

## Energie für die Insel Ein Experimentierworkshop mit „Neuen Technologien“

Julia Behle\*, Thomas Wilhelm\*

\*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str.1, 60438 Frankfurt  
[behle@em.uni-frankfurt.de](mailto:behle@em.uni-frankfurt.de), [wilhelm@physik.uni-frankfurt.de](mailto:wilhelm@physik.uni-frankfurt.de)

### Kurzfassung

Fossile Energieträger stehen auf der Erde nicht unbegrenzt zur Verfügung, weshalb Maßnahmen zur Verwendung von erneuerbaren Energiequellen und effizienter Energienutzung gefordert und auch gefördert werden. Der vierstündige Workshop „Neue Technologien“ im Rahmen der berufsorientierenden Workshopreihe MINT – die Stars von Morgen für hessische Haupt- und Realschülerinnen und -schüler konfrontiert Schülerinnen und Schüler mit diesem aktuellen Dilemma der Energieversorgung: Sie selbst sollen als „Energieexperten in Ausbildung“ der vom Kollaps bedrohten Inselnation Amberta zu Hilfe kommen und ihre Energieversorgung nachhaltig sichern. In dem Workshop lernen die Schülerinnen und Schüler kontextorientiert, experimentell und selbstverantwortlich die vielfältige Welt der erneuerbaren Energien kennen. Neben dem Anlegen eines physikalisch sinnvollen Energiekonzepts sollen die Teilnehmer auch auf emotionaler und politischer Ebene aktiviert und für das Thema „Energie“ begeistert werden. Da der Workshop für Schülerinnen und Schüler ohne physikalische Vorkenntnisse im Bereich Energie konzipiert wurde, ist es zielführend, auf ihren individuellen Präkonzepten aufzubauen. Neuere Untersuchungen [1] zeigen im schulischen Kontext im Bereich der Schülerassoziationen zum Begriff Energie einen Wandel von den bisher gängigen Assoziationen Öl und Benzin hin zum elektrischen Strom auf, weswegen eine genauere Beschäftigung auch im außerschulischen Kontext hier sinnvoll erscheint.

### 1. Motivation

Die Frage nach der Zukunftsfähigkeit der Energieversorgung wird in Deutschland spätestens seit der intensiven medialen Thematisierung des Klimawandels durch Al Gore 2007 und dem Reaktorunglück in Fukushima 2011 mit dem daraus resultierenden Atomausstieg regelmäßig öffentlich diskutiert. Durch die hohe mediale Präsenz und dem alterstypischen Interesse für Umweltfragen sind auch Schülerinnen und Schüler die Folgen einer unkontrollierten Verwendung von fossilen Energieträgern durchaus bewusst. Unter den Bildungsaspekten von Klafki nimmt die Frage der Energieversorgung sogar die Rolle eines epochaltypischen Schlüsselproblems ein [2], so dass es naheliegender erscheint, der (elektrischen) Energie im naturwissenschaftlichen Unterricht einen thematischen Schwerpunkt zu geben. Hessische Haupt- und Realschüler kommen allerdings nach Lehrplan (bis 2015) im Physikunterricht erst dann mit dem Thema „elektrische Energie und Energieversorgung“ in Kontakt, wenn sie für eine spätere berufliche Ausbildung schon die Weichen gestellt haben sollten. Die Chance, in der Schule frühzeitig Interesse an einem Beruf im Bereich nachhaltiger Energieversorgung zu entwickeln, entgeht ihnen so leider. Diese Lücke soll der Workshop „Neue Technologien“ füllen, der seit Mitte 2015 im Rahmen des mehrtägigen Berufsorientierungsprojekts „MINT – die Stars von Morgen“ an

vier Science Centern in Hessen durchgeführt wird. Der Workshop ist in seiner Konzeption kontextorientiert: Die Teilnehmenden übernehmen die Verantwortung für verschiedene Probleme der Inselnation Amberta, die durch den sich verschärfenden Mangel an fossilen Rohstoffen entstanden sind. Durch diese Kontextualisierung wird auch zugleich die Verbindung des Workshopinhaltes, bzw. des Themenfelds Energie zu den aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen deutlich.

Aus fachdidaktischer Sicht eignet sich der Themenbereich „elektrische Energie“ für einen Einstieg in das Basiskonzept Energie zudem besonders gut, da neueren Untersuchungen zufolge, z.B. von Crossley [1] oder Burger [3], „Strom“ (oder auch der Kontext Elektrizität im Allgemeinen) im Unterricht den Hauptteil der Schülerassoziationen zum Begriff „Energie“ ausmacht. Diese Entwicklung steht im Gegensatz zu der Assoziation mit Treibstoffen, die noch in den 1980er Jahren bei den Untersuchungen von Duit [4, 5] vorherrschend waren. Dadurch liegt außerdem nahe, dass die unter diesen spontanen Assoziationsäußerungen verborgen liegenden Schülervorstellungen ebenfalls einen Wandel vollzogen haben könnten. Das Argument, die Versorgung mit elektrischer Energie statt den klassischen Ansatz über Arbeit in der Mechanik als Einstieg für das Basiskonzept Energie im Physikunterricht zu nutzen, wurde schon früh von Duit [6], Muckenfuß [7] und

anderen hervorgebracht, es wird aber auch in der neueren Fachliteratur darauf verwiesen [8]. Durch eine Veränderung der Schülervorstellungen hin zu elektrisch geprägten Konzepten könnte dieses Argument noch verstärkt werden. Die Frage, ob und wenn ja wie sich die Schülervorstellungen zur Energie gewandelt haben, sind sowohl für die Weiterentwicklung des Workshops als auch für die Konzeption eines Energieunterrichts zentral. Auch soll der Frage Crossleys nachgegangen werden, ob sich die bei ihm gefundenen Veränderungen – exemplarisch bei Haupt- und Realschülerinnen und -schülern der 8. und 9. Jahrgangsstufe – auch im außerschulischen Kontext replizieren lassen.

