

Schülervorstellungen zu Wellenphänomenen

- mit qualitativen und quantitativen Methoden zum physikalisch korrekten Wellenmodell -

Sebastian Mendel⁺*, Prof. Dr. Joachim Hemberger⁺, Prof. Dr. André Bresges*

*Institut für Physikdidaktik, Universität zu Köln, Gronewaldstrasse 2, 50931 Köln, ⁺II Physikalisches Institut, Universität zu Köln, Zulpicher Str. 77, 50937 Köln
Mendel@ph2.uni-koeln.de, Andre.Bresges@uni-koeln.de, Hemberger@ph2.uni-koeln.de

Kurzfassung

Der Wellenbegriff ist in der Physik, insbesondere der Schulphysik, von zentraler Bedeutung. Er findet sich sowohl in der Mechanik, Akustik, Optik, Elektrik als auch der Quantenmechanik wieder.

In einer qualitativen Studie wurden Schülerinnen und Schüler mit Hilfe halbstrukturierter Interviews und offenen Fragebögen zu Wellenphänomenen wie etwa Ausbreitungsgeschwindigkeit, Überlagerung und Dämpfung befragt. Es zeigte sich, dass Schülerinnen und Schüler sich mechanischer und wellenspezifischer Denkmodelle als auch Kombinationen aus beidem bedienen, welche mit dem physikalischen Wellenmodell jedoch häufig nicht übereinstimmen. Die Antworten der Schülerinnen und Schüler wurden kategorisiert und aus den gewonnenen Antwortkategorien ein Multiple-Choice-Test generiert.

Die Ergebnisse des Multiple-Choice-Tests liefern wichtige Erkenntnisse über die Vorstellungsstrukturen der Lernenden und werden in einer Lerneinheit gewinnbringend eingesetzt, um den Weg hin zum physikalisch korrekten Wellenmodell zu erleichtern.

1. Einordnung in die Forschungssituation

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Analyse eines Multiple-Choice-Tests über den Themenkomplex Schülervorstellungen zu Wellenphänomenen. Aus den Antworthäufigkeiten der Schülerinnen und Schüler werden neue Rückschlüsse auf bestehende bzw. vorherrschende Wellenmodelle der Lernenden gezogen. Hieraus werden in der Folge Leitlinien für eine Lerneinheit festgelegt mit deren Hilfe den Schülerinnen und Schülern der Schritt von ihrem möglicherweise fehlerhaften hin zum physikalisch richtigen Wellenmodell erleichtert wird.

Der Multiple-Choice-Test basiert auf der bereits in [1] ausführlich beschriebenen qualitativen Studie zu Schülervorstellungen verschiedener Wellenphänomene, welche mit Hilfe von Leitfadeninterviews und offenen Fragebögen durchgeführt wurde. In dieser Studie wurden bereits etablierte Schülervorstellungen vorangegangener Untersuchungen, wobei hier vor allem Wittmann [2,3] und Tongchai [4,5] aber auch Maurines [6], Linder [7] und Osewold [8] zu nennen sind, für den deutschen Sprachraum und insbesondere den Standort Köln bestätigt und um neue Schülervorstellungen ergänzt.

Die Schülerinnen und Schüler haben bereits vielfältige und zum Teil sehr tief verankerte Vorstellungen wenn sie in den Physikunterricht kommen. Dass

diese Vorstellungen den Lernprozess maßgeblich beeinflussen, ist bereits lange Zeit bekannt. So werden in Nachtigall [9] zum Beispiel Ausubel et al. [10] zitiert

Der wichtigste einzelne das Lernen beeinflussende Faktor ist, was der Lernende bereits weiß; bringe dies in Erfahrung und unterrichte demgemäß.

Die Vorstellungen und Denkmodelle der Schülerinnen und Schüler können aus Alltagserfahrungen wie etwa dem Fernsehen und Büchern, Beobachtungen der Umwelt oder aber der Alltagssprache, welche nicht in allen Belangen mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache übereinstimmt, erwachsen (siehe z.B. Duit [11]). Des Weiteren können sich die Schülervorstellungen auch aus dem vorangegangenen Physikunterricht heraus entwickelt haben.

