

## Implementation fachdidaktischer Innovation am Beispiel des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenmechanik

Judith Breuer\*, Christoph Vogelsang\*, Peter Reinhold\*

\*Universität Paderborn, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn  
judith.breuer@upb.de, vogelsang@plaz.upb.de, peter.reinhold@upb.de

### Kurzfassung

Zu den Aufgaben fachdidaktischer Forschung gehört die Verbesserung von Lehr-Lern-Prozessen auf Grundlage von empirischen Forschungsergebnissen. Ein möglicher Weg, solche Innovationen an Schulen zu implementieren, verläuft über die Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien. Allerdings liegen bisher nur wenige Erkenntnisse zu ihrer Nutzung vor.

Ziel der vorgestellten Studie ist es daher, mehr über die Wirkmechanismen bei der Implementation von Unterrichtsmaterialien herauszufinden. Dazu werden zehn Lehrkräfte, welche das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik zur Verfügung gestellt bekommen, im Unterricht begleitet. In zwei Interviews zu Beginn und am Ende einer Unterrichtsreihe zur Quantenmechanik werden mögliche Einflussfaktoren der Materialnutzung erfragt. Um zudem die Implementation genauer zu untersuchen, werden drei Unterrichtsstunden videographiert und durch Stimulated Recall-Interviews Hintergründe zu den Entscheidungen der Lehrkräfte abgefragt.

Aus den Ergebnissen der Pilotierungsinterviews lässt sich ableiten, dass Lehrkräfte oftmals nur Teile des bereitgestellten Konzepts umsetzen.

### 1. Einleitung

In der fachdidaktischen Forschung werden vielfältige Unterrichtsmaterialien entwickelt, welche allerdings nur selten den Weg in die Praxis finden, wenngleich verschiedene Studien Hinweise liefern, dass die Nutzung von empirisch fundierten Unterrichtsmaterialien die Unterrichtsqualität verbessern kann (Tobias, 2010; Charalambous & Hill, 2012; Arias, Smith, Davis, Marino & Palinscar, 2017).

Unterrichtsmaterialien eignen sich insofern gut für die Unterstützung der professionellen Weiterbildung von Lehrkräften, da ihre Nutzung bereits in deren Berufsalltag bei der Vorbereitung von Unterricht verankert ist. Im Gegensatz zu Fortbildungen ist außerdem ein flächendeckender Einsatz möglich.

Allerdings verwenden Lehrkräfte Unterrichtsmaterialien sehr unterschiedlich und somit variiert auch ihre Wirkung auf den Unterricht (Remillard, 2005; Davis, Janssen & van Driel, 2016). Nutzung und Implementation hängen unter anderem von Faktoren wie Überzeugungen, Wissen oder Erfahrungen der Lehrkräfte ab. Die Interaktion dieser Einflussfaktoren ist jedoch bislang kaum systematisch untersucht worden.

Daher richtet sich der Fokus dieser Studie auf das Zusammenspiel verschiedener Faktoren bei der Implementation empirisch fundierter Unterrichtsmaterialien im Physikunterricht. Aus den Erkenntnissen werden anschließend Hypothesen abgeleitet, wie Unterrichtsmaterialien gezielter für die Bedürfnisse von Physiklehrkräften weiterentwickelt werden könnten,

um diese in Zukunft vermehrt an Schulen implementieren zu können.

### 2. Forschungsstand

Unterrichtsmaterialien können Lehrkräften Anregungen für ihre Unterrichtspraxis liefern und dadurch ihre professionelle Weiterentwicklung fördern. Beispielsweise konnten Arias et al. (2017) in einer Studie mit fünf Grundschullehrkräften im Fach Science einen erhöhten Lernzuwachs bei den Schülerinnen und Schülern feststellen, welche von Lehrkräften mit zusätzlichen Unterstützungsangeboten für die Unterrichtspraxis in den Materialien unterrichtet wurden.

Ebenso konnten Charalambous und Hill (2012) aus Unterrichtsanalysen von neun Mathematiklehrkräften schließen, dass die Verwendung empirisch fundierter Unterrichtsmaterialien die Unterrichtsqualität erhöhen kann.

Es liegen weiterhin Hinweise vor, dass die Nutzung von Unterrichtsmaterialien das professionelle Wissen und die Selbstwirksamkeitserwartungen von Grundschullehrkräften steigern kann (Möller, 2010).

