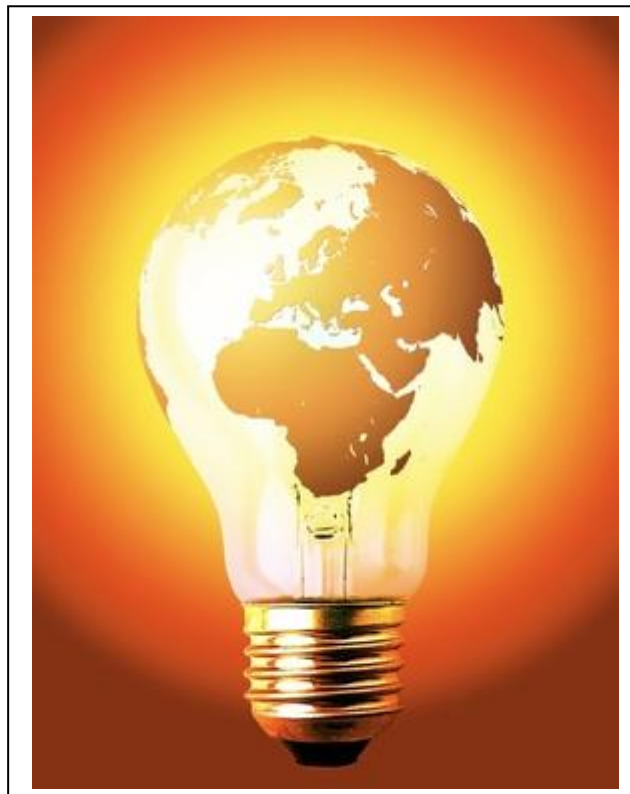


Schülerlabor

Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik



schriftliche Hausarbeit
zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Realschulen

ausgearbeitet von **Pregler Monika** im Juni 2011

betreut und geprüft von Prof. Dr. Thomas Trefzger

*Die Verschwendung von Energie ist
nichts anderes als Wegwerfen von
knappen Rohstoffen.*

Klaus Töpfer

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
1.1	Vorwort.....	5
1.2	Inhalte der Arbeit.....	5
2.	Einordnung in den bayerischen Lehrplan.....	8
2.1	Bezug zu den allgemeinen Zielen des Lehrplans.....	8
2.2	Einordnung des Schülerlabors in den Lehrplan der Realschule (R6).....	9
2.3	Einordnung des Schülerlabors in den Lehrplan des Gymnasiums.....	11
3.	Das Schülerlabor.....	14
4.	Physikalische Grundlagen	17
4.1	Energie.....	17
4.1.1	Energie in den Naturwissenschaften und im Unterricht.....	17
4.1.2	Energieformen und deren Einheiten.....	25
4.1.3	Einteilung in Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie.....	33
4.1.4	Die Entwicklung der Weltbevölkerung und der Energieverbrauch..	35
4.1.5	Die Reichweiten der Erdölressourcen – Der Peak Oil.....	37
4.1.6	Der Treibhauseffekt.....	39
4.1.7	Möglichkeiten der Energiegewinnung.....	42
4.2	Die Induktion.....	62
4.3	Der Drehstromgenerator.....	64
4.4	Transformatoren und die Verteilung der elektrischen Energie.....	67
4.5	Heizwärmebedarf, Wärmetransport und Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen.....	69
4.6	Energiesparen im Haushalt.....	76
4.7	Die Wärmepumpe.....	78
5.	Planung und Durchführung des Schülerlabors.....	80
5.1	Die Organisation des Schülerlabors.....	80
5.2	Der Vortrag.....	88
5.3	Schülerversuche.....	90
5.3.1	Experimentierstation „Energieversorgung“.....	91
5.3.2	Experimentierstation „Wärmedämmung“.....	105
5.3.3	Experimentierstation „Energie im Haushalt“.....	117
5.3.4	Experimentierstation „Wärmepumpe“.....	126
5.3.5	Station Energieproblematik und die Diskussionsphase.....	145
5.4	Energiesparhaus und Ergometer.....	153
6.	Evaluation des Schülerlabors.....	155
6.1	Ergebnisse der Schülerevaluation.....	155
6.2	Ergebnisse der Betreuerevaluation.....	177
6.3	Folgerungen aus der Evaluation.....	182
7.	Zusammenfassung und Ausblick.....	183

8.	Anhang.....	185
8.1	Checkliste zur Organisation des Schülerlabors.....	185
8.2	Werbeflyer.....	187
8.3	Folien des einführenden Power-Point-Vortrages.....	189
8.4	Schülerhandout	197
8.5	Hilfekarten.....	250
8.6	Informationen zur beigefügten CD.....	259
9.	Referenzen.....	260
9.1	Bücher, Zeitschriften und Studien.....	260
9.2	Internetquellen.....	263
9.3	Abbildungsverzeichnis.....	268
9.4	Tabellenverzeichnis.....	272
10.	Danksagung.....	273
11.	Selbständigkeitserklärung.....	274

1. Einleitung

1.1 Vorwort

Energie ist der Motor der Weltwirtschaft. Rund um die Uhr bestimmt die Verfügbarkeit von unterschiedlichen Energiequellen den Alltag einer jeden Person. So selbstverständlich wie jeder einzelne Bürger Tag für Tag beim Einschalten des Lichtes, der Heizung, des Laptops oder der Mikrowelle, auf Ressourcen und Energiequellen zugreift, ebenso bedeutend ist für die Menschheit die Aufgabe nach der bestmöglichen Gewinnung von Energie. Die Frage nach sicherer Energie ist eine der Schlüsselfragen im 21. Jahrhundert. Sie entscheidet über Wachstum und Erfolg der Industriestaaten und Schwellenländer. Dabei stehen Energiewirtschaft und Politik vor großen Herausforderungen [PET08/1-5].

Die Öl- und Gasvorräte schwinden, und ihre Förderung wird immer teurer. Die Kohle muss, wenn die hochgesteckten Klimaschutzziele, die im Kyoto-Vertrag Ende des Jahres 2010 von 194 Teilnehmern des UN-Klimagipfels in Mexiko verabschiedet worden sind, erreicht werden sollen, aufwendig vom CO₂-Ausstoß befreit werden [INTQ01]. Die Kernenergie ist nach wie vor umstritten, ihr Nachbau wenig wirtschaftlich und diese Art der Energiegewinnung birgt große Gefahren, wie uns die neuerliche Atomkatastrophe in Japan - Fukushima gelehrt hat. Es steht die Frage im Raum, ob die erneuerbaren Energien allein, bei aller staatlichen Förderung, die Lücken rechtzeitig schließen können.

Im kürzlich veröffentlichten Energiekonzept legte die deutsche Bundesregierung ihre energiepolitischen Ziele fest: Derzeit macht der Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 16 Prozent aus und soll bis zum Jahr 2050 auf 80 Prozent steigen. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Energieverbrauch in Deutschland soll bis zum Jahr 2050 auf 60 Prozent steigen [INTQ02].

Aufgrund dieser Situation müssen Politik und Energiewirtschaft weitreichende Entscheidungen treffen. Um Beschlüsse zu fassen, die von den Parteien ebenso wie von den Bürgern getragen werden und die der Energiewirtschaft verlässliche Planungsdaten liefern, bedarf es einer breiten Diskussion. Die vorliegende Arbeit sucht diese Debatte bei Heranwachsenden zu befördern [PET08].

1.2 Inhalte der Arbeit

In nahezu allen naturwissenschaftlichen Fächern, so auch im Physikunterricht, werden traditionellerweise viele Themengebiete häufig einführend aus fachlicher Sicht behandelt, während der Realitätsbezug und die technische Bedeutung erst kurz am Schluss vorgestellt werden. Den Schülern wird oftmals nicht klar, wie das behandelte Thema in

ihrem Leben einzuordnen ist, da der Schwerpunkt nicht selten auf der wissenschaftlichen Behandlung der Thematik liegt. Dies mag ein Grund sein, warum viele Schüler Physik langweilig und wenig ansprechend finden. Ein Ergebnis der PISA-Studie 2006 lautet, dass es eine große Herausforderung bleibt, im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur das fachliche Wissen aufzubauen, sondern zugleich das Interesse an den Inhalten zu fördern, wobei experimenteller und fächerübergreifender Unterricht äußerst hilfreich sein kann, aber größtenteils zu kurz kommt [INTQ03].

Die Energiefrage betrifft jedoch alle und ist von höchster Wichtigkeit. Auch den Schülerinnen und Schülern muss die Dringlichkeit dieses Themas bewusst werden. In dieser Hinsicht bedarf es viel Aufklärungsarbeit in der Bevölkerung und bei den Heranwachsenden, schließlich betrifft es gerade ihre Zukunft. Die Energieproblematik wird zwar auch in der Schule angesprochen, aber dort können nur Ausschnitte der Thematik behandelt werden.

Aus diesen genannten Gründen war es Ziel der vorliegenden Arbeit, ein eintägiges Schülerlabor zur Energiefrage zu entwickeln, um den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu bieten, sich intensiv und fächerübergreifend mit der Materie auseinander zu setzen. Demzufolge soll diese Arbeit einen Überblick über das Themengebiet Energie liefern. Hierfür werden die Schüler zuerst mit Problemen der Energiefrage konfrontiert, wie etwa dem Klimawandel, den Folgen der Umweltverschmutzung und der Rohstoffverknappung, welche den Jugendlichen zum Beispiel in den Medien oder in öffentlichen Diskussionen bereits begegnet sind. Die Thematik soll den Schülern anders als in der Schule vermittelt werden. Deshalb unterscheidet sich der Tag im Schülerlabor von dem gewohnten Physikunterricht, ebenso soll die Theorie mit der Praxis verbunden werden. Auf das Schülerlabor als außerschulische Bildungseinrichtung wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

Im Kapitel 2 wird das Themengebiet Energie in den Lehrplan der Realschule und des Gymnasiums eingeordnet. Dieser Punkt ist von besonderer Wichtigkeit, denn das Niveau des Schülerlabors soll für die Versuchsteilnehmer ansprechend sein und darf die Jugendlichen nicht unter- bzw. überfordern. Um die Experimente schlüssig verstehen zu können, ist es unverzichtbar ein besonderes Augenmerk auf die benötigten Grundkenntnisse im Bereich der Energie zu legen. Das Kapitel 4 beschäftigt sich daher mit den benötigten physikalischen Grundlagen des Schülerlabors.

Im Anschluss wird in vier verschiedenen Experimentierstationen gezeigt, dass mit Hilfe der Physik Probleme der Energiefrage gelöst werden können. Die verwendeten Versuchsaufbauten, sowie die Durchführung dieser experimentellen Phase, sind in Kapitel 5 beschrieben. Dabei werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt Energie zu sparen, denn nicht nur die Politik, die Regierungen und die Industriekonzerne sind für die Lösung der Probleme der Energiefrage verantwortlich, sondern bereits der einzelne Bürger kann in seinem persönlichen Umfeld dazu beitragen. Bei jedem Versuch wird auf die Lernziele, auf die einzelnen Arbeitsschritte und schließlich auf die Details eingegangen, die die Betreuer bei der Durchführung beachten sollten.

In einer weiteren Station bekommen die Schüler, die in sechs Gruppen eingeteilt werden, Arbeitsmaterialien zu unterschiedlichen Hauptkraftwerkstypen (Kernreaktor, Solaranlagen, Windkraftanlagen, Wasserkraftanlagen, Geothermie, Biomasse) ausgeteilt. Nach einer Einarbeitungsphase präsentieren die Expertengruppen ihre Ergebnisse mit Hilfe einer Matrix und in Form eines Vortrags den restlichen Mitschülern. Die auf der Matrix aufbauende Diskussionsrunde wird ebenfalls in Kapitel 5 erläutert.

Das hier vorgestellte Schülerlabor wurde mit drei unterschiedlichen Klassen an verschiedenen Versuchstagen durchgeführt. Es fanden sich am 12.10.2010 die 9d des Riemenschneider-Gymnasiums Würzburg, am 13.10.2010 die 9a des Röntgen-Gymnasiums Würzburg und am 14.10.2010 die 10a der Realschule Gemünden am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg ein, um das hier vorgestellte Schülerlabor zu besuchen. Im Anschluss an die Versuchstage wurde eine Schüler- und Betreuerevaluation durchgeführt, deren wichtigste Ergebnisse in Kapitel 6 dargelegt und graphisch ausgewertet sind.

Zum Abschluss erfolgt in Kapitel 7 eine Zusammenfassung dieser Arbeit. Kapitel 9 beinhaltet die Angaben der verwendeten Referenzen, Kapitel 10 eine Danksagung und Kapitel 11 die Selbständigkeitserklärung.

Im Anhang (Kapitel 8) befinden sich die Folien des Power-Point-Vortrages, der an jedem Versuchstag gehalten wurde, das Einladungsschreiben, eine Checkliste für die Erstellung des Labors, Hilfekarten, sowie die Schülerversionen der Versuchsanleitungen. Auf der beigefügten CD finden sich Übersichtspläne über die Versuchstage, sämtliche verwendete Arbeitsmaterialien, Aufgabenblätter und Vorträge, computerunterstützte Auswertungen, Auszüge aus den Ergebnissen der Diskussions- und Präsentationsrunde, die Fragebögen der Evaluation inklusive deren Auswertung und Bilder von den Schülerlaboren.

2. Die Einordnung des Themas Energie in den bayerischen Lehrplan

2.1 Bezug zu den allgemeinen Zielen des Lehrplans

Eines der obersten Bildungs- und Erziehungsziele, welches in der bayerischen Verfassung verankert ist, stellt das Verantwortungsbewusstsein für Natur und Umwelt dar. Im Unterricht soll dabei großer Wert auf eine nachhaltige Umwelterziehung gelegt werden, die den Schülern die Chancen und Risiken gesellschaftlicher und technischer Entwicklung offenbart und ihnen die Bedeutung der Natur für die Existenz des Menschen illustriert [INTQ04].

Speziell durch den Physikunterricht sollen die Mädchen und Jungen geschult werden, sich kundig zu aktuellen Themen zu äußern, verantwortungsbewusst zu handeln und sowohl die Zweckmäßigkeit als auch die Gefahren der technischen Neuerungen zu erkennen [INTQ05]. Mittels dieser Arbeit, in welcher Möglichkeiten der Energieeinsparung und die Frage nach der sicheren Energie behandelt werden, kann die in der Schule vermittelte Wissensbasis erweitert werden, das Verantwortungsbewusstsein in Bezug zur Thematik Energie geschult werden und so die Jugendlichen zu einer gesicherten Urteilsbildung befähigen.

Das Schülerlabor gibt die Gelegenheit, in Kleingruppen zu arbeiten, selbständig Wissen anzueignen oder bereits bestehende Kenntnisse durch Übung zu vernetzen, Kommunikationsfähigkeit und Selbständigkeit zu trainieren, sowie die Vorteile von Teamarbeit und Diskussionsrunden kennenzulernen. Zudem soll der Unterricht von den Schülern als sinnvolles, in sich zusammenhängendes Ganzes wahrgenommen werden können. Zur Verstärkung des fächerverbindenden Lernens kann aus diesem Grund ein Besuch eines solchen Schülerlabors ebenfalls gewinnbringend sein [INTQ04].

Wie der Titel des Schülerlabors bereits erkennen lässt, wird hier ein breites Spektrum an theoretischem Wissen benötigt, da der Begriff der Energie in allen Teilgebieten der Physik, der Technik, der Chemie, der Biologie und der Wirtschaft eine zentrale Rolle spielt. Daher setzt sich der Gegenstand dieser Arbeit aus verschiedenen Themengebieten unterschiedlicher Jahrgangsstufen zusammen.

Das Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ wurde für die 10. Jahrgangsstufe der Realschule und für die 9. und 10. Jahrgangsstufe des Gymnasiums konzipiert. Dennoch können Teile dieses Labors auch mit Schülern der 8. Jahrgangsstufe beider Schularten durchgeführt werden. Dazu müsste das Schülerlabor etwas umstrukturiert werden, was im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht möglich war, aber für folgende Unterrichtssequenzen dennoch überlegenswert wäre. Aus diesem Grund wird zunächst explizit auf die einzelnen Inhalte in Bezug auf den bayerischen Lehrplan

der Realschule R6 eingegangen und anschließend wird die Einordnung des Schülerlabors in den bayerischen Lehrplan des Gymnasiums vorgenommen.

2.2 Einordnung des Schülerlabors in den Lehrplan der Realschule (R6)

In der Realschule können die Schüler zwischen der Wahlpflichtfächergruppe (WPF) I, dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig, der WPF II, dem wirtschaftswissenschaftlichen Zweig, und der WPF III, dem sprachlich-musischen Zweig, wählen. Hinsichtlich des Physikunterrichtes muss zwischen der WPF I und der WPF II/III unterschieden werden, da die Fächergruppe I erstmals in der Jahrgangsstufe 7 mit Physik in Berührung kommt, während die anderen beiden Gruppen erst in der 8. Klasse Physik als Unterrichtsfach haben und daher die Stoffgebiete in gekürzter Form behandelt werden.

Der Begriff der Energie zieht sich als roter Faden durch den Lehrplan der drei bzw. vier Jahrgangsstufen. In der 8. Jahrgangsstufe wird sowohl in WPF I als auch in WPF II/III die Energie in der klassischen Mechanik thematisiert. Dabei werden ausgehend von den Kennzeichen und Arten von Kraftwandlern, die Definition von Arbeit als abgeleitete Größe, die Arten von Arbeit, Hubarbeit, Beschleunigungsarbeit, Verformungsarbeit, Reibungsarbeit, sowie die Leistung (Energiestrom) als abgeleitete Größe, erörtert. WPF I bespricht zusätzlich die Arbeit als Übertragungsgröße, die Energie als Speichergröße, potenzielle, kinetische und innerer Energie, die Energieumwandlung und die Energieerhaltung, den Wirkungsgrad als Gütekriterium bei Energieumwandlungen, den Energieerhaltungssatz und Hinweise auf die mit Energieumwandlungen verbundenen Energiebewertungen [INTQ06].

Der Lehrplan der 9. Jahrgangsstufe ist in die zwei großen Gebiete Wärmelehre und Elektrizitätslehre, in allen drei Wahlpflichtfächergruppen, unterteilt. Nach dem bayerischen Lehrplan sind für diese Schulklasse an der Realschule folgende Themen (kursiv gedruckt) für den Besuch des Schülerlabors wesentlich:

Wärmelehre [INTQ07]

Arbeit und Wärme stellen die beiden Möglichkeiten dar. Energie auf einen Körper zu übertragen, was eine Änderung der kinetischen und potenziellen Energien der Teilchen bzw. eine Änderung der inneren Energie des Körpers bedeutet.

- *Innere Energie, Wärme, Temperatur (ca. 6. Std.)*
 - *Innere Energie (E_i) als Speichergröße, Änderung der inneren Energie eines Körpers durch Verrichten von mechanischer Arbeit oder durch Zufuhr bzw. Abgabe von Wärme, Temperaturänderung, Volumenänderung, Druckänderung, Änderung des Aggregatzustandes als Folge der Änderung der inneren Energie; Wärme (W_{th}) als Übertragungsgröße*

- *Temperatur als Maß für die mittlere Bewegungsenergie der Teilchen eines Körpers (aus der Geschichte: Lord Kelvin); Temperaturänderung (Änderung der mittleren kinetischen Energie der Teilchen)*
- *Volumenänderung von Körpern bei Erwärmung und Abkühlung (Änderung der mittleren potenziellen und kinetischen Energie der Teilchen)*
- *Festlegung der Grundgröße Temperatur durch ein Messverfahren, Temperaturskalen; Temperaturdifferenz, Temperaturmessgeräte (aus der Geschichte: A. Celsius)*
- *Wärmeübertragung (ca. 4 Std.)*
 - *Wärmeleitung (Wärmeleitung in festen Körpern, Flüssigkeiten und Gasen)*
 - *Wärmestrahlung (Emission, Absorption)*
- *Konvektion (ca. 2. Std.)*
- *Verhalten der Körper bei Temperaturänderung (ca. 6 Std.)*
 - *Volumenänderung von Flüssigkeiten bei Temperaturänderung*
- *Erwärmungsgesetz, spezifische Wärmekapazität (ca. 7. Std.)*
 - *Leistung einer Wärmequelle*
 - *Energieaustausch bei Körpern unterschiedlicher Temperatur ($W_{\text{thab}} + W_{\text{thauf}} = 0$)*
- *Verdampfen (ca. 4 Std.)*
 - *Siedetemperatur von Flüssigkeiten; (T-Wth-Diagramm; spezifische Verdampfungswärme)*
 - *Erklärung für den Siedevorgang*
 - *Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck [GE, VSE]*
 - *Verdunsten*

Das Verhalten der Körper bei Temperaturänderung und das Verdampfen werden in den WPF II/III nicht unterrichtet. In den Experimentierstationen „Energie im Haushalt“, „Wärmepumpe“ und „Wärmedämmung“ beschäftigt man sich vorwiegend mit der Energie in der Thermodynamik. Diese Stationen sind daher gut für eine Wiederholung der Inhalte der Wärmelehre geeignet.

Die Elektrizitätslehre der 9. Klasse umfasst das Basiswissen, welches für die Elektrizitätslehre in der 10. Klasse unverzichtbar ist. Die Experimentierstation „Energieversorgung“ beruht vorwiegend auf den folgenden Gegenständen:

Elektrizitätslehre [INTQ07]

Aufbauend auf dem Wissen über den Magnetismus und über die elektrische Ladung als Grundgröße lernen die Schüler den elektrischen Stromkreis als Energieübertragungssystem kennen. Sie erarbeiten die Wirkungen des elektrischen Stroms und vertiefen ihre Kenntnisse anhand verschiedener Anwendungen. Mit den abgeleiteten Größen elektrische Stromstärke und elektrische Spannung verstehen die Schüler die Grundlagen der Elektrizitätslehre.

- *Ruhende elektrische Ladung, elektrische Ladung als Grundgröße (ca. 6 Std.)*
 - *Elementarladung; Einheit als ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung*
- *Bewegte elektrische Ladung; elektrischer Strom (ca. 8 Std.)*
 - *Stromkreis (Schaltsymbole, Schaltskizze, Leiter und Nichtleiter)*
 - *Stromstärke als abgeleitete Größe, $I = Q/t$*
 - *Gefahren des elektrischen Stromes*
- *Elektrische Arbeit – elektrische Energie – elektrische Spannung – elektrische Leistung (ca. 8 Std.)*
 - *Elektrische Arbeit*
 - *Zu- oder Abnahme der elektrischen Energie beim Verrichten elektrischer Arbeit*
 - *Elektrische Spannung als abgeleitete Größe*
 - *Umwandlung elektrischer Energie in andere Energieformen*
 - *Elektrische Leistung als abgeleitete Größe*

Für die Anwendung physikalischer Erkenntnisse in Technik und Alltag bietet das Curriculum der 10. Jahrgangsstufe der Realschule viele Anknüpfungspunkte. Die Schüler aller Wahlpflichtfächergruppen sollen hier feststellen, dass Neuerungen physikalischer Gesetzmäßigkeiten essentiell für den Fortbestand der Menschheit geworden sind. Speziell beim Themenbereich Energieversorgung, sollen die Jugendlichen die Gefahren des technischen Fortschritts erkennen und sich bewusst werden, dass technische Weiterentwicklungen nur dann Fortschritt bedeuten, wenn sie den Menschen dienen und die natürliche Umwelt möglichst wenig belasten. In diesem Zusammenhang werden die Grundlagen der Energieversorgung, die mit einer ca. 11-stündigen Unterrichtssequenz vom Kultusministerium vorgeschlagen sind, behandelt. Diese Sequenz beinhaltet in etwa, die Thematisierung von primären und sekundären Energieträgern, die thermischen Kraftwerke und Kraftwerke auf der Basis regenerativer Energieträger, Fotothermie, Fotovoltaik, Solarwasserstofftechnik, Energieträger und die Auswirkungen ihrer Verwendung auf die Umwelt (Art und Ausmaß von Umweltbelastungen, Entwicklung des Energiebedarfs, weltweite Energievorräte) [INTQ08]. Da all diese genannten Themengebiete im Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ diskutiert werden, bietet es sich an, das eintägige Experimentierlabor zu besuchen und entweder als Einführung oder als Wiederholung und Abschluss des Themengebietes Grundlagen der Energieversorgung zu nutzen.

Unverzweigter und verzweigter Stromkreis (ca. 10 Std., Reihen- und Parallelschaltung), elektromagnetische Induktion (ca. 8.Std., Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische Energie, Selbstinduktion) und Energieumwandlung in elektrische Energie (ca. 11. Std., Wechselstromgeneratoren, Transformator – Aufbau und Funktionsweise - , Niederspannungstransformator, Hochspannungstransformator, Hochstromtransformator, Transformatoren in Energieübertragungssystemen für elektrische Energie) werden erst im Laufe des Schuljahres der 10. Klasse unterrichtet [INTQ08]. Deshalb sollte, da dies äußerst komplexe Sachgebiete für die Schüler darstellen, das Labor eventuell erst zum Ende dieser Jahrgangsstufe besucht werden, oder es besteht die Möglichkeit, die Experimentierstation „Energieversorgung“, welche obige Themen behandelt, wegzulassen oder zu ersetzen.

2.3. Einordnung des Schülerlabors in den Lehrplan des Gymnasiums

Auch in den bayerischen Lehrplänen des Gymnasiums (G8) wird die Energie in allen Jahrgangsstufen in unterschiedlichster Form behandelt. Primär ist das Labor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ für den Profilbereich im naturwissenschaftlichen Gymnasium gedacht, da sich die Jugendlichen vertieft mit der Frage nach der sicheren Energie auseinandersetzen.

In der 8. Klasse [INTQ09] lernen die Jugendlichen den Energieerhaltungssatz, eines der wichtigsten physikalischen Grundprinzipien kennen, das sich auf sämtliche Teilbereiche

der Physik erstreckt und alle Naturwissenschaften miteinander verbindet. Durch die Thematisierung des Teilchenmodells der Materie können viele Phänomene aus der Wärmelehre erklärt werden. Im Folgenden werden die Aspekte, die den Inhalt des Schülerlabors bilden, kurz veranschaulicht.

Die Energie als Erhaltungsgröße

- *Überblick über verschiedene Energiearten - Prinzip der Energieerhaltung, Energieformen in der Mechanik*
 - *qualitative Beispiele für Energieumwandlungen in der Mechanik*
 - *mathematische Beschreibung der Höhenenergie und der kinetischen Energie, qualitative Beschreibung der Spannenergie*
 - *Anwendung des Erhaltungsprinzips bei der quantitativen Beschreibung von Energieumwandlungen*
 - *Arbeit als Maß für die einem System zugeführte oder entzogene mechanische Energie*
 - *Leistung und Wirkungsgrad, Perpetuum mobile*

Aufbau der Materie und Wärmelehre

- *Aufbau der Materie*
 - *Beschreiben der Aggregatzustände im Teilchenmodell*
 - *Temperatur als Maß für die mittlere kinetische Energie der Teilchen, Definition des absoluten Temperaturnullpunkts*
 - *Beschreibung von Schmelzen, Sieden und Verdunsten im Teilchenmodell*
 - *innere Energie*
 - *innere Energie als Summe von potentieller und kinetischer Energie der Teilchen*
 - *Änderung der inneren Energie durch Arbeit oder Wärme*
 - *Zusammenhang zwischen Temperaturänderung bzw. Änderung des Aggregatzustands und Änderung der inneren Energie nur anhand einfacher Beispiele*
- *Volumenänderung*
 - *qualitative Betrachtungen zum Verhalten von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern bei Temperaturänderung*

Elektrische Energie

- *Widerstände in einfachen Stromkreisen*
 - *Serien- und Parallelschaltung*
- *Elektrische Energie und Leistung*
 - *Zusammenhang zwischen Stromstärke und Ladung, Elementarladung*
 - *Umwandlung von elektrischer Energie in andere Energiearten*
 - *Zusammenhang zwischen elektrischer Leistung, Spannung und Stromstärke*
- *Einblick in die Energieversorgung*
 - *Ressourcen und verantwortungsbewusster Umgang mit Energie*
 - *Umweltfragen und Zukunftsperspektiven*

Im Profilbereich der 8. Jahrgangsstufe des Gymnasiums haben die Schüler die Möglichkeit aus einer bestimmten Vorschlagsliste unterschiedlicher Sachgebiete, das Themenbereich Energietechnik zu wählen. Hier wird speziell auf die Solartechnik, Kraftmaschinen, Kraftwerke und Energiespeicher eingegangen.

Gerade für die neunten Klassen können die Experimentierstationen „Energie im Haushalt“, „Wärmedämmung“ und „Wärmepumpe“, als auch die Station

„Energieproblematik“, hervorragend an den Unterricht angeschlossen werden, da gerade diese Stationen eine gute Möglichkeit bieten, das Physikthema der neunten Klasse, nämlich „Physik als Grundlage moderner Technik“ zu vertiefen. So werden dort zum Beispiel im Lehrplan als Anregung für den Profilbereich im naturwissenschaftlichen Gymnasium die Themen regenerative Energiequellen, regionale und globale Energieversorgungssysteme, Hochspannungstechnik zur Energieübertragung, Kraft-Wärme-Kopplung, Auswirkungen auf die Umwelt und Haushaltstechnik (elektrischer Herd, Mikrowellenherd, Wirkungsgrad) vorgeschlagen [INTQ10].

In der 11. Jahrgangsstufe wird schließlich die elektromagnetische Induktion unterrichtet. Relevant für das Schülerlabor sind hier vorrangig die Induktion im bewegten und im ruhenden Leiter, die Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung, die Energieerhaltung und die Selbstinduktion [INTQ11].

Gerade um den Forderungen des Kultusministeriums Rechnung zu tragen, ist das hier konzipierte Schülerlabor hervorragend geeignet, dennoch ist aus den obigen, detaillierten Auszügen aus den Lehrplänen zu erkennen, dass die Schüler der Realschule und des Gymnasiums bereits über Wissen im Bereich der elektromagnetischen Induktion verfügen sollten, bevor das Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ aufgesucht wird, um z. B. die Station Energieversorgung effektiv durchführen zu können. Die weiteren Stationen sind jedoch in ihrem Gesamtaufbau so gehalten, dass die Schüler auch ohne tiefere Vorkenntnisse die Experimente problemlos meistern können.

3. Das Schülerlabor

Wie allgemein bekannt ist, sind die Tätigkeiten in naturwissenschaftlichen Forschungsgebieten in einem hohen Maß von Kreativität und Neugier geprägt. Die entsprechenden Unterrichtsfächer vermitteln jedoch ein gegenteiliges Bild. Die Bereitschaft, sich mit naturwissenschaftlichen Inhalten auseinanderzusetzen, einen mit Technik oder Naturwissenschaften zusammenhängenden Beruf zu studieren oder zu ergreifen, ist besorgniserregend gering. Beispielsweise das Schulfach Physik gilt häufig als wenig attraktiv und langweilig. Um diesem Umstand entgegen zu wirken, sind verschiedene Programme und Konzepte entworfen worden, um die Entwicklung der Schüler, insbesondere im Bereich der Naturwissenschaften, positiv zu beeinflussen. Angetrieben, das Interesse von Jugendlichen in speziellen Fächern zu fördern, haben in den letzten Jahren zahlreiche Einrichtungen, die den Schülern die Möglichkeit bieten, außerhalb der Schule zu lernen, ihre Pforten geöffnet [ENG04]. Seit Ende der 1990er Jahre sind in Deutschland über 270 (Stand April 2010) solcher außerschulischen Bildungseinrichtungen an Universitäten, Forschungseinrichtungen, Science Centern usw., entstanden [INTQ12].

Außerschulische Lernorte, wie in etwa Schülerlabore, sind informelle Lernumgebungen und bieten verschiedene Besonderheiten und Vorzüge gegenüber dem traditionellen Unterricht [INTQ13]. Sie sind heute ein wichtiger Bestandteil der außerschulischen Bildungsmöglichkeit, da Schüler sich in dieser Lernumgebung vor allem ohne Leistungsdruck den physikalischen Inhalten widmen können. Die Schülerlabore sind so konzipiert, dass die Klassen das in der Schule gelernte Wissen vertiefen und erweitern können, oder es werden völlig unbekannte Aspekte der Physik präsentiert, wobei die Aufgaben für die Lernenden eine Herausforderung darstellen, aber dennoch mit den bereits bekannten Fachwissen bzw. mit Hilfestellungen von betreuenden Personen zu meistern sind.

Neben dem Ziel der Förderung von Interesse und Aufgeschlossenheit der Jugendlichen für Naturwissenschaften und Technik, soll in Schülerlaboren ein zeitgemäßes Bild dieses Forschungsgebietes und ihre Bedeutung für die Gesellschaft vermittelt werden [ENG04]. Da der heutige Arbeitsmarkt eine hohe Konkurrenzfähigkeit abverlangt und in nahezu allen Arbeitsbereichen technisches Wissen benötigt wird, nimmt die Technik in unserer Gesellschaft einen hohen Stellenwert ein. Besonders technische Neuheiten, wie zum Beispiel iPod, Notebook usw. werden von den Jugendlichen im Alltag oft benutzt. Aus diesem Grund ist eine Beschäftigung mit technischen aktuellen Geräten in Schülerlaboren äußerst passend, um die Motivation und das Interesse der Besucher an der Physik zu steigern. Im schulischen Unterricht haben Jungen und Mädchen weniger direkten Kontakt zu Experimenten, da Demonstrationsversuche durch die Lehrkraft zumeist nur in fragend-entwickelnde Gespräche eingebunden sind und Schülerexperimente bei manchen Lehrern überhaupt nicht vorkommen. Zu wenig wird zum eigenständigen „Ausprobieren und Tüfteln“ angeregt. Aus diesem Grund beschränkt sich die Funktion der Experimente

vielfach auf das Veranschaulichen und Vorstellen [ENG04]. Zudem wird das Wirkungsprinzip der jeweiligen Experimente und verwendeten Geräte oftmals nicht einsichtig erklärt, was daran liegt, dass in der Schule auf die Funktionsweise solcher Geräte selten eingegangen wird und die Schüler nur in Eigenverantwortung technisches Wissen auf diesem Gebiet erlangen. In Verbund zu den Versuchen wird ein entsprechender aktueller Alltagsbezug dargeboten. Dadurch erlangen die Jugendlichen Informationen über die Verwendung und die Bedeutung der Naturwissenschaften und der Technik für die Gesellschaft.

Das Schülerlabor bietet den Jugendlichen die Möglichkeit, in Kleingruppen durch das „Try-and-Error-Verfahren“ sich selbständig mit naturwissenschaftlichen Zusammenhängen zu beschäftigen. Das Arbeiten in Gruppen und Sammeln von praktischen Erfahrungen soll nachhaltige Eindrücke von der Arbeit in Laboren und von der Faszination der Forschung vermitteln. Die Schüler lernen, sich eigenständig mit Problemstellungen auseinanderzusetzen und ihr eigenes Vorgehen zu überdenken, falls ein Versuch nicht die gewünschten Ergebnisse liefert. Laut Pisa ist in Deutschland die Zeit, die Schüler zum Experimentieren in der Schule aufwenden, im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern, eher unterdurchschnittlich [INTQ03]. Deshalb stellt der Ansatzpunkt, mehr Experimentiermöglichkeiten anzubieten, eine günstige Gelegenheit dar, das Interessendefizit zu minimieren.

Neben den obigen angestrebten Zielen, die gleichzeitig als Vorteile anzusehen sind, bieten speziell die Schülerlabore an Universitäten, auch Vorteile für die Lehramtsanwärter, die an der Erstellung und Durchführung von außerschulischen Lernorten beteiligt sind. So sammeln diejenigen, die das Labor entwerfen, Erfahrungen im Erstellen und Formulieren von Arbeitsaufträgen und bekommen einen Überblick über das Zeitmanagement. Auch betreuende Studenten erhalten während einer Durchführung, in die praktische Arbeit mit Kindern und deren Denkweise, einen Einblick.

Auch für Lehrkräfte sind Besuche in Schülerlaboren nützlich anzusehen, da die Schulen häufig nicht genügend adäquate Geräte zur Verfügung gestellt bekommen und in Schülerlaboren Ideen und Möglichkeiten entdeckt werden können, die in der Schulpraxis umgesetzt werden können. Auch manche Neuheiten der Technik können für einige Lehrkräfte sehr informativ sein, da Schülerlabore an Universitäten vielmals auf einen neueren Stand sind als Schulen.

Bildungseinrichtungen, wie Schülerlabore, haben auch Nachteile, wie zum Beispiel den organisatorischen, materiellen und räumlichen Aufwand. Bei jeder Durchführung bedarf es einer bestimmten Anzahl von Hilfskräften, die die Schüler begleiten und bei Fragen und Problemen zur Seite stehen. Je nach Größe eines Schülerlabors müssen Räume reserviert und belegt werden. Bei einer Versuchsdurchführung müssen sämtliche Geräte zur Verfügung stehen, was bedeutet, dass die benötigten Geräte und Materialien entweder aus einer bestehenden Sammlung entliehen oder extra für ein Schülerlabor angeschafft werden müssen.

Durch den Besuch des Labors fällt der reguläre Unterricht aus bzw. bedarf der Besuch des Schülerlabors eine Vor- und Nachbereitung, denn durch eine gute Einbettung in den Unterricht, kann der Lernerfolg zusätzlich gesteigert werden [ENG04]. Dies bedeutet,

dass die Lehrkräfte diese benötigten Zeiträume von ihrer Unterrichtszeit abziehen müssen. Zudem kommt hinzu, dass die Organisation eines Besuches einer außerschulischen Bildungseinrichtung zusätzliche Zeit in Anspruch nimmt.

Mit der Frage, inwieweit Schülerlabore das Potenzial haben, Interesse für Naturwissenschaften und Technik bei Schülern zu fördern, beschäftigt sich die Studie von Katrin Engeln und Manfred Euler [ENG04]. Demnach fördert das Schülerlabor bereits bei einem einmaligen Besuch das Fachinteresse an Naturwissenschaften und Technik. Follow-Up-Untersuchungen, die mehrere Monate nach dem Besuch des Labors stattgefunden haben, belegen, dass die vielfältigen Aktivitäten der Jugendlichen im Labor längerfristige Prozesse in Gang setzen, welche die Sichtweisen und Einstellungen der Jugendlichen verändern. Es gelingt Mädchen und Jungen gleichermaßen zu motivieren, der „Gender Gap“ tritt nicht auf. Die Studie hat weiter zum Ergebnis, dass Schüler, die nur wenig Interesse an den Naturwissenschaften zeigen, die Bedeutung des Laborbesuchs davon abhängig machen, dass keine Überforderung eintritt. Aus diesem Grund muss bei Schülerlaboren Fordern und Fördern in Balance stehen. [INTQ13].

Zur Interessenssteigerung bei Schülerinnen und Schülern in den naturwissenschaftlichen Fächern haben sich Schülerlabore als wirksame Instrumente erwiesen. Dort haben die Jugendlichen die Chance, anders als im herkömmlichen Schulunterricht, in offenen und informellen Lernumgebungen Wissen zu wiederholen, zu vertiefen und völlig neue Aspekte aus der Physik kennen zu lernen. Demzufolge stellen diese außerschulischen Bildungseinrichtungen eine hervorragende Ergänzung zum schulischen Unterricht dar, was eine Zusammenarbeit von Schule und Schülerlabor erforderlich macht. Die Autoren Engeln und Euler sehen die Möglichkeit, dass sich solche Einrichtungen zu einer verlässlichen Säule in unserm Bildungssystem avancieren können, unter der Voraussetzung, dass für alle Schularten und Jahrgangsstufen untereinander vernetzte Schülerlabore erstellt werden, die mit Lehrerausbildungen und Fortbildungen verknüpft werden [ENG04].

4. Physikalische Grundlagen

4.1 Energie

4.1.1 Der Energiebegriff in den Naturwissenschaften und im Unterricht

Das Wort „Energie“ hat den griechischen Ursprung „Enérgeia“. „Enérgeia“ war bereits für Aristoteles die Wirkenergie, durch die Möglichen in Seiendes übergeht. Jedoch erst im 19. Jahrhundert wurde „Energie“ als die für alle Bereiche der Physik gültige Verallgemeinerung des bis dahin verwendeten Begriffs „lebendige Kraft“ eingeführt und erhielt damit seine heutige Bedeutung [INTQ14]. Heute ist der Energiebegriff ohne Frage ein fundamentaler Begriff der Physik. Das Fachwort „Energie“ erlaubt es speziell in dieser Wissenschaft zahlreiche Theoriegebäude der Physik unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zu betrachten und auch fächerübergreifend können vielfältige Verbindungen zwischen den verschiedenartigen Naturwissenschaften herausgearbeitet werden, da der Begriff „Energie“ in sämtlichen Fachrichtungen, wie etwa in der Chemie, oder in der Biologie, Verwendung findet. Energie spielt auch in einer Reihe anderer Wissenschaften eine gewisse Rolle. Zu beachten ist hierbei, dass zwar der Terminus Energie benutzt wird, nicht unbedingt aber der physikalische Energiebegriff gemeint sein muss. Als Beispiel dient der Begriff „Energie“ aus der Physiologie. Hier bedeutet Energie Leistungs- und Wirkfähigkeit, Arbeitsfähigkeit oder Arbeitsvorrat [DUI86].

Unterrichtskonzepte den Energiebegriff einzuführen

Reinders Duit schreibt in dem Essay „Energie“: „In den Bildungsstandards Physik für den mittleren Schulabschluss spielt der Energiebegriff die Rolle eines Basiskonzepts für den Kompetenzbereich Fachwissen“, [DUI07]. Darunter ist zu verstehen, dass der Energiebegriff im Laufe der Schuljahre schrittweise instruiert und vervollkommnet werden soll.

Diese Arbeit wurde auf der Grundlage unterschiedlicher Herangehensweisen an den Energiebegriff konzipiert und soll verschiedene Aspekte des Terminus Energie widerspiegeln. Hier muss angeführt werden, dass beim Besuch des Schülerlabors die Theorie bereits im Wissen der Schüler verankert sein sollte. Das Schülerlabor dient vorwiegend der Wiederholung und soll einen Überblick über die Thematik „Energie“ im Physikunterricht geben.

Im Unterricht stellt bereits die Einführung des Begriffs „Energie“ eine gewisse Hürde dar, da eine exakte Definition des Energiebegriffs relativ schwer zu finden ist. Die Lehrpläne und Unterrichtskonzepte bieten mehrere Möglichkeiten, wie den Schülern noch unbekannte naturwissenschaftliche Begriffe oder Größen im Unterricht näher

gebracht werden können. Häufig wird hier der Weg gewählt, bei welchem zunächst eine physikalische Größe, der Kraftbegriff, eingeführt wird und anschließend über den Arbeitsbegriff eine neue physikalische Größe, der Energiebegriff, abgeleitet wird.

Wenn auf einen Körper mit Masse m eine äußere Kraft ausgeübt wird, so wird er in Richtung der resultierenden **Kraft F** in Bewegung gesetzt und beschleunigt.

$$\vec{F}_{\text{ges}} = m \cdot \vec{a}$$

Die Beschleunigung a ist die Geschwindigkeitszunahme pro Zeiteinheit. Nach dem zweiten Newton-Gesetz (Aktionsprinzip) sind Kraft und Beschleunigung einander proportional. Die Beschleunigung wird in $\frac{m}{s^2}$ gemessen. Die SI-Einheit der Kraft ist das Newton (N). 1 Newton ist dabei die Kraft, mit der die Masse $m = 1 \text{ kg}$ mit $a = 1 \frac{m}{s^2}$ beschleunigt wird.

Beim Beschleunigen des Körpers wird **Arbeit W** geleistet. Die Arbeit W ist definiert als das Produkt der wirkenden Kraft mal der Länge des Weges s , die vom Körper aufgrund der Krafteinwirkung zurückgelegt wird. Wirkt eine konstante Kraft nicht in Richtung des Weges, sondern unter einem beliebigen Winkel α , dann spielt für die Arbeit nur die Komponente der Kraft in Richtung des Weges eine Rolle.

$$W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$$

Im internationalen Einheitensystem ist die Einheit für die Arbeit das Joule (J). 1 Joule ist die Arbeit, die bei der Ausübung einer Kraft $F = 1 \text{ N}$ über eine Wegstrecke von $s = 1 \text{ m}$ geleistet wird.

Ausgehend von dem Kraftbegriff wird anschließend der Energiebegriff erschlossen. Energie ist die Fähigkeit eines Systems, mechanische Arbeit zu verrichten, Wärme abzugeben oder Strahlung auszusenden. Der einleitende Vortrag und die fünf Stationen des Schülerlabors (vgl. Kapitel 5) geben einen Überblick über unterschiedliche Energieformen und deren Einheiten in diversen Anwendungsgebieten. Im späteren Verlauf dieses Abschnitts werden die Definition der Energie, ihre unterschiedlichen Erscheinungsformen und deren Einheit diskutiert.

Damit der Schüler brisante Themen, wie zum Beispiel die Frage nach sauberer Energie richtig verstehen kann, ist es laut Duit Ziel, mit Hilfe des Energiebegriffes Vernetzungen sowohl zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern, als auch zwischen den unterschiedlichen Teilgebieten der Physik, aufzubauen. Wie oben zu erkennen ist, muss zuerst die Thematik „Kraft“ verinnerlicht werden, bevor der Energiebegriff eingeführt werden kann. Leider treten bereits beim Erlernen des Fachausdrucks „Kraft“ große Schwierigkeiten auf. Ein noch schwerwiegenderer Sachverhalt ist die Tatsache, dass der Kraftbegriff keinen anschaulichen Zugang dem Energiebegriff bietet und dieses Fachwort zu sehr auf die Mechanik beschränkt ist. Folgernd können nur schwer völlig verschiedenartige Vorgänge aus der Physik unter einem einheitlichen Gesichtspunkt

betrachtet werden. Deshalb sollte man sich um fächerübergreifende Aspekte bemühen, damit die Schüler einen Bezug zum Alltag herstellen und die Zusammenhänge erkennen können.

Die Bezeichnung „Energie“ im Alltag bietet, ebenso wie die Ableitung des Terminus „Energie“ aus dem Kraftbegriff, Anknüpfungspunkte für den physikalischen Energiebegriff. Besonders in den letzten Jahrzehnten ist der Fachausdruck Energie in das Vokabular der Jungen und Mädchen eingegangen, was wohl daran liegen mag, dass kaum ein Tag vergeht, an dem die turbulente Ölpreisentwicklung nicht im Mittelpunkt der Medien steht. Jeder, der mobil ist, wird täglich mit den Kraftstoffpreisen an den Tankstellen konfrontiert. Fragt man die Schüler nach der Bedeutung des Wortes „Energie“ im Alltagsgebrauch, so scheint auch bei den Schülern eine Art „Treibstoffvorstellung“ zu dominieren. Aber Energie ist natürlich mehr als nur eine Treibstoffvorstellung. Den Schülern ist oft nicht klar, um welche Art von Energie (potentielle, kinetische, mechanische) es sich handelt. Auch Strom, Wärme und Licht werden zu den Treibstoffen gezählt. Nicht selten kommt hinzu, dass die Schüler noch nicht verstanden haben, dass auch Energie in der Nahrung steckt, die wir täglich zu uns nehmen müssen, ohne die ein Leben gar nicht möglich wäre. [DUI07]. Um an die Erfahrungswelt der Jungen und Mädchen anknüpfen zu können, wird der Vortrag des Schülerlabors mit einer Frage: „Wo nutzen wir Energie im Alltag?“, eröffnet. Anschließend werden den Jugendlichen einige Bilder aus dem Alltag gezeigt. Beispielsweise ein Motorrad, Nahrung oder ein Heizkörper in einem Haus (vgl. Kapitel 8.3).

Energie und Leistung

Da für zahlreiche Schüler die Unterscheidung der Begriffe „Energie“ und „**Leistung**“ ein Hindernis darstellt, folgt im Anschluss die Frage: „Was ist eigentlich Energie und was ist Leistung?“. Anhand der Definition, Formeln und Einheiten werden beide Fachwörter verglichen und somit wiederholt. Die Leistung P , die eine Kraft liefert, ist ein Maß für die Rate, mit der diese Kraft Arbeit verrichtet. Sie ist eine physikalische Größe, und ist definiert als der Quotient aus verrichteter Arbeit ΔW oder dafür aufgewendeter Energie ΔE und der dazu benötigten Zeit Δt .

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}.$$

Die SI-Einheit der Leistung, das Watt (W), ist ein Joule pro Sekunde: $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$ [TIP04/153]. Energieunternehmen stellen Energie, nicht Leistung, in Rechnung, wobei die Energie meist in Kilowattstunden (kWh) abgerechnet wird. Eine **Kilowattstunde** Energie ist

$$1 \text{ kWh} = (10^3 \text{ W}) \cdot (3600 \text{ s}) = 3,6 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} = 3,6 \text{ MJ}.$$

Der Terminus Energie als Mengenbegriff und Energieflussdiagramme

Nach Duit kann der Energiebegriff durch einen abstrakten, mathematischen Mengenbegriff veranschaulicht werden. Das Denken im Rahmen eines solchen abstrakten Energiebegriffs fällt vielen Schülern und Schülerinnen äußerst schwer. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit auf diese Herangehensweise an den Energiebegriff verzichtet. Im Schülerlabor werden überwiegend **Energieflussdiagramme** in der Station „Energieproblematik“ eingesetzt, um Energieumwandlungsketten zu verdeutlichen. Unter den Energieflussdiagrammen stellen sich die Schüler Energie als Stoff vor, der von einem System zum anderen fließt.

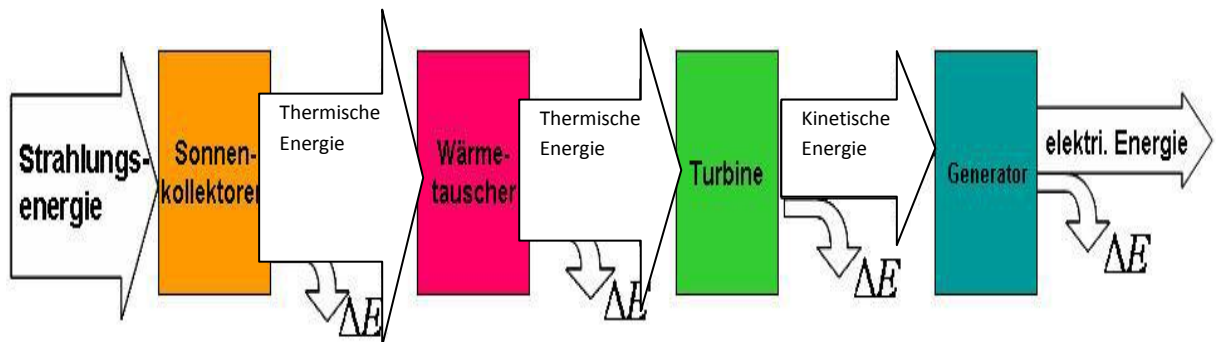


Abb. 4.1: Energieflussbild zur Energieumwandlungskette von Sonnenenergie beim Parabolrinnenkraftwerk

Duit fasst die substantiellen Inhalte des Energiebegriffs in vier Grundideen (**Energietransport, Energieumwandlung, Energieerhaltung und Energieentwertung**) zusammen und nennt diese „Energiequadriga“. Haben die Schüler den Gehalt der vier Grundideen verinnerlicht, „so haben die Schülerinnen und Schüler einen adäquaten Einblick in einen zentralen Begriff der Physik und die mit ihm verbundenen physikalischen Denk- und Arbeitsweisen (Erkenntnismethoden) gewonnen“ [DUI07].

Der Energietransport

Unter **Energietransport** wird die Tatsache verstanden, dass Energie von einem System auf ein anderes übergehen kann. Energiequellen finden sich selten dort, wo Energie auch benötigt wird. Mit unterschiedlichsten Transportmitteln wie beispielsweise Schiff, Bahn oder Pipeline, wird die Energie dorthin transportiert, wo sie für die Umwandlung in eine Dienstleistung benötigt wird. Bei den Pflanzen ist es das Sonnenlicht, also Energiezufuhr durch elektromagnetische Strahlung von der Sonne zur Erde. Bei der Heizung unserer Wohnungen werden Öl, Gas, Kohle, Strom oder Fernwärme als Energieträger eingesetzt. Die Schüler lernen im Vortrag, dass man Energie zum Heizen, Fahren, Radio hören, Beleuchten benötigt. Hier wird klar, dass Energie in verschiedenen Gestalten, mal als Treibstoff, Elektrizität oder Wärme, auftreten kann. Energie sucht sich demnach immer einen Träger, kommt in unterschiedlicher Form vor und „strömt“ so von einem Medium

in ein anderes Medium. In diesem Zusammenhang wird das Gesetz von der Erhaltung der Energie thematisiert.

Der Energieerhaltungssatz

Das **Gesetz von der Erhaltung der Energie** sagt aus, dass in einem abgeschlossenen System die Summe aller Energie stets konstant ist, die Gesamtenergie bleibt demnach erhalten. Zwar kann Energie zwischen verschiedenen Energieformen umgewandelt werden, es ist jedoch nicht möglich, innerhalb eines abgeschlossenen Systems Energie zu erzeugen oder zu vernichten. Die Energie ist eine Erhaltungsgröße.

Betrachtet man zum Beispiel die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie, wie sie oben im Energieflussdiagramm dargestellt ist, so stellt man fest, dass hier die Strahlungsenergie der Sonne in thermische, anschließend in kinetische und letztendlich in elektrische Energie umgewandelt wird. Die Summe aus thermischer und elektrischer Energie sowie der Strahlungsenergie bleibt erhalten. In dieser Summation der Energien muss auch diejenige Energie Beachtung finden, die in Form von Wärme (ΔE) bei den Umwandlungsprozessen als „Nebenprodukt“ entsteht. Die Zu- oder Abnahme der Gesamtenergie eines Systems kann immer dadurch erklärt werden, dass dieser Energiebetrag an anderer Stelle entzogen oder hinzugefügt wird. Diese experimentelle Beobachtung ist der **Energieerhaltungssatz**. Der Energieerhaltungssatz lautet

$$E_{\text{ein}} - E_{\text{aus}} = \Delta E$$

E ist dabei die Gesamtenergie eines gegebenen Systems. E_{ein} ist die Energie die dem System zugeführt und E_{aus} die Energie, die vom System abgegeben wird [TIP04/172-183].

Entropie und Energieentwertung

Mit Hilfe der Grundideen können Probleme der Energieversorgung deutlich herausgearbeitet werden. Zum Verständnis dieser Probleme gehört z. B. die Erkenntnis, dass Energie nicht einfach erzeugt werden kann, sondern nur aus in bestimmten Formen gespeicherte Energie „gewonnen“ werden kann, die ihrerseits wieder aus bestimmten Prozessen stammt. Zudem ist bekannt, dass Energie nach Gebrauch nicht einfach verschwunden ist, also vernichtet worden ist, sondern nur an andere Orte transportiert wurde. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Umwandlungsprozesse verlustfrei ablaufen. In diesem Zusammenhang spielt die **Energieentwertung** eine wichtige Rolle. Hier muss der **erste Hauptsatz der Wärmelehre** beachtet werden

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta E .$$

Er besagt, dass die Änderung der **inneren Energie U** eines abgeschlossenen thermodynamischen Systems gleich der Summe der ausgetauschten **Wärmeenergie Q** und der ausgetauschten **mechanischen Energie E** ist. Bei allen Prozessen bleibt die Gesamtenergiesumme also konstant [GER05/217-254].

Bei allen mechanischen Vorgängen kann man beobachten, dass mit zunehmender Zeit ein immer größerer Teil der mechanischen Energie, die als kinetische oder potentielle Energie vorliegt, verloren geht. Ursache dafür ist die Umwandlung mechanischer Energie in thermische Energie, beispielsweise durch Reibungsvorgänge. Fällt in etwa ein Ball aus einer bestimmten Höhe auf eine feste ebene Unterlage, so springt er wieder nach oben. Jedoch wird die Anfangshöhe nicht wieder erreicht. Als weiteres Beispiel dient das Abkühlen eines Körpers (vgl. Kapitel 5.3.4). Hier geht Wärmeenergie vom Körper höherer Temperatur zu einem Körper tieferer Temperatur über. Der umgekehrte Fall, dass sich ein Körper niedrigerer Temperatur abkühlt und dadurch ein Körper höherer Temperatur seine Temperatur entsprechend erhöht, wurde noch niemals beobachtet. Diese Umwandlungen sind **irreversibel** und verlaufen grundsätzlich nur in eine Richtung. Prozesse bei denen mechanische Energie teilweise oder ganz in thermische Energie umgewandelt wird, sind **irreversibel**, d. h. nicht umkehrbar. Diese Tatsache ist im **zweiten Hauptsatz der Wärmelehre** inbegriffen.

Er gibt die Erfahrung wieder, dass die Richtungen der Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie und umgekehrt, nicht gleichwertig sind. Bei der Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie muss stets ein Teil der Wärmeenergie ungenutzt abgegeben werden, während die Umwandlung in entgegengesetzter Richtung vollständig möglich ist [GER05/217-254].

Entropie ist eine Zustandsgröße, ebenso wie der Druck P, das Volumen V, die Temperatur T und die innere Energie U. Sie beschreibt die „Unordnung“ in einem System. Der Grad der Unordnung eines Systems wird durch eine Zahl k der möglichen Zustände, die das System einnehmen kann, charakterisiert. Ist $k = 1$, liegt eine maximale Ordnung vor. Die Entropie hängt nur vom Zustand des Systems ab, nicht aber vom Weg, auf dem dieser erreicht wurde. Wie bei der potenziellen Energie, ist bei der Entropie vor allem ihre Änderung interessant. Die Entropieänderung dS eines Systems, das von einem Zustand in einen anderen übergeht, ist

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T} .$$

Darin ist dQ_{rev} die Energie, die dem System in einem reversiblen Prozess als Wärme zugeführt wird, wenn es vom Anfangszustand in den Endzustand übergeht [TIP04/601-611].

Es gibt keine natürlichen Prozesse, in denen die Gesamtentropie abnimmt. Alle irreversiblen Prozesse in einem abgeschlossenen System sind mit einer Entropievergrößerung verbunden. Nach der Zustandsänderung muss das System wieder ins Gleichgewicht laufen, wobei die Entropie ansteigt

$$dS \geq 0.$$

In Teilsystemen kann $dS < 0$ gelten, was aber nur durch Aufwendung von Arbeit möglich ist. Die Entropie eines Systems wird vergrößert, wenn Arbeit hineingesteckt wird. Bei reversiblen Prozessen ist die Summe der Entropieänderung null, d. h. die Gesamtentropie bleibt konstant ($dS = 0$). Alle natürlichen und technischen Vorgänge, insbesondere alle Prozesse in der Wärmelehre verlaufen von selbst nur irreversibel. Das bedeutet, dass bei all diesen Vorgängen Entropie erzeugt wird und somit die Gesamtentropie des Systems, das alle diese Vorgänge einschließt, nimmt zu ($dS > 0$). Kühlt sich ein Körper der Temperatur T_1 ab, verliert der Körper mit der Entropie dS_1 die Wärmeenergie. Ein anderer Körper der tieferen Temperatur T_2 nimmt dieselbe Energie auf, wozu wegen der niedrigeren Temperatur die größere Entropie dS_2 nötig ist. Es wird also Entropie erzeugt. Mit dem Begriff „Entropie“ kann der **2. Hauptsatz der Wärmelehre** neu definiert werden:

Es gibt keinen Prozess, der Anergie in Exergie verwandelt [STÖ98/587-643].

Als **Exergie** wird in der Literatur der Teil der Gesamtenergie eines Systems bezeichnet, der Arbeit verrichten kann, dies ist demnach „nutzbare“ oder „ordentliche“ Energie [INTQ15]. **Anergie** ist hingegen arbeitsunfähige Energie, also „nichtnutzbare“, oder „unordentliche“ Energie [INTQ16]. Eine weitere Formulierung des 2. Hauptsatzes der Wärmelehre wäre:

In einem abgeschlossenen System laufen so lange Vorgänge ab, bis die Entropie ihren Höchstwert erreicht hat.

Sie strebt also immer ein Maximum an [STÖ98/587-643]. Werden Körper zum Beispiel durch Heizen mit elektrischer Energie auf eine hohe Temperatur gebracht, gibt der Körper die vorhandene thermische Energie, die er gespeichert hat, als Wärmeenergie an die Umgebung ab. Es wird Entropie erzeugt. Diese abgegebene Energie, die nach wie vor vorhanden ist, ist aber nicht weiter verwertbar. Sie ist also entwertet. Entropieerzeugung ist stets mit einem Verlust des Wertes der Energie verbunden. Da alle technischen und natürlichen Vorgänge von selbst so ablaufen, dass die Entropie des Gesamtsystems erhöht wird, bedeutet dies für das Gesamtsystem eine fortschreitende **Energieentwertung**.

Die Grundidee „**Energieumwandlung**“ wird im nächsten Kapitel 4.1.2 ausführlich beschrieben.

Das Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ beachtet alle vier Grundideen von Duit und versucht darauf aufbauend den Energiebegriff bei den Schülern nachhaltig zu verankern. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird auf die Theorie näher eingegangen, die zur Durchführung des Schülerlabors benötigt wird.

Wirkungsgrad

Je nach Art, Wirkungsweise und Zustand des Umwandlungssystems von Roh- in End- und weiter in Nutzenergie, treten unterschiedliche „Energieverluste“ auf, die je nach der Umwandlungsstufe (z. B. Elektroenergieerzeugung, Brikettierung) in weiten Bereichen schwanken. Zur Einschätzung der Güte der Umwandlung werden Wirkungsgrade verwendet.

Der Wirkungsgrad ist eine dimensionslose Größe und kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen oder in Prozent ausgedrückt werden. In der Tabelle 1 sind Wirkungsgrade für die Umwandlung von Primär- in Endenergie und von Endenergie in Nutzenergie aufgelistet.

Wirkungsgrade für die Umwandlung von Primärenergie in Endenergie	
	η
Elektroenergieerzeugung	
- in Kernkraftwerken	0,30 – 0,40
- in Braunkohlekraftwerken	0,25 – 0,40
- in Steinkohlekraftwerken	0,3 – 0,43
- in Wasserkraftwerken	0,8 – 0,92
- mit Windenergiekonvertern	0,30 – 0,51
- mit Solarzellen	0,06 – 0,12
- mit Biogasanlagen	0,15 - 0,20
Wirkungsgrade für die Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie	
	η
Tauchsieder	0,90 – 0,98
Elektroherd	0,50 – 0,60
Drehstrommotor	0,80 – 0,95
Ottomotor	0,25 – 0,30
Dieselmotor	0,40 – 0,46
Transformator	0,90 – 0,95
Glühlampe	0,05 – 0,07
Leuchtstofflampe	0,20 – 0,25
Energiesparlampe	0,25
Blockheizkraftwerk	0,80 – 0,95

Tabelle 1: Wirkungsgrad [DIT98/29-30], [INTQ17]

Der **Wirkungsgrad** wird im Allgemeinen als der Quotient aus abgegebener Energie E_{ab} und zugeführter Nutzenergie E_{zu} definiert

$$\eta = \frac{E_{ab}}{E_{zu}}$$

Mit Blick auf die Leistung kann der Wirkungsgrad folgendermaßen definiert werden

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

4.1.2 Energieformen und deren Einheiten

Die Energieumwandlung

Die Physik kann als die Wissenschaft von der Energie bezeichnet werden. Denn Energie ist ein für die gesamte Physik fundamentaler Begriff und viele Diskussionen unserer Zeit werden von dem Wort „Energie“ beherrscht. Energie, mit der es die Physik zu tun hat, existiert beispielsweise als mechanische, elektrische, chemische und magnetische Energie, als Wärme-, Kern- und Strahlungsenergie. Sämtliche Energieformen lassen sich ineinander umwandeln. Die Abbildung 4.2 zeigt einen Ausschnitt aus der Vielfältigkeit der Energieumwandlungen. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind für die entsprechenden Umwandlungsprozesse Beispiele aufgelistet.

Im Folgenden werden die wichtigsten Arten von Energie mit Formeln und Beispielen einzeln benannt und kurz erläutert. Hierzu dient, wenn nicht anderes angegeben, die Literatur [TIP04/137-166].

mechanische Energie

Die **mechanische Energie** ist einerseits die potenzielle Energie, die auch Lageenergie genannt wird und andererseits die kinetische Energie, die auch als Bewegungsenergie bezeichnet wird. Bei der **potentiellen Energie** handelt es sich um diejenige Energie, über welche ein Körper aufgrund seiner Position oder Lage in einem konservativen Kraftfeld (etwa einem Gravitationsfeld oder elektrischen Feld) verfügt. Die Energie E_{pot} einer Masse m , die im Schwerfeld der Erde gegen die Fallbeschleunigung g um die Höhe h angehoben wurde, besitzt demnach die Energie

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h.$$

Dabei ist h die Höhe in Meter und g die Erdbeschleunigung ($g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$). Bei Pumpspeicherkraftwerken (eine Sonderform der Speicherkraftwerke) werden natürliche Auffangbecken mit Wasser, das aus dem Tal gepumpt wird, aufgefüllt. Das Wasser besitzt in diesen Höhen potentielle Energie, welche in Schwachlastzeiten in elektrische Energie umgeformt wird und somit zur Erzeugung von elektrischem Strom dient. Fließt dieses Wasser in das Tal, wird die potentielle Energie in Bewegungsenergie oder kinetische Energie umgewandelt. Die **kinetische Energie** E_{kin} ist diejenige Energie, die dem Bewegungszustand eines Körpers innewohnt. Sie ist proportional zur Masse m und zum Quadrat der Geschwindigkeit v , relativ zu dem Inertialsystem, in dem man den Körper beschreibt.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Dies gilt für kleine Geschwindigkeiten ($c \gg v$).

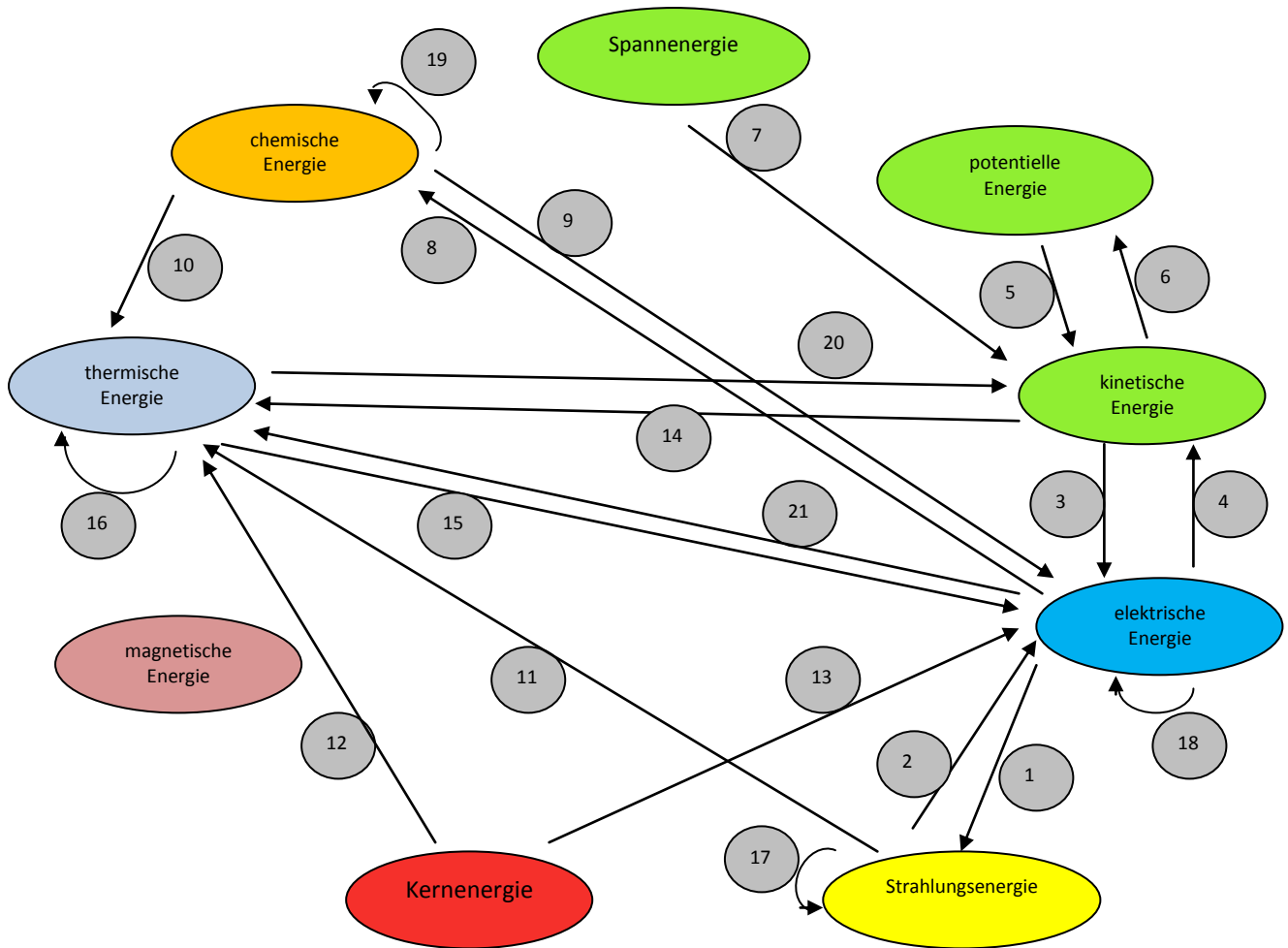


Abb. 4.2: Möglichkeiten der Energieumwandlung

1	Photovoltaik
2	Lampe, Leuchtdiode
3	Generator, Dynamo, Windkraftanlagen
4	Elektromotor
5	Skater auf einer Halfpipe, Wasserfall
6	Achterbahn bei Bergfahrt
7	Bogen schießen
8	Batterie, Flüssigkristalle, Elektrolyse
9	Batterie, Brennstoffzelle, Kohlekraftwerk, Biogasanlage
10	Verbrennung, Feuer, Kohlekraftwerke
11	Solarkollektor

12	Atombombe
13	Kernkraftwerk
14	Verformung, Reibung, Bremse
15	Thermoelement
16	Wärmetauscher
17	Prisma, Polarisator, Spiegel
18	Transformator, Umrichter
19	Reaktionen
20	Dampfturbine, Gasturbine, Verbrennungsmotor, Bimetall
21	Tauchsieder, Heizplatte, Heizlüfter

Tabelle 2: Beispiele für Umwandlungsprozesse

Von gleicher Art wie die kinetische Energie, ist die **Rotationsenergie**

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

eines Körpers mit dem Trägheitsmoment I und einer Rotation mit der Winkelgeschwindigkeit ω um eine Drehachse. Als Beispiel dient hier die Windkraftanlage. Die Rotationsenergie der Rotorblätter wird an einen Generator weitergeleitet und dort in elektrische Energie umgewandelt.

elektrische Energie

Elektrische Energie liegt in elektrischen Ladungen, also freien Elektronen oder Ionen, oder in magnetischen Feldern vor. Die Industriegesellschaften sind in besonderem Maße auf die elektrische Energie angewiesen. Da sie relativ einfach aus anderen Energieformen zu erzeugen ist und sich leicht transportieren lässt, gilt sie als hochwertige Energieform. Allerdings wird bei der Erzeugung elektrischer Energie aus anderen Energieformen nur ein relativ niedriger Wirkungsgrad erzielt. Darüber hinaus kann sie nur in kleinen Mengen direkt gespeichert werden. Deshalb wird sie häufig in andere Energieformen umgewandelt, meist chemisch, da diese Speicherungsform sehr effizient und umweltschonend ist. Elektrische Energie E_{el} wird durch Umwandlung thermischer, chemischer oder mechanischer Primärenergie erzeugt. Dabei werden Verfahren angewendet, die auf verschiedene Rohstoffe zurückgreifen und unterschiedliche Wirkungsgrade aufweisen. E_{el} ist direkt proportional zum Strom I in einem Leiter, der angelegten Spannung U und zu der Zeit t

$$U_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t.$$

In der Natur kommt elektrische Energie zum Beispiel als Folge einer elektrostatischen Aufladung, besser bekannt als Blitz, vor.

magnetische Energie

Die **magnetische Energie** äußert sich in einem magnetischen Feld und übt eine Kraft auf bewegte Ladungen aus, die sogenannte Lorentzkraft. Dabei unterscheidet man elektromagnetische und elektrodynamische Kräfte. Gespeichert werden kann magnetische Energie im Alltag nicht sehr dauerhaft in einer Spule oder Drossel. Eine kurzzeitige Speicherung ist jedoch mit supraleitenden magnetischen Energiespeichern möglich. Für die in einer Spule mit der Selbstinduktivität L durch den Fluss eines Stromes I gespeicherte magnetische Feldenergie gilt

$$E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2.$$

Die Kraft des magnetischen Feldes nutzt man beispielsweise, um mit Kränen magnetisierbare Materialien, mittels Einsatz von magnetischer Energie, von einem Ort zum anderen zu bewegen.

Wärmeenergie

Bei der Erzeugung elektrischer Energie mithilfe heißen Wassers oder Dampfes wird die Energie der Energieträger meist zunächst in einer Verbrennung freigesetzt und fließt dann dem in einem Kessel oder in Rohren befindlichen Wasser zu, dessen Temperatur sich erhöht. Energie, die von einem Körper höherer Temperatur zu einem Körper niedrigerer Temperatur fließt, heißt Wärme. Wird einem Körper der Masse m die Energie E zugeführt, die eine Temperaturänderung ΔT hervorruft, so gibt der Term

$$E_Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

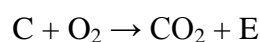
die zugeführte Energie an, wobei c die spezifische Wärmekapazität des Stoffes ist. Diese Formel gestattet also auch, die einem Körper zugeführte Wärme bzw. **Wärmeenergie Q** zu messen.

Stoffe können in verschiedenen Aggregatzuständen, fest, flüssig oder gasförmig, existieren. Der Aggregatzustand hängt von der Temperatur des Stoffes und dem Druck ab, unter dem der Stoff steht. Wird dem Stoff bei konstantem Druck Wärmeenergie zugeführt, so steigt im allgemeinen seine Temperatur, es sei denn, es findet ein Übergang von einer in eine andere Zustandsform, ein so genannter Phasenübergang (Schmelzen, Verdampfen, Sublimieren, Erstarren, Kondensieren, Verfestigen), statt. Zum Schmelzen bzw. Verdampfen der Masse m eines Stoffes muss eine für den Stoff charakteristische Energie, die **Schmelzwärme** oder **Verdampfungswärme** zugeführt werden. Ursache für den Energiebedarf beim Schmelzen und Verdampfen sind die zwischen den Teilchen des Stoffes existierenden anziehenden Kräfte. Die dabei zugeführte Energie ist dann in dem Stoff bzw. in dem so genannten thermodynamischen System als potentielle Energie der Teilchen gespeichert. Wenn die zugeführte Energie zur Erhöhung der Temperatur führt, so bedeutet dies für frei bewegliche Teilchen des thermodynamischen Systems z. B. eine größere mittlere kinetische Energie bzw. für an feste Plätze gebundene Teilchen größere Schwingungsenergie. Die potentielle und die kinetische Energie der Teilchen bezeichnet man zusammenfassend auch als **thermische Energie**. Neben diesen Energien kann ein Stoff aufgrund seines molekularen bzw. atomaren Aufbaus so genannte **chemische Energie** und **nukleare Energie** besitzen. Die gesamte Energie eines thermodynamischen Systems, die aus thermischer Energie (potentielle und kinetische Energie der Teilchen), aus chemischer Energie und nuklearer Energie besteht, heißt **innere Energie U** [GRE98].

chemische Energie

Als **chemische Energie** wird die Reaktionswärme bezeichnet, die durch eine chemische Reaktion freigesetzt wird. Damit ist die Energie gemeint, die durch eine Verbrennung eines Stoffes freigesetzt wird, also die Verbrennungsenthalpie. Findet die Reaktion unter konstantem Druck statt, entspricht das dem Enthalpieumsatz. Die Enthalpie, auch Wärmeinhalt genannt, ist ein Maß für die Energie eines thermodynamischen Systems [INTQ18].

