

## Schülervorstellungen zum Wellenbegriff – Analogien als Anknüpfungspunkt?

- Zeitaufgelöste Puls-Echo-Methoden in der Festkörperspektroskopie und deren fachdidaktische Umsetzung im Kölner Schülerlabor („Unser Raumschiff Erde“) -

**Sebastian Mendel<sup>+</sup>\*, PD Dr. Joachim Hemberger<sup>+</sup>, Prof. Dr. André Bresges<sup>\*</sup>**

\*Institut für Physikdidaktik, Universität zu Köln, Gronewaldstrasse 2, 50931 Köln, <sup>+</sup>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. Studien haben gezeigt, dass bestimmte Schülervorstellungen in Zusammenhang mit Wellen (Seilwelle, Schallwelle, Wasserwelle, ...) wiederkehrend auftreten. Insbesondere zeigt sich hierbei eine Newtonsche Wellenvorstellung.

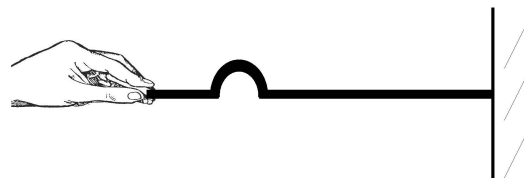
In Anlehnung an diSessa [1] werden diese Vorstellungen qualitativ erfasst und anschließend kategorisiert. In einer entsprechenden Unterrichtseinheit wird im Kölner Zdi-Schülerlabor „Unser Raumschiff Erde“ mit Hilfe von Analogieexperimenten (z.B. eines Wellenkanals) auf diese Schülervorstellungen eingegangen.

Über ein E-Learning Portal wird ein Prä-Posttest angeboten, den die Schüler/innen vor und nach dem Laborbesuch in der Schule absolvieren und mit dessen Hilfe der Lernfortschritt evaluiert werden kann.

### 1. Stand der Forschung

Schülervorstellungen sind in der Physikdidaktik ein häufiger Untersuchungsgegenstand, so gibt es umfangreiche Studien zu Schülervorstellungen in der Mechanik, Elektrik oder Optik (vgl.[1]). Es ist jedoch bemerkenswert wie wenige Studien und Untersuchungen speziell zu Schülervorstellungen von Wellen, besonders im deutschen Sprachraum existieren (z.B. [2]). Dies ist jedoch verwunderlich, da der Wellenbegriff eine zentrale Bedeutung hat und sowohl in der Mechanik, Elektrik, Optik, Akustik als auch in der Quantenmechanik auftaucht. Bestimmte Schülervorstellungen von Wellenphänomenen lassen sich konsequent über alle Wellenarten, wie Seilwellen, Wasserwellen oder Schallwellen hinweg erkennen. Um Schülervorstellungen von Wellen verstehen und einordnen zu können soll als Grundgerüst diSessas Denkmodell [3] 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. DiSessa sieht den Hauptunterschied zwischen einem Novizen und einem Experten erstens in der Auswahl der notwendigen P-Prims und zweitens in deren richtiger Strukturierung.

Wittmann [4] hat gezeigt, dass über 90% der Physikstudenten an der Universität in Maryland auf die Frage wie man die Ausbreitungsgeschwindigkeit



**Abb. 1:** Puls auf einer Seilwelle

einer Seilwelle ändern kann (siehe Abbildung 1) unter anderem die Handbewegung als Ursache genannt haben. Dieses Ergebnis zeigt, dass Schülerinnen und Schüler die Welle nicht als lokale Zustandsänderung des Mediums, dessen Eigenschaft die Ausbreitungseigenschaften bestimmt, verstehen, sondern als Objekt, welches sich entlang des Seils bewegt. Diese Vorstellung von Wellen ist analog zu der Newtonschen Korpuskeltheorie, in der Licht aus winzig kleinen Korpuskeln besteht, welche sich geradlinig fortbewegen. Wittmanns Studien zeigen auch, dass diese Korpuskelvorstellung nicht nur bei Schülern, sondern sogar bei Physikstudenten fest verankert ist.