Nichtsdestotrotz etablieren sich erfolgreich erprobte innovative Unterrichtskonzepte selten an Schulen (Wilhelm, Tobias & Waltner, 2012), obwohl Unterrichtsmaterialien in der Unterrichtsvorbereitung eine entscheidende Rolle spielen (Bromme, 1981; Vollstädt, Tilmann, Rauin, Höhmann & Tebrügge, 1999). Bei näherer Betrachtung überrascht dies nicht, da Physiklehrkräfte bei der Unterrichtsplanung vor allem auf den Lehrplan oder Schulbücher und weniger

auf Lehrerzeitschriften oder Begleitmaterialien zurückgreifen (Härtig, Kauertz & Fischer, 2012); letztere jedoch typischerweise fachdidaktische Innovationen vermitteln. Um die Auswahl von Materialien und das Vorgehen bei der Unterrichtsplanung von Lehrkräften besser nachvollziehen zu können, wird im Folgenden ihr Nutzungsverhalten näher betrachtet.

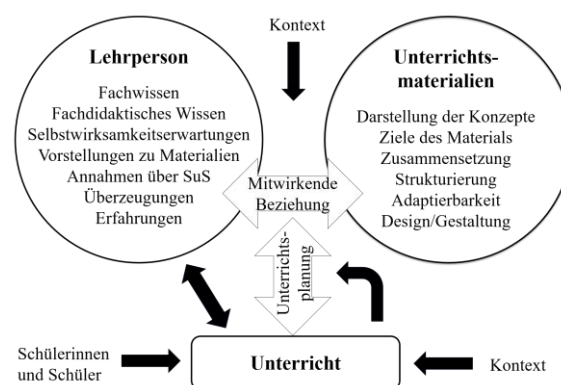
Lehrkräfte scheinen vor allem konkrete inhaltliche Ideen und weniger allgemeine pädagogische Hinweise für den Unterricht aus Unterrichtsmaterialien zu übernehmen (Schneider & Krajcik, 2002).

Ferner stellen Land, Tyminski und Drake (2015) auf Grundlage von Erkenntnissen einer Studie aus dem Fach Mathematik mit 47 Lehramtsstudierenden die folgende Hypothese auf: „PSTs [pre-service teachers], or perhaps any other initial readers of curriculum materials, will not always notice the educative features of a lesson plan and learn something from them“ (ebd., 24). Zudem stellte Gassmann (2013) häufig eine unreflektierte Übernahme von Unterrichtsmaterialien bei Lehramtsstudierenden fest.

Außerdem ist die Implementation von Unterrichtsmaterialien ein sehr individueller Prozess, der von Faktoren wie Wissen, Überzeugungen oder Erfahrungen der Lehrperson und Unterstützung der Schulleitung beeinflusst wird (Remillard, 2005; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Davis, Palinscar, Smith, Arias & Kademian, 2017). Nach Roehrig et al. (2007) hängt der Grad der Implementation direkt mit den Werthaltungen von Lehrkräften zusammen. Sie berichten aus einer Studie mit 27 Chemielehrkräften, dass eher traditionell orientierten Studienteilnehmer das bereitgestellte innovative Konzept kaum umsetzten im Gegensatz zu stärker schülerorientierten Lehrkräften. Dies deckt sich mit Befunden von Beerenwinkel und Gräsel (2005), denen zufolge Lehrkräfte mit geringer Akzeptanz der Unterrichtsmaterialien deutlich weniger im Unterricht implementierten.

Darüber hinaus folgt aus einer Studie zu einem neuen Lehrplan im Fach Mathematik in Schweden ( $N = 197$ ), dass trotz einer positiven Haltung vieler Lehrkräfte zum Material die von den Autoren intendierten Ziele nur selten implementiert wurden (Boesen et al., 2014). Bergqvist und Berqvist (2017) merken dazu an, dass neben lehrerspezifischen Merkmalen auch die Gestaltung der Unterrichtsmaterialien für die Implementierung eine zentrale Rolle spielt. Bei einer Analyse des genannten schwedischen Lehrplans stellten sie fest, dass der Text aus langen komplexen Sätzen besteht und die Ziele wenig präzise formuliert sind. Daraus resultiert ein größerer Interpretationsspielraum seitens der Lehrkräfte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Implementation von Unterrichtsmaterialien ein komplexer Prozess ist, welcher sowohl von Lehrercharakteristika als auch von materialspezifischen Aspekten und dem Schulkontext abhängt (s. Abb. 1).



**Abb.1:** Zusammenspiel von Lehrercharakteristika und Materialeigenschaften bei der Gestaltung von Unterricht (adaptiert nach Remillard, 2005).

Nach Lendrum und Humphrey (2012) ist gerade das Zusammenspiel dieser Faktoren für die Implementation entscheidend. Allerdings besteht zu diesen Wirkmechanismen noch ein großes Forschungsdesiderat (Davis et al., 2016).