Aus technischer Sicht ist in Treibstoffen chemische Energie gespeichert. Der Motor wandelt die chemische Energie, die im Benzin gespeichert ist, in kinetische Energie um. Bei der Verbrennung im Verbrennungsmotor findet eine komplizierte chemische Reaktion statt: Die Reaktionspartner (Luft und Benzin) übertragen Elektronen zueinander. So gibt die Luft Elektronen ab und nimmt solche vom Benzin auf. Dabei entsteht Wärme und Licht. Da sich Materialien und Gase (hier die Luft) bei Wärme ausdehnen, wird der sogenannte Kolben des Motors nach unten gedrückt. Diese Energie wird durch die Kurbelwelle in Rotationsenergie umgewandelt. Auch bei der Verbrennung von Kohle in Kohlekraftwerken wird chemische Energie in thermische Energie umgewandelt (vgl. Kapitel 4.1.7). Grundlage ist die **Bindungsenergie** der Stoffe (vgl. unten bei Kernenergie). Bei chemischen Reaktionen werden die Atome der Ausgangsstoffe neu angeordnet, d. h. Bindungen werden gespalten und neu geknüpft. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form von Wärme und Licht an die Umgebung abgegeben. Jede Reaktion ist also mit einem Energieumsatz verbunden, da sowohl beim Spalten einer Bindung mehr oder weniger Energie aufgewandt werden muss, als auch beim Knüpfen von Bindungen Energie frei wird. Zum Beispiel bei der Verbrennung von 12 kg Kohlenstoff (C) mit 32 kg Sauerstoff (O₂) entsteht 44 kg Kohlendioxid (CO₂) und 110 kWh Wärme. Demnach lautet die Reaktionsgleichung



wobei zusätzlich noch Wärme erzeugt wird [INTQ19]. Das Kohlendioxid, das bei der Reaktion als Nebenprodukt entsteht, ist ein Treibhausgas und neben anderen Gasen verantwortlich für den Klimawandel (vgl. Kapitel 4.1.6).

In diesem Zusammenhang sind noch weitere Begriffe zu klären, die für die Schülerlabordurchführung von Belang sind. Als **exotherme Reaktion** wird ein Vorgang bezeichnet, der freiwillig und unter Energieabgabe verläuft. Das Gegenstück ist die **endotherme Reaktion**, die unter Energiezufuhr erzwungen wird. Die aufgenommene oder abgegebene Energie nennt man, wie bereits oben erwähnt, die Reaktionsenthalpie. Da z.B. Holzkohle sich nicht von alleine entzündet, muss jede Reaktion durch einen zusätzlichen Energieaufwand angestoßen werden. Diese Energie ist die **Aktivierungsenergie** [MOR03].

Kernenergie

Die Masse m_K jedes Atomkerns ist kleiner als die Summe der Massen seiner Bestandteile, Z Protonen (Masse m_p) und N Neutronen (Masse m_n). Die Differenz

$$\Delta m = m_K (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) < 0$$

nennt man Massendefekt. Dieser Massendefekt Δm ergibt sich bei der Kernfusion und Kernspaltung, bei welcher sich ein Gewinn von **Kernenergie**, durch die sogenannte Einsteinformel

$$E = \Delta m \cdot c,$$

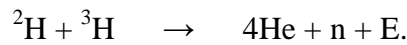
ergibt, wobei E die **Bindungsenergie** des Atoms ist und c die Lichtgeschwindigkeit mit $2,99792 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ ist.

Ein Deuteriumkern besteht aus einem Proton und einem Neutron, die aneinander gebunden sind. Die Masse des Protons beträgt $938,28 \frac{MeV}{c^2}$ und die Masse des Neutrons $939,57 \frac{MeV}{c^2}$. Ihre Gesamtmasse wäre demnach $1877,85 \frac{MeV}{c^2}$. Die Masse des Deuteriumkerns beträgt aber nur $1875,63 \frac{MeV}{c^2}$, also $2,22 \frac{MeV}{c^2}$ weniger als die Summe der Massen des Protons und des Neutrons allein. Schweres Wasser (Deuteriumoxidmoleküle) wird im Primärkühlkreislauf von Kernreaktoren erzeugt. Dort stoßen Neutronen mit den Wasserstoffkernen (Protonen) der Wassermoleküle zusammen. Wird ein langsames Neutron von einem Proton eingefangen, werde die $2,22 \text{ MeV}$ Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung freigesetzt. Daher ist die Masse eines Deuteriumkerns $2,22 \frac{MeV}{c^2}$ kleiner als die Summe der Massen des Wasserstoffatoms und des Neutrons im getrennten Zustand. Dieser Prozess kann umgekehrt werden, wenn man den Deuteriumkern in seine Bestandteile spaltet. Dazu muss ihm in Form von elektromagnetischer Strahlung oder durch Stöße mit anderen, energiereichen Teilchen, eine Energie von mindestens $2,22 \text{ MeV}$ zugeführt werden. Die Bindungsenergie eines Deuteriumkerns ist also $2,22 \text{ MeV}$. Der Deuteriumkern ist ein Beispiel für ein **gebundenes System**. Seine Ruheenergie ist kleiner als die Ruheenergie seiner Bestandteile. Soll das System gespalten werden, muss Energie zugeführt werden [TIP04/189-193]. Ist die Ruheenergie eines Systems dagegen größer als die Ruheenergie seiner Bestandteile, ist das System ungebunden. Ein Beispiel hierfür ist das $^{236}\text{Uran}$. Die Uranspaltung geht vom nicht-stabilen Isotop $^{235}\text{Uran}$ aus, das durch Beschuss mit langsamen Neutronen in $^{236}\text{Uran}$ überführt wird. Das zerfällt sofort unter Bildung von $^{139}\text{Barium}$ und $^{94}\text{Krypton}$ und drei Neutronen



Die Summe der Massen der Teilchen, die bei dieser **Kernspaltung** entstehen, ist kleiner als die Masse des Ausgangskerns. Damit verringert sich bei der Kernspaltung die Masse des Systems, während gleichzeitig Energie freigesetzt wird. Dieses Prinzip wird in Kernkraftwerken umgesetzt. Das Gegenteil davon ist die **Kernfusion** bei der zwei sehr

leichte Kerne wie z. B die von Deuterium und Tritium miteinander verschmelzen. Bei der Fusion eines Deuteriums- und eines Tritiumkerns entstehen ein Alpha-Teilchen, ein Neutron und Energie



Die Ruhemasse des entstehenden Kerns ist kleiner als die seiner Bestandteile, so dass auch hier Energie freigesetzt wird [MOR03/625-652]. Die Sonne stellt einen riesigen Kernreaktor dar. Dort findet die Fusionsreaktion von Wasserstoff über Zwischenschritte zu Heliumkernen statt. Da bei der Reaktion keine radioaktiven Elemente beteiligt sind und keine umweltschädlichen Nebenprodukte entstehen, hat sie einen großen Vorteil gegenüber der Kernspaltung und den Kohlekraftwerken. Leider ist die Kernfusion derzeit noch nicht realisierbar, da das Hauptproblem bei der Fusion auf der Erde, die Reaktionstemperatur, noch nicht in den Griff bekommen wurde.

Strahlungsenergie

Die **Strahlungsenergie** ist die Energie der elektromagnetischen Strahlung. Diese Erscheinungsform der Energie wird beispielsweise in Photovoltaikanlagen genutzt. Betrachtet man elektromagnetische Strahlung vereinfacht als Strom von Photonen, so ist die Strahlungsenergie die in diesem Strom transportierte Energie. Die Energie eines Photons ist lediglich von der Frequenz abhängig,

$$E = h \cdot f$$

mit dem planckschen Wirkungsquantum h ($6,626075 \cdot 10^{-34}$ Js) und der Frequenz der Welle f , wobei die Frequenz durch

$$c_0 = f \cdot \lambda$$

definiert ist. λ stellt dabei die Wellenlänge des Licht dar und c_0 ist die Vakuumlichtgeschwindigkeit mit $c_0 = 2,99792 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$. Die Abbildung 4.3 zeigt das Spektrum elektromagnetischer Wellen.

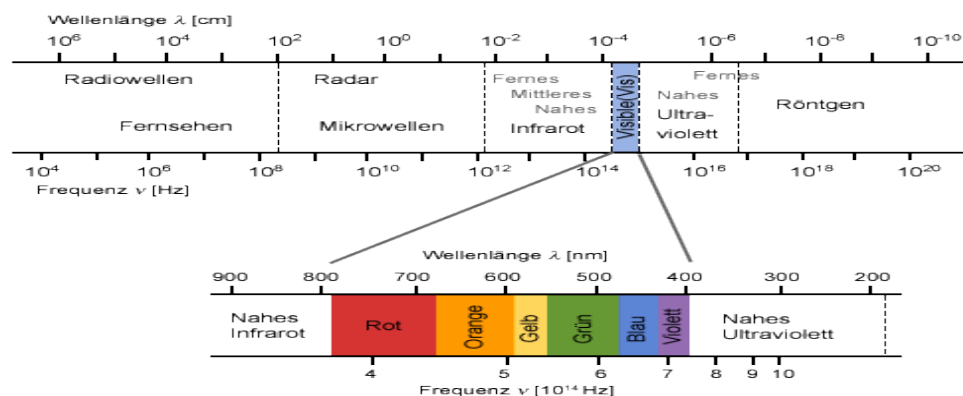


Abb. 4.3: Spektrum elektromagnetischer Wellen [INTQ20]

Die Einheit der Energie

Die international einheitliche SI-Einheit der Energie ist das **Joule** (J), welches nach dem britischen Physiker James Prescott Joule benannt ist.

$$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Ws}$$

Ein Joule ist die Energiemenge, die benötigt wird, um über die Strecke von einem Meter, die Kraft von einem Newton aufzuwenden oder für die Dauer einer Sekunde, eine **Leistung** von einem Watt zu erbringen. Ein Joule entspricht daher einer Wattsekunde. Im menschlichen Maßstab ist das eher eine kleine Einheit, denn ein ruhender Mensch hat einen Grundumsatz von etwa 55 - 90 Watt (je nach Gewicht und Geschlecht). In der folgenden Tabelle 3 sind die unterschiedlichen Einheiten der Energieformen und ihre entsprechenden Umrechnungsfaktoren aufgelistet.

	kJ	kcal	kWh	kg SKE	kg RÖE	m ³ Erdgas
1 Kilojoule (kJ)	-	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024	0,000032
1 Kilocalorie	4,1868	-	0,001163	0,000143	0,0001	0,00013
1 Kilowattstunde (kWh)	3600	860	-	0,123	0,086	0,113
1 kg Steinkohleinheit (SKE)	29308	7000	8,14	-	0,7	0,923
1 kg Rohöleinheit (RÖE)	41868	10000	11,63	1,428	-	1,319
1 m ³ Erdgas	31736	7580	8,816	1,0836	0,758	-

Tabelle 3: Umrechnungstabellen für Energieeinheiten [INTQ21]

4.1.3 Einteilung in Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie

Aufgrund ihrer vielen Erscheinungsformen wird die Energie in verschiedene Kategorien unterteilt, um den Bedarf und Verbrauch richtig demonstrieren zu können. In diesem Abschnitt wird auf die Definition und Unterteilung der Energie in Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie eingegangen.

Zur Deckung seines Energiebedarfs ist der Mensch auf die in der Natur vorkommenden Energiequellen angewiesen. Diese werden entweder in ihrer ursprünglichen Form (Primärenergie) oder nach Umwandlung (Sekundärenergie) eingesetzt.

Als **Primärenergie** bezeichnet man in der Energiewirtschaft die Energie, die in den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energiequellen zur Verfügung steht und ohne Umwandlung oder Aufbereitung zum Einsatz kommt. Dazu zählen die fossilen Energien (Steinkohle, Braunkohle, Torf, Erdgas, Erdöl), die regenerativen Energien (Sonnenenergie, Biomasse, Windenergie, Wasserkraft, Geothermie) und die Kernenergie. Sie sind die Quellen, die unser sehr komplexes Energiesystem speisen, an dessen Ende die vielfältigen Dienstleistungen stehen, die unsere Volkswirtschaft oder unsere Haushalte benötigen [INTQ22] [BUC08/58-59].

Sekundärenergie ist diejenige Energie, die durch Umwandlung von Primärenergie unter „Energieverlust“ entsteht. Holzkohle aus Holz, Koks aus Steinkohle, Propangas aus Erdöl, Biogas aus Biomaterial, sind exemplarisch für diese Kategorie. Strom ist eine Sekundärenergie, da er aus der Umwandlung von Primärenergien, beispielsweise aus Wasserkraft oder Wind, oder aus anderen Sekundärenergien (z.B. Heizöl) gewonnen wird. Nebenprodukte, die bei der Herstellung von Sekundärenergie anfallen, können oftmals wiederum als Sekundärenergie genutzt werden - z.B. Wärme bei der Herstellung von elektrischer Energie.

Die vom Verbraucher bezogene Energie wird als **Endenergie** bezeichnet, so z.B. das Heizöl im Tank oder der Strom, der aus der Steckdose entnommen werden kann. Die Endenergie ist derjenige Teil der Primärenergie, der dem Verbraucher, nach Abzug von Transport- und Wandlungsverlusten, zur Verfügung steht.

Die **Nutzenergie** wiederum ist jene Energie, die nach der Umwandlung am Verbraucher für die gewünschte Energiedienstleistung zur Verfügung steht, z.B. in Form von warmen Wasser oder mechanischer Energie. Die Energiedienstleistung entsteht letztlich durch die Kombination von Nutzenergie, Energiewandler (Gerät) und dem Verbraucherverhalten [INTQ23] [BUC08/58-59].

In Abbildung 4.4 ist ein Energieflussdiagramm von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. dargestellt. In diesem Diagramm wird der Weg von der Primärenergie (100 %) bis zur Nutzenergie gezeigt.

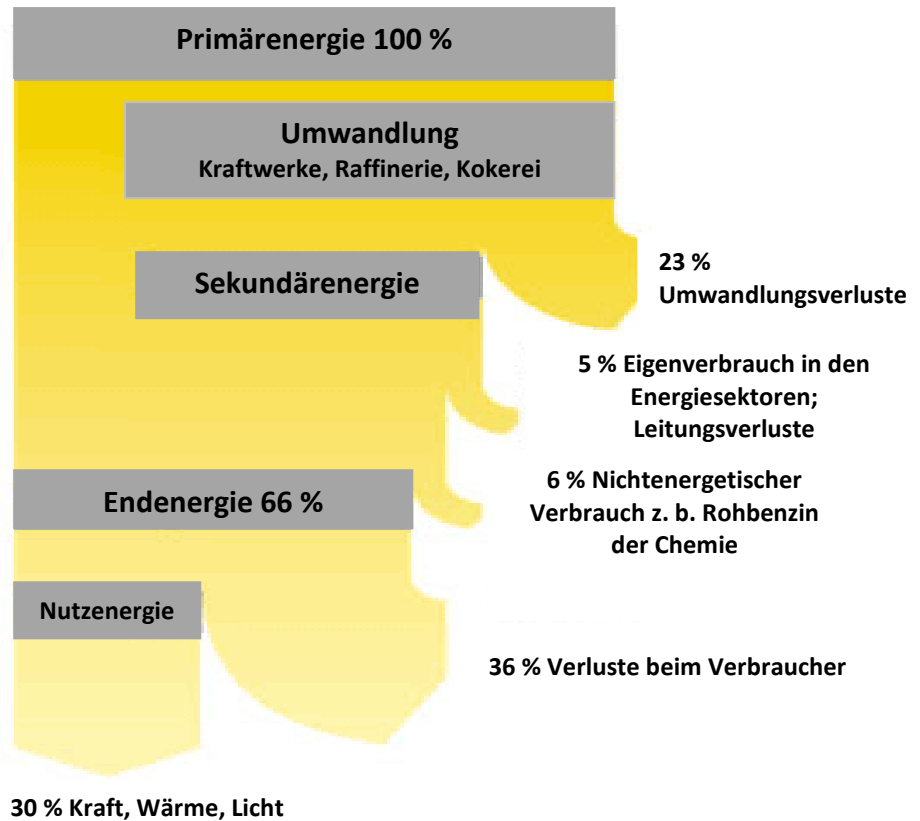


Abb. 4.4 : Energieflussdiagramm [INTQ24]

Wie das Schaubild zeigt, geht ca. 70 % der Primärenergie auf dem Weg zu uns, den Verbrauchern, verloren. Das Schaubild veranschaulicht also, wie viel der vorhandenen Energie umgesetzt wird, also den Wirkungsgrad, und an welchen Stellen oder aus welchen Gründen die Energie „verloren“ geht.

Die Primärenergien wie Rohöl, Erdgas, Uran und Kohle sind heute unsere wichtigsten Energieträger. Bei den Umwandlungsprozessen von Primär- zu Sekundärenergie gehen 23 % der Primärenergie verloren. Es folgen 5 % Leitungsverluste und 6 % nichtenergetischer Verbrauch. Nach Umwandlung und abzüglich des Transports stehen noch 66 % Endenergie für die Verbraucher zur Verfügung. Wie das Energieflussdiagramm zeigt, findet der größte Energieverlust, nämlich ca. 36 %, bei der Umwandlung der Endenergie zur Nutzenergie statt. Dies liegt daran, weil bei der Energieumwandlung wie oben bereits erwähnt, „Verluste“ auftreten können. Beispielsweise gibt eine Herdplatte nicht immer die gesamte Energie an das Kochgeschirr ab, sondern ein Teil der Energie geht auch als Wärmestrahlung verloren. Letztlich bleibt eine Nutzenergie von 30 %, die als Wärme, Licht, Kraftstoff usw. verwendet werden kann.

4.1.4. Die Entwicklung der Weltbevölkerung und der Energieverbrauch

Der Welt-Primärenergieverbrauch hat, wie aus der Abbildung 4.5 hervorgeht, in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Seit 1972 ist der tägliche weltweite Verbrauch von Erdöl, dem derzeit wichtigsten Rohstoff für die Erzeugung von Energie, von etwa 50 auf 85 Mio. Barrel angestiegen [WIL07]. Sämtliche Prognosen, so auch das Referenzszenario des „World Energy Outlook“ (WEO), einer Energieagentur in Paris, zeigen einen weiteren Anstieg des Energieverbrauchs. Danach werden bei weiter steigendem Energiebedarf die fossilen Brennstoffe auch in den kommenden drei Jahrzehnten die Hauptenergiequelle bleiben. Sie werden 2030 zu etwa 80 % zum Energiemix beitragen [BUN09/7-8].



Abb. 4.5: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs [BUN09/1-3]

Ein Mensch benötigt im Durchschnitt 16-mal mehr Energie als vor 130 Jahren [WIL09], in den Industriestaaten noch wesentlich mehr. In Deutschland wurden alleine im Jahr 2010 ca. 14057 Petajoule (PJ) oder 480 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten verbraucht. Wie die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) in ihrem Jahresbericht 2010 ausführlich darlegt, stieg der Primärenergieverbrauch (PEV) hierzulande gegenüber dem Vorjahr um 4,6 Prozent.

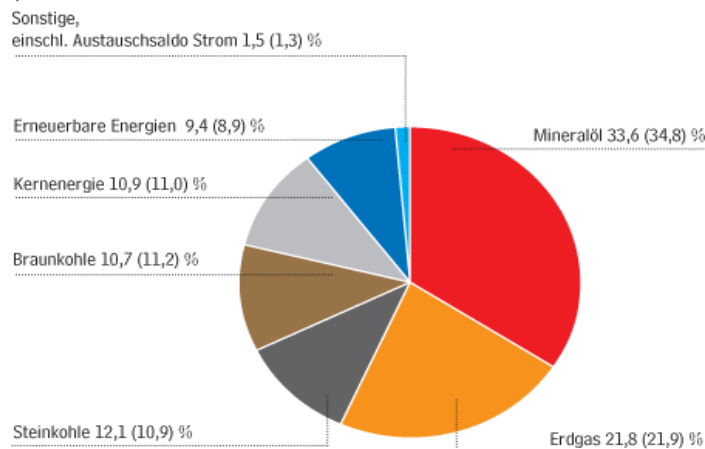


Abb. 4.6 : Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2010, [INTQ25]

Auch wenn der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bisher noch relativ gering ist, konnten die erneuerbaren Energien in den vergangenen Jahren

aufgrund der guten Förderbedingungen ein deutliches Wachstum verzeichnen. Ihr Anteil am Primärenergieverbrauch steigerte sich von 2,6 % im Jahr 2000 auf 9,4 % im Jahr 2010, wie aus der Abbildung 4.6 zu entnehmen ist. Unter den erneuerbaren Energien trug die Wasserkraft mit 7,2 %, die Windenergie mit 13,3 %, die Solarthermie mit 1,9 %, die Geothermie mit 2,0 %, Photovoltaik mit 4,4 % zur deutschen Endenergiebereitstellung bei. Ganze 46,1 % stellten bioenergetische Brennstoffe zur Wärmeerzeugung bereit [BMU11]. Wie bereits zu anfangs erwähnt, sind die fossilen Energien nach wie vor die Hauptenergieträger mit 78,2 %. In Deutschland spielte auch die Kernenergie, im Jahr 2010 mit 10,9 %, eine wichtige Rolle [INTQ25]. Trotz zahlreicher Gegner behielt Deutschland bis vor kurzem den Kurs zur Nutzung der Kernenergie bei (vgl. Kapitel 4.1.7), während andere Länder, wie z. B. Österreich, sich grundsätzlich gegen den Einsatz der Kernenergie entschieden haben.

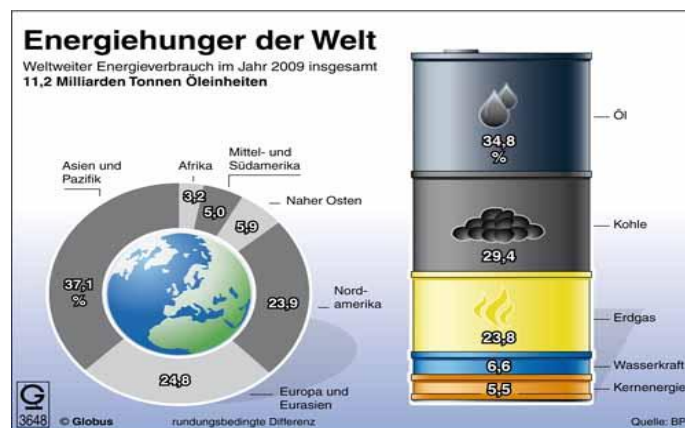


Abb.4.7: Energiehunger der Welt [INTQ26]

Weltweit bestehen beim Energieverbrauch sehr große Unterschiede. 18 % der Weltbevölkerung leben in den Industriestaaten und sind für fast die Hälfte des weltweiten PEV und der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Die Weltbevölkerung wird von derzeit 6,93 Mrd. (2010) auf geschätzte 8,2 Mrd. Menschen im Jahr 2030 anwachsen und dann entsprechend mehr Energie verbrauchen. Dazu kommt die zunehmende Industrialisierung in den Schwellen- und Entwicklungsländern, die den Energiebedarf weiter ansteigen lassen [WIL09]. Die Welt hat demnach einen gewissen Energiehunger, wie die Abbildung 4.7 zeigt. Die Grafik veranschaulicht die Verteilung des PEV im Jahr 2009 auf die Regionen (in %) und wird im einleitenden Vortrag verwendet, um die Thematik des Energieverbrauchs zu erörtern. Es ist deutlich erkennbar, dass besonders Asien u. Pazifik mit 37,1 %, gefolgt von Europa und Eurasien mit 24,8 %, Spitzenreiter im Energieverbrauch sind. Hier ist im besonderen Maße China zu nennen, deren Wirtschaft jedes Jahr um gut neun Prozent steigt. So stieg allein im Jahr 2007 der chinesische Ölbedarf um zehn Prozent auf 385 Millionen Tonnen [PET08/75-85]. Die Graphik zeigt weiter, dass bei den erneuerbaren Energien nur die Wasserkraft berücksichtigt wird, Windenergie, Solarenergie, Geothermie und die in vielen armen Regionen vorherrschende Biomasse (z.B. Holz, Stroh, Dung) bleiben unberücksichtigt. Fossile Energieträger decken hingegen derzeit weltweit 75 % des jährlichen Weltenergiebedarfs ab [HEI03/138].

4.1.5 Die Reichweiten der Erdölressourcen – Der Peak Oil

Energien, welche in den Energiequellen unserer Umwelt gespeichert sind, treten in ganz verschiedenen Formen als Primärenergie auf. Sie unterscheiden sich z. B. in der Energieart, in der Art des Vorkommens, in der Konzentration, in der Verfügbarkeit, in der Abhängigkeit von Sonneneinstrahlung und in der Verwertungsmöglichkeit. Man unterscheidet zwischen **Vermögensenergien** und **Einkommensenergien**. Mit Vermögensenergien bezeichnet man gespeicherte Energie, die nur einmal verbraucht werden kann und dann erschöpft ist. Zu differenzieren ist dabei zwischen fossilen Brennstoffen, in denen chemische Bindungsenergie gespeichert ist, und Kernbrennstoffen, von denen ein Teil der Kernbindungsenergie genutzt werden kann. Einkommensenergien erschöpfen sich in Zeiträumen, die für die Menschheit von Bedeutung sind, nicht. Sie tritt unabhängig vom Verbrauch immer wieder auf. Einkommensenergien sind zum Beispiel die Sonnenenergie, die Wasserkraft, die Windenergie, die Biomasse und die Erdwärme. Die Vermögensenergien, die auf der Erde vorhanden sind, müssen zwei Bedingungen erfüllen, wenn sie genutzt werden sollen. Ihre Lagerstätten müssen bekannt sein, und sie müssen ökonomisch nutzbar sein. Sicher nachgewiesen und gegenwärtig ökonomisch förderbare und nutzbare Vorkommen werden als **Reserven** bezeichnet. Die Summe aller Vorkommen, einschließlich der nachgewiesenen z. Z. nicht ökonomisch nutzbaren und der gesamten noch zu entdeckenden Lagerstätten, die wiederum aus ökonomisch nutzbaren und noch nicht nutzbaren Stätten bestehen, bezeichnet man als **Ressourcen**. In den Ressourcen sind die Reserven mit enthalten [DIT98/1-27].

Mittelpunkt der Diskussion über die Energieproblematik im Schülerlabor ist die Reichweite der Ressourcen von fossilen Brennstoffen. Aus diesem Grund werden hier die Vorräte von Kohle, Erdgas und vor allem Erdöl intensiver erläutert. Informationen über die Reichweiten der Ressourcen von erneuerbaren Energie, sowie über die Kernspaltprodukte, finden sich im Kapitel 4.1.7.

Fossile Brennstoffe treten in fester Form als Torf, Braunkohle und Steinkohle, in flüssiger Form als Erdöl und gasförmig als Erdgas auf. Entstanden sind diese Brennstoffe aus organischen Substanzen, die sich vor bis zu 400 Millionen Jahren bildeten. Den entscheidenden Beitrag zum globalen Energieverbrauch leistet unter den fossilen Brennstoffen das Erdöl. Aus diesem Grund ist die Frage nach den Energieressourcen in erster Linie die Frage nach den Ölreserven. Eine häufig zitierte Quelle detaillierter Angaben über die Ölreserven der Welt ist der „Statistical Review of World Energy“, den der Ölkonzern BP jedes Jahr veröffentlicht. Doch auch die darin enthaltenen Zahlenreihen über die Reichweiten der Ressourcen müssen, wie die Herausgeber selbst deutlich machen, mit Vorsicht behandelt werden. Das Problem genaue Daten zu sammeln ist nämlich, dass es den ölproduzierenden Gesellschaften oder Staaten überlassen ist, welche Reserven sie melden. Wie diese Staaten die Zahlen ermittelt haben, ist nicht zu kontrollieren. Der Kurzstudie aus dem Jahr 2009 von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffen ist zu entnehmen, dass für das Jahr 2008 ein

Gesamtpotenzial an konventionellen Erdölreserven in Höhe von 405 GT ausgewiesen worden war [BUN09/17-18]. Auch diese Werte müssen kritisch betrachtet werden. Weniger interessant ist jedoch die Reichweite der Reserven, als vielmehr die Frage, wann die Produktion die immer mehr steigende Nachfrage nicht mehr decken kann und somit das Maximum der Ölförderung erreicht ist. Mit diesem Zeitpunkt, dem **Peak der Förderung**, hat sich der Geophysiker M. King Hubbert befasst. Er stellte fest, dass sich die Ausbeutung jedes Ölfeldes, sowie der weltweiten Reserven, in einer Glockenkurve darstellen lässt (vgl. Abb. 4.8). Zunächst sprudelt das Öl reichlich, es wird stetig mehr gefördert, bis zu dem Punkt, an dem etwa die Hälfte des festgestellten Öls herausgeholt wurde. Nach diesem Gipfel („Peak“) nimmt die geförderte Menge kontinuierlich ab. Wann dieses Maximum erreicht ist, lässt sich nach Hubbert anhand der jeweils neuen Explorationsmöglichkeiten und Sucherfolge nach Ölvorräten schätzen.

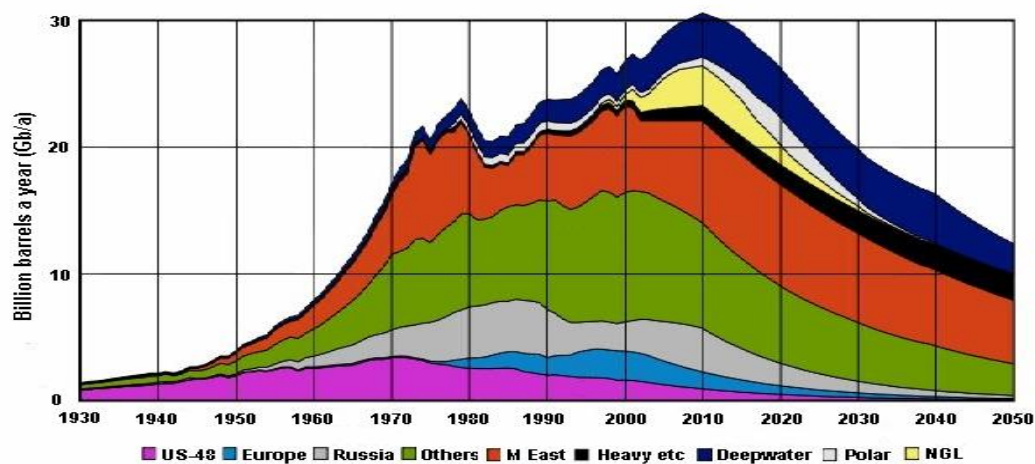


Abb. 4.8: Die Hubbert-Kurve“ nach ASPO 2004 [PET08/69]

Die „**Hubbert-Kurve**“ zeigt für verschiedene Weltregionen den Gipfelpunkt der Erdölförderung. In den USA z.B. lag er um 1970, Russland erreichte das Fördermaximum um 1985. Zu beachten ist, dass solcherart Statistiken nur konventionelles (fließfähiges) Öl erfassen. Aufgrund der fortschreitenden Technologien können jedoch auch unkonventionelle Vorkommen wie Schweröl, Ölsande oder Ölschiefer, die allesamt nur unter erschwerten Bedingungen und zu deutlich höheren Kosten zu fördern sind, zugänglich gemacht werden. Weiter hinzu kommt, dass ständig neue Ölvorkommen erschlossen werden, wie z. B. die Quellen unter dem Meeresboden. Tatsache ist, dass zwar noch genügend Öl vorhanden ist, Geologen gehen aber davon aus, dass bereits 90 % aller Öllagerstätten inzwischen gefunden sein dürften. Wie lange wird uns also das Öl noch reichen? David O'Reilly, der ChevronTexaco-Chef sagte: „*Die Menschen haben 125 Jahre gebraucht, die erste Billion Fass Öl zu verbrauchen, und wir werden wahrscheinlich die nächste Billion in nur 35 Jahren konsumieren.*“, [PET08/69-71]. Die Internationale Energie-Agentur schätzt, dass der Verbrauch bis zum Jahr 2030 auf etwa 120 Millionen Barrel pro Tag steigen könnte. Gegenwärtig werden nach ihren Berechnungen täglich etwa 85 Millionen Barrel gefördert [PET08/63-84].

4.1.6 Der Treibhauseffekt

Ohne Energiezufuhr gibt es kein Leben und da die Menschheit „gut“ leben will, benötigt man viel Energie. Unsere Energieversorgung beeinflusst aber unvermeidbar auch unsere Umwelt. Wie und wie sehr, hängt von der Art der Energieversorgung ab. Die wichtigsten Umweltprobleme unserer Energieversorgung sind das Ozonloch, das Armutproblem, das Wasserproblem, das Problem der Strahlenexposition und vor allem das Klimaproblem. Die Probleme und damit auch die Lösungsmöglichkeiten, hängen vielfältig miteinander zusammen. Da die Besprechung der einzelnen Schwierigkeiten den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird im Folgenden nur auf das Klimaproblem und somit auf den Treibhauseffekt eingegangen. Im Vortrag der Schülerlabordurchführung wird diese Thematik anhand der Abbildung 4.9 mit den Schülern diskutiert.

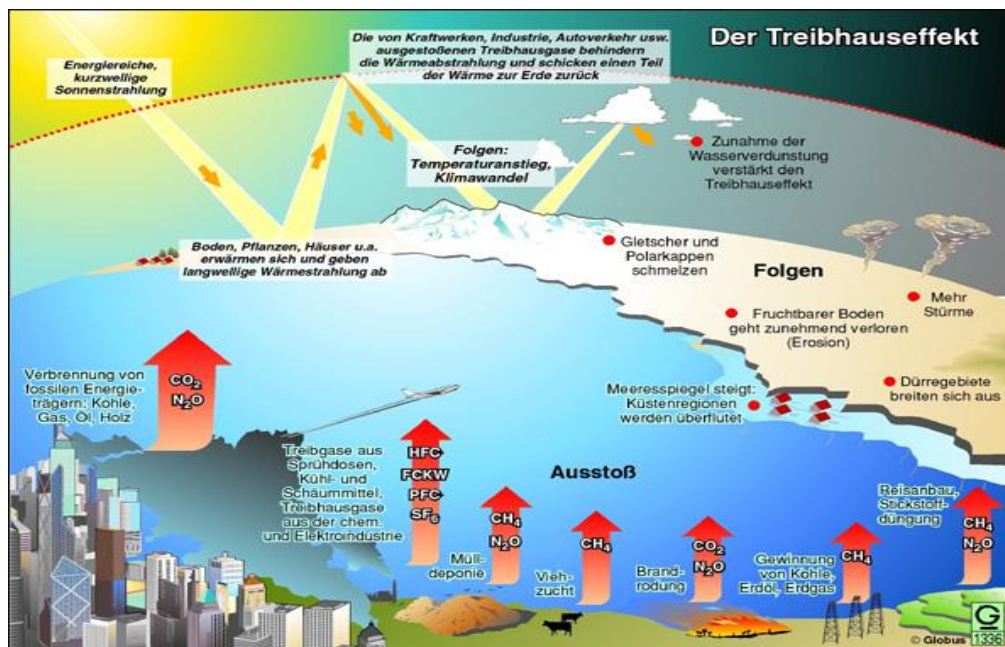


Abb. 4.9: Der Treibhauseffekt [INTQ27]

Bei dem Begriff „Treibhauseffekt“ muss zwischen dem natürlichen Treibhauseffekt und dem anthropogenen Treibhauseffekt, der zusätzlich vom Menschen verursacht wird, unterschieden werden.

Der natürliche Treibhauseffekt

Der natürliche Treibhauseffekt ist essentiell für das Leben auf der Erde. Die Sonne, die eine Oberflächentemperatur von 6000 K besitzt, schickt kurzwellige Strahlung auf die Erde. Ungefähr dreiviertel dieser Strahlung wird schon beim Auftreffen auf die äußerste Atmosphäre durch Aerosole und Wolken reflektiert, der Rest der Sonnenstrahlung gelangt jedoch bis zur Erdoberfläche. Dort wird die kurzwellige Strahlung der Sonne in

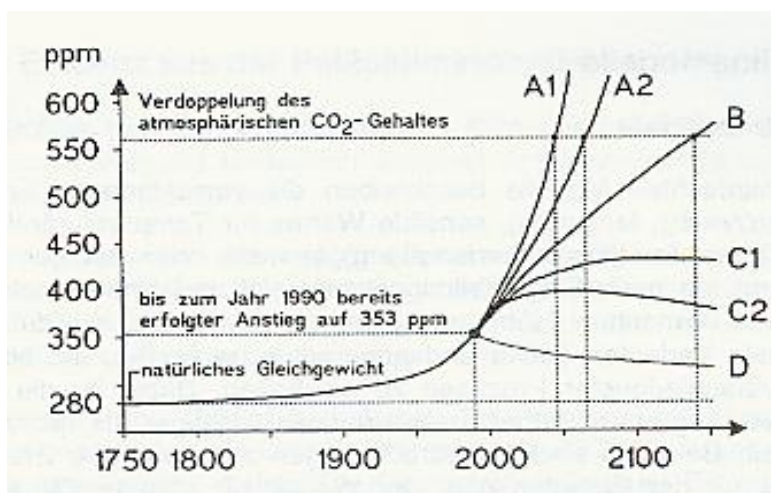
Infrarotstrahlung, also Wärme, umgewandelt und wiederum als langwellige Wärmestrahlung reflektiert. Ein gewisser Prozentsatz dieser Infrarotstrahlung dringt ungehindert durch die Lufthülle unserer Erde wieder in den Weltraum, der größte Teil der langwelligen Strahlung kann die Atmosphäre aber nicht wieder verlassen, da sogenannte Spurengase, wie Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon, Distickstoffmonoxid, Methan und FCKW's, das Durchdringen verhindern. Die langwelligen Wärmestrahlen werden deshalb wieder zur Erde reflektiert und erwärmen dabei die Oberfläche zusätzlich. Diese natürliche Reflexion gewährleistet auf der Erde eine Durchschnittstemperatur von etwa 15 Grad Celsius oder 288 K. Ohne diese Reflexion würde dieser Wert -18 Grad Celsius oder 255 K betragen, bei welcher, aufgrund gefrorener Ozeane, eine Entstehung heutiger Lebensformen unmöglich gewesen wäre. Ohne Treibhauseffekt lässt sich folgende mittlere Oberflächentemperatur T_0 mit Hilfe der Strahlungsbilanzgleichung berechnen. Dabei gilt

$$\frac{1}{4} \cdot Q \cdot (1-\alpha) = \sigma \cdot T_0^4,$$

wobei Q ($1367,5 \pm 0,5 \frac{W}{m^2}$) die Solarkonstante ist. Sie drückt die gesamte Strahlungsenergie der Sonne aus. α ist die Rückstrahlungsfähigkeit oder Albedo, also der Quotient aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge und beträgt für die Erde 0,30. σ ($5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Wm^{-2}}{K^{-4}}$) ist die Stefan-Boltzmann-Konstante [WOK99/206-215].

Der anthropogene Treibhauseffekt

Der Mensch greift in das seit Jahrtausenden stabile Gleichgewicht ein und fördert den anthropogenen Treibhauseffekt. Dieser Effekt beschreibt die Veränderung der Durchschnittstemperatur in der Atmosphäre. Die Hauptursache des vom Menschen verursachten zusätzlichen Treibhauseffekts liegt in der vermehrten Freisetzung von sogenannten Treibhausgasen, wie z. B. Kohlendioxid (CO_2), was zur Folge hat, dass die Wärmestrahlung von der Atmosphäre auf die Erde verstärkt zurückgeworfen wird.



- A1: „Business as usual“**
Zunahme der Emissionen um +2%/Jahr
- A2: kleine Einsparungen**
+1%/Jahr
- B: Einfrieren der Emissionen auf Stand 1990**
- C1: Große Einsparungen:**
Abnahme der Emissionen um -1%/Jahr
- C2: Sehr große, aber ökonomisch noch realisierbare Einsparungen:**
-2%/Jahr
- D: Emissionstopp:** nur von wissenschaftlichem Interesse

Abb. 4.10: Die globalen CO_2 -Emission [WOK99/206-215]

Neben CO_2 , das hauptverantwortlich für den anthropogenen Treibhauseffekt ist, sind Methan CH_4 mit ca. 15 %, Fluorchlorkohlenwasserstoffe FCKW mit ca. 12 %, O_3 mit ca. 8 % und N_2O mit ca. 4 %, die vier wichtigsten Treibhausgase [WOK99/206-215]. In der Abbildung 4.10 ist der rapide Anstieg des Kohlendioxidgehaltes in der Erdatmosphäre über die letzten 250 Jahre gezeigt. Die Konzentration des CO_2 wird in Millionstel Volumenanteil ppm (parts per million) angegeben. Seit dem Beginn der Industrialisierung, die ein starkes Wachstum der Bevölkerung, der Industrie und des Verkehrs zu Folge hatte, und die einen steigenden Lebensstandard mit einschloss, steigt der CO_2 Gehalt kontinuierlich an. Zwar unterlag die Konzentration in den letzten tausend Jahren vielen Schwankungen, dennoch lag der Wert niemals über 300 ppm. Im Jahr 1990 betrug dieser Wert bereits 353 ppm. Die Abbildung 4.10 zeigt weiterhin vier unterschiedliche Szenarien für die Entwicklung der globalen CO_2 -Emissionen. Nur durch große bis sehr große Einsparungen (C1 und C2) kann die Zunahme des CO_2 -Gehalts gestoppt und verringert werden [WOK99/206-215].

Seit der Mensch in die natürlichen Prozesse der Natur aktiv eingreift, wie in etwa durch die Verbrennung fossiler Energien, bei welcher große Mengen an Treibhausgasen freigesetzt werden, ändert sich die CO_2 -Konzentration in der Erdatmosphäre gravierend. Damit eng verbunden ist ein Anstieg der globalen Temperatur.

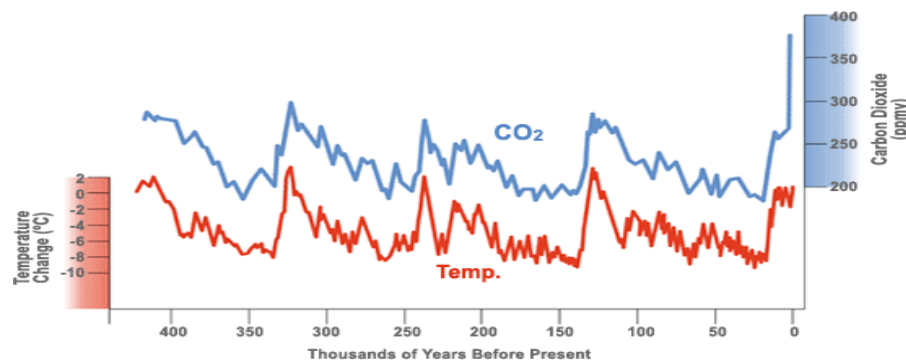


Abb. 4.11: Temperatur- und CO_2 -Verlauf [INTQ28]

Aus der Graphik 4.11 wird ersichtlich, dass sich die Temperaturveränderungen ähnlich wie die Konzentrationsschwankungen des CO_2 -Gehalts verhalten. Demzufolge wird für die Zukunft ein Anstieg der CO_2 -Konzentration auch einen Anstieg der Temperatur auf der Erdoberfläche mit sich führen. Dieser Anstieg der Temperatur bringt schwerwiegende Klimaveränderungen mit sich. Die Anzahl der Wirbelstürme und deren Stärke, Überschwemmungs- und Brandkatastrophen, sowie Dürreperioden haben weltweit zugenommen und fordern jährlich viele Menschenleben. Lebewesen verlieren ihren natürlichen Lebensraum. Die Gletscher schmelzen ab, was wiederum zur Folge hat, dass der Meeresspiegel ständig steigt (10 bis 25 cm innerhalb der letzten 100 Jahre) und Länder und Inselgruppen die unterhalb des Meeresspiegels liegen, in große Gefahr bringt. Der Klimawandel hat viele weitere Folgen, die an dieser Stelle nicht alle aufgezählt werden können. Zwar bietet die Natur natürliche CO_2 -Senkprozesse, wie die Photosynthese der Pflanzen (Regenwald, Algen) und die Absorption im Meerwasser, dennoch ist der Grad der Abbaufähigkeit der Natur begrenzt, was wiederum bedeutet, dass der Mensch selbst handeln muss [BUC08/84-93].

4.1.7 Möglichkeiten der Energiegewinnung

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten der Energiegewinnung vorgestellt. Dabei wird explizit auf das Kohlekraftwerk, das Kernkraftwerk, sowie auf erneuerbare Energien, wie die Nutzung der Sonnenenergie, der Wind- und Wasserenergie, der Bioenergie und der Geothermie eingegangen. Im Folgenden werden die Funktionsweisen der unterschiedlichen Energiegewinnungsmöglichkeiten thematisiert. In Kapitel 5.3.5 findet sich eine Tabelle 11, die die jeweiligen Ressourcen, Wirkungsgrade, Vorteile, Nachteile und die derzeitige Verwendung in Deutschland nochmals detailliert enthält. Anhand dieser Tabelle können die Kraftwerkstypen verglichen werden. Falls nicht anderweitig vermerkt, wurden die Quellen [HUB03/37-55] und [WIL09] verwendet. Skizzen und Grafiken der Prinzipien der Energiegewinnungsarten, sowie verwendete Texte für die Station „Energieproblematik“, befinden sich auf beiliegender CD.

Das Kohlekraftwerk

In der Bundesrepublik Deutschland werden 22,8 % (Abbildung 4.6) der elektrischen Energie aus der chemischen Energie des Primärenergieträgers Kohle durch Verbrennung erzeugt. Kohle ist weltweit einer der wichtigsten und ältesten Energieträger. Bei thermischen Kraftwerkstypen muss die beim Verbrennen entstehende Wärmeenergie erst in mechanische Energie und dann in elektrische Energie umgewandelt werden. Braunkohle und Steinkohle sind dabei die Hauptlieferanten der chemischen Energie. In Deutschland wird mit braunkohlegefeuerten Kohlekraftwerken die Grundlast und mit Steinkohle hauptsächlich die Mittellast erzeugt. Als **Grundlast** bezeichnet man die Netzbelastung, die während eines Tages in einem Stromnetz nie unterschritten wird. Als **Mittellast** bezeichnet man den Bereich, wenn über die Grundlast hinaus zusätzlicher Strom verbraucht wird.

Der Aufbau eines Kohlekraftwerks

Bevor die Kohle in die Brennkammer des Kraftwerkes geblasen wird, wird die Kohle nach dem Abbau getrocknet, da Braunkohle bis zu 50 % und Steinkohle bis zu 10 % Feuchtigkeit enthält. Anschließend wird die Kohle in Schlagradmühlen zerkleinert und gemahlen. Auf der Innenseite der riesigen Kraftwerkskessel sind die Kesselwände mit einem System von Rohrleitungen überzogen, die eine Länge von einigen 100 km erreichen können. Durch diese Rohre strömt Wasser, das sog. Kesselspeisewasser. Der Kohlenstaub wird mit vorgewärmter Luft in die Brennkammer eingeblasen und verbrannt. Im Feuerungsraum herrscht eine Temperatur von 1300 °C. Hier beginnt die Energieumwandlung, wobei durch Verbrennung die chemische Energie der Kohle zu Wärme wird. Die entstehende Wärmeenergie überträgt sich auf das Wasser, das durch das Rohrleitungssystem des Kessels gepumpt wird. In diesen Leitungen verdampft das Wasser. Der Dampf wird auf eine Temperatur bis fast 600 °C aufgeheizt. Durch die hohe Temperatur steht der Dampf unter einem großen Druck von rund 180 bar. Dieser Dampf

wird nun zur Turbine geleitet. In der Turbine ist eine Achse gelagert, auf der mehrere Laufräder angeordnet sind. Jedes Laufrad ist mit vielen Schaufelblättern bestückt, die wie Propeller aussehen. Mit großer Geschwindigkeit strömt der überhitzte Dampf in die Turbine und trifft auf die Schaufeln der Laufräder. Dadurch wird der Turbinenläufer in eine Drehbewegung versetzt, wobei genau 3000 Umdrehungen pro Minute geschafft werden müssen, damit die Generatoren die Netzfrequenz von 50 Hz einhalten. Nachdem der Dampf seine Energie auf die Schaufelräder übertragen hat, entspannt sich der Dampf beim Durchströmen der Turbine und kühlt ab. In Richtung zum Turbinenausgang vergrößern sich die Laufräder, damit auch die schwächer werdende Kraft des Dampfes noch genügend ausgenutzt werden kann. Erst werden die Turbinen in dem vergleichsweise kleinen Hochdruckteil in Bewegung gesetzt, dann im baulich größeren Mitteldruckteil, zuletzt im großvolumigen Niederdruckteil. Beim Verlassen der gewaltigen Turbine hat der Dampf noch eine Temperatur von etwa 30° C. Der 30° warme Dampf wird im Kondensator mit Kühlwasser gekühlt und verdichtet sich wieder zu Wasser. Dieser Vorgang heißt Kondensation. Das kondensierte Wasser wird zurück in die Rohrleitungen des Kessels gepumpt – der Kreislauf beginnt von Neuem. Das Kühlwasser zur Kondensation des Dampfes gibt seine Wärmeenergie in Kühltürme. In diesen Naturzug-Kühltürmen wird das Wasser im unteren Drittel verrieselt. Der natürliche Kamin der Luft in dem hohen Turm kühlt das abregnende Wasser durch Verdunstung [INTQ30] [BUC08/60-61]. Stromproduktion durch thermische Kraftwerke ist stark verlustbehaftet, da ein erheblicher Teil an Wärme bei der Verbrennung des Brennstoffes an die Umgebung verloren geht, was wiederum zu einem schlechten Gesamtwirkungsgrad (von ca. 30 - 40 % [INTQ30]) führt. Abhilfe kann z. B. die Kraft-Wärme-Kopplung bringen, bei welcher die Abwärme für Prozesswärme oder zur Büro- und Wohnraumbeheizung in Fernwärmenetzen genutzt werden kann.

Deutsche Kohlekraftwerke sind Umweltsünder

Kohlekraftwerke emittierten bei einer täglichen Verbrennung von ca. 5000 t Kohle pro Tag 20 000 t Kohlendioxid, das wesentlich zum Treibhauseffekt beiträgt. Nach Berechnungen von Umweltschützern gehören deutsche Kohlekraftwerke zu den klimaschädlichsten Stromlieferanten in der Europäischen Union. Nach einer veröffentlichten Studie, im Jahr 2007, des Öko-Instituts im Auftrag des WWF stehen von den 30 größten Dreckschleudern in der EU allein zehn in Deutschland. Als Richtmaß galt dabei der CO₂-Ausstoß pro erzeugter Kilowattstunde Strom. Die Untersuchung habe gezeigt, dass im Jahr 2006 393 Millionen Tonnen Kohlendioxid, das entspricht zehn Prozent der europäischen CO₂-Emissionen, auf das Konto der "Dreckigen Dreißig" gegangen sind [INTQ29]. Zwar gaben die deutschen Inhaber dieser Werke im Jahr 2007 an, die Kohlekraftwerke zu erneuern bzw. bis zum Jahr 2012 die Werke in Nordrhein-Westfalen zu schließen, jedoch nach aktuellem Stand sind noch keine nennenswerten Schritte in diese Richtung gemacht worden. Das stärkste Kohlekraftwerk der Welt ist das „Taichung Power Plant“ in Taiwan mit einer Nettoleistung von 5500 Megawatt. Es bläst jährlich 39,7 Millionen Tonnen Kohlendioxid in den taiwanesischen Himmel [INTQ38].

Das Kernkraftwerk

Bei Kohlekraftwerken müssen große Massen an Kohlenstoff über recht weite Strecken von den Kohlegruben zu den Kraftwerken transportiert werden. Mit wesentlich weniger Massentransport kommen dagegen Kernkraftwerke aus. Ein Kernkraftwerk mit einer Leistung von 500 MW muss im Jahr nur etwa 15 t an Brennelementen austauschen und es werden praktisch keine schädlichen Gase emittiert. Allerdings entstehen bei der Energiegewinnung hochradioaktive Spaltstoffe, die nach dem Entnehmen in Abschirmbehältern sicher gelagert werden müssen. Deutschland besaß im Jahr 2010 25 Kernkraftwerke, wobei 13 bereits stillgelegt worden waren [INTQ31]. Im selben Jahr betrug der Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung in Deutschland rund 10,9 % (vgl. Abb. 4.6).

Statt der chemischen Energie von Kohlenstoff und Sauerstoff wird im Kernkraftwerk die Kernbindungsenergie von Uranatomen genutzt. Laut der Quelle [HEI03/229-233] reichen die Uranressourcen über 400 Jahre. Wird ein Atomkern des Uranisotops $^{235}\text{Uran}$ von einem „Neutron getroffen, erhöht sich die Massenzahl, aus dem relativ stabilen $^{235}\text{Uran}$ wird ein extrem instabiles $^{236}\text{Uran}$ und zerfällt in Sekundenbruchteilen in zwei etwa gleich große Bruchstücke, z. B. $^{144}\text{Barium}$ und $^{89}\text{Krypton}$. Wegen der elektrostatischen Abstoßungskräfte der gleichnamig geladenen Kernbruchstücke fliegen diese mit großer kinetischen Energie auseinander. Dabei wird eine Energie von etwa 200 MeV frei. In einem Kernkraftwerk werden im Betrieb pro Sekunde ca. 1020 solcher Urankerne gespalten. Durch Zusammenstoß mit benachbarten Atomen wird diese kinetische Energie in Wärmeenergie des Uran“brennstoffs“ umgewandelt. Bei der Spaltung werden ferner ein Gammaquant und 2 bis 3 Neutronen frei (vgl. Kapitel 4.1.2 Kernenergie). Neutronen können in einem geeigneten Medium (z. B. Wasser) durch Zusammenstoß mit Wasserstoffatomen so weit abgebremst werden, dass sie eine geeignete Geschwindigkeit erhalten, um zwei bis drei weitere Uranatome zu spalten. Durch neutronenabsorbierendes Material (z. B. Bor oder Cadmium) werden so viele Neutronen abgefangen, dass im Durchschnitt nach jeder Spaltung eines Uranatoms durch die Neutronenemission gerade ein weiteres Uranatom gespalten wird. Im Reaktorkern eines Kernkraftwerks ist das Uran aus Uranoxid mit einem Gehalt von ca. 3,5 % Uran in Rohren aus einer Speziallegierung (Zircalloy) untergebracht. Jeweils etwa 100 Rohre sind zu einem sog. Brennelement gebündelt. Zwischen den Rohren befindet sich Wasser, das einerseits die Wärme von den Brennelementen abführt und außerdem als Moderator zur Abbremsung der Neutronen dient [TIP04/1304-1313], [HEI03/224-298].

Der Aufbau eines Kernkraftwerks

Im Betrieb wird eine starke Gammastrahlung emittiert, ferner sind auch die Spaltprodukte des Urans stark radioaktiv. Deshalb muss der Reaktorkern so abgeschirmt werden, dass die Strahlung nicht in die Umgebung gelangen kann. Außerdem muss vermieden werden, dass das Wasser aus dem Reaktordruckgefäß entweichen kann. Zwar würde ohne Moderator die Kernspaltung zum Erliegen kommen, aber die Spaltstoffe erzeugen durch die hohe Radioaktivität eine sog. Nachwärme von ca. 7 % der Reaktorleistung, die ohne weiteres reichen würde, um den Reaktorkern zum Schmelzen

zu bringen. Der radioaktive Kern würde dann das Fundament durchdringen und in den Erdboden einsinken. Im Kontakt mit dem Grundwasser entstünde eine gewaltige Dampf Wolke, die die flüchtigen radioaktiven Stoffe des Kern in der Umgebung verbreiten würde („**Super-GAU**“, GAU=Größter anzunehmender Unfall). Deshalb sind für Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks weitaus größere Sicherheitsmaßnahmen erforderlich als für ein Kohlekraftwerk. Die Kernspaltung findet im Inneren eines mächtigen Stahlbehälters statt. Der Druckbehälter hat Stahlwände von 25 cm Dicke. Sie müssen nicht nur dem Wasserdruck standhalten, sondern auch zusammen mit einem Betonmantel die radioaktive Strahlung der gespaltenen Uranatome zurückhalten. Ein kugelförmiger Sicherheitsbehälter aus dickem Stahlblech sorgt dafür, dass kein radioaktiver Dampf in die Umwelt gelangt, wenn eine der mit dem Druckgefäß verbundenen Leitungen durch einen Materialfehler brechen sollte. Schließlich ist der Reaktor samt Sicherheitsbehälter mit einer Stahlbetonhülle umgeben. Eine mächtige Grundplatte aus Beton von fast 3 m Stärke und 60 m Durchmesser trägt das Gewicht des Reaktorgebäudes. Auf der Grundplatte ist eine Betonschale errichtet, in der der kugelförmige Sicherheitsbehälter ruht. Dieser ist aus mehr als 500 Einzelteilen zusammengeschweißt. Alle Schweißnähte sind sorgfältig geprüft, denn sie dürfen im Ernstfall keine Radioaktivität entweichen lassen. Der 450 t schwere Reaktordruckbehälter wird aus geschmiedeten Stahlringen zusammengeschweißt. Er ist in den sog. biologischen Schild eingesetzt, einem Behälter mit Betonwänden von mehr als 2 m Stärke, die die gefährliche Neutronenstrahlung abschirmt [TIP04/1304-1313], [HEI03/224-298].

Energiegewinnung im Druckwasserreaktor

Weltweit haben sich zwei Reaktortypen durchgesetzt, der **Siedewasserreaktor** und der **Druckwasserreaktor**, der nachfolgend zunächst beschrieben wird (vgl. Abb. 4.12). Die Brennelemente erhitzen durch die bei der Kernspaltung entstehende Wärme das Wasser im Druckgefäß auf etwa 320°. Das Wasser wird mit Pumpen vom Reaktorkern zum Dampferzeuger transportiert (**Primärkreislauf**), wo es seine Wärme über Zwischenwände an das Wasser eines zweiten Kreislaufs (**Sekundärkreislauf**) abgibt. Dieses Wasser verdampft und treibt die Turbine an. Durch die Auftrennung in zwei Kreisläufe erreicht man, dass das radioaktiv kontaminierte Kühlwasser aus dem Reaktorkern nicht in den Kraftwerksteil mit der Turbine gelangt. Turbine und Generator benötigen also keine besonderen Schutzmaßnahmen, da sie keine Strahlung aussenden. Nachdem der Dampf die Turbine verlassen hat, wird er im Kondensator abgekühlt und als Wasser wieder in den Dampferzeuger zurückgepumpt (**Kühlwasserkreislauf**). Im Kondensator entsteht eine große Wärmemenge, die wie auch bei großen Kohlekraftwerken – durch Kühltürme abgeführt werden muss. Die in der Dampfturbine erzeugte mechanische Leistung wird an den Generator abgegeben. Dessen Polrad besteht aus einem geschmiedeten Stahlzylinder mit Kupferspulen. In den außenliegenden Ständerspulen wird durch den rotierenden Läufer eine Wechselspannung von 27 kV induziert. Auch der zugehörige Transformator hat gewaltige Ausmaße und ein Gewicht von 450 t. Er transformiert die Generatorwechselspannungen von 27 kV auf eine

Hochspannung von 380 kV. Dabei wird die Stromstärke auf 3000 A herab transformiert und erzeugt somit relativ geringe Verluste in den Hochspannungsleitungen. [INTQ33], [HEI03/224-298].

Energiegewinnung im Siedewasserreaktor

Bei diesem Reaktortyp wird das Wasser bereits im Reaktordruckgefäß verdampft (nur ein Teil, da ja das Wasser auch als Moderator gebraucht wird) und der Dampf der Turbine zugeleitet. Der Dampfdruck beträgt „nur“ etwa 70 bar, die Leistungsdaten entsprechen etwa denen des Druckwasserreaktors. Da der Dampf radioaktive Gase und Partikel enthält, müssen hier auch die „konventionellen“ Komponenten Turbine, Generator und Kondensator mit allen Leitungen in einem abgeschirmten und kontrollierten Bereich betrieben werden. Der einfache Aufbau im nuklearen Teil der Anlage wird also durch mehr Aufwand im konventionellen Teil der Anlage kompensiert. Das Schema des Siedewasserreaktors und des Druckwasserreaktors befinden sich im Anhang [INTQ34], [INTQ35].

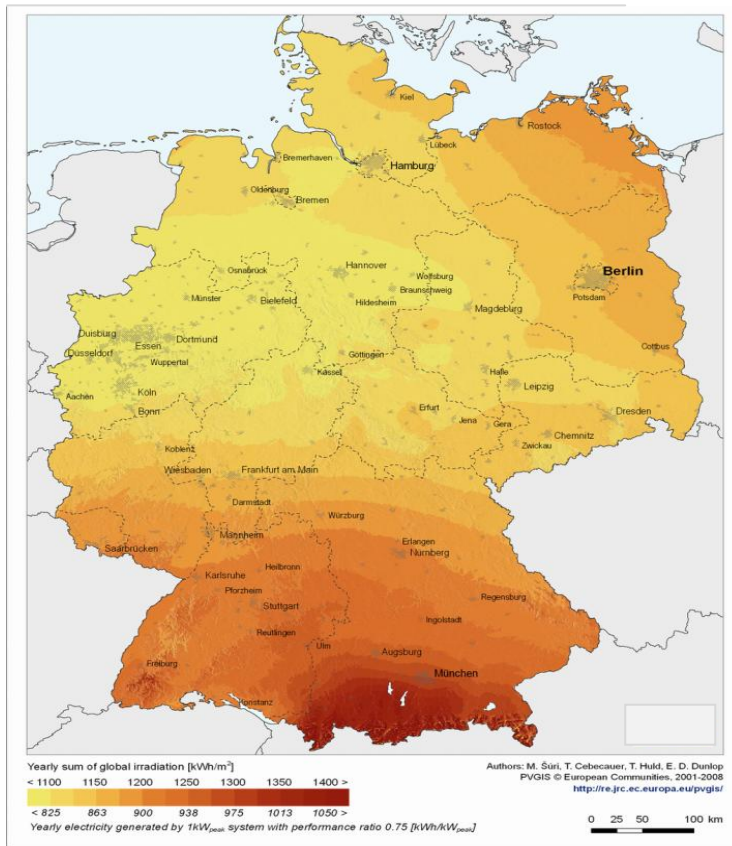
Behandlung der Spaltstoffe

Die Spaltprodukte des Urans oder Plutoniums sind so stark radioaktiv, dass sie auch nach Unterbrechung der Kernspaltung große Wärmemengen abgeben. Sie müssen daher über Jahre nicht nur abgeschirmt, sondern auch gekühlt aufbewahrt werden. Wenn die Wärmeentwicklung genügend zurückgegangen ist, wird ein Teil der abgebrannten Brennelemente in sog. Wiederaufbereitungsanlagen chemisch zerlegt und die verbleibenden spaltbaren Isotope ^{235}U für neue Brennelemente verwendet. Der stark strahlende Abfall wird in Glasblöcke eingeschmolzen, in rostfreie Stahlfässer eingeschweißt und in Betonbunkern strahlensicher verwahrt. Ein anderer Teil der abgebrannten Brennelemente soll in geeigneten Abschirmbehältern in Zwischenlagern aufbewahrt werden [TIP04/1301-1313], [HEI03/224-298].

Sein verhältnismäßig schlechtes Image erhält die Kernenergie-technik durch die Angst vor Katastrophen, vor der Verbreitung von Nuklearwaffen und vor dem Problem der Endlagerung, welches bis heute nicht gelöst ist. Nach dem schwersten jemals gemessenen Erdbeben in der Geschichte Japans überflutete ein Tsunami riesige Landstriche an der Ostküste. Tausende Menschen wurden in den Tod gerissen. In mehreren Atomkraftwerken kam es daraufhin zu Störfällen. Im Reaktorkomplex Fukushima droht seit diesem Moment (März 2011) eine atomare Katastrophe.

Ohne Kernenergie wird Deutschland seine Ziele bei der Reduktion der Kohlendioxidemissionen nicht erreichen können. Dennoch hat die BRD, mitunter auch aufgrund des Vorfalls in Fukushima, beschlossen alle Kernkraftwerke innerhalb der nächsten Jahre abzuschalten.

Sonnenenergie



Ohne die Sonne ist ein Leben auf der Erde nicht möglich. Sie spendet Licht, erwärmt den Boden, die Meere und die Atmosphäre, steuert Wetter und Klima. Die Sonne liefert Energie für das Pflanzenwachstum und damit für alles Leben. Die Sonne ist ein riesiges Energiereservoir. In der Abbildung 4.12 ist die durchschnittliche jährliche Sonnenstrahlung in Deutschland abgebildet. Über ein Jahr summiert sich die Lichteinstrahlung auf der Erde auf ca. $1\,000 \frac{kWh}{m^2}$. Die Lichteinstrahlung beläuft sich im Hochsommer auf ca.

Abb. 4.12: Durchschnittliche Sonneneinstrahlung in BRD [INTQ36]

$5 \frac{kWh}{m^2}$ pro Tag und im tiefen Winter auf ca. $1 \frac{kWh}{m^2}$ pro Tag [HEI03/314-316]. Man sieht, dass die Strahlungsenergie in den südlichen Bundesländern höher als im Norden ist. Zwar ist die Sonneneinstrahlung in Deutschland nicht so üppig wie in Ländern, die näher am Äquator liegen, dennoch lohnt sich die Nutzung der Sonnenenergie in unseren Breitengraden trotzdem, da z. B. Solarzellen auch den diffusen Anteil der Strahlung energetisch umsetzen können. Die Sonne strahlt in einer Sekunde mehr Energie ab, als der Mensch seit Beginn der Zivilisation verbraucht hat und sie steht uns kostenlos und unendlich zur Verfügung. Bei der Solarenergienutzung unterscheidet man zwischen **Photovoltaik** und **Solarthermie**.

Photovoltaik

Photovoltaikanlagen bzw. Solarzellen wandeln die Strahlungsenergie der Sonne ohne Umwege direkt in elektrischen Strom um. Sie bestehen aus verschiedenen Halbleitermaterialien. Über 90 % aller auf der Welt produzierten Solarzellen bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium (Si), das unbegrenzt verfügbar ist. Beim monokristallinen Silizium werden die Wafer, das Ausgangsmaterial der Solarmodule, aus dem teuren Einkristallblock gesägt. Beim multikristallinen Silizium sägt man Scheiben aus Siliziumblöcken, die aus vielen kleinen Kristallen bestehen. Diese Blöcke

werden entweder durch Gießen von geschmolzenem Silizium in einen Tiegel hergestellt oder das Silizium wird direkt im Tiegel mit starken elektromagnetischen Feldern aufge-

schmolzen. Aufgrund dieser Verfahren ist die Herstellung sehr teuer. Deshalb ist man bemüht, durch neue technische Verfahren die Produktionskosten zu senken und gleichzeitig die Qualität und den Wirkungsgrad zu steigern. Solarzellen haben je nach Halbleitermaterial und Bauart unterschiedliche Wirkungsgrade. Solarzellen aus monokristallinem Silizium haben den höchsten von bis zu 20 %. Die Amortisationszeit beträgt ca. 3 Jahre [BÜR07/32-38].

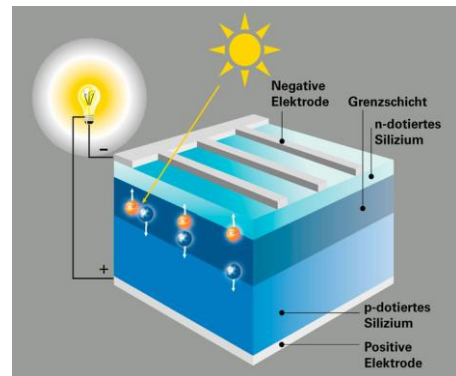


Abb. 4.13: Funktionsprinzip Photovoltaik [INTQ37]

Zur Herstellung einer Solarzelle wird das Halbleitermaterial dotiert. Damit ist das definierte Einbringen von chemischen Elementen gemeint, mit denen man entweder einen positiven Ladungsträgerüberschuss (p-leitende Halbleiterschicht) oder einen negativen Ladungsträgerüberschuss (n-leitende Halbleiterschicht) im Halbleitermaterial erzielen kann. Werden zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterschichten gebildet, entsteht an der Grenzschrift ein sogenannter p-n-Übergang. An diesem Übergang baut sich, basierend auf dem Photoeffekt, ein inneres elektrisches Feld auf, das zu einer Ladungstrennung der bei Lichteinfall freigesetzten Ladungsträger führt. Eine elektrische Spannung kann anschließend über Metallkontakte abgegriffen werden. Wird der äußere Kreis geschlossen, das heißt ein elektrischer Verbraucher angeschlossen, fließt ein Gleichstrom, der direkt zum Betrieb elektrischer Geräte genutzt werden kann. Um für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche geeignete Spannungen bzw. Leistungen bereitstellen zu können, werden einzelne Solarzellen zu größeren Modulen miteinander verschaltet [TIP04/1235-1242]. Die rasante Entwicklung im deutschen Photovoltaikmarkt hat 2010 Schlagzeilen gemacht, da im Laufe des Jahres sich die gesamte installierte Leistung um rund 7 400 MW oder fast 75 % auf 17 320 MW erhöht hat. Mit 12 Mrd. kWh wurde aus Photovoltaik rund 82 % mehr Strom als im Vorjahr erzeugt und damit die Marke des Anteils von 2 % am gesamten Stromverbrauch erreicht [BMU11/4-5]. Das stärkste Photovoltaik - Solarfeld mit 550 000 Solarmodulen befindet sich in Deutschland, östlich von Leipzig, auf einer Grundstücksfläche von 110 Hektar (etwa 200 Fußballfelder). Es wurde im Jahr 2009 fertiggestellt und hat eine Nettoleistung von 40 Megawatt [INTQ38].

Solarthermische Kraftwerke

Ein Großteil des Stroms aus unserer Steckdose stammt aus fossilen und nuklearen Kraftwerken. Dabei ist das Prinzip der Erzeugung immer gleich: Wärmeenergie, die aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder aus der Spaltung von Atomkernen

stammt, wird verwendet, eine Wärmekraftmaschine anzutreiben und über einen Generator elektrischen Strom zu erzeugen. Genau diese Technik wird bei solarthermischen Kraftwerken genutzt. Es werden nur die konventionellen Wärmequellen durch Sonnenenergie ersetzt. Solarthermische Kraftwerke funktionieren im Prinzip wie ein Brennglas. Damit die Wärmekraftmaschinen aus der Solarenergie effektiv und wirtschaftlich Strom herstellen können, benötigt man eine Mindesttemperatur von 300°C . Deshalb müssen die Sonnenstrahlen konzentriert werden. Die hohe Betriebstemperatur erfordert eine genügend starke direkte Sonneneinstrahlung, was bedeutet, dass solarthermische Kraftwerke deswegen nur im Sonnengürtel zwischen dem $35.$ nördlichen und südlichen Breitengrad wirtschaftlich betrieben werden können und deshalb in Deutschland nur begrenzt einsetzbar sind. Solarthermische Anlagen stehen jedoch nicht rund um die Uhr zur Verfügung. Diese Lücken können entweder durch den zusätzlichen Einsatz von fossilen Brennstoffen oder durch die Speicherung von Wärmeenergie kompensiert werden [BÜR07/24-31]. Im Folgenden werden zwei Arten solarthermischer Kraftwerke diskutiert, das Turmkraftwerk und das Parabolrinnen-Sonnenkraftwerk.

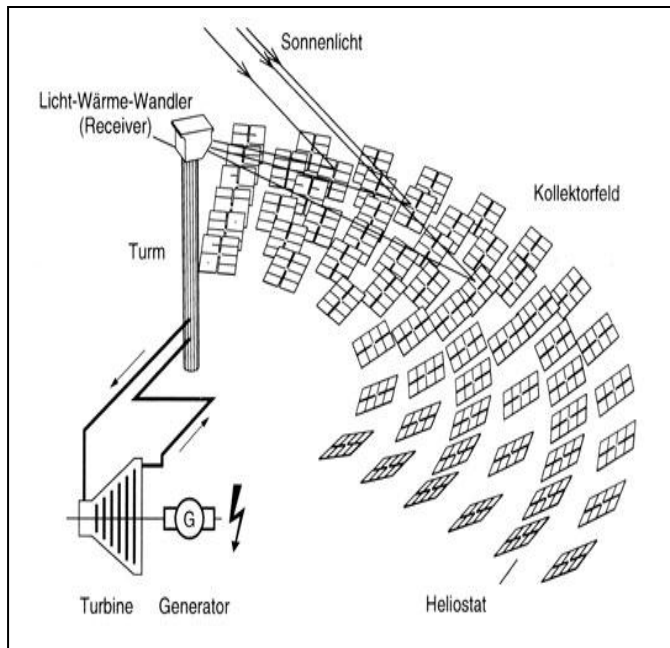


Abb. 4.14: Turmkraftwerk [INTQ46]

Bei den sogenannten **Turmkraftwerken** stehen auf einer großen Fläche um einen zentralen Licht-Wärme-Wandler („Receiver-Turm“) verteilt hunderte, meist gekrümmte Spiegel, sogenannte Heliostaten. Diese Heliostaten reflektieren die Sonnenstrahlen zur Turmspitze und sind beweglich angebracht, was eine Ausrichtung zur Sonne hin ermöglicht. In der Turmspitze sitzt der sogenannte Receiver. Dieser kann sich auf 600° bis 1000° erhitzen.

Im Receiver werden die Sonnenstrahlen von einem Trägermedium absorbiert und in ein Wärmekraftwerk weitergeleitet. Flüssiges Salz wird mit einer Temperatur von ca. 290°C in die Turmspitze gepumpt, wo es auf ca. 565°C erhitzt wird. Über Wärmetauscher wird seine Wärmeenergie dann an Wasser weitergeleitet, wobei Wasserdampf entsteht. Dieser Wasserdampf treibt eine Turbine an, die wiederum über einen Generator Strom erzeugt. Ein solches Turmkraftwerk erreicht einen Wirkungsgrad von ca. 40% [HEI03/328-330].

Einen Wirkungsgrad von etwa 20% erreichen konzentrierende Kollektoren, bei denen der Receiver im Brennpunkt eines **Parabolspiegels** liegt. Ein Solarfeld besteht aus mehreren parallel angeordneten Reihen von Kollektoren. Diese Kollektorreihen haben

jeweils eine Troglänge von ca. 100 Metern und sind wiederum unterteilt in kleine Einzelkollektoren. Die Spiegel der Einzelkollektoren haben einen parabelförmigen Querschnitt. Im Brennpunkt des Spiegels verläuft ein Absorberrohr, das von einem hitzebeständigen, synthetischen Thermo-Öl durchlaufen wird. Das Sonnenlicht wird konzentriert auf dieses Rohr reflektiert. Das Öl wird dadurch auf bis zu 400°C erhitzt. Die Energie wird über das Trägermedium in die Kraftwerkszentrale transportiert, wo sie über einen Wärmetauscher an Wasser abgegeben wird. Der entstehende Wasserdampf treibt dann, wie schon beim Turmkraftwerk erklärt, einen Generator an [HEI03/326-328].

Parabolrinnen - Solarkraftwerk

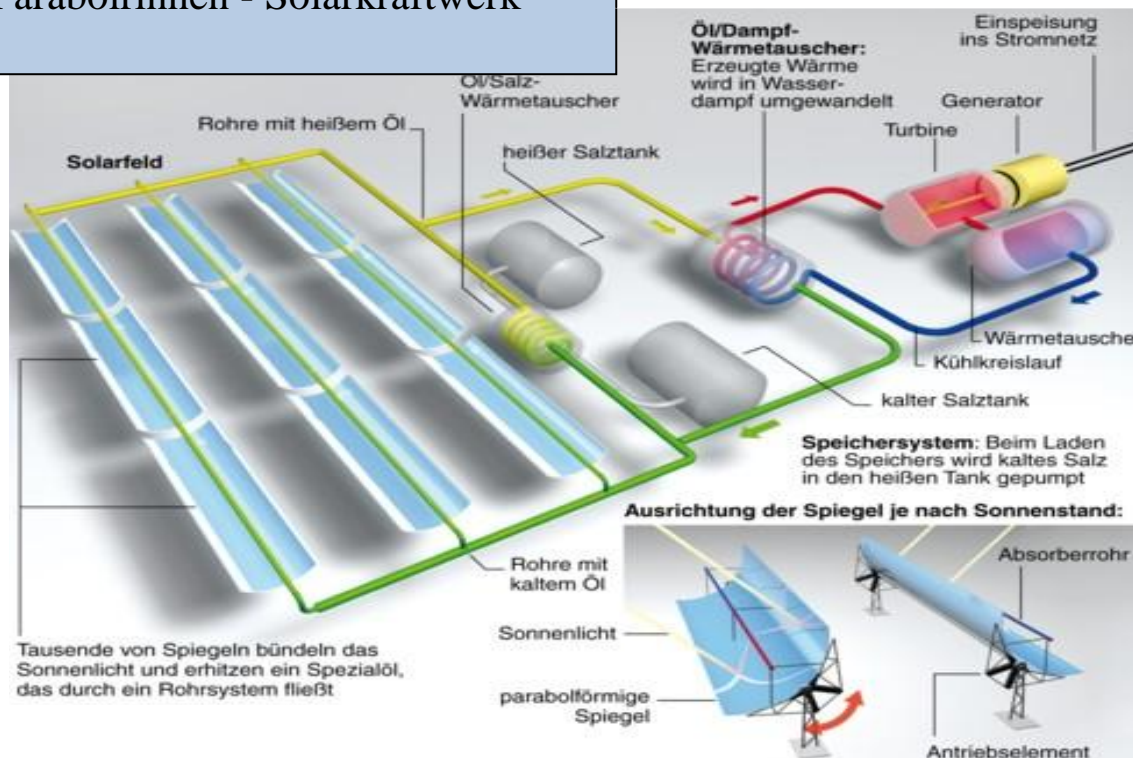


Abb. 4.15: Parabolrinnenkraftwerk [LAP10]

Wasserenergie

Knapp 97,6 % des gesamten Wassers der Erde findet man in Ozeanen und etwa ein Viertel der Energie des von der Sonne auf die Erde eingestrahnten Lichts, führt zur Verdunstung von Wasser, jede Sekunde ca. 14 Mio. m³. Dieses Wasser kommt als Regen wieder auf die Erde zurück, es schließt sich der Wasserkreislauf der Natur, der sog. **Kind'sche Wasserkreislauf**. Da Wasser von den Landflächen der Erde aus einer mittleren Höhe von durchschnittlich 800 m als Fallwasser aus Stauseen bzw. in Flüssen zu den Meeren abfließt, kann die potentielle Energie und / oder die kinetische Energie von Wasser zur Stromerzeugung genutzt werden. Diese Energie wird über ein Turbinenrad in mechanische Rotationsenergie umgewandelt, die dem Antrieb von Maschinen oder Generatoren dient. Technisch ist die Wasserkraft weitgehend ausgereift. Je nach Einsatzort und Durchflussmengen werden unterschiedliche Turbinentypen

eingesetzt. Die **Francis-Turbine**, die **Kaplan-Turbine** und die **Pelton-Turbine** sind die am häufigsten verwendeten. Auf eine ausführliche Erläuterung der Turbinenformen wird hier verzichtet, da dies für das Schülerlabor nicht von Belang war.

