

## GEORG-KERSCHENSTEINER-PREIS

# „Hilf mir, es selbst zu tun“

Vom PhysikClub Kassel zum SchülerForschungsZentrum:  
Eigenständige Forschungsprojekte von Schülerinnen und Schülern

Klaus-Peter Haupt

Über 80 Schülerinnen und Schüler aus Kassel und Umgebung arbeiten jeden Freitag nach Schulschluss – manchmal bis in die Nacht hinein – in kleinen Gruppen an mehr als 25 Forschungsprojekten. Im Physik-Club findet kein Unterricht statt, die Teams erarbeiten sich das notwendige Wissen selbst, sie finden ihre Forschungsschwerpunkte und bestimmen das Niveau und den Ablauf ihrer Projekte. Es gibt keine Lehrer, sondern nur Berater, die auf gleicher Augenhöhe mit den Schülern die Projekte begleiten und Impulse zu neuen Herausforderungen geben.

**O**bwohl sehr viele Schüler die Bedeutung der Physik (und anderer Naturwissenschaften) sehr hoch einschätzen, wählen sie nur selten Leistungskurse in diesen Fächern. Selbst interessierte und begabte Schüler lassen sich nur schwer im Regelunterricht für physikalische Fragen begeistern, da der Lehrplan zu viele Rahmenbedingungen vorgibt und der Lehrer den Unterricht oft zu stark lenkt.

In Kassel versuchen wir in einem außerschulischen Kontext, eine anregende Umgebung zu schaffen, in der Schüler „ihre“ Physik erleben und erarbeiten dürfen. Ihnen stehen dazu zwei Laborräume und zahlreiche gesponserte Geräte zur Verfügung. Die jüngeren Teilnehmer aus den Klassen 7 und 8 arbeiten an einfacheren Problemen, sie betreiben forschendes Lernen. Die Älteren ab Klasse 9 sind bis zu drei Jahre lang mit ihrem Forschungsprojekt beschäftigt, und oft kommen dabei wirklich neue Erkenntnisse heraus. Die Themen stammen aus der Physik, der Geo- und Astrophysik sowie der Technik und haben wenig mit dem Schulstoff zu tun. Vielmehr sind es aktuelle und spannende Aspekte von der Kaffeeanalyse bis hin zu komplexen Fragen der Quantenmechanik. Alle Beteiligten gehen bei der Bearbeitung der Themen an ihre Grenzen und überschreiten sie sehr häufig. Auch Hochbegabte sollen Ideen entwickeln können, durch die sie einen nachhaltigen Zugang zu physikalischen Fragen gewinnen, Spaß an der Beschäftigung mit Physik erleben und vor allem Arbeitsmethoden und Strategien erproben, mit denen sie echte Herausforderungen bewältigen können.

2002 gründete der Autor im Rahmen der Kinder- und Jugendakademie Kassel den PhysikClub an der Albert-Schweitzer-Schule und öffnete ihn sofort für Schüler aller nordhessischen Schulen. Gerade mal 17 Jugendliche kamen. Das war verständlich, denn eine



Physik-AG am Freitagnachmittag war nicht gerade das, wovon die meisten Schüler träumten. Das hat sich allerdings geändert, denn inzwischen hat sich die Zahl der Teilnehmer verfünffacht.

Von Beginn an steht das projektorientierte Arbeiten im Mittelpunkt, die Vorgehensweise hat sich nicht wesentlich verändert: In der Regel gibt es einen Einführungsnachmittag, an dem die Schüler einen kurzen Überblick über mögliche Forschungsprojekte erhalten. Dabei geht es nicht darum, Fragen und Aufträge zu vermitteln, sondern das Themenfeld vorzustellen und es vertrauten Inhalten zuzuordnen. Die Arbeitsmethode wird kurz erläutert, damit die Schülerinnen und Schüler, die größtenteils eher frontal geführte Wissensvermittlung kennen, eine grobe Vorstellung von den Ansprüchen erhalten. Inzwischen gibt es Leitlinien für die Teilnehmer, die auf der Homepage des Physik-

Im Team erforschen bereits junge Schülerinnen und Schüler aus den Klassenstufen 7 und 8 den Faradayschen Käfig.

## KOMPAKT

- Der PhysikClub bietet naturwissenschaftlich interessierten Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, in eigener Regie Forschungsprojekte durchzuführen.
- In Teams erarbeiten sich die Schüler das gesamte Projekt – angefangen vom Hintergrundwissen über eigene Fragestellungen und Lösungsmethoden bis hin zur experimentellen Umsetzung und Auswertung.
- Forschen im Labor am eigenen Projekt, das ist auch für Hochbegabte ein motivierender Weg zur Naturwissenschaft, der einen nachhaltigen und positiven Einfluss auf Studien- und Berufsentscheidungen hat.