Darüber hinaus mangelt es an Untersuchungen zum Fach Physik; die meisten der vorgestellten Studien beziehen sich auf die Fächer Mathematik oder Science. Außerdem liegen zu diesem Forschungsgebiet vor allem Untersuchungen aus den USA vor, deren Ergebnisse möglicherweise aufgrund des anderen Rollenverständnisses von Lehrkräften und unterschiedlichen curricularen Vorgaben nicht direkt auf das deutsche Bildungssystem übertragbar sind (Westbury, Tobias & Waltner, 2000).

Es lässt sich insgesamt folgern, dass der Einsatz von empirisch fundierten Unterrichtsmaterialien zur professionellen Weiterbildung von Lehrkräften durchaus Erfolg versprechend ist, um aber eine vermehrte Implementation zu erreichen, müssen zunächst der Bedarf an Unterrichtsmaterialien und die Hintergründe zur Nutzung von Lehrkräften noch besser verstanden werden.

Ziel dieser Studie ist daher, die Wirkzusammenhänge zwischen den verschiedenen möglichen Einflussfaktoren bei der Materialnutzung für den Physikunterricht näher zu charakterisieren.

### 3. Forschungsfragen

Um mehr über die Implementation von Unterrichtsmaterialien im Physikunterricht zu erfahren, werden die folgenden Forschungsfragen untersucht: Wie nutzen Lehrkräfte ein empirisch fundiertes Unterrichtskonzept bei der Unterrichtsvorbereitung und wie setzen sie es im Unterricht um?

Es wird dabei genauer betrachtet, welche Faktoren die Planungsentscheidungen von Lehrkräften beeinflussen und auf welche Elemente (wie z. B. Aufgaben oder Versuchsbeschreibungen) bevorzugt zurückgegriffen wird. Weiterhin wird untersucht, ob typische Handlungs- und Nutzungsmuster identifiziert werden können.

#### 4. Forschungsdesign

Zur Untersuchung des Nutzungsverhalten von Unterrichtsmaterialien wurde zunächst ein bereits erfolgreich erprobtes Unterrichtskonzept ausgewählt. Dazu wurden verschiedene empirisch fundierte Unterrichtskonzepte nach Umfang, Unterstützungsmaßnahmen für Lehrkräfte und Lehrplanpassung in Nordrhein-Westfalen verglichen. Die Wahl fiel auf das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik, welches im Folgenden kurz vorgestellt wird.

Das ausgewählte Unterrichtskonzept ist für die Oberstufe entwickelt worden und eignet sich sowohl für den Grundkurs als auch für den Leistungskurs (Müller, 2008). Es wurde unter besonderer Berücksichtigung typischer Schülervorstellungen zum Thema Quantenmechanik entwickelt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Begriffsbildung und dem qualitativen Verständnis von Quantenphysik. Das Konzept enthält verschiedenen Elemente wie Arbeitsblätter, Lehrtext oder Simulationen, welche online verfügbar sind.

Zur Untersuchung des Nutzungsverhaltens dieses Unterrichtskonzepts wurde ein qualitatives Forschungsdesign gewählt, um – dem Stand der Forschung entsprechend – explorativ Erkenntnisse zu generieren (Krüger, Parchmann & Schecker, 2014). Dabei werden zehn Lehrkräfte bei einer Unterrichtsreihe zum Thema Quantenmechanik begleitet. Ihnen wird im Vorfeld das oben beschriebene Münchener Unterrichtskonzept in Form eines Ordners mit beiliegender DVD als Anregung zur Verfügung gestellt. Es werden zu Beginn und zum Ende der Unterrichtsreihe mit den Teilnehmern leitfadengestützte Interviews geführt, um mehr über ihr Vorgehen bei der Unterrichtsplanung, ihre Vorstellungen zum Lehren und Lernen und ihre Nutzung von Unterrichtsmaterialien zu erfahren.

Außerdem werden ausgewählte Unterrichtsstunden videographiert und in anschließenden halbstrukturierten Stimulated Recall-Interviews mit den Probanden reflektiert. Ziel dieser Nachbesprechungen ist es, mehr über die Planungsentscheidungen der Lehrkräfte herauszufinden und unbewusste Denkprozesse aufzudecken. Um einen authentischen Einblick in den Unterricht zu bekommen, werden insgesamt drei Unterrichtsstunden zu den Themen Photoeffekt und Elektronen als Quantenobjekte sowie eine Übungsstunde per Video aufgezeichnet. Darüber hinaus werden Arbeitsblätter und Klassenbucheinträge der Unterrichtsreihe gesammelt.

Durch die methodologische Triangulation sollen die Aussagekraft und die Validität der Ergebnisse erhöht werden (Bortz & Döring, 2006).