Um Schülervorstellungen von Wellen verstehen und einordnen zu können soll als Grundgerüst DiSessas Denkmodell [12] dienen. DiSessa sieht Wissen als Konstrukt sogenannter P-Prims (phenomenological primitives). Diese P-Prims sind kleine, logisch gebildete Blöcke, die aus Alltagserfahrungen entstehen und uns Grundannahmen für den Ausgang allgemeiner Situationen geben. Eines von DiSessas prominentesten P-Prims ist „Ohm's P-Prim“, welches er folgendermaßen formulierte:

„More effort implies more result; more resistance implies less result; and so on.“

Ein weiteres P-Prim, welches sich auch später in den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler wiederfinden lässt lautet „Smaller objects naturally go go faster. (Bigger Things are slower.)“. DiSessa sieht den Hauptunterschied zwischen einem Novizen und einem Experten erstens in der Auswahl der notwendigen P-Prims und zweitens in deren richtiger Strukturierung.

2. Qualitative Studie

Die qualitative Studie wurde in [1] bereits ausführlich beschrieben und wird im Folgenden nur kurz zusammengefasst. Die Teilnehmer der qualitativen Vorstudie waren Schülerinnen und Schüler der Klassen 8 bis 13 der Schulformen Realschule, Gesamtschule und Gymnasium. Die Teilnehmergruppe war absichtlich sehr inhomogen gewählt, da möglichst viele verschiedene Vorstellungen und Ansichten aufgedeckt werden sollten. Es erwies sich als sehr sinnvoll auch Schüler der Mittelstufe in diese Studie mit einzubeziehen, da sich ihre Antworten als „reiner“ und intuitiver zeigten. Die Oberstufenschüler ließen in ihren Aussagen oft eine Überlagerung von intuitiven Vorstellungen und Schulwissen erkennen.

Die qualitative Studie bestand aus 10 Leitfadeninterviews und 15 offener Fragebögen. Es wurden Fragen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit, Dämpfung, Überlagerung von Wellenpulsen, sowie dem Verhalten von Schallwellen gestellt.

In den meisten Antworten der Schülerinnen und Schüler ist ein sehr mechanisches Wellenmodell zu erkennen, welches mit der newtonschen Mechanik in großen Teilen übereinstimmt. Den Schülerinnen und Schülern ist meist nicht klar, dass die Welle, nur kleine Auslenkungen und ein nicht dispersives Medium vorausgesetzt, eine lokale Störung des umgebenden Mediums ist und somit etwa die Ausbreitungsgeschwindigkeit allein von den Eigenschaften des Mediums abhängt. Ein Großteil der Befragten macht jedoch die Erzeugung des Wellenpulses für dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit verantwortlich. Im Falle der Seilwelle ist dies die Aufwärts-/ Abwärtsbewegung der Hand, mit welcher der Wellenpuls generiert wird. Dieses Phänomen lässt sich analog aus der newtonschen Mechanik ableiten, denn je kräftiger ein Gegenstand geworfen wird, desto schneller fliegt er. Die Befragten begreifen nicht, dass sich die Handbewegung ausschließlich auf die Oszillationsgeschwindigkeit auswirkt, welche senkrecht zur Ausbreitungsgeschwindigkeit verläuft. In besonderem Maße fällt auf, dass die Begriffe Kraft, Impuls, Energie und Schwung nicht genügend differenziert, bzw. sogar synonym verwendet werden. Dieses Problem ist jedoch in der Physikdidaktik bekannt und wird zum Beispiel in [13] eingehend diskutiert.

Ebenso findet sich dieses mechanische Wellenmodell der Schülerinnen und Schüler auch bei der Überlagerung von Wellenpulsen wieder. Auch hier werden den Wellenpulsen Eigenschaften wie Impuls bzw. Masse zugeschrieben. Die Überlagerung wird nicht als störungsfreie Überlagerung sondern vielmehr als Stoßprozess verstanden, bei welchem sich die Wellenpulse abstoßen oder (teilweise) auslösen.