## 2. Rahmenbedingungen

Der Workshop „Neue Technologien“ ist Teil der Workshopreihe „MINT – die Stars von Morgen“, die seit 2013 in derzeit vier Science Centern in Hessen durchgeführt wird. Die öffentlich geförderte, 28-stündige Projektreihe ist Teil der MINT-Aktionslinie in Hessen, die aufgrund des akuten Nachwuchsmanagements in MINT-Ausbildungsberufen ins Leben gerufen wurde, um Schülerinnen und Schüler für eine Ausbildung im MINT-Bereich zu begeistern. „MINT- die Stars von Morgen“ richtet sich in erster Linie an hessische Haupt- und Realschülerinnen und -schüler der 8. und 9. Jahrgangsstufe, die zunächst einen mittleren Bildungsabschluss anstreben. Im Projekt sollen die Teilnehmenden experimentell und praxisnah die vielfältigen Aufgabenbereiche der naturwissenschaftlich-technischen Berufswelt kennenlernen und gleichzeitig über mögliche Berufs- und Weiterbildungsmöglichkeiten informiert werden. Gegen Ende des Gesamtprojektes stellen sie dann ihre an den Workshoptagen erarbeiteten Exponate vor einem Publikum aus Lehrerinnen und Lehrern, Eltern, Freunden und der Projektleitung vor.

Aufgrund des Atomausstiegs und der damit verbundenen Umstellung auf regenerative Energiequellen ergibt sich auch in der Energiebranche ein gesteigerter Bedarf an potenziellen Auszubildenden. Auch ist zu vermuten, dass der gesellschaftlich relevante Aspekt der Umweltfreundlichkeit der „Erneuerbaren Energien“ einen positiven Einfluss auf die Motivation der Workshopteilnehmer hat. Der vierstündige Workshop „Neue Technologien“ wurde 2015 ins Leben gerufen, um diesen neuen Entwicklungen Rechnung zu tragen. Zusätzlich zum individuellen Workshopprogramm der jeweiligen Science Center wird dieser Thementag an allen Standorten gleich durchgeführt und bietet dadurch einen Verknüpfungspunkt zwischen den vier Projektgruppen. Da der Workshoptag als eigenständiges Modul konzipiert wurde, lässt er sich auch vom Gesamtprojekt losgekoppelt durchführen, zum Beispiel für einen Experimentiertag für Kinder und Eltern mit Migrationshintergrund oder als einführender Schülerlaborstag.

## 3. Konzept des Workshops

### 3.1 Ziele

Für die Konzeptionierung und Zielsetzung des Workshops waren verschiedene didaktische, originäre und gesellschaftliche Aspekte relevant, die alle im Gesamtkonzept Berücksichtigung finden. So soll der Workshop alle vier Kompetenzbereiche ansprechen und die Schülerinnen und Schüler in einem ansprechenden, motivierenden Kontext herausfordern. Über die gesellschaftliche Relevanz und die aktuelle Brisanz der Themen Ressourcenmangel, Energieversorgung und „Erneuerbare Energien“ soll darüber hinaus neben Interesse und Motivation auch ein Bewusstsein und ein persönliches Verantwortungsgefühl im Sinne des Klafki'schen epochaltypischen Schlüsselproblems geschaffen werden. Von Seiten der Physik ist es ebenso Ziel, bei den Schülerinnen und Schülern ein physikalisch aufbaubares, sinnvolles Energiekonzept anzuregen, ohne dabei dezidiert zu unterrichten. Und letztlich sollen die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler auch noch einen kleinen Einblick darin gewinnen, womit sich Berufe in der Energiebranche beschäftigen.

Zielgruppe des Workshops sind in erster Linie Schülerinnen und Schüler aus hessischen Mittelstufen der Regionen Frankfurt, Gießen, Marburg und Kassel, die nach Lehrplan noch keinen verpflichtenden Unterricht im Themenkomplex Energie gehabt haben müssen. Der Workshop sollte daher so gestaltet werden, dass er sich auch für Novizen eignet und keinerlei Vorwissen über Energie voraussetzt. Bei Schülerinnen und Schülern ohne unterrichtlichen Hintergrund sind außerdem anfängliche Präkonzepte umso gewichtiger und müssen spezielle Berücksichtigung finden.

### 3.2 Berücksichtigung von Schülervorstellungen

Die klassische Schülervorstellungsforschung der 1980er Jahre zum Thema Energie, im deutschsprachigen Raum seien hier im Besonderen die Untersuchungen von Duit [4] zu erwähnen, beschrieb eine hierzulande vorherrschende Treibstoffvorstellung der Schülerinnen und Schüler. Energie sei eine Art Treibstoff für Prozesse, der beim Aufrechterhalten des Prozesses verbraucht würde.

Dazu analog zeigten Untersuchungen zur Assoziation mit dem Begriff „Energie“, dass oftmals auch fossile Rohstoffe wie Öl mit Energie assoziiert wurden. Im englischsprachigen Raum beschrieb Watts [9] in der Feinstruktur sieben voneinander abgeschlossene „Frameworks“, den Assoziationen zugrunde liegende Konzepte. Diese Frameworks zeigten sich bei seinen Interviewanalysen mit amerikanischen Schülerinnen und Schülern. Beispielsweise würden sich gerade jüngere Schülerinnen und Schüler im „anthropocentric energy framework“ bewe-