#### 5. Materialanalyse

Um mögliche Wirkzusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren der Materialnutzung untersuchen zu können, wurde zunächst eine Analyse des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenme-

chanik vorgenommen, um charakteristische Materialeigenschaften zu identifizieren. Dazu wurden Kriterien wie *Zieltransparenz*, *Unterschiede zum klassischen Lernweg* und *Gestaltung* näher analysiert (Beerenwinkel & Gräsel, 2005; Desimone, 2009; Bergqvist & Bergqvist, 2017).

Aus der Materialanalyse lässt sich folgern, dass das Unterrichtskonzept kohärent und strukturiert aufgebaut ist, wobei die vom Autor verfolgten Ziele nur indirekt vermittelt werden (Müller, 2008). Das Konzept enthält sowohl Elemente für die Unterrichtsvorbereitung als auch für den Einsatz im Unterricht. Dabei richtet sich der Fokus vor allem auf fachliche und weniger auf didaktische oder methodische Anregungen, wobei die Themenauswahl und die Reihenfolge durch fachdidaktische Überlegungen begründet sind.

#### 6. Pilotierung

Ziel der Pilotierung ist es, die Interviewleitfäden zu erproben und erste Vermutungen zur Implementation aufzustellen, um die Leitfäden zu optimieren und gezieltere Nachfragen stellen zu können. Weiterhin wird anhand der erhobenen Daten ein erstes Kategoriensystem für die Auswertung entwickelt. Somit stellt die Pilotierung gemäß eines Grounded Theory-Ansatzes den ersten Zyklus der Phasen Datenerhebung, Kodierung und Analyse dar, welche in der Haupterhebung erneut durchlaufen werden, um das Kategoriensystem weiterzuentwickeln (Bortz & Döring, 2006).

Die Stichprobe der Pilotierung setzt sich aus zwei Quereinsteigern (promoviert in Physik bzw. physikalischer Chemie) und zwei regulär ausgebildeten Physiklehrkräften aus den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen zusammen. Alle Teilnehmer sind männlich. Außer einem Lehrer haben alle Probanden nur wenig Erfahrung im Unterrichten von Quantenmechanik.

Das Einstiegsinterview wurde mit allen vier Studienteilnehmern pilotiert, welches im Schnitt 68 Minuten dauerte.

Zwei der Lehrkräfte wurden darüber hinaus auch während ihrer Unterrichtsreihe zur Quantenmechanik begleitet, wobei jeweils ein bzw. zwei Stimulated Recall-Interviews und das Abschlussinterview geführt wurden (durchschnittliche Länge 31 Minuten bzw. 58 Minuten).

#### 7. Datenauswertung

Die Interviews der Pilotierung wurden verschriftlicht und zur Entwicklung eines Kategoriensystems mittels qualitativer Inhaltsanalyse verwendet (Kuckartz, 2016).

Es wurden zunächst Hauptkategorien mit zugehörigen Subkategorien in Anlehnung an bisherige Forschungserkenntnissen entwickelt (Vollstädt et al. 1999; Willer, 2003; Beerenwinkel & Gräsel, 2005; Remillard, 2005; Davis et al., 2017). Anschließend

wurden diese in Abgleich mit dem Textmaterial erweitert und hinsichtlich der Passung zur Klärung der Forschungsfragen überarbeitet. Es ergab sich die folgende Aufteilung:

- Vorstellungen zum Lehren und Lernen
- Vorgehen bei der Unterrichtsplanung
- Materialnutzung
- Aussagen zum bereitgestellten Unterrichtskonzept
- Einstellungen zur Quantenmechanik

Die ersten drei Hauptkategorien erfassen das allgemeine Vorgehen im Planungsprozess und die generelle Nutzung von Unterrichtsmaterialien. Die Hauptkategorie *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* ist unterteilt in Unterrichtsstil, Einstellungen zum Experimentieren und Berücksichtigung des Vorwissens. Die zweite Hauptkategorie *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* umfasst den Planungsprozess und Kriterien bei der Unterrichtsplanung. Unter der Materialnutzung werden die Kategorien *Kriterien für die Nutzung von Unterrichtsmaterialien* und *Materialien für das Selbststudium* subsumiert.

Darüber hinaus beziehen sich die letzten beiden Hauptkategorien auf kontextspezifische Aspekte und konkret auf die Nutzung des Münchener Unterrichtskonzepts. Aussagen zu dem bereitgestellten Unterrichtskonzept werden durch die Subkategorien *Erster Eindruck*, *Geplanter Einsatz* und *Verwendete Elemente* erfasst. Die letzte Hauptkategorie zu den Einstellungen zur Quantenmechanik gliedert sich in Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenmechanik, Schlüsselstellen der Quantenmechanik im Unterricht, Schwierigkeiten beim Unterrichten und fachliche Einstellungen.