StD Klaus-Peter Haupt, Studienseminar für Gymnasien in Kassel, Holländische Str. 141, 34127 Kassel – Preisträgerartikel anlässlich der Verleihung des Georg-Kerschesteiner-Preises 2008 auf der 72. Jahrestagung der DPG in Berlin.

Clubs nachzulesen sind.<sup>1)</sup> Nach dieser Einführung bilden sich die Teams – geleitet durch die Neugier am Themenkreis, Altersstrukturen und Freundschaften. Sehr häufig arbeiten auch Schüler aus verschiedenen Schulen zusammen. Die Teams informieren sich während der folgenden Woche über die Themen und erhalten ergänzend beim nächsten Treffen Literaturhinweise und Links im Internet. Viele Teams haben im PhysikClub einen Computer samt Internetzugang zur Verfügung.

Nun geht es an das gemeinsame Lernen und Recherchieren. Am Ende der zweiten Sitzung sollen sich die Teams für die theoretische und praktische Arbeit kurz-, mittel- und langfristige Ziele und Aufgaben vornehmen und schriftlich fixieren. In den Wochen oder Monaten danach bauen sie sich ihr eigenes Wissen auf, sie konkretisieren ihre Kenntnisse zu Fragen und Forschungsideen und planen die praktische Umsetzung. Hier geht es fast nie so stringent und geordnet zu, wie ein Lehrer das Projekt planen oder durchführen würde. Die Teams gehen Umwege, arbeiten teils spielerisch mit Vorexperimenten und Inhalten. Erst langsam wächst aus diesem scheinbaren Chaos das Forschungsprojekt, das die meisten bis zum Erfolg und zur endgültigen Klärung als ihr eigenes Projekt wahrnehmen und durchführen. Aus anfänglichem Chaos ist eine eigene selbstorganisierte Ordnung geworden.

Jeweils am Ende des Schuljahres fassen die Schüler ihre bisherigen Ergebnisse zusammen und bereiten eine öffentliche Präsentation vor, welche die Arbeit extrem motiviert. Für die Schüler sind die Präsentation, die Gespräche mit dem fachkundigen Publikum und die Anerkennung durch die Besucher eine so positive Erfahrung, dass sie unbedingt wieder ein solches Projekt durchführen wollen.

Begonnen hat der PhysikClub mit Projekten aus der Chaosphysik, der Elementarteilchenphysik und der Netzwerktheorie. Da aber ständig neue Teams hinzukamen, die Projekte unterschiedlichen Zeitbedarf hatten und haben, gibt es seit einigen Jahren keine Oberthemen mehr. Die Schülerinnen und Schüler

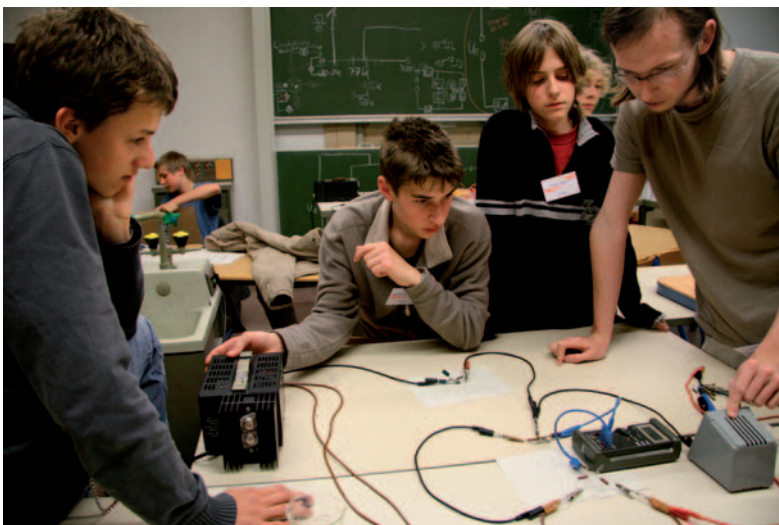
entwickeln eigene Projektideen oder können Rahmen-themen aus einer ständig wachsenden Vorschlagsliste auswählen und gestalten. So arbeiten inzwischen bis zu 28 Teams an ihren Projekten aus allen Bereichen der Physik, Astrophysik, Geophysik, Informatik, Technik, aber auch der Chemie und Biologie. Vom Bau eines Roboterarms geht es über die Entstehung von Dünen und Sandablagerungen, die Untersuchung der Marsbahn, Messungen zu aktiven galaktischen Kernen, den Bau einer einfachen Brennstoffzelle, die Berechnung von Absorptionslinienprofilen, Fluoreszenzspektroskopie, den Bau eines Seismographen, Verwitterung von Gesteinen, Hochfrequenz-Sonolumineszenz und Tarnkappenphysik bis hin zur Lösung der Friedmann-Gleichungen und zum Bau eines Radioteleskops.

