Elemente vom Hintergrund hervor. Der Strahlengang ist auf diese Weise betont und lässt sich gut von den anderen Linien im Bild unterscheiden.



Abb. 15: Bildschirmfoto des Laserstrahls im Detail.

### 8.3. Mobiler Lichtspot

Ein kleiner Lichtspot folgt dem Mauszeiger. Das Prinzip des Bewegungskontrastes zwingt uns, der Maus mit dem Blick zu folgen. So führt die Verfolgung der Maus durch den Spot dazu, dass immer der Bereich mit dem Spot hervorgehoben wird, auf den wir blicken. Der Lichtspot wird durch die Vignette in der Intensität zum Rand hin abgeschwächt. Nicht aktiv am Versuch beteiligte Komponenten können gezielt ausgeschlossen werden.



Abb.16: Bildschirmfoto der Linsenhalterung ohne (links) und mit (rechts) Lichtspot.

## 8.4. Optische Kontiguität

Mit der Entfernung nimmt das Volumen von Objekten ab. Für den dünnen Laserstrahl bedeutet dies, dass er ab einer bestimmten Entfernung dünner als ein Bildpixel würde und nicht mehr dargestellt werden könnte. Für eine kontinuierliche und als richtig wahrgenommene Darstellung wird der Strahldurchmesser deshalb proportional zur Kameradistanz skaliert.

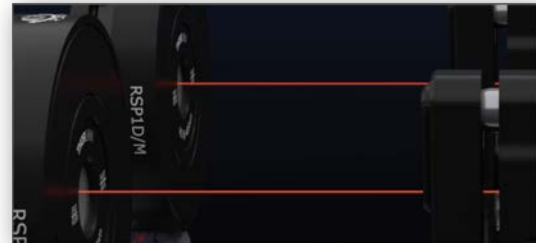


Abb. 17: Darstellung des Laserstrahls in der Nahansicht (oben) und Fernansicht (unten) bei gleichbleibendem Laserstrahldurchmesser.

## 8.5. Hauptlichtspot

Das Hauptlicht wird von einem blauen (links) und einem roten (rechts) Lichtspot übernommen. Sie segmentieren den Versuchsaufbau in den Bereich des blauen Lasers und den des verschränkten roten Laserlichts. Die Beleuchtung übernimmt damit eine strukturierende, inhaltsbezogene Aufgabe.

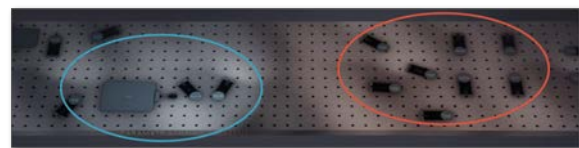


Abb. 18: Bildschirmfoto der Grundplatte mit dem blauen (links) und dem roten (rechts) Hauptlichtspot.

## 9. Zeitliches Kontiguitätsprinzip

Menschen lernen besser, wenn entsprechende Wörter und Bilder gleichzeitig und nicht nacheinander präsentiert werden ([1], S. 227).

### 9.1. Zeitgleiche Visualisierung

Anweisungstexte und zugehörige Zeichen sind in orange ausgezeichnet. Sie werden gleichzeitig und gleichfarbig angezeigt. Gleichfarbigkeit und Übereinstimmung von grafischen Attributen (Formverwandtschaft von Schrift und Piktogramm) sind Eigenschaften, die räumliche Nähe erzeugen und sich

damit auf die Kontiguität auswirken. Eine kluge Übereinstimmung in Farbe und Form kann einen höheren Effekt auf das Lernen haben als die reine räumliche und zeitliche Nähe.

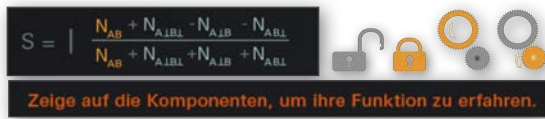


Abb. 19: Bildschirmfotos der interaktiven Ungleichung, der Icons und des Anweisungstextes.