3. Quantitative Erhebung der Schülervorstellungen zu Wellenphänomenen mit Hilfe eines Multiple-Choice-Tests

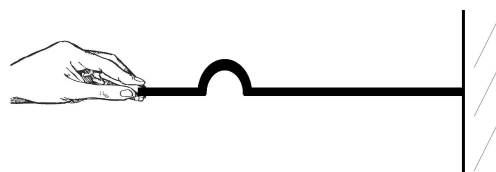
3.1. Studiendesign

Aus den in der qualitativen Studie evaluierten Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler wurde mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [14] ein Kategoriensystem generiert. Mit Hilfe dieses Kategoriensystems wurde ein Multiple-Choice-Test erstellt, welcher in seinen Antwortmöglichkeiten die jeweiligen Kategorien repräsentiert. Der Multiple-Choice-Test umfasst 21 Fragen und ist ebenfalls an vorangegangene Untersuchungen wie von Wittmann [15] und Tongchai [4] angelehnt. Der Test wurde mit insgesamt 110 Schülerinnen und Schülern der Klassen neun bis zwölf zweier Gymnasien durchgeführt. In dieser Arbeit wird auf zwei Fragen, die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die störungsfreie Überlagerung von Wellenpulsen, näher eingegangen. Es wird in der Folge jeweils zuerst die Frage präsentiert, wie sie den Schülerinnen und Schülern im Multiple-Choice-Test vorgelegt wurde. In der sich anschließenden Tabelle sind jeweils die angebotenen Antwortmöglichkeiten mit den zugehörigen Antworthäufigkeiten zu sehen.

3.2. Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die folgende Multiple-Choice-Frage behandelt die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Wellenpulses. Es sind Mehrfachantworten zugelassen, wodurch die Summe der Antworthäufigkeiten größer als 100% ist. Dies wurde bewusst so konzipiert, da die Denkmodelle der Befragten durchaus mit jeweils mehreren Antwortmöglichkeiten kompatibel sein können.

Frage: Ein Seil wird mit einem Ende an der Wand befestigt. Das andere Ende wird von einem Schüler festgehalten und gespannt (siehe Zeichnung). Durch eine Auf-/ Abwärtsbewegung mit der Hand wird ein Puls (Wellenberg) erzeugt, der eine gewisse Zeit benötigt bis er die Wand erreicht. Wie kann diese Zeit verkürzt werden? (Es können mehrere Antworten ausgewählt werden.)



Antwortmöglichkeiten	Antworthäufigkeit
Die Aufwärts-/Abwärtsbewegung schneller durchführen.	53%
Das Seil mehr spannen.	44%
Die Aufwärts-/Abwärtsbewegung kräftiger durchführen.	34%
Die Aufwärts-/Abwärtsbewegung weniger weit nach oben und unten durchführen.	32%
Keine der Antworten würde einen Puls erzeugen, der weniger Zeit benötigt, die Wand zu erreichen.	12%
Das Seil weiter nach oben halten, damit der Puls nach unten laufen kann.	11%
Die Aufwärts-/Abwärtsbewegung weiter nach oben und unten durchführen.	7%

Tab.1: Multiple-Choice-Antworten zur Ausbreitungsgeschwindigkeit

3.2.1. Beobachtungen

In Tabelle 1 erkennt man, dass ein Großteil der Schülerinnen und Schüler die Art und Weise wie die Aufwärts-/ Abwärtsbewegung der Hand und somit die Erzeugung des Wellenpulses durchgeführt wird, als entscheidenden Parameter für dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit verantwortlich machte. Mit 53% am häufigsten kreuzten die Befragten die Antwortmöglichkeit „Die Aufwärts-/Abwärtsbewegung schneller durchführen“ an. 34% der Schülerinnen und Schüler meinten, dass eine kräftigere Auf-/ Abwärtsbewegung einen Wellenpuls mit höherer Ausbreitungsgeschwindigkeit zur Folge hätte. Eine ebenfalls häufig vertretene Meinung war, dass eine Änderung der Amplitude auch eine Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenpulses impliziert. So antworteten 32% der Befragten, die Bewegung solle weniger weit nach oben und unten durchgeführt werden. 7% jedoch waren vom Gegenteil überzeugt, indem sie angaben die Bewegung solle weiter nach oben und unten durchgeführt werden. Einen anderen Ansatz besaßen 11% der Schülerinnen und Schüler. Sie meinten, dass das Seil weiter nach oben gehalten werden solle. Somit würde der Puls nach unten laufen und folglich die Wand früher erreichen. Immerhin vermuteten auch 44%, und somit knapp die Hälfte der Schülerinnen und Schüler, mit einem stärker gespannten Seil eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit zu erreichen. Dies ist gleichzeitig auch die einzig richtige Antwortmög-