## Fordern und Fördern

Die Förderung naturwissenschaftlicher Bildung ist nicht erst seit TIMMS und PISA zu einem Problemfeld in Deutschland geworden. Vor allem besonders interessierte und begabte Schülerinnen und Schüler erfahren in diesem Klima eines gesellschaftlichen Desinteresses zu wenig Unterstützung. Unter den Hochbegabten gibt es viele, die gerade aufgrund ihrer Begabung Lernschwierigkeiten und soziale Auffälligkeiten zeigen. Die Arbeit im PhysikClub bietet diesen Jugendlichen ein besonders förderliches Umfeld. Dort finden Teambesprechungen statt, es gibt Konfliktmanagement bei Störungen im Team, aber auch Beratung bei Konzentrationsstörungen und Motivationsproblemen. Durch die hohe fachwissenschaftliche Anforderung lassen sich auch Hochbegabte so fordern, dass sie Arbeitstechniken erlernen und erfahren, ohne die sie sehr häufig in der weiterführenden Ausbildung, wenn nicht schon in der Schule, scheitern würden.

Im PhysikClub sind alle naturwissenschaftlich Interessierten willkommen, können mitarbeiten und werden entsprechend ihrer individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse gefördert. In der eigenständigen Arbeit erwerben die Jugendlichen Kompetenzen, die ihnen einen Einstieg in ein naturwissenschaftliches Studium wesentlich erleichtern (s. Infokasten). Über die fachlich intensive und methodisch anspruchsvolle Auseinandersetzung mit Naturwissenschaften hinaus ist es ein besonderes Merkmal des PhysikClubs, dass er Ausdauer beim Arbeiten und Lernen sowie die Nachhaltigkeit des erworbenen Wissens vermittelt. Jugendliche wachsen heute in einer von schnell wechselnden Eindrücken geprägten Gesellschaft auf, in der oberflächliche Kenntnisse oft als ausreichend gelten – gerade in den Naturwissenschaften. Das ist kontraproduktiv zu den Anforderungen im Studien- und Berufsleben. Im PhysikClub muss sich das selbst angeeignete Wissen bewähren, da es zur Lösung von Problemen unmittelbar eingesetzt wird und so Bedeutung für die Lernenden gewinnt.

Da die Projekte mindestens ein Schuljahr dauern, erfordern sie Durchhaltevermögen und die Organisa-



Beim forschenden Lernen erarbeiten sich die jüngeren Schülerinnen und

Schüler den Aufbau einer Wheatstone-schen Brückenschaltung.



Die Schülerinnen und Schülern präsentieren anderen Jugendlichen jährlich ihre Projekte und erfahren bei diesen Präsentationen viel motivierende Anerkennung vom interessierten Publikum.



tion der Arbeit über lange Zeiträume hinweg, gleichzeitig aber auch adäquates Reagieren auf aktuelle Entwicklungen im Forschungsprozess. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten im PhysikClub nicht isoliert, sondern profitieren vom Wissen und der Unterstützung der anderen Teams, auch aus anderen Fachrichtungen.

Alle Beteiligten identifizieren sich mit dem PhysikClub. Daher arbeiten viele Ehemalige inzwischen während ihres Studiums als Betreuer im PhysikClub mit und geben ihre eigenen Erfahrungen weiter. Diese Betreuung soll die Arbeitsprozesse der Teams begleiten und sicherstellen, dass die Erfolge auf eigene Ideen und Anstrengung zurückzuführen sind und dadurch das Selbstwertgefühl der Teilnehmer steigt. Im PhysikClub können die Teilnehmer den Umgang mit Motivationsproblemen, Arbeitsbelastungen, aber auch mit Fehlschlägen lernen. Der PhysikClub widmet sich einer breiten Erziehungs- und Ausbildungsarbeit, die vielen interessierten Schülerinnen und Schülern zugute kommt. Sie beschäftigen sich mit Inhalten, die wenig Verbindung zum schulischen Lernen haben, und die meisten gewinnen Kompetenzen, die ihr weiteres Studien- und Berufsleben positiv beeinflussen.