Aus dem Ablauf von jährlich ca. 38 Milliarden t Wasser zu Land folgt für das theoretische Potential dieser weltweiten Wasserkraft ein Wert von ca. 40 000 TWh/Jahr. Geographisch sind die Wasserkräfte jedoch sehr ungleichmäßig verteilt, denn ca. 2/3 des nutzbaren Potentials liegt in den Ländern der Dritten Welt [HEI03/300-305]. So findet sich eines der größten Wasserkraftwerke der Welt, der **Itaipu-Damm**, an der Grenze zwischen Brasilien und Paraguay. Mit einer Leistung von 12 600 MW deckt es einen Großteil des Strombedarfs Paraguays und Brasiliens. Das stärkste Wasserkraftwerk der Welt ist der „**3-Schluchten-Staudamm**“, in China. Mit einer Leistung von 18 200 MW trägt es zur Stromerzeugung pro Jahr mit 85 000 Gigawattstunden bei [INTQ38]. In Europa wird das Potential der Wasserkraft erst zu ca. einem Drittel ausgenutzt. Norwegen liegt dabei an der Spitze, wo 99 % des Stroms aus Wasserkraft gewonnen wird. In Deutschland spielt die Energieerzeugung mit Wasserkraft nur eine geringe Rolle (3,5 %) [WIL09/20-21]. Größere Kraftwerke lassen sich hierzulande kaum mehr bauen, denn die möglichen Standorte, die sich eher im Süden Deutschland befinden, werden schon von Wasserkraftwerken genutzt oder sind durch Landschaftsschutzbestimmungen nicht mehr ausbaufähig. Einen Anteil von 4 – 5 % am gesamten deutschen Strommix wird die Wasserenergie in Deutschland kaum mehr überschreiten [PET08/237-243]. In verschiedenen Kraftwerkstypen, die einen Wirkungsgrad von bis zu 97 % erreichen können [HEI03/300], wird die Wasserkraft sich unterschiedlich zu Nutze gemacht.

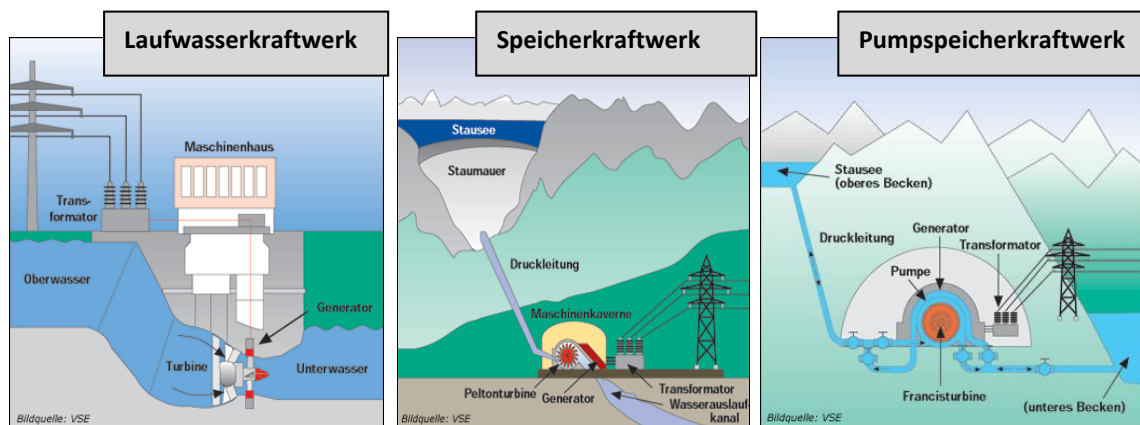


Abb. 4.16: Laufwasserkraftwerk, Speicherkraftwerk und Pumpspeicherkraftwerk [INTQ39]

Laufwasserkraftwerke gehören zu den Niederdruckkraftwerken, da die meisten Laufwasserkraftwerke nur ein geringes Gefälle aufweisen und das Wasser deshalb nur einen geringen Druck aufbauen kann. Sie nutzen die Kraft des fließenden Wassers in Flüssen und haben einen Wirkungsgrad von fast 94 %. Der Fluss wird mittels einer Wehranlage aufgestaut und durch Turbinen in den unteren Flusslauf geleitet. Dieser Kraftwerkstyp lässt sich als Grundlastkraftwerk einsetzen, da es kontinuierlich Strom produziert, obwohl die produzierte Strommenge mit dem Wasserstand des Flusses

schwankt. Somit laufen die Kraftwerke 24 Stunden am Tag. Wo es möglich ist, werden Laufwasserkraftwerke mit möglichst hohen Staumauern errichtet. Durch die größere Fallhöhe kann das Wasser somit einerseits einen höheren Druck aufbauen und so größere Mengen Strom erzeugen und andererseits kann das aufgestaute Wasser als Energiereserve dienen. Vor allem an Rhein, Donau, Iller, Lech, Isar, Inn und Mosel findet man in Deutschland ca. 6300 große Laufwasserkraftwerke. Ihr Leistungsbereich geht bis zu 150 MW [HEI03/303].

Speicherkraftwerke nutzen die in einem natürlichen (Schmelzwasser) oder künstlich angelegten Stausee gespeicherte potentielle Energie des Wassers zur Stromerzeugung. Aufgrund des großen Gefälles trifft das Wasser mit hohem Druck auf die Turbinen, die sich in einem tiefer gelegenen Krafthaus befinden. Speicherkraftwerke können je nach Bedarf innerhalb von Minuten in Betrieb genommen und wieder abgestellt werden, sie sind also für Spitzenverbrauchszeiten geeignet. Die Stauung des Wassers dient auch zur Hochwasserrückhaltung, Regulierung des Abflusses für die Sicherheit der Schifffahrt, zur Speicherung von Trinkwasser und zur Bewässerung.

Pumpspeicherkraftwerke dienen zur Haltung der Netzfrequenz, Stabilisierung des Netzes und als Reservewerk, wenn andere Kraftwerke ausfallen. Sie arbeiten bei der Stromerzeugung genau wie Speicherkraftwerke. In einem Pumpspeicherwasserkraftwerk gibt es ein höher gelegenes und ein niedrig gelegenes Wasserbecken. Zu den Spitzenlastzeiten des Stromverbrauchs, wird das Wasser vom oberen Becken durch Turbinen und Generatoren in das niedrigere Bassin geleitet. In der Nacht wird das Wasser dann mit billigem Nachtstrom durch Rohrleitungen wieder in das obere Becken gepumpt, die Generatoren und Turbinen werden dann als Pumpen verwendet. Pumpspeicherkraftwerke erreichen eine Leistung von bis zu 1 000 MW und haben einen Wirkungsgrad von rund 75 % [BÜR07/20-23], [HEI03/303].

Gezeitenkraftwerke nutzen den Höhenunterschied (Tidenhub) des Meerwassers bei Ebbe und Flut. Bei Flut strömt das Wasser durch Röhrenturbinen in einer Staumauer in die abgetrennte Meeresbucht. Ist der Wasserspiegel zwischen Meer und Bucht auf gleicher Höhe, werden die Öffnungen der Staumauer geschlossen. Bei Ebbe wiederholt sich der Vorgang in umgekehrter Richtung. Die Turbinen werden bei Flut vom einfließenden Wasser, bei Ebbe vom ausfließenden Wasser in Bewegung gesetzt, weshalb sie in beiden Durchströmungsrichtungen

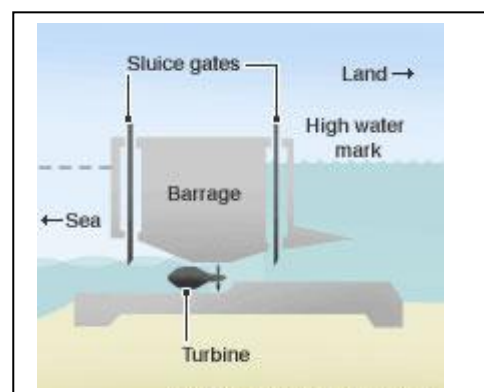


Abb. 4.17: Gezeitenkraftwerk [PET08/241]

arbeiten. Dies erreicht man, indem man die Rotorblätter umstellt. Da sich der Gezeitenrhythmus täglich um 50 Minuten verschiebt, verschiebt sich damit auch der Zeitpunkt der vollen Leistungsfähigkeit eines solchen Kraftwerks. Das stärkste Gezeitenkraft in Dammbauweise befindet sich in Frankreich. „La Rance“ produziert jährlich 600 Gigawattstunden Strom. Das stärkste schwimmende Wellenkraftwerk

„Agucaduora Project“ liegt in Portugal ist 140 m lang, hat einen Durchmesser von 3,5 m und hat eine Nettoleistung von 750 Kilowatt je Anlage (3 Anlagen sind installiert). Dieses Kraftwerk spart jährlich 60.000 Tonnen Kohlendioxid ein [INTQ38].

Bei den **Wellenkraftwerken** schwappen die Wellen in eine Art Kamin. Dabei drückt jede Welle Luft in die Höhe und zieht sich – wenn das Wellental folgt – wieder heraus. Eine Spezialturbine treibt einen Generator an und verwandelt so die abwechselnd komprimierte und angesaugte Luft in elektrischen Strom. Die Nutzung ist schwierig und vor allem teuer. Die Kraftwerke müssen auf Plattformen entstehen, die voll automatisiert funktionieren. Auch der Mechanismus, der die Wellenenergie in elektrische Energie umwandelt, ist sehr kompliziert, da die Stärke und Richtung der Wellen stark schwankt [BÜR07/72-78].

Ein **Strömungskraftwerk** funktioniert im Prinzip wie eine Windkraftanlage, nur bewegen sich die Rotorblätter (Durchmesser: jeweils 10 m) unter Wasser. Die Drehbewegung der Rotoren wird in elektrischen Strom umgewandelt. Der Turm („Monopile“), an dem die Rotoren befestigt sind, ist am Meeresboden in ein Bohrloch mit mehreren Meter Durchmesser einbetoniert. Solche Anlagen erreichen eine Leistung von 600 – 800 kW [PET08/237-243].

Bioenergie

Das Wort Bioenergie bezeichnet die Energiebereitstellung auf der Basis nachhaltig bereitgestellter Biomasse. Der Begriff „Biomasse“ beschreibt die Gesamtmasse der in einem Lebensraum vorkommenden lebenden oder rezent abgestorbenen pflanzlichen, tierischen oder menschlichen Stoffe, die noch nicht fossil sind [BUC08/134-136]. Dazu zählen nicht nur alle Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien, sondern auch alle organischen Abfälle aus Natur, Haushalt und Industrie sowie Tier- und Pflanzenprodukte. Basis für die Bildung von Biomasse ist die vor allem von Pflanzen betriebene Photosynthese, bei der Sonnenenergie absorbiert und durch Bildung von Biomasse gespeichert wird. Der weltweite jährliche Zuwachs an Biomasse mit der in ihr gespeicherten Energie übertrifft das Mehrfache des Weltenergieverbrauchs. In Deutschland steht schätzungsweise ein sofort nutzbares Potential an Biomasse von 2.343 PJ zur Verfügung. Damit können 16 Procente des Primärenergie- bzw. 24 Prozent des Endenergiebedarfs gedeckt werden [SCH00]. Im Jahr 2010 trug die Bioenergie in der BRD zum Wärmebedarf mit 9,0 %, zum Strombedarf mit 5,5 % und zum Kraftstoffbedarf mit 5,8 % bei [BMU11]. Biomasse ist demnach gleichermaßen für die Erzeugung von Elektrizität, Wärme und Kraftstoffen brauchbar. Je nach Art der Biomasse sind unterschiedliche Aufbereitungsschritte notwendig. Ein Überblick über die technischen Möglichkeiten der Konversion und Verwertung von Biomasse findet sich auf der beiliegenden CD. In Deutschland spielt inzwischen die Erzeugung von **Biogas** eine wichtige Rolle: hierzulande wurden im Jahr 2010 etwa 6.000 Biogasanlagen mit einer Leistung von rund 2.279 Megawatt betrieben, die etwa 12,8 Mrd. kWh Strom erzeugten. In der Schülerlabordurchführung wurde speziell aus diesem Grund auf die Funktionsweise von **Biogasanlagen** eingegangen [INTQ41].

Funktionsprinzip einer Biogasanlage

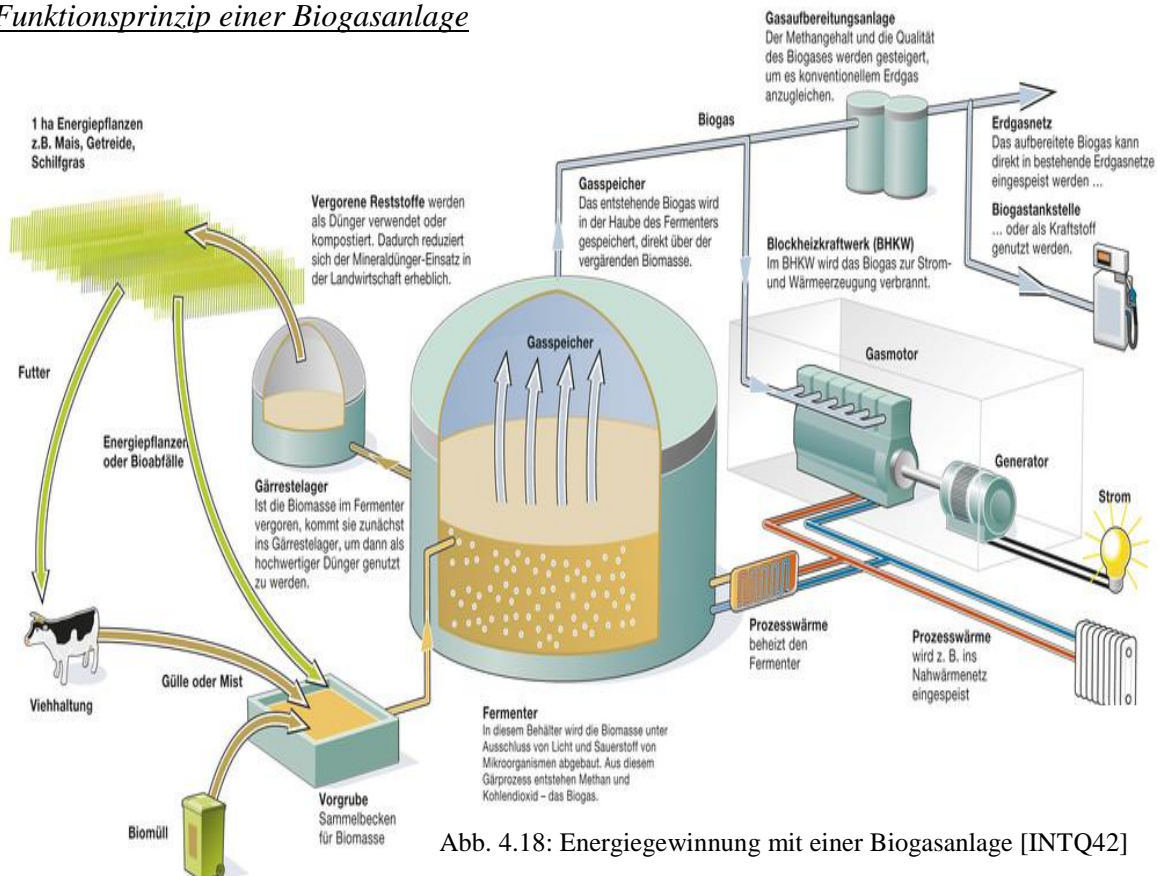


Abb. 4.18: Energiegewinnung mit einer Biogasanlage [INTQ42]

In Biogasanlagen wandeln Bakterien und Pilze die Biomasse bei einer biologisch-chemischen Konversion über Gärungsprozesse zu einem sekundären Energieträger, zum Beispiel Biogas, um. Gülle und andere Substanzen werden in einer Vorgrube zwischengelagert und eventuell zerkleinert, verdünnt oder gemischt. Diese Substanzen sind Energiepflanzen (z.B. Mais und andere Getreide, Schilfgras), Reststoffe wie Ernterückständen (z.B. Rübenblätter), tierische Exkremente (z.B. Gülle, Mist), Nebenprodukte der Lebensmittelproduktion (z.B. Fette, Speisereste, Kartoffelschalen) oder organische Abfälle (z.B. Klärschlamm). Sie werden im Fermenter (auch: Gärbehälter, Faulbehälter oder Bioreaktor) zur Biogaserzeugung eingesetzt werden.

Der Fermenter ist das Kernstück der Biogasanlage. Er ist ein Behälter, in dem Biomasse unter Ausschluss von Licht und Sauerstoff von Mikroorganismen abgebaut wird. Aus den Abbauprodukten dieses Gärprozesses bilden methanogene Bakterien dann Methan und Kohlendioxid. Dieser Faulbehälter ist beheizt und verfügt über eine Durchmischungseinrichtung und eine Möglichkeit zur Entnahme des Biogases. Das entstehende Biogas wird in der Haube direkt über dem Substrat gespeichert oder es kann direkt in ein Blockheizkraftwerk geleitet werden, wo es in einem Gasmotor zur Strom- und Wärmeerzeugung verbrannt wird. Alternativ kann das Biogas in einer Gasaufbereitungsanlage gereinigt werden. Dabei wird der Methangehalt des Biogases gesteigert, um dessen Zusammensetzung der Zusammensetzung konventionellen Erdgases anzugleichen. Hierzu muss das Biogas veredelt werden, d.h. Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid und andere Schadgase müssen entfernt werden. Aufbereitetes Biogas

wird auch als „Bioerdgas“ oder Bio-Methan bezeichnet. Es kann direkt in bestehende Erdgasnetze eingespeist werden oder als Kraftstoff in Erdgasautos genutzt werden [INTQ42]. Die Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion ist eines der Probleme bei der Nutzung von Bioenergie. Für etwa 20 000 km Fahrleistung eines Pkw, der mit Rapsöl betrieben wird, ist z. B. ein Hektar Fläche nötig. Darüber hinaus wird auch der Import landwirtschaftlicher Produkte aus Entwicklungs- und Schwellenländern zur energetischen Nutzung in den Industrienationen kritisch beäugt. Dadurch gehen in diesen Ländern Flächen für die Nahrungsmittelproduktion verloren und sie sind stärker auf den Import von Nahrungsmitteln angewiesen. Auch die Klimabilanzen der verschiedenen Bioenergienutzungen stehen zur Diskussion. So gibt es in den Energiegehalten zum Teil beträchtliche Unterschiede. Die fossilen Energieträger sind dabei kaum zu schlagen. Der Energieinhalt von schwerem Heizöl liegt beispielsweise bei 11,9 kWh/kg, während der Energieinhalt Stroh nur bei 4,0 kWh/kg beträgt [WIL09/24-25]. Weiterhin kommt die Tatsache hinzu, dass bei der energetischen Verwendung von Biomasse nur so viel CO₂ freigesetzt wird, wie zuvor durch das Pflanzenwachstum aus der Luft gebunden wurde. Berücksichtigt man aber zusätzlich alle vom Anbau der Energiepflanzen bis zur Nutzung beim Verbraucher entstehenden Emissionen, können insgesamt mehr klimawirksame Treibhausgase entstehen, z. B. Lachgas oder Methan, als durch den Ersatz der fossilen Energieträger vermieden werden [PET08225-230].

Geothermie

In der Erdkruste existiert ein Wärmefluss. Er wird zu 30 Prozent durch den Zerfall radioaktiver Isotope im Erdinneren und zu 70 Prozent durch die auf die Erde eingestrahlte Sonnenenergie verursacht. Je tiefer man zum Erdkern vordringt, umso höher werden die Temperaturen im Erdinneren. Etwa alle 1.000 Meter steigen sie um ca. 30 Grad. Die Masse des heißen Erdinneren wird als Magma bezeichnet. In einigen Gebieten unserer Erde tritt dieser heiße Magmafluß so nahe an die Erdoberfläche heran, dass in geringer Tiefe Temperaturen von mehr als 1.000 °C auftreten. Erscheinung solcher Art nennt man geothermische Anomalien. Allein in dem Bereich der Erdkruste, bis in eine Tiefe von ca. 10 km, sind ca. 600 Mio. EJ Wärme im Temperaturbereich von ca. 30 bis 300 °C im Gestein gespeichert [HEI03/351-355].

Erdwärme kann grundsätzlich aus unterschiedlichen Tiefen entnommen werden. Ihre technische Nutzbarkeit hängt in erster Linie von den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen am Standort ab. Für die oberflächennahe Wärme (etwa bis 400 m Tiefe) werden erdgekoppelte **Wärmepumpen** eingesetzt (vgl. Kapitel 4.7).

Die Nutzung der Wärme in tieferen Schichten kann im Wesentlichen nach zwei Verfahren unterschieden werden. Bei der **hydrothermalen Geothermie**, in 1.500 bis 3.000 m Tiefe, wird heißes Wasser, das sich in den Gesteinsschichten befindet, gefördert und anschließend über einen Wärmetauscher geleitet. Mittels einer zweiten Bohrung gelangt das abgekühlte Wasser wieder zurück in die Tiefe. Die gewonnene Wärme wird anschließend z. B. in ein Fernwärmenetz eingespeist. **Petrothermale Systeme** nutzen hingegen die im tiefen, kristallinen Gestein enthaltene Wärme in 3.000 bis 6.000 m Tiefe. Charakteristisch hierfür ist das **Hot-Dry-Rock-Verfahren** (Abbildung 4.19).

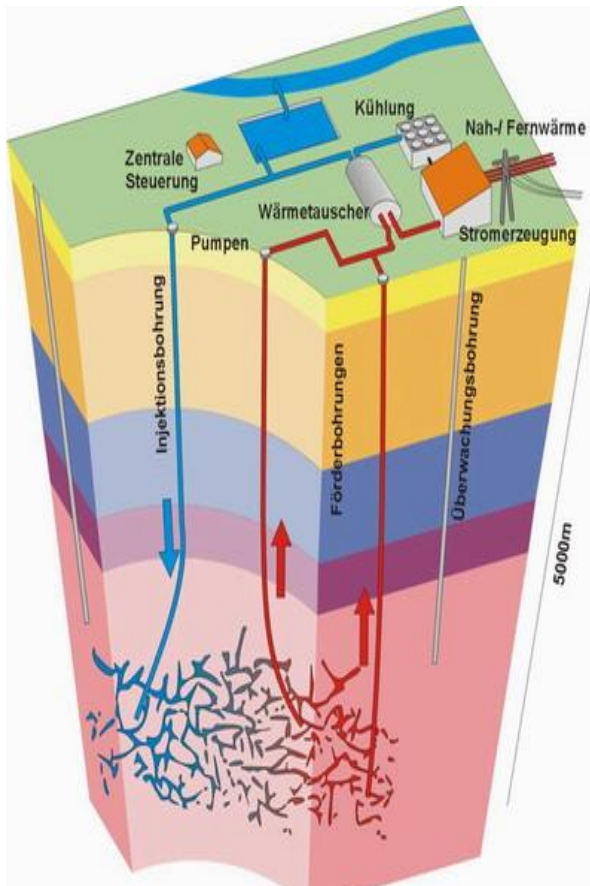


Abb. 4.19: Hot-Dry-Rock-Verfahren [INTQ44]

Es werden zwei Bohrlöcher in das Erdinnere bis in den Bereich des heißen Granits eingebracht, der eine Temperatur von mehreren 100 °C aufweist. Dabei muss eine Bohrung, die Injektionsbohrung tiefer als die andere sein. In die tiefere Bohrung wird kaltes Wasser eingepresst. Wenn sich dieses erwärmt, steigt der Druck im Bohrloch so stark an, dass er das umgebene Gestein zu sprengen vermag. Die zweite Bohrung, Förderbohrung, muss so an die untere Bohrung anschließen, dass sie das Wasser aufnehmen kann, das sich im Bereich des gebrochenen Gesteins erwärmt hat. Bei diesem Verfahren liegt die größte Schwierigkeit in den Bohrkosten. Für gute Standorte sind diese vergleichbar mit denjenigen einer Erdölbohrung, für schlechte Standorte betragen sie ein Vielfaches [WOK99/146-150], [BÜR07/52-58]. In Deutschland liegt mit etwa 90 Prozent der Hauptteil des Potenzials zur geothermischen Stromerzeugung im Einsatz petrothermaler Systeme [INTQ43].



Abb. 4.20: Nutzung geothermischer Wärme in Deutschland [INTQ43]

Die Abbildung 4.20 zeigt die Nutzung geothermischer Wärme in Deutschland. In 1.000 bis ca. 5.000 m Tiefe finden sich in geologisch ganz unterschiedlichen Regionen Deutschlands Warmwasservorkommen. Die Temperaturen liegen regional unterschiedlich und tiefenabhängig zwischen 40 und 190 °C [INTQ43].

Windenergie

Die Windenergienutzung hat innerhalb der letzten fünfzehn Jahren eine rasante Zunahme erfahren (vgl. Abb. 4.21). Inzwischen stehen in Deutschland 21.607 Windenergieanlagen

mit einer installierten Leistung von 27.214 Megawatt [INTQ45]. Im Jahr 2010 trug die Windenergie mit 13,3 % zur deutschen Endenergiebereitstellung bei [BMU11].

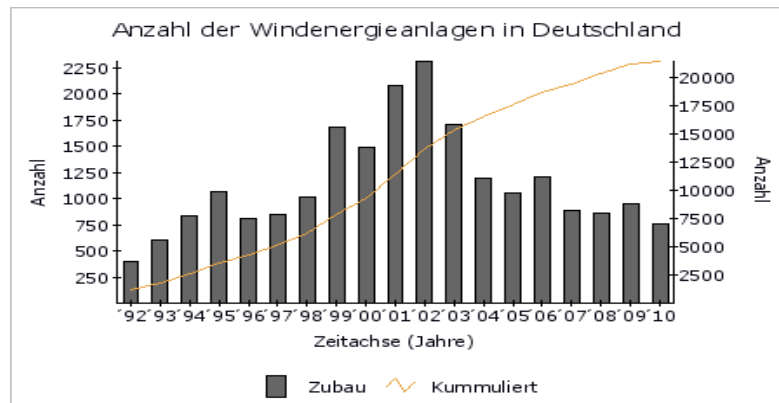


Abb. 4.21: Die Entwicklung der Windenergie in Deutschland bis zum Jahr 2010 [INTQ45]

Die Deutschen nehmen einen Spitzenplatz bei der Windkraftproduktion ein. 28 % der weltweit installierten Windkraft stehen heute in Deutschland, es folgen Spanien und die USA mit jeweils knapp 16 %. Zudem ist Deutschland mit 37 % Weltmarktanteil die größte Manufaktur für Windkraftanlagen [PET08/213-223].

Allgemein nutzen Windkraftanlagen indirekt die als Strahlung von der Sonne zur Erde transportierte Energie. Das Sonnenlicht dringt zunächst fast ungehindert durch die Atmosphäre zum Boden und wird dort größtenteils absorbiert. Dabei erwärmt sich die Erde und überträgt einen Teil dieser Wärme auf die Luftschicht über dem Erdboden. Die erwärmte Luft dehnt sich aus und steigt wegen ihrer geringeren Dichte nach oben. An den erwärmten Stellen entsteht dadurch ein Gebiet niedrigen Luftdrucks, in das die Luft aus den umliegenden Gebieten strömt. Die Windenergie ist also die kinetische Energie der strömenden Luftmassen, die mittels Windflügelrädern partiell in nützliche mechanische Rotationsenergie umgewandelt werden kann. Die gesamte kinetische Energie der Luftströme beträgt ca. $3 \cdot 10^{15} \frac{kWh}{a}$, das sind etwa 0,2 % der empfangenen Sonnenenergie. Davon wird rund 1 % als technisch nutzbar angesehen [DIT98/351-359]. Im Idealfall kann kinetische Energie des Windes zu knapp 60 % in mechanische Rotationsenergie, und diese dann über einen Generator praktisch vollständig in elektrische Energie gewandelt werden. In der Realität werden heute jedoch bei der bereits ziemlich ausgereiften Technik dieser Windenergieumwandlung Umwandlungswirkungsgrade von ca. 40 – 50 % erreicht [HEI03/305-313].

Bei der Nutzung der Windenergie ist zu beachten, dass die auftretenden Windgeschwindigkeiten sowohl zeitlich als auch räumlich sehr unterschiedlich sind. Die Abbildung 4.22 zeigt die mittleren Windgeschwindigkeiten in Deutschland. Die Graphik zeigt, dass vorwiegend die Windenergie im Küstenbereich von Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern, bei einer mittleren Windgeschwindigkeit zwischen 4 und $6 \frac{m}{s}$ genutzt werden kann.

Bislang wurden in Deutschland Windkraft-Anlagen hauptsächlich auf dem Festland installiert. Es bieten sich dafür aber auch küstennahe Bereiche von Nordsee und Ostsee besonders an. Hier könnte bei höherer zeitlichen Verfügbarkeit (ca. 1 Drittel der Zeit) als auf dem Land im Küstenbereich (ca. 1 Fünftel der Zeit) und bei höheren mittleren Windgeschwindigkeiten auf einer kleineren Fläche mehr Windenergie gewonnen werden als auf dem Festland. [HEI03/309-310]. Aus diesem Grund erfahren Offshoreanlagen eine zunehmende Bedeutung. Zwar sind die Investitionskosten hier höher, die Gründung im Meeresboden aufgrund komplexer Tragkonstruktionen und die

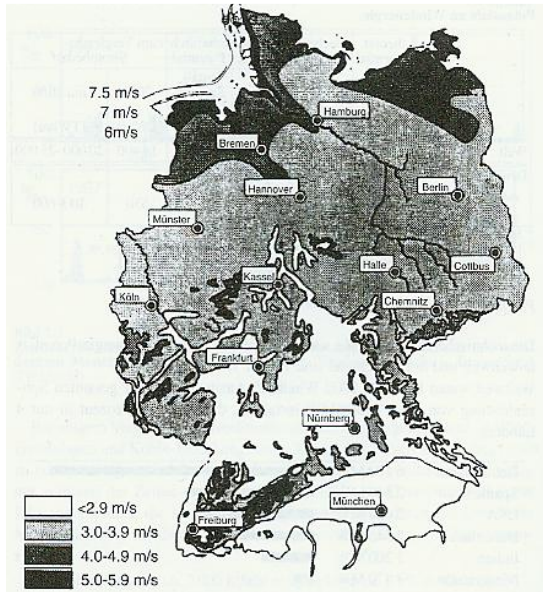


Abb. 4.22: mittlere Windgeschwindigkeit in Deutschland [HEI03/310]

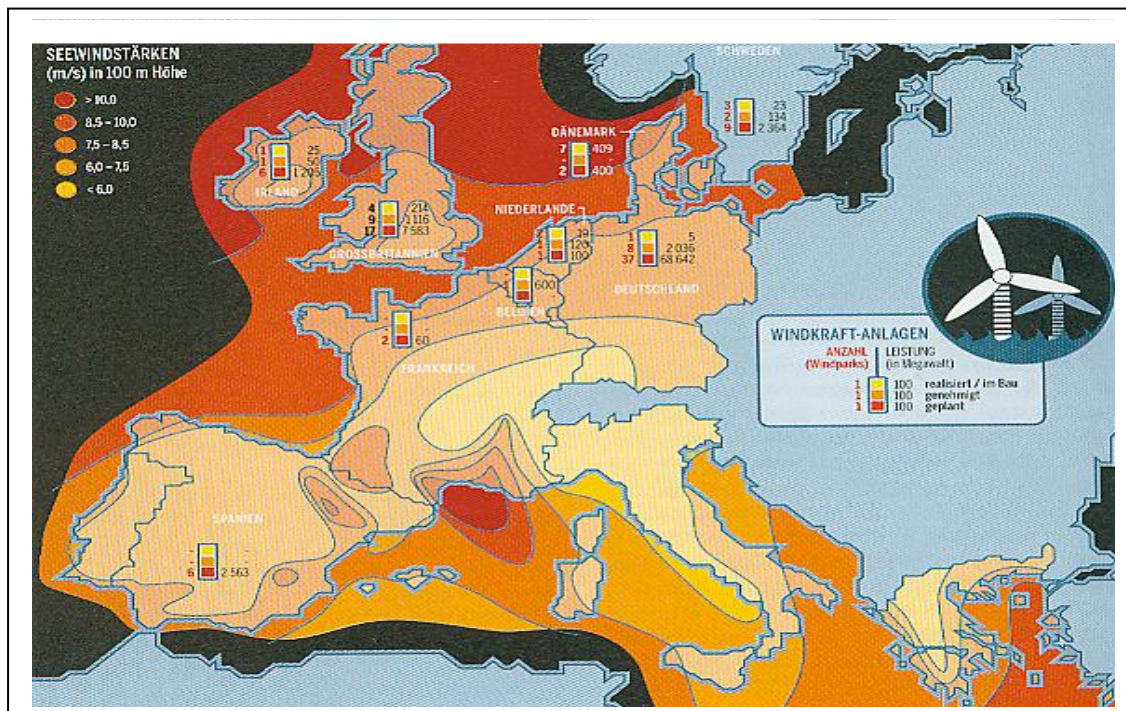


Abb. 4.23: Seewindstärken in 100 m Höhe in Europa [PET08/222]

Verkabelung aufwändiger, aber durch größere Windgeschwindigkeiten ist die Ausbeute deutlich besser. Die Abbildung 4.23 gibt einen Überblick über die Seewindstärken in 100 m Höhe in Europa. Weiter sind Zahlen über bereits installierte, geplante und genehmigte Offshore-Anlagen in Europa angegeben. In Europa ist Dänemark Vorreiter in der Nutzung von Offshore-Windkraft [PET08/213-223]. Hier liegt auch der stärkste Offshore-Windpark der Welt. „Nysted Havmøllepark“ nimmt eine Fläche von 24 Quadratkilometern ein und produziert im Jahr genügend Strom, um 145.000 dänische Haushalte mit Elektrizität versorgen zu können. Der stärkste Onshore-Windpark, „Horse

Hollow Wind Energy Center“, befindet sich in Texas mit einer Nettoleistung von 735,5 Megawatt aus 421 Windkraftanlagen [INTQ38].

Aufgrund der zeitlich begrenzten Verfügbarkeit von Windenergie hat ein Windkraftwerk in günstiger Lage (Küste oder Mittelgebirgshöhe) nur ungefähr 3.000 Voll-Last-Stunden, während z. B. Kohlkraftwerke 8 000 Voll-Last-Stunden pro Jahr erreichen. Dies bedeutet, dass ein Stromnetz mit hoher Verfügbarkeit nicht allein aus Windkraftwerken gespeist werden kann. Entweder benötigt man zusätzlich Speicherkraftwerke oder die wechselnde Energieabgabe muss von konventionellen Kraftwerken im Verbundnetz ausgeglichen werden [HEI03/305-313].

Funktionsprinzip von Windkraftanlagen

Um elektrische Energie aus Windkraftanlagen gewinnen zu können, muss die kinetische Energie des Windes zuerst in mechanische Energie gewandelt werden. Dieser erste Umwandlungsschritt wird durch den Rotor der Windkraftanlage realisiert. Dafür gibt es zwei Umwandlungsprinzipien, das **Widerstandsprinzip** und das **Auftriebsprinzip**. Das Widerstandsprinzip basiert auf der Widerstandskraft, welche eine Rotorfläche in einer Luftströmung erfährt. Hier wird nur ein geringer Wirkungsgrad erreicht [WOK99/127-140]. Durch das Auftriebsprinzip, in welchem die Antriebskraft eingesetzt wird, werden bei modernen Windkraftanlagen die Rotorblätter bewegt.

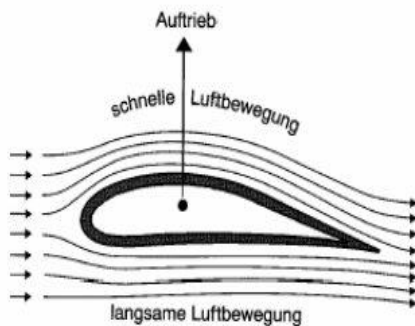


Abb. 4.24: Auftriebsprinzip als Antriebskraft [INTQ45]

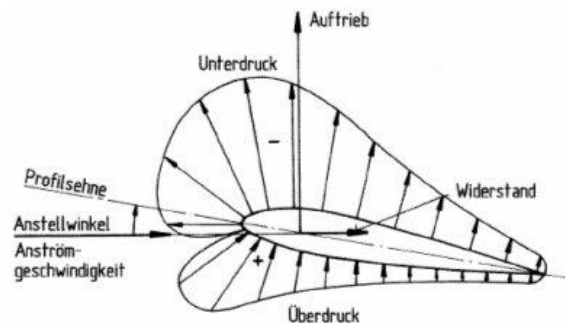


Abb. 4.25: Luftdruck an einem Blatt [INTQ45]

Die Fläche der Oberseite eines Windkraftanlagen-Flügels, genauso wie die Oberseite eines Flugzeugflügels, ist größer als die der Unterseite. Da die Länge größer ist, muss sich die Luft an der Oberseite schneller bewegen als an der Unterseite (vgl. Abb. 4.24). Bei gleicher Höhe besagt die Bernoulli-Gleichung, dass die Summe aus dynamischem Druck und statischem Druck einer Seite konstant ist.

$$\frac{1}{2} \cdot v_{\text{ober}}^2 + p_{\text{ober}} = \frac{1}{2} \cdot v_{\text{unter}}^2 + p_{\text{unter}}$$

Da an der Oberseite die Luftgeschwindigkeit v_{ober} größer ist als an der Unterseite, resultiert daraus ein Unterdruck p_{ober} an der Oberseite und ein Überdruck p_{unter} an der Unterseite. Auf diesem Druckverhältnis basierend kann ein Flugzeug abheben und

fliegen. Das gleiche Prinzip wird auch dem Rotorblatt einer Windkraftanlage genutzt, um es zu bewegen. Die Auftriebskraft nimmt mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit v , der Luftdichte ρ , der Tragfläche f , und dem Auftriebsbeiwert c_A zu.

$$F_A = c_A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot f \cdot v^2$$

Sowohl für die Oberseite, als auch für die Unterseite des umströmten Flügels bedeutet dies, dass die Fläche f die Tragfläche ist, welche sich aus der Breite mal der Länge des Flügels errechnet (Abb. 4.25). Der Auftriebsbeiwert c_A ist abhängig vom Anstellwinkel α , was zur Folge hat, dass durch die Anpassung des Anstellwinkels die Auftriebskraft beeinflusst werden kann. Die Widerstandskraft W tritt auch bei Flugzeug- und Windkraftanlagenflügeln auf, bleibt aber bei einem geringen Anstellwinkel sehr klein, nämlich 20- bis 100-mal niedriger als die Auftriebskraft und ist immer gegen die Windrichtung gerichtet. Die Widerstandskraft beginnt ab einem Anstellwinkel von 20 Grad größer zu werden [INTQ45] [TIP04/408-410].

Alle Anlagen erfordern ein Verfahren zur Begrenzung der aufgenommenen Leistung und Belastungen, da die im Wind enthaltene Leistung mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ansteigt und ab einer Windgeschwindigkeit von ca. $9 \frac{m}{s}$ - $12 \frac{m}{s}$ die Rotorleistung größer als die Nennleistung der Windkraftanlage ist, was zur Folge hat, dass das Material durch zu schnelles Wehen des Windes zu Schaden kommt. Hierzu haben sich zwei Prinzipien durchgesetzt, nämlich die **Stall- und Pitchregelung**.

In der Bauart, der **stallgeregelten Windenergieanlage**, sind die Rotorblätter mit der Nabe verbunden. Die Drehzahl hält ein direkt an das Netz gekoppelter Asynchrongenerator nahezu konstant. Dabei handelt es sich um einen generatorisch betriebenen, üblichen Drehstrommotor. Bei stärkerem Wind kommt es zu einer Veränderung der Anströmrichtung, die aus der vektoriellen Addition von Windgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit resultiert.

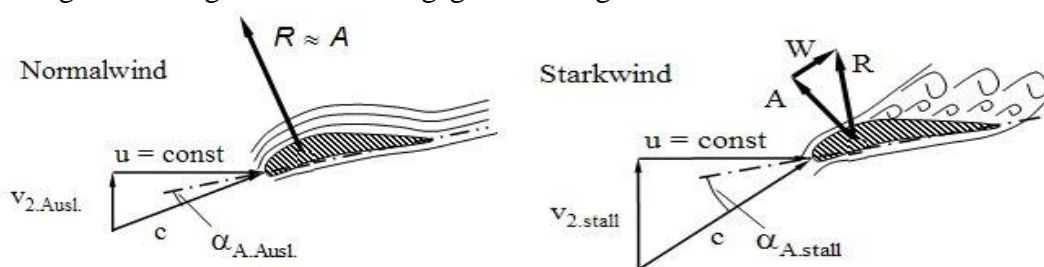


Abb. 4.26: Leistungsbegrenzung bei Windzunahme durch Strömungsabriss - Winddreieck INTO451

Diese Vergrößerung des Anstellwinkels führt an der Saugseite der Blätter zur Strömungsablösung (engl. **Stall**). Während einem Flugzeug nun der Absturz droht, wird die Windturbine vor überhöhter Leistung bewahrt, da sich der Auftrieb vermindert und der Widerstand erhöht (Abb. 4.27). Zusätzlich müssen die Rotorblätter um ihre Längsachse drehbar in der Nabe gelagert sein. Durch ein Verstellen der Rotorblätter um wenige Grad hin zu größeren Anstellwinkeln α , lässt sich der Strömungsabriss aktiv beeinflussen und zuverlässig die gewünschte Nennleistung einstellen [BÜR07/12-18]. Das zweite Prinzip zur Leistungsbegrenzung basiert auf einer stärkeren Verstellung des

Blattwinkels (engl. **Pitch**). Nimmt die Windgeschwindigkeit nach Erreichen der Nennleistung zu, so wird das Blatt mit der Vorderkante in den Wind gedreht (Abb. 4.27). Durch Verringerung des Anstellwinkels werden Leistung und Belastungen begrenzt [BÜR07/12-18].

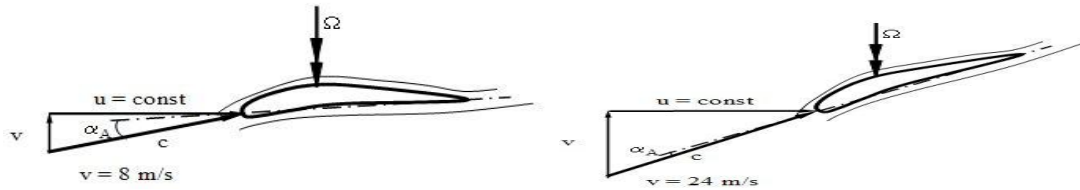


Abb. 4.27: Leistungsbegrenzung bei Windzunahme durch Regelung mittels Blattwinkelverstellung - Winddreiecke [INTQ45]

Die Leistungskennlinie einer Windkraftanlage ist die abgegebene Leistung als Funktion der Windgeschwindigkeit. Durch sie wird die Abhängigkeit der vom Generator abgegebenen mittleren elektrischen Leistung von der Windgeschwindigkeit und damit das Betriebsverhalten eines typischen Windenergiekonverters

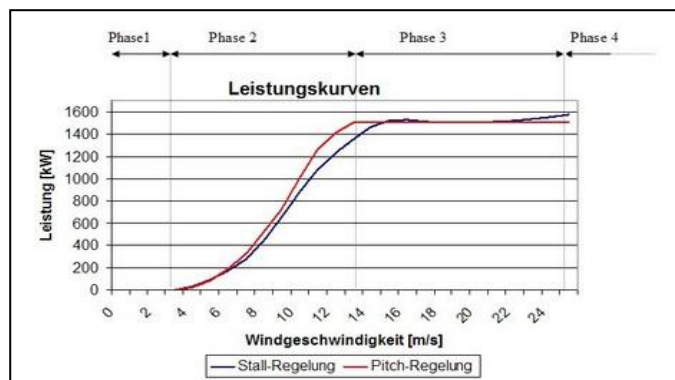


Abb. 4.28: Leistungskurven [INTQ47]

beschrieben. Die in Abbildung 4.28 dargestellten Kurven sind die Leistungskurven einer 1.5 MW Windkraftanlagen. Verschiedene Windkraftanlagenmodelle können in unterschiedliche Betriebsphasen eingeteilt werden.

Phase 1 (von 0 bis $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$): Unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit ist die Anlage nicht in Betrieb. Es gibt zu wenig Wind, um Strom zu erzeugen.

Phase 2 (von 3 bis $13 - 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$): Je nach Anlagentyp fangen die Flügel an, sich ab ca. $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zu drehen. Mit steigender Windgeschwindigkeit nimmt die Leistung zu, bis die maximale Nennleistung des Generators erreicht wird.

Phase 3 (von $13 - 17$ bis $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$): In diesem Windgeschwindigkeitsbereich entspricht die abgegebene elektrische Leistung näherungsweise der installierten Generatorleistung. Die Pitch-Windkraftanlage ist durch das Pitchsystem gebremst, während die Stall-Windkraftanlage durch die Turbulenzen der Luft hinter den Blättern gebremst und reguliert ist. Die Stall-Windkraftanlagen liefern bei dem Windgeschwindigkeitsbereich von 15 bis $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $21 - 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ mehr Energie als die Pitch-Windkraftanlagen.

Phase 4 (ab $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$): Übersteigt die Windgeschwindigkeit eine von Anlagenbauart und Typ abhängige obere Geschwindigkeitsgrenze, muss der Konverter zur Vermeidung einer mechanischen Zerstörung abgeschaltet werden [INTQ45].

4.2 Die Induktion

Weitaus der größte Teil der elektrischen Energie, die heute genutzt wird, stammt aus Kraftwerken, die mechanische Energie durch Generatoren in elektrische Energie umwandeln. Grundlage dieser Umwandlung ist die von Michael Faraday (1831) entdeckte elektromagnetische Induktion [DEM02/117-120]. Sie besagt, dass wenn man ein elektrisch leitendes Material in einem Magnetfeld bewegt oder durchsetzt ein sich bewegendes Magnetfeld ein elektrisch leitendes Material, so wird in dem Material eine Spannung induziert d.h. es findet eine Trennung von Ladungsträger im Leiter statt. Entscheidend für die Stärke der induzierten Spannung sind die Anzahl und die zeitliche Änderung der den Leiter durchsetzenden Feldlinien.

Das Gesetz der elektromagnetischen Induktion kann auf nachfolgendem Weg hergeleitet werden: Bindet man eine Spule in einen Stromkreis ein, an welchem ebenfalls ein Oszilloskop angeschlossen ist und bewegt man einen Magneten in die Spule oder wieder heraus, so stellt man fest, dass eine Spannung induziert wird. In diesem Fall, bei welchem ein Magnet mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in eine Spule mit verschiedenen Windungszahlen und Querschnittsflächen gebracht wurde, liegt eine **zeitliche Magnetfeldänderung** vor. Es gilt:

$$U_{\text{ind}} \sim n \text{ (Windungszahl)}$$

$$U_{\text{ind}} \sim A \text{ (Querschnittsfläche)}$$

$$U_{\text{ind}} \sim \frac{dB}{dt} \text{ (Änderungsrate des Magnetfeldes).}$$

Daraus folgt mit Hilfe der Lenz'schen Regel, nachdem der Induktionsstrom immer der Ursache entgegenwirken muss:

$$U_{\text{ind}} = - n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}.$$

Zieht man einen Leiter, beispielsweise einen dünnen Draht, der in das konstante Magnetfeld einer lang gestreckten Spule eingebracht wurde, langsam heraus, so findet ebenfalls elektromagnetische Induktion statt. Allerdings nur so lange, wie sich der Draht bewegt. Hier liegt eine **Änderung der vom Magnetfeld durchsetzten Fläche** vor, bei welcher gilt:

$$U_{\text{ind}} \sim n \text{ (Windungszahl)}$$

$$U_{\text{ind}} \sim B \text{ (Magnetfeld)}$$

$$U_{\text{ind}} \sim \frac{dA}{dt} \text{ (Änderungsrate der Fläche)}$$

Daraus folgt:

$$U_{\text{ind}} = - n \cdot B \cdot \frac{dA}{dt}.$$

Die elektromagnetische Induktion tritt also durch die zeitliche Änderung des Magnetfeldes oder durch die zeitliche Änderung der vom Magnetfeld durchsetzten Fläche

auf. Beide Änderungen können auch durch eine einzige Größe, dem **magnetischen Fluss**, beschrieben werden. Der magnetische Fluss ist das Produkt aus der Feldstärke B und der durch das Magnetfeld durchsetzten Fläche A .

Somit gilt:

$$\phi_{mag} = B \cdot A.$$

Mit Hilfe der Differentialrechnung lässt sich das Induktionsgesetz nun herleiten:

$$\begin{aligned} \frac{d\phi_{mag}}{dt} &= \frac{d(B \cdot A)}{dt} \\ &= A \cdot \frac{dB}{dt} + B \cdot \frac{dA}{dt}. \end{aligned}$$

Somit gilt zusammenfassend:

$$\begin{aligned} U_{ind} &= -n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} - n \cdot B \cdot \frac{dA}{dt} \\ U_{ind} &= -n \cdot \frac{d\phi_{mag}}{dt}. \end{aligned}$$

Das Faraday'sche Induktionsgesetz lässt sich demnach folgendermaßen formulieren:

Die in einer Spule mit einer bestimmten Anzahl von Windungen induzierte Spannung ist proportional zur zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses. Somit gilt:

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{d\phi_{mag}}{dt} = -n \cdot \dot{\phi}_{mag}.$$

Die wichtigsten Anwendungen der elektromagnetischen Induktion sind Generatoren und Transformatoren. Diese werden im weiteren Verlauf näher betrachtet.

4.3 Der Drehstromgenerator

Der Drehstromgenerator ist eine besondere Form des elektrischen Generators zur Erzeugung von Wechselstrom. Auf eine ausführliche Erläuterung des Funktionsprinzips eines Generators wird hier verzichtet. Typische Vertreter der Drehstromgeneratoren sind der **Drehstrom-Synchrongenerator** und der **Drehstrom-Asynchrongenerator**. Drehstrom-Synchrongeneratoren sind bei der großtechnischen Energieerzeugung von großer Bedeutung. Sie kommen z.B. in Dampfkraftwerken, Kernkraftwerken oder Wasserkraftwerken zum Einsatz, während Drehstrom-Asynchrongeneratoren im kleineren Leistungsbereich, wie z.B. in Windkraftanlagen und Notstromaggregaten, Verwendung finden. Bei den heute üblichen großtechnischen Drehstrom-Synchronmaschinen, die zumeist als Innenpolmaschine ausgeführt sind, lässt man das Magnetfeld rotieren (**Rotor**) und die Induktionsspulen sind räumlich fest (**Stator**). Die Abbildung 4.29 zeigt als Beispiel einen sechspoligen Wechselstromgenerator. Der rotierende Feldmagnet ist ein Elektromagnet, der drei Nord- und drei Südpole besitzt. Am feststehenden Gehäuse sind sechs Induktionsspulen mit Eisenkern angebracht, die hintereinander geschaltet und abwechselnd mit umgekehrtem Windungssinn gewickelt sind.

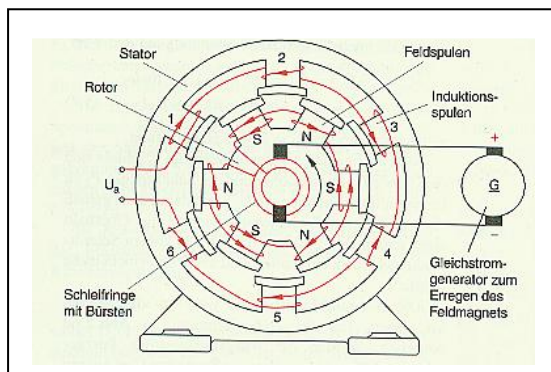


Abb. 4.29 : Wechselstromgenerator mit einem rotierenden Feldmagneten und feststehenden Induktionsspulen [DEM02/140]

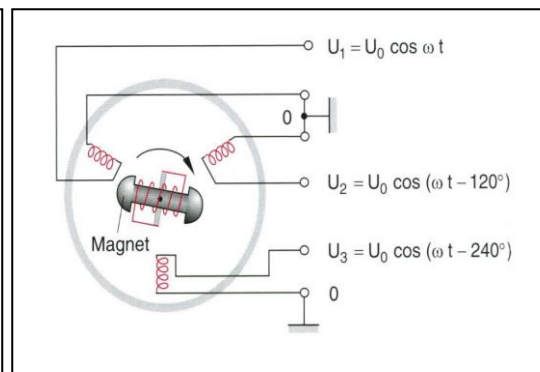


Abb. 4.30 : Modell eines Drehstrom-Generators mit drei gegeneinander um 120° phasenverschobenen Wechselspannungen [DEM02/142]

Lässt man statt der sechs Spulen, N um jeweils den Winkel $\frac{2\pi}{N}$ gegeneinander versetzte Spulen im Magnetfeld rotieren, so sind die zwischen den Enden jeder Spule induzierten Wechselspannungen

$$U_n^{ind} = U_0 \cdot \cos \cdot \left(\omega \cdot t - \frac{n-1}{N} \cdot 2 \cdot \pi \right)$$

jeweils um den Winkel $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N}$ gegeneinander phasenverschoben. Man kann das eine Ende aller Spulen auf denselben Schleifkontakt geben und die anderen auf jeweils getrennte Kontakte, so dass man insgesamt N + 1 Ausgangsklemmen hat. Vielfach wird in der Technik vor allem eine Vorgehen benutzt, bei der ein sich um die Achse drehender Magnet Wechselspannung erzeugt, da er sich an drei feststehenden Spulen, die um 120°

zueinander versetzt sind, vorbei bewegt (vgl. Abb. 4.30). Bei diesem Verfahren wird ein Dreiphasenstrom erzeugt, der in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, weil sich mit ihm bei vertretbarem Aufwand eine wesentlich höhere elektrische Leistung übertragen lässt.

Wird von den drei Spulen genau ein Ende mit einem ohmschen Verbraucherwiderstand R verbunden und wird eine gemeinsame Rückleitung zu den miteinander verbundenen anderen Enden der Induktionsspulen (**Sternschaltung** vgl. Abb. 4.31) hergestellt, so sind die in den drei Leitungen 1,2,3 fließenden Ströme $I = \frac{U_{ind}}{R}$ mit $I_0 = \frac{U_0}{R}$

$$I_1 = I_0 \cos(\omega \cdot t)$$

$$I_2 = I_0 \cos(\omega \cdot t - 120^\circ)$$

$$I_3 = I_0 \cos(\omega \cdot t - 240^\circ) .$$

Aus diesen drei Gleichungen kann gefolgert werden, dass $\sum_{k=1}^3 I_k \equiv 0$, also dass durch die gemeinsame Rückleitung kein Strom fließt (Nullleiter), siehe Abb. 4.32.

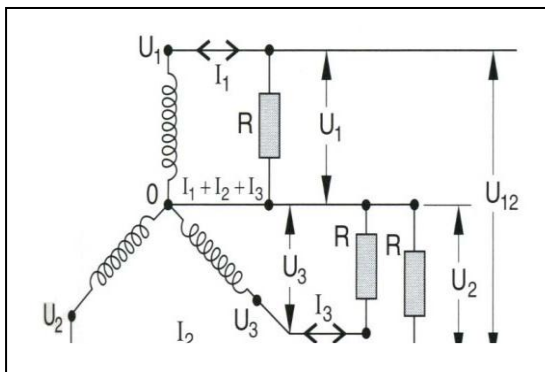


Abb. 4.31 : Sternschaltung des Drehstroms [DEM02/143]

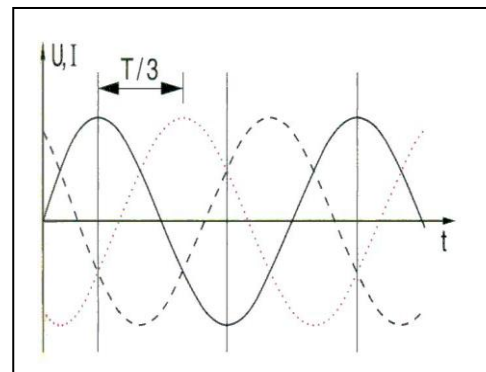


Abb. 4.32: Strom- und Spannungsverlauf [DEM02/143]

Gibt man die Spannungen $U_n = U_0 \cdot \cos \cdot (\omega \cdot t - n \cdot \frac{2}{3} \pi)$, die in der Abbildung 4.31 von den drei Ausgangsklemmen abgenommen werden, auf drei Magnetfeldspulen, deren Achsen um 120° gegeneinander verdreht sind (Abbildung 4.33), so entsteht ein Magnetfeld, das sich räumlich mit der Frequenz ω um die Symmetrieachse senkrecht zur Ebene der Anordnung dreht. Mit Hilfe eines vereinfachten Vektormodells kann die Rotation des Magnetfeldes erklärt werden (Abbildung 4.34).

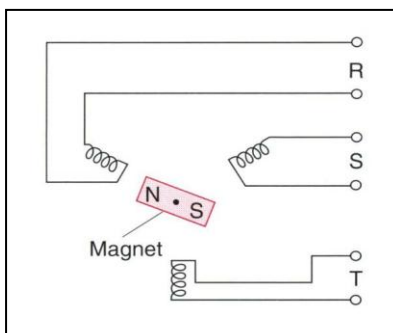


Abb. 4.33: Modell des magnetischen Drehfeldes des Drehstroms [DEM02/143]

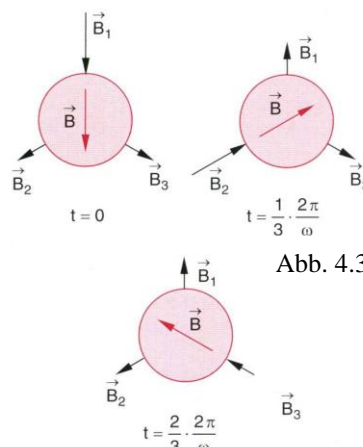


Abb. 4.34: Vektoraddition der Magnetfelder in den drei Spulen des Magnetfeldes [DEM02/144]

Die drei Magenfelder \vec{B} zeigen in die Richtung der jeweiligen Spulenachsen, liegen also in einer Ebene und bilden jeweils eine Winkel von 120° miteinander.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ zeigt das Gesamtfeld in Richtung \vec{B}_1 . Die Ströme in den Spulen 2 und 3 sind um $\pm 120^\circ$ phasenverschoben, d. h. die Felder \vec{B}_2 und \vec{B}_3 sind um den Faktor $\cos \cdot 120^\circ = -\frac{1}{2}$ schwächer und radial nach außen gerichtet und ihre Querkomponenten heben sich auf. Die Überlagerung der drei Felder ergibt demnach ein radial nach innen gerichtetes Feld in der Richtung der Spulenachse 1.

Nach einer Drittel Periode, d. h. nach $t = \frac{1}{3} \cdot \frac{2\pi}{\omega}$, hat sich das Feld um den Phasenwinkel 120° geändert. Dort nimmt es für die Spule 2 ein radial nach innen gerichtetes Maximum an. Die beiden anderen Spulenfelder sind nach außen gerichtet und, so wie oben um den Faktor $-\frac{1}{2}$ schwächer. Auch hier heben sich die Querkomponenten weg. Aufgrund dieser Drehung des Magnetfeldes wird Dreiphasenstrom auch Drehstrom genannt.

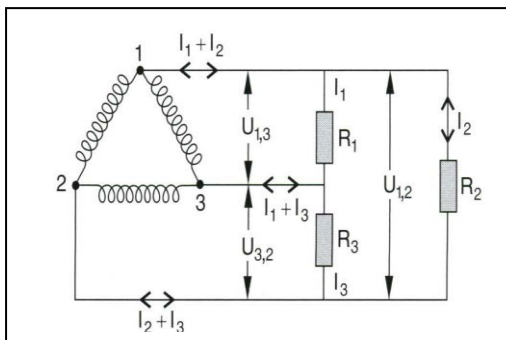


Abb. 4.35: Dreieckschaltung für Drehstrom [DEM02/144]

Die Dreiecksschaltung aus der Abbildung 4.35 wird neben der Sternschaltung aus der Abb. 4.31 auch häufig verwendet. Hier wird ausgenutzt, dass die Summe aller drei Spannungen Null ist

$$U_{\text{tot}} = \sum_{n=0}^2 U_0 \cdot \cos \cdot (\omega \cdot t - n \cdot \frac{2}{3} \pi) = 0.$$

Bei der Dreieckschaltung sind die Spannungen zwischen den Punkten 1, 2 und 3 immer gleich der Spannung einer Phase [DEM02/140-145], [GER05/420-424].

4.4 Transformatoren und die Versorgung mit elektrischer Energie

Ohne Transformatoren wäre eine Versorgung mit elektrischer Energie über größere Entfernung nicht möglich. Bei Kraftwerken betragen die Ausgangsströme bis zu 10^4 A. Für die Verteilung im Stromnetz würde man sehr große und damit teure Leiterquerschnitte benötigen, da der Leitungswiderstand R ja umgekehrt proportional zum Querschnitt A und proportional zu seiner Länge l und dem spezifischen Widerstand ρ ist.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Deshalb ist es günstig, möglichst hohe Spannungen zu wählen, da dann bei vorgegebener zu übertragener Leistung der Leitungsverlust durch Wärme infolge des Leitungswiderstandes R möglichst klein wird. Will man eine elektrische Leistung $P_{el}=U \cdot I$ übertragen, so verliert man in der Leitung die Leistung $\Delta P_{el} = I^2 \cdot R$, so dass der relative Leistungsverlust

$$\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \frac{R \cdot I^2}{U \cdot I} = \frac{I \cdot R}{U} = \frac{R}{U^2} \cdot P_{el}$$

bei vorgegebener Leistung P_{el} mit steigender Spannung proportional zu $\frac{1}{U^2}$ absinkt. Der Leitungswiderstand R bewirkt einen Spannungsabfall $\Delta U = I \cdot R$ und es folgt

$$\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \frac{\Delta U}{U}$$

Für die Umformung von Spannungen benutzt man Transformatoren, die auch Umspanner genannt werden. Sie dienen zur Änderung der Amplitude einer Wechselspannung ohne Frequenzänderung. Ein Transformator besteht aus zwei voneinander isolierten Spulen verschiedener Windungszahlen N_1 bzw. N_2 , die auf einen Eisenkern gewickelt sind und die einen gemeinsamen Magnetfluss umgreifen. Diese Spulen werden als **Primärwicklung** (ihre wird die zu transformierende Wechselspannung zugeführt) und als **Sekundärwicklung** (in ihr wird durch das magnetische Wechselfeld im Eisenkern eine Wechselspannung mit gleicher Frequenz wie bei der Primärspannung induziert) bezeichnet. Zunächst wird der ideale Transformator betrachtet. Das Magnetfeld ϕ ist ganz im Eisenkern konzentriert und durchsetzt beide Spulen in der gleichen Stärke. Da der Widerstand in der Primärspule, an der die Spannung U_1 angeschlossen ist, rein induktiv ist, wird U_1 durch eine entgegengesetzte gleiche Selbstinduktionsspannung kompensiert, die der Flussänderung durch alle N_1 Windungen entspricht,

$$U_1 = N_1 \cdot \dot{\phi}$$

Zeitgleich induziert dieselbe Flussänderung $\dot{\phi}$ in der Sekundärspule die Spannung

$$U_2 = - N_2 \cdot \dot{\phi},$$

die mit den an den Sekundärklemmen abgegriffenen Spannungen übereinstimmt. Die Spannungsübersetzung des Transformators ist demnach

$$\frac{U_2}{U_1} = - \frac{N_2}{N_1}.$$

Diese Beziehung drückt direkt das Induktionsgesetz aus, ist also unabhängig von der Belastung, d. h. von der Stromentnahme aus der Sekundärspule. Mit Hilfe des letzten Gesetzes kann das Transformatorgesetz für Ströme hergeleitet werden.

$$\begin{aligned} & P_1 = P_2 \\ \rightarrow & U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \\ \rightarrow & U_1 \cdot I_1 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \\ \rightarrow & I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \\ \rightarrow & \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \end{aligned}$$

Die Verteilung der elektrischen Energie

Ein dichtes Netz von Leitungen und Umspannanlagen verbindet Kraftwerke und Verbraucher. Dabei betreiben vier Unternehmen die Übertragungsnetze für Strom in Deutschland. Im Osten ist dies Elia, in der Mitte des Landes TenneT (vormals Eon), im Westen und Teilen Bayerns Amprion, eine Tochtergesellschaft der RWE, und in Baden-Württemberg schließlich EnBW. Die Betreiber sorgen für die Stromverteilung im Land und den Zugang der Stromhändler oder -lieferanten zum Netz. Sie gleichen außerdem Netzschwankungen aus, wenn es zum Beispiel zu Engpässen kommt. Das Leitungsnetz ist, den Aufgaben entsprechend, in bis zu 5 verschiedene Transformationsstufen geteilt.

Die **Höchstspannungsnetze der 380- und 220-kV-Ebene** dienen der weiträumigen Übertragung und dem Stromaustausch mit dem Ausland (Europäisches Verbundnetz). **Hochspannungsnetze mit 110-kV-Leitungen** übernehmen die regionale Stromverteilung.

Es folgen **Mittelspannungsnetze zwischen 1 kV und 60 kV**. Bei der Stromübertragung geht aus physikalischen Gründen ein kleiner Teil des Stroms als Netzverlust verloren. Vor allem durch hohe Übertragungsspannungen, zusätzliche Umspannstationen und die technische Weiterentwicklung der Transformatoren können die Verluste kontinuierlich verringert werden.

Nahe den Zentren des Verbrauchs wird die Hochspannung meist stufenweise durch **Umspannwerke** auf 10 bis 20 kV herab transformiert, in die einzelnen Straßenzüge verteilt und in Transformatorstationen (Trafohäuschen, **Netzstationen**) auf die in den Haushalten übliche Niederspannung von 230 V verringert [BUC08/58-59], [GER05/415-416].

4.5 Heizwärmebedarf, Wärmetransport und Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen

Damit ein Wohnhaus komfortabel bewohnbar ist, ist Energie unter anderem zum Beheizen der Räume nötig. Die beste Heizung und modernste Regelung nützen aber wenig, wenn „zum Fenster hinaus“ geheizt wird. Jeder Haustyp besitzt einen unterschiedlichen **Heizwärmebedarf** (HWB), welcher die Gebäude vergleichbar macht und energiespezifische Daten liefert. Er errechnet sich mit folgender Formel:

$$P_H = \frac{E_H}{A \cdot t},$$

wobei der HWB P_H die errechnete Energiemenge ist, die einem Gebäude mit einer vorgegebenen Fläche innerhalb der Heizperiode zuzuführen ist, um die gewünschte Innentemperatur aufrechtzuerhalten. Er ist eine Baukenngroße, also für ein spezielles Gebäude typisch, und wird von der Gebäudehülle (Bauform, Dämmung), dem Standort (Groß- und kleinklimatische Bedingungen) und seiner baulichen Nutzungsart bestimmt. Vom Nutzerverhalten ist dieser Wert jedoch vollkommen unabhängig.

Allgemein dient der HWB für die Definition von Energiestandards bei Häusern: Angestrebte Minimalforderungen für effiziente moderne Wärmedämmungen liegen bei etwa $HWB \leq 100$, für neugebaute Häuser wird etwa laut der deutschen Energieeinsparverordnung (EnEV) etwa der Niedrigenergiehaus-Standard mit einem spezifischen Heizwärmebedarf zwischen $40 - 70 \frac{kWh}{a \cdot m^2}$ gefordert, für unsanierte Altbauten liegt der Wert typischerweise über 150 bis weit über $300 \frac{kWh}{a \cdot m^2}$. Bei einem Passivhaus darf der Heizwärmebedarf jedoch maximal nur bei $15 \frac{kWh}{a \cdot m^2}$ liegen [JEN02/291].



Abb. 4.36: Thermogramm eines Zweiparteienhauses [INTQ48]

Immer dann, wenn zwischen einem System (Wohnräume) und seiner Umgebung (Außentemperatur) ein Temperaturgefälle besteht, kommt es zur Übertragung von thermischer Energie (Wärmetransport). Ist die Temperatur des Systems größer als die der Umgebung, so gibt es Wärme an die Umgebung ab, andernfalls nimmt es Wärme auf.

Die Wärme entweicht demnach durch die Bauteile des Gebäudes, das sind Wände, Keller- und Geschossdecken, das Dach sowie Fenster und Türen. Mit Hilfe der **Thermografie** kann Infrarotstrahlung, Wärmestrahlung, sichtbar gemacht werden. So

können beispielsweise zu große Energieverluste an den Außenfassaden von Gebäuden entdeckt werden (vgl. Abb. 4.36). Je heller die Färbung ist, desto größer ist der Wärmestrom. Zwar wird ein Teil des Wärmeverlustes durch Wärmeabgabe vom Menschen, elektrischen Geräten, Beleuchtung und Sonneneinstrahlung im Inneren des Gebäudes kompensiert, aber der Großteil der Wärme muss durch die Heizung geliefert werden.

Die wichtigste Grundlage zur Deckung des Energiebedarfs, wie in etwa um die Ausgangstemperatur in Wohnräumen konstant zu halten, ist die in den Brennstoffen chemisch gebundene und durch Reaktion mit Sauerstoff freiwerdende Energie. Der Energieinhalt von Brennstoffen wird als **Brennwert** bezeichnet. Das ist diejenige Wärmemenge, die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes je kg freigesetzt wird. Die freigesetzte Wärmemenge ist nicht vollständig nutzbar, weil die Verbrennungsgase noch Restwärme enthalten, wenn sie in die Atmosphäre entweichen. Der größte Teil dieser Restwärme steckt im Wasserdampf des Abgases. Der von konventionellen Heizkesseln nutzbare Energieinhalt ist daher etwas niedriger als der Brennwert, er wird als **Heizwert** H_u bezeichnet [DOE08/395-396]. Die nachfolgende Tabelle 4 gibt einen kurzen Überblick über die Heizwerte H_u einiger Brennstoffe.

feste Stoffe	$H_u \left[\frac{MJ}{kg} \right]$	flüssige Stoffe	$H_u \left[\frac{MJ}{kg} \right]$	gasförmige Stoffe	$H_u \left[\frac{MJ}{kg} \right]$
Braunkohle	9,6	Erdöl	41	Erdgas, nass	29
Braunkohlenbrikett	20	Heizöl	41,8	Erdgas, trocken	43,9
Holz, trocken	13,3	Benzin	42,5	Methan	35,9
Torf, trocken	14,6	Spiritus (95 %)	25	Propan	93,4
Holzkohle	31	Dieselmotorkraftstoff	42,1	Wasserstoff	10,8

Tabelle. 4.: Spezifischer Heizwert H_u [STÖ98/738]

Wie oben erwähnt, entstehen Energieverluste durch Wärmetransport. Dieser Wärmetransport kann auf unterschiedliche Art erfolgen, nämlich in festen Stoffen durch **Wärmeleitung**, in Gase und Flüssigkeiten zusätzlich durch **Konvektion** und bei strahlungsdurchlässigen Stoffen durch **Wärmestrahlung**. Diese verschiedenen Arten des Wärmetransportes können allein oder miteinander kombiniert auftreten [FIS08/112]. In diesem Kapitel entstammen die Daten, wenn nicht anderes erwähnt, den Quellen [CER94/324-366], [DOE08/297-354] und [WAG05/21-48].

Die Wärmeleitung

Bei der Wärmeleitung wird Wärme nur zwischen direkt benachbarten Teilchen fester Körper oder unbewegter Flüssigkeiten bzw. Gase übertragen. Der Vorgang tritt z. B. zwischen der Innen- und Außenfläche einer Hauswand auf. Hier werden ausschließlich stationäre, d. h. zeitlich unveränderliche Temperaturfelder, behandelt und es wird vorausgesetzt, dass sich die Temperatur nur in einer Richtung ändert.

Das **Fouriersche Gesetz** besagt, dass die Wärme die durch eine ebene Wand strömt, direkt proportional zur Wandfläche A , dem Temperaturgefälle $t_1 - t_2$, und der Zeit τ , sowie indirekt proportional zur Wandstärke δ ist.

$$Q_1 = \frac{\lambda}{\delta} \cdot A (t_1 - t_2) \cdot \tau$$

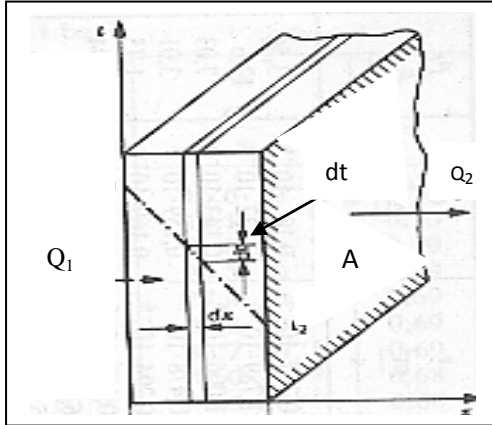


Abb. 4.37: Stationäre Wärmeleitung durch eine ebene Wand [CER94/325]

Mit t_1 als der höheren und t_2 als der niedrigeren Oberflächentemperatur der Wand, wird die übertragene Wärme positiv. Der Proportionalitätsfaktor λ , der in der obigen Gleichung eingesetzt ist, ist ein temperaturabhängiger Stoffwert und wird als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Dieser Wert wird weiter unten näher diskutiert. In der Abbildung 4.37, strömt durch eine dünne Wandschicht, die die Stärke dx aufweist, die gleiche Wärme Q_1 , wie durch die gesamte Dicke der Wand. Das Temperaturgefälle hat aber nur die Größe dt und die Wärme strömt nur in die Richtung der

niedrigeren Temperatur, was zum negativen Vorzeichen $(-\frac{dt}{dx})$ führt. Daraus folgt die Grundform des Fourierschen Gesetzes:

$$Q_1 = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dt}{dx} \cdot \tau.$$

Auf die Zeit τ bezogen, ergibt sich der durch die Fläche A tretende **Wärmestrom \dot{Q}** mit

$$\dot{Q} = \frac{Q_1}{\tau} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot A \cdot (t_1 - t_2).$$

Bezogen auf die Fläche A wird die durchströmende Wärme als **Wärmestromdichte** oder **Heizflächenbelastung \dot{q}** bezeichnet:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2).$$

Zwischen der Leitung der Wärme und der Leitung des elektrischen Stroms besteht eine Analogie. Mit der Spannung U , der Stromstärke I und dem Widerstand R gilt für die Leitung des elektrischen Stroms das Ohmsche Gesetz $U = I \cdot R$. Analog ist

$$(t_1 - t_2) = \dot{Q} \cdot \frac{\delta}{\lambda \cdot A}$$

mit R_L als dem Wärmeleitwiderstand $R_L = \frac{\delta}{\lambda \cdot A}$. Bei einer mehrschichtigen Wand geht durch jede Schicht der gleiche Wärmestrom \dot{Q} . Bei einer dreischichtigen Wand (vgl. Abb. 4.38) gilt dann beispielsweise:

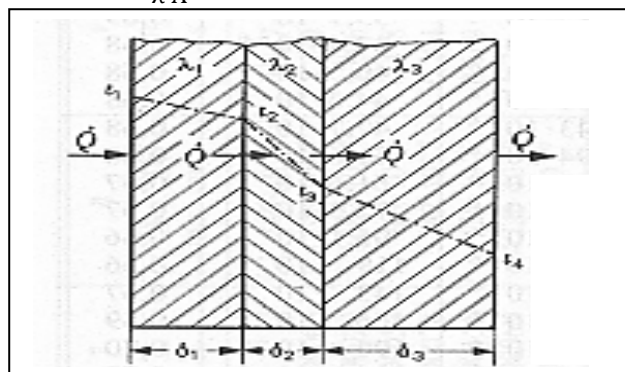


Abb. 4.38: Stationäre Wärmeleitung durch eine mehrschichtige ebene Wand [CER94/328]

$$\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot A \cdot (t_1 - t_2) = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot A \cdot (t_2 - t_3) = \frac{\lambda_3}{\delta_3} \cdot A \cdot (t_3 - t_4) = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \cdot A \cdot (t_1 - t_4).$$

$$\text{Allgemein} \rightarrow \dot{Q} = \frac{1}{\sum_{n=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} A \cdot (t_1 - t_4).$$

In der Bauphysik wird der Quotient $\frac{\delta}{\lambda}$ auch als Wärmedämmwert, oder als **U-Wert** bezeichnet. Er gibt die Leistung (also die Energiemenge pro Zeiteinheit) an, die durch eine Fläche von 1 m² fließt, wenn sich die beidseitig anliegenden Lufttemperaturen stationär um 1 K unterscheiden.