### 8. Erste Ergebnisse: Vorstellung einer Fallstudie

In diesem Kapitel wird anhand des Falls Timo Berg (Name geändert) beispielhaft demonstriert, welche Rückschlüsse aus den erhobenen Daten mithilfe des entwickelten Kategoriensystems gezogen werden können. Zudem soll die Fallbetrachtung einen ersten Eindruck über mögliche Handlungsweisen beim Unterrichten von Quantenmechanik vermitteln. Zu Timo Berg liegen ausgewertet das Einstiegsinterview und zwei Stimulated Recall-Interviews vor.

Timo Berg arbeitet seit vier Jahren als Lehrer für die Fächer Mathematik und Physik an einem Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Er hat Physik studiert und absolvierte nach seiner Promotion das Referendariat als Quereinsteiger. Das Thema Quantenmechanik lehrt er in der Schule zum dritten Mal.

Derzeit unterrichtet er einen Grundkurs mit 23 Schülerinnen und Schülern. Vor dem Thema Quantenmechanik behandelte er Elektronen im Magnetfeld. Die Unterrichtsreihe zur Quantenmechanik bestand insgesamt aus zehn Unterrichtsstunden. Aus den Klassenbucheinträgen sind die Themen der einzelnen Un-

terrichtsstunden ersichtlich. Er begann die Unterrichtsreihe mit der Betrachtung der Energiequantelung von Licht. Dazu behandelte er zunächst den Hallwachs-Effekt und anschließend den äußeren Photoeffekt mittels Gegenfeldmethode. Danach ging er zu Elektronen als Quantenobjekte über, indem er mit einer Elektronenbeugungsröhre Interferenzerscheinungen von Elektronen zeigte. Zum Ende der Unterrichtsreihe führte er die statistische Deutung der Quantenmechanik ein.

In den Interviews berichtet Timo Berg ausführlich über sein Vorgehen und seine Gedanken bei der Unterrichtsplanung. Sein Vorgehen ist durch eine schüleraktivierende Haltung gekennzeichnet, welche sich unter anderem darin ausmachen lässt, dass er in seiner Unterrichtsplanung das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt und sich überlegt, wie er sie ins Unterrichtsgeschehen einbeziehen kann. Diese Aspekte sind unter der ersten Hauptkategorie *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* subsumiert.

Aus seinen Aussagen lässt sich zur Nutzung von Materialien ableiten, dass für ihn ein hoher Anteil von Übungsaufgaben ein entscheidender Faktor bei der Auswahl von Unterrichtsmaterialien ist. Er nennt zudem, dass er in seinem Unterricht Inhalte früherer Abitur-Aufgaben berücksichtigt, was durch die Kategorie *Planungskriterien für den Unterricht* erfasst wird. Daraus lässt sich schließen, dass für ihn Aufgaben im Physikunterricht einen hohen Stellenwert einnehmen und ihm die Vorbereitung seiner Schülerinnen und Schüler auf Klausuren, insbesondere die Abiturklausur, sehr wichtig zu sein scheint.

Als weitere wichtige Auswahlkriterien für Unterrichtsmaterialien zählt er angemessene Anforderungen für die Schülerinnen und Schüler, fachliche Korrektheit und einen nicht zu hohen Arbeitsaufwand bei der Umsetzung der Materialien für ihn als Lehrperson auf. Auch die verfügbare Unterrichtszeit beeinflusst seine Wahl von Unterrichtsmaterialien beziehungsweise den Grad der Umsetzung und darüber hinaus auch seine Unterrichtsplanung, woraus sich folgern lässt, dass die Unterrichtszeit anscheinend insgesamt bei seinem Vorgehen ein zentraler Faktor ist (Kategorie: *Planungskriterien für den Unterricht*).

Zu den genannten Kriterien zur Materialauswahl lässt sich zusammenfassend sagen, dass Timo Berg annähernd so viele gestalterische wie inhaltliche Aspekte benennt (10 bzw. 13 Nennungen). Die äußere Form der Materialien scheint neben dem Inhalt durchaus Einfluss auf seine Nutzung von Unterrichtsmaterialien zu haben:

„Dann waren das vier, fünf Aufgaben, wo ich dachte: Okay, die ersten drei nimmst Du. Und ehm wollte aber jetzt nur eine Seite haben. Nicht, nicht zwei Seiten kopieren.“ (Stimulated Recall 2, 6-7)

Darüber hinaus berichtet der Lehrer, dass er Unterrichtsmaterialien neben der Vorbereitung von Unterricht auch zur eigenen professionellen Weiterbildung

nutzt. Dazu liest er fachdidaktische und physikalische Fachzeitschriften und Lehrbüchern oder geht auf Fortbildungen. Interessant ist, dass er sowohl für allgemeine Anregungen als auch zur gezielten Vorbereitung eines neuen Themas diese Materialien nutzt.