Diese Erfahrungen spielen auch bei den jährlichen Workshops eine wichtige Rolle: Nach dem Muster des PhysikClubs beschäftigen sich Teams aus Jugendlichen und Erwachsenen mit speziellen Fragen aus dem Bereich der Naturwissenschaften und Philosophie. So gab es Workshops über Quantenmechanik, über den Zeitbegriff oder über evolutionäre Systeme. Ein Workshop über Navigation fand auf einem Drei-Mast-Segelschiff auf der Ostsee statt, die Jugendlichen waren als Mannschaft für fast alles verantwortlich und haben nebenher in Arbeitsgruppen viele theoretische und praktische Aspekte der Navigation erarbeitet. Auf jedem Workshop gibt es ein „Outdoor-Event“, bei dem die Schüler auch Grenzerfahrungen im nichtkognitiven Bereich sammeln können, z. B. das Einsteigen in eine Wasserhöhle, das Durchtauchen eines Syphons, das Abseilen an einer Steilwand oder die Besteigung eines Segelbootmastes bei stürmischer See. Seine Grenzen erfahren, sich ihnen stellen und sie nicht selten überwinden sowie neues Selbstvertrauen und neue Kompetenzen erwerben, das bedeutet für uns fordern und fördern.

Die Arbeit im PhysikClub ist als ein Zusatzpro-

gramm zur schulischen Ausbildung gedacht, das jedoch nicht ohne Rückwirkung auf die Schulen bleibt. So verbessert die Arbeit im PhysikClub nachweislich die Ausbildung und die allgemeine schulische Situation fast aller Teilnehmer. Schon jetzt zeigt sich, dass die Bedeutung naturwissenschaftlicher Bildung in den beteiligten Schulen zugenommen hat. So haben z. B. alle Abiturienten, die im PhysikClub mitgearbeitet haben, naturwissenschaftliche und technische Studienfächer belegt. Dies ist besonders in Zeiten fehlender Fachkräfte aus diesem Bereich ein wichtiger Beitrag zur Zukunftssicherung Deutschlands.

Für seine Arbeit wurde der PhysikClub 2005 mit dem Hessischen Schulpreis des Kultusministeriums und für das beste didaktisch-methodische Konzept mit dem MINT Award 2007 ausgezeichnet. 2006 und 2007 wurde er für den Nat-Working Preis der Robert-Bosch-Stiftung nominiert und erhielt im November 2007 diesen hochdotierten Preis (2. Platz).

Im Folgenden möchte ich nun einige Projekte und ihre Ergebnisse vorstellen.

## Schall im Gel

Ein normales Gel, die Vorstufe des Aerogels, besteht aus einem netzwerkartigen Feststoffgerüst, dessen Poren mit einer Flüssigkeit angefüllt sind. Im Fall des häufig vorkommenden Silica-Aerogels besteht das Feststoffgerüst aus Siliziumdioxid. Die Mikroporen, die mitunter nur einige Nanometer groß sind, sind mit den Herstellungsnebenprodukten ( $H_2O$ , Ethanol, Katalysator) gefüllt. Bei der Umwandlung in ein Aerogel wird die Flüssigkeit entzogen und mit Luft oder einem anderen Gas ersetzt, wobei das  $SiO_2$ -Netzwerk bestehen bleibt.

Der anfängliche Projektrahmen bestand darin, mit schulischen Mitteln ein Aerogel herzustellen. Dies erwies sich als nicht so leicht, da manche Substanzen für den schulischen Umgang zu giftig sind. Durch einen kleinen Autoklaven ließ sich aber ein praktikables Verfahren umsetzen. Dabei lernte das Team, das aus Ilian Eilmes, Christian Wehrberger und Philipp Nguyen bestand, verschiedene Mischungen des Sols<sup>2)</sup> so zu optimieren (u. a. mit Tinte), dass in einer sinnvollen Zeit

2) Die hergestellte Probe wird vor der Gelierung Sol genannt.

klare oder gefärbte Gele entstanden, von denen sich einige im Autoklaven in Aerocele umwandeln ließen.