### 9.2. Messbasis

Das Konzept der Superposition verlangt nach einer Visualisierung von Gleichzeitigkeit an zwei Orten. Das Diagramm zeigt die Wiederholung der Kegelflächen-Schnittpunkte und die Abhängigkeit von der gewählten Messbasis.

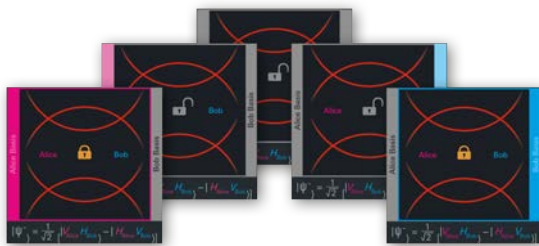


Abb. 20: Auf den beiden Schnittpunkten ergibt sich eine Superposition der von Produktzuständen der Polarisation, und somit ein verschränkter Polarisationszustand. Die Bildschirmfotos zeigen die unterschiedlichen Zustände.

### 9.3. Farbcodierung Alice und Bob

Um das verschränkte Photonenpaar auseinander halten zu können, wurden sie als Alice und Bob bezeichnet und mit den Farben Magenta und Cyan gefärbt. Dem Farbsystem folgen alle Notationen und Komponenten, die sich eindeutig Alice oder Bob zuordnen lassen. Beide addieren sich in der subtraktiven Farbmischung zu dem Blau des Ausgangslasers. Die Koinzidenz erhält die selbe blaue Farbe.

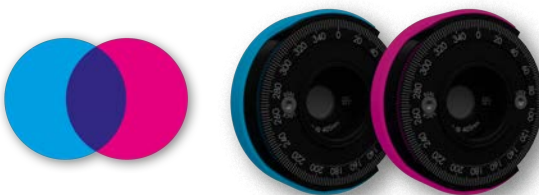


Abb. 21: Farbkonzept zur zeitgleichen Wahrnehmung. Subtraktive Farbmischung (links) und die Polarisatoren Bob (cyan) und Alice (magenta) mit farbiger Manschette.

## 10. Segmentierungsprinzip

Menschen lernen besser, wenn eine Multimedia-Nachricht in benutzergesteuerten Segmenten anstatt als kontinuierliche Einheit präsentiert wird ([1], S. 247).

## 10.1. Kapitelübersicht

Die Applikation ist in Lerneinheiten unterteilt, die aufeinander aufbauen. Um die lineare, kausale Struktur flexibel nutzen und durchbrechen zu können, bietet ein Menü die Wahl der Kapitel an. Ein visuelles Feedback über grüne Häkchen zeigt die abgeschlossenen Kapitel an und motiviert dazu, alle Kapitel zu bearbeiten.

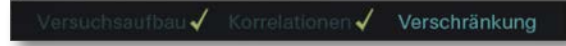


Abb. 22: Bildschirmfoto des Kapitel-Menüs.

## 10.2. Interaktivitätsprinzip

Das Segmentierungs- bzw. Interaktivitätsprinzip (Robinson, 2004) ist speziell bei komplexen Inhalten sinnvoll. Über einen interaktiven „weiter“ bzw. „bestätigen“- Button ([1], S. 248) kann der Lernende die Bell'sche Ungleichung mit individueller Geschwindigkeit und in kleinen Einheiten selbstständig erarbeiten, Messungen eintragen und so das gelernte Wissen anwenden (Learning by Doing).

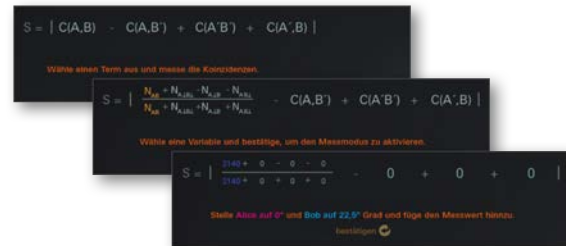


Abb. 23: Bildschirmfotos der Bell'schen Ungleichung auf der Ebene der Hauptformel (oben), der Variablen (mitte) und der Messwerte (unten).