lichkeit. 12% der Befragten hielten keine der angebotenen Antwortmöglichkeiten für plausibel. Ebenfalls erwähnenswert ist, dass lediglich knapp 12% der Schülerinnen und Schüler die Frage komplett richtig beantworteten und ausschließlich das stärker gespannte Seil als richtige Antwortmöglichkeit ausmachten. Die restlichen 32% kreuzten zu der richtigen Antwortmöglichkeit mindestens noch eine Fehlerhafte mit an.

3.2.2. Deutung

Die Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen, welche bereits in der qualitativen Studie (vgl. auch [1]) gesammelt wurden. Hier wurden die Denkmodelle vieler Schülerinnen und Schüler mit dem newtonschen Korpuskelmodell identifiziert. Entsprechend dem newtonschen Modell ordnen die Lernenden dem Wellenpuls Korpuskeleigenschaften zu. Sie messen dem Wellenpuls, durch eine schnellere, kräftigere oder höhere Aufwärts-/ Abwärtsbewegung der Hand, eine höhere Energie- bzw. Impulsmenge bei, woraus wiederum eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit resultiert. Dieses Antwortcluster der Schülerinnen und Schüler lässt sich ebenfalls sehr gut DiSessas formulierten „Ohm's P-Prim“ identifizieren.

Das Denkmodell des Wellenpulses als Korpuskel ist, wenn auch leicht modifiziert, ebenso auf die nächste Antwortmöglichkeit anwendbar. Die Befragten behaupten, dass ein Anheben des Seiles, und das damit verbundene „nach unten laufen“ des Wellenpulses, die Zeitspanne zwischen Erzeugung und Erreichen der Wand verkürzt. Diese Antwort ist in Ihrem Denkmodell auch schlüssig. Durch das Anheben des Seils wird dem Wellenpuls zusätzlich potentielle Energie zugefügt. Diese potentielle Energie wandelt sich in der Folge in kinetische Energie um, was eine Erhöhung der Ausbreitungsgeschwindigkeit zur Folge hat. Ein knappes Drittel der Schülerinnen und Schüler antworteten, dass ein Wellenpuls mit kleinerer Amplitude eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit impliziert. Diese Antwortmöglichkeit begründet sich in der Vorstellung, dass ein größeres Objekt auch einen höheren Widerstand erfährt, was sich wiederum negativ auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit auswirkt. Auch diese Vorstellung lässt auf das von DiSessa definierte P-Prim „Smaller objects naturally go faster. (Bigger things are slower.)“ zurückführen.

Knapp die Hälfte der Schülerinnen und Schüler, genauer 44%, antworteten, dass aus einem stärker gespannten Seil eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenpulses resultiert. Dies ist auch die einzig korrekte Antwort. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenpulses hängt allein vom Trägermedium ab, auf welchem sich die Welle bewegt. Die Generierung des Wellenpulses in Form der Aufwärts-/ Abwärtsbewegung wirkt sich allein auf die Oszillationsbewegung aus, welche bei einer transversalen Welle senkrecht zur Ausbreitungsge-

schwindigkeit verläuft. Somit hat die Art wie die Aufwärts-/ Abwärtsbewegung mit der Hand durchgeführt wird ausschließlich Auswirkungen auf die Form des Wellenpulses. Je länger die Handbewegung andauert, desto breiter wird der Wellenberg, bzw. je höher sie ausgeführt wird, desto größer ist dessen Amplitude. Lediglich knapp 12% der Befragten absolvierten die Aufgabe komplett richtig, d.h. sie kreuzten zu der korrekten Antwort keine weitere falsche Antwortmöglichkeit an. Diese Tatsache zeigt, dass auf Seiten der Schülerinnen und Schüler Denkmodelle existieren, welche sowohl die Generierung des Wellenpulses als auch die Eigenschaften des Trägermediums als mögliche Faktoren der Ausbreitungsgeschwindigkeit parallel zulassen.