In der nächsten Phase diskutierte das Team mögliche weitergehenden Forschungsfragen und entschied sich, die Einwirkung von Schall auf den Gelierungsprozess zu untersuchen. Die Schwierigkeiten dabei waren enorm. Während das Sol über viele Stunden bei höheren Temperaturen gelierte, durfte die Heizung keine strukturellen Störungen erzeugen. Die Schüler mussten die Schalleinstrahlung durch Piezokeramiken untersuchen und optimieren sowie die Richtcharakteristiken der Abstrahlung vermessen und die Resonanzen der Keramik und des gesamten Systems bestimmen. Anschließend entwickelten die Schüler Ideen, um das Auftreten einer stehenden Ultraschallwelle zu kontrollieren.

In einem ersten Erfolg gelang es, die Einwirkung des Schalls auf den Gelierungsprozess nachzuweisen und z. B. ein nahezu kugelförmiges Gel so zu modulieren, dass man die Knotenebenen bestimmter Moden sieht. Da sich während des Gelierungsprozesses die Schallgeschwindigkeit im Gel ändert, mussten die Schüler die Frequenz des Schalls nachregeln, damit sich eine stabile stehende Welle ausbildet. Dazu entwickelten sie ein Verfahren, um die Schallgeschwindigkeit während des Gelierungsvorgangs zu messen. Hier reichten die begrenzten Möglichkeiten eines Schülerlabors nicht mehr aus. Um über Phasenverschiebungen in den sehr kleinen Modulationsgefäßen auf die Schallgeschwindigkeit zu schließen, ist eine Zeitauflösung notwendig, die keines der vorhandenen Geräte besitzt. Aber auch diese Hürde hat das Team durch Kreativität überwunden. Es untersuchte den Debye-Sears-Effekt, bei dem Licht an einer Schallwelle gebeugt wird. Anhand des Beugungsmusters kann man die Wellenlänge des Schalls vermessen und damit die Schallgeschwindigkeit berechnen. Die Normierung für eine automatische Korrektur war nur deshalb möglich, weil das Team den Gelierungsprozess so gut optimiert hat, dass die Gelierung präzise im gleichen Zeitraum stattfindet.

Neben der Zeit als Normierungsparameter wurde auch die Transparenz des Sols gemessen, sodass die Schüler die Transparenz bestimmten Schallgeschwindigkeiten zuordnen konnten. Dabei fanden sie heraus, dass Lehrbücher und Praktikumsanleitungen den Debye-Sears-Effekt nicht einheitlich deuten.

Nun waren fast alle Hürden genommen. In 27 Metern Entfernung vom Modulationsgefäß registrierten die Schüler das Beugungsbild im Minutenabstand. So konnten sie den genauen Verlauf der Schallgeschwindigkeit während der Gelierung gewinnen. Gleichzeitig haben sie die Transparenz des gelierenden Sols bestimmt. Die Temperatur des Modulationsgefäßes hielten die Schüler mittels IR-Lampen auf 0,1 °C genau konstant.

Die so gewonnenen Messdaten haben die Schüler verwendet, um das Verfahren zu automatisieren und damit die Modulierung des Gels zu optimieren. Als anschauliches Nebenprodukt ist ein Film entstanden, der zeigt, wie sich das Beugungsmuster während der Gelierung verändert, und an dem man durch die Stabilisierung des Beugungsbildes das Erreichen des Gelpunktes erkennen kann. Denn wenn das Gel sich festigt, entsteht ein orthogonales Beugungsmuster, das sich auf die Ausbreitung von Transversalwellen zurückführen lässt.

Finanziell wurde das Projekt auf vielfache Weise unterstützt. Firmen stellten neben dem Autoklaven Piezokeramiken und einen Piezoverstärker zur Verfügung, aus Mitteln der Deutschen Physikalischen Gesellschaft wurde ein hochwertiger Frequenzgenerator bezahlt, der sich über das LabView-System ansteuern lässt. Geld der Robert-Bosch-Stiftung gestattete es, einen Trockenschrank und viele weitere notwendige Geräte zu kaufen. Merck sponserte sämtliche Chemikalien.