gen, bei dem Energie als „Lebensenergie“ von Menschen und anderen Lebewesen beschrieben wird, wohingegen beim „functional energy framework“ Energie in Augen der Schülerinnen und Schüler nicht in „natürlichen“ Prozessen vorkommt und stattdessen immer einem (für Menschen nützlichen) Zweck dient. Weitere Frameworks von Watts beschrieben die Vorstellungen einer „depository energy“ (verschiedene Formen von Energie, die sich speichern und verbrauchen lassen), „ingredient energy“ (Energie als eine Art Stoff, der bei Prozessen frei wird), „ostensive energy“ (Energie als Manifestation bei Aktivitäten), „produced energy“ (Energie als ein Produkt, das bei Prozessen zusätzlich entsteht) und schließlich einer in groben Zügen der physikalischen Beschreibung äquivalenten „transfer energy“. Andere, zum Teil weniger fein strukturierte Konzepte, finden sich zum Beispiel auch bei Solomon [10]. Während zu Beginn der Forschung diese Frameworks noch als voneinander abgetrennte Konstrukte betrachtet wurden, gab es ab den 1990er Jahren die Vermutung, dass diese Konzepte durchaus überlappen können und nicht zueinander exklusiv sein müssen [11].

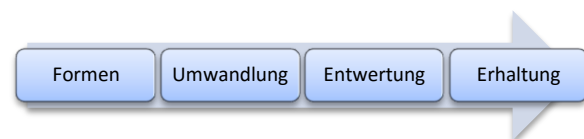
Neue Untersuchungen von Crossley zu den Schülerassoziationen zur Energie zeigen zumindest an der Oberflächenstruktur einen Wandel hin zur Energie als eng mit dem Komplex der Elektrizität und dem Bereitstellen von elektrischer Energie für das tägliche Leben verknüpft [1], was zum einen auf einen Wandel in der „Tiefenstruktur“ der zugrunde liegenden Vorstellungen und Frameworks hinweisen könnte, zum anderen für einen Einstieg in das Thema „Energie“ über den Kontext elektrischer Energieversorgung spricht. Dies ist auch im Hinblick auf die gesellschaftliche Entwicklung naheliegend und relevant, da die Frage nach der Energieversorgung heute nicht mehr direkt mit den Konzepten „Arbeit“ oder „Mechanik“ verknüpft ist.

### 3.3 Berücksichtigung von Lernschwierigkeiten

Um ein physikalisch anschlussfähiges Energiekonzept in einem außerschulischen Workshop anregen zu können, ist es sinnvoll, die Lernschwierigkeiten der Aspekte des Basiskonzepts Energie zu berücksichtigen. Duit [5] formulierte für die Elementarisierung im Bereich Energie die klassische „Energiequadrige“, bestehend aus den Aspekten Energieumwandlung, Energietransport, Energieerhaltung und Energieentwertung. Aufgrund der aktuellen Entwicklung und der weit verbreiteten Nutzung von elektrischen Geräten mit wieder aufladbaren Energiequellen im Alltag und der immer größeren Relevanz von erneuerbaren Energiequellen erscheint es inzwischen sinnvoll, auch den Aspekt der Energiespeicherung in die Elementarisierung mit einzubeziehen. Die Untersuchungen der Lernschwierigkeiten und Lernprogression, bzw. leaning progression im Bereich Energie beziehen sich jedoch auf die

Elemente der klassischen Quadrige und wurden zusätzlich um die Kategorien Energiequellen und -Formen erweitert.

Bekannte Lernschwierigkeiten, die für den Workshop relevant sind, sind zum Beispiel das Erkennen der potentiellen Energie als Energieform oder die konsequente Verwendung der Energieerhaltung [6]. Ein anderer, als Schwierigkeit bezeichneter Punkt ist die starke Verwendung von Alltagssprache zum Beschreiben von Vorgängen, bei denen Energie im Spiel ist. Dies ist für die Konzeption des Workshops jedoch weniger eine Schwierigkeit, sondern aufgrund der Zielgruppe eine direkt eingeplante Chance, da der Begriff Energie inzwischen so stark in der Alltagssprache verankert ist. Neumanns Untersuchungen zur Entwicklung von physikalischer Kompetenz am Beispiel Energie [12] zeigen, dass sich bei Schülerinnen und Schülern das Verständnis für das Konzept Energie entlang der folgenden Progression entwickelt: Energiequellen und -Formen lassen sich relativ leicht erkennen und beschreiben, danach folgt das Verständnis für Energieumwandlungen, die Entwertung von Energie durch die Entwicklung von Wärme und schließlich das Konzept der Energieerhaltung (s. Abb.1).



**Abb.1:** Ansteigende Schwierigkeit von Aspekten des Energiebegriffs nach Neumann

Da die Zielgruppe des Workshops potentiell keinen Unterricht über Energie gehabt hat, fließt diese Abstufung der Verständnisschwierigkeit auch in die Konzeption des Workshops ein. So ist es naheliegend, eine Vielfalt an Energiequellen und verschiedenen Energieformen zu thematisieren, die ineinander umgewandelt werden und stark im Kontext eingebettet werden. Die abstrakteren, komplexeren Aspekte Energieentwertung und Energieerhaltung sollen zwar auch thematisiert, aber explizit benannt und nicht so stark kontextualisiert werden.