## 2. Erste Ergebnisse aus der Pilotstudie

Im Rahmen einer Pilotstudie wurde mit Hilfe von Leitfadeninterviews und offenen Fragebögen eine qualitative Untersuchung von Schülervorstellungen zu Wellen geführt. Ziel ist es zum einen, bereits bekannte Schülervorstellung wie etwa von Maurines [5] und Wittmann [4],[6],[7] zu bestätigen und zum anderen neue Vorstellung zu finden. Die Interviews wurden durchgeführt mit Schülern der neunten und zehnten Klasse eines allgemeinbildenden Gymnasiums, die im Rahmen des Schulpraktikums bzw. auf freiwilliger Basis in den Schulferien ein dreiwöchiges Praktikum im 2. Physikalischen Institut der Universität zu Köln absolvierten. Die Versuchsteilnehmer waren zufällig alle männlich. Die Interviews wurden videographiert, um neben den Aussagen der Schüler auch ihre Gestik, wie etwa Wellenbewegungen mit der Hand, festzuhalten und anschließend transkribiert. Die Schüler hatten keine Einführung in das Thema im Vorfeld der Untersuchung erhalten und beziehen ihr Vorwissen somit aus der Schule.

Im folgenden Interview wird ein Schüler der 10. Klasse eines allgemeinbildenden Gymnasium zum Thema Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen befragt.

Interviewer: ... beschäftigen wir uns erst einmal mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen. Stell Dir vor du befestigst ein Seil mit einem kleinen Haken an der Wand. Du ziehst das Seil an, dass es gespannt ist und gibst einen Impuls darauf, also einen Wellenberg. Dann braucht der [Wellenberg] sicher eine gewisse Zeit bis er die Wand erreicht. Was würdest Du sagen, welche Möglichkeiten gibt es, dass er schneller ankommt?

Befragter: Das Seil irgendwie ...(Pause)... also ein dickeres anders geflochtenes Seil ist denke ich mal auf jeden Fall schwerer. ...(Pause)...

Interviewer: Also bei einem schwereren Seil, kommt er dann schneller oder langsamer an?

Befragter: Also ich mach das immer mit meinem Schlauch, wenn ich im Garten die Blumen gießen muss; also wenn der zu dünn ist dann funktioniert es nicht, weil es dann so rumlabbert, und wenn es zu dick ist, ist es halt zu schwer. Man muss eben so einen Mittelweg finden. Mann muss dann eben so schnell von oben nach unten machen (macht eine Aufwärts-/ Abwärtsbewegung mit der Hand nach,) ja ...(Pause)...

Interviewer: Also auf jeden Fall ist das Seil, also die Art des Seils verantwortlich für die Geschwindigkeit?

Befragter: Ja und der Impuls...

Interviewer: Wie der Impuls?

Befragter: Also schnell. (macht Bewegung mit der Hand nach , Aufwärts/ Abwärtsbewegung)

auf jeden Fall, die Bewegung schnell und die richtige Richtung.

Interviewer: Also auch wenn Du den Arm schneller nach oben ziehst, also wenn du die Welle schneller machst, dann kommt sie auch schneller an?

Befragter: Ja

Zu Beginn nennt der Schüler ein „dickeres anders geflochtenes Seil ... auf jeden Fall schwerer“ als ausschlaggebend für die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Er macht dies indem er auf eine Alltagserfahrung mit dem Gartenschlauch verweist und so seine Argumentation begründet. Auch wenn diese Erklärung für den Leser nicht vollkommen plausibel ausfällt, scheint der Befragte doch beobachtet und getestet zu haben, dass die Dichte des Gartenschlauchs sich auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit auswirkt. Dies zeigt wie wichtig die Integration von Alltagswissen und die Anknüpfung an Vorwissen der Lernenden ist.

Im weiteren Verlauf des Interviews antwortet der Schüler auf die Frage, wie der Impuls generiert werden muss mit „... auf jeden Fall, die Bewegung schnell und die richtige Richtung.“ Hier wird deutlich, dass der Befragte ebenso die Handbewegung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit verantwortlich macht. Er spricht der Welle „Korpuskeleigenschaften“ zu, anstatt sie als lokale Störung des Mediums zu erkennen. In seiner Vorstellung ergibt eine schnellere und stärkere Handbewegung eine größere kinetische Energie und somit eine größere Ausbreitungsgeschwindigkeit, wohingegen diese bei der Seilwelle von der Kopplung und Dichte des Seils abhängt. Dieses Phänomen wurde ebenso von Maurines [5] und Wittmann [4],[6],[7] in Untersuchungen festgestellt.