Die Arbeit lief über zwei Schuljahre und war nur möglich, weil alle Beteiligten auch außerhalb der Öffnungszeiten des PhysikClubs intensiv daran gearbeitet haben. Das Team erhielt dieses Jahr den ersten Preis auf dem Regionalwettbewerb von Jugend forscht so-

## KONSTRUKTIVISTISCHES ARBEITEN UND KOMPETENZERWERB

**Kompetenzen** sind nach einer Definition von Franz Emanuel Weinert die verfügbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte fachliche Probleme zu lösen. Hinzu kommt die damit verbundene Befähigung, sich zu motivieren, sich willentlich zum Erwerb der Fähigkeiten und deren Anwendung zu entscheiden und der sozialen Bereitschaft, das Erlernete in verschiedenen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll einzusetzen.<sup>3)</sup>

Der Begriff Kompetenz richtet sich gegen eine Praxis des Lernens, in der es nur darum geht, Wissen und Fakten zu erwerben, ohne diese mit Anwendungen zu vernetzen und ohne dass diese einen Bezug zu den Lernenden und ihren emotionalen und sozialen

Bedürfnissen haben. Es lassen sich vier Kompetenzbereiche angeben: Selbst-, Sach-, Methoden- und Sozialkompetenz.

In einem **konstruktivistisch orientierten Unterricht** steht nicht der Lehrer mit seiner Methode, seinem Sachverständnis und seiner Lernstruktur im Vordergrund, sondern die Lernenden mit ihrer individuellen Vorerfahrung. Das Lernen ist ein aktiver, selbst konstruierter und selbst verantworteter Prozess, bei dem die Lernenden Wissen nicht einfach übernehmen können.

Das ist ein tragendes Prinzip der Arbeit im PhysikClub. Wir sind nicht Lehrer, sondern Berater auf gleicher Augenhöhe mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Die Arbeit des PhysikClubs ist an das konstruktivistische

Lehr-Lernmodell gebunden. „Hilf mir, es selbst zu tun“ lautet daher nach Maria Montessori unser Prinzip.

Da die Teilnehmer ihr Wissen eigenständig erwerben, müssen sie es an ihr Vorverständnis anbinden und in ihrer eigenen Sprache formulieren. Das Wissen erhält außerdem Bedeutung für sie, da es notwendig ist, um ihr Forschungsprojekt voranzubringen. Und nur bedeutungsvolles Wissen ist nachhaltig. In der Regel entsteht eine emotionale Bindung an das Projekt. In kooperativen Arbeitsformen probieren die Teams unterschiedliche Arbeitsmethoden aus und stärken ihre Kompetenzen. Handlungsorientierung, Authentizität und die Entwicklung einer Präsentation sind weitere konstruktivistische Aspekte unserer Arbeit.

3) Nach F. E. Weinert, Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit, Beltz, Weinheim und Basel (2001), S. 27 f.



Ilian Eilmes bei der Arbeit im Aerogel-Labor des PhysikClubs

wie einen Sonderpreis für eine besonders innovative Arbeit. Auf dem Landeswettbewerb wurde es mit dem 1. Platz im Fach Physik und dem Sonderpreis für die schöpferisch beste Arbeit des Wettbewerbs ausgezeichnet. Beim Bundesfinale erhielten die Schüler für ihre herausragende Arbeit einen Sonderpreis der DPG.

### Konnte Taylor einzelne Photonen nachweisen?

Geoffrey I. Taylor untersuchte 1909 das Interferenzverhalten von Licht geringer Intensität. Mithilfe einer Photoplatte konnte er nachweisen, dass auch stark abgeschwächtes Licht einer Gaslampe hinter einem Doppelspalt ein Interferenzmuster bildet. Inzwischen gilt Taylors Experiment als erster Nachweis der Ein-Photonen-Interferenz. Im Rahmen einer Untersuchung zum Mach-Zehnder-Interferometer musste das Physik-Club-Team aus Jonas Schmöle, Christoph Muster und Jens Pfeiffer mit einzelnen Photonen arbeiten. Die drei Schüler reduzierten die Intensität eines Laserstrahls und zeigten, dass sie wirklich mit einzelnen Photonen in ihrer Apparatur messen konnten. Sie arbeiteten dabei sowohl mit Photomultipliern als auch mit hochempfindlichen Avalanche-Photodioden (APDs). Den Laser konnten sie im Pikosekundenbereich takten. Im Mittel betrug der Zeitabstand zwischen den Photonen  $354 \mu\text{s}$ , d. h. einzelne Photonen waren im Mittel 106 km voneinander entfernt.

Um ihre Apparatur zu testen, bauten sie den historischen Taylor-Versuch nach, allerdings nicht mit einer Gaslampe, sondern mit einem auf  $10^{-12}$  abgeschwächten Laserstrahl. Ähnlich wie Taylor versuchten sie, die Abschwächung auszugleichen, indem sie den Schwarz-Weiß-Film länger belichteten – auch unter Berücksichtigung des sog. Schwarzschild-Effekts, den Taylor nicht kannte. Bei geringen Lichtintensitäten, also stark abgeschwächtem Laserstrahl, funktionierte dieser Ausgleich nicht mehr. Der Film wurde trotz der verlängerten Belichtungszeit überhaupt nicht geschwärzt.