Konvektion

Bei der Konvektion veranlasst ein Strömungsvorgang eine ständig wechselnde Berührung von Fluidteilchen mit unterschiedlichen Temperaturen, zwischen denen eine Energieübertragung durch Wärmeleitung stattfindet. Sie findet z. B. ständig in den Meeresströmungen statt, aber auch in globalen Zirkulationen in der Atmosphäre. Man unterscheidet nach der Ursache der Strömung zwischen erzwungener und freier Konvektion. Bei erzwungener Konvektion wird die Strömung durch ein von außen aufgeprägtes Druckgefälle erzeugt. Bei freier Konvektion bewirken Dichteunterschiede infolge von Temperaturunterschieden die Ausbildung einer Strömung. Als konvektiven Wärmeübergang bezeichnet man die Wärmeübertragung zwischen Fluiden und einer festen Wand. Der Wärmestrom, der von einem Fluid mit der mittleren Temperatur t_f an eine Wandfläche A mit der Oberflächentemperatur t_w übertragen wird, oder umgekehrt, kann mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (t_f - t_w).$$

Der Proportionalitätsfaktor α wird als Wärmeübergangskoeffizient bezeichnet und hat die Einheit $\frac{W}{K \cdot m^2}$.

Wärmestrahlung

Die Wärmestrahlung oder thermische Strahlung ist eine elektromagnetische Strahlung, die jeder Körper emittiert. Bei Festkörpern und Flüssigkeiten ist das Spektrum der ausgesendeten Strahlung kontinuierlich und im Wesentlichen nur von der Temperatur abhängig. Im Gegensatz zu Konvektion und Wärmeleitung tritt Wärmestrahlung auch im luftleeren Raum auf. Sie ist lediglich an die Möglichkeit zur Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen gebunden und wird deshalb mittels ihres Wellencharakters hier dargestellt. Die Abbildung 4.3 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Strahlungsarten. Die Energie der Strahlung verteilt sich über die Wellenlängen nach dem **Planckschen Gesetz** (Abb. 4.39). Mit höherer Temperatur des Körpers wandert das Maximum der ausgesandten Strahlungsenergie zu niedrigeren Wellenlängen, der sichtbare Anteil der Strahlung wird größer.

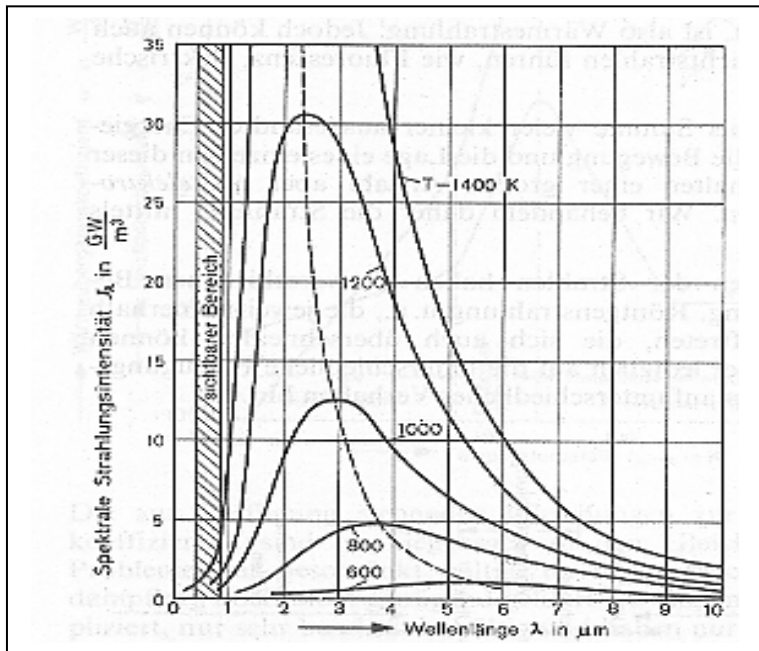


Abb. 4.39: Energieverteilung der schwarzen Strahlung [CER94/348]

Das hat beispielsweise für den Treibhauseffekt eine große Bedeutung. Wasserdampf und Kohlendioxid sind Selektivstrahler, strahlungsdurchlässig sind Stickstoff und Sauerstoff. Weil die Strahlungsintensität der Sonne mit ihrer hohen Oberflächentemperatur stärker im Bereich kleinerer Wellenlänge liegt, wird die Solarstrahlung durch die wasserdampf- und

kohlendioxidhaltige Atmosphäre überwiegend hindurch gelassen. Dagegen wird die Strahlung von der Erdoberfläche von Wasserdampf und Kohlendioxid stärker absorbiert. Das Intensitätsmaximum schwarzer Körper liegt bei der Wellenlänge $\lambda = \frac{K}{T}$ mit $K = 2.898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$. Der Zusammenhang heißt **Wiensches Verschiebungsgesetz**. Mit ihm kann aus der Lage des Intensitätsmaximums die Temperatur eines schwarzen Körpers berechnet werden. Der von einem schwarzen Körper abgestrahlte Wärmestrom \dot{Q} kann für einen Körper über das **Stefan-Boltzmann-Gesetz**

$$d\dot{Q} = \sigma \cdot T^4 \cdot dA = E \cdot dA$$

berechnet werden und ist somit der vierten Potenz der absoluten Temperatur T und der Oberfläche A des Körpers proportional. E ist die Emission, die einen Wärmestrom bezogen auf die Oberfläche des strahlenden Körpers darstellt.

σ ist der **Strahlungskoeffizient** oder auch **Stefan-Boltzmannkonstante** genannt und hat den Wert von $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$. Dieser Koeffizient hängt stark von der Art des Körpers ab. Den größten Strahlungskoeffizienten hat der schwarze Körper. Nur für schwarze Körper gilt das Stefan-Boltzmann-Gesetz exakt, für andere Körper nur näherungsweise.

Das **Emissionsverhältnis** ϵ eines beliebigen Körpers ist das Verhältnis der Emission E dieses Körpers zur Emission E_S eines schwarzen Körpers mit derselben Temperatur. Das Absorptionsverhältnis a eines beliebigen Körpers ist das Verhältnis der absorbierten Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Da ein schwarzer Körper die gesamte auftreffende Strahlung absorbiert, ist das Absorptionsverhältnis eines beliebigen Körpers auch das Verhältnis der absorbierten Strahlung zu der Strahlung, die ein schwarzer Körper absorbieren würde. Nach dem **Kirchhoff'schen Gesetz** ist das Absorptionsverhältnis eines beliebigen Körpers gleich seinem Emissionsverhältnis und es gilt

$$a = \epsilon = \frac{E}{E_S} = \frac{\sigma}{\sigma_S}$$

Die auftreffende Strahlung, die von einem beliebigen Körper nicht absorbiert wird, kann reflektiert oder durchgelassen werden. Das Reflexionsverhältnis r ist das Verhältnis der reflektierten Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Das Durchlassverhältnis d ist das Verhältnis der durchgelassenen Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Für die Summe aus dem Absorptionsverhältnis, dem Reflexionsverhältnis und dem Durchlassverhältnis gilt $a + r + d = 1$. Beim schwarzen Körper ist $a = 1$. Einen Körper bei dem $r = 1$ ist, nennt man einen weißen Körper. Ist das Absorptionsverhältnis $0 < a < 1$ unabhängig von der Wellenlänge, so spricht man von einem grauen Körper.

Die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen

Wie bereits oben erwähnt, ist λ ein temperaturabhängiger Stoffwert und wird als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet.

Material	Dichte [kg/m ³]	Temperatur [°C]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
Glaswolle	120	25	0,046
Ziegelmauerwerk	1.420-1.460	20	0,76
Fensterglas	2.480	20	1,16
Kiesbeton	2.200	20	1,28
Zink	7.130	20	113
Messing	8.600	20	81 – 116
Kupfer	8.300	20	372
Stahl, unlegiert	7.850	0	59
Aluminium	2.700	20	229
Wasser	998,2	20	0,555
Sauerstoff	1,289	20	0,026
Mineralwolle	10-200	20	0,030
Expandierte Polystyrolschaum	10 - 50	20	0,030
Holzfaserdämmstoff	150 - 250	20	0,032
Schaumglas	100 - 150	20	0,038
Polyethylenschaum	70	20	0,05
Silikon	1200	20	0,35

Tabelle 5.: Wärmeleitfähigkeit und Dichte bei bestimmter Temperatur einiger Baustoffe [FIS08/332-334], [JEN02/242-244]

Aus der kinetischen Gastheorie kann die Wärmeleitfähigkeit von Gasen

$$\lambda = \frac{1}{3} \cdot C \cdot v \cdot l$$

hergeleitet werden. Dabei bezeichnet C die Wärmekapazität pro Volumeneinheit, v die mittlere freie Teilchengeschwindigkeit und l die mittlere freie Weglänge zwischen den Zusammenstößen eines Teilchens. In Anlehnung an die kinetische Gastheorie kann die Wärmeleitung in Festkörpern erklärt werden. λ wird meist in $\frac{W}{m \cdot K}$ angegeben. Wie aus der Tabelle 5 zu entnehmen ist, besitzen kristallisierte Stoffe, wie zum Beispiel Metalle und ihre Legierungen, ein größeres Wärmeleitvermögen, sie sind also gute Wärmeleiter. Bei amorphen Stoffen, wie zum Beispiel Fensterglas, ist das Wärmeleitvermögen im

Vergleich geringer [JEN02/128-135]. Bei porösen und porigen Stoffen beeinflussen die in den Poren eingeschlossenen Medien, Luft, Wasserdampf oder Wasser, die Wärmeleitfähigkeit entscheidend. Ruhende Luft weist eine sehr kleine Wärmeleitfähigkeit auf. Deshalb wird bei vielen Baustoffen versucht, durch Erhöhung der Porosität die Wärmeleitfähigkeit zu verringern, was in etwa durch künstliche Porenbildung durch Treibmittel, der Beimengung von porösen Zuschlägen oder durch Lochbildung bei Mauersteinen realisiert wird. Da sich aufgrund der geringen Dichte der Luft ($1,29 \frac{kg}{m^3}$ bei 0°) auch die Materialrohddichte verringert, reduzieren die Luftporen nicht nur die Wärmeleitfähigkeit eines Materials, sondern auch seine Rohddichte, was wiederum dazu führt, dass man generell sagen kann, dass Stoffe geringer Rohddichte kleine Wärmeleitfähigkeiten aufweisen, während Stoffe mit größeren Rohdichten größere Wärmeleitfähigkeiten besitzen (vgl. Abb. 4.40).

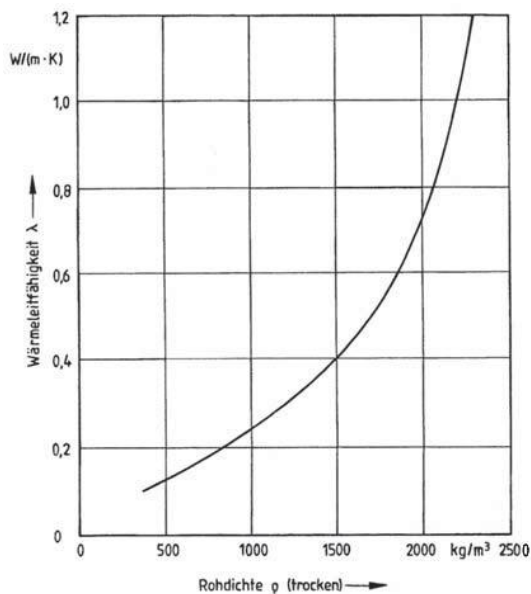


Abb. 4.40: Zusammenhang der Wärmeleitfähigkeit mit der Rohddichte von Materialien [JEN02/129]

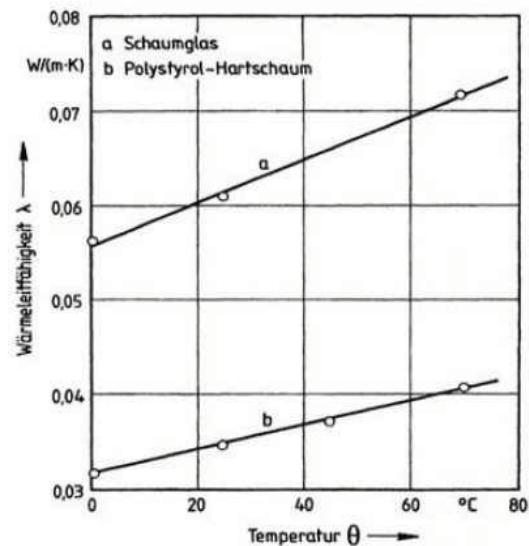


Abb. 4.41: Zusammenhang der Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur von Materialien [JEN02/131]

Die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes hängt außerdem noch von der Temperatur und dem Wassergehalt ab. In der Abbildung 4.41 sind unter a) Schaumglas mit einer Dichte von $\rho = 156 \frac{kg}{m^3}$ und unter b) Polystyrol-Hartschaum mit der Dichte $\rho = 20 \frac{kg}{m^3}$ graphisch aufgetragen. Nimmt die Temperatur der Stoffe zu, so steigt auch die Wärmeleitfähigkeit linear an. Erhöht sich der Wassergehalt von Baustoffen, tritt ebenfalls eine Steigerung der Wärmeleitfähigkeit auf, was auf die hohe Wärmeleitfähigkeit des Wassers zurückzuführen ist [JEN02/128-135].

4.6 Energiesparen im Haushalt

Der Energieverbrauch ist Hauptverursacher des weltweiten Klimawandels, Energie wird in Form von Strom (Licht, Kraft), Heizenergie (Wärme) und Bewegungsenergie (z. B. Auto) verbraucht. Der einfachste und billigste Weg, weniger Kohlendioxid durch den Energieverbrauch freizusetzen, ist Energie dort einzusparen, wo sie unnötig verbraucht wird. Und hier kann jede Person beitragen. Im Kapitel 5.3.3 findet sich eine Übersicht der Möglichkeiten, speziell im Haushalt, Energie zu sparen. In diesem Abschnitt wird auf das EU-Label, die Leistungsmessung bei Elektrogeräten und auf Energiesparlampen eingegangen.

Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen)

Seit dem 01.09.2009 werden nach einem Beschluss der EU die meisten Glühbirnen schrittweise aus dem Verkehr gezogen und die deutschen Haushalte müssen ihren Bedarf mit Energiesparlampen decken. Diese Aktion beruht auf den Prognosen der Europäischen Kommission, laut derer durch diese Umstellung der jährliche Stromverbrauch von Beleuchtung in privaten Haushalten von 7,5 Milliarden kWh gesenkt werden kann.

Kompaktleuchtstofflampen (KLL) zählen als Leuchtstofflampen zu den Quecksilberdampf-Niederdrucklampen. Zur Verringerung der Abmessungen ist die Gasentladungsröhre nicht gerade, sondern mehrfach und U-förmig gebogen oder als

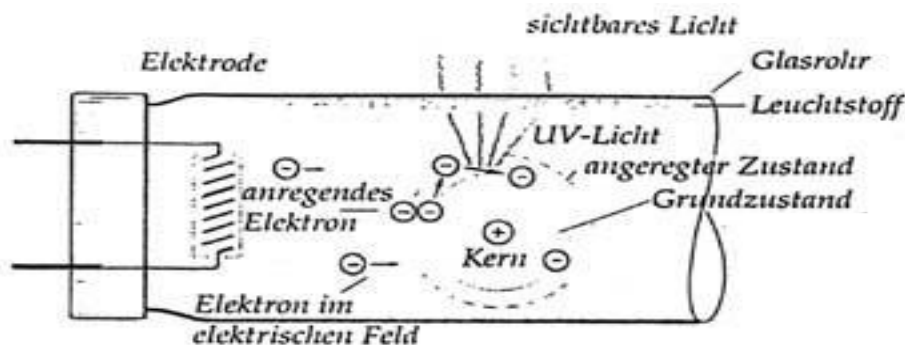
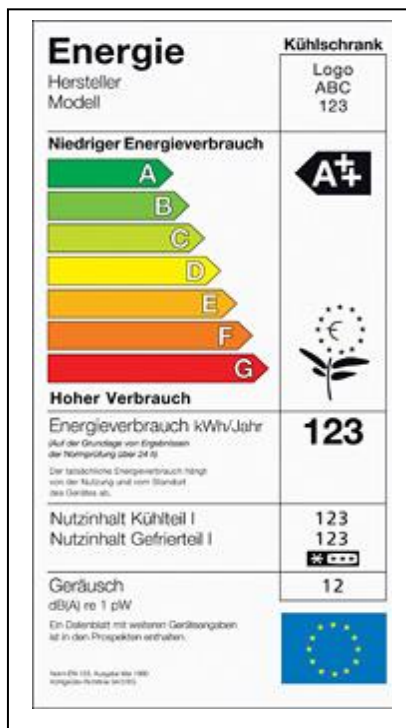


Abb. 4.42: Funktionsprinzip einer Energiesparlampe [INTQ49]

Wendel ausgeführt. Im Inneren der KLL befindet sich ein Edelgas, meistens ein Gemisch aus Argon und Neon. Bei Betrieb, direkt am Stromnetz, würde der Lampenstrom einer KLL aufgrund der Stoßionisation bis zur Zerstörung der Lampe ansteigen. Um ihn zu begrenzen, wird zum Betrieb ein Vorschaltgerät benötigt, das sowohl in der Lampe als auch extern angebracht sein kann. Über den Starter und das Vorschaltgerät wird die Zündspannung erzeugt und schließlich somit die Stromzufuhr für die Elektroden geregelt. Die Quecksilberatome in der Röhre verdampfen aufgrund der Wärmeentwicklung durch die angelegte Spannung. Die Kathode gibt Elektronen ab, die sich in der Röhre frei bewegen können und von der Anode angezogen werden. Häufig kollidieren diese dabei mit den Quecksilberatomen, die in der Lampe gasförmig verteilt vorliegen. Dabei wird

Energie an die Quecksilberatome abgegeben und die Elektronen der Quecksilberatome, die sich auf der äußersten Schale des Quecksilberatoms befinden, in einen Zustand höherer Energie versetzt und auf eine höhere Schalenschicht (siehe dazu Atommodell) befördert. Dieser Zustand dauert jedoch nur sehr kurz, denn die Elektronen werden sogleich durch die Anziehungskräfte des Atoms wieder auf ihre ursprüngliche Schale zurückgezogen. Dabei geben sie Energie in Form von ultravioletter Strahlung ab. Dieser Prozess der Gasentladung findet nach "Zündung" der Lampe automatisch statt und würde den Stromfluss so lange verstärken, bis die Lampe durch Überhitzung zerstört würde. Das Vorschaltgerät reguliert diesen, um das zu verhindern. Da das emittierte Licht für den Menschen unsichtbar ist, befindet sich an der Außenwand der Glasröhre eine Leuchtstoffschicht aus Phosphorverbindungen. Diese gibt, wenn sie vom UV-Licht getroffen wird, die Energie in Form von sichtbarem Licht wieder ab (vgl. Abb. 4.42).

Das EU-Label und die Leistungsmessung bei Elektrogeräten



Information und Kommunikation bedienen sich heute einer Vielzahl elektronischer Geräte, wie zum Beispiel Fernsehgerät, DVD- oder CD-Player. Fast all diese Geräte verfügen über einen Stand-by-Modus und verbrauchen rund um die Uhr Strom. Manche ältere Geräte müssen ständig am Netz bleiben, wenn gespeicherte Informationen nicht gelöscht werden sollen. Deshalb sollen bei der Anschaffung von Geräten, die immer in Bereitschaft bleiben müssen, wie etwa ein Faxgerät, nur energiesparende Modelle ausgewählt werden. Der Käufer kann dabei auf das **EU-Label** (Abb. 4.43) achten. Mit diesem Label wurde eine europaweite Auszeichnung für Haushalts- großgeräte, sowie weitere Produktkategorien, entwickelt, die dem Verbraucher ermöglicht, schnell und übersichtlich den Stromverbrauch unterschiedlicher Modelle einer Produktgruppe zu vergleichen.

Abb. 4.43: Beispiel für EU-Label [INTQ50]

Es werden unterschiedliche Effizienzklassen von A – G zur Bewertung der Energieeffizienz des Gerätes genutzt. Ein Gerät der Klasse A ist besonders sparsam im Gebrauch von Energie, während Geräte der Klasse G besonders viel Energie verbrauchen. Darüber hinaus enthält das Label Informationen über weitere energie- und umweltrelevante Daten sowie Angaben zur Gebrauchstauglichkeit der Geräte. Damit der Energieverbrauch von alten Geräten im Haushalt festgestellt werden kann, werden Strommessgeräte eingesetzt. Mit deren Hilfe kann man die aufgenommene Leistung des Gerätes sowie den Energieverbrauch über eine bestimmte Zeit messen.

4.7 Die Wärmepumpe

Unabhängig von ihrer jeweiligen Bauart kann eine Wärmepumpe als eine Maschinenanlage betrachtet werden, die unter Aufwendung von technischer Arbeit thermische Energie aus einem Reservoir mit niedriger Temperatur aufnimmt und mit Hilfe der Antriebsenergie als Nutzwärme auf ein zu beheizendes System mit höherer Temperatur überträgt. Je nach Betriebsart der Wärmepumpe wird dieser Prozess unterschiedlich realisiert. Dennoch haben alle Wärmepumpen eines gemeinsam, nämlich dass immer ein geeignetes Arbeitsmedium verdichtet und wieder entspannt wird, so dass der gewünschte Wechsel von Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe eintritt.

Grundsätzlich lassen sich drei Wärmepumpen ja nach Bauart und Arbeitsprinzip unterscheiden:

- a) Kompressions-Wärmepumpen
 - b) Vuilleumier-Wärmepumpen
 - c) Sorptions-Wärmepumpen
 - i. Absorptions-Wärmepumpen
 - ii. Adsorptions-Wärmepumpen.

Die Arbeitsweise der Kompressions-Wärmepumpen entspricht dem eines Kältschranks, nur dass bei der Wärmepumpe geheizt statt gekühlt wird. Da das Arbeitsprinzip der Kompressions-Wärmepumpe im Schülerlabor Verwendung fand und diese Art der Wärmepumpe am weitesten verbreitet ist, wird in dieser Arbeit speziell das Funktionsprinzip der Elektro-Kompressions-Wärmepumpe (vgl. Abb. 4.44) vorgestellt.

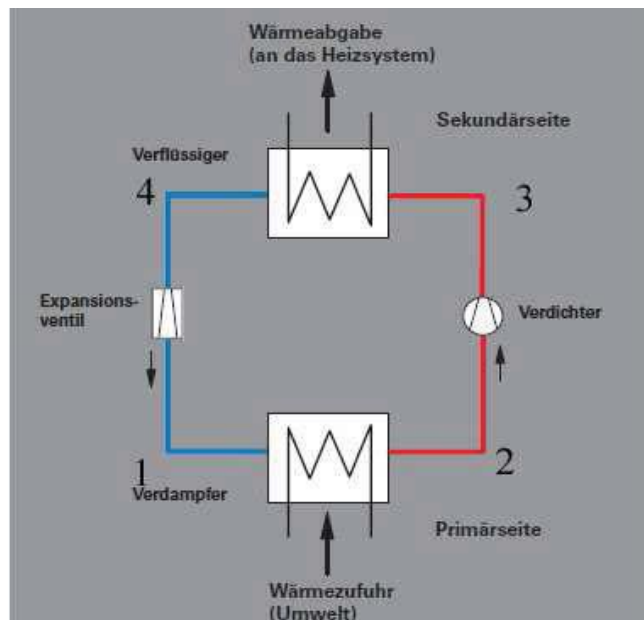


Abb. 4.44: Funktionsschema einer Kompressions-Wärmepumpe [VIS05/7]

Eine Kompressions-Wärmepumpe besteht im Wesentlichen aus vier Teilbereichen, nämlich dem Verdampfer (1), dem Verdichter (2), dem Verflüssiger (3) und dem

Expansionsventil (4). Vor der Wärmeaufnahme befindet sich das flüssige Arbeitsmedium (Kältemittel) bei geringem Druck und niedriger Temperatur auf der Primärseite (kalte Seite, blau) im Verdampfer (1). Da die dem Druck entsprechende Temperatur des Arbeitsmittels niedriger als die der Wärmequelle ist, nimmt nun das Arbeitsmedium Wärme aus der entsprechenden Wärmequelle auf und verdampft dadurch. Dabei kann die Temperatur des Kühlmittels durchaus unterhalb von 0°C liegen. Anschließend wird vom Verdichter (2) das verdampfte Medium abgesaugt und der Druck im Verdichter erhöht, sodass es zu einer Temperaturzunahme kommt. Vom Verdichter gelangt das dampfförmige Arbeitsmedium auf der Sekundärseite (warme Seite (Heizsystem)) in den Verflüssiger (3), der vom Heizwasser umspült ist. Da die Temperatur des Arbeitsmediums höher als die des Heizsystems ist, gibt das Kältemittel im Verflüssiger Wärme an das Heizwasser ab. Das Heizwasser erwärmt sich und das Kältemittel kühlt ab und kondensiert. Nachfolgend bewirkt das Expansionsventil (4), dass der hohe Druck vom Arbeitsmedium abfällt, das Medium entspannt sich und kühlt ab und wird anschließend wieder zum Verdampfer (1) geschickt, wo es erneuert bei geringem Druck und niedriger Temperatur auf der Primärseite Wärme aufnimmt [VIS05/7].

Als **Kältemittel** bezeichnet man das in der Wärmepumpe verwendete Arbeitsmedium. Heute werden innerhalb des Wärmepumpenkreises in der Regel Verbindungen aus Kohlenstoff, Fluor, Chlor und Wasserstoff eingesetzt, die FCKW- und H-FCKW-frei, ungiftig, biologisch abbaubar und nicht brennbar sind [VIS05/14]. Zusätzlich sollte es innerhalb des Kältekreislaufes chemisch stabil und beständig bei allen herrschenden Drücken und Temperaturen sein und zudem geeignete Verdampfungstemperaturen aufweisen [INTQ51].

Als **Wärmequellen** stehen Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser, Umgebungsluft oder Abwärme zur Verfügung. Dabei kommt es auf die örtlichen Gegebenheiten, die Lage des Gebäudes und den Wärmebedarf an, welche Wärmequelle am besten verwendet wird. Derzeit überwiegen im deutschlandweiten Bestand noch Umgebungsluft-Wärmepumpen. Umgebungsluft ist immer und überall verfügbar, allerdings dann am kältesten, wenn am meisten Wärme gebraucht wird. Im Gebäudebereich haben sich Erdwärme-Wärmepumpen als besonders günstig erwiesen. Sie gewinnen die Wärme über vertikale Sonden aus 50 bis 100 m Tiefe. Das bodennahe Erdreich (wenige m unter der Oberfläche) wird dagegen von der Sonne erwärmt. Diese Solarwärme wird mit Hilfe im Garten in etwa 1 m Tiefe horizontal verlegter Rohrschlangen, die relativ teuer sind, genutzt. Ebenso wie der tiefere Untergrund bietet das Grundwasser ganzjährig gleichbleibende Temperaturen [WIL09/27]. Es gilt im Allgemeinen: Je geringer der Temperaturunterschied (auch Temperaturhub genannt) zwischen Wärmequelle und Heizsystem ist, desto weniger Antriebsenergie wird für den Verdichter benötigt, und desto besser ist die Leistungszahl [VIS05/16]. Die Leistungszahl

$$\varepsilon_w = \frac{|q|}{W}$$

gibt das Verhältnis der an das heiße System abgegebenen Wärme zu aufgewandter Arbeit an [STÖ98/648].

5. Planung und Durchführung des Schülerlabors

5.1 Die Organisation des Schülerlabors

Höhere Temperaturen, die Häufung von Umweltkatastrophen, der steigende Meeresspiegel, die Gletscherschmelze – dies sind alles Anzeichen für den Klimawandel. Auch Deutschland bleibt davon nicht unberührt. Mit dieser Thematik werden die Schüler und Schülerinnen regelmäßig durch die Medien konfrontiert und sie spielt in der Erfahrungswelt der Jugendlichen eine große Rolle. Leider werden in Medienberichten, öffentlichen Diskussionen und Fachvorträgen zahlreiche Fachausdrücke verwendet und die Informationsfülle macht es den Mädchen und Jungen nahezu unmöglich, die komplexen Zusammenhänge zu verstehen. Zwar werden in der Schule Teilaspekte der Energie und deren Problematik in Physik und im fächerübergreifenden Unterricht behandelt, die nötige Aufklärungsarbeit innerhalb dieser Materie fällt jedoch relativ kurz aus. Deshalb war das Hauptanliegen dieser Arbeit ein Schülerlabor zu entwickeln, das einen Gesamtüberblick über die Thematik „Energie“ vermittelt und gleichzeitig die Schüler für den Klimaschutz sensibilisiert.

Die Konzeption eines Schülerlabors bedarf einer sehr umfangreichen Vorbereitung. Aus diesem Grunde wurde vorab eine Checkliste erstellt, um alle notwendigen Maßnahmen, beginnend bei der Planung bis zur Evaluation des Labors, zeitnah treffen zu können. Diese Liste befindet sich im Anhang unter Punkt 8.1 und kann als Richtlinie und Vereinfachung für eine erneute Durchführung des Schülerlabors „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ verwendet werden. Im Folgenden wird näher auf die Projektierung des Labors eingegangen.

Die Planungs- und Vorbereitungsphase

Im Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ sollen die Jugendlichen an der Universität selbständig Versuche durchführen und über Probleme, die in Verbindung mit dem Begriff „Energie“ zu nennen sind, mit ihren Mitschülern diskutieren.

Zunächst musste geklärt werden, welche Themengebiete unter dem Titel des Schülerlabors behandelt werden sollen, um ein möglichst breites Bild von der Thematik „Energie“ vermitteln zu können. Darin eingeschlossen war natürlich auch die Frage, welche Jahrgangsstufe und welche Schulart das Labor ansprechen soll. Da die Energieproblematik recht komplexe Teilgebiete beinhaltet, wurde entschieden, vier Experimentierstationen und eine Station, in welcher der theoretische Hintergrund der Energiegewinnungsmöglichkeiten, inklusive deren Vor- und Nachteile, diskutiert wird, zu erstellen. Telexperimente der Stationen fordern ein physikalisches Grundwissen, das

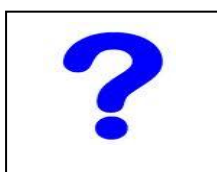
von den Schülern erst in der 10. Jahrgangsstufe der Realschule und in der 9. Jahrgangsstufe des Gymnasiums erlangt wird. Deshalb dient dieses hier konzipierte Labor vorwiegend zur Wiederholung und Vertiefung unterschiedlicher Aspekte des Begriffs „Energie“ und ist ausschließlich für Schüler höherer Schulklassen, 9. und 10. Klasse, geeignet. Die Station „Energieversorgung“ soll die grundlegende Technik bei der Stromerzeugung in einem Kohlekraftwerk zeigen, während die drei Experimentierstationen „Wärmedämmung“, „Wärmepumpe“ und „Energie im Haushalt“ Möglichkeiten vorstellen, Energie zu sparen. Schließlich werden in der Station „Energieproblematik“ unterschiedliche Wege aufgezeigt, wie Energie gewonnen werden kann. Da die Stationen unabhängig voneinander sind, musste bei der Planung berücksichtigt werden, dass alle Teilnehmer vor ihrem Durchlauf durch die Stationen zunächst die benötigten Grundlagen wiederholen. Aufgrund dessen wurde beschlossen, dass alle Schüler vor Beginn der Experimentierphase einen einführenden Vortrag besuchen müssen (vgl. Kapitel 5.2).

Im Anschluss an diese grobe Gliederung des Labors wurde begonnen, Versuche für die entsprechenden Stationen auszusuchen, die möglichst anschaulich den dortigen Inhalt vermitteln und welche von den Schülern selbständig durchgeführt werden können. Deshalb wurden im Vorfeld zahlreiche Ideen für Versuche gesammelt, um später möglichst viel Spielraum bei der endgültigen Auswahl zu haben. Der nächste Schritt beinhaltete, alle Versuche aufzubauen, wobei fehlendes Material vorab bestellt oder in der Werkstatt der Universität Würzburg gebaut werden musste. Dann wurde entschieden, welche Experimente (vgl. Kapitel 5.3.1 – 5.3.4) endgültig für das Labor ausgewählt werden und welche Versuche eventuell zu schwierig sind oder den zeitlichen Rahmen einer Station sprengen würden. Zu dieser Entscheidung trugen natürlich auch die Vorkenntnisse der Teilnehmer und deren Jahrgangsstufe mit bei. Hiernach wurden die gewählten Experimente nach Grundlagen- und Wiederholungsversuchen, sowie nach Versuchen, die vollkommen neuen Stoff lehren sollten, geordnet. Anschließend wurde die Erstellung der Handouts für die Schüler, als auch für die Betreuer, in Angriff genommen. Dabei wurde versucht, die Versuchsanleitungen so auszuarbeiten, dass Schüler damit problemlos umgehen können, da durch eine möglichst optimale Versuchsanleitung sichergestellt werden kann, dass die Schüler die Versuche selbständig durchführen können. Zur Unterstützung dienen kleine Cartoon – Bilder, die den Schülern einen Überblick und eine Gliederung des Handouts liefern. Die einzelnen Icons bedeuten dabei:



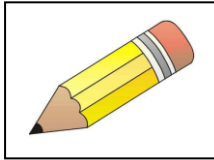
Führe das Experiment durch!

Abb. 5.1 : [INTQ52]



Welche Frage wird als nächstes behandelt?

Abb. 5.2 : [INTQ53]



Schriftlicher Arbeitsauftrag!

Abb. 5.3 : [INTQ54]



Überlege und diskutiere mit deiner Gruppe!

Abb. 5.4 : [INTQ55]



Achtung!

Abb. 5.5 : [INTQ56]



Informationen!

Abb. 5.6 : [INTQ57]

Weitere Abbildungen und Skizzen, die sich in der Anleitung finden, sollen als Unterstützung zur Vorstellung abstrakter Denkmodelle dienen (siehe Kapitel 8.4). Da bei der Erstellung des Handouts explizit auf die Formulierung der Informationstexte und der Versuchsbeschreibung geachtet werden muss und diese altersgemäß sein sollen, wurde vor der Planungsphase des Labors das Seminar „Lehr-Lern-Labor“, welches die Universität Würzburg unter der Leitung von Herrn Völker anbietet, besucht. Dieses Seminar hatte nicht nur den Vorteil, dass es einen Einblick in den Aufbau eines Schülerlabors und dessen Handouts bot, sondern noch den weiteren positiven Effekt, sich mit der Organisation der Physiksammlung auseinander setzen zu müssen, was wiederum für die Erstellungsphase der Experimente des Schülerlabors „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ vorteilhaft war. Problematisch ist auch, ein Gespür für das Zeitmanagement hinsichtlich der Teilversuche an einer Station zu entwickeln. Bezogen auf diesen Aspekt war das Seminar gleichermaßen sehr hilfreich. Die Handouts wurden schließlich so konzipiert, dass zwar die Experimente innerhalb der Stationen den Schwerpunkt bilden, dennoch wurden die Anleitungen um Tabellen für die Auswertung und zum Teil auch um kleinere Rechenaufgaben ergänzt (vgl. Kapiteln 5.3), um zu gewährleisten, dass alle Stationen ungefähr gleich lang sind. Die Bearbeitung einer Station sollte dabei nicht länger als eine Stunde in Anspruch nehmen.

Damit beim Ablauf keine Probleme auftauchen, wurden vorab alle Stationen von einigen Testpersonen durchgeführt, deren Vorwissen im Bereich Energie mit dem der teilnehmenden Schüler vergleichbar war. Hiermit sollte getestet werden, ob die Experimente innerhalb des zeitlich vorgegebenen Rahmens absolviert werden können und ob die Erklärungen in den Anleitungen schlüssig und leicht verständlich sind. Die bei

dem Testlauf engagierten Betreuer, die jeweils vorher schon instruiert wurden, notierten sich die Momente des Einschreitens und der Hilfestellung, sowie eventuelle Problemfelder. Auf Grund dieser Notizen wurden nochmalig einige Änderungen an den Handouts und auch an der Zusammenstellung des Schülerlabors vorgenommen. Zusätzlich wurden für problematische Teilgebiete Hilfekarten erstellt (vgl. Kapitel 8.5). Experimente und Vorhaben, die nach der Überarbeitung keine Verwendung mehr im Labor fanden, sind in den Kapiteln 5.3.1 – 5.3.5 ebenfalls erläutert. Konnten die Betreuer feststellen, dass an manchen Stellen der Stationen ein Einschreiten dringend notwendig war, damit falsche Erkenntnisse und Messungen vermieden wurden, so wurden im Betreuerhandout dementsprechend Kommentare vermerkt. Diese Hinweise sind auch in den nachfolgenden Kapiteln zu finden. Die Betreuerversionen beinhalten im Gegensatz zu den Schülerversionen, neben den oben erwähnten Hinweisen, noch die zu erwartenden Ergebnisse bei Messungen, Erklärungsansätze, Anwendungsbeispiele aus dem Alltag und eventuelle zusätzliche Anmerkungen zum Ablauf, wobei hier angeführt werden muss, dass Ausführungen nur als Hilfestellung für die Betreuer fungieren sollen und keine Musterlösung darstellen sollen.

Parallel zu diesen Vorbereitungen wurden mögliche Termine für die Schülerlabordurchführung, in Anbetracht der Raumbelugung an der Universität, vereinbart. Nachdem die benötigten Räume reserviert waren, wurde ein Werbeflyer für das Labor ausgearbeitet. Dieser befindet sich im Anhang unter Punkt 8.2. In diesem Einladungsschreiben wurden das Labor und vor allem die Inhalte kurz vorgestellt. Dieses Schreiben wurde im Anschluss an die Lehrkräfte an alle Gymnasien und Realschule in und um Würzburg versandt. Innerhalb eines Tages hatten sich bereits sieben Interessenten gemeldet und es wurden folgende Klassen auf nachfolgende Termine fest gebucht:

Datum	Schule	Jahrgang	Anzahl der teilnehmenden Schüler
12.10.2010	Riemenschneider - Gymnasium Würzburg	9D	19
13.10.2010	Röntgen - Gymnasium Würzburg	9A	29
14.10.2010	Realschule Gemünden	10A	19

Tabelle 6.: Übersicht über teilnehmende Klassen am Schülerlabor

Da das Labor bereits kurz nach dem Aussenden des Werbeflyers eine recht große Resonanz erfuhr, wurde ein erneuter Versuchstag im demnächst eröffnenden Mind-Center in Würzburg von zahlreichen Interessenten gewünscht. Die Lehrer erhielten direkt nach der Anmeldung die Bestätigung mit näheren Informationen über den Treffpunkt, den Ablauf und die Kosten des Labors, sowie über die benötigten Materialien, schriftlich zugeschickt. Weiter bekamen die Schulklassen Pretest-Evaluationsbögen zugesendet, die bereits im Vorfeld, basierend auf der Thematik Energie und dem Labor im speziellen, vorbereitet worden waren. Die Lehrkräfte wurden instruiert, diese Bögen bei der

Durchführung ausgefüllt mitzubringen. Nach dem Versuchstag bekamen die Pädagogen für die Jugendlichen weitere Bögen inklusive Rückumschlag ausgehändigt, der nach einigen Tagen von der betreuenden Lehrkraft wiederum ausgefüllt zurückgeschickt werden sollte. Diese Evaluation der Schüler, sowie die Evaluation der Betreuer, die ebenfalls im Anschluss an die Schülerlabordurchführung vollzogen wurde, hatte die Aufgabe, nochmalig zur Überarbeitung und Verbesserung des Labors beizutragen. Die einzelnen Fragen sind den Fragebögen auf der beiliegenden CD zu entnehmen. Die Auswertung findet sich im Kapitel 6, worin auf die Beantwortung der wichtigsten Fragen eingegangen wird.

Ungefähr eine Woche vor dem praktischen Teil des Schülerlabors wurden die Handouts gedruckt und anschließend zusammengeordnet. Diesen Arbeitsanweisungen wurden zusätzlich ein Lageplan des Physikgebäudes, ein Zeitplan und Hinweise über den Ablauf des Labors beigelegt. Zusätzlich wurde darauf verwiesen, dass sich im Raum E071 Zusatzmaterial zum Thema Energie befindet, wie zum Beispiel ein Trimm – Dich – Rad und ein Modell eines Energiesparhauses. Diese beiden dienten vom 5. – 7. Oktober 2010 als Anschauungsmaterial für den Projekttag „Energie im Speicher“ im Museum im Kulturspeicher und waren von Herrn Stolzenberger & Kollegen der Universität Würzburg konstruiert und bereitgestellt worden.

Da bis zum Vortag der Durchführung noch alle benötigten Räume aufgrund eines weiteren Schülerlabors besetzt waren, mussten der Aufbau der Versuche, sowie die Markierung aller Räume und Wege teilweise bis spät abends durchgeführt werden. Alle Programme und vorbereiteten Dateien wurden vorab auf den Experimentierlaptops installiert, der Beamer und Overheadprojektor auf Funktionstüchtigkeit geprüft, sowie alle notwendigen Materialien, die Handouts, Klebeband für die Namensschilder, Schreibmaterial und die Mappen für die Station „Energieproblematik“ vorbereitet und bereitgelegt. Nebenbei wurden alle Betreuer in ihren Aufgabenbereich eingeführt und sie hatten nochmals die Möglichkeit, die zu betreuenden Experimente selbst durchzuführen, damit gewissen Tücken bekannt und schneller behoben werden konnten. Dabei wurde auf wichtige Details bei der Erklärung von Sachverhalten und auf das optimale Verhalten der Betreuer während des Versuchstags hingewiesen.

Der Tag der Schülerlabordurchführung

Die teilnehmende Klasse fand sich am Tag der Durchführung spätestens eine halbe Stunde vor dem vereinbarten Termin in der Universität Würzburg ein, um mit dem Versuchstag zu beginnen. Die Schüler versammelten sich in einen Seminarraum, in dem ein kurzer Vortrag stattfand und der Tagesablauf besprochen wurde, damit die Versuche reibungslos und ohne größere Zwischenfälle durchgeführt werden konnten.

Zeitplan für den 12. und 13. Oktober	
08:30 Uhr bis 09:00 Uhr	Vortrag
09:00 Uhr bis 10:00 Uhr	1. Station
10:00 Uhr bis 10:15 Uhr	Pause
10:15 Uhr bis 11:15 Uhr	2. Station
11:15 Uhr bis 12:15 Uhr	3. Station
12:15 Uhr bis 13:00 Uhr	Mittagessen
13:00 Uhr bis 13:15 Uhr	Argumente sammeln und wiederholen in der Gruppe
13:15 Uhr bis 14:15 Uhr	Diskussionsrunde

Tabelle 7.: Zeitplan für den 12. und 13. Oktober

Zeitplan für den 14. Oktober	
10:30 Uhr bis 11:00 Uhr	Vortrag
11:00 Uhr bis 12:00 Uhr	1. Station
12:00 Uhr bis 13:00 Uhr	2. Station
13:00 Uhr bis 13:45 Uhr	Mittagspause
13:45 Uhr bis 14:45 Uhr	3. Station
14:45 Uhr bis 15:00 Uhr	Argumente sammeln und wiederholen in der Gruppe
15:00 Uhr bis 15:45 Uhr	Diskussionsrunde

Tabelle 8.: Zeitplan für den 14. Oktober

Bei dieser Gelegenheit wurden den Schülern auch andere Informationen zugetragen, wie in etwa der Ablauf des Schülerlabors, Informationen über die Raumaufteilung oder dass sich im Raum E071 ein Trimm-Dich-Rad und ein Modelhäuschen zum Energiesparen befindet. Die Tabelle 7 zeigt den Zeitplan vom 12. und 13. Oktober. Da die Jugendlichen der Realschule in Gemünden mit dem Bayernticket nach Würzburg fahren wollten, wurde die Zeittafel nach hinten verschoben und das Schülerlabor begann somit erst um 10:30 Uhr, wie aus der Tabelle 8 ersichtlich wird.

Bevor der Versuchstag beginnen konnte, mussten die Mädchen und Jungen in 6 Gruppen (Gruppe A – F) aufgeteilt werden. Dies geschah durch wahlloses Durchzählen durch die Reihen. Damit konnte gewährleistet werden, dass die Gruppen recht homogen, hinsichtlich des Geschlechtes der Teilnehmer und des physikalischen Vorwissens, waren. Da die Anzahl der Klassenmitglieder am 13.10.2010 recht hoch war, bedeutete das, dass die Gruppen aus recht vielen Personen bestanden. Idealerweise sollten aber nicht mehr als 3 – 4 Schüler eine Einheit bilden, da sonst zu viel Unruhe und Unaufmerksamkeit aufkommt.

Alle Schüler durchliefen in diesem Schülerlabor zwei Pflichtstationen, nämlich die Experimentierstation „Energieversorgung“ und die Station „Energieproblematik“ mit anschließender Diskussionsrunde. Als dritte Station wurde unter den drei restlichen Experimentierstationen variiert (vgl. mit Tabelle 9), d. h. die Schüler absolvierten in diesem Schülerlabor keinen Parkour, sondern sie mussten zwei Pflichtstationen und eine der drei Stationen zum Energiesparen besuchen. Die Zuteilung zur dritten Station,

entweder zur Experimentierstation „Wärmepumpe“, zur Experimentierstation „Wärmedämmung“, oder zur Experimentierstation „Energie im Haushalt“, erfolgte je nach Zuteilung zu einer bestimmten Gruppe A – F, wie bereits oben erläutert wurde. Da das Labor einen Überblick und eine Wiederholung der Thematik „Energie“ liefern soll, wurde die Entscheidung getroffen, dass nicht alle Schüler jede Station besuchen. Ein weiterer Grund für diesen Entschluss ist mit dem Zeitmanagement zu begründen. Sollten die Jugendlichen alle Stationen durchlaufen, müsste das Schülerlabor auf zwei Tage ausgedehnt werden, da die Konzentration der meisten Schüler ab 13.00 Uhr merklich nachlässt, weil die Mädchen und Jungen den Rhythmus der Unterrichtszeit gewohnt sind. Zugleich würde das den Ausfall eines weiteren Unterrichtstages bedeuten. Eine derartige Ausdehnung auf zwei Labortage wäre aber eventuell für spätere Anwendungen des Labors durchaus denkbar.

Der Übersichtsplan in Tabelle 9, der für den 12. und 13. Oktober galt, lag an jeder Station aus, damit die Jugendlichen nach Abschluss einer Station genau über den weiteren Verlauf informiert waren. Weiter ist zu erkennen, dass immer zwei Gruppen gleichzeitig die Station „Energieproblematik“ und die Station „Energieversorgung“ besuchten. Deshalb mussten diese beiden zweimal aufgebaut werden, was sich aber als recht kompliziert darstellte, da der doppelte Aufbau erstens einen Mehraufwand an Materialien und zweitens einen größeren Raumbedarf bedeutete. Deshalb waren im Raum E070 immer drei Gruppen, was natürlich zu einem enormen Lärmpegel führte.

	9:00 - 10:00	10:00 - 10:15	10:15 - 11:15	11:15 - 12:15	12:15 - 13:00	13:00 - 13:15	13:15 - 14:00
	Station 1	Pause	Station 2	Station 3	Pause	Argu- mente sam- meln	Diskus- sions- runde
A	Energieversorgung		Wärmepumpe	Energieproblematik			
B	Energie im Haushalt		Energieproblematik	Energieversorgung			
C	Energieproblematik		Wärmedämmung	Energieversorgung			
D	Wärmedämmung		Energieversorgung	Energieproblematik			
E	Energieproblematik		Energieversorgung	Wärmepumpe			
F	Energieversorgung		Energieproblematik	Energie im Haushalt			

Tabelle 9.: Übersichtsplan für die Schüler

Bevor die Experimentierphase begann, wurden alle studentischen Betreuer vorgestellt, weshalb alle Betreuer bereits zum einführenden Vortrag vor Ort sein sollten. Die Schüler folgten nach dem Vortrag dem jeweiligen Betreuer zu ihren Stationen und durchliefen bis zur Mittagspause die drei Stationen. Im Anschluss wurden in einer viertelstündigen Phase die Ergebnisse aus der Station „Energieproblematik“ innerhalb der Gruppe noch einmal kurz aufbereitet und anschließend startete die Präsentations- und Diskussionsphase. Diese werden im Kapitel 5.3.5 näher erklärt. Den Abschluss des Schülerlabors bildete ein

kurzes Resümee vom Diskussionsleiter und schließlich wurde die Klasse verabschiedet und entlassen.

Alle Betreuer versammelten sich noch am selbigen Tag, um eventuelle Verbesserungsvorschläge zu besprechen. Diese wurden im Anschluss an den Versuchstag, solange es im möglichen Rahmen lag, noch umgesetzt.

Die Nachbearbeitungsphase

Nach Ende der dreitägigen Schülerlabordurchführungstage wurde das Labor abgebaut und die Betreuer interviewt (vgl. Kapitel 6.2). Es folgte die Auswertung der Evaluationsfragebögen und die sich darin anschließende erneute Überarbeitung des Labors.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden zunächst der einleitenden Vortrag und anschließend die Stationen vorgestellt. Im Kapitel 6 wird das Ergebnis der Evaluation diskutiert.

5.2 Der Vortrag

Alle Teilnehmer besuchten vor der Experimentierphase des Schülerlabors einen kurzen Vortrag. Hierdurch wird gewährleistet, dass eine physikalische Wissensbasis von allen Jugendlichen erlangt wird, auf welche die Schüler, die die voneinander unabhängigen Experimentierstationen durchlaufen, zum besseren Verständnis angewiesen sind. Nach der Begrüßung wurde kurz der Ablauf des Schülerlabortages vorgestellt und anschließend auf die Vermittlung der Grundlagen des Energiebegriffs übergegangen. Die Folien des Power-Point-Vortrages befinden sich in Kapitel 8.3, sowie auf der beiliegenden CD.

Da die Mitarbeit der Klasse bei dem einleitenden Vortrag eine große Rolle spielt, wurde zunächst versucht die Aufmerksamkeit der Jugendlichen auf den Redner zu lenken. Mit Fragen an die ganze Gruppe gerichtet, wie zum Beispiel: „Wo kommt man im Alltag mit Energie in Berührung?“ und „Wo findet man im Alltag Energie?“, kann das Interesse gesteigert werden. Bei allen drei Klassen konnte beobachtet werden, dass nach anfänglichem Zögern, die Schüler und Schülerinnen recht aktiv mitarbeiteten. Es wurden zahlreiche Energieformen, die bereits aus der Schule, oder auch aus dem Alltag bekannt waren, spontan genannt (Folie 3). Anschließend folgte die Frage: „Was ist Energie und was ist Leistung?“. Auch hierfür hatten einige Klassenmitglieder recht schnell eine passende Antwort parat (Folie 4). Es schloss sich die Wiederholung der Kilowattstunde, der unterschiedlichen Energieformen, des Wirkungsgrades, der Primär-, Sekundär- und Endenergie und des Energieerhaltungssatzes an, wobei immer wieder darauf geachtet wurde, ob die Schüler aktiv mitarbeiten, oder ob es einer gezielten Frage an die Zuhörer bedurfte, um die Aufmerksamkeit erneut auf den Vortrag zu lenken.

Die zweite Teilaufgabe des Vortrags lag darin, die Schüler für die Energieproblematik zu sensibilisieren. Aus diesem Grund wurden die Entwicklung der Weltbevölkerung und der damit einhergehende ständig steigende Weltenergieverbrauch angesprochen (Folie 9). Hierbei sollte verdeutlicht werden, dass manche Industriestaaten recht verschwenderisch mit der Energie umgehen (Folie 10). Es folgte die Besprechung einer der folgenreichsten Konsequenzen der Energieverschwendung, nämlich des Treibhauseffekts (Folie 16). Um die Folgen der Umweltverschmutzung den Schülern möglichst nahe zu bringen, wurden Abbildungen, Graphiken und Karikaturen verwendet, da zahlreiche Schüler empfänglicher für solche Art der Informationspräsentation sind (Folie 17 – 18). Auch kann somit wiederum die Aufmerksamkeit und das Interesse vermehrt auf das Vorgetragene geleitet werden. Deutschland trägt ebenfalls stark zur Umweltverschmutzung bei. Dies wurde mit der Folie 19 thematisiert. Während der Präsentation wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass die Erdölreserven und Erdölressourcen nur begrenzt sind. Diese letzten beiden Probleme bieten eine gute Überleitung zu den Gedankenmodellen: „Was kann nun jeder einzelne Bürger zur Verbesserung der Energieproblematik und dem damit eng verbundenen Klimawandel unternehmen?“ und „Welche Alternativen zur umweltfreundlichen Energiegewinnung gibt es?“.

Zum Abschluss des Vortrages wurde die Folie 22 aufgelegt. Diese Karikatur eignet sich hervorragend, um die Schüler zum Denken anzuregen. Sie soll verdeutlichen, dass so manche regenerative Energiequellen noch nicht vollkommen ausgeschöpft werden, obwohl sie beispielsweise gegenüber der Atomenergie oder der Energiegewinnung mit Kohle oder Erdöl viele Vorteile bieten.

Diese Arbeit wurde auf der Grundlage unterschiedlicher Herangehensweisen an den Energiebegriff konzipiert (vgl. Kapitel 4.1.1) und soll verschiedene Aspekte des Terminus Energie widerspiegeln. Hier muss angeführt werden, dass beim Besuch des Schülerlabors die Theorie bereits im Wissen der Schüler verankert sein sollte. Das Schülerlabor dient vorwiegend der Wiederholung und soll einen Überblick über die Thematik „Energie“ im Physikunterricht geben. Aus diesem Grund ist der Vortrag relativ kurz gehalten und es werden nur sehr knapp die einzelnen Teilbereiche der Energie angeschnitten. Die verwendete Theorie ist in Kapitel 4.1.2 bis 4.1.6 ausführlich dargestellt.

Grundsätzlich kann angeführt werden, dass die Schüler aller Teilnehmerklassen recht aufmerksam dem Vortrag folgten, was auch wiederum während der Experimentierphase durch produktive Beiträge bemerkbar wurde. Wie die Evaluation zeigt (Kapitel 6.1), hat der Vortrag bei den Klassen recht großen Anklang gefunden. Häufig wurde kommentiert, dass die zahlreichen Bilder, Karikaturen und Graphiken die Präsentation auflockern und die Darstellung recht ansprechend gestalten. Weiter wurde positiv vermerkt, dass sämtliche Gebiete der Energie angesprochen werden, auch solche, die noch völlig neu und unbekannt sind.

5.3 Schülerversuche

Der Aufbau des Schülerlabors „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ ist so gestaltet, dass die Teilnehmer weitestgehend selbständig und eigenverantwortlich die einzelnen Stationen durchlaufen und absolvieren können. Wie bereits oben erwähnt, stellen die beiden Stationen „Energieproblematik“ und „Energieversorgung“ Basisstationen dar, die jeder Schüler durchlaufen muss. Die anderen drei Stationen „Wärmedämmung“, „Energie im Haushalt“ und „Wärmepumpe“ sind weiterführende Experimentierstationen, die jeweils eine andere Möglichkeit zeigen, Energie zu sparen. In der nachfolgenden Ausarbeitung dieser Arbeit werden die einzelnen Teilstationen und die darin enthaltenen Experimente näher erklärt. Zu Beginn jedes Abschnitts werden unter der Überschrift „Motivation“ Überlegungen aufgeführt, die diesen Aufbau der Station rechtfertigen. Weiterhin wird illustriert, welche Lernziele in diesem Abschnitt verfolgt werden.

Im Anschluss folgt neben der Beschreibung der Versuchsaufbauten eine Erläuterung der zusätzlichen Informationen und Arbeitsschritte, die das Schülerhandout beinhaltet und welche durch die Station leiten. Je nachdem, um welchen Versuch es sich handelt und welches Thema darin behandelt wird, werden fachliche Ergänzungen genannt, sofern sie noch nicht im Kapitel 4 behandelt wurden. Diese sollen als Hilfestellung für eine erneute Durchführung des Labors dienen.

Kritische Stellen des Schülerlabors, an denen die Schüler und Schülerinnen ohne Mitwirken des Betreuers nicht vorwärts kommen, wurden dahingehend gehemmt, indem Hilfekarten entwickelt wurden. Auf diese Gedächtnishilfe wird an entsprechender Stelle ebenfalls verwiesen. Informationen für die Betreuer, die vor und während der Durchführung Beachtung finden sollten, werden unter der Überschrift „Hinweise für Betreuer“ abgehandelt. Bei diesen Hinweisen werden Probleme, aber auch sinnvolle Zusatzinformationen, aufgeführt, die bei der Probeversuchsdurchführung oder an den drei Labortagen aufgetreten sind.

Unter dem Punkt „Beobachtungen“ werden Eindrücke und Erfahrungen während der Labortage festgehalten. Darin enthalten ist die Motivation der Teilnehmer, die Fähigkeit zum Arbeiten in Teams und es wird angesprochen, inwiefern Teilversuche von den Schülern verinnerlicht worden sind.

Materialien und Experimente, die zwar ursprünglich geplant gewesen waren, aber aus Zeitgründen verworfen wurden, werden im Anschluss präsentiert und vorgestellt.

Um der weiteren Ausführung und Erläuterung der Versuche folgen zu können, ist es sinnvoll die in Kapitel 8.4 beigefügte Schülerversion zu lesen. Das Betreuerhandout befindet sich auf der beiliegenden CD.

5.3.1 Experimentierstation „Energieversorgung“

Motivation

Die Versuchsstation „Energieversorgung“ ist eine Pflichtstation und wird von allen Schülern absolviert. Jeder Mensch benötigt täglich Energie. Wo kommt aber die Energie her? Grobziel dieser Experimentierstation ist es, den Teilnehmern zu vermitteln, dass Energie nicht erzeugt werden kann, sondern lediglich von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden kann und somit die benötigte Energieart nur durch Umwandlungsprozesse gewonnen wird. Es gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Da dieses Wissen elementar für alle weiteren Stationen ist, wurde beschlossen, dass die Station „Energieversorgung“ von allen Jugendlichen durchlaufen werden muss.

Es soll speziell der grundlegende Gewinnungsprozess von elektrischer Energie in Kohlekraftwerken vermittelt werden. Da in der Bundesrepublik Deutschland 22,8 % der elektrischen Energie aus der chemischen Energie, durch Verbrennung des Primärenergieträgers Kohle, erzeugt wird und Kohle weltweit einer der wichtigsten und ältesten Energieträger ist, wird hier die grundsätzliche Funktionsweise eines Wärmekraftwerks diskutiert. Für die Durchführung dieser Einheit, müssen die Schüler ein grundlegendes Verständnis der Elektrik besitzen.

Die Einführung in die Station

Den Anfang dieser Station bildet eine Graphik, die die Stufen des Gewinnungsprozess von elektrischer Energie in Kohlekraftwerken verdeutlicht. Die Graphik beinhaltet Lücken, in welcher die Schüler beispielsweise die Turbine, den Generator oder den Kühlturm, benennen sollen. Mit den im Anschluss beschriebenen Experimenten werden die Induktion, der Drehstromgenerator, der Transformator und die Energieübertragung durch Hochspannungsleitungen demonstriert. Die Reihenfolge der Versuche ergibt sich aus den nacheinander aufbauenden Teilbereichen eines Wärmekraftwerks, in denen die Energie oftmals umgewandelt wird, bis sie endlich als elektrische Energie dem Verbraucher zur Verfügung steht.

Hinweise für die Betreuer

Zahlreiche Schüler haben Probleme, den Aufbau eines Wärmekraftwerks grob skizzieren zu können. Aus diesem Grund wurde, basierend auf den Erfahrungen aus dem Testlauf des Schülerlabors, eine Hilfekarte erstellt, die der Betreuer den Teilnehmern bei Bedarf aushändigen kann. Diese Karte 1 befindet sich im Anhang unter Kapitel 8.5. Aus dieser Gedächtnisstütze können die benötigten Details entnommen werden, die für die Bearbeitung des Lückentextes relevant sind. Die Aufgabe des Betreuers ist es, mit der Gruppe die Graphik zu besprechen. Das Problem eines Labortages, in welchen die Schüler größtenteils selbständig arbeiten sollen, ist, dass die Teilnehmer die zu lesenden

und diskutierenden Passagen gerne überspringen oder nur überfliegen. Da diese Station aber wichtige Themen, die auch für die weiteren Stationen von großer Relevanz sind, beinhaltet, ist hier eine leitende und führende Person unerlässlich. Neben den nachfolgenden Themengebieten, die anhand eines Experimentes thematisiert werden, sind besonders die Diskussion über die Entstehung der Wärmeenergie im Brennkessel eines Kohlekraftwerkes, sowie das Funktionsprinzip einer Turbine und die damit verbundene Umwandlung von thermischer Energie zu mechanischer Energie, zu nennen. Die Schüler sollen erkennen, dass Energie nicht erzeugt werden kann. Sie ist nur in einer bestimmten Energieform gespeichert und wird je nach Bedarf in eine andere verwendbare Energieform gewandelt. Dieser Sachverhalt muss vom Betreuer explizit angesprochen werden.

Versuch 1: Die elektromagnetische Induktion

Motivation

Der Versuch 1 soll das Prinzip der elektromagnetischen Induktion behandeln. Grundlage jeglicher elektrischen Maschine, egal ob Generator oder Motor, ist die elektromagnetische Induktion. Zwar soll das Labor zu Wiederholung dienen, dennoch wurde bereits bei der Entwicklung der Station berücksichtigt, dass eventuell Schüler einer Jahrgangsstufe der Realschule oder des Gymnasiums das Labor besuchen könnten, für welche die Induktion unter Umständen ein relativ neues Themengebiet darstellt. Die Versuche, die die Schüler durchführen sollen, beginnen daher mit einem Grundlagenversuch zur Einführung der Induktion. Ziel dieses Experimentes ist, den Schülern zu verdeutlichen, was unter der elektromagnetischen Induktion verstanden wird. Außerdem soll geklärt werden, wovon die Induktion abhängig ist.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Digitalspeicher – Oszilloskop Tektronix
- Messverstärker Didactic GmbH; 220 – 240 V~; 110 – 130 V~ ;T 0,63 A
- Stativ
- Stabmagnet
- Leiterschleife
- Krokodklemmen
- Verbindungsstecker

Der Aufbau des Experimentes ergibt sich aus Abbildung 5.7. Die Teilnehmer haben die Aufgabe, das Ende eines langen Stabmagneten rasch in das Innere der Spule zu bewegen und dabei den Zeigerausschlag des Messgerätes zu beobachten. Nach einer kurzen Wartezeit, bis der Zeiger des Oszilloskops wieder ganz auf null zurückgegangen ist, soll der Magnet wieder aus der Spule herausgezogen werden. Anhand der Beobachtung, die die Schüler gemacht haben, wird innerhalb der Gruppe diskutiert, was genau unter der

elektromagnetischen Induktion zu verstehen ist und wie der Verlauf des Graphen, der an der Anzeige des Messgerätes erkennbar ist und im Handout skizziert werden soll, interpretiert werden kann.

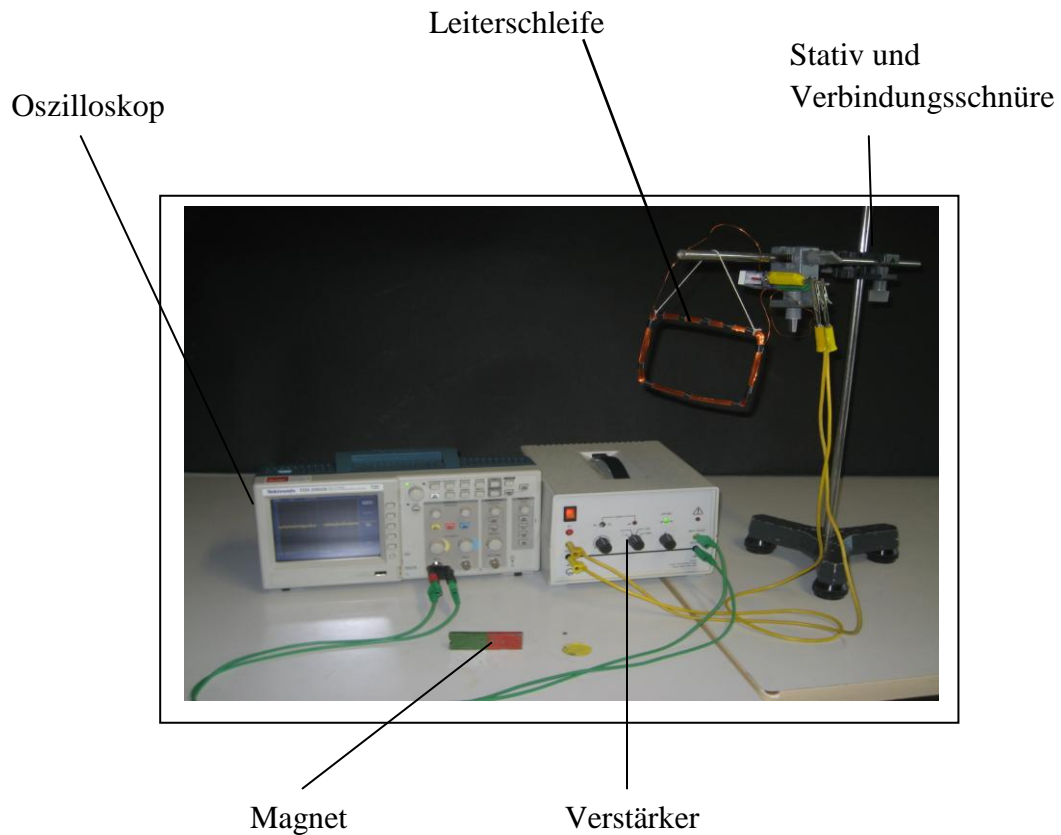


Abb. 5.7: Energieversorgung - Aufbau Versuch 1 – Die elektromagnetische Induktion

Eigens für diesen Teilbereich des Versuchs ist ein Vorwissen der Teilnehmer über trigonometrische Funktionen erforderlich. Auf dieses Vorwissen wird beim Experiment 2 näher eingegangen. Im Anschluss soll getestet werden, von welchen Variablen die Größe und die Richtung der erzeugten Spannung abhängig ist.

Hinweise für die Betreuer

Ursprünglich war geplant, dass die Schüler den Versuchsaufbau, so wie er in ihrem Handout beschrieben und abgebildet ist, nachbauen sollen. Da aber die teilnehmenden Klassen die elektromagnetische Induktion noch nicht besprochen hatten, wurde beschlossen, dass dieser Versuch bereits vollständig aufgebaut war, sobald zu experimentieren begonnen wurde. Dies hatte zum einen den Vorteil, dass die betreuende Person intensiver und länger auf den Inhalt dieses Experimentes eingehen konnte, falls Bedarf bestand, und zum zweiten konnte die Feineinstellung des Oszilloskops beibehalten werden und musste nicht nach jeder Versuchsdurchführung erneuert werden.

Da die Abhängigkeit der Größe und der Richtung der induzierten Spannung von der Stärke und von der Bewegungsgeschwindigkeit des Magneten, sowie von der Bewegung des Magneten senkrecht zum Leiter abhängig ist, muss zum exakten Erkennen der obigen Eigenschaften, die Ablenkung des Lichtstrahles am Oszillographen, in der horizontalen und vertikalen Achse, relativ langsam erfolgen. Diese Einstellungen am Messgerät nehmen viel Zeit in Anspruch. Deshalb war es die Aufgabe des Betreuers, die Teilnehmer darauf hinzuweisen, dass die Einstellungen am Messgerät bei diesem Experiment nicht verändert werden durften.

Beobachtungen

Für kommende Schülerlabordurchführungen ist es sinnvoll, den Aufbau des Versuchs Nummer 1 von den Teilnehmern vornehmen zu lassen, da das Anschließen der Leiterschleifen über einen Messverstärker an ein Oszilloskop von zahlreichen Schülern als recht schwierig, aber dennoch als lehrreich beurteilt wird. Besonders Mädchen wissen häufig nicht, wie sie an die Geräte herangehen sollen und trauen sich nicht mit diesen zu experimentieren. Speziell bei diesem Teilversuch wurde während der Durchführung mehrfach festgestellt, dass die Schülerinnen oftmals ihren Kollegen das Experimentieren überließen und sich lieber im Hintergrund hielten. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, für diesen Teilversuch mehr Zeit einzuplanen, sodass auch den Mädchen die Möglichkeit geboten wird, mit Spannungsmessgeräten, Spulen, Magneten etc. zu hantieren.

Versuch 2: Der Drehstromgenerator

Motivation

Dieses Experiment zeigt exemplarisch den heute in nahezu allen Kraftwerken eingesetzten Drehstromgenerator. Dieser Generatortyp ist in unserer unmittelbaren technischen Umwelt die am meisten verwendete Bauart, sie ist allerdings nicht die einfachste. Daher ist es relevant, dass die Teilnehmer vor dem Besuch des Schülerlabors Grundlagen des Generatorprinzips im Unterricht behandelt haben. Auch hier sind Kenntnisse über trigonometrische Funktionen erforderlich.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötige Materialien:

- 3 Spulen (600 Windungen)
- Laptop
- Powerlink,
PASKO-Datenlogger
- Magnet mit Dreh-
vorrichtung
- Spannungssensoren
- Bohrmaschine

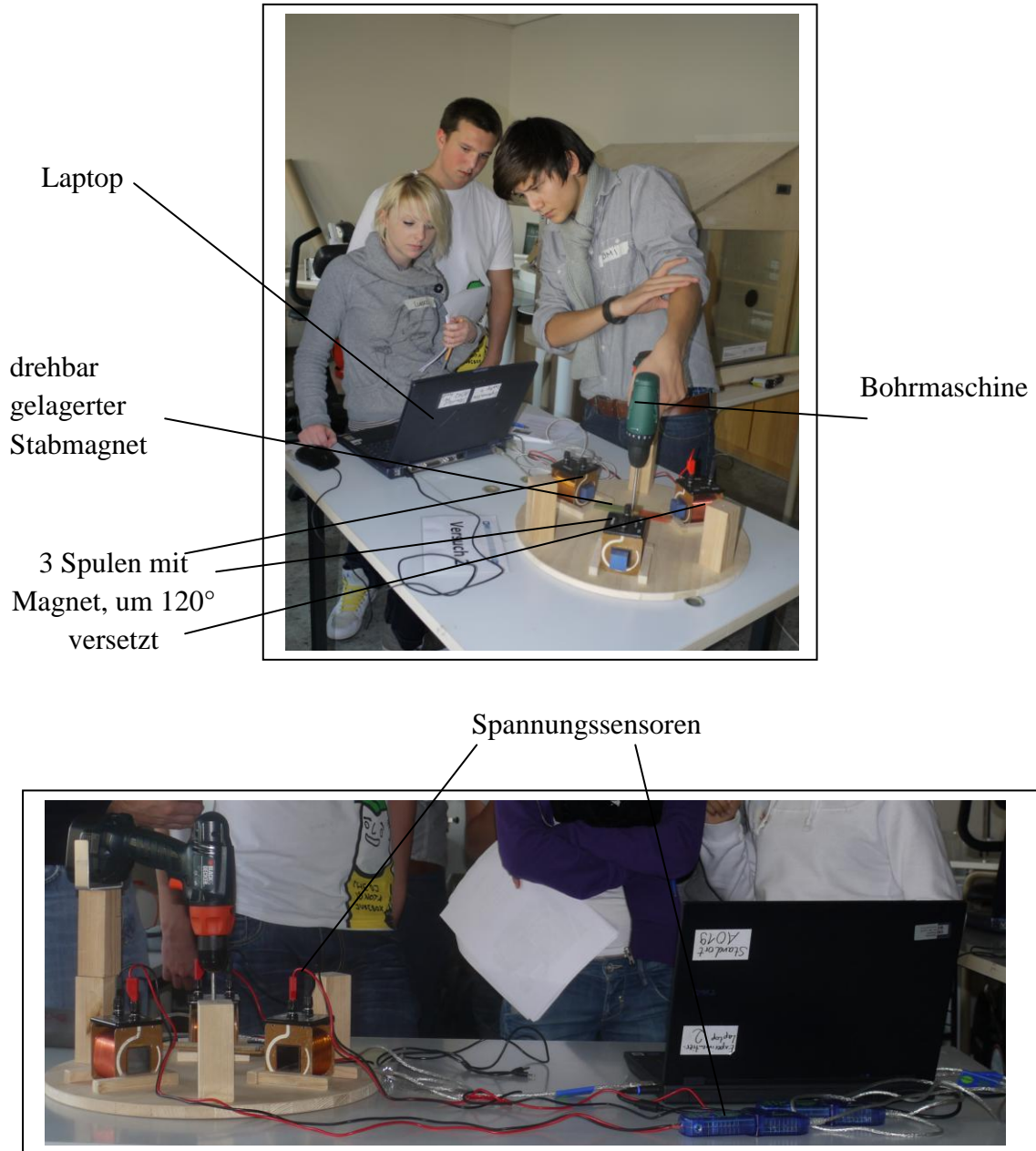


Abb. 5.8: Energieversorgung - Aufbau Versuch 2 – Drehstromgenerator

Der Laptop ist bereits vor der Schülerlabordurchführung hochgefahren und der Schülerlabormodus am PC bereits gestartet. Der Aufbau besteht aus drei elektrischen Spulen, die sich in der für die Drehstromerzeugung typischen Anordnung, im Kreise versetzt um 120 Grad, befinden. Diese Spulen sind je mit einem Spannungssensor verbunden. Im Kreismittelpunkt befindet sich ein drehbar gelagerter Stabmagnet, der durch eine Bohrmaschine gleichmäßig zum Drehen gebracht wird. Wenn der Magnet rotiert, kommen dessen Pole der Reihe nach im Wechsel an den Polschuhen der Spulen vorbei. Dadurch wird in jeder der drei Spulen, die am Desktop farblich mit drei verschiedenen Farben gekennzeichnet sind, eine Wechselspannung induziert. Die Bohrmaschine wird von einem Teilnehmer der Gruppe bedient. Dabei ist darauf zu

achten, dass eine gleichmäßige Drehbewegung des Magneten gewährleistet wird. Die restlichen Mitglieder der Experimentiergruppe versammeln sich vor dem Laptop. Das Programm „DataStudio“ wird aktiviert und der Button „Start“ wird gedrückt. Auf dem Bildschirm kann der Verlauf der drei Graphen beobachtet werden. Anschließend wird die Aufzeichnung am Computer gespeichert.

Hinweise für die Betreuer

Die oben erwähnte und im Experiment 2 verwendete Einheit, bestehend aus Spulen und eines Magneten, rotiert im Inneren eines Drehstromgenerators. Während des Rotierens muss die Spule mit Strom versorgt werden, damit sie ein kräftiges Permanentmagnetfeld aufbaut. Hier muss mit den teilnehmenden Personen des Labors diskutiert werden, wie der rotierende Magnet auf feststehende Spulen wirkt. In diesem Zusammenhang ist die aus Versuch 1 erläuterte elektromagnetische Induktion zu erwähnen.

Das Diagramm (Abb. 5.9) zeigt den zeitlichen Verlauf dieser drei Wechselspannungen. Aufgetragen ist die Spannung U in Abhängigkeit vom Drehwinkel φ . Es sollte sich die drehstromtypische Darstellung mit den drei zeitversetzt hintereinander hereilenden Wechselspannungskurven ergeben.