### 3.4 Kontextorientierung

Kontexte erscheinen immer dann sinnvoll, wenn die Verknüpfung der Physik (oder des Physikunterrichts) zu gesellschaftlichen und technischen Bezügen sichtbar gemacht werden soll. Durch die Fokussierung des Workshops auf das Themenfeld der erneuerbaren Energietechnik ist schon über die Rahmenbedingungen eine Kontextualisierung gegeben. Dem Anspruch, einen echten Querschnitt durch die in Deutschland angewendete „green Energy“ zu bieten, wird der Workshop durch die Auswahl der vorgestellten Technologien gerecht, die trotz Ausnahme der Biomasse aktuell 74,4% der verwendeten Energiequellen darstellen [13]. Um den Teilneh-

menden jedoch zusätzlich einen „roten Faden“ an die Hand zu geben und um die persönliche und emotionale Auseinandersetzung mit dem Inhalt des Workshops zu verstärken, wird der Kontext der „erneuerbaren Energien“ auf ein konkretes Szenario angewendet: Die Ressourcenknappheit und „Energie-Not“ der vom Festland abgeschnittenen Insel Amberta, deren brennendste Probleme allein durch „Energie-Experten“ von außerhalb gelöst werden können. Deren Rolle sollen schließlich die Schülerinnen und Schüler einnehmen. Um ihre Rollen kompetent ausfüllen zu können, müssen sie sich zunächst durch die Experimente im Workshop fortbilden. Die Offenheit in den Möglichkeiten ihrer Lösungsstrategien, die die Teilnehmenden im „Expertenplenum“ am Ende des Workshops vorstellen, soll es ihnen ermöglichen, einen Schwerpunkt auf kreative und dennoch zielführende Lösungen zu legen. Durch die rahmende Geschichte und den Kontext der Insel in Energie-Not ist somit automatisch eine Berücksichtigung aller vier Kompetenzbereiche sichergestellt: Die Teilnehmenden eignen sich selbständig Fachwissen an und nutzen es, um ihre Lösungsstrategie zu entwickeln. Sie experimentieren in Gruppen und werten ihre Experimente selbst aus, um daraus Schlüsse für ihre Strategie zu ziehen. Sie kommunizieren in der Gruppe und mit den anderen Gruppen über die Experimente, die Lösungen und die Ideen der anderen. Und sie bewerten unter den Rahmenbedingungen der fünf Szenarios, welche Lösung sinnvoll und welche eher weniger angemessen erscheint.

#### 4. Ablauf des Workshops

Zu Beginn des Workshops „Neue Technologien“ wird den Schülerinnen und Schülern das Szenario der Insel Amberta mit ihren durch den Ressourcenmangel entstandenen Problemen erläutert. Im Anschluss bekommt jede Teilnehmergruppe ein „Expertendossier“ mit dem jeweils zu bearbeitenden Problem und die Experimentieranleitungen, mit denen die Gruppen selbstständig experimentieren sollen. Letztere sind kleinschrittig und in möglichst verständlicher Sprache verfasst, um auch mit Experimenten nicht so vertraute Teilnehmer nicht zu verschrecken. Die fünf drängendsten Probleme Ambertas beschreiben sich wie folgt:

- Pendler, die jeden Tag mit dem Auto in die Hauptstadt gefahren kommen, fürchten, aufgrund der dramatisch steigenden Kraftstoffpreise ihre Arbeitsfahrten nicht mehr bezahlen zu können.
- Die Hauptstadt der Insel, die über eine starke Infrastruktur verfügt und an einem breiten Fluss liegt, benötigt eine speziell auf sie zugeschnittene Versorgung mit elektrischer Energie.

- Eine kleine Anrainerinsel mit überdimensioniertem Kohlekraftwerk will sich in Zukunft autark mit elektrischer Energie versorgen, hat aber den Tourismus als einzige verlässliche Einnahmequelle.
- Ein Interessenverband will einen Windpark im Norden errichten lassen, dieser bekommt jedoch Widerstand von einem Bauernverband, der die Windräder für instabil, hässlich und ineffizient hält.
- Die Insel Amberta in ihrer Gesamtheit benötigt ein stimmiges Energiekonzept, um dem absehbaren Ende der fossilen Rohstoffe in Zukunft begegnen zu können.

Für die Entwicklung der Problemlösungen stehen den Teilnehmenden neben verschiedenen Landkarten (z.B. eine Wind- und Sonnenkarte, siehe Abb.2) auch Zusatzinformationen zur Verfügung, die bei Bedarf den jeweiligen technischen, gesellschaftlichen oder naturwissenschaftlichen Hintergrund noch detaillierter beschreiben.

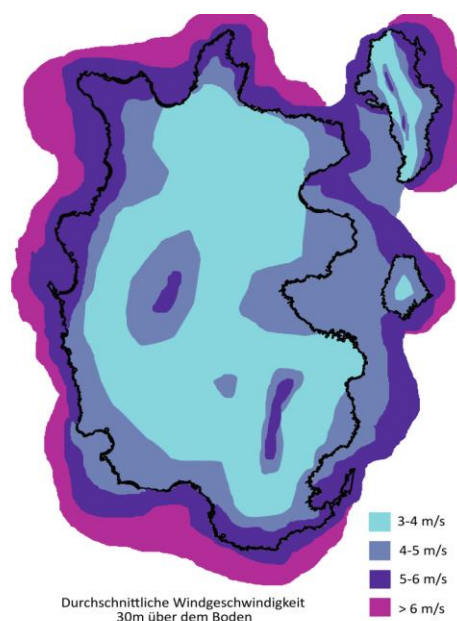


Abb.2: Windkarte von Amberta

Die „Expertendossiers“ dienen den Schülerinnen und Schülern als Leitfaden für die Bearbeitung ihres jeweiligen Problems. Neben den Fragestellungen, die sie am Ende in ihrer Lösungsstrategie beantworten sollen, weisen sie auch auf die mit ihrem Problem zusammenhängenden Experimentierstationen hin, die sie für ihre „Fortbildung“ bearbeiten sollten. Im Anschluss an die Einführungsphase experimentieren die Teilnehmenden dann in ihren Gruppen an den sieben Experimentierstationen, die in Abschnitt 5 detailliert vorgestellt sind.