Ganz anders verlief der Versuch, wenn eine thermische Lichtquelle gleicher Intensität zum Einsatz kam, die das Team eigens für dieses Projekt konzipiert hat. Verantwortlich dafür ist der Bunching-Effekt des Lichtes: Photonen in normalem (thermischem) Licht

treten nicht einzeln auf, sondern immer in kleinen Gruppen, auch wenn der Lichtstrahl stark abgeschwächt ist. Für den Laserstrahl gilt das nicht, dort sind es einzelne Photonen.

Das Team formulierte nicht nur die Bedingungen für ein Ein-Photonen-Experiment neu, sondern wies auch den Bunching-Effekt in thermischem Licht nach. Schnell fanden sie die Deutung: Damit ein Schwarz-Weiß-Film belichtet wird, müssen mindestens vier Photonen am Ort des AgBr-Mikrokristalls auftreffen. Anscheinend rekombinieren ionisierte Silberatome recht schnell, sodass nur eine dichte Folge von Photonen zu einem latenten Bild führt. Taylor erreichte dies (ungewollt) durch die Photonengruppen im thermischen Licht. Mit einem extrem abgeschwächten Laserstrahl geht das aber nicht. Somit hat Taylor nie ein Ein-Photonen-Experiment machen können, und die Interpretation vieler Lehrbücher ist falsch. Historisch gesehen hat Taylor selbst allerdings nie mit Photonen argumentiert, sondern nur über die Energiedichte der einfallenden Strahlung. Die falsche Interpretation muss später entstanden sein.

Die Arbeit erhielt 2006 den 1. Preis auf dem Regionalwettbewerb von Jugend forscht, den Sonderpreis für die beste Arbeit des Regionalwettbewerbs und wurde Landes- sowie Bundessieger in Physik.

### Die erste Techno-Quappe der Welt

Niclas Müller und Philipp Jäger erfuhren im Frühjahr 2005 zum ersten Mal von der Nickel-Titan-Legierung Nitinol, die bei Erhitzung kontrahiert und dabei eine vorher eingeprägte Form annimmt. Sie schreiben in ihrer Arbeit: „Nach einem Jahr Grundlagenforschung entdeckten wir, dass der Bewegungsapparat eines Fisches Eigenschaften nutzt, die auch Nitinol hat. Es schien uns prinzipiell möglich, den Bewegungsapparat aus Nitinol nachzubauen und für unser Antriebssystem zu nutzen. Damit wurde es zum Ziel des Projektes, ein Unterwasserantriebssystem zu bauen, das denselben Mechanismus wie ein Fisch benutzt. Während der gesamten Entwicklung nahmen wir die Natur als einen grundlegenden Anhaltspunkt und wussten



Niclas Müller und Philipp Jäger haben sich bei ihrem Forschungsprojekt den Formgedächtniseffekt des Nitinol zunutze gemacht.

Die schwimmende Techno-Quappe ahmt den Bewegungsmechanismus eines Fisches mithilfe von Nitinol nach.



bis zum Schluss nicht, ob das von uns entworfene Modell funktionieren würde. So begann die fortschreitende Entwicklung eines Antriebssystems, das wir immer weiter miniaturisierten und verbesserten.“

Das Antriebssystem besteht aus Bewegungsbausteinen, die den Muskelpaaren von Fischen nachempfunden sind. Durch eine alternierende Kontraktion verbiegt sich die Konstruktion und bewegt sich vorwärts. Ein solcher Bewegungsbaustein kann sich durch Stromstöße in zwei Richtungen auslenken. In ihm kontrahieren erhitzte Seitendrähte aus Nitinol und biegen damit einen pseudoelastischen Mitteldraht. Indem die Schüler fünf Bausteine aneinander ketten, konnten sie die komplexe Bewegung eines Kaulquappenschwanzes simulieren.

Dieses Antriebssystem wird über eine Elektronik betrieben, die ein externer Computer durch selbst entworfene Bewegungsalgorithmen steuert. Ein Kopf, der über einen Bewegungsbaustein mit zwei Freiheitsgraden am Antriebssystem befestigt ist, kann sich in vier Richtungen relativ zum Schwanz auslenken und fungiert als Ruder. In ihm sind Ansteuerungselektronik, Energieversorgung und eine Nutzlast untergebracht.