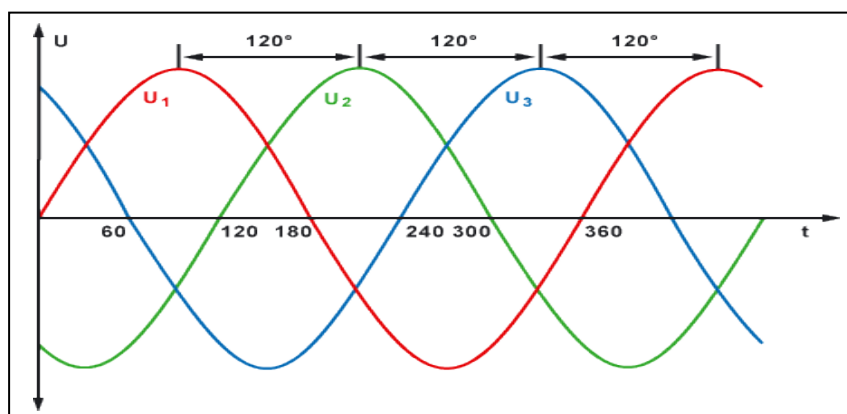


Abb. 5.9: Zeitlicher Verlauf der Spannungsstränge

Wie bereits oben erwähnt wird die induzierte Spannung mit einem PASCO Datenlogger mit Software aufgezeichnet. Dieses System erlaubt es, mit drei analogen Spannungskanälen zu arbeiten. So können drei Spulen mit der gleichen Anzahl an Wicklungen im Abstand von 120° um den sich drehenden Magneten platziert werden um einen Drehstromgenerator herzustellen. Die sich ergebenden Linien sollen sich in den aufeinander folgenden Phasen um 120° unterscheiden, was sich durch das Überprüfen des Abstandes von einem Drittel der Periode zwischen den Linien nachweisen lässt (siehe Abb. 5.9) [DIX05]. Die Abbildung 5.10 zeigt die Verläufe der Graphen, wie sie auf dem Bildschirm während der Schülerlabordurchführung erscheinen. Zwar kann die Verschiebung der drei Spannungsstränge um 120° deutlich erkannt werden, dennoch ergibt sich kein reiner sin-Verlauf.

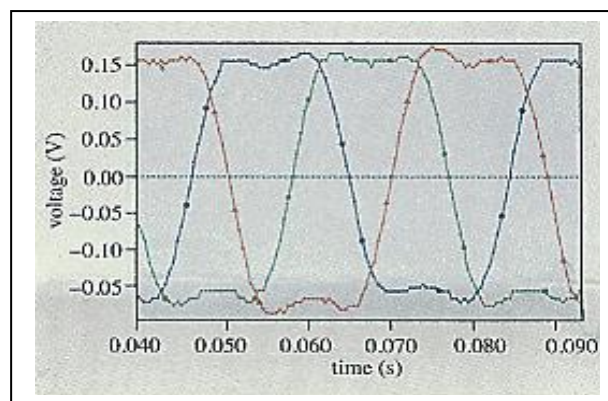


Abb. 5.10: Zeitlicher Verlauf der Spannungsstränge mit PASKO - Datenlogger

Dieser Sachverhalt kann zum Beispiel auf den verwendeten Stabmagneten zurückzuführen sein. Tritt der Magnet in das Feld der Spule ein, ändert sich der magnetische Fluss und es wird eine Spannung induziert. Derselbe Effekt geschieht jedoch aber auch in dem Moment, wenn der Magnet das Feld der Spule wieder verlässt, also in relativ kurzer Zeit hintereinander. Andererseits kann speziell bei dieser Bauweise der Fall eingetreten sein, dass die drei Spulen nicht exakt um 120° verschoben zueinander angeordnet sind. Eine ungleichförmige Bewegung des Magneten durch die Bohrmaschine kann ebenfalls zu einer unregelmäßigen Darstellung der Graphen führen. Diese beschriebenen Problemstellungen sollten mit den Schülern geklärt werden. Um den Teilnehmern einen exakten Verlauf der Spannungsstränge präsentieren zu können, wurde vorab auf den Laptop eine Version mit Sinusfunktionen, die genau um 120° verschoben sind, installiert. Anhand dieser Datei kann der Drehstrom besprochen werden.

Beobachtung

Interessanterweise war der Versuch 2 innerhalb der Station „Energieversorgung“ der Anziehungspunkt für die Schüler. Fast alle Teilnehmer zeigten großes Interesse, sowohl am Aufbau dieses Experiments, als auch an der dazugehörigen Datei. Nahezu jeder Junge und jedes Mädchen wollte einen möglichst „gutaussiehenden“ Graphen erstellen. Auch die Theorie, die hinter diesem Teilversuch steckt, wurde zahlreich hinterfragt. Die Sachlage, dass von sechs Anschlüssen der drei Spulen je ein Anschluss zu einem gemeinsamen Leiter zusammengefasst wird und somit vom Drehstromgenerator vier Leitungen ausgehen, analog zu Freileitungen, erweckte ebenfalls große Aufmerksamkeit. Hier wurde ein Bezug zum Alltag geschaffen, da jeder Schüler bereits bemerkt hatte, dass von einem Traföhäuschen immer vier Drähte ausgehen. Hier war erstaunlicherweise keine Scheu und kein Desinteresse bei den Mädchen erkennbar.

Wie bereits oben erwähnt, sind im Versuch Nr. 1, als auch im Versuch Nr. 2, trigonometrische Vorkenntnisse nötig. Im ersten Experiment soll der Verlauf einer Sinusfunktion erkannt und diskutiert werden. Im nachfolgenden Experiment wird die Lage der drei Graphen zueinander thematisiert. Die Schüler erfahren, dass die Mathematik in vielen alltäglichen Situationen oder in der Technik hilfreich ist. Die

Mathematik ist nicht nur Theorie ohne praktische Anwendungen, sondern auch über ihr eigenes Fach hinaus weit verzweigt bzw. Grundlage für fast alle anderen naturwissenschaftlichen Fächer sowie der Technik. In vielen Fällen hatten die Teilnehmer bei dieser Station große Probleme mit den Graphen. Die Mädchen und Jungen der Realschule Gemünden hatten zwar Sin- und Cos-Funktionen im Unterricht noch nicht besprochen, in den beiden Gymnasiumklassen waren trigonometrische Funktionen laut Angabe der Lehrkräfte aber bereits Thema. Es zeigte sich, dass es für die Jugendlichen schwer ist, die Mathematik und die Physik in Verbindung zu bringen und zu erkennen, dass mit Unterstützung der Mathematik die Physik erklärt werden kann. Aus diesem Grund wurde an dieser Stelle versucht, fächerübergreifende Aspekte, wie beispielsweise den Verlauf der Sinusfunktion, anzuführen.

Versuch 3

Der Transformator und die verlustarme Übertragung elektrischer Energie über weite Strecken I

Motivation

In den folgenden zwei Experimenten der Station „Energieversorgung“, Versuch 3 und Versuch 4, wird das Prinzip der Hochspannungsgleichstromübertragung mit Modellversuchen veranschaulicht. Neben der Wiederholung der Funktionsweise eines Transformators sollen die Schüler erkennen, dass nur bei Hochspannung eine relativ verlustarme Energieübertragung über weite Strecken möglich ist.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Da die erzeugte elektrische Energie über große Entfernungen zu den Endverbrauchern transportiert werden muss, werden Transformatoren benötigt. Zunächst wird den Schülern die Frage gestellt, wie ein Transformator funktioniert? Dabei soll eine kleine Skizze eines Transformators aufgezeichnet und die wichtigsten Bestandteile benannt werden (vgl. Abb. 5.11). Bei Unklarheiten kann die Hilfekarte 2 herangezogen werden.

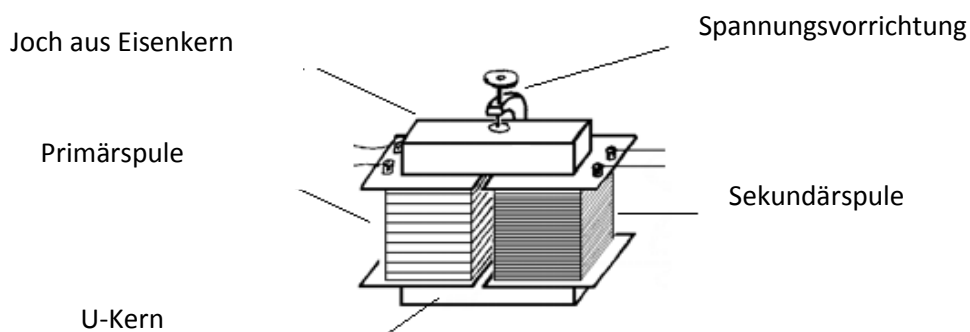


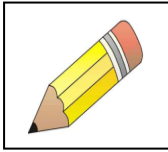
Abb. 5.11: Aufbau eines Transformators [INTQ66]

Anschließend folgt die Durchführung des Experimentes 3.

Benötigte Materialien:

- Spannungsquelle (6V~), Phywe
- Glühlampe (6V, 5A)
- 2 Digital-Multimeter Voltcraft V3610 oder M3610
- Verbindungsschnüre
- Draht aus Konstantan (1,10m; $\varnothing = 4\text{mm}$)
- Halterungen für den Draht

Im Handout der Schüler findet sich eine genaue Erläuterung des Versuchsaufbaus (vgl. Abb. 5.12).



Prüfe, ob der Versuch richtig aufgebaut ist.

Ausgehend von der Spannungsquelle 6V~, soll das Drehspulmessinstrument mit Messbereich 3A, ein Draht, das Vielfachmessinstrument, die Glühlampe und der zweite Draht in Reihe geschaltet werden.

Abb. 5.12: Versuchsbeschreibung Experiment Nr. 3 Station Energieversorgung

Die Teilnehmer sollen überprüfen, ob die Gerätschaften richtig angeschlossen sind. Natürlich wurden vorab die Verbindungsschnüre falsch gesteckt. Dies hat den Vorteil, dass sich die Jugendlichen intensiv mit dem Aufbau des Experimentes beschäftigen und überlegen müssen, wie schaltet man Instrumente in Reihe. Nach Überprüfung der Schaltung durch den Betreuer soll das Schaltbild dieses Versuchs kurz skizziert und mit den wichtigsten Benennungen beschriftet werden (Abb. 5.13). Mittels dieses Demonstrationsversuches soll den Schülern die Notwendigkeit des Einsatzes von Hochspannung zur Spannungsübertragung über weite Strecken bewusst werden. Zunächst soll eine Lampe mit obigen Betriebsdaten über eine Fernleitung betrieben werden. Die Fernleitung wird simuliert durch zwei Drahtschnüre aus Konstantan. Die Schüler beobachten, dass die Lampe nicht leuchtet.

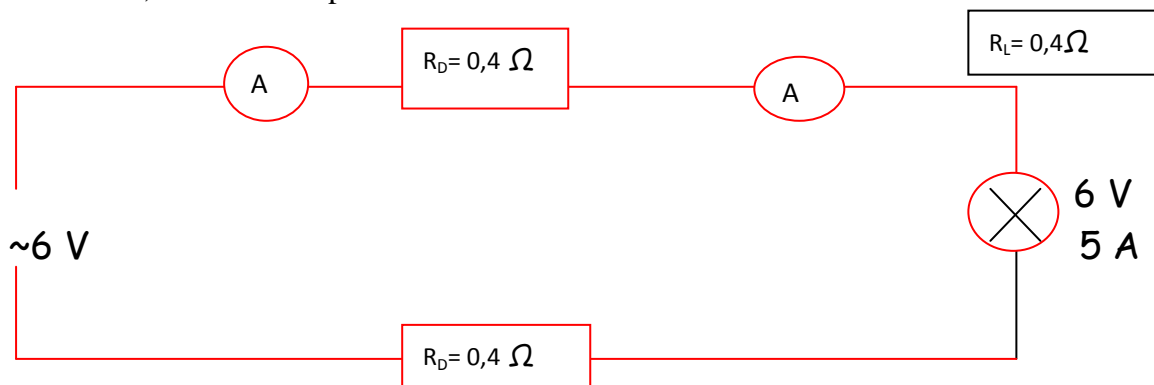


Abb. 5.13: Energieversorgung - Schaltbild des Experimentes 3

Versuch 4:

Die verlustarme Übertragung elektrischer Energie über weite Strecken II

benötigte Materialien:

- Materialien aus Versuch 3
- Joch aus Eisen
- U-Kern
- Spannvorrichtung
- zwei Spulen ($N=12000$)
- zwei Spule ($N=750$)

Im zweiten Versuchsteil, Experiment 4, wird der analoge Aufbau verwendet, nur wird vor die „Fernleitung“ ein Hochspannungstransformator (Übersetzungsverhältnis $n_p:n_s = 16:1$) und hinter der „Fernleitung“ ein Niederspannungstransformator (Übersetzungsverhältnis $n_p:n_s = 1:16$) in die Schaltung eingebaut. Die Teilnehmer haben die Aufgabe, Versuch 3 so zu verändern, dass die Lampe leuchtet. Es folgt eine Diskussion der Beobachtung.

Hinweise für die Betreuer

Bei der Wiederholung des Transformators müssen sich die Helfer versichern, dass die Schüler folgendes Wissen parat haben:

- Mithilfe von Transformatoren wird auf der Erzeugerseite eine niedrige Spannung auf eine Hochspannung hochtransformiert. Auf der Abnehmerseite wird die Hochspannung mit einem Transformator wieder auf das gewünschte Spannungsniveau des Netzes heruntertransformiert.
- Transformatoren arbeiten nur mit Wechselstrom.

Sollten gewisse Lücken festzustellen sein, muss der Betreuer den Transformator anhand eines Modells erneut erklären. Ein Modell steht am Arbeitsplatz bereit.

Beim Experimentieren hat der Betreuer explizit darauf zu verweisen, dass sobald die Spannungsquelle eingeschaltet ist, kein Material mehr berührt werden darf. Auch auf den richtigen Aufbau der Experimente 3 und 4 ist zu achten.

Bei der Diskussion am Schluss des Versuchs 4 ist zum Verständnis ein formelmäßiges Betrachten der physikalischen Zusammenhänge wichtig. Es werden die Abhängigkeit der Leistungsverluste P_V von der Stromstärke I ($P_V = U \cdot I = R \cdot I^2$) und damit die Notwendigkeit für das Prinzip, den Strom über weite Strecken auf hohe Spannungen zu transformieren, verdeutlicht.

Zusätzlich wurde eine letzte Hilfekarte für diese Station erstellt, die einen Überblick über den Transport und die Verteilung von elektrischer Energie liefern soll. Diese Karte 3 (vgl. Kapitel 8.5) soll den Schülern ebenfalls überreicht werden.

Beobachtungen

Für die gesamte Station „Energieversorgung“ war aufgrund der Tatsache, dass nur wenig Vorwissen bei den Schülern vorhanden war, zu wenig Zeit angesetzt. Die Versuche 3 und 4 wurden deshalb vorwiegend von den Betreuern vorgeführt und die Ergebnisse innerhalb einer Sitzgruppe diskutiert.

Diese Station „Energieversorgung“ wurde zweimal aufgebaut, da alle Teilnehmer diese Pflichtstation absolvieren mussten. Da während der Schülerlabordurchführung zu wenig freie Räume zur Verfügung standen, befand sich im Raum E070 neben diesen beiden oben erwähnten Versuchsreihen auch noch die Station „Energie im Haushalt“. Aufgrund dieser Situation war der Lärmpegel in diesem Raum extrem hoch. Für zukünftige Durchführungen ist äußerst empfehlenswert, die Station „Energieversorgung“ alleine in einem Zimmer zu platzieren, da hier wesentliche Grundlagen der Elektrizitätslehre besprochen werden, die eine hohe Aufmerksamkeit fordern.

Zusatzaufgabe I:

Die Station „Energieversorgung“ beinhaltet eine Zusatzaufgabe, die von Schülern bearbeitet werden kann, die sehr motiviert sind, oder keine volle Stunde für die Durchführung der Station benötigt haben. Diese Übung behandelt die Spitzenlast, Grundlast und Mittellast (vgl. Kapitel 8.4). Es soll beraten werden, welche Kraftwerkstypen in Deutschland die Grundlast und welche Typen die Spitzenlast abdecken können.

In Deutschland dienen zur Gewinnung elektrischer Energie in erster Linie Wärmekraftwerke und in zweiter Linie Kernkraftwerke, wie etwa das Kraftwerk in Grafenrheinfeld bei Schweinfurt. Auch Wasserkraft nimmt eine bedeutende Rolle ein. All diese Werke decken die Grundlast. Zur Abdeckung des über die Grundlast hinausgehenden Bedarfs an elektrischer Energie, der Spitzenlast, dienen Pumpkraftwerke. Ein Pumpspeicherkraftwerk befindet sich zum Beispiel in Gemünden am Main (Franken). Die Mittellast decken Steinkohle- und Gaskraftwerke ab.

nicht verwendete Experimente und Rechenbeispiele:**Zusatzaufgabe II:**

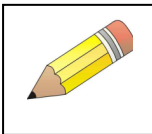
Wie bereits oben erwähnt, wird im Anschluss an Versuch 4 die Abhängigkeit der Leistungsverluste P_V von der Stromstärke I angesprochen. Ein Rechenbeispiel kann zum besseren Verständnis führen. Anfangs war folgende Aufgabe (Abb. 5.14) in das Handout der Schüler integriert. Diese wurde allerdings nach der Schülerlabordurchführung dem Arbeitsblatt wieder entnommen, da die Bearbeitung des Rechenbeispiels den zeitlichen Rahmen von einer Stunde sprengte.

Für den Widerstand der Leitung gilt:

Zwischen der Länge l eines Drahtes, seiner Querschnittsfläche A und seinem Widerstand besteht folgender Zusammenhang

$$R_D = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ρ = spezifischer Widerstand; l = Länge der Leitung; A = Querschnitt der Leitung



Berechne mit Hilfe der Tabelle den Widerstand des Drahtes und den elektrischen Widerstand R_L der Lampe.

$$R_D = 500 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 1,10 \text{ m} : 12,56 \text{ mm}^2$$

$$= 0,4 \Omega$$

$$R_L = U : I = 6 \text{ V} : 5 \text{ A} = 1,2 \Omega$$

Wie groß ist bei dem Versuch Nr. 3 die Stromstärke und der Spannungsabfall an der Lampe?

$$I_L = 6 \text{ V} : (2 \cdot 0,4 \Omega + 1,2 \Omega) = 2,88 \text{ A}$$

Die Stromstärke ist also zu gering, deswegen leuchtet die Lampe nicht.

$$U_L = 1,2 \Omega \cdot 2,88 \text{ A} = 3,45 \text{ V}$$

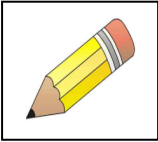
Material	Spezifischer Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Aluminium	$26,5 \cdot 10^{-3}$
Blei	$208 \cdot 10^{-3}$
Eisen	$1,0 \cdot 10^{-1} \text{ bis } 1,5 \cdot 10^{-1}$
Gold	$22,14 \cdot 10^{-3}$
Konstantan	$500 \cdot 10^{-3}$
Messing	$70 \cdot 10^{-3}$
Kupfer (rein)	$16,78 \cdot 10^{-3}$

Die bei dem Versuch für die in der Übertragungsleitung verlorene Leistung ist demnach:

$$P_{\text{Verlust}} = \Delta U_{\text{Leitung}} \cdot I = R_{\text{Leitung}} \cdot I \cdot I = 2 \cdot R_{\text{Draht}} \cdot I^2 = 2 \cdot 0,4 \Omega \cdot 2,88 \text{ A} = 7,3 \text{ Watt}$$

Wird die elektrische Leistung P_{el} mit einer Hochspannung U_H über die Leitung mit dem Gesamtwiderstand R_{Leitung} übertragen, dann gilt für die in der Leitung verlorene Leistung P_{Verlust} :

$$P_{\text{Verlust}} = \frac{R_L \cdot P_{\text{el}2}}{U_{H2}^2} \quad \mathbf{16}$$



Berechne nun die Verlustleistung.

$$P_{\text{Verlust mit Trafo}} = \frac{R_L \cdot P_{\text{el2}}}{U_{\text{H2}} \cdot \frac{N_s}{N_p}} = \frac{2 \cdot 0,4 \, \Omega \cdot (6\text{V} \cdot 5\text{A})^2}{(6\text{V} \cdot 16)} = 0,1 \text{ Watt}$$

Um wie viel hat sich die Verlustleistung verringert?

$$\frac{7,3 \text{ Watt} - 0,1 \text{ Watt}}{7,3 \text{ Watt}} = 99 \%$$

Abb. 5.14: Energieversorgung – Rechenbeispiel zu Versuch 3 und 4

Versuch 5: Modellexperiment zur Dampfturbine

Motivation:

Während der Planungsphase des Schülerlabors wurde ein Modell zur Dampfturbine erbaut. Dieses Experiment war ursprünglich als erster Versuch in der Station „Energieversorgung“ geplant. Aus zeitlichen Gründen musste es aber leider verworfen werden, obwohl hiermit das Funktionsprinzip einer Turbine gut erläutert werden kann.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung:

Benötige Materialien:

- Erlenmeyerkolben (500 ml)
- zweifach durchbohrter Stopfen
- 2 gewinkelte Glasröhren mit Spitzen
- Bunsenbrenner mit Dreifuß und Drahtgewebe mit Asbest
- kleines Ventilatorrad aus Plastik

In den Verschlussstopfen eines Erlenmeyerkolbens setzt man die gewinkelten, mit Spitzen versehenen Glasröhren, ein. Die Spitzen sind entgegengesetzt zueinander schräg nach oben, beziehungsweise nach unten, umgebogen. Der Erlenmeyerkolben wird mit etwas Wasser gefüllt und über einem Bunsenbrenner erwärmt. Wenn das Wasser siedet, entströmt den Düsen je ein Dampfstrahl. Die Dampfstrahlen treffen schräg auf die Schaufeln des Ventilatorrades und bringen das Rad zum Drehen. Anhand dieses Experimentes (vgl. Abb. 5.15) kann eine Turbine erläutert werden.

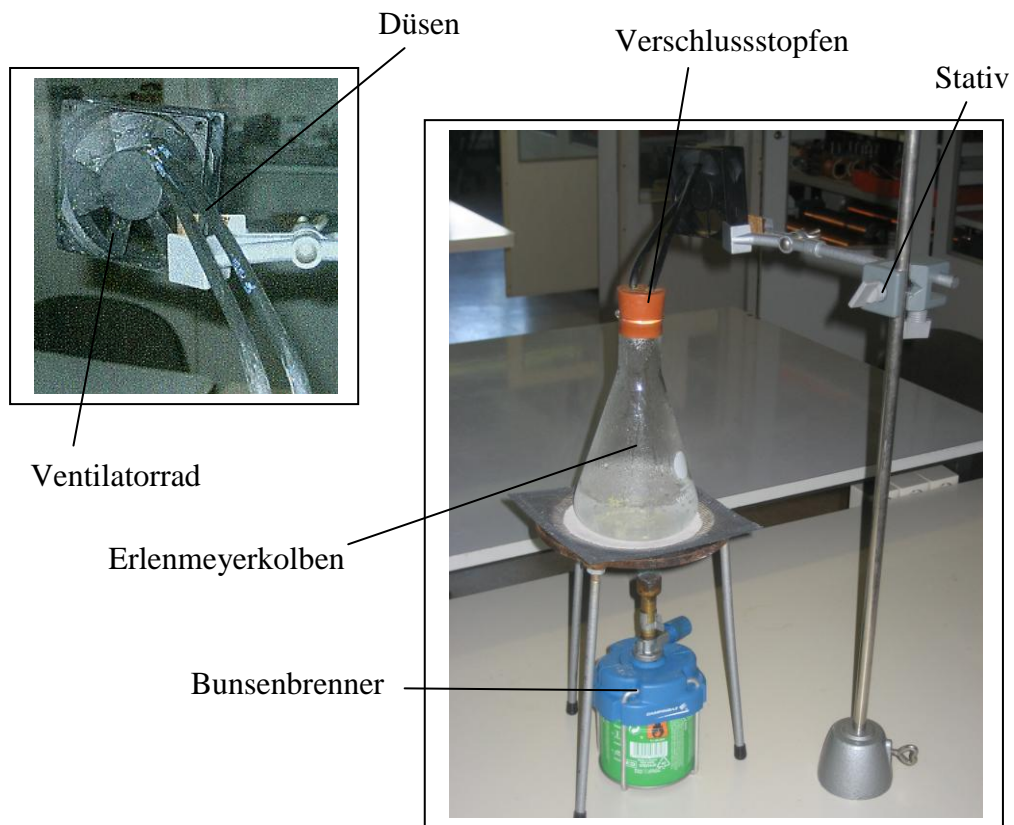


Abb. 5.15: Modellexperiment zur Dampfturbine

Aufgabe der Jugendlichen ist es, den Versuch laut den Angaben im Handout aufzubauen, dass Wasser zum Kochen zu bringen und schließlich mit dem entstehenden Dampf ein Rad anzutreiben.

Hinweise für die Betreuer

Das größte Problem dieses Experiments ist die Zeit, bis das Wasser zu Kochen beginnt. Den richtigen Winkel zu finden, in welchem der Dampf auf die Ventilatorplättchen trifft und diese antreibt, ist ebenfalls sehr langwierig.

5.3.2 Experimentierstation „Wärmedämmung“

Motivation

Innerhalb dieser Station lernen die Schüler die Möglichkeit kennen, mittels Wärmedämmung Energie zu sparen. Das Grobziel dieser Station ist es, den Schülern bewusst zu machen, wie wichtig eine effektive Wärmedämmung ist, dass diese mit wenig Aufwand herzustellen ist und wieviel Energie man dadurch sparen kann. Die Schüler sollen die Arten des Wärmetransports kennen lernen und erfahren, wie Energieverluste durch Wärmetransport entstehen können.

In der Realschule werden die unterschiedlichen Arten des Wärmetransports in der 9. Jahrgangsstufe behandelt. Das Thema „Wärmeleitung“ wird allerdings laut bayerischen G8 Lehrplan in Physik leider nicht durchgenommen, obwohl Wärmedämmung in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielt. Das Thema „Wärmedämmung“ wird in keinem Lehrplan der beiden Schularten explizit aufgeführt, jedoch besteht im Gymnasium die Möglichkeit, in der achten Klasse, im Rahmen des Themenbereichs „Energietechnik“, diese Thematik zu behandeln. Mithilfe dieser Experimentierstation wird versucht, den Schülern in kurzer Zeit, diese wichtigen Inhalte näher zu bringen. Da viele Formeln und Rechnungen für einen Schüler der Mittelstufe zu schwer sind, wurden in dieser Einheit Formen und Rechnungen vereinfacht bzw. teilweise ganz weggelassen.

Wie oben erwähnt, entstehen Energieverluste durch Wärmetransport. Dieser Wärmetransport kann auf unterschiedliche Art erfolgen, nämlich in festen Stoffen durch Wärmeleitung, in Gase und Flüssigkeiten zusätzlich durch Konvektion und bei strahlungsdurchlässigen Stoffen durch Wärmestrahlung. Diese verschiedenen Arten des Wärmetransportes werden im Folgenden experimentell erarbeitet. Im Versuch 4 werden verschiedene Materialien und deren unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit näher betrachtet.

Die Einführung in die Station

Die Station „Wärmedämmung“ startet mit der Frage: „Was ist eigentlich ein Passivhaus?“.

Die Teilnehmer erhalten durch einen Vergleich mit einer Thermoskanne eine Erklärung des Begriffs Passivhaus (vgl. Abb. 5.16).

Mit einer guten Isolierung kann bei Häusern demnach Energie gespart werden. Je nach Art des Hauses benötigt man mehr oder weniger Energie, um „verlorene“ Energie eines Gebäudes wieder zu ersetzen. Diesen Wert bezeichnet man als Heizwärmebedarf. Die Schüler haben die Aufgabe, zu diskutieren, wie man den Heizwärmebedarf P_H berechnen könnte. Anschließend soll ihr Ergebnis im Handout schriftlich festgehalten werden. Es folgt die Frage: „Warum bleibt aber die Wärme in einem Haus nicht erhalten?“. Eine Antwort bekommen die Jungen und Mädchen durch die Versuche 1 – 3.



Was ist eigentlich ein Passivhaus?

Stelle dir vor, du hast dir eine Tasse Tee gekocht. Wenn du den Tee in der Tasse länger stehen lässt, kühlt er sich relativ schnell ab. Füllst du den Tee aber in eine Thermoskanne, bleibt er länger heiß.

Die Thermoskanne ist isoliert. Deshalb wird die Abgabe der Wärmeenergie vom Inneren der Kanne an die Umwelt verlangsamt. Hast du aber keine Thermoskanne, musst du dem Getränk immer wieder Wärmeenergie hinzufügen, damit es heiß bleibt.

Das Passivhaus nutzt das gleiche Prinzip wie die Thermoskanne. Es wird angestrebt, möglichst wenig Wärmeenergie an die Umwelt abzugeben, sodass fast keine Heizung mehr benötigt wird.

Abb. 5.16: Auszug aus Schülerhandout Wärmedämmung; Was ist ein Passivhaus?

Versuch 1: Wärmeleitung

Motivation

Der Versuch 1 soll die Wärmeleitung experimentell erarbeiten. Ziel dieses Experimentes ist es, den Schülern zu verdeutlichen, dass die Wärmeleitung innerhalb von Körpern und zwischen Körpern erfolgt. Es handelt sich um einen Energietransport, der zwischen benachbarten Molekülen auftritt. Die Jugendlichen sollen erkennen, dass der Wärmestrom von der Temperaturdifferenz, den Ausmaßen der leitenden Körper und vom Material abhängig ist.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Metallring mit Halterung
- Wackskügelchen
- Gasbrenner
- Stativ
- Kupferstab ($\varnothing = 0,5$ cm; Länge = ca. 6 cm)
- Messingstab ($\varnothing = 0,5$ cm; Länge = ca. 6 cm)
- Eisenstab ($\varnothing = 0,5$ cm; Länge = ca. 6 cm)
- Zange
- Petrischale

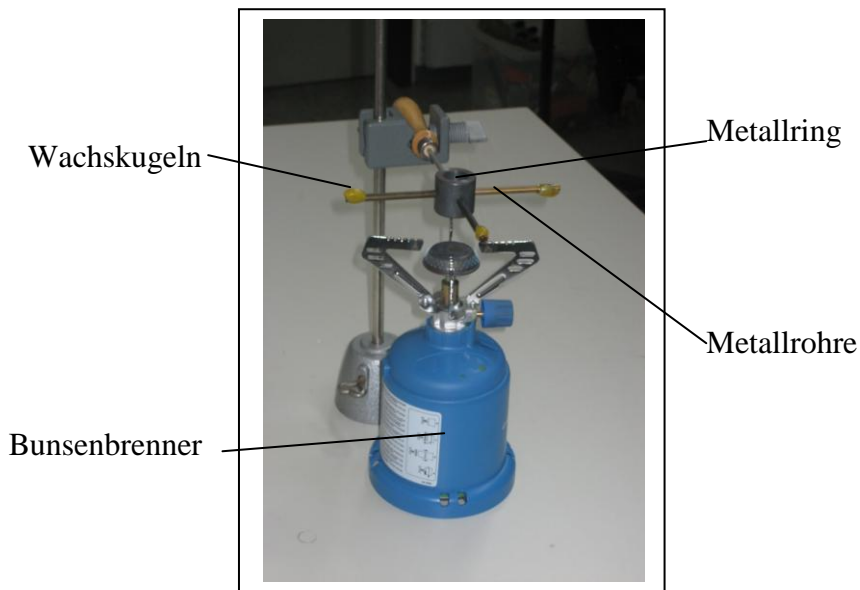


Abb. 5.17: Wärmedämmung - Aufbau Versuch 1 - Wärmeleitung

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 5.17 zu sehen. An einem Metallring werden Rohre aus verschiedenen Metallen befestigt. An diesen werden Wachskugeln geklebt (mit erwärmten Wachs). Unter den Ring wird ein Bunsenbrenner gestellt. Wird der Metallring somit geheizt, leiten die drei unterschiedlichen Metalle die Wärme vom „Erhitzungspunkt“ aus nach außen hin.

Nach und nach fallen die befestigten Wachskugeln von den Metallrohren ab, da sie schmelzen. Weil die Rohre jedoch aus unterschiedlichen Materialien bestehen und somit unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten aufweisen, fallen die Kugeln unterschiedlich schnell von den Rohren ab. Da Kupfer die Wärme erheblich besser leitet als Eisen, wird zuerst der erste Wachsklumpen auf der Kupferstange schmelzen und herunterfallen. An der Eisenstange dauert der gleiche Vorgang, also bis das erste Kügelchen abfällt, trotz gleicher Heizung, länger.

Der Experimentierphase folgt ein Lückentext, den die Schüler mit vorgegebenen Wörtern füllen sollen. Dieser Text bezieht sich auf die vorher gemachten Beobachtungen und Erkenntnisse. Sollten Schwierigkeiten beim Ausfüllen der Lücken entstehen, kann der Betreuer eine Hilfekarte (vgl. Kapitel 8.5, Karte Nr. 4) überreichen.

Hinweise für die Betreuer

Da die bereits am Metallring befestigten Metallstäbe hinsichtlich ihres Materials nicht gekennzeichnet sind, muss vor dem Experimentieren das Material der Stäbe geklärt werden. Nach der Durchführung sind die erhitzten Metallstäbe sehr heiß, deshalb muss äußerst vorsichtig darauf geachtet werden, dass sich kein Schüler Verbrennungen zuzieht. Diese Versuchskonstruktion soll am besten vom Betreuer zur Seite geschoben werden und erst am Ende der gesamten Station sollen die Metallstäbe aus dem Metallring entfernt

werden. Anschließend sind vom Helfer für die nachfolgende Gruppe neue Stäbe inklusive Wachsballchen an der Halterung anzubringen.

Der Betreuer sollte nach dem Ausfüllen des Lückentextes die Theorie, die hinter der Wärmeleitung steckt, nochmals kurz zur Sprache bringen. Dabei muss genannt werden, dass sich bei der Wärmeleitung ein Wärmeenergietransport durch Wechselwirkung zwischen Atomen bzw. Molekülen vollzieht, wobei aber kein Stofftransport auftritt. Wird beispielsweise ein fester Stab an einem Ende erwärmt, dann schwingen die Atome, um ihre Ruhelage stärker, also mit höherer kinetischer Energie, als die Atome am kalten Ende. Durch Stöße mit den jeweils benachbarten Atomen wird Wärmeenergie allmählich durch den Stab geleitet, wobei jedes Atom seine Ruhelage beibehält, da kein Stofftransport stattfindet.

Beobachtungen

Dieser Versuch wurde als Experimente 1 gewählt, weil er eindrucksvoll die Wärmeleitung demonstriert, sehr wenig Zeit benötigt und somit für die Teilnehmer motivierend wirken kann. Allerdings ist hier das Problem gegeben, dass eher die Ausbreitung der Temperatur und nicht die Wärmeleitung zu sehen ist. Außerdem spielt hier die Wärmekapazität eines Stoffes, die erst später in der Station besprochen wird, eine große Rolle.

Während des Labors tauchten jedoch keinerlei Fragen bei den Schülern hinsichtlich der erläuterten Debatte auf. Aus diesem Grund wurde auf diese Problematik gar nicht näher eingegangen, um die Jungen und Mädchen nicht zu verwirren.

Versuch 2: Wärmeströmung

Motivation

Der Versuch 2 behandelt die Wärmeströmung. Ziel dieses Experimentes ist es, den Schülern zu verdeutlichen, dass die Konvektion die Mitführung von thermischer Energie in strömenden Flüssigkeiten oder Gasen ist. Es soll also erkannt werden, dass die Wärmeströmung einen Wärmetransport bezeichnet, der mit einem Transport von Teilchen verbunden ist. Die Energie wandert hier von einem Ort höherer Temperatur mit der erwärmten Materie zu einem Ort niedrigerer Temperatur.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Glasröhrchen
- Stativ
- Gasbrenner
- Alufolie

Ein Glasröhrchen wird an einem Stativ befestigt. Unter das Stativ stellt man einen Gasbrenner. Auf das Glasröhrchen legt man ein Stück Alufolie oder ein anderes leichtes Papier. Die Alufolie wird so gebogen, dass alle Seitenränder ein wenig abstehen. So wird der Luft eine möglichst große Angriffsfläche geboten. Die Folie muss aber dennoch sicher auf dem Röhrchen locker liegen (vgl. Abb. 5.18).

Mit Hilfe des Gasbrenners wird die Luft unterhalb des Rohres erwärmt und es kann beobachtet werden, dass die Alufolie nach kurzer Zeit durch die aufwärts strömende Luft vom Glasröhrchen geblasen wird.

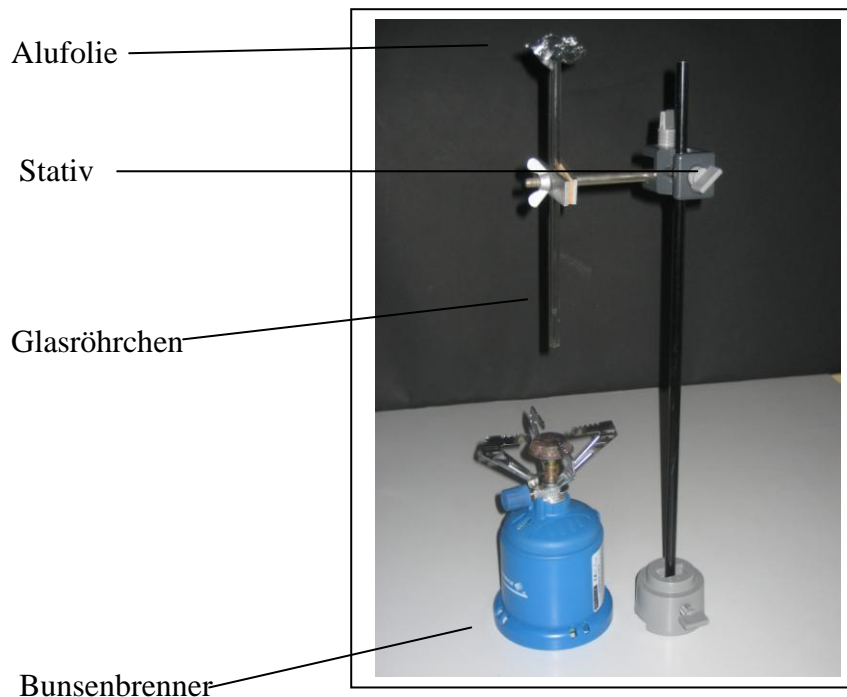


Abb. 5.18: Wärmedämmung - Aufbau Versuch 2 - Wärmeströmung

Der Experimentierphase folgt wieder ein Lückentext, den die Schüler mit vorgegebenen Wörtern ausfüllen sollen. Auch hier liegt eine Hilfekarte (vgl. Kapitel 8.5 Karte 5) bereit.

Hinweise für die Betreuer

Auch bei dem Versuch 2 sollte der Betreuer nach dem Ausfüllen des Lückentextes die Theorie, die hinter der Wärmeströmung steckt, nochmals kurz mit den Teilnehmern durchsprechen. Dabei muss nochmals explizit darauf eingegangen werden, dass die Konvektion das Mitführen von Wärme durch Stofftransport bedeutet. Die Wärmeströmung beschreibt also den Transport von Wärmeenergie, die an die Strömung eines Mediums gebunden ist. Dabei kann die Strömung von äußeren Kräften, zum Beispiel von Pumpen, Gebläsen und ähnlichem, erzwungen sein.

Bei der freien Konvektion stellt sich eine Strömung als Folge von Dichteunterschieden innerhalb eines Stoffes ein. Die Dichte flüssiger und gasförmiger Körper hängt von ihrer

Temperatur ab. In der Regel sinkt bei zunehmender Temperatur die Dichte eines Mediums. Die Stoffe werden demzufolge spezifisch leichter. Hier sollte beispielsweise die Raumheizung genannt werden, bei der die Konvektion in Luft eine ganz wesentliche Rolle spielt. Durch Wärmeleitung wird die Luft in der Umgebung des Heizkörpers, insbesondere zwischen den Heizkörperlamellen, erwärmt. Die erwärmte Luft steigt auf und kühlt dann im Raum wieder ab. Abgekühlte Luft fließt von unten nach und wird ihrerseits wieder erwärmt. Es bildet sich eine Luftzirkulation aus. Die Luft ist demnach das Transportmittel für die thermische Energie.

Als wichtiges Beispiel für Konvektion in der Natur kann der Golfstrom erwähnt werden. Bei der Erwärmung von Wasser beobachtet man eine Dichteveränderung. Es bildet sich, aufgrund der Dichtegradienten, eine Strömung zwischen den Zonen kälteren und wärmeren Wassers aus. Diese Strömung leitet das warme Wasser nach oben.

Beobachtungen



Abb. 5.19: Wärmedämmung - Versuch 2 – Foto der Durchführung

Da dieser Versuch 2 ohne nennenswerte Schwierigkeiten und nur mit geringem Aufwand durchzuführen ist, bietet sich das oben beschriebene Experiment an. Der Versuch soll helfen, die Begriffe Wärmeleitung und Wärmeströmung gegeneinander abzugrenzen. Das Ergebnis, das Wegfliegen der Alufolie, zeigt deutlich, dass hier ein Transport von Materie, anders als bei der Wärmeleitung, vorliegen muss. Die Reaktionen der Teilnehmer ließen während der Schülerlabordurchführung darauf schließen, dass der wesentliche Unterschied zwischen Wärmeleitung und Konvektion von allen verinnerlicht worden ist.

Versuch 3: Wärmestrahlung

Motivation

Dieses Experiment hat das Ziel, den Schülern zu verdeutlichen, dass die Sonne thermische Strahlung auf die Erde schickt und diese Strahlung als Wärmequelle genutzt werden kann. Die Teilnehmer sollen erkennen, dass jeder Körper Wärmestrahlung aussendet. Die Strahlung breitet sich, so wie Licht, auch im Vakuum aus. Je höher die Temperatur eines Körpers ist, umso mehr Wärmestrahlung sendet der Körper aus. Hier liegt kein Transport von Teilchen vor.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Holzhäuschen
- Styropor
- Baustrahler mit Stativ
- 2 Thermometer
- - 45°C - +200°C
- Stoppuhr
- Glasplatte

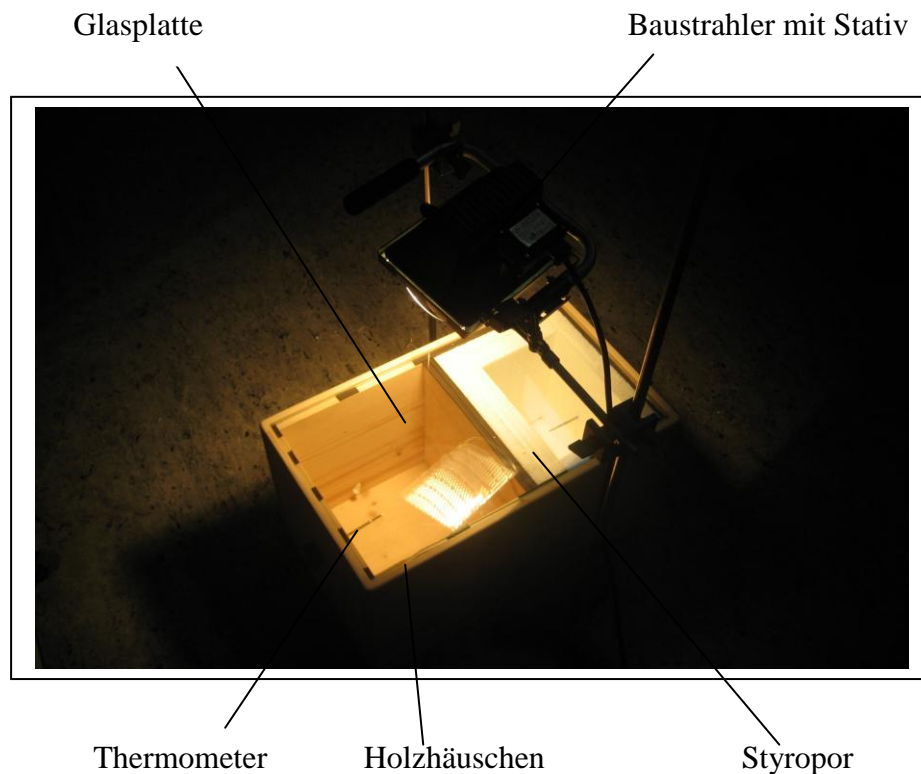


Abb. 5.20: Wärmedämmung - Aufbau Versuch 3 - Wärmestrahlung

Das Modell in Abbildung 5.20 soll ein Haus mit Wintergarten darstellen. Wie zu erkennen ist, wird ein Baustrahler durch ein Stativ über ein Holzhäuschen mittig aufgehängt. Der Baustrahler symbolisiert die Sonne. Der Innenraum des Holzhäuschens ist in zwei gleichgroße Hälften durch eine Trennwand aufgeteilt. Die Wände der einen Hälfte sind dick mit Styropor verkleidet, die andere Hälfte besitzt keine Dämmmaterialien. Jede Seite des Hauses ist mit einer kleinen Bohrung ($\varnothing = 5 \text{ mm}$) versehen. Hindurch wird ein Thermometer gesteckt, um die Innenraumtemperatur messen zu können. Das Haus ist mit einer Glasplatte luftdicht abgedeckt. Diese Glasplatte dient dazu, den Schülern zu zeigen, dass die Temperaturerhöhung nicht auf einen Transport von Teilchen zurückzuführen ist.

Der Baustrahler wird eingeschaltet und es kann auf jeder Seite des Hauses die Temperatur gemessen werden. Nach ca. zwei Minuten ist bereits auf beiden Seiten ein deutlicher Temperaturanstieg zu verzeichnen. Die Teilnehmer haben die Aufgabe, die Werte der beiden Temperaturen θ_1 und θ_2 sieben Minuten lang, jede Minute einmal, zu messen, die Daten festzuhalten und anschließend die Werte in eine Tabelle, die am eingeschalteten Laptop vorbereitet ist, einzutragen. Die Graphik 5.21 zeigt das Ergebnis. Die Theorie dieses Experimentes wird ebenfalls in einem kurzen Lückentext zusammengefasst. Auch hier kann beim Betreuer nach einer Hilfefkarte (vgl. Kapitel 8.5 Karte 6) gefragt werden.

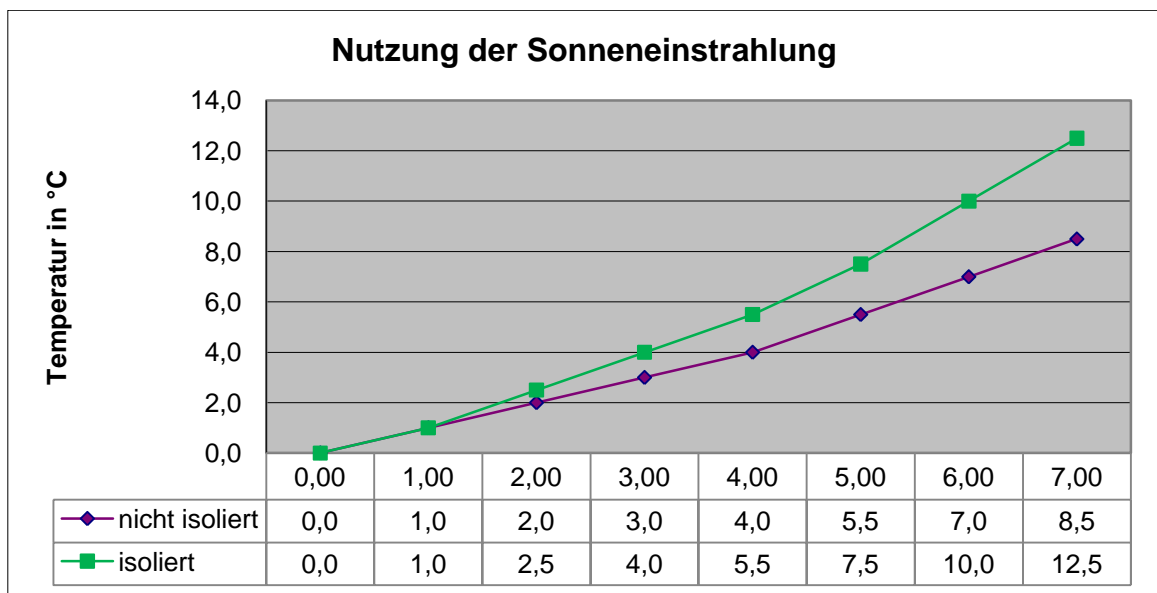


Abb. 5.21: Wärmedämmung – Messwerte der Temperaturerhöhung

Hinweise für die Betreuer

Gemeinsam müssen die beiden wesentlichen Ergebnisse dieses Experimentes formuliert werden. Festzuhalten ist zum einen, dass die Sonne durch die Fenster eines Hauses Wärme zuführt. Die Folgerung aus dieser Erkenntnis ist, dass Häuser möglichst

zahlreiche Fenster auf der Sonnenseite besitzen sollten. In diesem Zusammenhang sollte nochmals das Passivhaus erwähnt werden.

Eine weitere Erkenntnis ist aus dem Vergleich der beiden Graphen zu entnehmen. Die isolierte Seite heizt sich schneller als die nicht isolierte auf, was bedeutet, dass die bereits vorhandene Wärme besser gespeichert wird. In diesem Zusammenhang kann der Betreuer auch auf die Farbe der Isolierung zu sprechen kommen. Er kann die Teilnehmer fragen, ob sich die Werte nochmals deutlich verändern würden, wenn die Isolierung schwarz gestrichen wäre. Dieses Gedankenmodell lässt sich noch weiter ausbauen. Die Schüler können auf die Gefahren beim Umgang mit Wärmestrahlungsgeräten im Haushalt aufmerksam gemacht werden. Leicht entzündliche Stoffe (Holz, Pappe, Papier, Textilien) sind beispielsweise aus dem Bereich eines starken Strahlers zu entfernen, denn nicht nur die Sonne, sondern auch andere Gegenstände und Körper, senden Wärmestrahlung aus.

Da das Modellhäuschen auf beiden Hälften kleine Bohrungen enthält ($\varnothing = 1 \text{ mm}$), die zur besseren Zirkulation der erwärmten Luft dienen, muss den Jungen und Mädchen auch diese Thematik erläutert werden. Während der Besprechung der Ergebnisse kann der Helfer den Baustrahler ausschalten und die Teilnehmer immer wieder darauf hinweisen, nochmals einen kurzen Blick auf die Thermometer zu werfen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die isolierte Seite die Temperatur deutlich länger konstant beibehält und die Temperatur nur sehr langsam sinkt, während die nicht isolierte Seite sofort nach dem Abschalten der Wärmequelle kälter wird. Diese Feststellung ist eine gute Überleitung zum nächsten Versuch, der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien.

Der Baustrahler wird bei längerer Benutzung sehr heiß. Die Schüler müssen auf diesen Sachverhalt hingewiesen werden. Auch nach dem Abschalten des Strahlers ist noch längere Zeit äußerste Vorsicht geboten.

Beobachtungen



Abb. 5.22: Wärmedämmung – Versuch 3 – Foto der Durchführung

Die Versuchsanleitung zu dem Experiment der Wärmestrahlung ist recht umfangreich zu lesen. Da auch in dieser Station festgestellt werden konnte, dass Schüler gerne dazu

neigen, den Text zu überspringen und gleich zu experimentieren beginnen, beschloss der für diese Station zuständige Betreuer, den Versuch kurz mündlich zu erklären und auf alle notwendigen Schritte hinzuweisen. Dieses Vorgehen hatte den Vorteil, dass einige Minuten eingespart wurden, die für eine spätere Diskussion genutzt werden konnten. Die Versuchsanleitung wurde aber aus dem Handout nicht gekürzt, da eine Erläuterung des Versuchs für eventuelle spätere Durchläufe recht hilfreich sein kann.

Versuch 4: Die Wärmeleitfähigkeit

Motivation

Die Schüler erfahren, dass der Wärmestrom durch eine Wand von der Dicke der Wand, der Fläche der Wand, der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur auf der Oberfläche der Wandaußenseite und der Temperatur auf der Wandinnenseite, sowie vom Material abhängt. Im Versuch 4 soll nun die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien untersucht werden. Ziel dieses Experimentes ist, den Schülern zu verdeutlichen, dass verschiedene Materialien unterschiedlich gut Wärme leiten und sich unterschiedlich gut als Dämmstoff eignen.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- 2 Glasgefäße unterschiedlicher Größe, die ineinander gestellt werden können
- Glaswolle
- Beton
- Styropor
- 2 Thermometer
-45°C - +200°C
- Stoppuhr (1/100s)
- 2 Gummistopfen
- Wasserkocher
- Becherglas
- Geschirrtuch

Es werden zwei größere und zwei kleinere Glasgefäße benötigt. Diese sollten jeweils die gleiche Größe aufweisen. Ein kleineres Glasgefäß wird in ein größeres Gefäß gestellt und der Zwischenraum wird entweder mit Beton oder mit Glaswolle gefüllt. Der Beton muss erst einige Tage trocknen, bevor das Experiment durchgeführt werden kann. Die Gefäße werden mit einem kreisrunden Styropordeckel bedeckt und die Ränder mit Silikon verdichtet. Im Deckel aus Styropor wurde vorher eine kreisrunde Öffnung angebracht, die mit einem Gummistopfen geschlossen werden kann und durch welchen die Innentemperatur mit einem Thermometer gemessen werden kann (vgl. Abb. 5.23).

Heißes Wasser wird mit dem Wasserkocher zum Kochen gebracht. Sofort nach dem Ausschalten des Wasserkochers, wird die Temperatur des Wassers gemessen und die Stoppuhr angeschaltet. Das innere Gefäß wird im Anschluss mit heißem Wasser gefüllt. Darauf ist zu achten, dass möglichst beide Einzelversuche, sowohl das Glas mit Beton, als auch das Glas mit Glaswolle, gleichzeitig gefüllt werden. Sofort nach dem Einfüllen des Wassers wird der Stopfen auf die Vorrichtung gesetzt und das Thermometer in die

dafür vorgesehene Öffnung gesteckt. Nachdem eine Minute vergangen ist, wird die zweite Temperaturmessung vorgenommen und dieser, sowie der erste Wert, in der Tabelle im Handout notiert. Es folgen vier weitere Messungen, wobei immer nach Ablauf einer weiteren Minute auf das Thermometer geschaut wird und die Daten übernommen werden. Am Schluss dieses Experimentes wird vorsichtig das Thermometer und der Stopfen entfernt, mit Hilfe eines Geschirrtuchs oder eines Topflappens das Wasser abgossen und die Umgebungstemperatur gemessen.

Versuchsskizze:

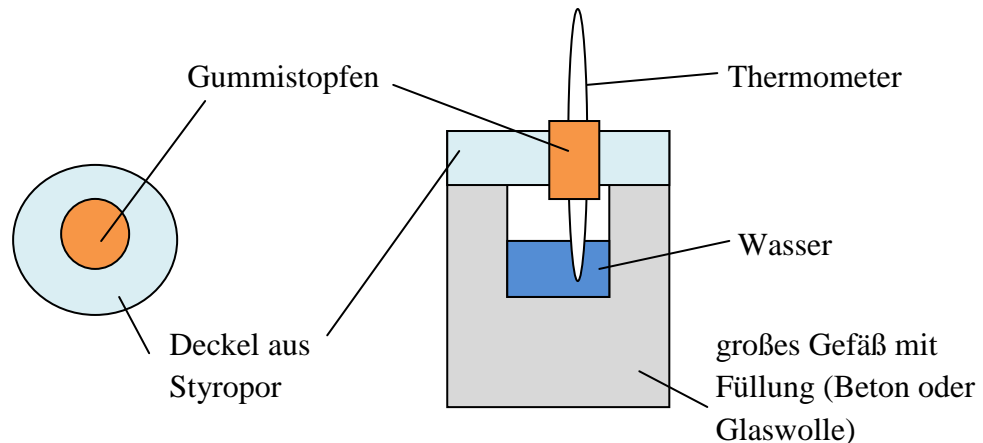


Abb. 5.23: Wärmedämmung – Versuch 4 – Wärmeleitfähigkeit

Die Daten werden in ein Koordinatensystem übertragen und anhand der entstehenden Kurve das Ergebnis bewertet und diskutiert (vgl. Diagramm 5.24). Werden während des Versuchs, nach ca. 3 Minuten, die Außenseiten beider Gefäße mit der Hand berührt (Vorsicht heiß!) und misst man die Innentemperatur mit einem Thermometer, so ist festzustellen, dass das Gefäß mit Beton deutlich wärmer ist, als das mit Glaswolle. Die gemessene Außentemperatur gibt einen direkten Vergleich zwischen der Oberfläche des Gefäßes und der Raumluft. Ebenfalls ist aus dem Graphen aus dem Diagramm 5.24 zu entnehmen, dass das Wasser bei dem Gefäß mit Glaswolle viel wärmer ist. Anhand dieses

Schematas kann den Schülern gezeigt werden, dass Glaswolle deutlich schlechter Wärme leitet als Beton. Dies ist der Grund, wieso Wände mit Glaswolle gedämmt werden.

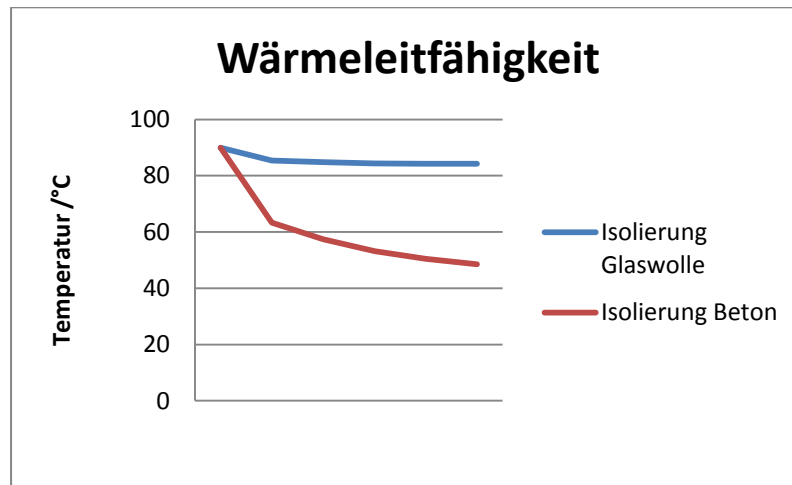


Abb. 5.24: Wärmedämmung – Versuch 4 – Wärmeleitfähigkeit

Hinweise für die Betreuer

Im Zusammenhang mit dem Versuch 4 kommt die Frage auf, wieso Glaswolle nun ein schlechterer Wärmeleiter ist, als Beton. Dieser Sachverhalt muss mit den Schülern erarbeitet werden. Der Betreuer soll hier als Stütze fungieren und lediglich Tipps geben, falls die Schüler nicht selbständig auf die Lösung kommen. Die Schüler haben in dem Handout eine Tabelle gegeben mit unterschiedlichen Materialien und deren verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten (vgl. Kapitel 8.4). Es ist deutlich zu erkennen, dass verschiedene Materialien unterschiedlich gut Wärme leiten. Als Faustformel kann gesagt werden, dass ein Stoff umso schlechter Wärme leitet, je leichter er ist und je geringer seine Dichte ist. Luft ist ein schlechter Wärmeleiter. Um also einen Wärmetransport zu verhindern, verwendet man Materialien geringer Dichte, die viel Luft einschließen, wie zum Beispiel Styropor oder Glaswolle. Materialien mit $\lambda < 0,1 \frac{W}{mK}$ bezeichnet man als Wärmedämmstoffe. Diese verwendet man, um den Wärmeverlust eines Gebäudes zu reduzieren. Glas ist ein schlechter Wärmeleiter, deswegen verliert das Haus über die Fenster viel Wärme.

Zusatzaufgabe

Die Station „Wärmedämmung“ beinhaltet eine Zusatzaufgabe, in welcher die Inhalte der einzelnen Experimente nochmal zusammengefasst und wiederholt werden. Die Schüler sollen überlegen, wo die Wärme aus dem Haus entweichen kann. Hierzu sollen ebenfalls Lücken einer Abbildung ausgefüllt werden. Zum Abschluss wird diskutiert, warum sich in einem geschlossenen Wintergarten bei Sonnenschein und Windstille eine höhere Temperatur einstellt, als im Freien (vgl. Schülerhandout Kapitel 8.4).

5.3.3 Experimentierstation „Energie im Haushalt“

Motivation

Die Versorgung mit ausreichend Energie ist eine entscheidende Voraussetzung für den vergleichsweise hohen Lebensstandard, in welchem die Menschheit momentan lebt. Da jede Energieumsetzung aber mit einer Beeinflussung der Umwelt verbunden ist, müssen wir sorgfältig und sparsam mit der Energie umgehen. Das Ziel der Station „Energie im Haushalt“ ist, den Schülern und Schülerinnen zu verdeutlichen, dass, wenn die Energiekrise vermieden werden soll, jede Person Energie sparsamer benutzen muss. Damit kann bereits in den Haushalten begonnen werden. Zwar ist im Vergleich zu Haushalt, Handel und Gewerbe, Verkehr und Landwirtschaft, die Industrie der größte Stromverbraucher in Deutschland, ungefähr ein Viertel des gesamten Stromverbrauchs entfällt jedoch auf die rund 39 Millionen Haushalte. Die Jugendlichen sollen lernen, im Haushalt die „Energiefresser“ ausfindig zu machen und diese zu verbannen oder von diesen Geräten nur selten Gebrauch machen. Zusätzlich werden Möglichkeiten vorgestellt, direkt beim Gebrauch von Haushaltsgeräten Energie zu sparen.

Die Einführung in die Station

Zu Beginn der Station „Energie im Haushalt“ lernen die Mädchen und Jungen den Umgang mit dem Leistungsmessgerät Energy-Check 3000 kennen (vgl. Abb. 5.25). Die Funktionsweise des Gerätes ist auf der Hilfekarte 7 erläutert. Diese Karte ist vom Betreuer an die Teilnehmer zu verteilen.

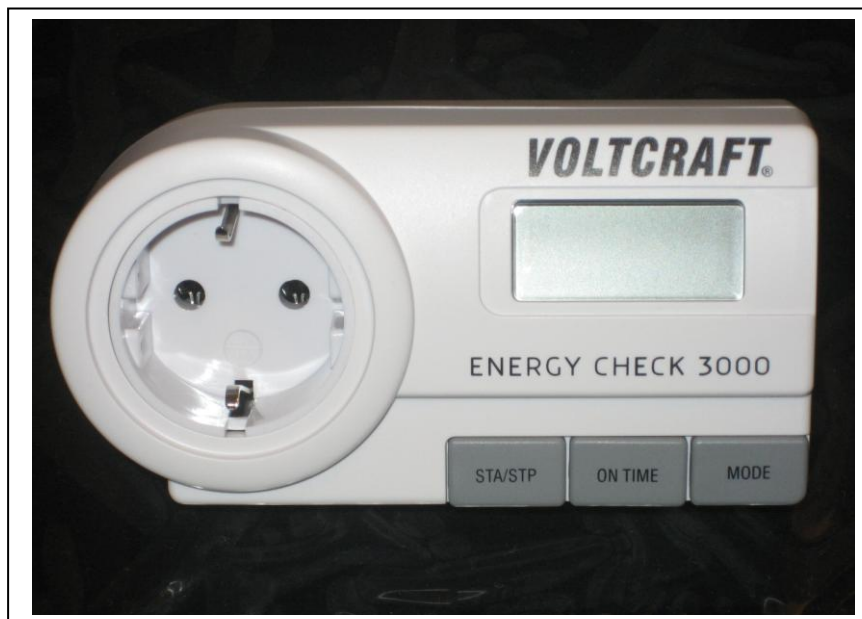


Abb. 5.25: Energie im Haushalt – Versuch 1 – Leistungsmessgerät Energy Check 3000

Versuch 1: Leistungsmessung

Motivation

Im Versuch 1 sollen die Teilnehmer sich mit dem Leistungsmessgerät Energy Check 3000 auseinandersetzen. Die Schülerinnen und Schüler lernen hierbei den Umgang mit dem Messgerät und ermitteln typische Werte für den Verbrauch von Energie an Elektrogeräten, die sie auch bei sich zuhause wieder finden.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Leistungsmessgerät Energy Check 3000
- Fön (1200 Watt)
- Schreibtischlampe (60 Watt)

Die Aufgabe der Teilnehmer ist es, mithilfe des Leistungsmessgerätes herauszufinden, ob die auf dem Fön und der Schreibtischlampe angegebene Leistung stimmt. Dabei sollen die Leistungsangabe auf dem Gerät, der gemessenen Leistung gegenüber gestellt werden.

Bei dem Experiment ist deutlich zu erkennen, dass die gemessene Leistung der Schreibtischlampe merklich über der Leistungsangabe auf dem Gerät liegt. Der Fön hingegen benötigt weniger Watt, als die Angabe zeigt. Es folgt die Erkenntnis, dass gewisse Haushaltsgeräte tatsächlich mehr Energie verbrauchen, als sie ursprünglich dürften.

Diese „Energiefresser“ müssen gefunden, entfernt und durch energiesparsame Maschinen ersetzt werden. Jede Person kann diese einfache Maßnahme direkt zuhause durchführen und so deutlich Energiekosten senken.

In diesem Zusammenhang sollen die Schüler sich überlegen, ob mehr Energie benötigt wird, wenn man eine halbe Stunde lang den Fön oder die Schreibtischlampe auszuschalten vergisst? Hier wird die Formel

$$\mathbf{Energie = Leistung \cdot Zeit}$$

wiederholt.

Versuch 2 – 4: Erhitzen von Wasser

Motivation

Auch beim Kochen in der Küche gibt es Möglichkeiten Energie zu sparen. Bei den Versuchen 2 – 4 wird untersucht, welche Methode des Wasserkochens am energiesparsamsten ist. Im Anschluss wird der jeweilige Wirkungsgrad der Geräte bestimmt.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Im Experiment 2 wird auf eine Ceranheizplatte ein Topf gestellt, dessen Größe an die Heizplattengröße angepasst ist (vgl. Abb. 5.26)

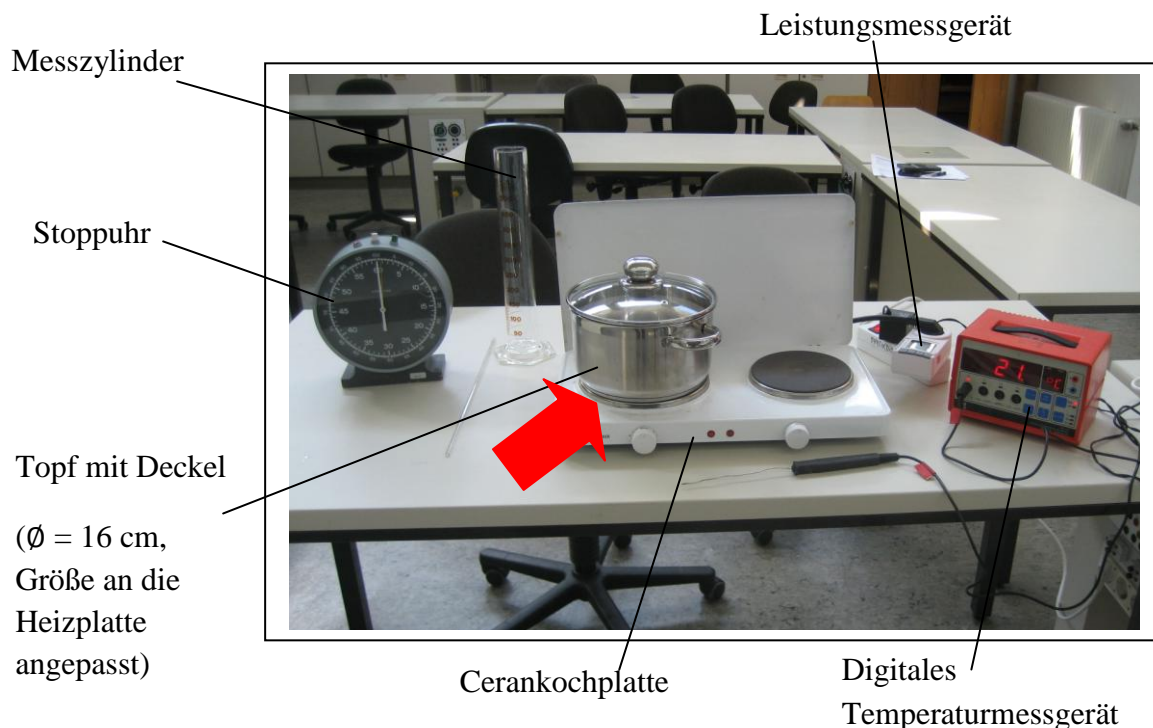


Abb. 5.26: Energie im Haushalt – Versuch 2 – Wasserkochen mit Ceranheizplatte und passendem Gefäß

Benötigte Materialien für Versuch 2:

- Messgerät Energy Check 3000
- Ceranheizplatte
- Messzylinder (500 ml)
- digitales Temperaturmessgerät ($-200^{\circ}\text{C} - +1200^{\circ}\text{C}$)
- Topf mit Deckel ($\varnothing = 16$ cm, Größe an die Heizplatte angepasst)
- Stoppuhr (oder die Stoppuhr des Handy's des Versuchsteilnehmers) (1/100s)
- Topfuntersetzer
- Kochlöffel
- Topflappen

Im Experiment 3 wird auf die gleiche Ceranheizplatte aus dem Vorversuch, ein Topf gestellt, dessen Größe kleiner als das verwendete Ceranfeld ist (vgl. Abb. 5.27). Der restliche Aufbau ist analog zu Versuch 2.

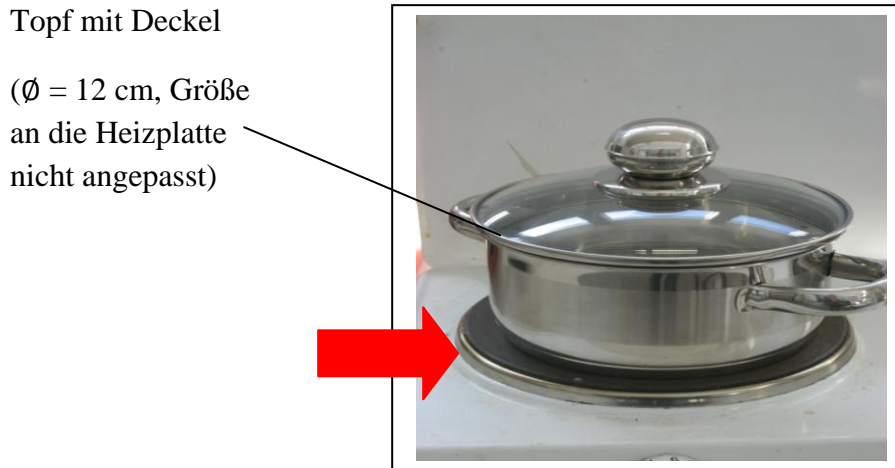


Abb. 5.27: Energie im Haushalt – Versuch 3 – Wasserkochen mit Ceranheizplatte und kleinerem Topf

Benötigte Materialien für Versuch 3:

- Messgerät Energy Check 3000
- Ceranheizplatte
- Messzylinder (500 ml)
- digitales Temperaturmessgerät ($-200^{\circ}\text{C} - +1200^{\circ}\text{C}$)
- Topf mit Deckel ($\varnothing = 12$ cm, Größe an die Heizplatte nicht angepasst)
- Stoppuhr (oder die Stoppuhr des Handy's des Versuchsteilnehmers) (1/100s)
- Topfuntersetzer
- Kochlöffel
- Topflappen

Im Experiment 4 wird das Wasser mit einem Wasserkocher erhitzt (vgl. Abb. 5.28). Auch hier ist der restliche Aufbau des Versuchs genauso wie in Versuch 2.

Benötigte Materialien für Versuch 4:

- Messgerät Energy Check 3000
- Messzylinder (500 ml)
- digitales Temperaturmessgerät ($-200^{\circ}\text{C} - +1200^{\circ}\text{C}$)
- Wasserkocher (1000 Watt)
- Stoppuhr (oder die Stoppuhr des Handy's des Versuchsteilnehmers) (1/100s)
- Kochlöffel

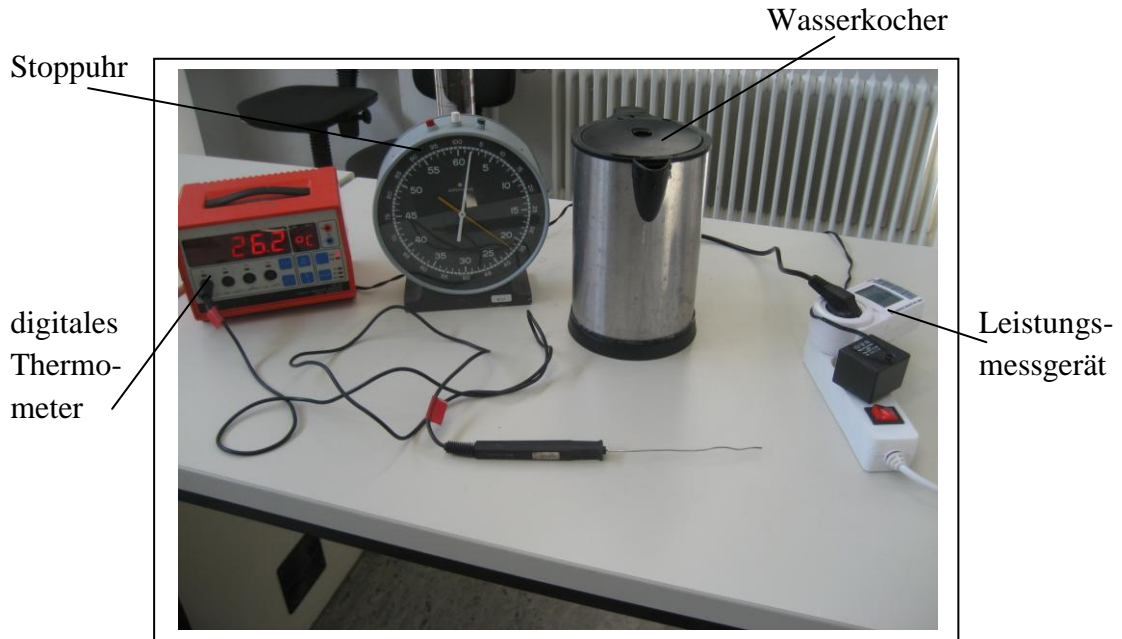


Abb. 5.28: Energie im Haushalt – Versuch 4 – Wasserkochen mit Wasserkocher

Die Schüler müssen in dieser Station den Schritten der Arbeitsanweisungen, die sich im Schülerhandout befinden (vgl. Kapitel 8.4), äußerst genau folgen. Die Arbeitsabläufe vom Versuch 2 und 3 sind äquivalent.

Mit Hilfe des Messzylinders werden 500 g Wasser abgemessen. Das Wasser wird in den Topf gegeben und seine Anfangstemperatur gemessen. Dieser Wert wird in die Tabelle, die sich im Handout befindet, eingetragen (vgl. Tabelle 10). Das Leistungsmessgerät wird in die Steckdose gesteckt. Anschließend wird der Drehknopf an der Heizplatte auf 0 gestellt und der Stecker des Verbrauchers in das Leistungsmessgerät gesteckt. Der Topf mit dem Wasser befindet sich hier noch neben der Heizplatte. Im Anschluss folgt die eigentliche Durchführung der Experimente. Hier müssen alle Arbeitsschritte sehr zügig bearbeitet werden.

Die Heizplatte wird genau 1 Minute vorgeheizt. Der Schalter der Ceranheizplatte wird auf 6 gedreht und gleichzeitig wird die Stoppuhr gedrückt. Dieser Schritt hat den Zweck, die Heizplatte aufzuheizen. Die angezeigten Werte auf dem Leistungsmessgerät werden hier noch nicht benötigt. Nach Ablauf der Minute wird die Heizplatte wieder auf 0 und der Topf, inklusive Wasser und mit aufgesetztem Deckel, auf die Heizplatte gestellt. Der Drehknopf der Heizplatte wird erneut auf 6 geschaltet und es wird genau eine Minute gemessen. Während dieser Zeit beobachten die Schüler die Leistungsanzeige am Energy Check 3000 und tragen den Wert in die Tabelle ein. Nach Ablauf der Minute wird der Topf mit dem heißen Wasser sofort von der Heizplatte genommen und auf den Topfuntersetzer gestellt. Die Teilnehmer rühren mit dem Kochlöffel gut um und messen die Endtemperatur, die dann ebenfalls in die Tabelle übertragen wird. Abschließend wird das Wasser abgegossen.

	Heizplatte Versuch 2	Heizplatte Versuch 3	Wasserkocher
Anfangstemperatur in °C			
Endtemperatur in °C			
Temperaturerhöhung In °C			
Leistungsangabe an Energy Check 3000			
Masse Wasser (0,5 Liter) in kg			
spezifische Wärme in Wh / kg x Grad			
Energieaufnahme des Wassers in Wh			

Tabelle 10: Experimentierstation Energie im Haushalt – Versuch 2 – 4

Die Arbeitsabläufe beim Experiment 4 sind ähnlich denen aus Versuch 2 und 3. Auch hier soll mit einem Messzylinder 500 g Wasser abgemessen werden. Das Wasser wird in den Wasserkocher gegeben und seine Anfangstemperatur gemessen. Dieser Wert wird in die Tabelle im Handout eingetragen. Der Knopf an dem Wasserkocher wird auf 0 gestellt und der Stecker in das Leistungsmessgerät gesteckt. Hier beginnt wieder die eigentliche Durchführung.