Diese „Korpuskelvorstellung“ zeigt sich ebenso bei einem weiteren Auszug des Interviews in welchem die „Kollision“ bzw. Überlagerung von Wellen thematisiert wird.

Interviewer: ... Erst einmal der obere Fall (siehe Abbildung 2) Du hast jetzt hier einen kleinen [Wellen-]Berg und hier einen großen [Wellen-]Berg und die laufen jetzt aufeinander zu. Was passiert zu dem Zeitpunkt wo sie sich genau treffen. Also zum Zeitpunkt der maximalen Überlagerung?

Befragter: Also die Kräfte wirken gegeneinander. Also treffen sich und die Stärkere ... überlagert eben die Niedere und ich denke mal es würde keine Welle nach rechts weiter sondern nur eine Kleine nach links.

Interviewer: Die [Wellenberge] treffen sich und wir zeichnen das Bild eine Sekunde später, dann wäre der linke Berg weg und der kleine würde nur noch nach links laufen?

Befragter: ja

Interviewer: Und wie könntest Du dir das erklären? Warum passiert das?

Befragter: Also wenn man sich jetzt vorstellt. Die eine hat die Wellenkraft 2 und die andere 4 oder so, die prallen aufeinander, dann ist sozusagen am Ende 2 übrig

Interviewer: Und die kleine 2 er Welle wird quasi ausgelöscht?

Befragter: ja

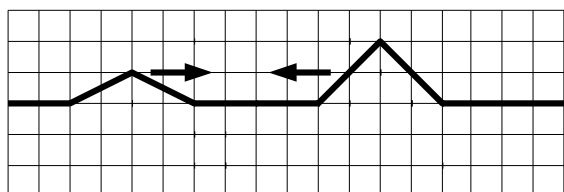


Abb. 2: Aufgabe „Überlagerung“

Der Schüler erklärt, dass die beiden Wellen „aufeinander prallen“ und danach „keine Welle nach rechts weiter sondern nur eine Kleine nach links“ weiterläuft. Darüber hinaus schreibt er den Wellen die Eigenschaft „Wellenkraft“ zu, welche beim Zusammentreffen „gegeneinander wirken“.

Der Auszug aus diesem Interview zeigt, dass der Befragte die Überlagerung von Wellen mit einer Art inelastischem Stoß gleichsetzt. Es scheint für ihn logisch zu sein, dass nach der „Kollision“ der größere Wellenberg, wenn auch abgeschwächt seine Bewegungsrichtung beibehält. Ebenso würden sich zwei unterschiedliche Massen bei einem inelastischen Stoß verhalten, welche mit gleicher Geschwindigkeit aufeinander treffen. In der Verwendung des Kraftbegriffs sind direkt zwei Schülervorstellungen versteckt. Zum einen setzt der Befragte den Begriff der Kraft gleich dem Impuls bzw. der Energie. Dieses Problem ist bekannt und wird beispielsweise in [8] ausgiebig diskutiert. Die zweite Schülervorstellung, welche in der Aussage versteckt ist, soll uns an dieser Stelle jedoch mehr interessieren. Der Schüler versteht nicht, dass sich das Seil in Wirklichkeit rechtwinklig zur Ausbreitungsgeschwindigkeit bewegt. Diese These wird durch die folgende Aufgabe (Abbildung 3), die im Rahmen einiger Testfragebögen gestellt wurde, und ihren drei häufigsten Antworten (Abbildung 4) gestützt.

Zu sehen ist ein Puls (z.B auf einem gespannten Seil) zum Zeitpunkt  $t_0$ , welcher sich nach rechts bewegt. Zeichne in der zugehörigen Abbildung an den markierten Stellen A-E die momentanen Geschwindigkeiten mit Hilfe von Geschwindigkeitsvektoren ein.