Mit der ersten Konstruktion gewannen die beiden Schüler den MINT Award 2006 für ein innovatives technisches Projekt und wurden Sieger im Regionalwettbewerb Hessen-Nord bei Jugend forscht. Auf dem Landeswettbewerb gab es den Landessieg in Technik sowie die Auszeichnung für die beste Arbeit des Wettbewerbs. Beim Bundeswettbewerb wurden die Schüler mit dem 5. Platz im Fachgebiet Technik belohnt. Im April 2008 stellten sie das Projekt auf der Hannover Messe der Öffentlichkeit vor.

### Schülerforschungszentrum Nordhessen im Blick

Die Arbeit des PhysikClubs hat sich als so erfolgreich und notwendig erwiesen, dass angestrebt wird, sie dauerhaft abzusichern sowie auf alle naturwissenschaftlichen Fächer zu erweitern. Dazu kooperiert der PhysikClub sehr eng mit der Wirtschaft und der Universität Kassel. 2007 haben sich auf Anregung des Autors Vertreter der Schule, des Staatlichen Schulamtes,

des Kultusministeriums und der Universität Kassel in kurzer Zeit zum Aufbau eines Schülerforschungszentrums (SFZ) entschlossen. Die Universität wird auf dem Gelände der Albert-Schweitzer-Schule ein mehrstöckiges Gebäude errichten, in dem neben Sammlungs-, Aufenthalts- und Bibliotheksräumen, eine Küche und natürlich auch zahlreiche kleine Labore Platz finden sollen. Der Astronomische Arbeitskreis Kassel plant, seine Sternwarte auf das Dach zu verlagern und sie als Volks- und Schulsternwarte zu betreiben. Außerdem wird er sie instrumentell so ausstatten, dass sich auch moderne astrophysikalische Forschungsfragen bearbeiten lassen. Das bietet Teams aus allen nordhessischen Schulen die Möglichkeit, hier eigenständig zu forschen. Der Neubau wird an die naturwissenschaftlichen Fachräume der Mittelstufe angeschlossen, er hat eine Fläche von rund 750 Quadratmeter und eine zur Installation von Forschungsgeräten begehbbare Dachfläche. Die vorhandene Infrastruktur der Schule (Mensa, weitere Klassenräume) wird mit einbezogen.

Aspekte der Lehrerausbildung werden im SFZ thematisiert und praxisorientiert vermittelt. Die Arbeit im SFZ ist in vielerlei Hinsicht didaktisches und methodisches Neuland. Begleitende Forschungsvorhaben untersuchen u. a. eine Möglichkeit, auch den regulären Unterricht zu verändern. Die jetzt schon enge Kooperation zwischen den naturwissenschaftlichen Instituten der Universität und dem PhysikClub soll das SFZ weiter verstärken. Das SFZ wird nicht nur für die Schülerinnen und Schüler von zentraler Bedeutung sein, sondern auch eine wichtige Rolle in allen Phasen der Lehrerausbildung- und Fortbildung spielen.

### Literatur

- K.-P. Haupt, Beispiele eigenständigen Lernens im Fach Physik, in: Gymnasium aktuell, hrsg. von K. Moegling, Klinkhardt Verlag, Bad Heilbrunn (2000)
- K. Mögling und K.-P. Haupt, Eigenständiges und fachübergreifendes Lernen: Konstruktivistisches Denken als Lehr- und Lernprinzip, Lehrerhandbuch, Raabe Verlag, Stuttgart (2001)
- K.-P. Haupt, Spektrum der Wissenschaft, Dezember 2005, S. 86

### DER AUTOR

**Klaus-Peter Haupt** (rechts, bei der Preisverleihung mit DPG-Präsident Eberhard Umbach) studierte Physik, Astrophysik, Mathematik und Pädagogik an der Universität Göttingen (Diplom und Staatsexamen 1978/79). Bis 2001 arbeitete er als Lehrer, seitdem ist er Fachleiter für Physik am Studienseminar für Gymnasien in Kassel. Aus der Beschäftigung mit Hochbegabung ist 2002 der PhysikClub der Stadt Kassel hervorgegangen. Haupt ist Mitarbeiter im Planetarium Kassel und Vorsitzender des Astronomischen Arbeitskreises Kassel e. V. Für seine Arbeit erhielt er 2003 den Ehrenbrief des Landes Hessen, 2007 den Klaus-von-Klitzing-Preis der Uni Oldenburg und den Lehrpreis der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren.



J. Röhl