Die Schüler schalten den Knopf des Wasserkochers auf 1 und messen genau eine Minute. Während dieser Zeit beobachten sie die Anzeige auf dem Leistungsmessgerät und übertragen den Wert in die dafür vorgesehene Stelle in der Tabelle. Nach Ablauf der Minute wird der Wasserkocher abgeschaltet, das Wasser mit dem Kochlöffel umgerührt, die Temperatur mit dem Digitalthermometer gemessen und schließlich der Wert der Endtemperatur in die Tabelle geschrieben. Das Wasser im Wasserkocher kann abgossen werden.

Die Auswertung der Versuche 2 – 4 erfolgt mit einer Exeldatei, die auf dem bereits hochgefahrenen Laptop geöffnet ist (vgl. beiliegende CD). Die Mädchen und Jungen müssen hier die gemessenen Werte eintragen und den Anweisungen am Laptop folgen. Zunächst wird die Wärmeenergie, die vom Wasser aufgenommen worden ist, berechnet. Im Handout ist die Frage zu beantworten, wie die Energieaufnahme des Wasser errechnet werden kann. Beim aufmerksamen Durchlesen der Datei am PC kann die Antwort sehr schnell entdeckt werden. Anschließend folgt eine Hilfestellung, was man sich unter einer Wattstunde vorstellen kann. Im nächsten Schritt wird die vom Gerät aufgenommene elektrische Energie bearbeitet. Hier wird die Formel für die Energie aus Versuch 1 kurz wiederholt. Als zusätzliche Information wird den Schülern mitgeteilt, dass die Leistung einer Maschine oder eines Gerätes eine wichtige Kenngröße ist. Im Handout folgt eine Tabelle, in welcher die Jugendlichen den Leistungswert des Föns aus Versuch 1 und den des Wasserkochers aus Versuch 4 eintragen sollen. Hierzu besitzt der Betreuer eine Hilfekarte 8 (vgl. Kapitel 8.5). Im Folgenden soll der Wirkungsgrad der drei Geräte aus

Versuch 2 – 4 bearbeitet werden. Es werden Fragen gestellt, wie der Wirkungsgrad errechnet werden kann, welche Einheit der Wirkungsgrad besitzt und was der Wirkungsgrad aussagt. Die Antworten befinden sich ebenfalls in Textform in der Exeldatei. Abschließend besprechen die Jugendlichen die jeweiligen Verluste bei den Experimenten. Daraus ergibt sich das Ergebnis, welche Methode die energiesparendste Variante ist, um Wasser zum Kochen zu bringen.

Es folgt eine kurze Phase in welcher die folgenden Fragen diskutiert werden:

- Wie kommen die unterschiedlichen Wirkungsgrade bzw. die verschiedenen Verluste beim Wasserkocher und bei der Heizplatte zustande und wo geht die verbliebene Energie hin?
- Wasser kann man aber auch z. B. mit einer Mikrowelle erwärmen. Diese hat einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 50 %. Wo verbleibt hier die restliche Energie?
- Werden die Versuche 2 und 3 miteinander verglichen, welche Schlüsse lassen sich daraus ziehen?
- Lässt sich ein höherer Wirkungsgrad mit oder ohne Deckel auf den Töpfen jeweils erreichen? Begründe.

Hinweise für die Betreuer

Die Betreuer müssen bei den Versuchen 2 – 4 explizit darauf hinweisen, dass die Arbeitsgänge sehr schnell hintereinander ausgeführt werden sollen, da sich das Wasser sonst zu sehr abkühlt und die Messwerte verfälscht werden könnten. Außerdem ist darauf zu verweisen, dass hier vorsichtiges Arbeiten unerlässlich ist, da das Wasser sehr schnell sehr heiß wird. Die betreuende Person sollte deshalb auch stets darauf achten, dass die Mädchen und Jungen die bereitgelegten Topflappen benutzen und die heißen Geräte konsequent auf den Topfuntersetzer stellen.

Beobachtungen

Sowohl bei der Bearbeitung der Auswertung mit der Exeldatei, als auch bei der Beantwortung der letzten Fragen, wurde während des dreitägigen Schülerlabors die Hilfe des Betreuers sehr häufig in Anspruch genommen. Es zeigte sich, dass zahlreiche Schüler beim Arbeiten mit Dateien größere Probleme haben. Erst nach einer Erklärung durch den Helfer konnte die Auswertung am PC durchgeführt werden. Für eine weitere Durchführung dieser Station wäre es sinnvoll, für die Bearbeitung der Daten mehr Zeit einzuplanen, da eine Stunde für die gesamte Station sehr kurz bemessen ist. Ohne größere Komplikationen konnte die Station zwar innerhalb einer Stunde von einigen Gruppen leicht absolviert werden, dennoch bei Gruppen, die Probleme bei der Auswertung hatten, war eine Zeitspanne von einer Stunde viel zu klein angesetzt. Grundsätzlich bereiteten den Schülerinnen und Schülern die Experimente keinerlei Schwierigkeiten. Zwar ist im Vergleich zu den anderen Stationen die Station „Energie im Haushalt“ eher unspektakulär, die Motivation der Gruppen hatte aber darunter zu keiner Zeit gelitten.

Zusatzaufgabe

Versuch 5: Energiesparlampen

Motivation

In der Zusatzaufgabe, die von schnellen Schülern erledigt werden kann, werden Energiesparlampen thematisiert. Ziel dieses Versuchs ist es, den Schülern die Unterschiede zwischen Glühlampen und Energiesparlampen zu verdeutlichen.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Sicherheitssteckdose mit Personenschutz; (Phywe; 230 V; 50/60 Hz; 10 A)
- Verbindungskabel
- Glühlampe (15 Watt)
- Energiesparlampe (14 Watt)
- Halterung für Lampen

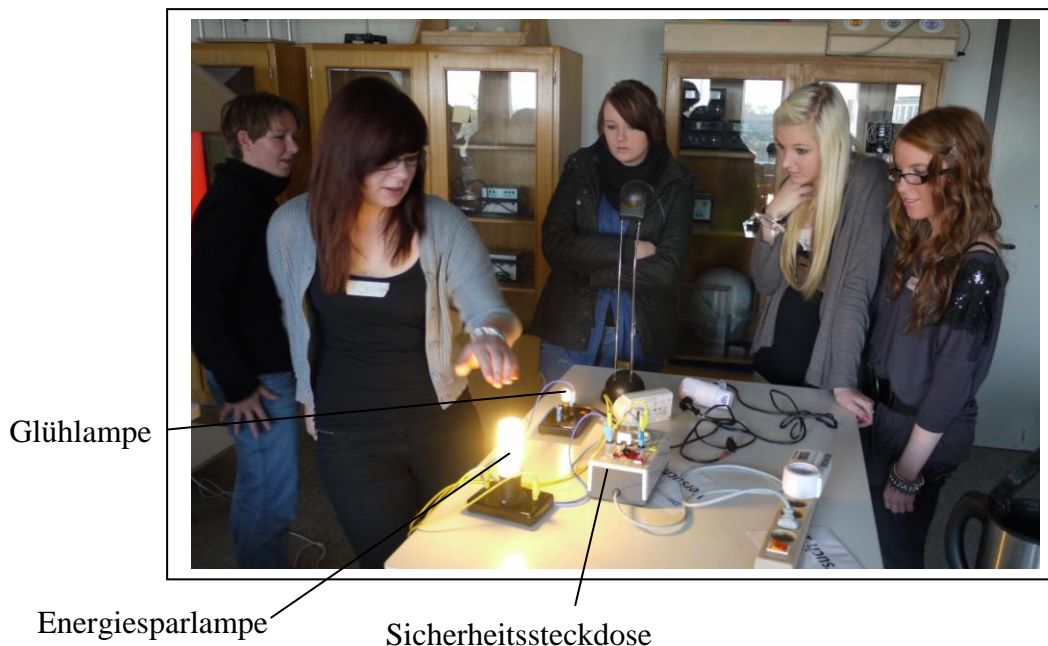


Abb. 5.29: Energie im Haushalt – Versuch 5 – Energiesparlampen

Die Abbildung 5.29 zeigt Schülerinnen, die die unterschiedliche Wärmeabgabe von der Glühlampe und von der Energiesparlampe testen. Nachdem die Teilnehmer die Verbindungsschnüre so an der Sicherheitssteckdose angebracht haben, dass beide Lampen leuchten, sollen die Jugendlichen die Vorteile einer Energiesparlampe besprechen. Es kann erfüllt und gesehen werden, dass die Glühlampe heißer und dunkler

leuchtet. Dies zeigt auch die Abbildung 5.29. Die große Lampe, die Energiesparlampe, besitzt dagegen eine große Helligkeit und wird nicht so heiß. Die Energiesparlampe hat demnach geringere Energieverluste. Abschließend soll besprochen werden, was diese Erkenntnisse für die Umwelt und letztendlich für jeden Einzelnen bedeuten.

Hinweise für die Betreuer

Die Labordurchführung hat gezeigt, dass die Schüler die Funktionsweise der Glühlampe und der Energiesparlampe häufig hinterfragten. Deshalb wurde dem Betreuerhandout noch diese letzte Zusatzaufgabe zugeführt. Mithilfe dieser Aufgabe, kann die Thematik Energiesparlampen diskutiert werden. Zunächst muss der Betreuer die Unterschiede zwischen der Energiesparlampe und der normalen Glühlampe erläutern und kurz in den Versuch einführen. Die Glühlampe ist eine künstliche Lichtquelle, in der ein elektrischer Leiter durch elektrischen Strom aufgeheizt und dadurch zum Leuchten angeregt wird. Der Wirkungsgrad erreicht maximal ca. 5 %, da die elektrische Energie vor allem in innere Energie umgewandelt wird. Das Funktionsprinzip einer Energiesparlampe ist in Kapitel 4.6 genauer ausgearbeitet.

Um die Unterschiede zwischen den beiden Lampen noch weiter zu differenzieren, sollte auch über die Anschaffungskosten, die Lebensdauer und die Leistungsaufnahme der beiden Lampen gesprochen werden.

Beobachtungen

Die Betreuer gaben nach den Labortagen an, dass zwar alle Schüler zuhause vorwiegend Energiesparlampen im Einsatz haben, dennoch zeigte sich, dass sich viele Mädchen und Jungen mit dieser Materie noch nicht intensiv beschäftigt hatten. Im Handout befindet sich eine kurze Übersicht über die gravierenden Unterschiede der beiden Lampen. Dort ist ein kurzes Rechenbeispiel dargestellt. Die Schüler waren teilweise recht überrascht, dass der Einsatz von Energiesparlampen jährliche Einsparungen von ungefähr 50 Euro ausmachen kann. Auch die enorm längere Lebensdauer der Energiesparlampe war den Teilnehmern nahezu unbekannt. Positiv bewertet wurde die sehr viel kleinere CO₂-Emissionsrate der Energiesparlampe.

5.3.4 Experimentierstation „Wärmepumpe“

Motivation

In fast jedem deutschen Haushalt befindet sich ein Gerät, das auf der Grundlage der Wärmepumpe arbeitet: der Kühlschrank. Weniger bekannt ist bei uns die Wärmepumpe als Heizungsanlage von Gebäuden. Sie entzieht dem Erdreich oder der Umgebungsluft die erforderliche Wärmeenergie und speichert sie in einem isolierten Wasserspeicher. Das Warmwasser kann zur Beheizung des Hauses, zur Speisung der Dusche oder Waschmaschine usw. verwendet werden. Der Zweck einer Wärmepumpe besteht also darin, einer Umgebung mit der Temperatur T_1 die Wärmemenge Q zu entziehen und sie an eine andere Umgebung mit einer höheren Temperatur T_2 abzugeben. Dazu ist die Arbeit W erforderlich, die von einem Kompressor aufgebracht wird. Der große Vorteil einer Wärmepumpe gegenüber einer konventionellen Heizanlage ist der höhere Wirkungsgrad. Sie erzeugt mehr Wärmeenergie, als ihr in Form von elektrischer Energie zugeführt wird.

Wie bereits unter Punkt 5.3.2 erwähnt wurde, spielt im bayrischen G-8-Lehrplan, anders als im Lehrplan der Realschule, die Wärmelehre eine untergeordnete Rolle. Die Wärmepumpe bietet eine gute Chance, das Thema „Wärmelehre“ zu wiederholen, oder ganz neue Sachverhalte zu lernen. Um die Wärmepumpe verstehen zu können, benötigen die Schüler Wissen über die Wärmelehre. Aus diesem Grund werden während dem Experimentieren stets benötigte Sachverhalte aus dem Themengebiet der Wärmelehre, wie beispielsweise Aggregatzustandsänderungen, der Begriff der inneren Energie oder die Hauptsätze der Thermodynamik wiederholt und besprochen.

Die Behandlung der Wärmepumpe stellt weiter eine Möglichkeit dar, interessante physikalische Sachverhalte mit den Aspekten der Umwelterziehung in sinnvoller Weise zu verknüpfen. In diesem Zusammenhang müssen folgende Punkte genannt werden:

- ❖ Wärmepumpen nutzen die in der Umgebungsluft, im Boden, im Grundwasser oder in Abwässern bzw. in der Abluft gespeicherte Energie. Den Mädchen und Jungen wird durch die Kenntnis der Wirkungsweise von Wärmepumpen bewusst, dass alle Körper Energie in Form von Wärme abgeben können, auch wenn ihre Temperaturen relativ niedrig sind.
- ❖ Alle Jugendlichen kennen den Kühlschrank und seine Bedeutung für unseren Lebensstandard aus dem täglichen Leben. Den meisten ist aber nicht klar, dass das Kühlschrank-Aggregat eigentlich eine Wärmepumpe darstellt. Der Kühlschrank entzieht im Innenraum den Lebensmitteln Wärme und gibt diese an seiner Außenseite an den Raum ab.
- ❖ Traditionell werden im Physikunterricht Verbrennungsmotoren behandelt. Verbrennungsmotoren sind aber „Umweltsünder“ und ihrer Bedeutung sollte im Unterricht oder in außerschulischen Bildungsstätten weniger Wert beigemessen werden. Das Wirkprinzip einer Wärmepumpe kann dagegen weitestgehend im

Einklang mit den heutigen Bauformen und mit Hilfe einfacher Experimente erläutert werden und außerdem wird die Wärmepumpentechnik von Bund und Ländern gefördert, und ein entsprechender Wissenstand der Bevölkerung ist gesellschaftlich gewünscht.

- ❖ Politik, Industrie, Landwirtschaft und private Haushalte sind aufgefordert, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Mit Wärmepumpen können die CO₂- und Schadstoffemissionen im Vergleich zu konventionellen Heizungen deutlich reduziert werden [HEP99].

Aufgrund dieser genannten Gründe wurde beschlossen, eine Station zum Thema „Wärmepumpe“ zu erstellen. Die Schüler sollen in dieser Einheit die Funktionsweise einer Wärmepumpe verstehen lernen. Zum einen soll damit erreicht werden, dass die Jugendlichen die Möglichkeiten kennen lernen, ein Haus ohne den Einsatz fossiler Brennstoffe zu heizen. Zum anderen soll ihnen aber auch bewusst werden, dass eine Wärmepumpe nicht unter allen Umständen günstig ist. So kann zum Beispiel eine Luftwärmepumpe mit einer herkömmlichen Zentralheizung energetisch, wirtschaftlich und ökonomisch nicht sinnvoll sein.

Da viele Formeln und Rechnungen für einen Schüler der Mittelstufe zu schwer sind, wird auch in dieser Einheit bei der Erklärung der Wärmepumpe größtenteils darauf verzichtet, die Sachverhalte durch Formeln und Rechenaufgaben darzustellen. Alle Aussagen werden vorwiegend qualitativ getroffen.

Die Einführung in die Station

Zu Beginn der Station „Wärmepumpe“ lernen die Teilnehmer das Grundprinzip einer Wärmepumpe kennen.

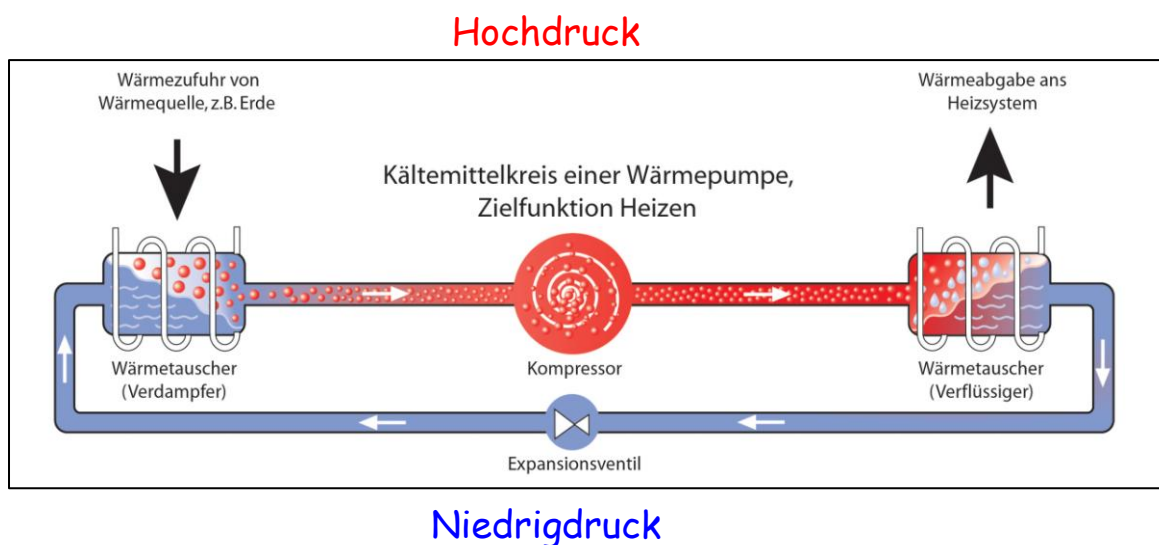


Abb. 5.30: Wärmepumpe – Funktionsprinzip einer Wärmepumpe

Anhand der Abbildung 5.30 bespricht die Gruppe mit dem Betreuer, dass in der Wärmepumpe ein Trägermittel (Frigen, Freon oder Ammoniak) einen Kreisprozess durchläuft. Dieser Kreisprozess besteht aus vier Schritten, dem Verdampfen, dem Verdichten, dem Kondensieren und dem Entspannen.

Beobachtungen

Oft werden bei der Erklärung der Wärmepumpe nur die Vorgänge in den einzelnen Bauteilen erläutert. Diese Vorgehensweise hat aber den Nachteil, dass zwar die einzelnen Schritte verstanden werden, aber es wird nicht deutlich, warum die einzelnen Arbeitsschritte stattfinden. Zudem wird häufig nicht besprochen, wie die Wärmepumpe den scheinbaren Widerspruch löst, dass Wärme vom Ort niedrigerer Temperatur zum Ort höherer Temperatur fließt. Dass durch Veränderung des Drucks dieser Widerspruch überwunden werden kann, wird von den Jugendlichen nicht erkannt. Aus diesem Grund wird vor dem Experimentieren das Grundprinzip der Wärmepumpe (Abb. 5.30) ausführlich besprochen und diskutiert. Außerdem muss betont werden, warum die einzelnen Vorgänge stattfinden.

Im weiteren Verlauf der Experimentierstation „Wärmepumpe“ wird auf die einzelnen Arbeitsschritte einer Wärmepumpe näher eingegangen. Die vollständige Erklärung wird hier an dieser Stelle nicht explizit aufgelistet. Sie kann im Kapitel 4.7 nachgelesen werden. In den nachfolgenden Versuchen der Station „Wärmepumpe“ werden die Schritte des Kreisprozesses erarbeitet.

Versuch 1: Energietransport und Verdichten

Motivation

Die folgenden zwei Sachverhalte, auf welchen die Funktionsweise der Wärmepumpe beruht, müssen ausführlich thematisiert werden.

- ❖ Wärme fließt immer vom Körper höherer Temperatur zum Körper niedrigerer Temperatur.
- ❖ Die Erhöhung des Drucks hat immer eine Erhöhung der Temperatur zu Folge.

Diese Prinzipien müssen stets wiederholt und immer wieder verwendet werden, um die Funktionsweise der Wärmepumpe zu erklären. Dabei soll bereits vor dem Experimentieren klar werden, dass man durch Veränderung des Drucks die Temperatur verändern kann und somit erreichen kann, dass Wärme vom Ort niedrigerer Temperatur aufgenommen und am Ort höherer Temperatur abgegeben wird.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Luftpumpe

Der Kolben einer Fahrradluftpumpe wird nach hinten bewegt und damit Luft angesaugt. Das Auslassventil wird mit dem Daumen fest zuge drückt. Anschließend soll einige Male kräftig gepumpt werden. Dabei stellen die Teilnehmer eine Erwärmung am Daumen fest. Mit Hilfe eines Lückentextes und den dabei vorgegebenen Wörtern, die in die Lücken geschrieben werden sollen, wird die Theorie dieses Versuchs bearbeitet.

Hinweise für die Betreuer

Die Betreuer müssen mit den Mädchen und Jungen die im Lückentext erarbeiteten Inhalte besprechen. Dabei wird festgehalten: Je größer die Druckerhöhung ist, desto größer ist die Temperaturerhöhung. Um den Druck zu erhöhen, muss Arbeit verrichtet werden. Die Arbeit muss umso größer sein, je größer die Druckerhöhung sein soll. Bei der Wärmepumpe kann nun durch Veränderung des Druckes, Wärme von einem Gebiet niedrigerer Temperatur in ein Gebiet höherer Temperatur gebracht werden. Um Wärme aufzunehmen, befindet sich das Kältemittel unter niedrigerem Druck und hat eine niedrigere Temperatur, als die Umgebung. Bei der Wärmeabgabe ist der Druck des Kältemittels hoch und die Temperatur höher als die Temperatur des Heizsystems.

Beobachtungen

Während der Schülerlabordurchführung wurden beim Versuch 1 einige Probleme festgestellt. Zum einen führen die Schüler die fühlbare Erwärmung auf die Körperwärme des Durchführenden zurück, zum anderen ist es schwierig, mit dem Daumen die Öffnung

der Pumpe zu verschließen. Außerdem sieht man die Druckerhöhung nicht, sondern spürt sie nur indirekt über die auszuübende Kraft. Aus diesem Grund musste die betreuende Person explizit auf das zu beobachtende Phänomen hinweisen.

Arbeitsauftrag 1: Verdampfen

Motivation

Der Arbeitsauftrag 1 dient dazu, zum Versuch 2 hinzuführen.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Spiritus oder Eau de Toilette

Es werden einige Tropfen Spiritus auf den Handrücken getropft und anschließend wird leicht darüber geblasen.

Hinweise für die Betreuer

Wenn Spiritus auf der Hand verdunstet, wird die Haut kühler. Um eine Flüssigkeit zu verdampfen, ist immer Energie erforderlich. Meist wird sie in Form von Wärme zugeführt, z. B. beim Sieden von Wasser, oder sie wird der Umgebung entzogen (im Arbeitsauftrag ist dies die Handoberfläche). Auch beim Verlassen eines Schwimmbeckens ist dies zu beobachten: Ohne Abtrocknen friert man sehr bald. Bei der Wärmepumpe wird dieser Vorgang technisch genutzt. Hier wird beim Verdampfen einer Flüssigkeit Energie in Form von Wärme aus der Umgebung entzogen. Abgekühlt werden dabei aber nicht wie im Kühlschrank Speisen, sondern z. B. der Erdboden im Garten, das Grundwasser oder die Außenluft. Am einfachsten lässt sich die mit Außenluft arbeitende Wärmepumpe beschreiben. Mit Ventilatoren wird die Außenluft an den Rohrschlangen des Verdampfers der Wärmepumpe vorbeigeführt. In ihnen befindet sich eine Flüssigkeit, das so genannte Trägermittel. Da diese Flüssigkeit einen sehr niedrigen Siedepunkt hat, siedet und verdampft sie sehr schnell und entzieht die hierfür erforderliche Energie der vorbeiströmenden Luft. Mit Hilfe einer Pumpe wird das entstehende Gas angesaugt.

Beobachtungen

Da Spiritus sehr geruchsintensiv ist und einige Schüler dem Arbeiten mit Spiritus recht kritisch gegenüberstanden, wurde Eau de Toilette für die Experimentdurchführung benutzt. Auch eine objektive Temperaturmessung mit einem Digitalmessgerät ist möglich. Hierfür wird ein Wattebausch mit etwas Eau de Toilette oder Spiritus getränkt und der Messfühler des Digitalmessgeräts wird an den Wattebausch gehalten. Dabei ist eine leichte Abkühlung zu messen.

Versuch 2: Verdampfungswärme von Wasser

Motivation

Mit diesem Versuch wird das Ziel verfolgt, den Schülern klar zu machen, dass zum Verdampfen einer Flüssigkeit Energie benötigt wird. Darüber hinaus soll der Versuch den enormen Unterschied zwischen den benötigten Energiemengen bei Verdampfen bzw. Erwärmen demonstrieren. Die Jugendlichen arbeiten in dieser Einheit mit dem Computerprogramm „DataStudio“. Dabei soll erkannt werden, dass physikalische Messreihen mit Hilfe von Datenerkennungsprogrammen erstellt werden können. Im Versuch 2 wird mit Temperatursensoren der Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Heizzeit graphisch aufgezeichnet und anschließend von den Jungen und Mädchen ausgewertet.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Becherglas
- Tauchsieder (300 Watt)
- Temperatursensor (Abb. 5.31), Pasko
- Powerlink (Abb. 5.32), Pasko
- Laptop
- Magnetrührgerät
- Stativmaterial
- Topflappen
- Waage (Digi 2000; 2000g/1g)
- Stoppuhr (oder die Stoppuhr des Handy´s des Versuchsteilnehmers) (1/100s)

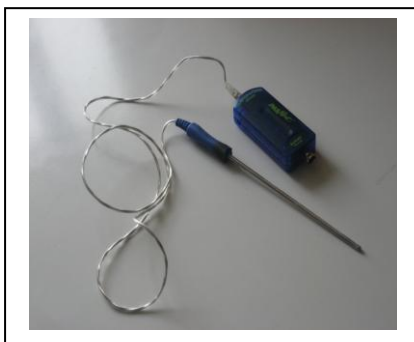


Abb. 5.31: Wärmepumpe – Temperatursensor



Abb. 5.32: Wärmepumpe – Powerlink

Da der Versuch 2 mindestens 10 Minuten laufen soll, muss bereits vor dem Beginn des Versuchs 1 Vorarbeit geleistet werden.

Anfangs wird der Laptop gestartet. Das Leergewicht (m_2) eines Becherglases wird ermittelt, anschließend wird das Glas mit 400 ml Wasser gefüllt und das Gefäß samt Inhalt nochmals gewogen (m_1). Die gemessenen Daten werden in eine Tabelle, die sich im Handout der Schüler befindet, geschrieben (vgl. Kapitel 8.4). Der Temperatursensor (Abb. 5.31) wird über ein Kabel an den Powerlink (Abb. 5.32) angeschlossen. In der Zwischenzeit sollte der PC soweit hochgefahren sein, dass er nach dem Benutzer fragt. Es soll auf den Button „experimentieren“ gedrückt werden, danach wird Windows vollständig hochgeladen. Von der Rückseite des Powerlinks geht ein USB-Kabel zum PC. Wird der Sensor angesteckt, wird er automatisch erkannt und die Schüler müssen nur noch auf „Data-Studio-Starten“ klicken, um das Messprogramm automatisch zu starten.

Im Anschluss soll der Versuch 2, wie er in der Abbildung 5.33 dargestellt ist, aufgebaut werden.

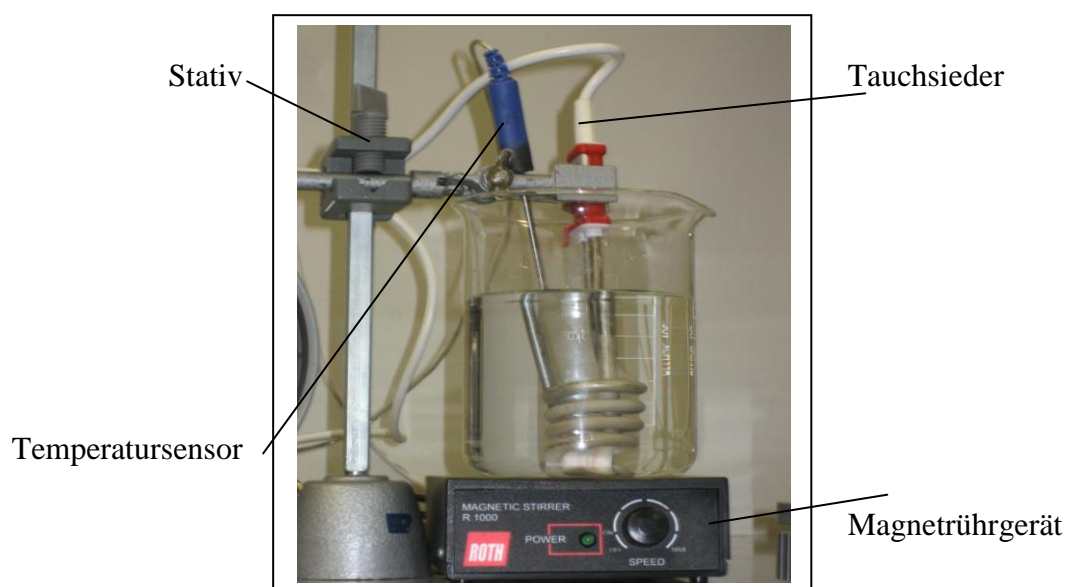


Abb. 5.33: Wärmepumpe – Versuch 2 – Verdampfungswärme von Wasser

Der Tauchsieder mit bekannter Leistung wird in das Becherglas gegeben. Er soll aber nicht ganz den Boden des Gefäßes berühren. Das Thermometer wird am Becherglas befestigt. Dabei soll die Fühlerspitze etwa auf halber Wasserhöhe stehen. Das Magnetrührgerät ist einzuschalten.

Wenn alle Vorbereitungen getroffen sind, kann die eigentliche Messung beginnen. Der Tauchsieder wird eingeschaltet und die Stoppuhr gestartet. Gleichzeitig muss im Programm „DataStudio“ auf Start gedrückt werden. Ab diesem Moment kann beobachtet werden, dass die Messkurve aufgezeichnet wird.

Ab diesem Zeitpunkt läuft das Experiment selbständig weiter und es kann zum Versuch 1 wieder gewechselt werden. Sind die Schüler erneut an dem Versuch 2 angelangt und sind

genau 5 Minuten nach Siedebeginn vergangen, so kann im Programm „DataStudio“ auf Stopp gedrückt werden und die vollständige Kurve ist am PC ersichtlich (Abb. 5.34). Das Becherglas mit dem heißen Wasser muss erneut gewogen werden (m_4). Dieser Wert und die Wattangabe des Tauchsieders wird in die Tabelle übertragen. Im Anschluss soll berechnet werden, wie viel Wasser verdampft ist. Die vom Wasser in der Zeit Δt aufgenommenen Wärmemenge ΔQ ergibt sich aus der Leistung P des Tauchsieders.

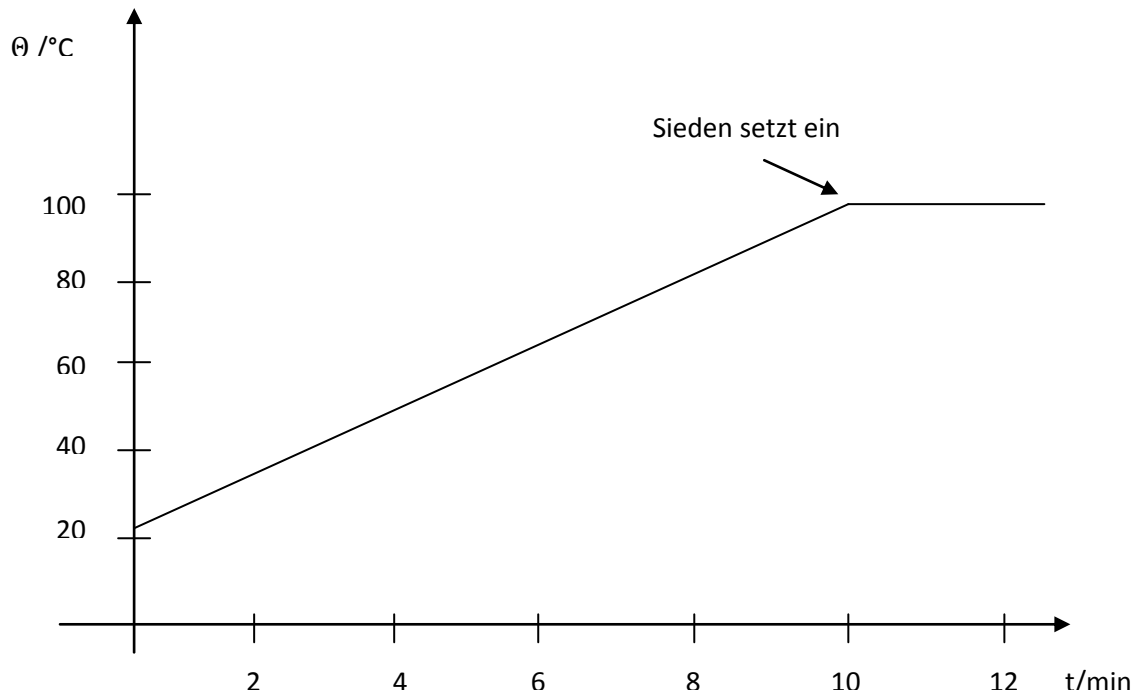


Abb. 5.34: Wärmepumpe – Versuch 2 – Temperatur des Wassers in Abhängigkeit von der Heizzeit

Hinweise für die Betreuer

Die Betreuer müssen mit den Schülern die obige Kurve besprechen. Die Temperatur des Wassers nimmt zuerst linear mit der Zeit zu. Bei hohen Temperaturen flacht die Kurve etwas ab. Nach Einsetzen des Siedens bleibt die Temperatur des Wassers konstant.

Im Zusammenhang zur oben berechneten und aufgenommenen Wärmemenge kann vom Betreuer die spezifische Wärmekapazität c erwähnt werden. Sie gibt an, wie viel Wärmeenergie benötigt wird, um 1 g Wasser um 1 °C zu erwärmen. Dabei sollte erwähnt werden, dass mit der Energie, die benötigt wird, um 1 g Wasser zu verdampfen, ca. 10 g Wasser um 50 °C erwärmt werden können. Die Jugendlichen sollen also zum einen erkennen, dass zum Verdampfen einer Flüssigkeit eine große Energiemenge erforderlich ist und zum anderen soll deutlich werden, dass die Temperatur der Flüssigkeit während des Siedens stets konstant bleibt.

Diese beiden Eigenschaften werden beim Betrieb der Wärmepumpe ausgenutzt. Der in den Verdampfer einströmende Arbeitsstoff ist flüssig, der Umgebung wird Wärme entzogen und der Arbeitsstoff verdampft, während seine Temperatur etwa konstant bleibt.

Beobachtungen



Abb. 5.35: Wärmepumpe – Versuch 2 – Durchführung

Bei diesem Versuch hatten die Teilnehmer große Freude am Experimentieren, wie auch die Abbildung 5.35 zeigt. Die Schüler bewerteten es positiv, dass sie komplett eigenständig den gesamten Versuch durchführen konnten. Dies beinhaltete sowohl den Aufbau des Versuchs, als auch die graphische Auswertung am PC. Bei der Interpretation der Ergebnisse traten aber dennoch vermehrt Schwierigkeiten auf, da der benötigte theoretische Inhalt doch recht kompliziert ist. Hier wurde relativ häufig der Betreuer um Hilfe gebeten.

Arbeitsauftrag 2:

Im Arbeitsauftrag 2 sollen die bisherigen Ergebnisse nochmals kurz zusammengefasst werden: Zum Verdampfen einer Flüssigkeit ist eine große Energiemenge erforderlich. Die Temperatur der Flüssigkeit bleibt dabei konstant (Siedetemperatur).

Der Kompressor

Im nachfolgenden Abschnitt sollen die Schüler überlegen und diskutieren, was im Kompressor geschieht. Hierzu wird auf den Versuch 1 mit der Luftpumpe verwiesen.

Hinweise für die Betreuer

Im Versuch 1 konnte festgestellt werden, dass sich beim Zusammenpressen der Luft die Temperatur erhöht. In der Wärmepumpe geschieht dieser Vorgang mit dem gasförmigen Trägermittel. Das Mittel wird aus dem Verdampfer gesaugt und anschließend verdichtet. Dabei steigen der Druck und die Temperatur stark an. Zum Antrieb der Pumpe muss jedoch elektrische Energie zugeführt werden.

Versuch 3: Der Verflüssiger

Motivation

Das Ziel dieses Experiments ist es, dass die Teilnehmer die Funktionsweise des Verflüssigers verinnerlichen. Dabei soll erkannt werden, dass beim Kondensieren von Wasser Wärmeenergie frei wird.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Erlenmeyerkolben mit Stopfen
- Gasbrenner mit Dreifuss
- Stativmaterial
- Becherglas
- Digitalthermometer (-200°C – +1200°C)
- Schlauch mit Reagenzglasröhrchen ($\varnothing = \text{ca. } 5 \text{ mm}$)

Auch bei diesem Versuch muss vor der eigentlichen Bearbeitung des Experiments Vorarbeit geleistet werden. Die Abbildung 5.36 zeigt den vollständigen Aufbau.

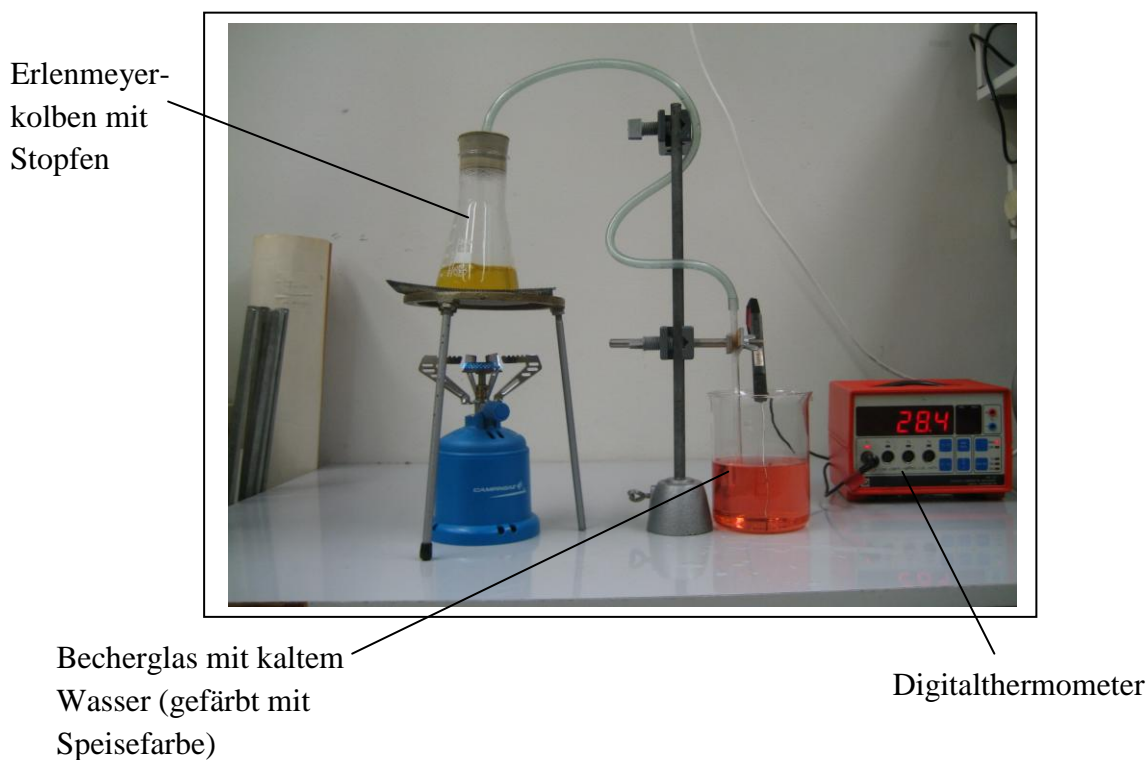


Abb. 5.36: Wärmepumpe – Versuch 3 – Der Verflüssiger

Im Handout werden die Schüler gebeten, den Gasbrenner zu entzünden, damit das Wasser im Erlenmeyerkolben zum Sieden gebracht werden kann. Der entstehende Wasserdampf wird in ein Reagenzglas geleitet, das sich in einem Becherglas mit kaltem Wasser befindet. Hierzu soll kaltes Wasser aus dem Kühlschrank geholt werden und ca. 400 ml Wasser in das Auffangbecherglas gefüllt werden. Im Weiteren soll die Temperatur des Wassers im Becherglas gemessen werden. Nachdem die Schüler die Vorarbeit geleistet haben und wieder an diesem Punkt des Handouts angekommen sind, sollen die Beobachtungen festgehalten und diskutiert werden.

Hinweise für die Betreuer

Deutlich zu erkennen ist, dass die Temperatur kontinuierlich ansteigt. Wenn Dampf mit einer wesentlich kühleren Umgebung in Kontakt kommt, kondensiert er sofort und gibt dabei die beim Verdampfen aufgenommene Energie wieder ab.

Für die Wärmepumpe bedeutet dies Folgendes: Im Verflüssiger der Wärmepumpe ist die Rohrleitung, in dem sich das gasförmige und unter hohem Druck stehende Trägermittel befindet, vom Wasser des angeschlossenen Heizkreislaufes umgeben. Das Trägermittel kühlt sich bis zur Kondensationstemperatur ab, kondensiert und gibt die dabei freiwerdende Energie in Form von Wärme an das Wasser des Heizkreislaufes ab, das im Kessel von unten nach oben strömt.

Beobachtungen

Bei der Durchführung wurde festgestellt, dass besonders darauf zu achten ist, dass nur heißer Dampf in das Becherglas gelangt. Wenn der Erlenmeyerkolben zu voll mit Wasser gefüllt ist, kann auch heißes Wasser durch den Schlauch und das Glasröhrchen hinübergeschleudert werden. Diese Tröpfchen verfälschen das Ergebnis immens. Die Einfärbung des Wassers hat den Sinn, dass der Dampf, der vom Erlenmeyerkolben in das Becherglas geleitet wird, deutlicher sichtbar wird.

Versuch 4: Die Funktion des Expansionsventils

Motivation

Im Versuch 4 soll die Arbeitsweise des Expansionsventils (Drosselventil) geklärt werden. Das Drosselventil trennt den Bereich hohen und niedrigen Drucks in der Wärmepumpe und der Arbeitsstoff kühlt sich beim Durchgang durch das Ventil ab.

Zusätzlich wird gezeigt, dass die Siedetemperatur einer Flüssigkeit vom Druck, der über der Flüssigkeitsoberfläche herrscht, abhängig ist.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Druckdose Frigen
- Gummischlauch ($\varnothing = 1,5 \text{ cm}$)
- Feinregulierventil für Druckdosen
- Digitalthermometer ($-200^\circ\text{C} - +1200^\circ\text{C}$)
- Reagenzglas ($\varnothing = 3,5 \text{ cm}$)
- Gasverflüssigungspumpe

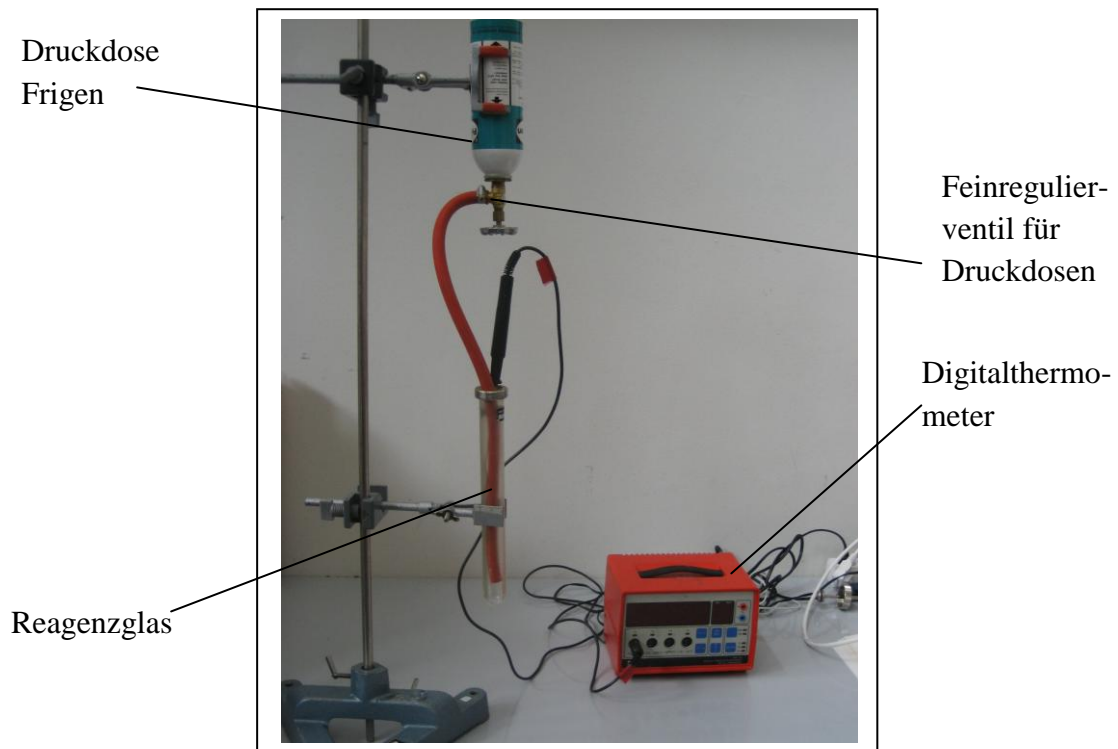


Abb. 5.37: Wärmepumpe – Versuch 4 – Die Funktion des Expansionsventils

Die Abbildung 5.37 zeigt den Aufbau des Experiments. Das Ventil soll von den Schülern vorsichtig geöffnet werden. Es wird erst wieder geschlossen, wenn die Flüssigkeit im Reagenzglas ca. 1 cm hoch steht. Anschließend soll die Temperatur des flüssigen Frigens, das im Glas aufgefangen wurde, gemessen werden. Mit der Hand soll das untere Ende des Reagenzglases erwärmt und nachfolgend die Beobachtungen notiert und besprochen werden.



Abb. 5.38: Wärmepumpe – Versuch 4 – vereistes Glas

Hinweise für die Betreuer

Die Schüler sollten folgenden Sachverhalt begreifen: Der Arbeitsstoff Frigen (CF_2Cl_2) befindet sich in einer Druckdose. Bei Zimmertemperatur beträgt der Druck ca. 6 bar. Die Dose enthält Gas und Flüssigkeit und sie wird auf den Kopf gestellt (vgl. Abb. 5.37), so dass das Ventil unten ist. Es wird flüssiges Frigen in ein Reagenzglas eingeleitet. Nach Austritt herrscht normaler Luftdruck. Frigen kühlt sich beim Durchgang durch das Ventil stark ab, seine Temperatur sinkt also enorm ab. Auch das Ventil und der Schlauch werden kalt, sie beschlagen, da Wasserdampf aus der Luft hier kondensiert. Sobald der Schlauch abgekühlt ist, tropft flüssiges Frigen in das Reagenzglas. Seine Temperatur beträgt -29°C und das Reagenzglas beschlägt und vereist am unteren Ende (vgl. Abb. 5.38). Wird die Hand an das Reagenzglas gehalten, erwärmt sich das Glas und die darin schwimmende Flüssigkeit. Als Folge ist zu erkennen, dass das Frigen heftig siedet. Die Temperatur des Frigen bleibt aber bei -29°C .

Das Ventil demonstriert die Wirkungsweise eines Drosselventils in der Wärmepumpe. Es trennt die Bereiche hohen und niedrigen Drucks im Kreislauf der Wärmepumpe (vgl. Abb. 5.30). Der Arbeitsstoff ist vor und hinter dem Ventil flüssig, die Temperatur sinkt

aber beträchtlich, wenn der Druck erniedrigt wird. Der Verdampfer der Wärmepumpe liegt dicht hinter dem Drosselventil, da die Temperatur des Arbeitsstoffes so stark sinkt, dass sofort der Umgebung Wärme entzogen wird.

Motivation

Im weiteren Verlauf des Versuchs 4 soll der Zusammenhang zwischen Siedetemperatur und Druck untersucht werden.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Benötigte Materialien:

- Druckdose Frigen
- Gummischlauch ($\varnothing = 1,5 \text{ cm}$)
- Feinregulierventil für Druckdosen
- Reagenzglas ($\varnothing = 3,5 \text{ cm}$)
- Gasverflüssigungspumpe

In das Reagenzglas wird erneut etwas Frigen gefüllt. Das Ventil wird erst wieder geschlossen, wenn die Flüssigkeit im Reagenzglas ca. 1 cm hoch steht. Anschließend wird das Reagenzglas aus der Halterung des Stativs entnommen. Auf das Reagenzglas, in dem sich Frigen befindet und welches mit der Hand erwärmt wird, wird eine Gasverflüssigungspumpe gesetzt. Das Frigen ist durch die Wärme der Hand verdampft. Es wird der Kolben in den Zylinder gedrückt (vgl. Abb. 5.39). Die Beobachtungen sollen wieder notiert und diskutiert werden.



Abb. 5.39: Wärmepumpe – Versuch 4 – Gasverflüssigungspumpe

Hinweise für die Betreuer

Bei normalen Luftdruck (10^5 Pa) siedet Frigen bei -29°C . Steigt der Druck über der Flüssigkeit, dann steigt auch die Siedetemperatur. Wenn der Druck ca. $6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ beträgt,

siedet, bzw. kondensiert Frigen bei Zimmertemperatur. In dem zu Anfang noch kalten Zylinder kondensiert bzw. siedet das Frigen bei etwas niedrigerem Druck.

Die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck bildet eine wesentliche Grundlage für das Funktionieren einer Wärmepumpe. Dadurch wird ermöglicht, dass Wärme auf der kalten Seite aus der Umgebung aufgenommen und auf der wärmeren Seite an einen Speicher abgegeben werden kann.

Beobachtungen

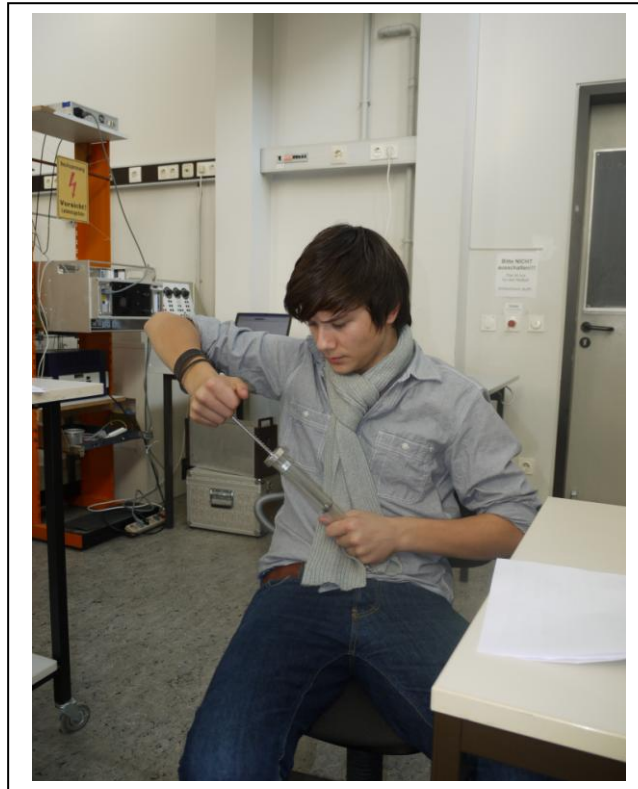


Abb. 5.40: Wärmepumpe – Versuch 4 – Durchführung

Beim Hineindrücken des Kolbens wird das Frigen bei einer bestimmten Kolbenstellung wieder flüssig. Der flüssige Anteil vergrößert sich bei weiterem Eindrücken immer mehr. Wenn der untere Zylinderteil noch sehr kalt ist (vom Einlassen des Frigens), braucht der Kolben zur Verflüssigung nicht so weit hineingedrückt zu werden wie später, wenn der ganze Zylinder wieder Zimmertemperatur angenommen hat. Lässt man den Kolben langsam wieder heraus, beginnt das Frigen zu siedeln.

Das Bild 5.40 zeigt einen Schüler, der den Kolben der Gasverflüssigungspumpe in das Reagenzglas drückt und somit den Druck im Glas erhöht. Der Effekt, dass sich das gasförmige Frigen wieder verflüssigt, wurde von allen Jugendlichen mit großem Erstaunen betrachtet. Da alle Mädchen und Jungen diesen Versuch selbst ausprobieren wollten, wurde, um Frigen zu sparen, in das Reagenzglas, statt dem Trägermittel, Eisspray gesprüht. Mit diesem Spray, das überall käuflich zu erwerben ist, kann dasselbe Phänomen betrachtet werden.

Arbeitsauftrag 3: Vorteile und Nachteile einer Wärmepumpe

Motivation

Die Schüler sollen mit Hilfe der Karte 9 die Vorteile und Nachteile einer Wärmepumpe besprechen. Außerdem sollen sie feststellen, dass Wärmepumpen einen Beitrag zum Umweltschutz leisten können.

Hinweise für die Betreuer

Der Betreuer muss die unterschiedlichen Wärmequellen, die eine Wärmepumpe verwenden kann und die am Anfang dieser Station im Handout vorgestellt werden, thematisieren. In diesem Zusammenhang soll besprochen werden, welche Wärmequelle am besten geeignet ist. Als Wärmequellen stehen Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser, Umgebungsluft oder Abwärme zur Verfügung. Dabei kommt es auf die örtlichen Gegebenheiten, die Lage des Gebäudes und den Wärmebedarf an, welche Wärmequelle am besten verwendet wird (vgl. Kapitel 4.7).

Anschließend wird diskutiert, ob Wärmepumpen eine Möglichkeit darstellen, eine zukünftige, umweltfreundliche und ökonomische Wärmeversorgung zu sichern. Dabei sollte der Betreuer die Leistungszahl erwähnen. Sie gibt das Verhältnis der an das heiße System abgegebenen Wärme zu aufgewandter Arbeit an. Je geringer der Temperaturunterschied also zwischen Wärmequelle und Heizsystem ist, desto weniger Antriebsenergie wird für den Verdichter benötigt, und desto besser ist die Leistungszahl.

Als Nachteil der Wärmepumpe sind die hohen Anschaffungskosten zu nennen. Diese hohen Kosten haben einen wirtschaftlichen Durchbruch der Wärmepumpe verhindert. Weiter ist zu nennen, dass die Arbeitsmedien Frigen oder Freon aus dem Markt gezogen wurden, da sie als umweltphysikalisch bedenklich angesehen wurden.

Dennoch bietet die Wärmepumpe einige Vorteile. Die Hilfekarte 9 soll helfen, eine Diskussion über die Thematik, wie viel CO₂ eine Wärmepumpe gegenüber anderen Heizsystemen einsparen kann, in Gang zu setzen.

Eine Wärmepumpe verbraucht weniger Energie und ist umweltfreundlicher, da ein geringerer CO₂-Ausstoß vorliegt. Zwar muss noch zusätzlich Energie zum Antrieb der Wärmepumpe genutzt werden, dennoch ist der Energieverbrauch im Schnitt wesentlich geringer als bei herkömmlichen Heizsystemen.

nicht verwendete Experimente

Versuch 5: Natürlicher Wärmeenergiefluss

Motivation:

Dieser Versuch war ursprünglich als Versuch 1 der Station „Wärmepumpe“ geplant. Er wurde jedoch aus Zeitgründen verworfen. Das Ziel dieses Experimentes ist, den Schülern die Erfahrung näher zu bringen, dass Wärmeenergie stets vom Wärmere zum Kälteren übergeht.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung:

Benötigte Materialien:

- 2 Bechergläser unterschiedlichen Durchmessers
- 2 chemische Thermometer (-10°C bis + 100°C)
- Stativmaterial
- Gummistopfen mit zwei Bohrungen
- Waage (Digi 2000; 2000g/1g)
- Wasserkocher
- gekühltes Wasser (mindestens 1 Tag im Kühlschrank)
- Stoppuhr (oder die Stoppuhr des Handy's des Versuchsteilnehmers) (1/100s)

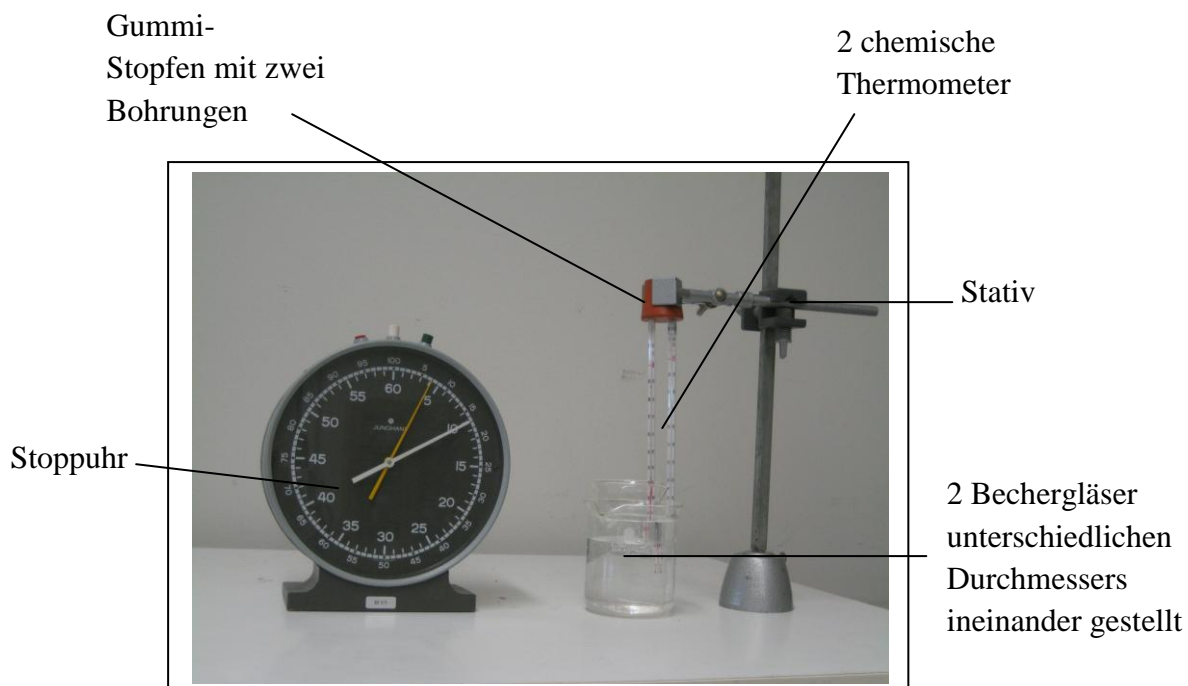


Abb. 5.41: Wärmepumpe – Versuch 5 – Natürlicher Wärmeenergiefluss

In der Abbildung 5.41 ist der Versuchsaufbau gezeigt. Die zwei Bechergläser werden ineinander gestellt und in das innere Becherglas wird ca. 200 ml kaltes Leitungswasser (Kühlschrank) gefüllt. In das äußere Becherglas füllen die Teilnehmer ca. 200 ml heißes Wasser, welches vorher mit dem Wasserkocher erhitzt wird. Beide Thermometer werden bis etwa zur halben Höhe eingetaucht (eines innerhalb und eines außerhalb des kleineren Gefäßes) und die Stoppuhr wird gestartet. In Zeitabständen von 30 s sollen die Schüler das Wasser (warm und kalt) umrühren, die Temperaturen (θ_w und θ_k) ablesen und die Daten in eine vorgegebene Tabelle eintragen. Der gesamte Versuch dauert 10 Minuten. Die gemessenen Werte sollen in ein Koordinatensystem eingetragen und somit der Verlauf beider Temperaturgraphen skizziert werden. Die Abbildung 5.42 zeigt die Graphen.

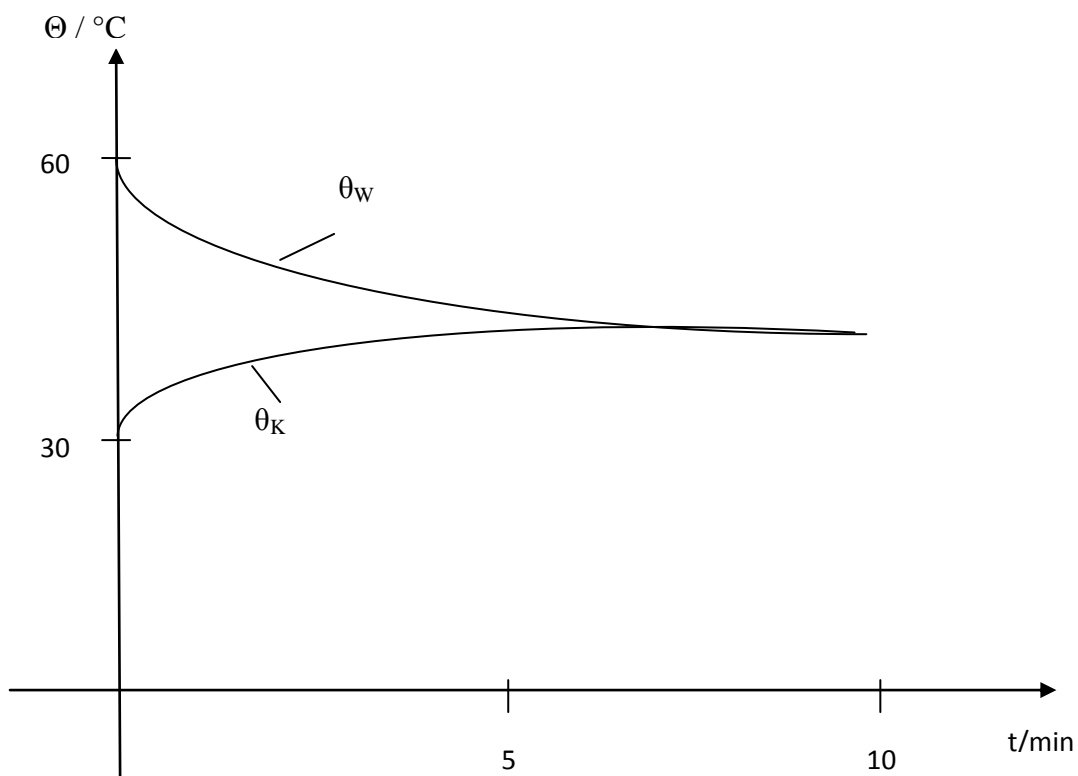


Abb. 5.42: Wärmepumpe – Versuch 5 – Verlauf der Temperaturgraphen

Zum Schluss dieses Experimentes soll der Mittelwert der beiden Starttemperaturen und Endtemperaturen berechnet werden und abschließend das Ergebnis diskutiert werden.

Hinweise für die Betreuer

Der Verlauf der Graphen muss mit den Schülern explizit besprochen werden. Das Ergebnis bedarf einer genauen Erläuterung, da der Sachverhalt, dass Wärmeenergie stets vom Wärmeren zum Kälteren übergeht, eines der Grundprinzipien der Wärmelehre

darstellt. Zudem kommt hinzu, dass dieses Wissen zum Verstehen der Wärmepumpe elementar ist.

Bei den Graphen sollten die Schüler folgenden Sachverhalt erkennen: Die Temperatur des heißen Wassers nimmt ab und zwar zuerst schnell, später langsamer. Das kalte Wasser erwärmt sich entsprechend. Die gemeinsame Endtemperatur liegt etwas unterhalb des Mittelwertes der Anfangstemperaturen.

Warmes Wasser hat einen höheren Energieinhalt als Kaltes. In dem Versuch sind warmes und kaltes Wasser nur durch eine Glaswand getrennt. Energie wird durch Wärmeleitung übertragen, bis beide Wassertemperaturen gleich sind.

Da beide Wassermengen gleich groß sind, sollte die Endtemperatur gleich dem Mittelwert der Anfangstemperaturen sein. Im Experiment liegt die Endtemperatur etwas niedriger, da ein Teil der Wärmeenergie an die kältere Umgebung abgegeben wird.

5.3.5 Station Energieproblematik und die Diskussionsphase

Motivation

Die Station „Energieproblematik“ ist eine Pflichtstation und muss von allen Schülern absolviert werden. In dieser Station lernen die Schüler unterschiedliche Energiequellen kennen. Es soll speziell der grundlegende Gewinnungsprozess von elektrischer Energie durch Sonnenenergie, Windenergie, Wasserenergie, Biomasse, Erdwärme und Kernenergie behandelt werden.

Die Einarbeitungsphase in die Informationsmaterialien

Die sechs Gruppen, in die die Teilnehmer aufgeteilt sind, erhalten jeweils eine Arbeitsmappe mit Arbeitsanweisungen, Informationstexten und Folien zu einem bereits oben genannten Kraftwerkstyp. Die entsprechenden Texte und Folien befinden sich auf der beiliegenden CD.

Die Schüler haben die Aufgabe, innerhalb einer Stunde, von dem jeweiligen zu bearbeitenden Kraftwerkstyp das Funktionsprinzip, den durchschnittlichen Wirkungsgrad, die benötigten Ressourcen, den aktuellen Stand der Verwendung in Deutschland, sowie die Vor- und Nachteile des Typs, den Texten aus der Arbeitsmappe zu entnehmen. Dabei sind die Materialien innerhalb einer Gruppe aufzuteilen, damit nicht jeder Jugendliche alle Texte eines Kraftwerkstyps lesen muss. Die gefundenen Lösungen werden anschließend zusammengetragen und diskutiert.



Abb. 5.43: Energieproblematik – Einarbeitungsphase I

Die Ergebnisse sollen in der Matrix, die sich im Handout der Schüler befindet (vgl. CD), festgehalten werden. Bei dieser Station bilden sich Expertengruppen, die spezielles Wissen hinsichtlich eines bestimmten Kraftwerkstyps besitzen. Jede Gruppe wählt aus ihrer Mitte zwei Personen aus, welche in der Präsentationsphase, die erarbeiteten Informationen dem Rest der Klasse vorstellt. Um die Vorstellung anschaulicher gestalten zu können, sollen die Resultate stichpunktartig auf große Karteikarten übertragen werden (vgl. rote Karten Abb. 5.44). Diese Karten sollen bei der Präsentation in Form einer Matrix an die Tafel geheftet werden (vgl. Präsentationsphase).

Karteikarten



Arbeitsmappen mit Texten
und Folien

Abb. 5.44: Energieproblematik – Einarbeitungsphase II

In den Arbeitsmappen befinden sich ebenfalls Folien, mit deren Hilfe das Funktionsprinzip des jeweiligen Typs besser erläutert werden kann (siehe CD).

Im Schülerlabor wurden in der Station „Energieproblematik“ Energieflussdiagramme, die die Energieumwandlungsketten (vgl. Abb. 5.45) verdeutlichen sollen, auf die Folien gedruckt. Diese müssen von den Teilnehmern vollständig ausgefüllt und bei der Präsentation den restlichen Klassenmitgliedern präsentiert werden.

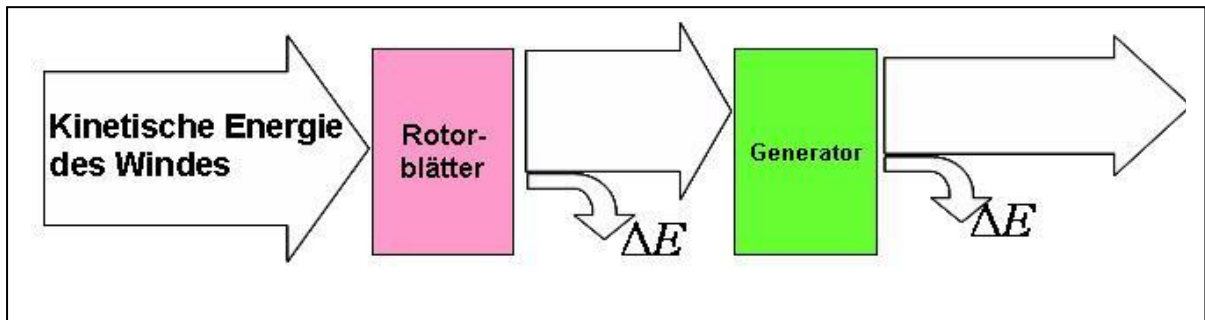


Abb. 5.45: Energieproblematik – Energieumwandlungsketten – Bsp. Windenergie

Hinweise für die Betreuer

Alle Ergebnisse, sowie die Abbildungen auf den Folien zur Erklärung der Funktionsweise von Kraftwerken muss der Betreuer vor der Präsentation mit den Schülern nochmals kurz besprechen, damit keine fehlerhaften Informationen an die restliche Klasse weitergegeben werden. Zu diesem Zweck gibt die Tabelle 11 einen kurzen Überblick über alle möglichen und notwendigen Informationen, die die Schüler erarbeiten sollen. Der Betreuer kann anhand dieser Tabelle schnell alle Ergebnisse mit den Teilnehmern besprechen und fehlerhafte Informationen bereinigen.

Entscheidend für den Erfolg dieser Station „Energieversorgung“ und der dazugehörigen Präsentationsphase ist, wie die Teilnehmer mit den Texten und Folien der Arbeitsmappen zurechtkommen. Aus diesem Grund müssen die Informationsbögen recht kompakt und gut verständlich gestaltet sein. Deshalb wurden die zu bearbeitenden Texte vorab gekürzt und so aufgebaut, dass die Schüler schnell und unmissverständlich auf die benötigten Informationen stoßen. Da zur Klärung aller Fragen mehrere Texte zu lesen sind, müssen die Schüler die Skripte untereinander aufteilen. Die Schüler sollen also als „Gruppe“ arbeiten. Dies birgt einen weiteren Vorteil in sich. Die Gruppe muss vor der Präsentation die Ergebnisse diskutieren. Dadurch setzen sich die Mädchen und Jungen intensiver mit der Materie auseinander und haben somit nebenbei Argumente für die abschließende Diskussionsrunde, die mit der ganzen Klasse stattfindet, gesammelt.

Beobachtung

Besonders auffällig war in der Station „Energieproblematik“ zu beobachten, dass bereits während der Einarbeitungsphase in die Informationsmaterialien, rege Diskussionen sowohl zwischen den jeweiligen Gruppenmitgliedern, als auch zwischen den Lehrkräften und den Betreuern, entstanden. Besonders viel Zündstoff beinhaltete die Kernenergie. Eine Gruppe weigerte sich sogar vehement, die Arbeitsmappe „Kernkraftwerke“ zu bearbeiten, mit der Begründung, sie wären stricke Gegner der Kernenergie. Aus diesem Grund wurde dieser Gruppe eine andere Mappe, die „Sonnenenergie“, zugeteilt. Auf der anderen Seite gab es Jungen und vor allem auch Mädchen, die sich intensiv mit der Kernenergie auseinandersetzten und die Hintergründe dieser Art der Energiegewinnung näher kennenlernen wollten. Besonders beliebt waren auch die Biomasse und die Erdwärme. Zahlreiche Schüler gaben an, dass ihnen diese Arten der Energiespeicherung noch relativ unbekannt waren. So wurden diese beiden Mappen recht häufig gewählt.

Laut den Aussagen der Betreuer und den Aussagen der Schüler traten keine größeren Probleme bei der Bearbeitung der Texte, hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades oder des vorgegebenen Zeitrahmens, auf.

Einige physikalische Aspekte und Begriffe mussten dennoch während dieser Station von den betreuenden Hilfskräften mit den Schülern explizit geklärt werden. Viele Schüler konnten die Begriffe „Ressourcen“ und „Reserven“ nicht auseinander halten. Auch die „thermische Energie“ oder die „kinetische“ und die „potentielle Energie“ waren eher unter den Namen Wärme-, Bewegungs- und Lageenergie bekannt.

Eckdaten verschiedener Energiegewinnungsmöglichkeiten im Vergleich

	Reserven und Ressourcen Potentiale	Wirkungsgrad	momentane Verwendung in BRD	Vorteile	Nachteile
Kernkraftwerke	Uranreserven: 1,77 Mt Für die nächsten Jahrzehnte ein ausreichendes Potential [BUN09/26-28] Uranressourcen reichen über 200 Jahre [INTQ37]	beide Typen: 30 – 40 % [INTQ36]	- derzeit 25 Kernkraftwerke in Deutschland, davon 13 stillgelegt bzw. werden stillgelegt [INTQ31] - 2010 betrug der Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung in BRD 10,9 % [INTQ25]	- kein CO ² -Ausstoss - Verfügbarkeit von Uran für die 200 Jahre [HEI03/229-233]	- Atomkatastrophen - Verbreitung von Nuklearwaffen - Problem der Endlagerung
Kohlekraftwerke (Wärme- / Wärmekraftwerke)	Weltweites Gesamtpotenzial an Reserven (Stand 2008): - Erdöl: 405 GT - Erdgas: 516 Bill. m ³ - Kohle: 997 GT, davon 728 GT Hartkohle und 269 Gt Weichbraunkohle → Reichweite ca. 200 Jahre bei aktuellem Verbrauch [BUN09/17-25]	30 – 40 % [INTQ30]	derzeit ist der Bau von 30 neuen Kohlekraftwerken in Deutschland geplant [INTQ30]	Kohle in Deutschland verfügbar → kaum Abhängigkeit von Rohstoffimporten aus dem Ausland [INTQ30]	- sehr hoher CO ₂ -Ausstoß - Reserven sind endlich und können bald zu Ende gehen [INTQ30]
Sonnenenergie					
Fotovoltaik	∞ aber von der Tageszeit abhängig	20 % [BÜR07/32-38]	trug 2010 mit 2 % an gesamten Stromerzeugung für Deutschland bei [BMU11/4]	- Strom wird dort erzeugt, wo er benötigt wird - lautlos und ohne Emission [WIL09/16-17]	- lange Amortisationsdauer - hoher Flächenbedarf bei geringem Energiegewinn [WIL09/16-17]
Solarthermie					
- Turmkraftwerke		ca. 40 % [HEI03]	BRD nicht geeignet; es würden 80000 km ² in der Wüste Sahara reichen, um den Energiebedarf der Welt zu decken; für Deutschland nicht mal 3 000 km ² [WIL09/18-19]	- Speicherung der Wärme über Stunden und Tage möglich - kurze Amortisationszeit - Kombinierbar mit herkömmlichen Kraftwerken [WIL09/18-19]	- relativ großer Flächenbedarf - geografische Einschränkung [WIL09]
- Parabolrinnenkw.	ca. 20 % [HEI03]				
Wasserenergie	Weltweit gesehen bestehen noch erheblich Potenziale zur Nutzung der Wasserkraft. Aktuell werden genutzt: Europa 75%, Nordamerika 70%, Südamerika 33 %, Asien 22% und Afrika 7% [WIL09/20-21]	bis zu 97 % möglich [HEI03]	hat einen Anteil von 4 – 5 % am gesamten deutschen Strommix → Potential fast ausgeschöpft [PET08/237-243] Ca. 400 Anlagen mit einer Leistung über 1MW erzeugen 92% des Stroms aus Wasserkraft, den Rest bestreiten 7 000 Kleinanlagen [WIL09/20-21]	- ausgereifte Technik - hoher Wirkungsgrad - keine Emission - wartungsfrei, lange Nutzdauer [WIL09/20-21]	- hohe Investitionskosten - Eingriff in Natur - bei Großanlagen sind die Auswirkungen auf Wasserhaushalt, Klima, Vegetation und Gesellschaft kaum vorherzusehen - nicht überall nutzbar: 90 % der Wasserkraft stammen aus Bayern und Baden-Württemberg [WIL09/20-21]
Windenergie	- Windgeschwindigkeiten sowohl zeitlich als auch räumlich sehr unterschiedlich - zu hohe aber auch zu niedrige Windgeschwindigkeiten können nicht genutzt werden. Ideal: 3 – 25 m/s	40 – 50 % [HEI03]	21.607 Windenergieanlagen Leistung von 27.214 Megawatt [INTQ45]. Im Jahr 2010 trug die Windenergie mit 13,3 % zur deutschen Endenergiebereitstellung bei [BMU11].	- hoher Erntefaktor - hoher Wirkungsgrad - keine Emission [WIL09/22-23]	- Windstärke ist schwankend → kaum planbares Energiedargebot → nicht grundlastfähig - Geräusentwicklung - ästhetische Aspekte - Energiereserve bei Flaute nötig [WIL09/22-23]
Biomasse	In BRD ein sofort nutzbares Potential an Biomasse von ca. 2.343 PJ .Damit können 16 % des Primärenergie- bzw. 24 % des Endenergiebedarfs gedeckt werden [SCH00].	Biogasanlage : ca. 20 %	2010 6.000 Biogasanlagen; [INTQ41] In BRD trug die Bioenergie 2010 von Wärme zu 9,0 %, von Strom zu 5,5 % [BMU11]	- jederzeit und bedarfsgerecht einsetzbar, lagerfähig [WIL09/24-25] - CO ₂ -neutraler Energieträger [SCH00]	- ökologische Belastung durch Dünger... - Emission bei Verbrennungsvorgang - flächenintensiv [WIL09/24-25]
Geothermie		Hot-Dry-Rock-Verfahren: ca. 20 % [HEI03]	Trug 2010 mit 2,0 % zur deutschen Energiebereitstellung bei [INTQ25]	- saubere Energie, keine Emission - ständig verfügbar, grundlastfähig [WIL09/26-27]	- nicht überall wirtschaftlich nutzbar, da oft in zu großer Tiefe - Probebohrungen nötig → teuer, Erfolg ungewiss [WIL09/26-27]

Tabelle 11 : Eckdaten verschiedener Energiegewinnungsmöglichkeiten im Vergleich

Die Präsentationsphase

Im Vorfeld der Präsentationsphase haben die Schüler nochmals 15 Minuten Zeit, ihre Ergebnisse aufzuarbeiten und Unstimmigkeiten innerhalb der Gruppe zu klären. Während der Präsentationsphase werden die Ergebnisse jeder einzelnen Arbeitsgruppe vorgestellt. Die Gruppen haben hierzu zwei Sprecher ausgewählt, die den Redeanteil untereinander aufgeteilt haben.