3.3. Überlagerung von Wellenpulsen zum Zeitpunkt der maximalen Überlagerung

Diese Aufgabe des Multiple-Choice-Tests thematisiert die störungsfreie Überlagerung zweier Wellenpulse zum Zeitpunkt der maximalen Überlagerung.

Frage: Zwei Pulse bewegen sich aufeinander zu (siehe Abbildung). Beide Pulse haben eine Geschwindigkeit von 1 cm/s , wobei ein Kästchen $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ entspricht. Wie sieht das Bild **fünf** Sekunden später aus?

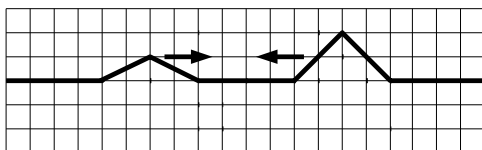


Abb. 2: Überlagerung von Wellenpulsen

Antwortmöglichkeiten	Antworthäufigkeit
	45%
	28%
	20%
	6%

Tab.2: Multiple-Choice-Antworten zur Ausbreitungsgeschwindigkeit

3.3.1. Beobachtung

Es ist erfreulich hervorzuheben, dass die richtige Antwort gemäß des Superpositionsprinzips von den Schülerinnen und Schülern mit 45% am häufigsten genannt wurde. Jedoch lagen auch bei dieser Frage viele Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler vor, welche mit dem Superpositionsprinzip nicht vereinbar sind. 28% der Befragten antworteten, dass sich der kleinere Wellenpuls während des Zeitpunkts der maximalen Überlagerung im Inneren des großen Wellenpulses befindet. Insgesamt 20% der Lernenden vermuteten, dass sich die gleichen Teile der Pulse auslöschen und als Resultat zum Zeitpunkt der maximalen Überlagerung lediglich deren Differenz zurück bleibt. Knapp 6% der Schülerinnen und Schüler hielten eine komplette Auslöschung für wahrscheinlich, sodass keiner der beiden Pulse mehr zu sehen ist.

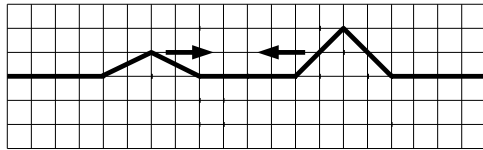
3.3.2. Deutung

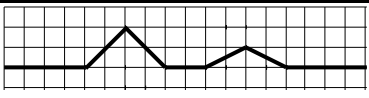
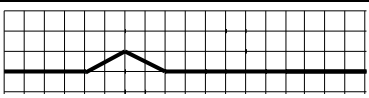

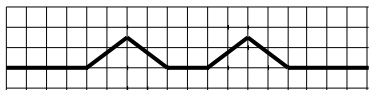
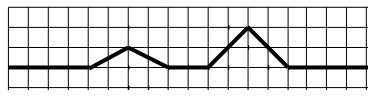
28% der Befragten haben die Vorstellung, dass der kleine Wellenpuls vom Größeren „überspült“ wird. Diese „Überspülvorstellung“ könnte etwa aus der Alltagsbeobachtung resultieren, dass kleinere Objekte wie Steine am Strand von einer größeren Welle überspült werden und danach wieder auftauchen. Bereits in der vorangegangenen qualitativen Studie fiel auf, dass viele Schülerinnen und Schüler bei der Überlagerung der Wellenpulse eine Art Stoßprozess vermuten. So besitzen 20% der Befragten eine Destruktionsvorstellung. Sie erwarten, dass sich die gleichen Teile der Wellenpulse auslöschen und als Ergebnis die Differenz bestehen bleibt. Eine weitere Antwortmöglichkeit, welche den Charakter eines Stoßprozesses verkörpert stellt die komplette Auslöschung dar. 6% der Lernenden hält es für wahrscheinlich, dass bei dem „Zusammenprall“ kein Wellenpuls zurück bleibt. Die Schülerinnen und Schüler, welche die oben genannten Vorstellungen besitzen, sehen den Wellenpuls nicht als lokale Störung des Mediums, welche sich diesen Gesetzmäßigkeiten entsprechend ausbreitet und überlagert, sondern geben ihnen gemäß dem newtonschen Korpuskelmodell die Teilcheneigenschaften eines Einzelobjekts (Korpuskels). Entsprechend dem Superpositionsprinzip, ist die von 45% der Befragten gewählte Antwort der Addition beider Wellenpulse korrekt. Die Einzelauslenkungen der beiden Wellenpulse werden an jedem Punkt des Seiles addiert, sodass sich ein Wellenpuls ergibt, welcher aus der Summe der beiden Einzelamplituden besteht.