Gegen Ende des Workshops beraten die Schülerinnen und Schüler auf Basis ihrer neu gewonnenen Erkenntnisse noch einmal abschließend über ihre

individuelle Lösungsstrategie in der Gruppe. Zur Unterstützung ihrer Präsentationen bereiten sie zusätzlich grafisch oder mit Stichworten gestaltete Plakate vor. Die Gruppen stellen dann im Plenum ihre Problemstellung und Lösungsstrategie in ca. 5-10 Minuten (inklusive Diskussion) vor. Dabei richten sie sich nach den im Expertendossier vorgegebenen Leitfragen, die das Problem umreißen und stellen sich Fragen und Anmerkungen aus dem Plenum. Alle bearbeiteten Materialien und Zusatzinformationen können die Teilnehmenden im Anschluss an den Workshop mitnehmen.

## 5. Beschreibung der Experimentierstationen

Da die Schülerinnen und Schüler selbst noch keine Energieexperten sind, sollen sie sich zunächst selbstständig zu solchen „fortbilden“. Die sieben Experimentierstationen sollen ihnen dabei den physikalischen Hintergrund erläutern und ebenso einen Überblick darüber geben, wie sich die jeweilige Energietechnik anwenden und in ihrer Leistungsfähigkeit beeinflussen lässt. Die Stationen sind so gestaltet, dass die meisten Experimentiermaterialien miteinander kompatibel sind und kreatives Experimentieren ermöglichen. Die Bearbeitungszeit beträgt im Durchschnitt pro Station 30 Minuten. Im Folgenden soll ein Überblick über die einzelnen Stationen und ihren experimentellen Kontext gegeben werden.

### 5.1 Station „Energie generieren“

Bei dieser Station sollen die Teilnehmenden selbst erfahren, wie elektrische Energie aus Bewegungsenergie umgewandelt werden kann. Als Grundlage dienen, angelehnt an den aus dem Alltag bekannten Fahrraddynamo, Handkurbelgeneratoren, wie zum Beispiel der von Muckenfuß mit entwickelte DynaMot [7], mit denen verschiedene elektrische Geräte mit unterschiedlicher Leistungsaufnahme betrieben werden. Zudem wird die Leistung als Maß für den „Energieumsatz pro Zeit“ eingeführt und so eine Verbindung zwischen der phänomenologischen „gefühlten Anstrengung“ beim Betrieb der Geräte und der gemessenen Leistungsaufnahme hergestellt.

Entfernung aus lizenzrechtlichen Gründen!  
Autoren haben die Möglichkeit die  
Veröffentlichungsrechte nachzuweisen.

**Abb.3:** Experimente mit Handkurbelgeneratoren

Die Leistung wird hier über ein Multifunktionsmessgerät direkt gemessen, um die mit den Begriffen Stromstärke und Spannung verbundenen Lern-

schwierigkeiten zu vermeiden. Zudem können Bezüge zwischen dem eigenen Energieumsatz und alltagsüblichen Umsatzgrößen in kWh, zum Beispiel beim Autofahren oder Heizen, hergestellt werden.

### 5.2 Station Windenergieanlagen

Windenergieanlagen zählen in Deutschland zu den prominentesten Kraftwerken für „Erneuerbare Energien“, nicht zuletzt wegen ihrer weiten Verbreitung und guten Sichtbarkeit. Das Modell der Windenergieanlage soll zunächst eine Verknüpfung von der Funktionsweise eines Dynamos (oder auch des Handkurbelgenerators) mit der Rotationsbewegung des Rotors hergestellt werden, um die Funktionsweise der Windenergieanlage deutlich zu machen. Es besteht aus einer stufenlos verstellbaren Windmaschine und einer Miniatur-Windenergieanlage, mit der kleine elektrische Geräte, zum Beispiel eine Lampe oder ein Elektromotor betrieben werden können. Das Modell inklusive Anemometer stammt aus dem Experimentiersystem „Windtrainer junior“ der IKS Photovoltaik [14] (s. Abb. 4).

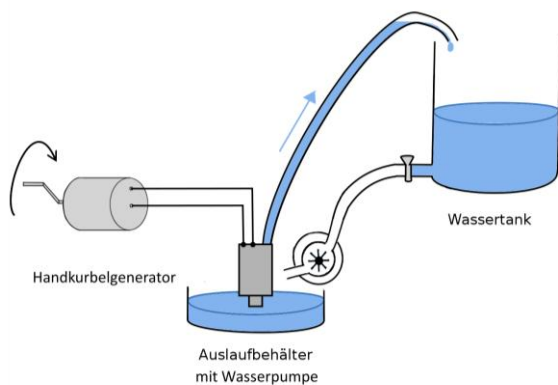


**Abb.4:** Modell der Windenergieanlage

Durch Veränderungen an der Windenergieanlage können die Teilnehmenden dann die Einflussmöglichkeiten auf die bereitgestellte Leistung des Modells erforschen. So ist es möglich, die Windgeschwindigkeit, die Flügelanzahl, die Flügelform und den Anstellwinkel der Flügel zu variieren. Je nach Leistungsbereitschaft und Interesse können an dieser Station sowohl qualitative, als auch quantitative Aussagen (über eine direkte Leistungsmessung an einem Verbraucher) getroffen werden und nach und nach die „ideale“ Windenergieanlage in Abhängigkeit der Randbedingungen auf der Insel Amberta entwickelt werden. Auch sollen die Schülerinnen und Schüler der Frage nachgehen, wo die Energie für die Windenergieanlage eigentlich herkommt und ob, wie fälschlicherweise oft behauptet wird, tatsächlich „unendlich“ viel Energie nutzbar ist. Hierzu wird die Windgeschwindigkeit mit Hilfe eines Anemometers vor und nach dem Windrad gemessen mit dem Ergebnis, dass die Bewegungsenergie des Windes abgenommen haben muss.