Abb. 5.46: Energieproblematik – Präsentation der Funktionsweise eines Parabolrinnenkraftwerks

Die Folien dienen als Anschauungsmaterial und zeigen die jeweilige Funktionsweise eines Kraftwerkstyps und die Energieumwandlungskette. Die Abbildung 5.46 zeigt einen Schüler, der beispielsweise das Parabolrinnenkraftwerk erläutert.

Damit die Schüler die Wirkungsgrade, die Vor- und Nachteile, den momentanen Stand der Verwendung in Deutschland und die Ressourcen eines Kraftwerkstyps besser erklären und verdeutlichen können, schreiben die Schüler ihre Ergebnisse bereits in der Station „Energieproblematik“ auf Karteikarten. Diese werden, nachdem die Inhalte von den Sprechern vorgestellt worden sind (vgl. Abb. 5.47), an die Tafel geklebt, auf welcher sich bereits eine Matrix befindet.

Diese Matrix gibt, nachdem alle Gruppe ihren Beitrag vorgetragen haben und alle Informationen an der Tafel angebracht sind, eine Übersicht aller vorgestellten Kraftwerkstypen. Diese Aufstellung erlaubt einen gut ersichtlichen Vergleich der einzelnen Möglichkeiten, elektrische Energie zu gewinnen. In Abbildung 5.48 ist die Matrix an der Tafel abgebildet.

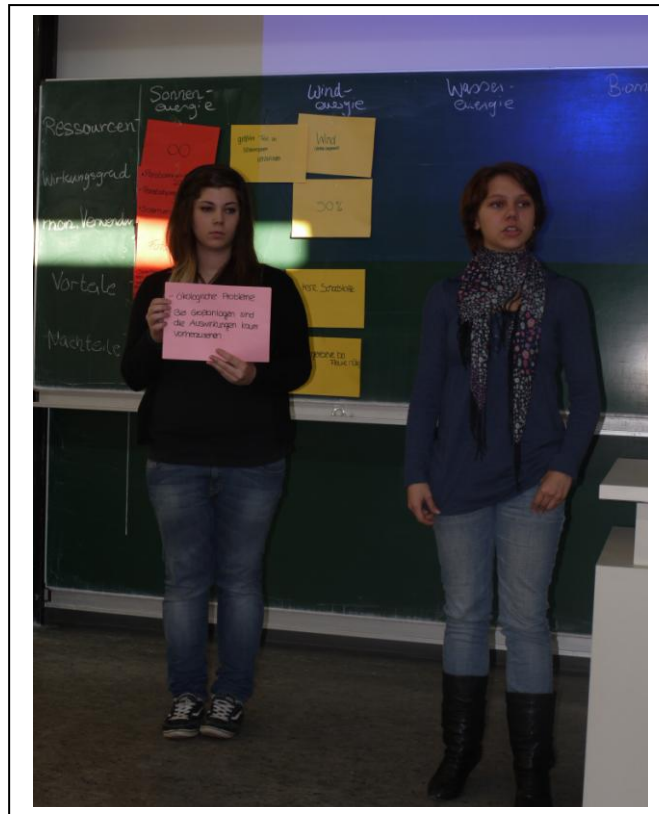


Abb. 5.47: Energieproblematik – Präsentation der Ergebnisse mit Hilfe von Karteikarten



Abb. 5.48: Energieproblematik – Matrix

Hinweise für die Betreuer

Der Betreuer muss für die Übersichtlichkeit der Matrix sorgen. Hierfür muss zum einen die Matrix möglichst groß auf der Tafel sichtbar gezeichnet werden und zum anderen muss die Schrift auf den Karteikarten der Schüler möglichst sauber, groß und übersichtlich gestaltet sein. Deshalb sind die Schüler dahingehend zu instruieren.

Da die Präsentationsphase erst nach der Mittagspause stattfindet, haben die Schüler eine fünfzehnminütige Zeitspanne, ihre Ergebnisse nochmals zu überdenken. Es hat sich während der Schülerlabordurchführung gezeigt, dass einige Schüler diese Viertelstunde nicht effektiv nutzen. Deshalb wurde sofort mit der Präsentation begonnen.

Der vortragenden Gruppe können nach Abschluss der Präsentation noch Fragen hinsichtlich ihres Themengebietes gestellt werden. Sofern die Gruppe nicht selbständig antworten kann, springt der Betreuer ein und klärt die offenen Sachverhalte. Fehlende Inhalte werden vom Betreuer nach Abschluss des Gruppenvortrags ergänzt.

Beobachtungen

Grundsätzlich verlief die Präsentationsphase erfreulich effektiv. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer die Texte intensiv bearbeitet hatten und die Inhalte von den Jugendlichen verinnerlicht worden waren.

Die Sprecher sollten die Informationen möglichst freisprechend und flüssig präsentieren. Da manche Teilnehmer Probleme hatten, sich die Inhalte zu merken, durften die Jugendlichen auch einen Spickzettel mit an die Tafel nehmen oder sich an den Stichpunkten auf den Karteikarten orientieren. Einige Teilnehmer, die auch bereits während der Experimentierphasen sehr große Motivation und Aufmerksamkeit zeigten, konnten die Informationen jedoch ohne große Probleme und mit viel Engagement darbieten. Dies lockerte die Präsentationsphase immens auf. Auch Aspekte aus der experimentellen Phase, wie zum Beispiel aus der Station „Energieversorgung“ die Funktionsweise eines Generators, wurden an passender Stelle erwähnt und erläutert. Hilfestellungen durch den Betreuer bedurfte es nur sehr selten. Auch den größten Teil der Fragen konnten die Expertengruppen eigenständig beantworten.

Bereits während des Vortrags einiger Gruppen nutzten die zuhörenden Heranwachsenden die Chance, ihre Bedenken bezüglich eines Kraftwerkstyps zu äußern. Aufgrund des sehr kurz bemessenen zeitlichen Spielraumes wurde die Diskussion aber auf später vertagt und innerhalb der Diskussionsrunde vom Betreuer die Debatte nochmals aufgegriffen. Zudem sollten die Schüler erst einen vollständigen Überblick über die unterschiedlichen Möglichkeiten der elektrischen Energiegewinnung erlangen und mit Hilfe der Matrix potentielle Alternativen erkennen. Zudem konnte der Moderator innerhalb der Diskussionsrunde gezielte Frage und Problemstellungen aufwerfen und so das Gespräch besser leiten.

Die abschließende Diskussionsrunde

Im Anschluss an die Präsentation der Ergebnisse folgt die Diskussionsrunde, in welcher alle Schüler, Lehrer oder Betreuer ihre Meinungen, Ansichten oder Bedenken über die herrschende Energiepolitik und den Klimaschutz äußern können. Die Matrix an der Tafel soll dabei eine Hilfestellung leisten und über die Unterschiede, sowie über Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Kraftwerkstypen, informieren. Die Aufstellung hilft, die Argumentationsreihe der Diskussionsteilnehmer zu belegen.

Beobachtungen

Die Beteiligung an der Diskussionsrunde war bei allen drei Schülerlabordurchführungen sehr hoch. Nahezu jeder Teilnehmer wollte seine Meinung kundtun und sich an der Debatte beteiligen, wie die Energiefrage in Zukunft gelöst werden könnte. Zeitweise konnte sich der Moderator vollständig aus der Diskussion zurückziehen, weil die Teilnehmer untereinander recht konstruktiv über die Energieproblematik sprachen. Kam die Debatte ins Stocken, wurden gezielt Fragen an die Jugendlichen über deren Meinung gestellt.

Ganz klar war für alle Schüler, dass die umweltverschmutzenden Kohlekraftwerke endlich abgelöst werden sollten. Die Frage, wie die Energieversorgung der Zukunft aussehen sollte, barg ein großes Diskussionspotential. Besonders die Kernenergie stand im Kreuzfeuer des Gesprächs. Überraschend war, dass circa ein Drittel aller Jugendlichen für das Beibehalten der Kernenergie war. Wie die Meinung dieser Befürworter der Kernenergie nun nach der Atomkatastrophe in Japan - Fukushima aussieht, wäre natürlich äußerst interessant. Alle Mädchen und Jungen waren sich einig, dass die Kernenergie eine potentielle Rolle beim Klimaschutz spielen könnte, dennoch plädierten über die Hälfte aller Teilnehmer für den Einsatz erneuerbarer Energien. So wurden in etwa die Windkraftwerke, deren Ausbau in Deutschland enorme Fortschritte macht, speziell durch Offshore – Parks, aber auch die Sonnenenergie, die Biomasse und die Geothermie als gute Alternativen für die Zukunft angesehen.

Zum Abschluss der Debatte wurden vom Moderator die prägnantesten Ergebnisse nochmals kurz zusammengefasst und die Teilnehmer verabschiedet und entlassen.

5.4 Energiesparhaus und Ergometer

Im Raum E071 waren Zusatzmaterialien zum Thema Energie, ein Trimm – Dich – Rad und ein Modell eines Energiesparhauses, aufgebaut. Diese beiden Versuche dienten vom 5. – 7. Oktober 2010 als Anschauungsmaterial für den Projekttag „Energie im Speicher“ im Museum im Kulturspeicher in Würzburg und waren von Herrn Stolzenberger & Kollegen der Universität Würzburg konstruiert und dem Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ bereitgestellt worden.

Das Trimm – Dich – Rad

Dieser Versuchsaufbau besteht aus einem Energierad, womit durch Muskelkraft eine Spannung erzeugt wird, mit der unterschiedliche Verbraucher aus dem täglichen Leben (Lampen, CD-Player) betrieben werden können. (vgl. Abb. 5.49).

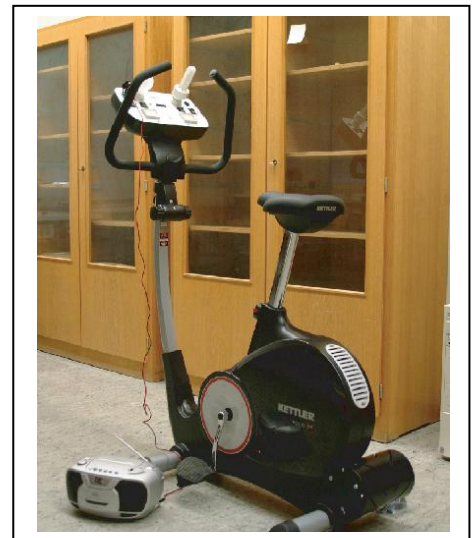


Abb. 5.49: Fahrradergometer

Benötigt ein Verbraucher wenig Energie, ist der Tretwiderstand gering. Bei hohem Energieverbrauch ist der Tretwiderstand entsprechend groß. Auf diese Weise erhalten die Schülerinnen und Schüler ein Gefühl für den unterschiedlichen Energieverbrauch verschiedener alltäglicher Geräte. Während die Energiesparlampe ohne allzu großen

Aufwand zum Leuchten gebracht wird, kann man bei der herkömmlichen Glühlampe schon ins Schwitzen kommen. Wird das Radiogerät angeschlossen, sind sportliche Höchstleistungen gefragt.

Das Modell eines Energiesparhauses

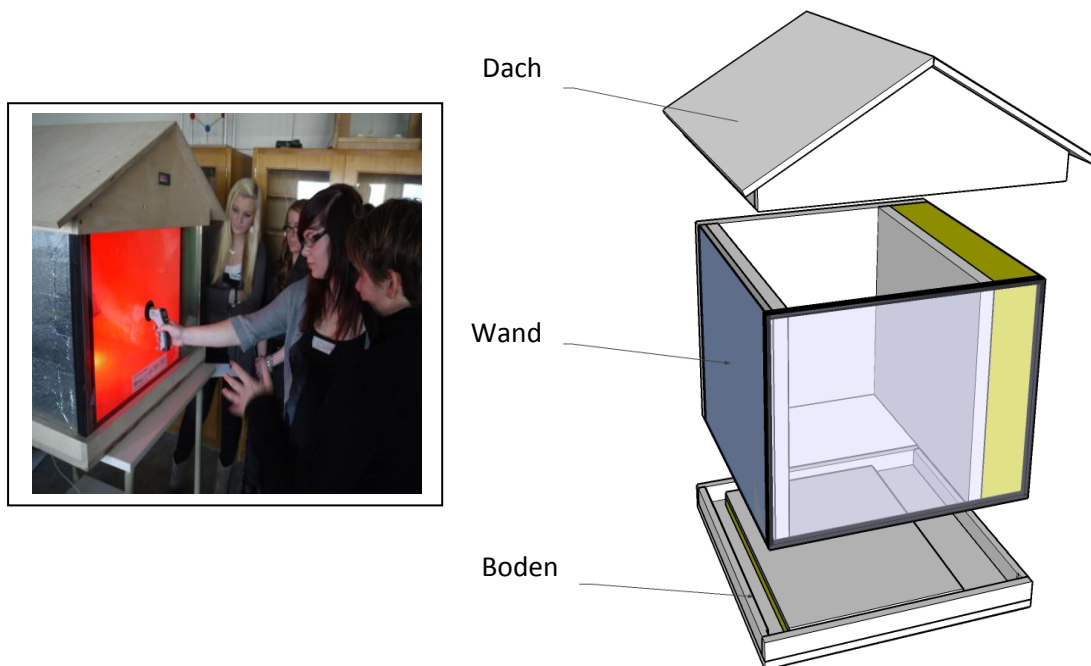


Abb. 5.50: Modell eines Energiesparhauses

Das Energiesparhaus ist auf jeder Seite mit einem anderen Dämmmaterial verkleidet. Eine Wand ist verglast, eine Seite ungedämmt, die dritte Wand besteht aus Mineralfaserdämmung (14 cm; $U = 35 \frac{mW}{Km^2}$) und auf der vierten Seite wurde Vakuumisulationspanell (2 cm; $U = 5-8 \frac{mW}{Km^2}$) verarbeitet. Im Inneren des Häuschens befindet sich eine Halogenlampe, die den Innenraum aufheizt. Die Schüler können mit Hilfe eines Infrarot – Thermometers (Voltkraft; $-50^{\circ}C - +550^{\circ}C$) auf jeder Außenseite die Temperatur messen. Dabei soll den Mädchen und Jungen verdeutlicht werden, dass verschiedene Materialien unterschiedlich stark Wärme leiten. Die ungedämmte Wand weist erwartungsgemäß die schlechteste Dämmeigenschaft auf. Die größte Wärmeisolation wird von der Mineralfaserdämmung und dem Vakuumisulationspanell erreicht. Im Anschluss an die Experimentierstation „Wärmedämmung“ kann mit den Teilnehmern dieses Haus näher betrachtet und die behandelten Inhalte der Station „Wärmedämmung“ nochmals kurz wiederholt werden.

6. Evaluation

6.1 Ergebnisse der Schülerevaluation

Nachdem nun die Organisation des Schülerlabors geschildert und die jeweiligen Stationen mit den dort durchgeführten Versuchen einzeln vorgestellt wurden, soll sich dieses Kapitel mit der Auswertung von Fragebögen beschäftigen, die die Schüler wenige Tage vor und nach dem Besuch des Labors ausgefüllt haben. Es wurde eine Pretest-Posttest-Evaluation vorgenommen, welche das Ziel hatte, zu den einzelnen Phasen des Schülerlabors möglichst viele Rückmeldungen zu erhalten, um gegebenenfalls Änderungen und Verbesserungen vornehmen zu können.

Im Oktober 2010 fanden drei Labordurchführungen statt. Am 12.10.2010 war die Klasse 9D des Riemenschneider-Gymnasiums aus Würzburg an der Universität Würzburg zu Gast. Die Klasse bestand aus 7 Jungen und 12 Mädchen.

Einen Tag später, am 13.10.2010, besuchten 17 Jungen und 12 Mädchen aus der Klasse 9A, vom Röntgen-Gymnasium Würzburg, das Schülerlabor.

Am Freitag, den 14.10.2010 nahm die Klasse 10A von der Realschule Gemünden an der Labordurchführung teil. Hier besuchten 3 Jungen und 16 Mädchen die Universität.

Die Physiklehrkräfte erhielten direkt nach der Anmeldung Pretest-Evaluationsbögen zugesendet, welche bis zum Tag der Durchführung von den Teilnehmern anonym ausgefüllt werden mussten. Nach dem Besuch des Schülerlabors bekamen die Pädagogen die Posttest-Evaluationsbögen mit auf den Weg. Diese Bögen wurden ca. drei bis fünf Wochen später von den jeweiligen Lehrkräften ausgefüllt zurückgesendet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Pretests und anschließend die Ergebnisse des Posttests der gesamten Teilnehmer, also aller 67 Schüler insgesamt, analysiert. Mit Hilfe des Pretests sollte die Motivation und das Interesse für das Schülerlabor getestet werden. Der Posttest hatte vorwiegend die Aufgabe, den Schwierigkeitsgrad des Labors zu ermitteln und gegebenenfalls Bewertungen über die Arbeitsmaterialien zu geben. Gleichzeitig wurde der Lernzuwachs mit Hilfe eines fachlichen Fragenteils eruiert. Da bei den drei Klassen keine nennenswerten Unterschiede zu verzeichnen sind, wird auf eine detaillierte Darstellung der Resultate, als auch auf einen Vergleich der Klassen untereinander, verzichtet.

Auswertung der Pretest-Fragebögen

Wie bereits erwähnt, bezog sich der Pretest auf das Interesse und die Motivation hinsichtlich des Schülerlabors. Bevor die Schüler spezielle Fragen zum Labor gestellt bekamen, wurden sie aufgefordert, ihre eigenen Physikleistungen einzuschätzen. Dabei bewerteten über 70 % ihre Leistungen als eher mittelmäßig. Dieses Ergebnis, gibt einen Hinweis, inwiefern die Teilnehmer speziell an der Physik interessiert sind. Das Resultat

lässt vermuten, dass die Mehrheit der Teilnehmer Gefallen an der Physik hat. In diesem Zusammenhang kann das Interesse, speziell an dem Themengebiet Energie, besser eingeschätzt werden. Bei 60 % war die Neugier auf das Gebiet „Energie“ eher geringer, was darauf schließen lässt, dass allein der Begriff „Energie“ bei zahlreichen Schülern eher mit negativen Emotionen in Verbindung gebracht wird (vgl. Abb. 6.1). Hier liegt häufig eine negative Konditionierung hinsichtlich des Wortes „Energie“ vor. Bereits im Unterricht stellt die Einführung des Begriffs „Energie“ eine gewisse Hürde dar, da eine exakte Definition des Energiebegriffs relativ schwer zu finden ist. Häufig wird der Weg gewählt, bei welchem zunächst der Kraftbegriff eingeführt wird und anschließend über den Arbeitsbegriff eine neue physikalische Größe, der Energiebegriff, abgeleitet wird (vgl. Kapitel 4.1.1). Leider treten bereits beim Erlernen des Fachausdrucks „Kraft“ große Schwierigkeiten auf. Ein noch schwerwiegenderer Sachverhalt ist die Tatsache, dass der Kraftbegriff keinen anschaulichen Zugang zu dem Energiebegriff bietet und dieses Fachwort zu sehr auf die Mechanik beschränkt ist. Kurz, die Schüler können häufig mit dem Begriff Energie nichts anfangen.

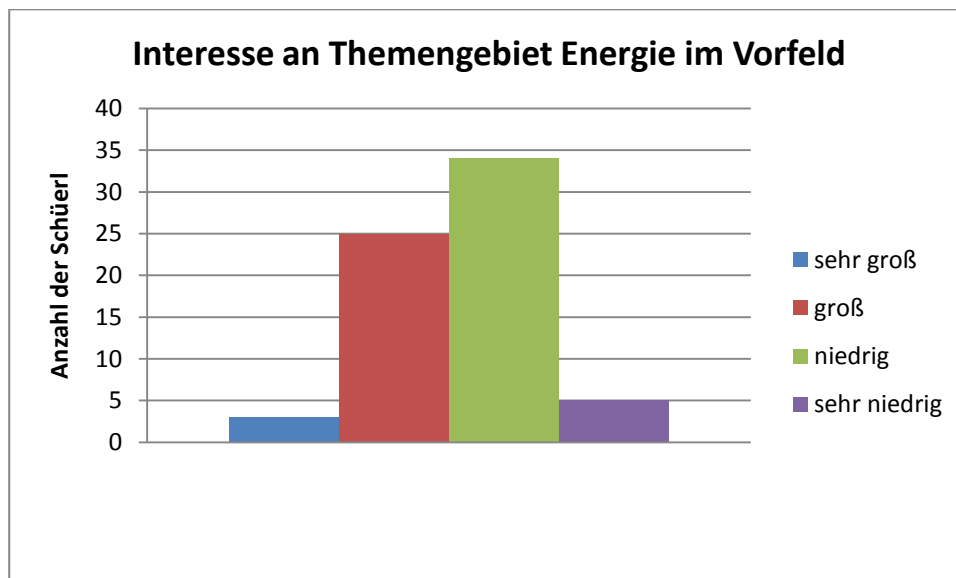


Abb. 6.1: Evaluationsfrage - Interesse an Themengebiete Energie im Vorfeld

Wird aber ein gewisser Bezug zum Alltag hergestellt und sind die Zusammenhänge leichter erkennbar, so steigt wieder das Interesse bei den Jungen und Mädchen. Dies bestätigt auch die nachfolgende Frage, ob die Inhalte des Labors ansprechend sind. Nur 27 % stimmten dieser Aussage gar nicht oder nur wenig zu (vgl. Abb. 6.2). Es zeigt sich demnach, sobald Begriffe, wie zum Beispiel, „Wärmedämmung“, „Wärmepumpe“ oder „Energie im Haushalt“ fallen, steigt das Interesse und die Motivation der Schüler deutlich an. Mit diesen Bezeichnungen können sich Schüler besser auseinander setzen, da hiermit ein gewisser Alltagsbezug geschaffen wurde.

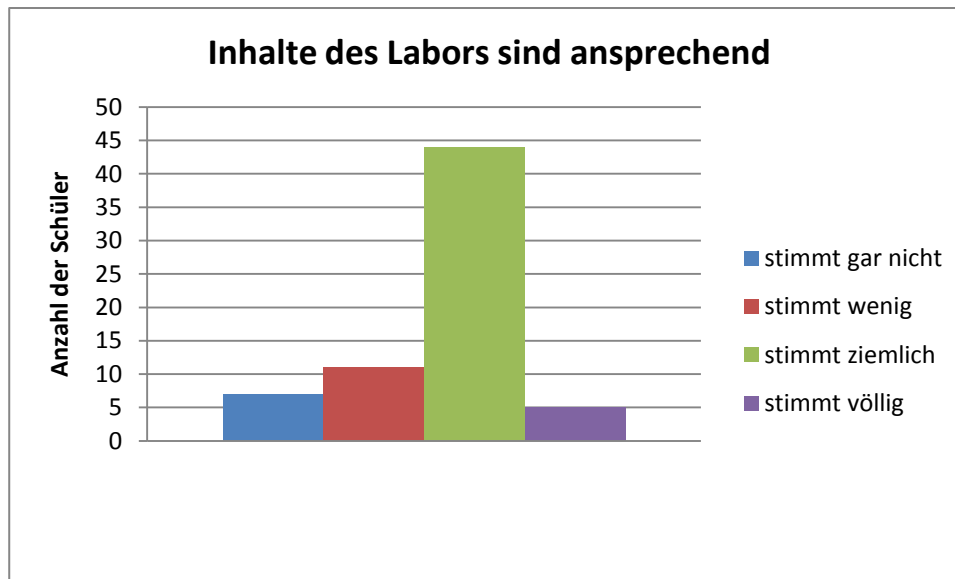


Abb. 6.2: Evaluationsfrage - Inhalte des Labors sind ansprechend

Besonders Mädchen gelten meist als sehr desinteressiert bei naturwissenschaftlichen Themenkomplexen. Es waren bei diesem Schülerlabor aber keine signifikanten Auffälligkeiten von Seiten der Mädchen festzustellen. Zwar hielten sich die Mädchen bei manchen Experimenten, wie zum Beispiel der Induktion im Hintergrund und überließen das Experimentieren den Jungen, dennoch zeigten im Großen und Ganzen die Mädchen und Jungen ein gleich hohes Maß an Interesse und Motivation. Mädchen können sich häufig mit einem zu behandelnden Inhalt nicht identifizieren, aufgrund der Aktualität des Themas konnte aber davon ausgegangen werden, dass bei fast jedem Teilnehmer Aufmerksamkeit geweckt werden würde.

Als nächste Frage wurde gestellt, ob das Experimentieren Spaß macht (vgl. Abb. 6.3). Nur eine Person hat gar keine Freude und nur acht von insgesamt 67 Jugendlichen gaben an, nur wenig Spaß am Experimentieren zu haben. Im schulischen Unterricht haben Jungen und Mädchen weniger direkten Kontakt zu Experimenten, da Demonstrationsversuche durch die Lehrkraft zumeist nur in fragendentwickelnde Gespräche eingebunden sind und Schülerexperimente bei manchen Lehrern, oft aus Zeitgründen, überhaupt nicht vorkommen. Zu wenig wird zum eigenständigen „Ausprobieren und Tüfteln“ angeregt. Da fast jeder Jugendliche gerne experimentiert, ist hiermit eine günstige Gelegenheit geboten, die Bedeutung der Naturwissenschaften und der Technik für die Gesellschaft den Schülern näher zu bringen. Diese Neigung der Schüler, durch das „Try-and-Error-Verfahren“ sich selbständig mit naturwissenschaftlichen Zusammenhängen zu beschäftigen, sollte dringend ausgenutzt werden.

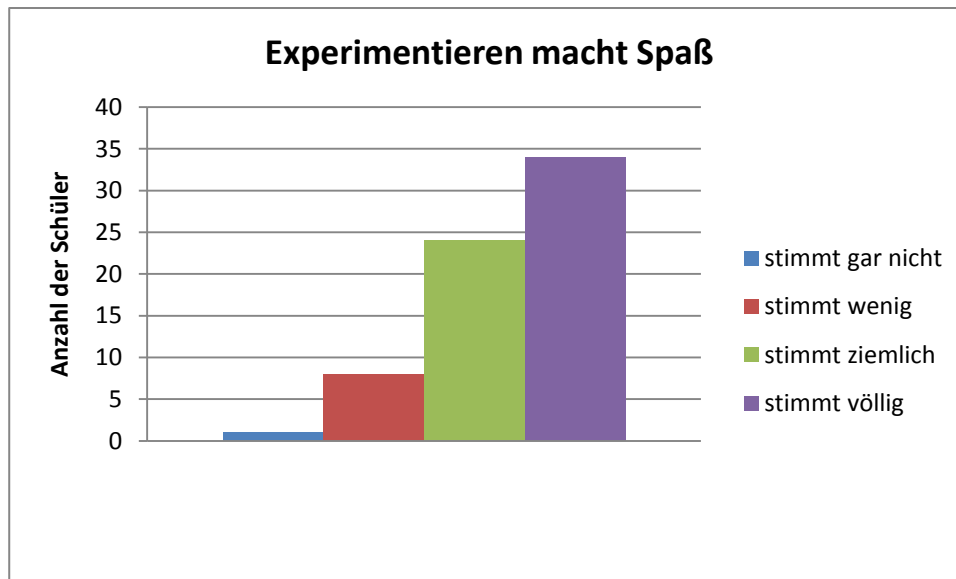


Abb. 6.3: Evaluationsfrage - Experimentieren macht Spaß

Interessant ist auch das Ergebnis der Frage, ob die Schüler das Labor besuchen, weil Interesse an den Themengebieten besteht (vgl. Abb. 6.4). Das Resultat bestätigt den im Vorfeld existierenden Verdacht, dass die Mädchen und Jungen das Labor nicht aufgrund der Begeisterung über die Inhalte besuchen. Es muss aber bei der Erstellung eines solchen Labors immer klar sein, dass alle Schüler über jeden möglichen Ausfall des Unterrichts erfreut sind. Positiv ist aber dennoch zu vermerken, dass knapp 50 % der Jugendlichen aus Wissbegierde an den Inhalten einen Tag an der Universität Würzburg verbringen wollten, wie aus nachfolgendem Diagramm ersichtlich wird.

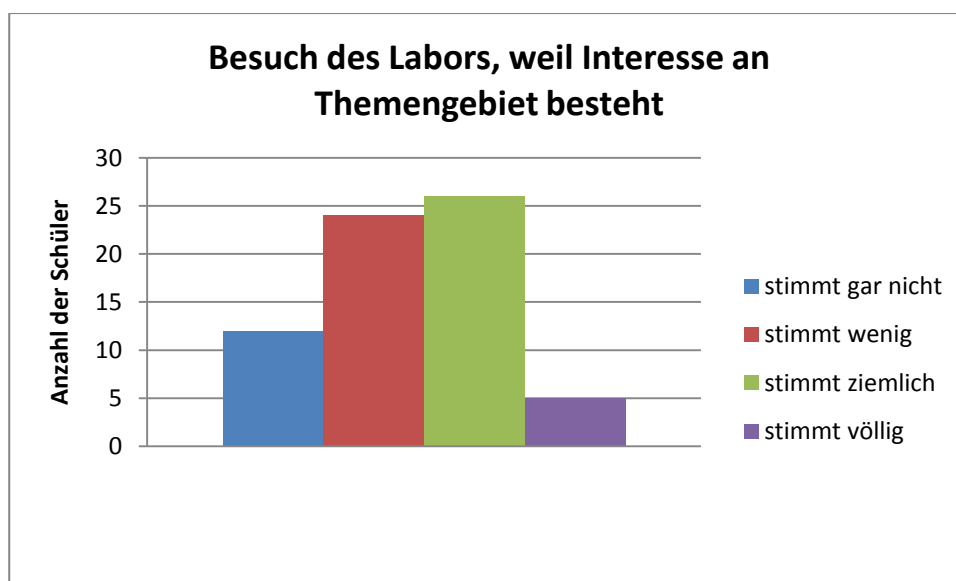


Abb. 6.4: Evaluationsfrage - Besuch des Labors, weil Interesse an Themengebiet besteht

Auswertung der Posttest-Fragebögen

Im Fragebogen des Posttests hatten die Teilnehmer die Gelegenheit, innerhalb von Textfeldern, eine Begründung, Kommentare oder konstruktive Kritik zu äußern. Einige Aussagen der Schülerinnen und Schüler werden hier wortgetreu, in Anführungszeichen gesetzt, wiedergegeben.

Zu Beginn der Auswertung steht die Benotung des Schülerlabors. Die Notenvergabe wurde auch hier in einer Grafik, Abb. 6.5, umgesetzt.

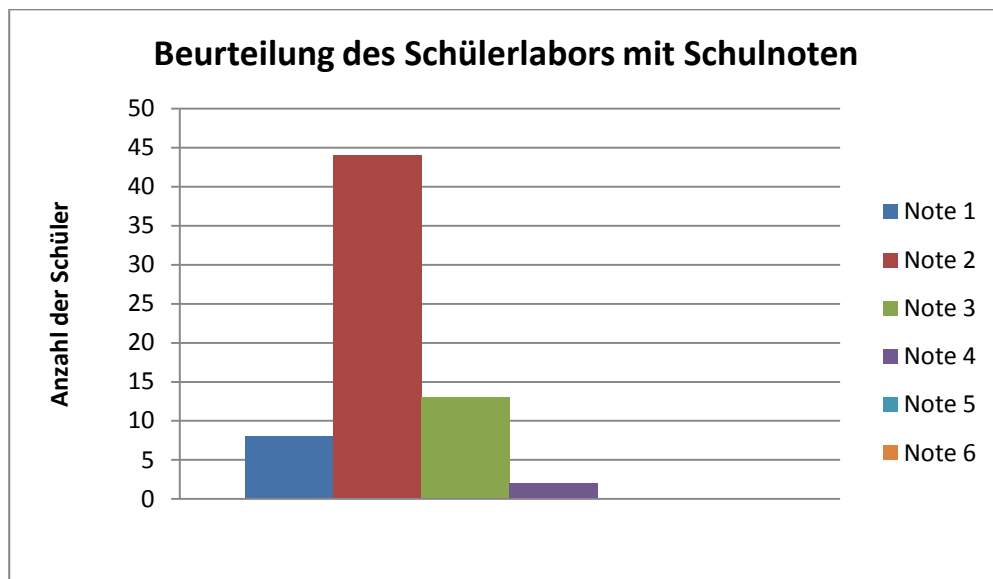


Abb. 6.5: Evaluationsfrage - Beurteilung des Schülerlabors mit Schulnoten

Die Durchschnittsnote errechnet sich zu 2,13, also zu der Note 2. Zu erkennen ist, dass das Labor durchweg sehr positiv bewertet wurde. Ganze 66 % bewerteten das Schülerlabor mit „gut“ und weitere 12 % wählten sogar die Option „sehr gut“. Begründet haben die Teilnehmer ihre Wahl mit Kommentaren wie zum Beispiel: „*Die Arbeitsblätter waren oftmals mit bildlicher Verdeutlichung und guten Erklärungen*“, „*gute Struktur*“ oder „*Alle Themen waren interessant gestaltet*“. Knapp 20 % gaben dem Schülerlabor die Note 3 und nur knapp 3 % die Note 4. Die beiden Schüler, die die Wahlmöglichkeit Note 4 angekreuzt haben, begründeten ihre Notengebung folgendermaßen: „*Ich hätte gerne alle Experimentierstationen durchlaufen*“ und „*das Labor war langweilig und die Versuche uninteressant*“. Dennoch würden 84 % der teilnehmenden Personen das Schülerlabor weiterempfehlen. Basierend auf diesen Zahlen, kann das Labor als recht positiv verbucht werden.

Auf die Frage, ob der einleitende Vortrag einen Überblick geliefert hat, antworteten 58 von allen Teilnehmern mit „Ja“ und nur 9 mit „Nein“. Sie kommentierten ihr Wahl mit den Aussagen „*hat den ganzen Stoff gut und knapp wiederholt*“, „*gute Präsentation*“ und „*die wichtigsten Fakten wurden genannt*“. Zahlreich fielen bei den Erläuterungen

die Attribute: „informativ“, „übersichtlich“, „interessant“ oder „klar verständlich“ (vgl. Abb. 6.6). Auch Aussagen wie: „Das wusste ich schon alles“ wurden erwähnt. Wie erwartet, hatten sich viele Schüler bereits mit dem Thema auseinandergesetzt und konnten dem einleitenden Vortrag somit nicht viel Neues entnehmen. Dennoch war für dieEinstimmung in das Experimentierlabor die Präsentation relevant, um einheitliches Vorwissen bei den Teilnehmern zu schaffen.

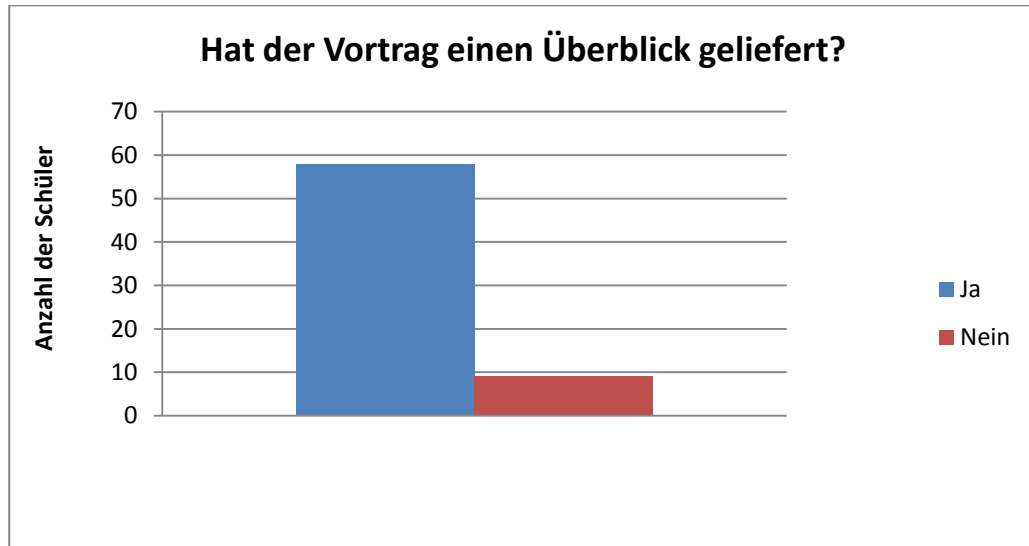


Abb. 6.6: Evaluationsfrage - Hat der Vortrag einen Überblick geliefert?

Wie das weitere Diagramm (Abb. 6.7) ergibt, waren die Stationen „Wärmedämmung“ und die Diskussionsrunde, die am Schluss des Labors stattfand, die Favoriten. Die abschließende Diskussionsrunde hat mit ca. $\frac{1}{3}$ von allen Teilnehmern am besten abgeschnitten. Dies bestätigt auch die Frage, wie die Diskussionsrunde gefallen hätte (Abb. 6.8).

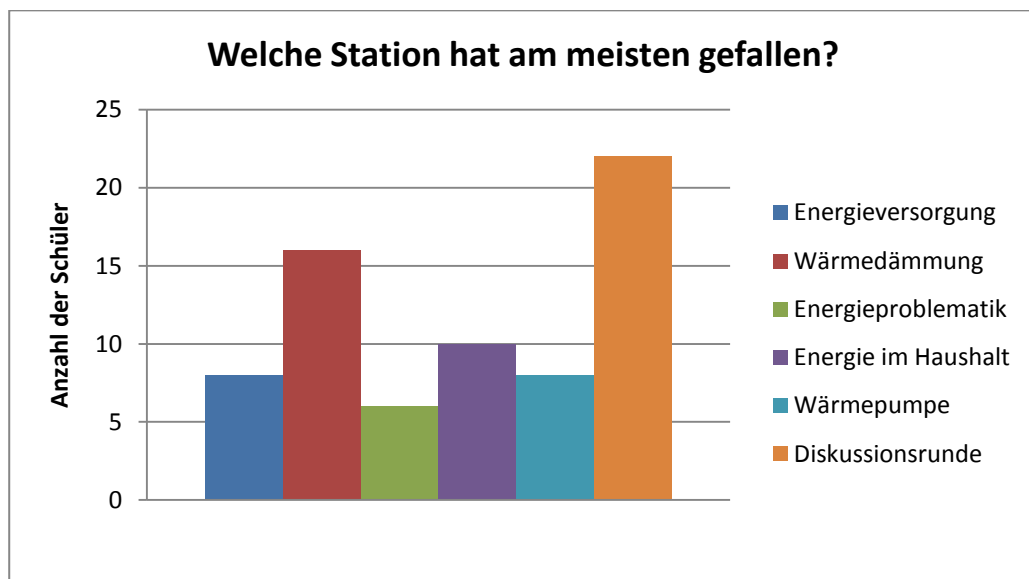


Abb. 6.7: Evaluationsfrage - Welche Station hat am meisten gefallen?

65 % bewerteten die letzte Station mit „interessant“ und weitere 10 % attribuierten die Diskussionsrunde sogar mit „sehr interessant“. Das die „Wärmedämmung“ ebenfalls von ungefähr $\frac{1}{4}$ aller Schüler am beliebtesten war, mag wohl dadurch zu begründen sein, dass diese Station ausschließlich bekannten Unterrichtsstoff thematisierte.

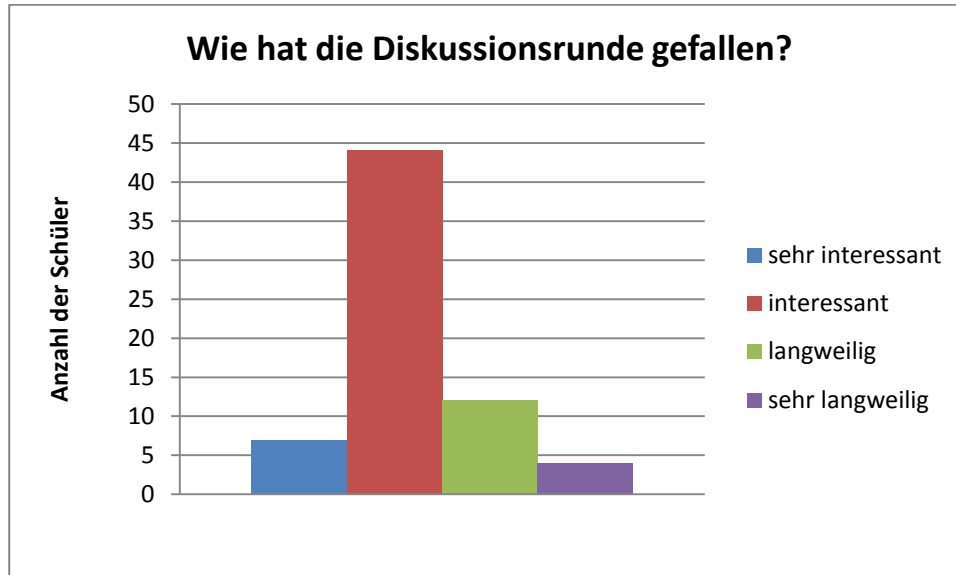


Abb. 6.8: Evaluationsfrage - Wie hat die Diskussionsrunde gefallen?

In allen weiteren Stationen, wurde für die teilnehmenden Klassen zum Teil neuer Stoff behandelt, obwohl dieses Labor zur Wiederholung von gewissen Themengebieten dienen soll und dies den jeweiligen Lehrkräften vorab bekannt gegeben worden war. Zwar bestätigten die Schüler bereits im Pretests-Fragenbogen, dass Teilgebiete der Energie im Physikunterricht schon behandelt worden waren, dennoch beinhaltet das Schülerlabor Inhalte, die für fast 80 % aller Schüler zum Zeitpunkt der Schülerlabordurchführung nahezu unbekannt waren.

Da die Lehrkräfte leider erst am Tag der Schülerlabordurchführung darüber informierten, dass gewisse Themengebiete, wie zum Beispiel die Induktion und der Generator, noch nicht im Unterricht behandelt wurden, wird auch ersichtlich, weshalb die Schüler besonders an der Station „Energieversorgung“ wenig Gefallen fanden. Dies zeigt die Abbildung 6.9..

Obwohl die Stationen „Energieproblematik“, „Energie im Haushalt“ und „Wärmepumpe“ etwas schlechter abschneiden, haben sie dennoch jeweils 10 % - 15 % der Stimmen erhalten. Das heißt, dass sie im Vergleich zu den andern Stationen zwar schlechter bewertete wurden, aber dennoch gut bei den Schülern angekommen sind. In der Station „Energieproblematik“ sollten die Jugendlichen mit Hilfe ausgewählter Artikel, die einzelnen Energiegewinnungsmöglichkeiten erarbeiten. Das Gelingen dieser Phase hing entscheidend von der Auswahl und der Vorbereitung der Texte und des Anschauungsmaterials ab. Während dieser Vorbereitungsphase konnte festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler mit dem Inhalt der Arbeitsmappen gut klar

gekommen sind und es traten keine größeren Probleme auf. Die Befürchtung, dass sich die Mädchen und Jungen beim Lesen langweilen, trat nicht auf. Eher das Gegenteil war zu verzeichnen. Bereits während der Vorbereitungsphase entfachten innerhalb der Gruppe vielfältig Diskussionen.

Mehr als die Hälfte aller Jungen und Mädchen wählten die Option „Energieversorgung“ bei der Frage, welche Station am wenigsten gefallen habe (Abb. 6.9). Diese Station ist vom Schwierigkeitsgrad die anspruchsvollste. Hier werden Grundlagen aus der Energieversorgung, also Inhalte aus der Elektrizitätslehre, anhand von Experimenten besprochen und erprobt.

An den Tagen der Schülerlabordurchführung war das Problem gegeben, dass die Schüler das an der Station „Energieversorgung“ benötigte Vorwissen noch nicht verinnerlicht hatten. Aus diesem Grund war es einigen Schülern nicht möglich, den Inhalt dieser Station zu verstehen. Die betreuende Person leitete deshalb die Teilnehmer stärker durch diese Station und besprach die Inhalte ausführlicher. Deshalb muss hier vermerkt werden, dass die Station „Energieversorgung“ eher weniger als Experimentierstation, sondern mehr als „Besprechungsstation der Grundlagen“ fungierte. Aus diesem Grund wird es klar ersichtlich, dass die Schüler diese Station als am wenigsten ansprechend eingestuft haben.

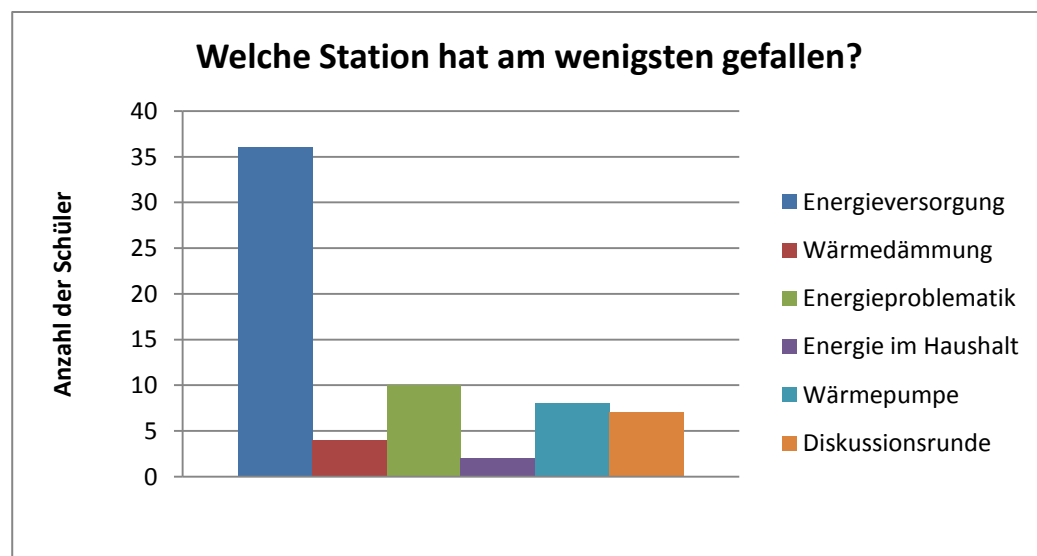


Abb. 6.9: Evaluationsfrage - Welche Station hat am wenigsten gefallen?

Mit den nächsten Fragen, sollte das Arbeitsmaterial bewertet werden. Über 89 % der Mädchen und Jungen gaben an, die Arbeitsblätter seien „verständlich“ bis „sehr verständlich“ (vgl. Abb. 6.10). Mehr als $\frac{3}{4}$ aller Teilnehmer stimmt mit „stimmt ziemlich“ und „stimmt völlig“ der Aussage, dass die Arbeitsblätter ansprechend gestaltet wären, zu.

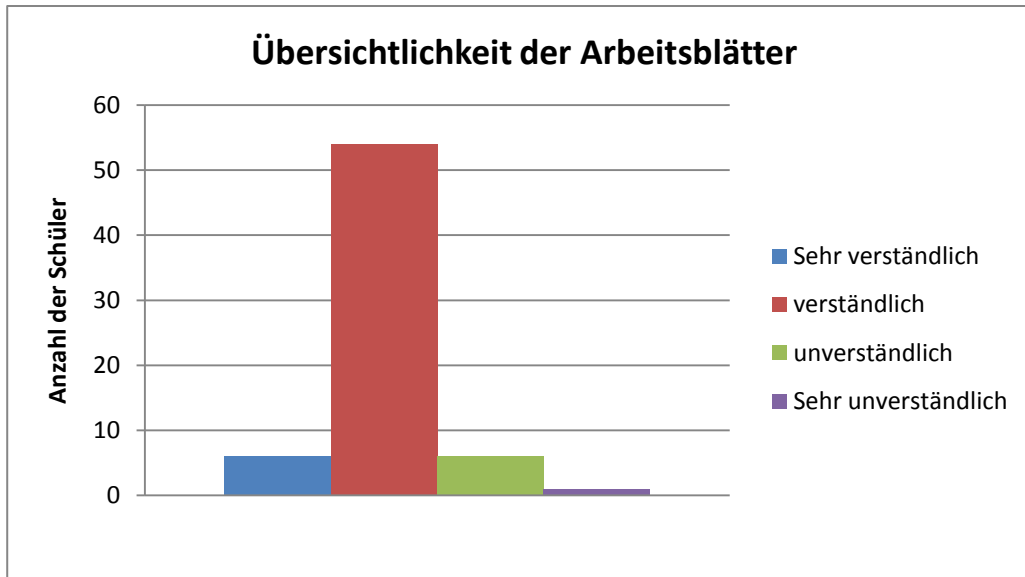


Abb. 6.10: Evaluationsfrage - Übersichtlichkeit der Arbeitsblätter

Das Zusatzmaterial, also die Hilfekarten und die Informationsmaterialien, wurden ebenfalls von über 80 % als recht interessant rezensiert (vgl. Abb. 6.11). Hier wurde sich wie folgt geäußert: „gute Idee mit den Karten, wenn man nicht weiter kommt, kann man nachlesen“ oder „in den Karten waren alle nötigen Infos drin“.

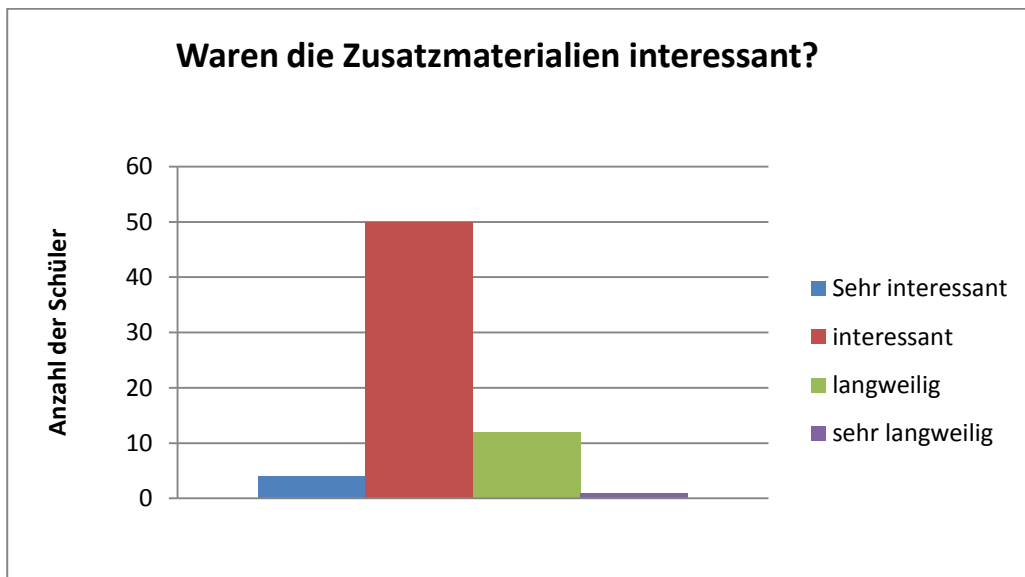


Abb. 6.11: Evaluationsfrage - Waren die Zusatzmaterialien interessant?

Die oftmalige Verwendung der Hilfekarten, die erst nach einer erneuten Überarbeitung des Schülerlabors konstruiert wurden, zeigt die Notwendigkeit von Hilfestellungen. Das Diagramm 6.12 gibt die Häufigkeit der Anwendung pro Person während einer Schülerlabordurchführung an. Nur 22 % nutzten die Hilfestellungen gar nicht, während beim Rest der Schüler die Hilfen mindestens einmal oder öfter zum Einsatz kamen.

Die Informationsmenge an den jeweiligen Stationen, die entweder im Handout oder in Form von Hilfekarten oder Zusatzinformationsmaterialien vorlag, wurde von 65 % aller teilnehmenden Personen als „genau richtig“ aufgefasst.

35 % hatten eine gegenteilige Meinung. Hier wurde kommentiert: „zu viel Informationsmenge in zu kurzer Zeit“.

Für die Schüler war das Bearbeiten der zusätzlichen Materialien nicht verpflichtend, sondern diese Hilfsmittel sollten nur verwendet werden, falls eine weitere Bearbeitung der Experimentierstationen, aufgrund von Wissenslücken, nicht mehr möglich war. Zusatzinformationen, wie zum Beispiel die Karte 3 (vgl. Kapitel 8.6), geben lediglich einen Überblick oder vervollständigen gewisse Themenkomplexe. Besonders motivierte Schüler zeigten großes Interesse an diesen Unterlagen.

Grundsätzlich können die Handouts, die Hilfekarten und die zusätzlichen Informationsmaterialien als recht positiv bewertet werden, da sie bei zahlreichen Schülern gut angekommen sind.

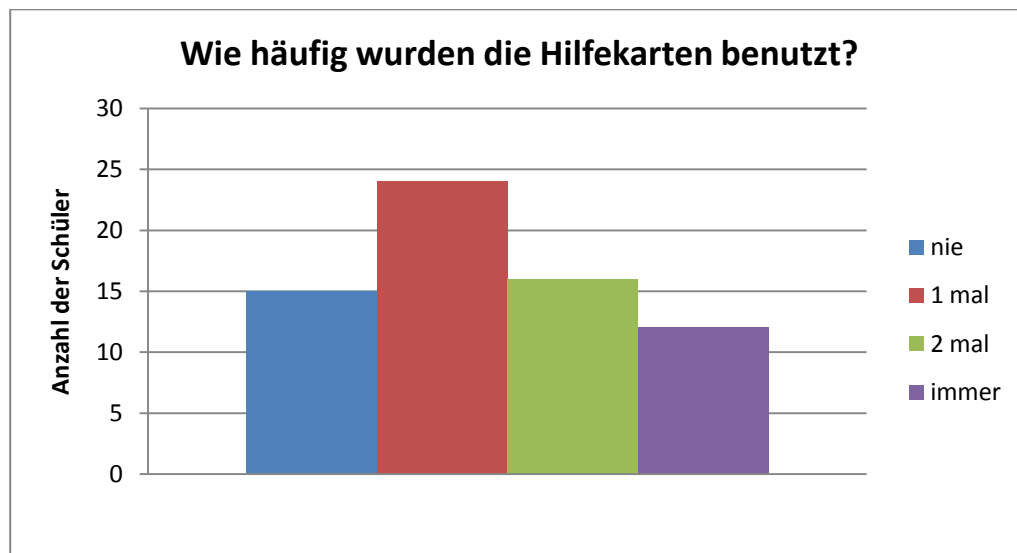


Abb. 6.12: Evaluationsfrage - Wie häufig wurden die Hilfekarten benutzt?

Die Anleitungen der Experimente wurden ebenso für gut befunden. Dies gaben über 86 % aller Schüler an (vgl. Abb. 6.13). Einige Schüler äußerten: „Die Aufgabenstellung war klar formuliert“ oder „es war genau gesagt, was zu tun ist“ oder „gute Bilder der Versuche, die genau erklärt haben“.

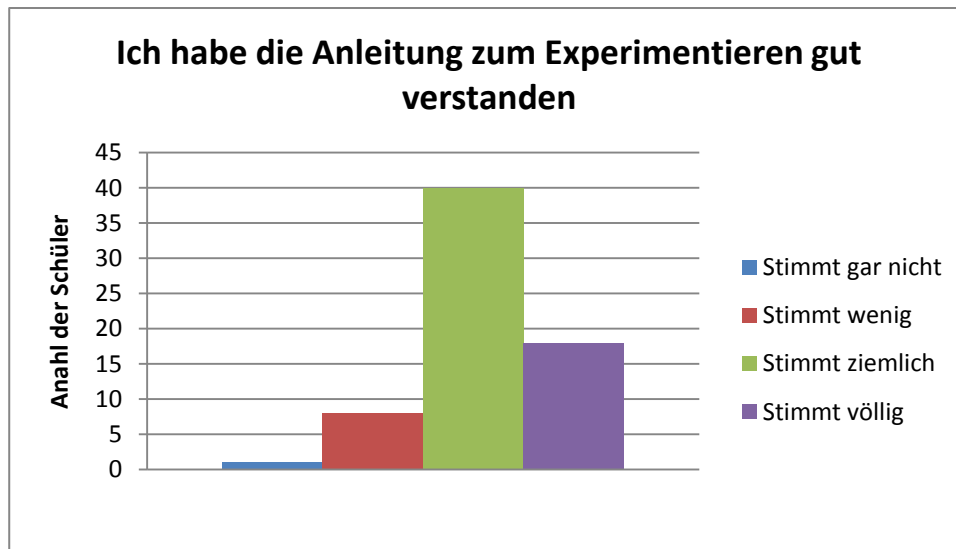


Abb. 6.13: Evaluationsfrage: Ich habe die Anleitung zum Experimentieren gut verstanden

Auch die Experimente erhielten eine positive Bewertung. Das Diagramm 6.14 zeigt den Interessensgrad an den Versuchen. Fast zu 90 % wurden die Experimente mit „sehr interessant“ und „interessant“ begutachtet.

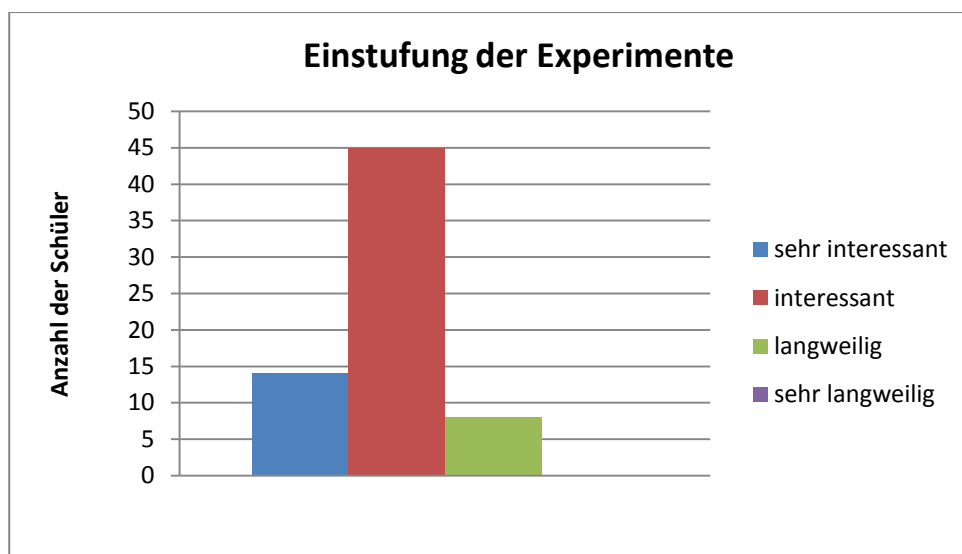


Abb. 6.14: Evaluationsfrage – Einstufung der Experimente

70 % der Schüler fühlten sich dem Schweregrad der Experimente gut gewachsen (vgl. Abb. 6.15). Knapp 25 % aller Teilnehmer fanden die Versuche „schwierig“ bis „sehr schwierig“. Die Wahl des Schwierigkeitsgrades ist hier gelungen, da die Mehrheit der Jungen und Mädchen die Experimente selbstständig recht einfach durchführen konnten und die Anforderungen somit keinesfalls zu hoch waren aber dennoch ein gewisser Anspruch gegeben war. Hier könnte eine Gaußverteilung über die Kurve gelegt werden. Es gibt sowohl Schüler, die den Schweregrad höher bewerteten, als auch solche, die die Experimente als sehr einfach attribuierten.

Einige Schüler begründeten ihre Wahl folgendermaßen: „*aufregende Versuche*“, „*ansprechende Experimente*“, „*interessante Versuchsaufbauten*“ oder „*ich habe manche Versuche nicht verstanden*“. Auch die Frage, ob die Experimente eine Herausforderung dargestellt haben, sollte testen, ob der Anspruch an die Teilnehmer zu hoch war. Dieses Ergebnis (vgl. CD – Posttest gesamt) ist aber nahezu äquivalent zu obigem Schluss.

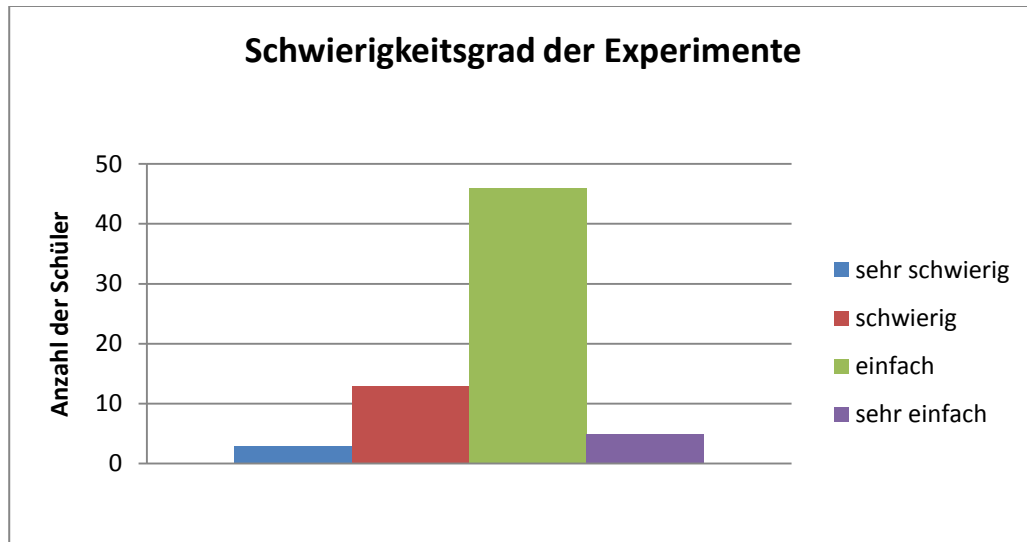


Abb. 6.15: Evaluationsfrage – Schwierigkeitsgrad der Experimente

Ob die Versuche und vor allem der Parcours innerhalb einer Station das Interesse der Schüler und Schülerinnen geweckt haben, zeigt die Abbildung 6.16. 46 % stimmten der Aussage, dass die Durchführung der Experimente langweilig war, mit „stimmt gar nicht“ zu. Weitere 41 % sagten, dass diese Aussage nur wenig stimme.

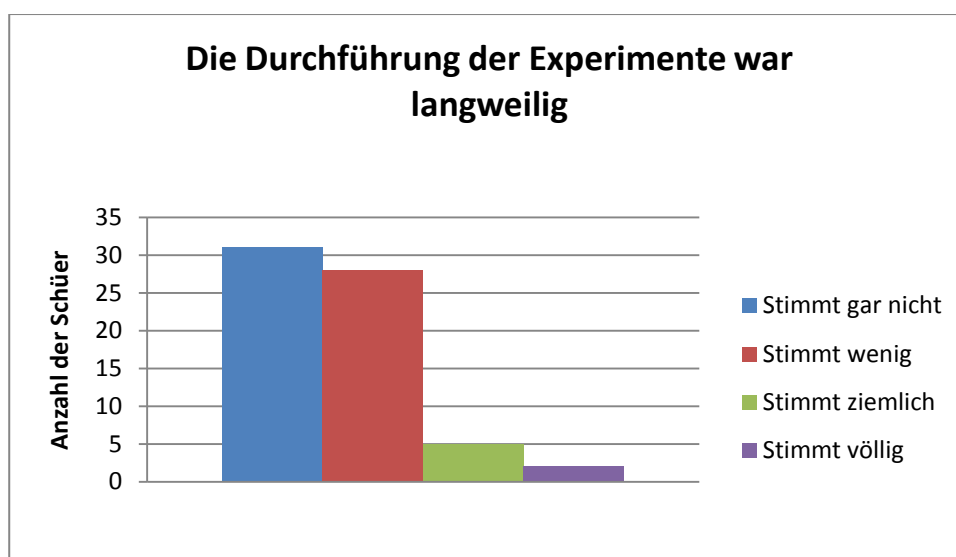


Abb. 6.16: Evaluationsfrage – Die Durchführung der Experimente war langweilig

Nur 10 % aller Teilnehmer empfanden das Durchlaufen der Experimente als langweilig und zeigten wenig Interesse und Motivation. Hier muss erläutert werden, dass an einigen

Stationen, wie in etwa an der Experimentierstation „Energie im Haushalt“ größere Wartezeiten entstehen können, bis zum Beispiel das Wasser zu sieden beginnt. Damit können eventuell die obigen 10 % erklärt werden.

Die Schüler sollten anschließend die Aussage: „Das Finden der Erklärungen für die Experimente war eine Herausforderung“, beurteilen (vgl. Abb. 6.17). Ganze 34 % gaben an, dass die Lösungssuche sich teilweise recht schwer gestaltete. Hier muss auch die Betreuerbeobachtung erwähnt werden. Nahezu innerhalb aller Gruppen gab es Schüler, die als Außenseiter „mitgeschwommen“ sind und sich eher weniger aktiv an der Lösungsfindung beteiligt haben. Der Grund könnte sein, dass die Gruppen zu groß waren. Hier befanden sich immer 3 - 5 Schüler innerhalb einer Einheit, obwohl Gruppen mit maximal 3 Personen ideal sind. Diese Tatsache kann dazu geführt haben, dass nur ein geringerer Anteil der Schüler sich um eine exakte Lösung bemüht hat.

Eine weitere Erklärung für dieses Ergebnis ist auch im Schwierigkeitsgrad der Experimente zu finden. Da nach obigen Diagramm 6.15 die Versuche eher als schwer bis einfach beurteilt wurden, ist es möglich, dass die Suche nach einer Erklärung der Experimente für 66 % der Teilnehmer nicht wirklich ein Hindernis dargestellt hat und für unproblematisch betrachtet wurde.

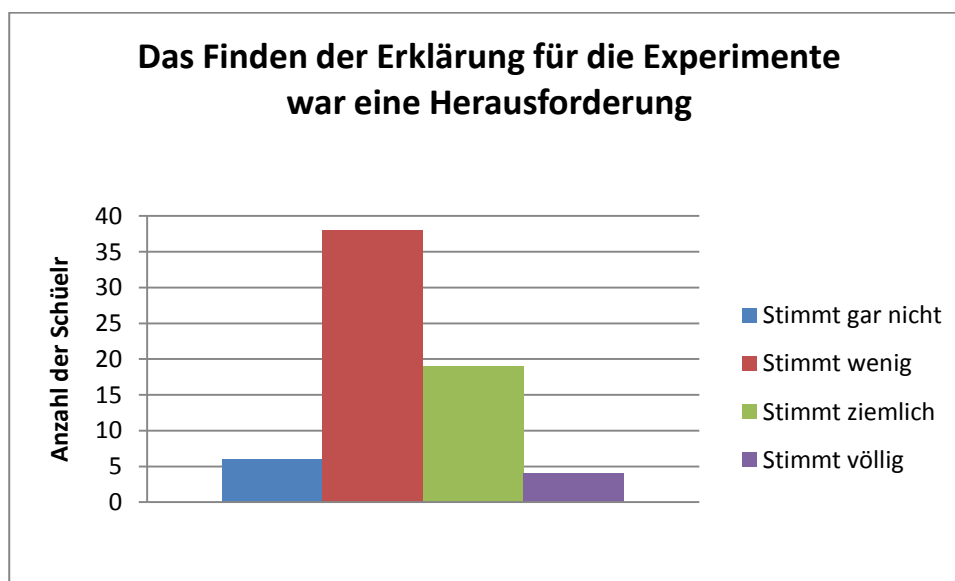


Abb. 6.17: Evaluationsfrage – Das Finden der Erklärungen für die Experimente war eine Herausforderung

Bei der nächsten Frage wurden die Schülerinnen und Schüler gebeten, die Betreuung des Labors zu bewerten. Bei dem Ergebnis fällt auf, dass die Schüler überwiegend die Betreuung als hilfreich beurteilten. Oft wurde erläutert, die Helfer seien „*nett und hilfsbereit*“ und „*kompetente Ansprechpartner*“, die auch „*selbstständiges Arbeiten*“ ermöglichen und somit nicht zu sehr durch die Stationen führen. Negative Meinungen über die Betreuer waren ebenfalls gegeben: „*zu wenig Hilfestellung gegeben*“ und „*Erklärungen am Ende jeder Station wären hilfreicher gewesen*“.

Hier ist zu erwähnen, dass aus Mangel an Betreuern zwei fachfremde Studentinnen eingesetzt wurden. Die Bewertung fällt aber dennoch insgesamt sehr positiv aus, wie die Abbildung 6.18 darstellt.

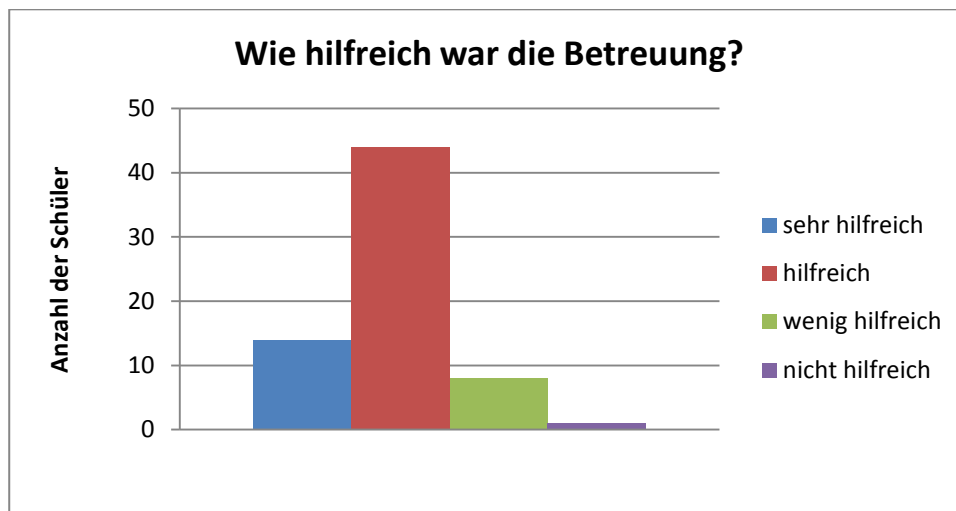


Abb. 6.18: Evaluationsfrage – Wie hilfreich war die Betreuung?

Über 86 % der Schüler bewerteten die Betreuung des Labors als „sehr hilfreich“ oder „hilfreich“. Die Option „nicht hilfreich“ wurde nur ein einziges Mal vergeben. Genau dieser Schüler beurteilte das gesamte Labor als langweilig und fand die Experimente uninteressant. Der Grund für diese negative Haltung dem gesamten Labors gegenüber, bleibt jedoch unklar, da unbekannt ist, ob der Schüler Vergleichsmöglichkeiten mit andern Laboren hat, oder ob er sich aus anderen Gründen derart negativ geäußert hat.

Anschließend wurde der Grad der Zustimmung zu der Aussage: „Es war nicht möglich, während dem Experimentieren, eigenen Ideen zu verfolgen“, erfragt (Abb. 6.19).

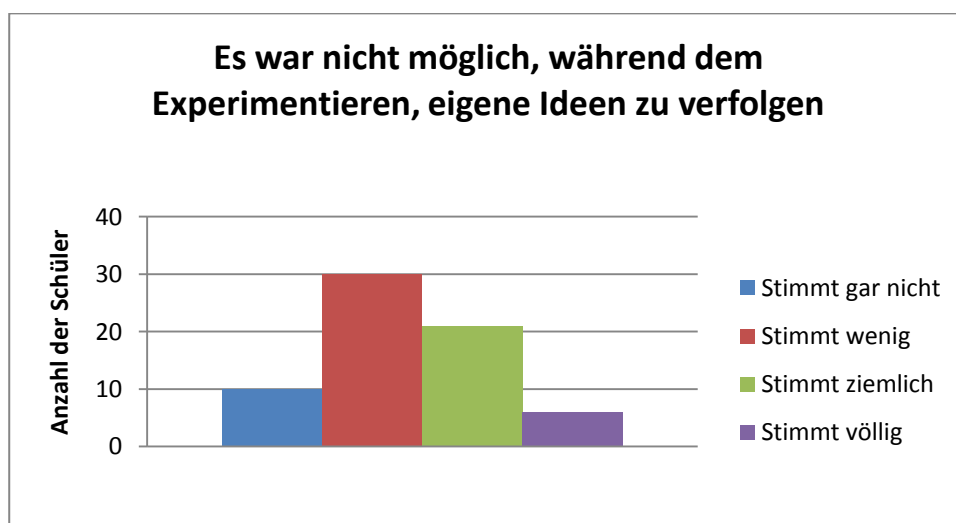


Abb. 6.19: Evaluationsfrage – Es war nicht möglich, während dem Experimentieren, eigene Ideen zu verfolgen

Aus dem Balkendiagramm 6.19 geht hervor, dass knapp 60 % aller Teilnehmer die Option „Stimmt gar nicht“ oder die Option „Stimmt wenig“ gewählt haben. Sie stimmen also obiger Aussage nicht zu. Mit dieser Frage kann das selbständige Arbeiten gemessen werden. 40 % der Schüler gaben an, dass sie die eigenen Ideen innerhalb einer Experimentierphase nicht ausprobieren konnten. Dies lässt sich auf die Tatsache zurückführen, dass beispielsweise in der Experimentierstation „Energieversorgung“ der Betreuer hauptsächlich durch die Station geführt hatte - aus weiter oben erwähnten Gründen. Auch die Versuche wurden vorwiegend mit großer Hilfe des Helfers durchgeführt. Ein selbständiges Arbeiten oder das Erproben eigener Ideen kam speziell hier in dieser Station viel zu kurz.

Im nächsten Fragenkomplex wurde die zeitliche Variable bewertet. Zunächst wurden die Schüler gefragt, ob genügend Zeit für die Bearbeitungen der Arbeitsblätter gegeben war. Das Diagramm 6.20 zeigt, dass 47 der insgesamt 67 Teilnehmer der Meinung waren, der Bearbeitungszeitraum für die Arbeitsblätter sei genau richtig gewesen. 2 Personen dachten sogar, es war zu viel Zeit gegeben. Ganze 18 Schüler füllten sich ein wenig unter Druck gesetzt.

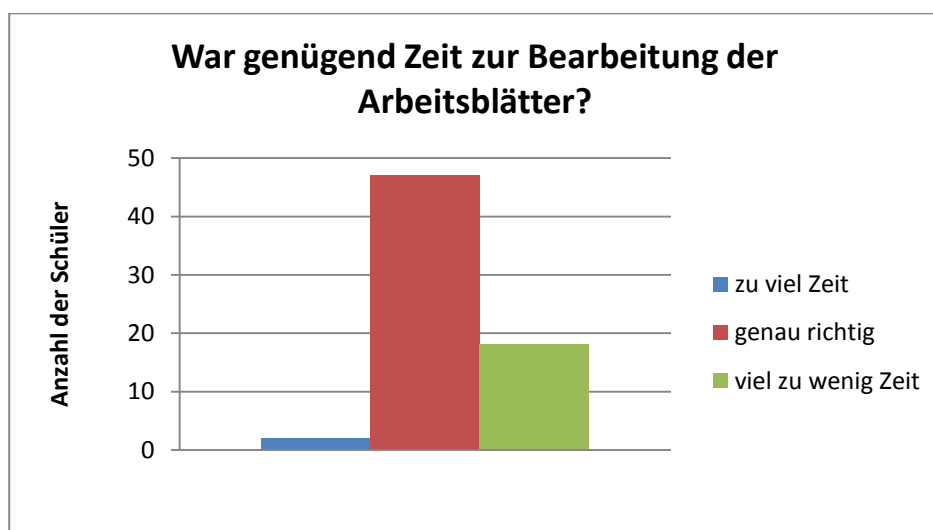


Abb. 6.20: Evaluationsfrage – War genügend Zeit zur Bearbeitung der Arbeitsblätter?