3.4. Überlagerung von Wellenpulsen nach dem Zeitpunkt der maximalen Überlagerung

In der folgenden Aufgabe des Multiple-Choice-Tests wird auf die störungsfreie Überlagerung zweier Wellenpulse **nach** dem Zeitpunkt der maximalen Überlagerung eingegangen.

Frage: Zwei Pulse bewegen sich aufeinander zu. Beide Pulse haben eine Geschwindigkeit von 1cm/s , wobei ein Kästchen $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ entspricht. Wie sieht das Bild **acht** Sekunden später aus?



Antwortmöglichkeiten	Antworthäufigkeit
	35%
	29%
	17%
	14%
	5%

Tab.3: Multiple-Choice-Antworten zur Ausbreitungsgeschwindigkeit

3.4.1. Beobachtung

Auch bei dieser Frage wurde die richtige Antwort wiederum am häufigsten von den Befragten ausgewählt. Jedoch erkannten nur noch 35% der Schülerinnen und Schüler in der störungsfreien Überlagerung der beiden Wellenpulse die richtige Antwort. Sowohl in der vorausgegangenen qualitativen Studie, als auch im Multiple-Choice-Test bereitete dieser Teil der Überlagerungsaufgabe den Befragten größere Schwierigkeiten.

29% der Befragten vermuten einen „Restpuls“, welcher die Amplitudenhöhe der Differenz aus beiden Wellenpulsen besitzt und sich nach links bewegt.

Insgesamt 17% der Befragten haben die Vorstellung, dass sich nach der Überlagerung ein großer Wellenpuls, welcher die Summe der beiden Einzelpulse darstellt, nach links bewegt.

Immerhin 14% der Schülerinnen und Schüler erwarten, dass sich zwei gleich große Wellenpulse bilden, die jeweils in entgegengesetzte Richtungen laufen. Die Amplitudenhöhe der beiden Wellenpulse setzt sich aus dem Mittelwert der vorangegangenen Wellenpulse zusammen.

5% der Schülerinnen und Schüler vermuten nach dem Zeitpunkt der maximalen Überlagerung den kleinen Wellenpuls auf der linken und den großen Wellenpuls auf der rechten Seite.

3.4.2. Deutung

Die zuvor angesprochene Vorstellung der Überlagerung als Stoßprozess ist in diesem Aufgabenteil besonders gut zu erkennen.

29% der Schülerinnen und Schüler antworten gemäß der oben bereits genannten Destruktionsvorstellung. Die gleichen Teile der beiden Wellenpulse eliminieren sich. Die Differenz bleibt bestehen und behält die Ausbreitungsrichtung des ehemals größeren Wellenpulses bei.

17% der Lernenden halten ein Szenario analog zum inelastischen Stoß für wahrscheinlich. Beim inelastischen Stoß zweier Körper „verhaken“ sich diese und bewegen sich zusammen in Richtung des Körpers, welcher vor dem Stoß den höheren Impuls hatte.

Ebenfalls auf einer Stoßvorstellung beruht die Antwortkategorie, welche von 5% der Befragten gewählt wurde. Gemäß dem Prinzip des elastischen Stoßes stoßen sich die beiden Wellenpulse beim Zusammentreffen ab und wandern jeweils auf ihre Seite zurück. Bei dieser Antwortmöglichkeit fällt auf, dass sie in den offenen Fragebögen und halbstrukturierten Interviews der qualitativen Studie relativ häufig genannt wurde, nun jedoch lediglich eine Antworthäufigkeit von 5% erreichte. Vermutlich fand der Großteil der Schülerinnen und Schüler in den weiteren angebotenen Antwortmöglichkeiten eine plausible Alternative.