### 5.3 Station Wasserkraftwerk

Das Modell des Wasserkraftwerks bildet ein Pumpspeicherkraftwerk nach, das aus einem Wassertank, einer damit verbundenen Turbine, einem Auffangreservoir und einer mit einem Handkurbelgenerator (z.B. Dynamot) betriebenen Pumpe besteht. Da die Turbine nur sehr geringe Leistungswerte (5-6 mW) erreicht, wird zum rein qualitativen Vergleich der Leistungsentwicklung ein Propeller verwendet, dessen Änderung in der Rotationsgeschwindigkeit ein Maß für die veränderte Leistung der Turbine darstellt. Turbine, Propeller und das Wasserleitsystem sind im Lehrmittelhandel (z.B. bei Conatex [15]) zur Darstellung von Wasserstromkreisen erhältlich.



**Abb.5:** Schematische Darstellung des Wasserkraftmodells

Die Schülerinnen und Schüler sollen zunächst wieder die Analogie zum Dynamo oder Handkurbelgenerator erkennen mit dem Zusatz, dass die Energie für die Bewegung nun ursprünglich aus dem im „Stausee“ gespeicherten Wasser in Form von potentieller Energie stammt. Dem Einfluss der Höhe des „Stausees“ und der Frage, ob der Ausflusswinkel des Schlauchs einen Einfluss auf die Leistung hat, soll im nächsten Schritt ebenso nachgegangen werden. Über die Verwendung der handgetriebenen Pumpe zum Wiederauffüllen des Stausees wird zum einen die Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks zur Speicherung von „überschüssiger“ Energie erklärt, zum anderen aber auch deutlich, dass das Pumpen in größere Höhen deutlich anstrengender ist, als in kleinere. Dies unterstützt das Verstehen der bis dahin oft unbekannteren potentiellen Energie.

### 5.4 Station Solartechnik

Solarzellen sind neben der Windenergieanlage die im Alltag verbreitetste und im Privatgebrauch auch am häufigsten angewendete „Neue Technologie“. Aufgrund der für die Jahrgangsstufe der Teilnehmenden enormen Komplexität ihrer physikalischen Funktionsweise werden sie bei dieser Experimentierstation, die aus einer schwenkbaren Lampe, im Einstrahlungswinkel verstellbaren Solarzellen und zwei Verbrauchern besteht, einfach wie ein aus Silizium bestehender Energiewandler behandelt, der bei Bestrahlung mit Licht eine elektrische Spannung

entwickelt. Diese Spannung wird im ersten Schritt dafür genutzt, ein elektrisches Gerät zu betreiben. Im Gegensatz zu den anderen Stationen sollen die Schülerinnen und Schüler hier exemplarisch die elektrische Leistung aus Stromstärke  $I$  und Spannung  $U$  berechnen, damit im nächsten Schritt der Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die beiden Kenngrößen deutlich wird. Auch kann durch den Lichtsensor der (oft sehr große, aber mit dem Auge nicht unbedingt gut erkennbaren) Unterschied zwischen der üblichen Deckenbeleuchtung, der im Experiment verwendeten Halogenlampe und der Beleuchtung durch die Sonne bei geöffnetem Fenster untersucht werden. Es kann zusätzlich untersucht werden, ob die Solarzelle auch mit einer (im sichtbaren Lichtspektrum nur schwach strahlenden) 100W-Infrarotlampe funktioniert, um der gängigen Vorstellung zu begegnen, eine Solarzelle funktioniere in erster Linie mit hochenergetischer UV-Strahlung. Das Modell erlaubt zuletzt für interessierte Gruppen auch die Möglichkeit, verschiedene „Tageszeiten“ und Dachwinkel zu simulieren, um hier die ideale Leistungsentwicklung über den Tag zu ermitteln. Das im Workshop verwendete Modell stammt aus dem Experimentiersystem „Solartrainer junior“ der IKS Photovoltaik [14], es lässt sich aber problemlos aus Holz mit einem Experimentiersatz Solarzellen und einer Halogenlampe nachbauen. Die Infrarotlampe ist im Elektronikhandel erhältlich.

### 5.5 Station Brennstoffzelle

Wie zuvor erwähnt wird durch nicht konstant arbeitende Kraftwerke wie Windenergieanlagen oder Solarzellen die Frage nach der Energiespeicherung immer wichtiger. Akkus sind den meisten Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag wohl bekannt, liefern aber beim Auf- und Entladen keinen sichtbaren Effekt. Die Brennstoffzelle, einst als zukünftiger Garant der Mobilität hoch gelobt, bietet im Gegensatz zum Akku einen deutlicheren und einfacheren Einblick in die chemische Energiespeicherung.

Die Brennstoffzelle besteht aus der Zelle selbst, deren Elektroden durch eine PEM-Membran getrennt werden, sowie zwei pneumatisch befüllbaren Gastanks. Die in dieser Station verwendeten Brennstoffzellen (auch das beliebte Brennstoffmobil) stammen von Horizon und sind z.B. über Opittec erhältlich [16], andere Zellen sind aber auch im Elektronik- und Lehrmittelhandel erhältlich.

Mit einem Netzgerät wird im ersten Schritt demineralisiertes Wasser elektrolysiert, wobei Wasserstoff und Sauerstoff entstehen. Von den Teilnehmenden zu diskutieren ist hier auch, warum ein doppelt so großes Volumen von  $H_2$  im Vergleich zu  $O_2$  entwickelt wird, was einen ersten Einblick in die Faraday'schen Gesetze erlaubt.