## 10.3. Leserichtung

Der Versuchsaufbau wird in Leserichtung präsentiert. Die kausale Folge von Ursache und Wirkung wird mit der Übereinstimmung von Ausbreitung des Lichts und Leserichtung betont. Diese lineare Gestaltung ermöglicht eine sinnvolle Segmentierung des Aufbaus in folgerichtige Einheiten. Lichtquelle, BBO-Kristall und der Verschränkungsnachweis folgen aufeinander dextrograd waagrecht. Die Anordnung kommt Menschen mit niedrigen räumlichen Sehfähigkeiten entgegen ([4], S. 130). Die Aufteilung des Bildraums, wie es im Kapitel Verkörperungsprinzip erläutert wird, stellt auch eine Form der Segmentierung dar. Sie dient der Strukturierung von Informationen, die zeitgleich angeboten werden. Zur Segmentierung eignen sich folglich auch Kontraste und Gestaltungsmerkmale wie Farbgebung, Formgebung und Lichtdramaturgie.

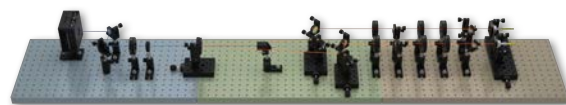


Abb. 24: Rendering des 3D-Entwurf unter der Prämisse der Leserichtung und der Segmentierung.

## 11. Redundanzprinzip

Menschen lernen nicht besser, wenn gedruckter Text zu Grafiken und Erzählung hinzugefügt wird. Wenn der Unterricht schnelllebig ist, lernen Menschen besser von Grafiken und Kommentaren als von Grafiken, Kommentaren und gedrucktem Text ([1], S. 186).

### 11.1. Grafische Konzeption

Die visuelle Vermittlung von Inhalten über selbsterklärende Piktogramme und Illustrationen ist immer schneller und fordert weniger kognitive Leistung als die textliche Vermittlung. Das „Hören mit den Augen“ ist ein ästhetischer Umweg, der einerseits das zeitgleiche Verarbeiten visueller Informationen verhindert, weil die visuelle Reizverarbeitung in den Leseprozess eingebunden ist und andererseits den Hörsinn parallel beansprucht. Deshalb ist eine von den Bildinformationen ausgehende Konzeption für Lehr- und Lerninhalte grundsätzlich eine gute Idee, fordert jedoch eine entsprechende Fachkompetenz. Textliche Wiederholungen bereits visuell vermittelter Informationen behindern den Wissenserwerb. Mehrfach vorhandene Informationen führen beim Lernenden zu Interferenzen, erhöhen den extrinsischen Cognitive Load und behindern den Wissenserwerb ([4], S. 26). Je besser die Aufgabenverteilung und der Bezug von Text zum Bild gelingt, umso sparsamer kann formuliert werden und umso besser ergänzen sich die medialen Formate. Für die Gestaltung bedeutet dies, je knapper die Formulierung desto höher die Kontiguität und umso eher können Redundanzen reduziert werden ([4], S. 23).



Abb. 25: Bildschirmfoto der Annotation zum Polarisator.

### 11.2. Datenreduktion

Auch bei der Gestaltung der Daten ist die Vermeidung der Redundanz zu beachten. Geometriedetails, die über die Textur vermittelt werden können, sollten aus der Geometrie entfernt werden, da sie die Performance des Computers reduzieren und damit die zeitliche Kontiguität der Interaktivität herabsetzen. Die Folge ist eine geringere Immersion. In mehreren Arbeitsschritten wurden die Modelle zu sinnvollen funktionalen Einheiten verschmolzen, optimiert, abstrahiert und händisch nachmodelliert. Für die Kalkulation von Texturen, Mouseover-Abfragen, Laser-Kollisionsabfragen, Spiegelungen, Licht und Schatten ist eine möglichst geringe Anzahl von Objekten, von Polygonen mit homogenen Quadmeshes und geschlossenen (wasserdichten) Oberfläche ohne Unterschneidungen anzustreben. Mit jedem zusätzlichen Polygon vervielfachen sich die Rechenvorgänge.