Einen anderen Vorstellungsansatz vertreten 14% der Schülerinnen und Schüler. Sie nehmen an die Überlagerung der Wellenpulse würde gemäß dem Modell der kommunizierenden Röhren verlaufen. Wenn zwei nach oben offene Röhren unten miteinander verbunden sind, gleicht sich der Wasserpegel getreu den Gesetzen der Hydrostatik an. Demensprechend gleichen sich die Amplituden der beiden Wellenpulse während des Überlagerungsvorganges an und besitzen kurze Zeit nach dem Zeitpunkt der maximalen Überlagerung die gleiche Amplitudenhöhe.

Insgesamt 35% der Schülerinnen und Schüler beantworteten die Frage korrekt gemäß dem Prinzip der störungsfreien Überlagerung. Die beiden Wellenpulse durchlaufen sich störungsfrei und behalten somit ihre ursprüngliche Bewegungsrichtung bei.

4. Folgerungen für die Interventionsstudie

Die Ergebnisse der quantitativen Erhebung haben gezeigt, dass auf Seiten der Schülerinnen und Schüler viele fehlerhafte Denkmodelle vorliegen. Um diesem Problem adäquat zu begegnen, werden in der Interventionsstudie Schülerexperimente eingesetzt. Die Lernenden werden an verschiedenen Experimentierstationen handelnd neue Erkenntnisse gewinnen. Das Experiment bietet sich an dieser Stelle als Methode hervorragend an, da im Schülerexperiment

mentieren sehr viel Potential steckt. Die Schülerinnen und Schüler zeigen viel Interesse und Motivation beim Experimentieren. Diese affektiven Faktoren unterstützen die Vermittlung eines physikalisch und wissenschaftlich richtigen Wellenmodells. Ein weiterer Grundgedanke ist es den Schülerinnen und Schülern an den Experimentierstationen möglichst viele verschiedene Wellenarten anzubieten. Einige Schülervorstellungen bilden sich sehr situativ und auf Grund der jeweiligen Wellenart aus. Es wird den Lernenden gezeigt, dass sich bestimmte Wellenphänomene analog über verschiedene Wellenarten hinweg fortsetzen.

Die Auswertung des Multiple-Choice-Tests hat ergeben, dass die Lernenden in erster Linie die Generierung des Seilwellenpulses für dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit verantwortlich machen. An einer Experimentierstation erforschen die Lernenden deshalb das Verhalten eines Wellenpulses auf einer Spiralfeder. Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass die Generierung des Wellenpulses ausschließlich Auswirkungen auf die Form des Wellenpulses nicht aber auf seine Ausbreitungsgeschwindigkeit hat.

Eine weitere Experimentierstation wird sich mit der Wasserwelle beschäftigen. Denkmodelle der Lernenden wie die „Überspülungsvorstellung“ (siehe Kap. 3.3.2) bzw. die „Vorstellung der kommunizierenden Röhren“ (siehe Kap. 3.4.2) gründen sich auf Erfahrungen und Alltagsbeobachtungen rund um das Thema Wasser. Mit Hilfe der Wasserwelle werden zum einen die missverstandenen Alltagsbeobachtungen aufgezeigt und zum anderen das physikalisch richtige Modell der Wellenphänomene vermittelt.

Sowohl das Antwortverhalten in der quantitativen Erhebung als auch in vorangegangenen qualitativen Studie zeugen davon, dass die Schallwelle von den Schülerinnen und Schülern mit eigenen Regeln und Gesetzen als vollständig isoliert wahrgenommen wird. Auf Grund dessen werden die Lernenden an einer weiteren Experimentierstation die Schallwelle und ihre Wellenphänomene studieren. Die Lernenden erkennen, dass sich die Schallwelle analog zu anderen Wellenarten verhält