Im nächsten Schritt kann die „aufgeladene“ Brennstoffzelle dann zum Betrieb eines Motors, zum Beispiel in einem Elektromobil, genutzt werden. Die

Schülerinnen und Schüler erkennen so, dass sich elektrische Energie in Form von chemischer Energie speichern lässt, wenn man eine normalerweise (mehr oder minder) spontan ablaufende chemische Reaktion durch Verwendung von elektrischer Energie erzwungen „rückwärts“ ablaufen lässt. Diese chemische Energie lässt sich dann wieder – wie bei einem gewöhnlichen Akku auch – bei der Reaktion der beiden Stoffe in elektrische Energie umwandeln. Da die Elektrochemie für die Teilnehmenden sehr komplex ist, wird bei dieser Station die Elektrolyse als „erzwungene Aufspaltung“ des Moleküls Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff elementarisiert, ebenso wird die Nutzung der chemischen Energie bei der Rückreaktion als „chemische Reaktion mit dem Umweg über Elektroden und Kabel“ beschrieben. Für chemisch interessierte Schülerinnen und Schüler wird zusätzlich eine tiefer in die Materie einsteigende Erklärung angeboten (für eine grafische Darstellung siehe Abb.6).

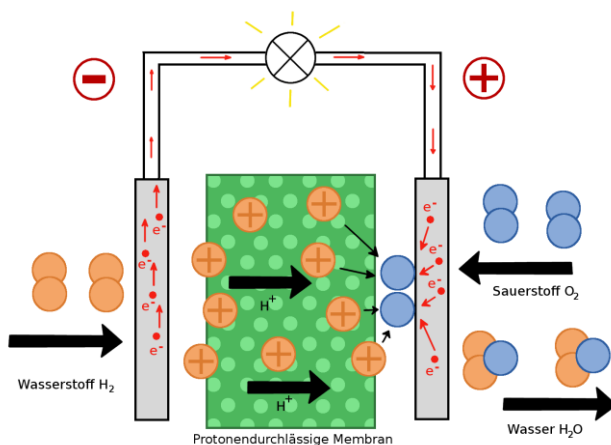


Abb.6: Schematischer Ablauf der Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff in der Brennstoffzelle

### 5.6 Station Leichtbau

Der Leichtbau selbst ist zwar nicht direkt mit einer Energiequelle verknüpft, dient aber bei vielen modernen Anwendungen dem Einsparen von Rohstoffen und zum Beispiel auch der Weiterentwicklung von immer größeren und effizienteren Windenergieanlagen. Bei dieser „Hilfstechnologie“ beschäftigen sich die Teilnehmenden mit qualitativer und quantitativer Materialkunde und vergleichen zum Beispiel die durchschnittliche Dichte und die Biegefestigkeit von Carbon-, Styropor- und verschiedenen Metall- und Holzstäben. Als nächstes wird untersucht, wie sich scheinbar „instabile“ Materialien durch geschickte Konstruktion stabiler machen lassen und über die Vogelfeder auch ein Bogen zur Bionik geschlagen.

### 5.7 Station „Energie ist wandelbar“

Bei dieser Station sollen zum einen die vielfältigen Möglichkeiten zur Energiewandlung aufgezeigt werden und zum anderen die Aspekte Energieerhaltung und Energieentwertung thematisiert werden.

Die Schülerinnen und Schüler bauen zunächst ihren eigenen „Energiewandler“, einen solarbetriebenen Propeller und beschreiben die Energieformen, die dabei ineinander umgewandelt werden. Danach betrachten sie eine Simulation eines Energiewandlungskreislaufs [17], bei der zwischen den beiden Speicherformen chemischer und potentieller Energie verschiedene Wandlungsketten mit unterschiedlichen Wirkungsgraden durchlaufen werden. Dabei wird sichtbar gemacht, dass im Wandlungskreislauf nach und nach immer weniger nutzbare Energie vorhanden ist und immer mehr Energie in Form von Wärme in den Raum abgegeben wird. Mit Hilfe einer Wärmebildkamera können die Teilnehmenden dann die verschiedenen Energieumwandlungsprozesse im Raum auf Wärmeentwicklung untersuchen. Durch die Einstellung „Perpetuum Mobile“, die auch als „Cheat-Modus“ beschrieben wird, lässt sich durch den idealisierten Umwandlungskreislauf darstellen, dass die Energie tatsächlich erhalten bleibt.

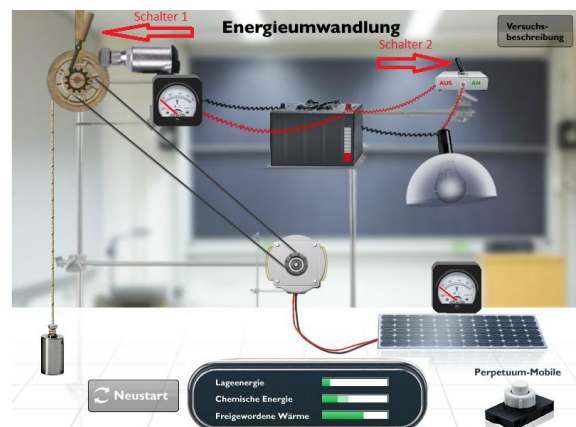


Abb. 7: Simulation zum Energiewandlungskreislauf

## 6. Erfahrungen

Erste Durchläufe des Workshops haben gezeigt, dass sich die meisten Schülerinnen und Schüler stark mit ihrer Rolle als „Energieexperten“ identifizieren und bereits zu Beginn, aufbauend auf ihren Schülervorstellungen, mögliche Lösungsansätze in der Gruppe diskutieren. Einige Schülerinnen und Schüler geben jedoch an, dass sie einen dekontextualisierten Experimentierzirkel bevorzugen würden. Die Gruppen benötigen pro Station zwischen 20 und 40 Minuten, wobei einige aufgrund eigenen Interesses deutlich länger an einer Station verweilen. Das Niveau der Aufgabenschwierigkeit wird von den meisten Teilnehmern als angemessen beurteilt. Besondere Erwähnung verdient das Wasserkraft-Modell, das sich großer Beliebtheit erfreut und durch das Hochpumpen des ausgeflossenen Wassers auf unterschiedlichen Höhenniveaus bei vielen Teilnehmenden zu „Aha-Effekten“ geführt hat.