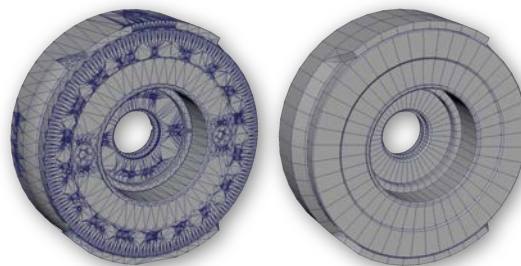


Abb. 26: Bildschirmfotos der Komponente RSP1DD/M als CAD-Modell (links) mit 25.569 Vertices und als interpretiertes Modell (rechts) mit 1.869 Vertices.

## 12. Zusammenfassung

Die visuelle Konzeption und Gestaltung von Vergleichsumgebungen der empirischen Forschung werden in der Regel nicht von professionellen wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen aus der Wissenschaftsillustration erstellt. Das hier beschriebene Forschungsprojekt geht diesen innovativen Schritt. In dem Team aus Fachdidaktik der Physik und dem Center for Nanotechnology der WWU Münster und der Wissenschaftsillustration des Departments Design der HAW Hamburg entstanden in Kooperation mehrere Vergleichsumgebungen, die von der Didaktik als Erhebungsinstrumente für die qualitative empirische Forschung genutzt wurden und werden ([5,6]).

Bedingungen für die empirische Forschung mit Erhebungsinstrumenten schränken die Gestaltungsfreiheit ein, dennoch bleibt viel Raum für Gestaltungslösungen, die auch in Hinblick auf ihren Einfluss auf die zu messenden Größen betrachtet werden müssen. Die Professionalisierung dieser Lösungen sollte zu besseren Ergebnissen der empirischen Forschung führen.

Die rückblickende Analyse der entwickelten Applikation aus dem Blickwinkel der Mayerschen Gestaltungsprinzipien, die zur Zeit der Entwicklung nicht ausschlaggebend für die Gestaltungsentscheidungen waren, und die Exploration von ästhetischen Qualitäten, die der Wissenschaftsillustration als Richtlinien für Designentscheidungen dienten, zeigt interessante Unterschiede in den Bewertungen und Handlungsweisen der beteiligten Disziplinen.

Anders als bei der Analyse der Wirkung von Gestaltungen auf das Lernverhalten wird in der Wissenschaftsillustration Gestaltungswissen angewandt. Der Blick ist also nicht rückblickend analytisch, sondern lösungsorientiert pragmatisch ausgerichtet. Die Gestaltungsprinzipien der Wissenschaftsillustration basieren auf dem großen Datensatz der veröffentlichten Arbeiten und dem kontinuierlichen Fachdiskurs über beispielhafte Lösungen und etablierte Methoden. Da das Design alle Medienformate beeinflusst, bilden alle Publikationen die Datenbasis auf deren Grundlage die Fachgemeinschaft Qualität definiert. Aspekte wie Reichweite und Resonanz sind wichtige Indikatoren für die Relevanz in den fachinternen Diskursen.

Die Wissensbasis des Designs ist weniger formalisiert. Die Definition guter Gestaltung findet weniger auf der Ebene von Fachartikeln statt, dafür umso mehr über die Publikation und Rezeption beispielhafter Designlösungen. Der Schatz dieser umfangreichen Wissensbasis ist visuell und größtenteils nicht verbalisierbar. Die Definition von ästhetischen Qualitäten wird nicht verbal vereinbart, sondern über den Einfluss, den gute Beispiele auf neue Lösungen haben.