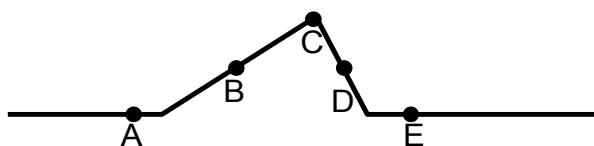


Abb. 3: Aufgabe „Ausbreitungsrichtung“

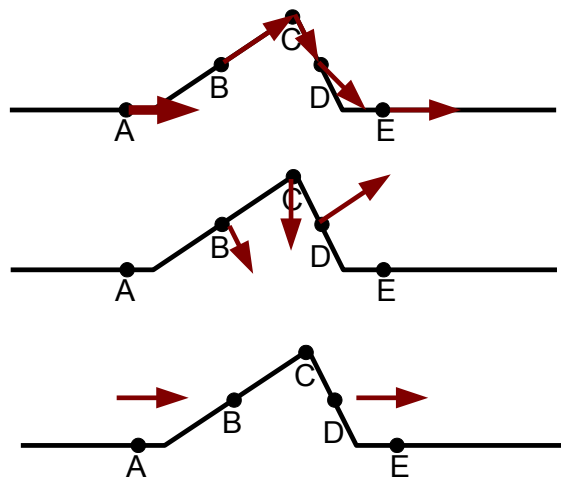


Abb. 4: Häufigste Antworten der Schülerinnen und Schüler

Es zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler in den markierten Punkten stets auch eine Geschwindigkeitskomponente in Ausbreitungsrichtung sehen. Dies erklärt warum es für Schülerinnen und Schüler nicht einsichtig ist, dass mit einer Welle Energie, jedoch keine Masse transportiert wird. Zusammenfassend sind in Tabelle 1 zu den jeweiligen Wellenphänomenen das physikalisch richtige Modell und die zugehörigen Schülervorstellungen gegenübergestellt.

Wellenphänomen	Physikalisch richtiges Modell	Schülervorstellung
Ausbreitungsgeschwindigkeit	Medienabhängig	Impulsabhängig
Überlagerung	Interferenz	Kollision
Ausbreitung	Energie	Masse

Tabelle 1: Schülervorstellungen von Wellen

### 3. Modellbildung durch Experimente fördern und Schülervorstellungen reduzieren

Es ist wichtig so früh wie möglich die Modellbildung in Bezug auf Wellen zu fördern um somit ein physikalisch richtiges Modell zu vermitteln und zu festigen. Als Methode zur Schaffung dieser Modellvorstellung soll das Experiment dienen. Der Lernvorgang soll induktiv geschehen, d.h. die Schülerinnen und Schüler sollen durch das Experiment eine adäquate Modellvorstellung vermittelt bekommen. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen an Experimentierstationen Wellenarten, wie etwa die Wasserwelle, Schallwelle, Seilwelle und Radarwelle. Sie sollen Forschungsfragen und Forschungshypothesen zu Wellenphänomenen wie Reflexion, Überlagerung, Ausbreitungsgeschwindigkeit oder stehende

Wellen am Experiment überprüfen und dementsprechend verifizieren oder falsifizieren. Durch den selbsttätig handelnden Umgang mit Wellenphänomenen wird Wissen, in Form der P-Prims, im Sinne DiSessas [3] besser organisiert bzw. strukturiert und ist somit zweckmäßiger reproduzierbar.

### 3.1 Der „Kölner Wellenkanal“

Eine der Experimentierstationen stellt der „Kölner Wellenkanal“ dar. (siehe Abbildung 5)

Der Wellenkanal wurde im 2. Physikalischen Institut der Universität zu Köln geplant und in der hauseigenen Mechanikwerkstatt konstruiert und gefertigt. Er

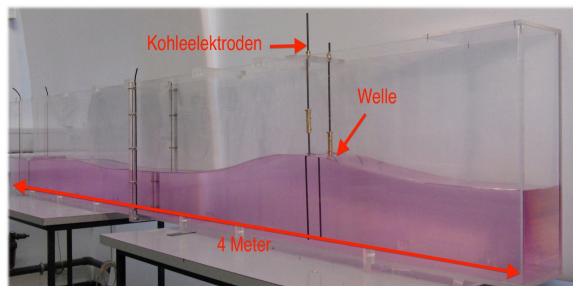


Abb. 5: Der „Kölner Wellenkanal“

ist vier Meter lang und kann bis zu 60cm mit Wasser gefüllt werden. Zur Erzeugung isolierter Einzelwellen wurde ein Schiebemechanismus wie in Abbildung 6 installiert. Um kontinuierliche Wellen, wie z.B. bei der stehenden Welle erforderlich, generieren zu können wurde ein linearer Elektrozyylinder be-