Seiner Meinung nach fehlen dem bereitgestellten Unterrichtskonzept Texte für Schülerinnen und Schüler. Weiterhin kritisiert er, dass die enthaltenen Simulationen nur bei Windows funktionieren und viel Vorbereitungszeit im Unterricht benötigen würden. Er schätzt daher den Zeitaufwand als zu hoch ein, sodass er sich gegen den Einsatz der Simulationen im Unterricht entscheidet. Erneut ist erkennbar, dass der Proband die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit bei seiner Unterrichtsplanung und bei der Auswahl von Unterrichtsmaterialien als ein zentrales Kriterium darstellt.

Auffällig ist, dass er keine positiven Aspekte zum Unterrichtskonzept anführt. Jedoch ist seinen Äußerungen zu entnehmen, dass er dem Unterrichtskonzept Anregungen wie beispielsweise die Betonung der Präparation von Quantenobjekten im Unterschied zu klassischen Teilchen entnimmt. Dadurch ist seine genaue Haltung zum Unterrichtskonzept unklar.

Darüber hinaus merkt er an, dass er im Grundkurs nicht über die Themen des qualitativen Basiskurses aus dem Konzept hinausgeht. Dies ist konsistent mit den Klassenbucheinträgen, aus denen abzulesen ist, dass der Lehrer weder auf die Unbestimmtheitsrelation oder die mathematische Beschreibung der Wellenfunktion noch auf Potentialtöpfe im Unterricht eingegangen ist, welche Inhalt des Aufbaukurses sind.

Weiterhin berichtet Timo Berg, dass er ein Arbeitsblatt mit Verständnisfragen zum Photoeffekt als Anregung für eine Arbeitsphase nutzte, in welcher sich die Schülerinnen und Schüler Fragen zum Photoeffekt überlegen sollten. Hier zeigt sich seine generell schüleraktivierende Haltung, da er versucht, die Schülerinnen und Schüler im Unterricht einzubeziehen. Er setzt noch ein weiteres Arbeitsblatt aus den bereitgestellten Materialien mit Übungsaufgaben zu Quantenobjekten im Unterricht ein. Des Weiteren gibt er an, den Lehrtext gelesen zu haben, ihn aber nicht direkt im Unterricht angewendet zu haben. Gleichwohl entnahm er dem Lehrtext ein Gedankenexperiment zum Doppelspaltversuch mit einzelnen Photonen, welches er im Unterricht einbrachte.

Überdies lässt sich aus seinen Aussagen zur Kategorie *Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenmechanik* ableiten, dass er sich insgesamt beim Unterrichten von Quantenmechanik generell sicher fühlt.

„Also ich fühle mich deswegen relativ sicher, weil ich Physiker bin. [...] Was ich auch vorhin gesagt habe, ich sehe mich wirklich als Fachmann.“ (Interview 1, 42)

Im Detail berichtet er jedoch, dass er beim historischen Gang, Interpretationsfragen der Quantenmechanik und verschränkten Zuständen unsicher sei. Insbesondere bildet die Deutung der Theorie der Quantenmechanik einen zentralen Schwerpunkt im bereitgestellten Unterrichtskonzept, worauf der Lehrer allerdings nicht eingeht. Daraus lässt sich möglicherweise schließen, dass er diesen Schwerpunkt nicht erkannt hat.

Durch die Kategorie *Schlüsselstellen der Quantenmechanik für den Physikunterricht* wird ersichtlich, dass sein Fokus beim Unterrichten von Quantenmechanik auf den Bruch zur klassischen Physik gerichtet ist. Hierbei fällt auf, dass Timo Berg seine Aussagen nicht weiter ausdifferenziert, sondern stattdessen vage Formulierungen wie die folgende wählt:

„[...] ich versuche es ja immer so ein bisschen herauszukitzeln, an einer Stelle zu greifen, wo etwas nicht passt, so kognitive Dissonanz.“ (Stimulated Recall 2, 2)

Dadurch bleiben die genauen Ziele des Lehrers in der Unterrichtsreihe zur Quantenmechanik unklar. Allerdings scheinen diese auf ein qualitatives Verständnis gerichtet zu sein, da er angibt, den Mathematisierungsgrad in der Schule eher gering halten zu wollen und auf das Niveau seiner Schülerinnen und Schüler anzupassen. Auch hier ist erneut seine schüleraktivierende Haltung erkennbar. Diese Einstellung spiegelt sich insofern in seinem Vorgehen wider, als dass er den quantitativen Zugang des Aufbaukurses des Münchener Unterrichtskonzepts nicht weiter betrachtet.