5. Interventionsstudie

In der qualitativen Vorstudie wurden die Wellenmodelle der Schülerinnen und Schüler diagnostiziert, gesammelt und kategorisiert. In der darauf aufbauenden quantitativen Studie wurden mit Hilfe des Multiple-Choice-Tests, durch Quantifizierung der Schülerantworten, detaillierte Erkenntnisse über die Vorstellungsstrukturen der Schülerinnen und Schüler gesammelt. Diese Erkenntnisse werden, wie in [1] bereits näher erläutert, gewinnbringend eingesetzt, um es Schülerinnen und Schülern zu ermöglichen leichter von ihrem Wellenmodell zum physikalisch richtigen Wellenmodell zu gelangen. In dieser Studie wird versucht den durchaus nicht trivialen Brückenschlag zwischen der Forschung und dem

Schulalltag zu schaffen. Es soll aus den in neuerer Zeit gewonnenen Erkenntnissen Bildungswissenschaftlicher Forschung angemessene Lerntheorien identifiziert und im den konkreten Kontext des Unterrichtsgeschehens erprobt werden. Ebenso sollen im Anschluss aus der Anwendung heraus Rückschlüsse und Erkenntnisse gewonnen werden, welcher wiederum ihrerseits zu einer Weiterentwicklung der Lerntheorie führen. In der Lerneinheit wird dazu ein an einem konstruktivistischen Lernzyklus angelegter Lernprozess durchlaufen. Der zentrale Punkt des Lernzyklus stellt das hypothesengeleitete Experimentieren dar. Die Schülerinnen und Schüler überprüfen in Kleingruppen an selbst konzipierten Experimentierstationen die aus ihrem jeweiligen Wellenmodell begründeten Hypothesen. Durch das Verifizieren bzw. Falsifizieren der Hypothesen am Experiment soll den Schülerinnen und Schülern der Konzeptwechsel zum physikalisch richtigen Wellenmodell leichter gelingen. Durch den selbsttätig handelnden Umgang mit Wellenphänomenen wird Wissen, in Form der P-Prims, im Sinne DiSessas besser organisiert bzw. strukturiert und ist somit zweckmäßiger reproduzierbar.

6. Literatur

- [1] Mendel, S.; Hemberger, J.; Bresges, A. (2013): Schülervorstellungen zu Wellen-Konzeptwechsel mit Hilfe des hypothesengeleiteten Experimentierens. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- [2] Wittmann, M.; Steinberg, R. N.; Redish, E. F. (1999): Making sense of how students make sense of mechanical waves. In: *The Physics Teacher*, 37, 15-21
- [3] Wittmann, M. C. (2002): The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. In: *International Journal of Science Education*, 1, 97-118
- [4] Tongchai, A.; Sharma, M. D.; Johnston, I. D.; Arayathanikul, K.; Soankwan, C. (2009): Developing, Evaluating and Demonstrating the Use of a Conceptual Survey in Mechanical Waves. In: *International Journal of Science Education*, 18, 2437-2457
- [5] Tongchai, A.; Sharma, M. D.; Johnston, I. D.; Arayathanikul, (2009): Consistency of students' conceptions of wave propagation: Findings from a conceptual survey in mechanical waves. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2, 11
- [6] Maurines, L. (1992): Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. In: *International Journal of Science Education*, 14, 279-293
- [7] Linder, C. J. (1993): University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. In: *International Journal of Science Education*, 6, 655-662

- [8] Osewold, D. (2007): Konzepte zur mechanischen Welle -eine historisch-didaktische Rekonstruktion. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, 17
- [9] Nachtigall, D. (1986): Die Rolle von Präkonzepten beim Lehren und Lernen von Physik. In Bleichroth, W. (Hrsg): Aufsätze zur Didaktik der Physik. Festschrift zum 60. Geburtstag von W. Jung. Physica didactica 13, Sonderheft, S.97-101
- [10] Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H.; Vontin, W. (1974): Psychologie des Unterrichts, Bd. 1, Weinheim: Beltz
- [11] Duit, R. (2007): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Physikdidaktik. Berlin, Heidelberg: Springer. S.581-606
- [12] DiSessa, A. (1993): Toward an Epistemology of Physics. Cognition and Instruction, 10, 105-225
- [13] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. In: Studien zum Physik- und Chemielernen, 46
- [14] Mayring, P. (2005): Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim: Beltz.
- [15] Wittmann, M. (1998): Making Sense of How Students Come to an Understanding of Physics: An Example from Mechanical Waves. Dissertation, University of Maryland