Während die rückblickende Analyse die Lösungen der Praxis zum Anlass nimmt, um diese zu systematisieren und in abstraktere, verallgemeinerbare Thesen zu reduzieren, und ihre Wirkung auf das Lernverhalten quantitativ nachzuweisen, versucht die zukunftsorientierte Entwicklung neue Lösungen für neue Problemstellungen zu finden. Diese können später wiederum rückblickend systematisiert, abstrahiert und empirisch untersucht werden.

Eine auf Zukunft orientierte Entwicklung kann zwangsläufig nicht ausschließlich die Konventionen aus der rückblickenden Medienanalyse zum Maßstab ihrer Arbeit erheben. Deshalb ist es interessant die Differenzen dieser beiden Blickrichtungen an einem Beispiel – und nur an einem aktuellen Praxisbeispiel ist so etwas überhaupt möglich – zu zeigen.

Die Grundhaltung einer innovativen Entwicklung ist kritisch gegenüber den etablierten Prinzipien, die hier durch die Mayerschen Prinzipien repräsentiert werden. Die Realität verlangt nach sehr differenzierteren, durch vielfältige Wechselbeziehungen beeinflusste Detaillösungen. Allgemeingültige Prinzipien können nicht als zielführende Gebrauchsanweisungen für konkrete Problemlösungen im Design empfohlen werden.

Auch die Kategorien werden je nach Disziplin unterschiedlich gesetzt. Das Verkörperungsprinzip z. B. ist im Design in den dramaturgischen Prinzipien verortet. Kontiguität ist hier ebenfalls ein Aspekt der Dramaturgie und wird über die Blickführung und die damit verbundene zeitlich-inhaltliche Kommunikationsabsicht begründet.

Im Ergebnis kann jedoch festgestellt werden, dass es keinen grundlegenden Konflikt zwischen den beiden Erkenntniswegen der quantitativen, zurück blickenden empirischen Forschung und den auf Erfahrungswissen und good practice Daten basierenden Kriterien der zukunftsorientierten Designpraxis gibt. Die Mayerschen Gestaltungsprinzipien werden in differenzierter Ausprägung in diversen Designentscheidungen sichtbar. Die Anwendung verlangt jedoch sehr viel differenziertere Abwägungen, als sie diese Gestaltungsprinzipien bieten. Deutlich wird das immer dann, wenn sich die Prinzipien gegenseitig bedingen. So kann Kontiguität, die räumliche Nähe von Beschriftungen zu Objekten, allein durch eine unpassende Gestaltung der Objektumgebung destruktiv wirken. Bevor eine hohe Kontiguität also sinnvoll realisiert werden kann, müssen grundlegende Designentscheidungen gefallen sein, die dies überhaupt erst

ermöglichen. Diese Entscheidungen wiederum beeinflussen die Kohärenz und die Signalisierungsmöglichkeiten oder verändern das Immersionspotential.

Die Anwendung ist unter folgendem Link erreichbar: <https://www.haw-hamburg.de/forschung/forschungsprojekte-detail/project/project/show/mirequ/>

### 13. Literatur

- [1] Mayer, R. E. (2021): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In: Mayer, R. E. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, 3<sup>rd</sup> edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011): Cognitive Load Theory. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer.
- [3] Mayer, R. E., Mautone, P., Prothero, W. (2002): Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. DOI: <https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.1.171>
- [4] Rey G. D. (2008): Lernen mit Multimedia. Trier: Universität Trier, DOI: <https://doi.org/10.25353/ubtr-xxxx-b4a5-cb26>
- [5] Schlummer, P. et al. (2020): MiReQu - Mixed Reality Lernumgebungen zur Förderung fachlicher Kompetenzentwicklung in den Quantentechnologien. In: PhyDid B - Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, [S.l.], sep. 2020. Verfügbar unter: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1044>
- [6] Schlummer, P. et al. (2021): Physikalische Modelle erfahrbar machen - Mixed Reality im Praktikum. In: PhyDid B - Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, [S.l.], okt. 2021. Verfügbar unter: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1128>

### Hinweis auf Förderung durch das BMBF

Das Projekt MiReQu wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.