Seiner Meinung nach sind Lernschwierigkeiten für die Schülerinnen und Schüler zum Thema Quantenmechanik die Interpretation der Messergebnisse wie beispielsweise beim Photoeffekt und der hohe Abstraktionsgrad. Weiterhin zählt er viele Herausforderungen für sich als Lehrperson beim Unterrichten von Quantenmechanik auf, wie beispielsweise geeignete Veranschaulichungen zu finden oder trotz geringer mathematischer Fertigkeiten die Interessen der Schülerinnen und Schüler beispielsweise an verschränkten Zuständen zu berücksichtigen. Trotz der allgemein positiven Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenmechanik sieht der Lehrer folglich an verschiedenen Stellen Schwierigkeiten und damit verbundene Erfolgsunsicherheiten.

Hinzu kommen missverständliche Aussagen des Lehrers zur Quantenmechanik wie beispielsweise die folgende:

„[...] das ist ja die Quantenmechanik, die eine Wellenbeschreibung ist, aber vorher und nachher habe ich sozusagen im Prinzip Teilchen.“ (Stimulated Recall 2, 18)

Diese Äußerung deutet auf eine dualistische Vorstellung des Probanden hin, was zu seinen geringen Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich von Deutungsfragen der Quantenmechanik passen würde.

Aus seinen Vorstellungen zur Quantenmechanik wird insgesamt deutlich, dass er die Quantenmechanik als mathematische Theorie, welche nicht genau verstanden werden muss, auffasst. Interessanterweise stimmt diese Einstellung nicht mit den eher an einem qualitativen Verständnis orientierten Zielen seines Physikunterrichts überein.

### 9. Zusammenfassung & Diskussion

Aus der Fallstudie lässt sich folgern, dass das Vorgehen des Lehrers durch eine schüleraktivierende Haltung gekennzeichnet ist. Diese beeinflusst seine Nutzung von Unterrichtsmaterialien wie beispielsweise die Wahl von Arbeitsblättern für Übungsphasen. Darüber hinaus scheint es für ihn eine zentrale Rolle zu spielen, wie viel Zeit er im Unterricht zur Verfügung hat.

Auffällig ist, dass Timo Berg für das Selbststudium nicht auf Materialien aus dem Internet zurückgreift, obwohl er das bereitgestellte Unterrichtskonzept ausschließlich digital verwendet. Dies könnte mit der wahrgenommenen geringeren Vertrauenswürdigkeit der Quellen zusammenhängen (Bergqvist & Bergqvist, 2017).

Eine weitere interessante Erkenntnis ist, dass für diesen Lehrer die äußere Gestaltung von Unterrichtsmaterialien einen fast ebenso hohen Stellenwert wie die inhaltlichen Aspekte einnimmt. Falls sich diese Haltung auch bei weiteren Lehrkräften beobachten lässt, wäre dies ein wichtiger Hinweis für die Materialentwicklung.

Weiterhin kann festgehalten werden, dass Timo Berg verschiedene Elemente des bereitgestellten Unterrichtskonzepts verwendet; insgesamt scheint das Konzept jedoch seinen Unterrichtsgang nicht wesentlich zu beeinflussen. Stattdessen sucht er sich vereinzelte Elemente aus dem Konzept heraus und fügt sie in seine Unterrichtsreihe ein. Ähnliches beobachteten auch schon Vollstädt et al. (1999) bei der Nutzung von Lehrplänen.

Der Proband formuliert seine Ziele für den Unterricht nur unpräzise, es ist jedoch ersichtlich, dass er nicht die intendierten Ziele des Unterrichtskonzepts verfolgt. Dies könnte entweder auf die nur implizite Zielformulierung des Konzepts (Boesen et al., 2014; Bergqvist & Bergqvist, 2017) oder auf nicht vollständig bewusste und nur schwierig zu beeinflussende Absichten von Lehrkräften zurückzuführen sein (Rohrig et al., 2007; Davis et al., 2017).

Aus der Vorstellung der Fallstudie wird deutlich, dass aus dem entwickelten Kategoriensystem viele Rückschlüsse über das Vorgehen und die Einstellungen des Probanden gezogen werden können und dass die Kategorien eine detaillierte Beschreibung des Falls ermöglicht. Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen, wird in einem nächsten Schritt eine Überprüfung der Interraterreliabilität durch einen zweiten Kodierer vorgenommen.

Die Erkenntnisse dieser Fallstudie können zwar lediglich explorative Hinweise für das Nutzungsverhalten von Unterrichtsmaterialien liefern, dennoch ermöglichen sie einen ersten detaillierten Einblick in die komplexen Wirkzusammenhänge bei der Implementation von Unterrichtsmaterialien (Remillard, 2005). Weiterhin können Parallelen zu Befunden vorausgehender Studien gezogen werden, sodass auf Grundlage der Literatur und der vollständigen Auswertung aller vier Pilotfälle erste Hypothesen zur Implementation von empirisch fundierten Unterrichtsmaterialien aufgestellt werden können. Diese werden anschließend in der Haupterhebung näher untersucht. Insbesondere durch den Vergleich verschiedener Fälle auf Basis des theoretischen Samplings können somit neue Erkenntnisse gewonnen werden (Bortz & Döring, 2006).