Die Lösungsstrategien sind erwartungsgemäß kreativ und mit großen individuellen Unterschieden bei der jeweils gleichen Problemstellung. Die größte Diversität ergibt sich bei der Frage nach der Mobili-

tät der Pendler – hier reichen die Lösungsideen von den zu erwartenden Elektro- oder Brennstoffzellenautos über mit Windkraftwerken versorgte Zugverbindungen, Brennstoff-Solar-Hovercrafts oder einer betrieblich geförderten Elektro-Werksbuslinie. Die Teilnehmenden bringen jedoch zum Teil deutlich mehr Vorwissen über Energie mit als aufgrund der Lehrplansituation erwartet wurde. Dies mag an jenen Lehrerinnen und Lehrern liegen, die sich schon frühzeitig vom alten Lehrplan abgewendet haben und dem Ruf nach einer früheren Energiebildung gefolgt sind. Zum Teil findet in den anderen Naturwissenschaften aber auch deutlich früher eine Thematisierung der Energie statt.

## 7. Ausblick

Zu Beginn wurde erwähnt, dass bei den Schülerassoziationen eine Veränderung hin zu einer deutlich dominanteren Assoziation mit dem elektrischen Strom stattgefunden hat. Dieser Befund, vor allem auch in Verbindung mit der (zumindest im Gymnasium und der Realschule) über die Jahrgänge langsam abnehmenden Assoziation mit Strom und der zunehmenden Assoziation mit physikalischen Energieformen, wurde jedoch im schulischen Kontext erhoben. Ob sich diese jahrgangstypische Entwicklung auch im außerschulischen Bereich zeigt, soll im Rahmen des Workshops über eine analoge Befragung der Teilnehmenden ermittelt werden. Gleichzeitig soll erhoben werden, wie sich die typische Einstellung der Schülerinnen und Schüler zu verschiedenen Aspekten der Energie darstellen. Um eine mögliche Veränderung bei den Assoziationen zugrunde liegenden Schülervorstellungen aufzeigen zu können, wird zudem eine leitfadengeführte Interviewanalyse durchgeführt, die in einem mixed-methods-Ansatz mit der ersten Befragung in Relation gesetzt werden soll. Letztlich soll geprüft werden, inwiefern der Workshop dazu dienen kann, ein physikalisch sinnvolles Energiekonzept anzuregen und das (vielleicht schon vorhandene) Bewusstsein für die Rolle der Energie in unserer Welt zu beeinflussen.

## 8. Literatur

- [1] Crossley, A., Hirn, N. & Staruschek, E. (2009): Schülervorstellungen zur Energie – Eine Replikationsstudie. In: Nordmeier, V., Grötzebauch, H. (Hrsg.), Didaktik der Physik - Bochum 2009, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [2] Klafki, W. (1992): Allgemeinbildung in der Grundschule und der Bildungsauftrag des Sachunterrichts. In R. Lauterbach u.a. (Hrsg.), Brennpunkte des Sachunterrichts. Kiel: IPN, S.11-31.
- [3] Burger, J. (2001): Schülervorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ – Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen. Dissertation Universität Bielefeld.
- [4] Duit, R. (1986): Energievorstellungen. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie, 34 (13), S.7-9
- [5] Duit, R. (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht. Habilitationsschrift. Universität Kiel.
- [6] Duit, R. (1987): Unterricht über Energie – Ziele, Lernschwierigkeiten, Wege. In: PdN-Ph, 3/36, S. 41-44
- [7] Muckenfuß, H., Walz, A. (1997): Neue Wege im Elektrizitätsunterricht: Vom Tun über die Vorstellung zum Begriff. Aulis Verlag, S. 64-66
- [8] Rincke, K. (2015): (Elektrische) Energie – Unterrichten zu einem schwierigen Begriff mit großer Bedeutung. In: Unterricht Physik 146, Jg 26, S.2-10
- [9] Watts, D. (1983): A study of alternative frameworks in school science. Dissertation, University of Surrey.
- [10] Solomon, J. (1983). Learning about energy: How pupils think in two domains. In: European Journal of Science Education, 5, S.49-59.
- [11] Boyes, E., Stanisstreet, M. (1990). Pupil's ideas concerning energy sources. International Journal of Science Education Vol.12, Iss. 5
- [12] Neumann, K., Viering, T. & Fischer, H.E. (2010): Die Entwicklung physikalischer Kompetenz am Beispiel des Energiekonzepts. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg.10, S.285-298
- [13] BMWI [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2015; Berlin: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung\\_der\\_erneuerbaren\\_energien\\_in\\_deutschland\\_im\\_jahr\\_2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=12](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung_der_erneuerbaren_energien_in_deutschland_im_jahr_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=12)
- [14] IKS Experimentierkoffer: <http://www.iks-photovoltaik.de/> (Stand 05/2016)
- [15] Wassergenerator mit Motor bei Conatex: [https://www.conatex.com/catalog/physik/elektrik/analogie\\_serien\\_energieumwandlung/produkt\\_wassergenerator\\_mit\\_motor\\_und\\_propeller\\_des\\_energie\\_trager\\_stromkreises/sku-1080701#.VzxmzYSLTcs](https://www.conatex.com/catalog/physik/elektrik/analogie_serien_energieumwandlung/produkt_wassergenerator_mit_motor_und_propeller_des_energie_trager_stromkreises/sku-1080701#.VzxmzYSLTcs) (Stand 05/2016)

- [16] Brennstoffzellen von Opitec:  
<http://de.opitec.com/opitec-web/articleNumber/111091/zz/cID/c316YnJlbm5zdG9mZnplbGxlOQ==> (Stand 05/2016)
- [17] Simulation eines Energiewandlungskreislaufs:  
<http://www.planet-schule.de/sf/php/mmewin.php?id=215>  
(Stand 05/2016)