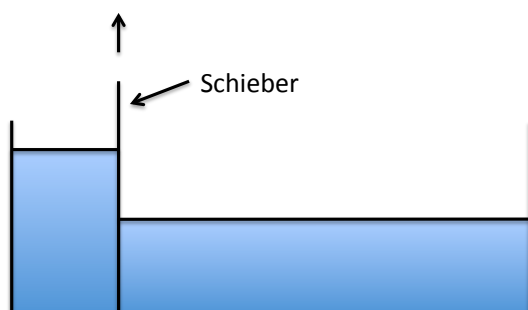


Abb. 6: Schiebemechanismus am Wellenkanal

nutzt, welcher über einen periodisch programmierten Umschalter, in gewünschter Frequenz und gewünschtem Hub einen Schwimmkörper auf und ab bewegt. Damit die Wasserwellen quantitativ untersucht werden können, wurde in eine Messsonde bestehend aus zwei Kohleelektroden installiert. Diese Kohleelektroden sind mit einem ohmschen Widerstand in Serie geschaltet und an eine bekannte Spannung angeschlossen. Da die Kohleelektroden an der Wasseroberfläche quasi kurzgeschlossen sind, können über den Spannungsabfall an den Kohleelektroden Rückschlüsse über die Wasserhöhe gezogen werden. Der Spannungsabfall an den Kohleelektroden wird von einem Computer-Oszilloskop aufgenommen. So kann über ein Spannung-Zeit-

Diagramm ausgewertet werden, wann die Welle die Messsonde passiert hat und welche Amplitude die Welle zu diesem Zeitpunkt hatte. Dadurch sind Aussagen sowohl über die Ausbreitungsgeschwindigkeit als auch über die Dämpfung möglich.

So wird eine Forschungsfrage die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wasserwellen betreffen. Die Schülerinnen und Schüler sollen durch Experimentieren herausfinden wie sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wasserwelle verändern können. Als veränderbare Parameter gibt es etwa die Füllhöhe im Schieber, die Wasserhöhe im Kanal oder die Geschwindigkeit mit welcher der Schieber hochgezogen wird. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Dispersion der Wasserwelle, d.h. die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Frequenz bzw. Wellenlänge, vernachlässigt wird. Diese Vereinfachung ist insofern zu legitimieren, da die Wellenlängen im Verhältnis zur Wassertiefe relativ groß sind.

### 4. Ausblick

Im Rahmen der qualitativen Untersuchung von Schülervorstellungen zu Wellen werden noch weitere Leitfadeninterviews geführt. Im nächsten Schritt werden diese Schülervorstellungen kategorisiert. Die Untersuchung wird im Versuchs-Kontrollgruppendesign vorgenommen, wobei die Versuchsgruppe die Intervention im Sinne der oben genannten Experimentierstationen durchläuft. Anschließend wird über ein E-Learning Portal ein Prä- Posttest in geschlossener Form konzipiert, welchen die Schülerinnen und Schüler in der Schule absolvieren können und mit dessen Hilfe der Lernfortschritt evaluiert wird. Des Weiteren sollen neue Experimentierstationen entwickelt werden. Hierzu sollen bereits am II. Physikalischen Institut etablierte Versuche der Festkörperspektroskopie wie etwa Ultraschall-Puls-Echo-Methoden sowie Mikrowellenreflexionstechniken eingesetzt werden.

### 5. Literatur

- [1] Duit, R. (1993) Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 16, 16-23
- [2] Osewold, D. (2007): Konzepte zur mechanischen Welle -eine historisch-didaktische Rekonstruktion. *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion*, 17
- [3] DiSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- [4] Wittmann, M., Steinberg, R. N., Redish, E. F. (1999) Making sense of how students make sense of mechanical waves. *The Physics Teacher*, 37, 15-21

- [5] Maurines, L. (1992). Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International Journal of Science Education*, 14, 279-293
- [6] Wittmann, M., Steinberg, R. N., Redish, E. F. (1999) Making sense of how students make sense of mechanical waves. *The Physics Teacher*, 37, 15-21
- [7] Wittmann, M., Steinberg, R. N., Redish, E. F. (2003) Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25, 991-1013
- [8] Wilhelm, T. (2005). Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. *Studien zum Physik- und Chemielernen*, 46