### 10. Literatur

Arias, Anna; Smith, Sean; Davis, Elizabeth; Marino, John-Carlos; Palinscar, Annemarie (2017): Justifying Prediction: Connecting Use of Educative Curriculum Materials to Students' Engagement in Science Argumentation. In: *Journal of Science Teacher Education*, 28, 1, 11-35.

Beerenwinkel, Anne; Gräsel, Cornelia (2005): Texte im Chemieunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 21-39.

Bergqvist, Ewa; Bergqvist, Tomas (2017): The Role of the Formal Written Curriculum in Standards-based Reform. In: *Journal of Curriculum Studies*, 49, 2, 149-168.

Boesen, Jesper; Helenius, Ola; Bergqvist, Ewa; Bergqvist, Tomas; Lithner, Johan; Palm, Torulf; Palmberg, Björn (2014): Developing Mathematical Competence: From the Intended to the Enacted Curriculum. In: *Journal of Mathematical Behavior*, 33, 72-87.

Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2006): *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bromme, Rainer (1981): *Das Denken von Lehrern bei der Unterrichtsvorbereitung*. Weinheim: Beltz.

Charalambous, Charalambos; Hill, Heather (2012): Teacher Knowledge, Curriculum Materials, and Quality of Instruction: Unpacking a Complex Relationship. In: *Journal of Curriculum Studies*, 44, 4, 443-466.

Davis, Elizabeth; Janssen, Fred; van Driel, Jan (2016): Teachers and Science Curriculum Materials: Where We Are and Where We Need to Go. In: *Studies in Science Education*, 52, 2, 127-160.

- Davis, Elizabeth; Palinscar, Annemarie; Smith, Sean; Arias, Anna; Kademian, Sylvie (2017): Uptake, Impact, and Implications for Research and Design. In: *Educational Researcher*, 46, 6, 293-304.
- Desimone, Laura (2009): Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development. In: *Educational Researcher*, 38, 3, 181-199.
- Gassmann, Claudia (2013): Erlebte Aufgabenschwierigkeit bei der Unterrichtsplanung. Wiesbaden: Springer.
- Härtig, Hendrik; Kauertz, Alexander; Fischer, Hans (2012): Das Schulbuch im Physikunterricht. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65, 4, 197-200.
- Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.) (2014): *Methoden in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuckartz, Udo (2016): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim: Beltz.
- Land, Tonia; Tyminski, Andrew; Drake, Corey (2015): Examining Pre-service Elementary Mathematics Teachers' Reading of Educative Curriculum Materials. In: *Teaching and Teacher Education*, 51, 16-26.
- Lendrum, Ann; Humphrey, Neil (2012): The Importance of Studying the Implementation of Interventions in School Settings. In: *Oxford Review of Education*, 38, 5, 635-652.
- Möller, Cornelia (2010): Lehrmittel als Tools für die Hand der Lehrkräfte. Ein Mittel zur Unterrichtsentwicklung? In: *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 28, 1, 97-108.
- Müller, Rainer (2008): Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenphysik. In: *Praxis der Naturwissenschaften*, 57, 6, 19-25.
- Remillard, Janine (2005): Examining Key Concepts in Research on Teachers' Use of Mathematics Curricula. In: *Review of Educational Research*, 75, 2, 211-246.
- Roehrig, Gilian; Kruse, Rebecca; Kern, Anne (2007): Teacher and School Characteristics and Their Influence on Curriculum Implementation. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 7, 883-907.
- Schneider, Rebacca; Krajcik, Joseph (2002): Supporting Science Teacher Learning: The Role of Educative Curriculum Materials. In: *Journal of Science Teacher Education*, 13, 3, 221-245.
- Tobias, Verena (2010): *Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht*. Berlin: Logos.
- Vollstädt, Witlof; Tillmann, Klaus-Jürgen; Rauin, Udo; Höhmann, Katrin; Tebrügge, Andrea (1999): *Eine empirische Studie zur Akzeptanz und Wirkung von Lehrkräften in der Sekundarstufe I*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Westbury, Ian; Hopman, Stefan; Riquarts, Kurt (2000): *Teaching as a Reflective Practice*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Willer, Jörg (2003): *Didaktik des Physikunterrichts*. Frankfurt a. M.: Verlag Harri Deutsch.
- Wilhelm, Thomas; Tobias, Verena; Waltner, Christine (2012): Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In: *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht, Beiträge zur GDCP-Jahrestagung*. Berlin: LIT-Verlag, 31-47.