Die Dauer der einzelnen Stationen wurde von der Mehrheit als angemessen betrachtet (vgl. Abb. 6.21). 37 % waren der Ansicht, dass die Experimentierstationen zu lange gedauert hätten. Sie begründeten ihre Meinung mit: „*Man muss sich eine volle Stunde konzentrieren*“. Da zwischen jeder Station eine Pause eingebaut war und die Station niemals länger als eine Stunde gedauert hatte, ist diese Meinung der 37 %, unter der Betrachtung der Tatsache, dass in der Schule immer eine Doppelstunde von 1,5 Stunden ohne Pause unterrichtet wird, nur schwer nachzuvollziehen.

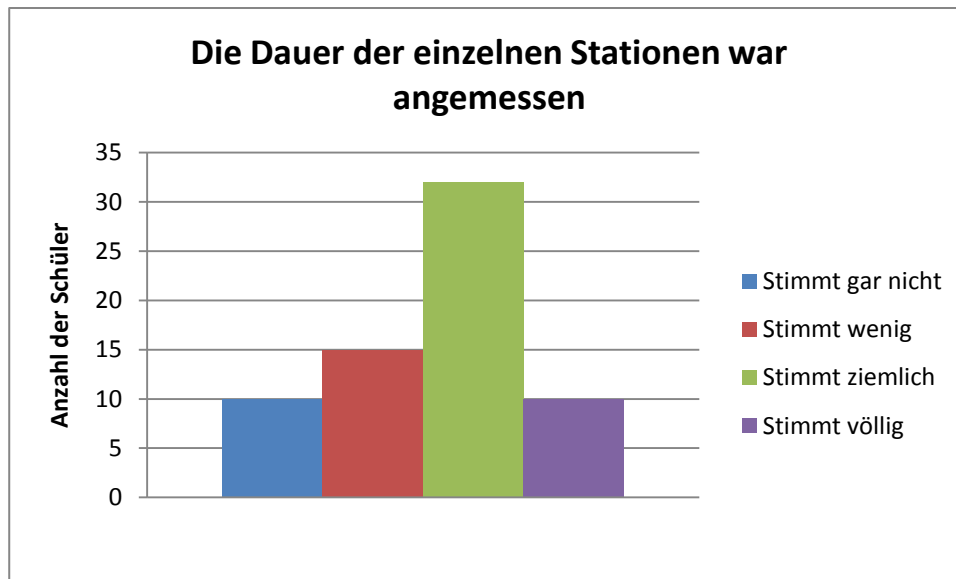


Abb. 6.21: Evaluationsfrage – Die Dauer der einzelnen Stationen war angemessen

Auf die Frage, ob die Dauer des gesamten Schülerlabors angemessen war (vgl. Abb. 6.22), entschieden sich 31 % für die Antwortmöglichkeit „stimmt gar nicht“ und 28 % für „stimmt wenig“. Der normale Schultag beginnt um 8:00 Uhr morgens und endet, wenn kein Nachmittagsunterricht ist, um 13:00 Uhr. Das Schülerlabor fand von 9:00 Uhr bis 14:00 Uhr statt. Die Dauer des Labors entsprach also exakt der gleichen Stundendauer eines normalen Unterrichtstages. Zwar kann diese Haltung der Schüler nachvollzogen werden, da sie noch einen längeren Heimweg antreten mussten und das Labor erst um 14:00 Uhr endete und somit die Mädchen und Jungen relativ spät nach Haus kamen, dennoch musste vorab, beim Besuch einer außerschulischen Bildungseinrichtung, mit einem größeren Zeitaufwand gerechnet werden. Grundsätzlich kann demnach die Dauer des Schülerlabortages als passend bewertet werden.

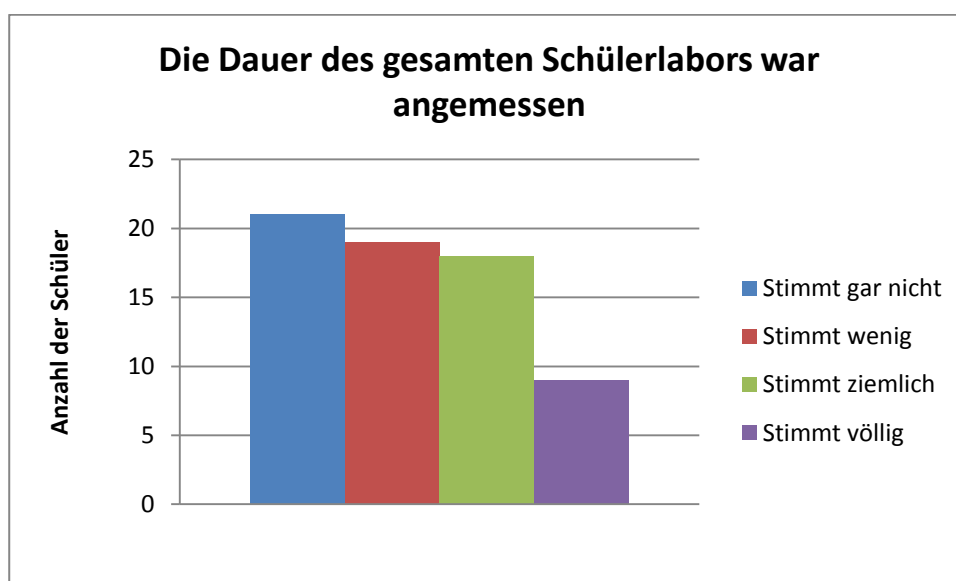


Abb. 6.22: Evaluationsfrage – Die Dauer des gesamten Schülerlabors war angemessen

Mit Hilfe des Pretest-Fragbogens konnte festgestellt werden, dass vor dem Besuch des Experimentierlabors Unklarheiten und offene Fragen bestanden. Diese waren:

- „Wie funktioniert ein Atomkraftwerk?“
- „Was wird genau da gemacht und wie oft wird experimentiert?“
- „Werden Beispiele vorgestellt?“
- „Wie funktioniert die Geothermie?“
- „Was ist die Induktion?“
- „Wie funktioniert der Transformator?“
- „Welche Vor- und Nachteile haben die verschiedenen Energieversorgungsarten?“
- „Welche Dämmung ist am Besten?“

Alle Schüler, die Fragen geäußert hatten, bewerteten die die Aussage: „Fragen, die ich vor der Durchführung hatte, konnten geklärt werden“, mit der Option „stimmt ziemlich“ und „stimmt völlig“.

Die Arbeitsatmosphäre im Schülerlabor wurde von mehr als $\frac{3}{4}$ aller Schüler als positiv bewertet. Dies zeigt die Abbildung 6.23. Da das Schülerlabor insgesamt mit der Note 2 zensiert wurde (vgl. 6.5) und auch die Arbeitsmaterialien, sowie die Betreuer als recht gut befunden wurden, steht dieses Ergebnis im Einklang mit obigen Resultaten.

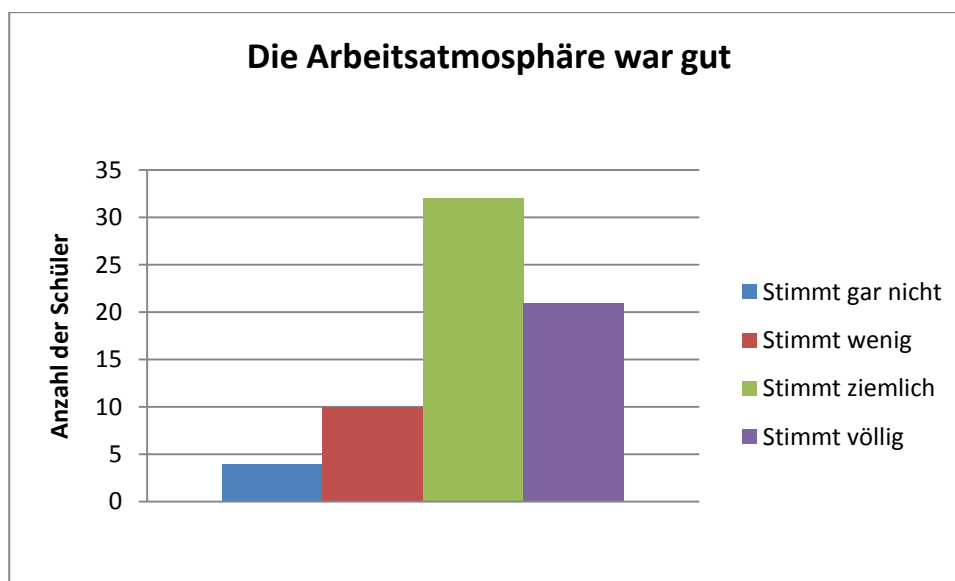


Abb. 6.23: Evaluationsfrage – Die Arbeitsatmosphäre war gut

Für 97 % von den 67 Mädchen und Jungen, die das Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ besuchten, war dies der erste Besuch eines Experimentierlabors. Auf die Frage, ob solche Einrichtungen eine gute Ergänzung zum normalen Unterricht seien, stimmten knapp 60 % mit „stimmt ziemlich“ und 25 % mit „stimmt völlig“ zu (vgl. Abb. 6.24). Fast $\frac{3}{4}$ alle Teilnehmer würden an Schülerlaboren gerne öfter teilnehmen (vgl. Abb. 6.25).

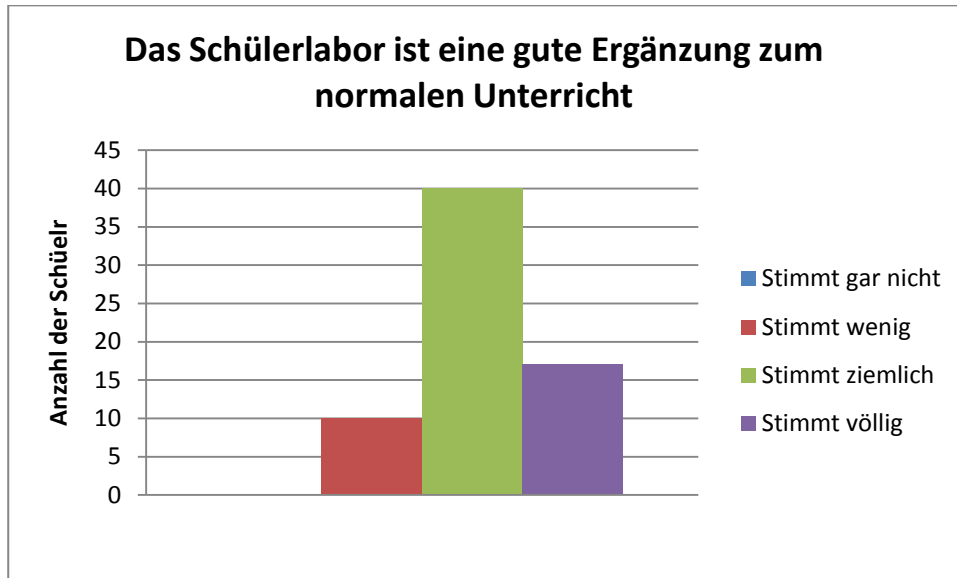


Abb. 6.24: Evaluationsfrage – Das Schülerlabor ist eine gute Ergänzung zum normalen Unterricht

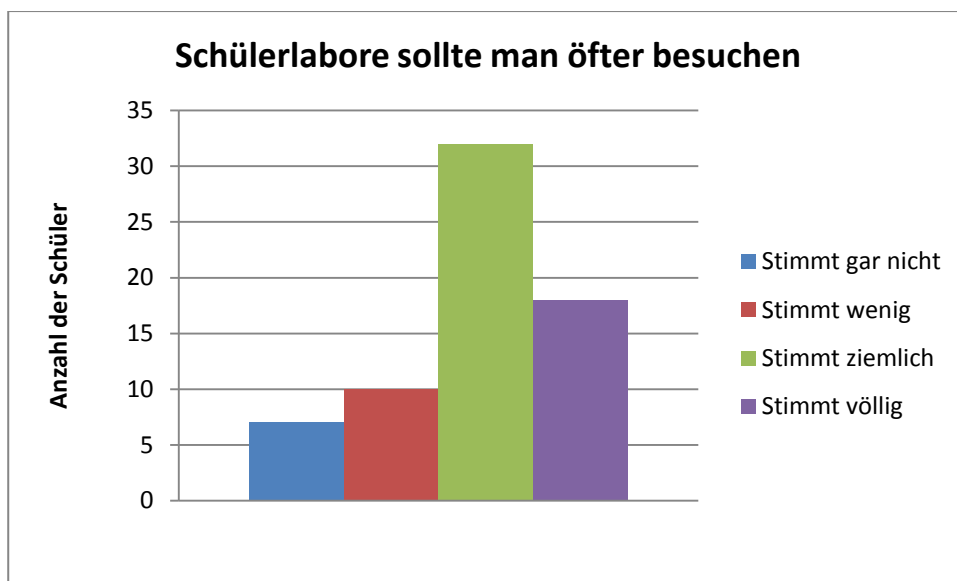


Abb. 6.25: Evaluationsfrage – Schülerlabore sollte man öfter besuchen

Auswertung der fachlichen Fragen

Mit der letzten Frage, die im Pretest als auch im Posttest gestellt wurde, sollte der Lernzuwachs an den jeweiligen Stationen analysiert werden. Es ging darum, ob die Schüler durch das Labor etwas Neues erfahren haben, das sie für ihren Alltag mitnehmen konnten. Hierzu wurden fachliche Fragen gestellt, deren Ergebnisse im weiteren Verlauf erörtert werden. Wie aus den Abbildungen 6.26 und 6.27 ersichtlich wird, ist zwischen dem Pretest und dem Posttest ein deutlicher Lernzuwachs zu verzeichnen. Dies trifft auf alle sieben Fragen zu, deren Inhalte sowohl aus dem einleitenden Vortrag, als auch aus den beiden Pflichtstationen, der Station „Energieversorgung“ und der Station „Energieproblematik“ mit anschließender Diskussionsrunde, entstammen.

Der Inhalt der ersten Frage

- Wie viel Watt entsprechen 1 MW (Megawatt)? -

wurde den Schülern während des einleitenden Vortrags präsentiert. In dieser Präsentation waren die Mädchen und Jungen auch direkt angesprochen worden, ob sie die Antwort sofort parat hätten. Vor dem Labor lag die Prozentzahl der richtig beantworteten Aufgabe bei 44 %, nach dem Labor bei 78 %.

Auch die zweite Frage konnte richtig beantwortet werden, wenn im Vortrag gut aufgepasst wurde.

- Welche Einheit besitzt der Wirkungsgrad?

Auch diese Frage wurde den Teilnehmern während des Vortrags gestellt, konnte aber von keinem Schüler der drei Klassen sicher genannt werden. Der Pretest zeigt, dass 90 % die falsche Antwort gaben, während im Posttest von 88 % der Jugendlichen das richtige angekreuzt wurde.

Bei der nächsten Frage wurde der Stoff der Station „Energieproblematik“ abgefragt.

- Was bezeichnet man als Strom aus erneuerbaren Energien? Strom aus... -

Besonders auffällig ist hier, dass vor der Teilnahme am Labor die Wasserkraft, die Windkraft und die Sonnenenergie von zahlreichen Schülern als erneuerbare Energie richtig identifiziert worden war. Die Geothermie und die Biomasse sind anscheinend zwar bekannt, dennoch wurden sie sehr oft nicht zu den erneuerbaren Energiequellen gezählt. Im Posttest setzten aber 82 % der Schüler bei dieser Frage überall den Haken korrekt.

Die richtige Aussage zur Frage 4 konnte ebenfalls in der Station „Energieproblematik“ gelernt werden.

- Wie viel % der Stromerzeugung in Deutschland machten ungefähr erneuerbare Energien im Jahre 2009 aus? –

Hier wurde auch vor der Teilnahme am Labor bereits von 76 % der Schüler die richtige Antwort markiert. Nach dem Labor wussten 84 % das Richtige anzukreuzen.

Die Themen der fünften bis siebten Frage wurden alle in der Station „Energieproblematik“ diskutiert. Da alle drei Klassen leider weder die Induktion noch den Generator und Transformator im Unterricht behandelt hatten, war das Ergebnis dieser

Fragen im Pretest katastrophal. Viele Schüler gaben gar keine Antwort oder kreuzten wahllos eine Lösung an. Beide Fälle wurden als falsch beantwortet gewertet. Aus diesem Grund wird auf das Ergebnis des Pretest nicht eingegangen.

Bemerkenswert ist aber, dass nach dem Schülerlabor die Frage 5

- Wovon hängt die Größe der Induktionsspannung ab? –

die Frage 6

- Wie lässt sich er Energieverlust in einer Fernleitung auf ein wirtschaftliches vertretbares Maß reduzieren? –

und die Frage 7

- Die Phasen der drei Wechselströme, die beim Drehstromgenerator bei jeder Drehung des Elektromagneten in deren Spulen erzeugt werden, sind um jeweils ... gegeneinander versetzt –

überdurchschnittlich gut beantwortet wurden.

Bei der Frage 5 konnten 50 Schüler, bei der Frage 6 konnten 52 Schüler und bei der Frage 7 konnten 56 Schüler von insgesamt 67 Schülern die richtige Lösung geben.

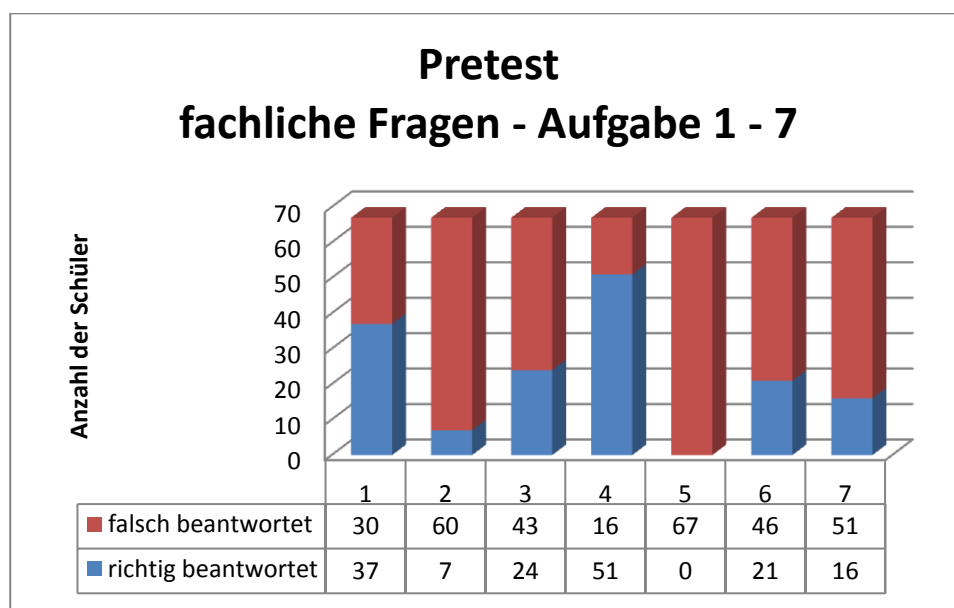


Abb. 6.26: Evaluationsfrage – Pretest; fachliche Fragen

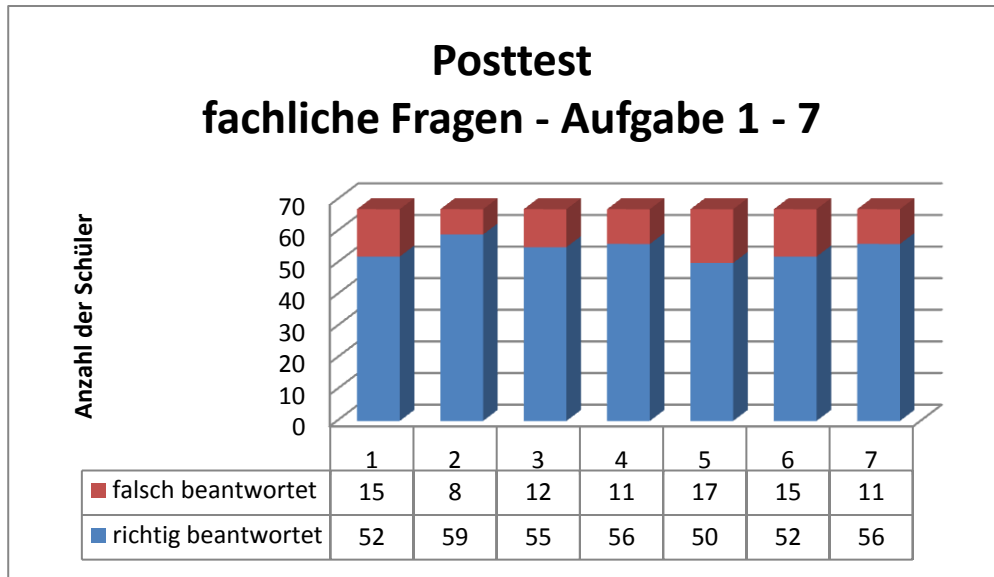


Abb. 6.27: Evaluationsfrage – Posttest; fachliche Fragen

Der Posttest-Fragebogen wurde erst nach 3 – 5 Wochen von den Schülern und Schülerinnen ausgefüllt und zurückgesendet. Dies lässt die Folgerung zu, dass selbst nach mehreren Wochen die Inhalte des Labors bei den Schülern noch verankert sind und somit ein deutlicher Lernzuwachs auf Dauer zu verzeichnen ist.

Auf den Punkt, ob die Schüler die Inhalte der Stationen verstanden hätten (vgl. Abb. 6.28), sagte die Mehrheit aus, knapp 60 %, dass diese Aussage ziemlich stimme. Weitere 16 Personen, 24 %, gaben zur Antwort, dass dies völlig stimme. Die restlichen 12 Teilnehmer konnten den Inhalt der Stationen nicht erfassen.

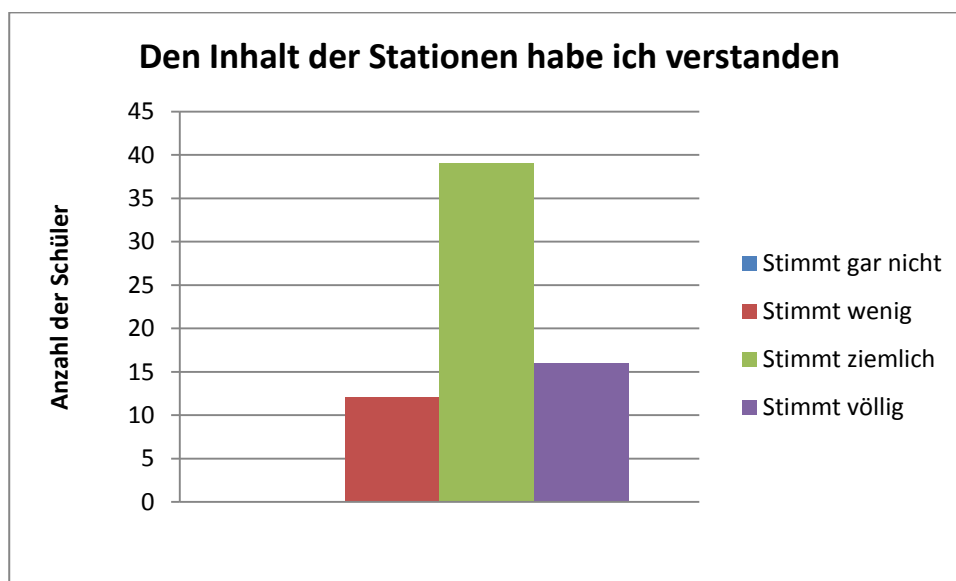


Abb. 6.28: Evaluationsfrage – Den Inhalt der Stationen habe ich verstanden

Interessant ist im Zusammenhang mit dem Lernzuwachs auch die Frage, ob die Schüler außerhalb des Labors oder des Unterrichts über Inhalte des Schülerlabors nachgedacht oder mit anderen Personen diskutiert haben. Die Abbildung 6.29 zeigt die Ergebnisse. Fast 40 % der Teilnehmer sagten aus, sich nach der Teilnahme am Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ mit der Materie nochmals auseinander gesetzt zu haben. Das zeigt, dass der Besuch nicht mit dem Verlassen der Universität abgehakt wurde, sondern auch, zumindest mittelfristig, dass das Labor bei den Schülern Spuren hinterlassen hat. 24 % wählten die Option „stimmt wenig“ und 37 % die Antwortmöglichkeit „stimmt gar nicht“. 64 % aller Mädchen und Jungen haben sich demnach nochmals Gedanken über die Energieproblematik gemacht.

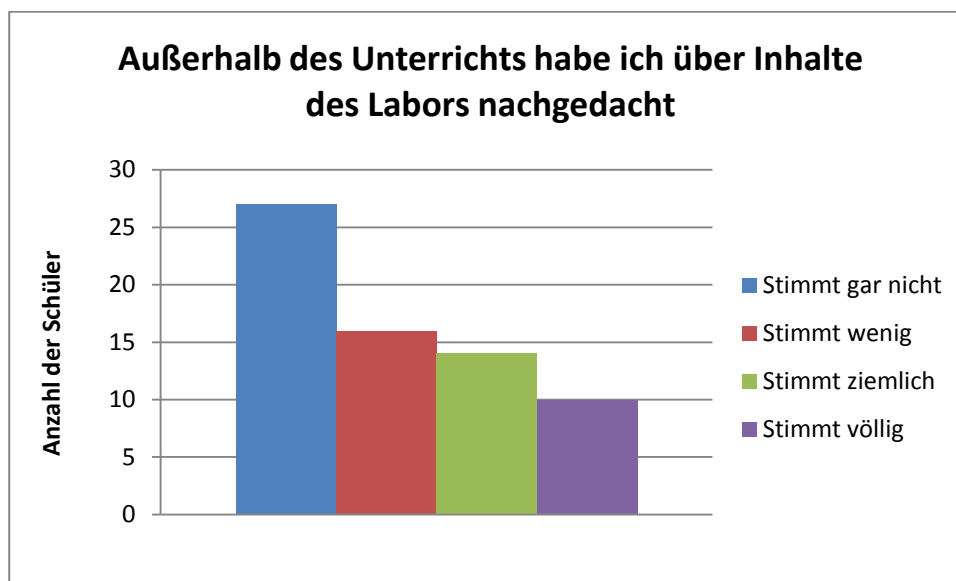


Abb. 6.29: Evaluationsfrage – Außerhalb des Unterrichts habe ich über Inhalte des Labors nachgedacht

6.2 Ergebnisse der Betreuerevaluation

Alle sieben betreuenden Helfer, die sowohl im fünften, im siebten oder achten Semester studieren, wurden nach der dreitägigen Schülerlabordurchführung mündlich befragt. Wie bereits oben erwähnt, wurden aus Mangel an Betreuern zwei fachfremde Studentinnen eingesetzt, welche Zahnmedizin und Hauptschullehramt studieren. Da beide über kein großes physikalisches Vorwissen verfügen, wurden sie an einfache Stationen verteilt, bzw. sie bekamen zum Teil einen weiteren Betreuer zur Hilfe. Die beiden fachfremden Personen hatten im Vorfeld noch keinerlei Erfahrungen mit einem Schülerlabor gemacht. Alle anderen Helfer hatten vor der Durchführung des Labors mindestens bereits 1 x ein anderes Schülerlabor betreut.

Auf die Frage, wie hoch das Interesse im Vorfeld an dem Themengebiet Energie war (vgl. Abb. 6.30), kam zu Vorschein, dass die Betreuer ein gutes Interesse zeigten (Durchschnitt 2,14). Dies mag daran liegen, dass die Helfer vorwiegend Lehramtsstudenten der Physik waren und das Thema „Energie“ in sämtlichen Sparten des Physikunterrichts vorkommt. Deshalb ist dieses Labor für Studenten recht attraktiv, Mittel und Wege kennenzulernen, Energie in der Schule auf unterschiedlichste Arten präsentieren zu können. Gerade für Studenten der Physik ist es unverzichtbar, immer auf dem neusten Stand der Technik zu sein. Hier gehört natürlich auch die Auseinandersetzung mit den aktuellen Problemen der Energie hinzu, die in der Station „Energieproblematik“ thematisiert wird.

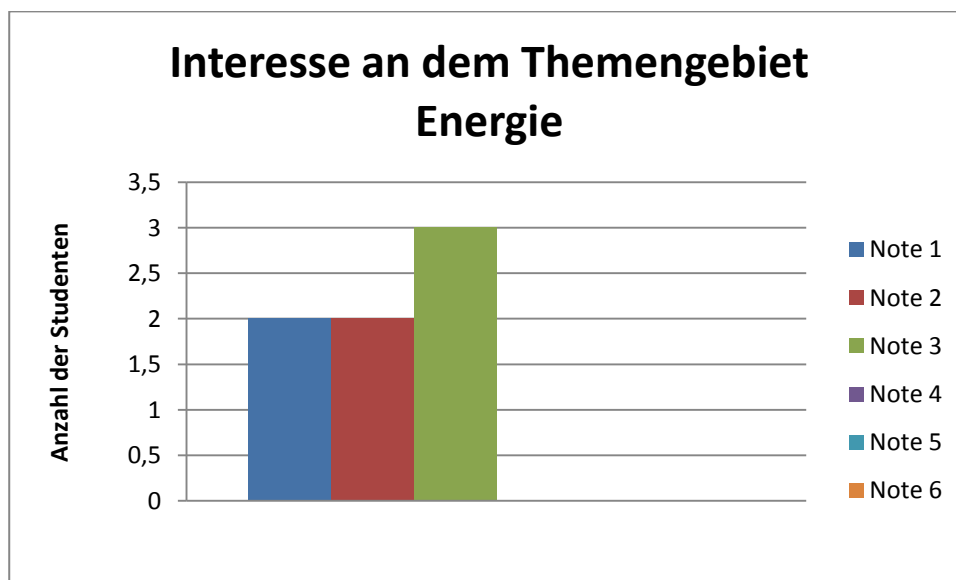


Abb. 6.30: Evaluation der Betreuer – Interesse an dem Themengebiet Energie

Im Anschluss sollten die Arbeitsmaterialien bewertet werden. Die Arbeitsblätter wurden hinsichtlich ihrer Verständlichkeit von fünf Betreuern mit der Note 1 und von 2 Helfern mit der Note 2 beurteilt (vgl. Abb. 6.31). Begründet wurden diese Entscheidungen mit den Kommentaren: „die Texte waren recht übersichtlich und leicht zu lesen“, „klar

strukturiert“, „gute Formulierungen“ oder „immer gut durch Bilder erläutert“. Die Hilfekarten und die Übersichten wurden mit der Durchschnittsnote 1,57 zensiert (vgl. Abb. 6.32). Hier wurde bemerkt, dass die einfachen Erklärungen und Bemerkungen den beinhaltenden Sachverhalt recht gut, sowie oft näher und übersichtlicher erläutern.

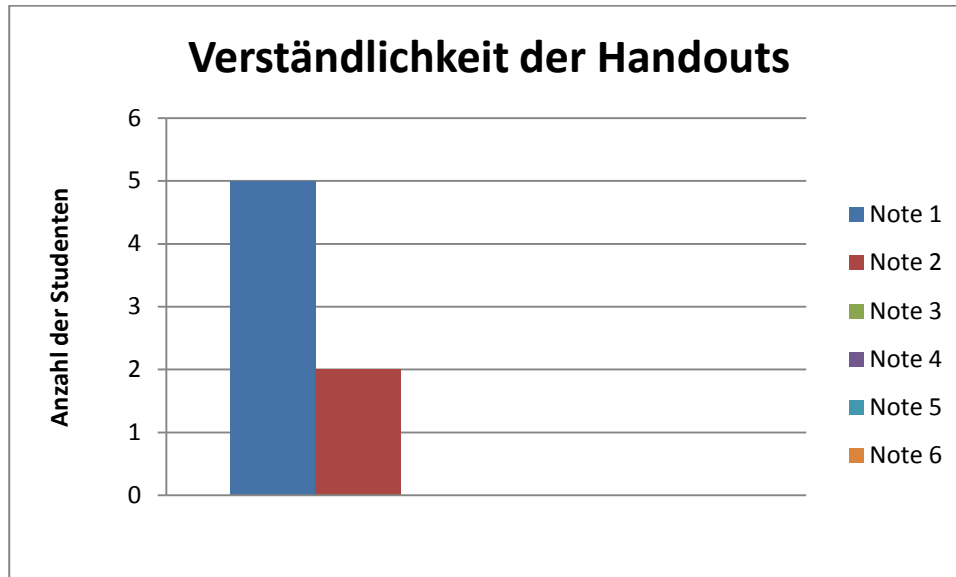


Abb. 6.31: Evaluation der Betreuer – Verständlichkeit der Handouts

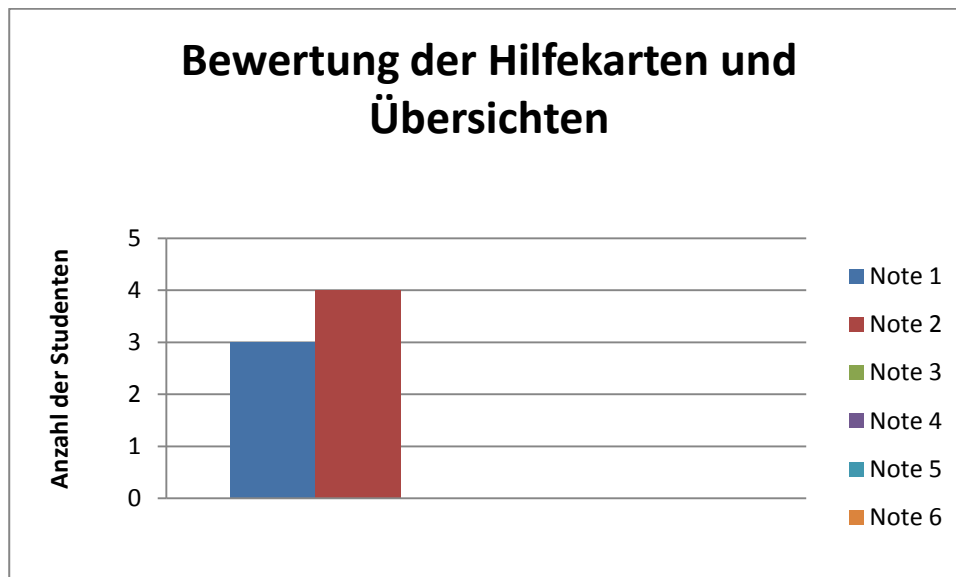


Abb. 6.32: Evaluation der Betreuer – Bewertung der Hilfekarten und Übersichten

Analog zum Ergebnis aus der Schülerevaluation ist auch aus der Abbildung 6.33 zu entnehmen, dass die Hilfekarten und Übersichten von der Mehrheit der Schüler zu Hilfe genommen wurden. Die Betreuer gaben an, dass Mädchen häufiger und schneller zu den Karten griffen und die Jungen eher untereinander diskutierten und schließlich bei Problemen die Betreuer um Hilfe baten.

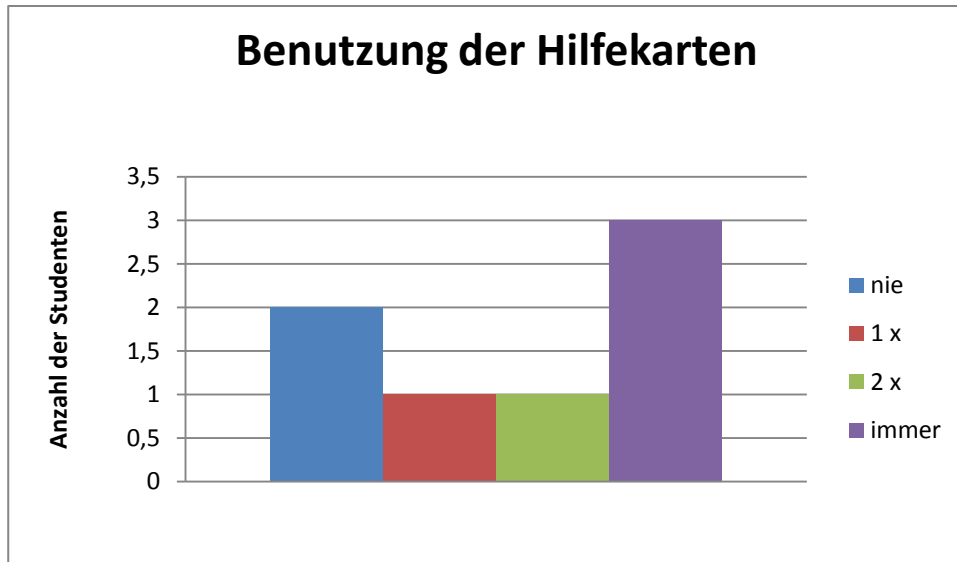


Abb. 6.33: Evaluation der Betreuer – Benutzung der Hilfekarten

Bemängelt wurde, dass die Handouts der Stationen „Energieversorgung“ und „Wärmedämmung“ zu viel Text enthielten und somit den zeitlichen Rahmen von einer Stunde Bearbeitungszeit sprengten. Bei allen weiteren Stationen war der zeitliche Faktor genau richtig bemessen.

Auf die Frage, ob die Experimente ansprechend und interessant gestaltet waren, antworteten 4 Befragte, dass die Versuche sehr interessant waren und 3 weitere Studenten meinten, sie wären recht ansprechend gewesen.

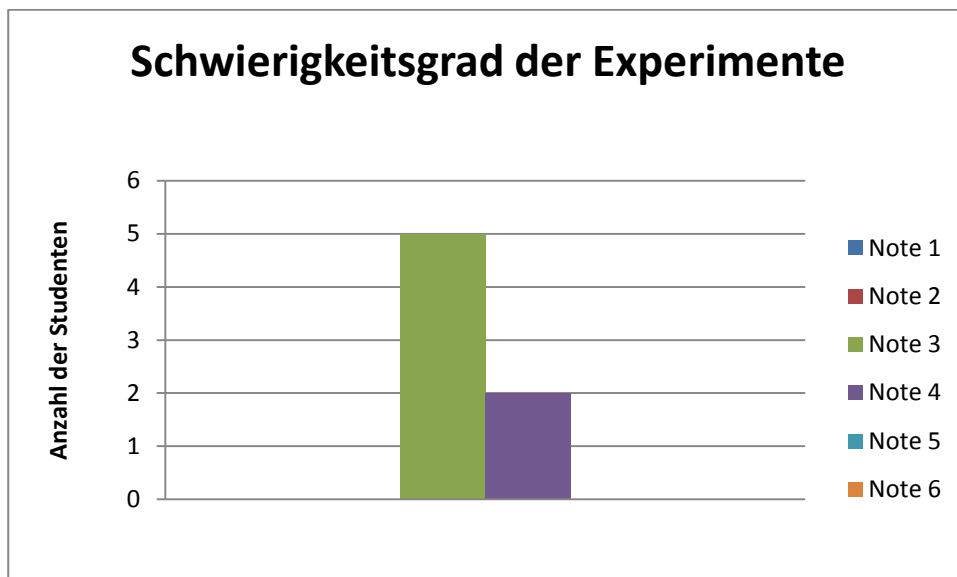


Abb. 6.34: Evaluation der Betreuer – Schwierigkeitsgrad der Experimente

Der Schwierigkeitsgrad der Versuche sollte ebenfalls mit der Note 1 bis 6 bewertet werden. Die Note 1 entsprach dem Attribut „sehr schwer“ während die Note 6 das

Attribut „sehr leicht“ repräsentieren sollte. Wie aus dem Diagramm 6.34 zu entnehmen ist, stuften die Studenten analog zu den Schülern den Schweregrad ebenfalls auf ein angemessenes und altersspezifisches Niveau ein. Da die Versuche nicht zu schwierig konstruiert waren, wurden die Schüler nicht überfordert. Andererseits war der Inhalt der Experimente auch nicht zu leicht, sodass sich die Teilnehmer gelangweilt hätten.

Den Betreuern fiel auf, dass die Arbeit mit Computerprogrammen bei den Schülern gut ankam. Auch hier wären die einzelnen Schritte der Handhabung der Programme übersichtlich erläutert gewesen und haben deshalb keine große Schwierigkeit dargestellt.

Auch die Diskussionsrunde wurde positiv bewertet (vgl. Abb. 6.35). Über 70 % der befragten Studenten vergaben die Note 1 und merken an, es wäre auffällig gewesen, dass bereits alle Schüler ihre Meinung, zur Frage nach einer sicheren Energie, gebildet hatten. Jeder Teilnehmer verteidigte seinen Standpunkt. Zwar stand die Kernenergie äußerst im Kreuzfeuer der Diskussion, die Befürworter argumentierten aber recht effektiv mit den Vorteilen der Kernenergie, was die ganze Diskussionen sehr anspruchsvoll, interessant und lehrreich gestaltete.

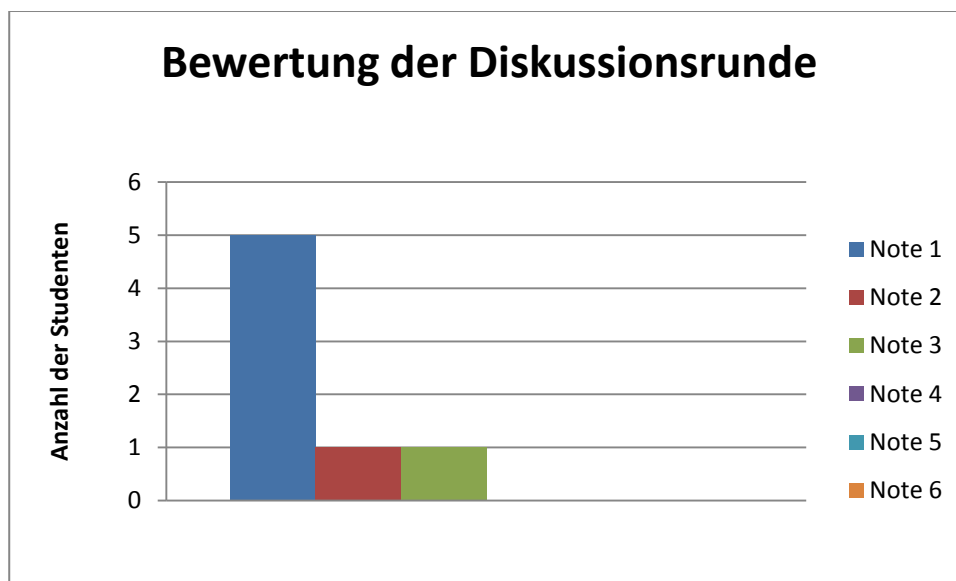


Abb. 6.35: Evaluation der Betreuer – Bewertung der Diskussionsrunde

Die Länge der einzelnen Stationen von einer Stunde, sowie die gesamte Länge des Schülerlabors wurden als angemessen und passend befunden.

Benotet wurde das Labor „Energieversorgung, Energienutzung und Energieproblematik“ von den Betreuern mit der Durchschnittsnote 1,43 (vgl. Abb. 6.36). Sie kommentierten diese Entscheidung damit, dass sie selbst an der Betreuung viel Spaß hatten und bei der Durchführung, einen Einblick in die praktische Arbeit mit Kindern und deren Denkweisen bekamen. Außerdem wurde bemerkt, dass das Labor sämtliche Facetten der Energie in sich birgt und diese in diversen Experimenten sehr gut umgesetzt wurden. Die Lehramtsstudenten hatten den Eindruck, dass das Labor bei den Teilnehmern sehr gut

ankam und die Schüler viel Freude beim Experimentieren hatten. „*Es herrschte eine angenehme Atmosphäre*“. Auch während der einzelnen Stationen sei bereits ein gewisser Lernerfolg zu verzeichnen gewesen.

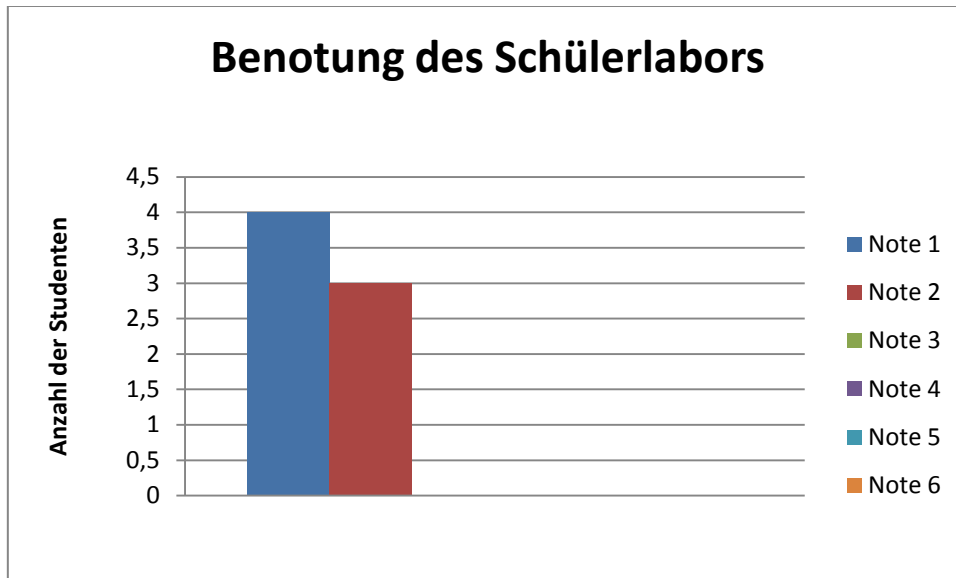


Abb. 6.35: Evaluation der Betreuer – Benotung des Schülerlabors

6.3 Folgerungen aus der Evaluation

Basierend auf den Ergebnissen der Evaluation wurde das Schülerlabor nochmals überarbeitet.

Die Handouts, die Hilfekarten und die Übersichten der Experimentierstationen wurden sowohl von den Schülern, als auch von den Betreuern, als angemessen und altersgerecht befunden. Änderungen wurden nur in den Stationen „Wärmedämmung“ und „Energieversorgung“, hinsichtlich der Textmenge im Handout, vorgenommen. Diese Verbesserungen sind bereits im Kapitel 5.3.1 und Kapitel 5.3.2, sowie in Kapitel 8.4 enthalten.

Der Aufbau des Vortrages, der Inhalt der Informationsmappen der Station „Energieproblematik“, sowie der Ablauf der Diskussionsrunde bedurften infolge der guten Ergebnisse keiner Überarbeitung.

Hinsichtlich der Dauer der einzelnen Stationen, als auch bezüglich der Dauer des gesamten Schülerlabors, ist zu erwähnen, dass einige Schüler das Labor und die Stationen als zu lange bewerteten. Wird jedoch das Gesamtergebnis betrachtet, sind die Zeiten als passend anzusehen. Eine Splittung des Labors auf zwei oder mehrere Tage kann nicht als sinnvoll betrachtet werden, da erstens zusätzliche Kosten für die Schüler entstehen würden und zweitens, sich die Anzahl der möglichen Teilnehmer am Schülerlabor, aufgrund der räumlichen Auslastung an der Universität Würzburg, deutlich verringern würde.

Die Resultate der Befragung belegen, dass das Schülerlabor einen Überblick über die Thematik „Energie“ liefert. Ebenso ist festzustellen, dass das Interesse der Schüler geweckt wurde. Das Ziel, die Teilnehmer für die Energieproblematik zu sensibilisieren, ist demnach erreicht.

Aufgrund der guten Benotung, sowie des festzustellenden Lernzuwachses, kann das Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ als gelungen angesehen werden. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass selbst nach mehreren Wochen die Inhalte des Labors bei den Schülern noch verankert sind. Dies zeigt, dass sich die Mädchen und Jungen intensiv mit der Materie „Energie“ beschäftigt haben. Das Konzept des Schülerlabors hat sich demnach bewährt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Energie ist im Alltag etwas so Selbstverständliches geworden, dass ihre Abwesenheit unser Alltagsleben zusammenbrechen lässt. Wir brauchen sie, die Energie, die Wärme, den Strom, die Maschinenkraft. Leider tritt aber häufig in den Hintergrund, welche Hochleistungen an Wissenschaft und Ingenieurstechnik für unsere Energieversorgung vonnöten sind. Wie kann zum Beispiel die Energie des Wassers durch vielfache Umwandlung als Strom aus der Steckdose fließen? Die Lebensqualität des Menschen kann über die Generationen hinweg nur gewährleistet werden, wenn jede einzelne Person bewusst mit der Energie umgeht.

Die vorliegende Arbeit präsentiert einen möglichen Ansatz, den Schülern und Schülerinnen das komplexe und fächerübergreifende Thema, die Energie, zu vermitteln. In dem Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ wird daher vorrangig das Ziel verfolgt, das große Themengebiet der Energie in der Erfahrungswelt der Schüler zu verankern. Parallel soll dabei auch für die Physik Interesse geweckt werden. Desweiteren ist das Labor als Ergänzung zum Unterricht gedacht, in dem die Schüler unterschiedliche Möglichkeiten kennen lernen, Energie zu sparen. Darüber hinaus bietet diese außerschulische Bildungseinrichtung die Chance, physikalische Gegebenheiten zu wiederholen.

Für das eintägige Schülerlabor wurden insgesamt vier experimentelle Stationen und eine Station, die die Energieproblematik thematisiert, konzipiert. In allen Stationen werden physikalische Grundlagen aus dem Unterricht benötigt, die ebenfalls zu Beginn des Labors in einem Vortrag behandelt werden, um die Schüler auf einen möglichst einheitlichen Wissensstand zu bringen. Trotz hoher Mitarbeit der Schüler und Schülerinnen ist dies leider nur teilweise gelungen, da die Klassen recht inhomogen waren und die Schüler vereinzelt große Wissenslücken hatten. Brachten die Schüler nicht genügend Vorwissen mit, fiel es einigen sehr schwer, sich an alle Details des Vortrags zu erinnern, da dieser innerhalb kurzer Zeit zahlreiche Themen behandelte. Dennoch wurde der Vortrag, wie aus der Evaluation hervorgeht, von den Teilnehmern, aber auch von den betreuenden Hilfskräften, als aufschlussreich und übersichtlich beurteilt.

In der experimentellen Phase führen die Jugendlichen selber Versuche durch und kommen mit verschiedenen Teilbereichen der Energie, wie beispielsweise der Wärmedämmung oder der Wärmepumpe, in Berührung. Während dieser Phase kam es zwischen den Betreuern und den Mädchen und Jungen zu vielen fruchtbaren Gesprächen über die Inhalte der Experimente. Im Weiteren muss hier angeführt werden, dass die Klassen, die das eintägige Schülerlabor besuchten, das Themengebiet Induktion noch nicht behandelt hatten. Auch weitere Gebiete in Verbund mit Energie, wie in etwa der Transformator und der Generator, waren bei einigen Schülern leider nur sehr lückenhaft verankert. Aufgrund dieser Tatsache wurde die Experimentierstation „Energieversorgung“ nur mit großer Unterstützung des jeweiligen Betreuers gemeistert. Für die Zukunft ist hier anzumerken, dass der Besuch dieses Schülerlabors erst sinnvoll ist, wenn die oben genannten Inhalte bereits in der Schule durchgenommen worden sind. Die restlichen vier Stationen wurden jedoch von allen Mädchen und Jungen ohne größere Schwierigkeiten absolviert und von

den Teilnehmern als recht lehrreich und als übersichtlich und ansprechend gestaltet, befunden. Einige Schüler honorierten in der Evaluation auch die Vielzahl an teilweise recht aufwendigen Versuchen mit Anerkennung und Lob.

Die Schüler erhalten in diesem Schülerlabor ebenfalls einen Einblick in die Energieproblematik und der damit in Verbindung stehenden Frage nach möglichen erneuerbaren Energiealternativen, einem komplexen und fächerübergreifendem Thema, das im Physikunterricht nur kurz behandelt wird. Im Labor bekommen die Jugendlichen die Gelegenheit, mehr Details aus diesem Gebiet zu lernen. Hierzu erhält jede Gruppe eine Arbeitsmappe mit einer abwechslungsreichen Auswahl an Informationsmaterial, zu einem von sechs Kraftwerkstypen (Kernenergie, Wind- und Wasserenergie, Solarenergie, Biomasse und Geothermie). Die Gruppen erarbeiten den Inhalt der Mappen und stellen den restlichen Klassenmitgliedern die Ergebnisse kurz vor. Basierend auf diesen Ergebnissen entstand in der nachfolgenden Diskussionsphase stets eine rege Debatte über bestmögliche Lösungsvorschläge für die zukünftige Energieversorgung. Wie die Evaluation in Kapitel 6 zeigt, waren die Schüler an dieser Thematik recht interessiert. Dies bestätigt auch die enorme Beteiligung an den Diskussionsrunden.

Die meisten Jugendlichen gaben im Fragebogen an, dass das Schülerlabor eine tolle Erfahrung für sie war. Das Labor habe ihnen großen Spaß gemacht und sie fanden es gut, auch mal selbst experimentieren zu dürfen. Dazu haben unter anderem auch die detaillierten Versuchsanleitungen, die nach der Schülerlabordurchführung nochmals überarbeitet wurden, beigetragen, sodass die Schüler einzelne Versuche größtenteils ohne die Hilfe der Betreuer durchführen konnten. Dies bestätigt auch die Befragung der betreuenden Personen. Nach Gesprächen mit den begleitenden Lehrern und der Auswertung der Fragebögen kann das Schülerlabor „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ als Erfolg verbucht werden. Die Schüler interessierten sich für die behandelten Themen und hatten Spaß bei der Durchführung. Besonders erfreulich ist, dass die Teilnehmer im Schülerlabor etwas gelernt haben. Selbst nach mehreren Wochen waren Inhalte des Labors bei den Schülern noch verankert. Das Konzept dieses Labors hat sich demnach bewährt.

Dennoch ist das Schülerlabor insofern zu verbessern, dass die Experimentierstation „Energieversorgung“ auf zwei einzelnen Stationen, die eventuell aufeinander aufbauen, aufgeteilt werden sollte. Da diese Station sehr komplexe Inhalte bespricht, wäre es ratsam, in einem ersten Teil, zunächst die benötigte Theorie zu wiederholen und anschließend Experimente, die einen Alltagsbezug herstellen, durchzuführen.

Das Schülerlabor wurde für die 10. Jahrgangsstufe der Realschule und für die 9. und 10. Jahrgangsstufe des Gymnasiums konzipiert. Dennoch können Teile dieses Labors auch mit Schülern der 8. Jahrgangsstufe beider Schularten durchgeführt werden. Dazu müsste das Schülerlabor nur etwas umstrukturiert werden, was im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht möglich war, aber für folgende Schülerlabordurchführungen dennoch überlegenswert wäre.

Das Labor lässt sich auch auf die Schule übertragen. Hierbei kann entweder das gesamte Konzept übernommen werden, oder es werden nur Teile an entsprechender Stelle im Unterricht eingesetzt. Die Energiefrage kann beispielsweise nach dem Vorbild des Schülerlabors an Projekttagen durchgeführt werden.

8. Anhang

8.1 Checkliste zur Organisation des Schülerlabors

Die Planungsphase

- ◆ Welche Themengebiete können unter dem Titel des Schülerlabors behandelt werden?
- ◆ Für welche Schulart soll das Schülerlabor sein?
- ◆ Für welche Jahrgangsstufe soll das Labor sein?
- ◆ Welche Versuche sind denkbar?
- ◆ Welche Stationen soll es geben?
- ◆ Aus wie vielen Stationen soll das Schülerlabor bestehen?
- ◆ Sollen die Stationen untereinander thematisch verbunden sein und aufeinander aufbauen?
- ◆ Sollen Stationen doppelt angeboten werden?
- ◆ Soll jeder Schüler jede Station besuchen?
- ◆ Welche Software soll verwendet werden?
- ◆ Wie soll ein Tag im Schülerlabor ablaufen und wie lange soll der Tag dauern?

Die Vorbereitungsphase

- ◆ Die endgültigen Experimente müssen ausgewählt werden
 - a) Decken die Experimente das gewünschte Stoffgebiet ab?
 - b) Welche Materialien werden benötigt?
 - c) Muss etwas bestellt werden bzw. gebaut werden?
 - d) Wie lange dauern die Versuche und können sie zeitgleich oder hintereinander durchgeführt werden?
 - e) Aufbau und Durchführung der Experimente mit anschließendem Dokumentieren der Aufbauart und der Reihenfolge
 - d) Fotos von den Versuchen machen
 - e) Welche Hilfestellungen sollen durch Hilfekarten gegeben werden?
- ◆ Entwerfen des Schülerhandouts
 - a) Soll eine reine Experimentierstation entstehen oder sollen auch Diskussionen stattfinden?
 - b) Wie wird ein Schülerhandout aufgebaut?
 - c) Wie formuliert man Arbeitsanweisungen und Erklärungen?
 - d) Welche Icons werden verwendet?
- ◆ Entwerfen des Betreuerhandouts
- ◆ Den Einführungsvortrag vorbereiten
- ◆ Informationsmaterial für die Station „Energieproblematik“, zum Beispiel bei Siemens, anfordern
- ◆ Arbeitsmappen (Texte, Folien) für die Station „Energieproblematik“ erstellen
 - a) Welche Informationen sollen die Schüler aus dem Material entnehmen?
 - b) Wie soll das Tafelbild, das letztendlich eine Hilfestellung für die Diskussionsrunde darstellen soll, aussehen?

- ◆ Testlauf des Schülerlabors mit Studenten oder Schülern
- ◆ Überarbeitung nach dem Testlauf
- ◆ Termin der Durchführung vereinbaren
- ◆ Zeitplan für den Schülerlaborbesuch aufstellen
- ◆ Räume organisieren und reservieren
- ◆ Flyer erstellen und an die Schulen und Lehrkräfte schicken
- ◆ Termine mit den besuchenden Klassenleitern schriftlich bestätigen und den Lehrkräften nähere Informationen (Termine, Zeitplan, Ablauf, benötigtes Material, Kosten, ...) mitteilen
- ◆ Die Pretest-Evaluationsbögen für die Schüler an die Lehrkräfte verschicken.
- ◆ Betreuer organisieren
- ◆ Schülerhandouts ausdrucken und heften
- ◆ Das benötigte Material (aus der Physiksammlung) für die Schülerlabordurchführung frühzeitig reservieren
- ◆ Das Schülerlabor aufbauen
- ◆ Benötigte Software auf Laptops spielen
- ◆ Zusatzmaterial anfertigen (Stationsschilder, Wegweiser, Zeittafeln, ...) und kennzeichnen der Räume und Gänge
- ◆ Briefing der Betreuer

Die Durchführungsphase

- ◆ Vortragen des einleitenden Vortrages und anschließender Instruktion der Schüler und Lehrkräfte
- ◆ Vorstellen der Betreuer
- ◆ Dokumentation von eventuellen Verbesserungsmöglichkeiten der Experimentierstationen
- ◆ Fotos von den Schülern beim Experimentieren schießen
- ◆ Leiten der Diskussionsrunde
- ◆ Vergabe der Posttest-Evaluationsbögen
- ◆ Geld von den Lehrkräften für das Schülerlabor einsammeln
- ◆ Verabschiedung

Die Nachbearbeitungsphase

- ◆ Abbau des Schülerlabors
- ◆ Betreurevaluation durchführen und auswerten
- ◆ Pretest- und Posttest-Evaluationsbögen auswerten
- ◆ Überarbeitung des Schülerlabors

8.2 Werbeflyer



Schülerlabor

„Energieproblematik, Energieversorgung, Energienutzung“

Experimentierlabor am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg

Inhalte der Stationen:

Die Schüler/innen erlernen physikalische Grundlagen zu

- Energieversorgung
- Energieproblematik
- Wärmepumpe
- Wärmedämmung
- Energie im Haushalt



Abb. 8.1: [INTQ58]

Die Schüler/innen experimentieren selbständig in Kleingruppen an den einzelnen Stationen. Jede Gruppe besteht dabei aus 4 bis 6 Schüler(inne)n und wird von einem studentischen Betreuer unterstützt. Die Versuchsdauer je Station umfasst ca. 50 Minuten.

Nach einer Mittagspause treffen sich alle Schüler zu einer gemeinsamen Diskussionsrunde, in welcher die Ergebnisse der Station Energieproblematik vorgestellt werden und die aktuelle Situation der Energiefrage thematisiert wird.

Dauer:

ein Vormittag, ca. 5 Stunden (von 8.30 bis 14:00 Uhr)
Bitte beachten Sie diesen „festen“ Zeitrahmen!

Termin:

Dienstag, den 12.10.2010
Mittwoch, den 13.10.2010
Donnerstag, den 14.10.2010

Ort:

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
Physikalisches Institut
Universität Würzburg
Am Hubland
97074 Würzburg

Für welche Schulart, für welche Jahrgangsstufe geeignet?

Realschule: 10. Jahrgangsstufe
Gymnasium: 9. und 10. Jahrgangsstufe

Vorkenntnisse:

Realschule: Elektrizitätslehre (Lehrplan Jahrgangsstufe 10)
Gymnasium: Elektrizitätslehre (Lehrplan Jahrgangsstufe 9)

Kosten pro Schüler/in:

3 EUR

Weitere Informationen und Anmeldung:

Am Lehrstuhl Physik und ihre Didaktik ist Frau Monika Pregler der Ansprechpartner für das Schülerlabor „Energieproblematik, Energieversorgung, Energienutzung“.

monika.pregler@physik.uni-wuerzburg.de

Sonstiges:

Da im Rahmen der Zulassungsarbeit von Frau Pregler eine Evaluation durchgeführt wird, beinhaltet dieses Schülerlabor für die Schüler ebenfalls das Ausfüllen eines Fragebogens vor der Durchführung (ca. 5 min) und einen weiteren Bogen nach dem Schülerlabor (ca. 10 min).

Wir bitten Sie um eine zügige Anmeldung.

8.3 Folien des einführenden Power-Point-Vortrages

UNIVERSITÄT WÜRZBURG
Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik

UNI WÜRZBURG
M!ND
Mathematisches, Informationstechnologisches und Naturwissenschaftliches Didaktikzentrum

Energieversorgung Energienutzung Energieproblematik

erstellt von Pregler Monika

Folie 1

Tagesablauf

10:30 Uhr bis 11:00 Uhr Vortrag

11:00 Uhr bis 12:00 Uhr	1. Station
12:00 Uhr bis 13:00 Uhr	2. Station
13:00 Uhr bis 13:45 Uhr	Mittagspause
13:45 Uhr bis 14:45 Uhr	3. Station
14:45 Uhr bis 15:00 Uhr	Argumente sammeln und wiederholen in der Gruppe
15:00 Uhr bis 15:45 Uhr	Diskussionsrunde
	Evaluation

Folie 2

... betreibt einen Radio

... ist notwendig beim Kochen und Backen

... hält uns fit

Im Alltag nutzen wir täglich Energie. Denn Energie ...

... wärmt uns

... erhält uns am Leben

... kühlt unsere Lebensmittel

... bewegt Motorräder und Autos

Folie 3

Abb. 8.2: Im Alltag nutzen wir täglich Energie [INTQ59]

Folie 4

Was ist Energie und was ist Leistung?

Energie:

- Energie ist eine physikalische Größe
- Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.
- Einheit für Energie ist Joule [J]

$$1J = 1N \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

Leistung:

- Die Leistung ist eine physikalische Größe
- Die Leistung P ist der Quotient aus verrichteter Arbeit ΔW oder dafür aufgewendeter Energie ΔE und der dazu benötigten Zeit Δt

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

- Die Leistung besitzt die Einheit Watt [W]

$$W = \frac{Nm}{s} = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$$

Eine Kilowattstunde, was ist das?

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

Folie 5

Was bekomme ich für eine Kilowattstunde Strom?

Eine Kilowattstunde Strom reicht für:



- das Bügeln von 15 Hemden

- das Kochen von 70 Tassen Kaffee



- fünf Stunden fernsehen



- das Kochen eines Mittagessens für vier Personen

- das Waschen einer Maschine Wäsche

- 90 Stunden Licht einer Stromsparlampe (11 Watt)

- bzw. 17 Stunden Licht einer Glühlampe (60 Watt)

- 40 Stunden Musik des dem CD-Players



Folie 6

Abb. 8.3: Was bekommt man für eine Kilowattstunde Strom? [INTQ60]

mechanische Energieformen



Man braucht **Bewegungsenergie**, um Verformungsarbeit verrichten zu können.



Man braucht **Spannenergie**, um Beschleunigungsarbeit bzw. Hubarbeit verrichten zu können.

Nur wer zuvor den Bogen spannt kann den Pfeil beschleunigen und hoch schießen



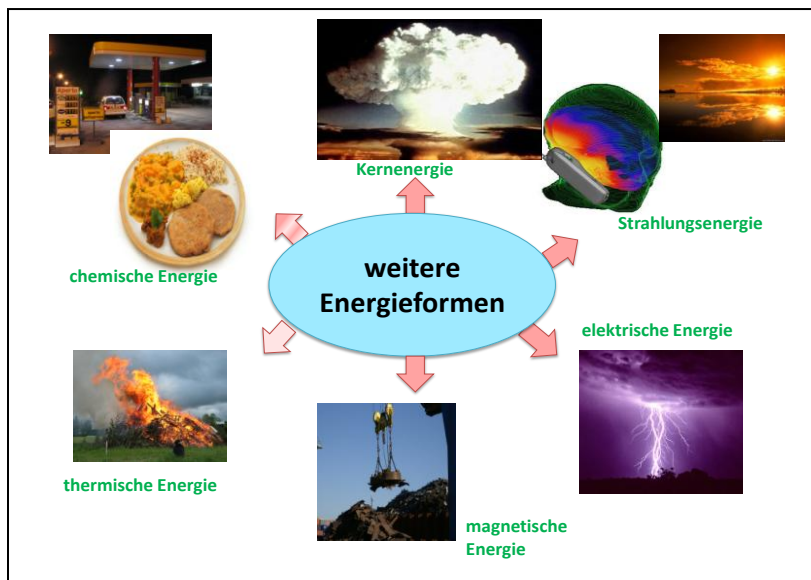
Körper, die aufgrund ihrer Rotation Arbeit verrichten können, besitzen **Rotationsenergie**



Man braucht **Lageenergie**, um Beschleunigungsarbeit verrichten zu können!

Folie 7

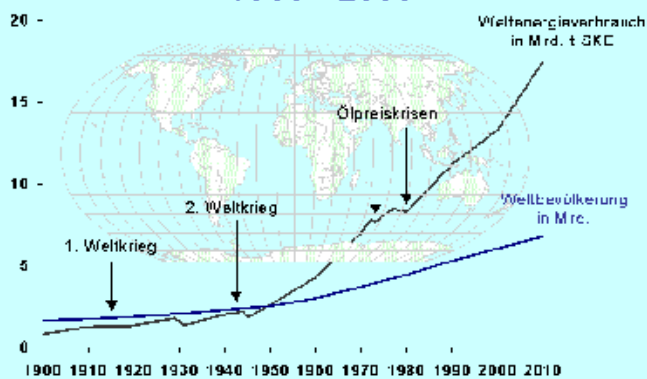
Abb. 8.4: mechanische Energieformen [INTQ61]



Folie 8

Abb. 8.5: Energieformen [INTQ62]

Entwicklung Weltenergieverbrauch und Bevölkerung 1900 - 2010



Folie 9

Abb. 8.6: Entwicklung der Bevölkerung und des Weltenergieverbrauchs [INTQ63]

Folie 10

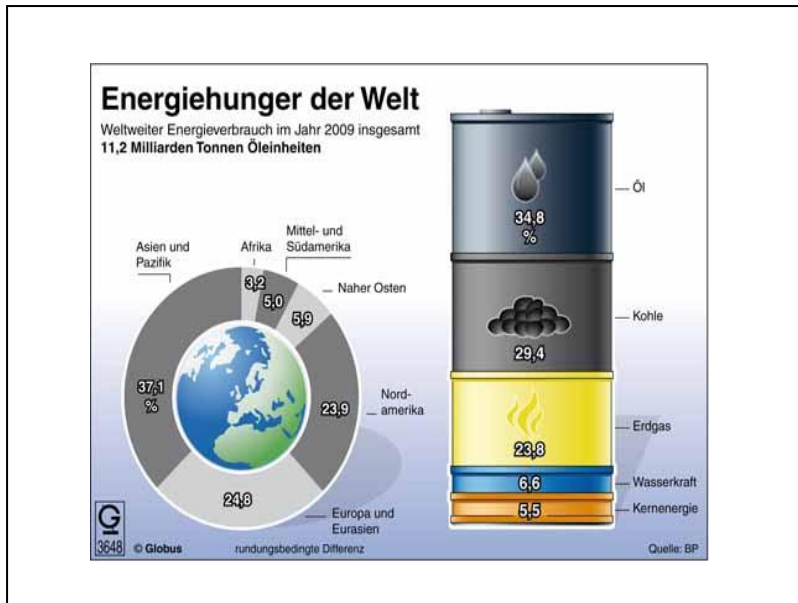


Abb. 8.7: Energiehunger der Welt [INTQ64]

Folie 11

Woher stammt die Energie?

Primärenergie	Umwandlung, Transport und Speicherung	Sekundärenergie	Nutzer der Endenergie	
Fossile Energiequellen				
Öl Kohle Gas	Raffinerien Pipelines und Tanker Gas- und Kohlekraftwerke	Erdgas Kraftstoffe	Verkehr Haushalt Industrie Gewerbe	
Nukleare Energiequellen				
Uran	Kernspaltung Kernkraftwerke	Fernwärme Strom Kohlebriketts		
Regenerative Energiequellen				
Sonne Wind Wasser Biomasse Geothermie	Solarenergie Windkraftanlagen Wasserkraftwerke Geo-Kraftwerke Brennstoffzellen	Biogase Holzpellets		

Folie 12

Elektrizität, Treibstoffe, Brennstoffe, Nahrungsmittel sind Energieträger.

Es gibt keine „reine Energie“.

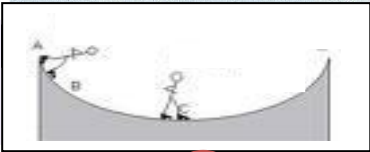
Energie ohne Träger gibt es nicht!!!

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie

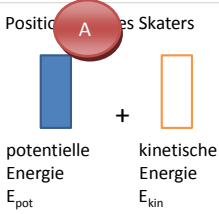
Bei allen Prozessen der Umwandlung und Übertragung von Energie gilt der **Energieerhaltungssatz**

Energie kann bei einem physikalischen Vorgang weder erzeugt noch vernichtet werden. Sondern lediglich von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden

In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energie stets konstant.
Die Gesamtenergie bleibt erhalten.



Position A des Skaters

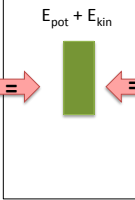


potentielle Energie
 E_{pot}

kinetische Energie
 E_{kin}

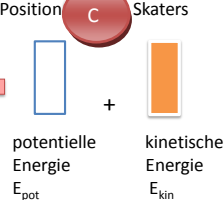
=

$E_{pot} + E_{kin}$



=

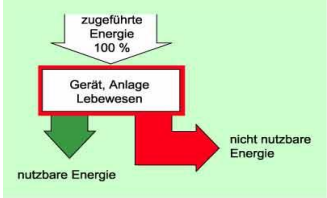
Position C des Skaters



potentielle Energie
 E_{pot}

kinetische Energie
 E_{kin}

Wirkungsgrad



Formelzeichen: η

Einheit: 1

Berechnet werden kann der Wirkungsgrad mit der Formel:

$$\eta = \frac{E_{nutz}}{E_{zuf}}$$

Der Wirkungsgrad eines Gerätes gibt an, welcher Anteil der zugeführten Energie in nutzbringende Energie umgewandelt wird.

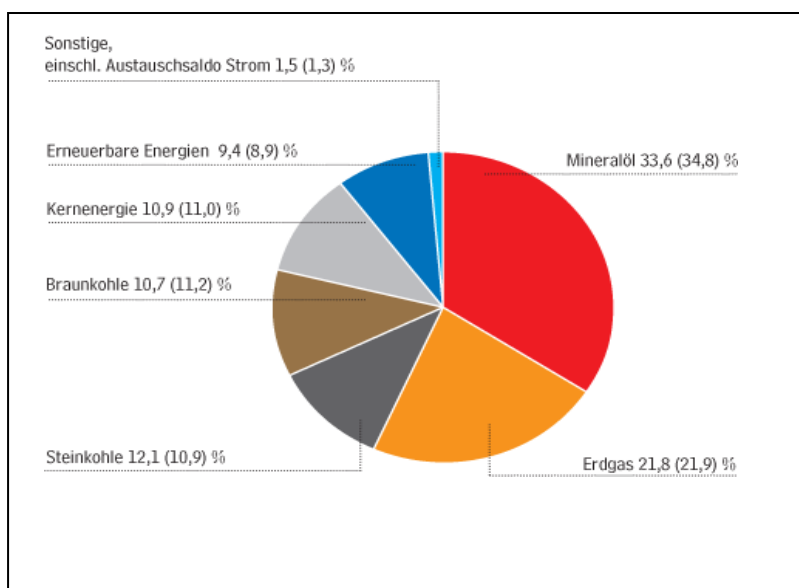
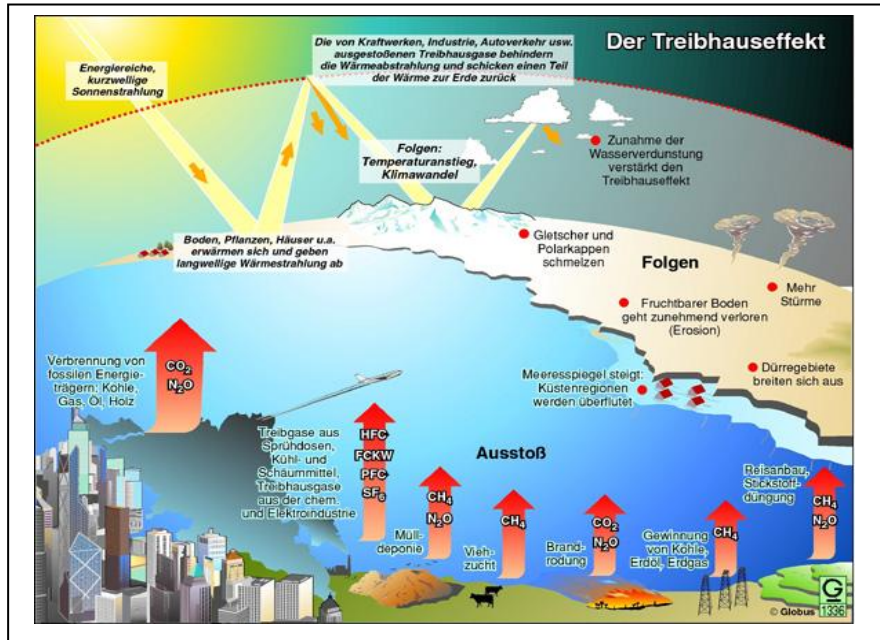


Abb.8.8 : Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2010 [INTQ25]

Folie 16

Abb. 8.9: Der Treibhauseffekt [INTQ27]



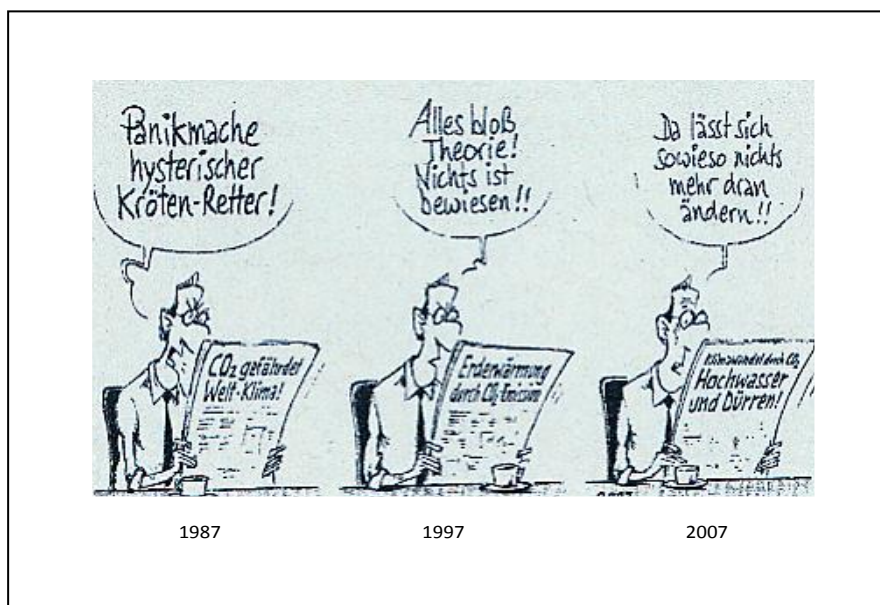
Folie 17

Abb. 8.10: Folgen der Umweltverschmutzung [SCH07]



Folie 18

Abb. 8.11: Karikatur zur Energieproblematik I [WEB08]



Deutsche Kohlekraftwerke sind Dreckschleudern

Eine Studie im Auftrag der Umweltstiftung WWF hat deutschen Kohlekraftwerken eine glatte Sechsis erteilt:

Zehn der dreißig dreckigsten Kohlekraftwerke der EU stehen in Deutschland.

Allein vier davon gehören dem Energiekonzern RWE



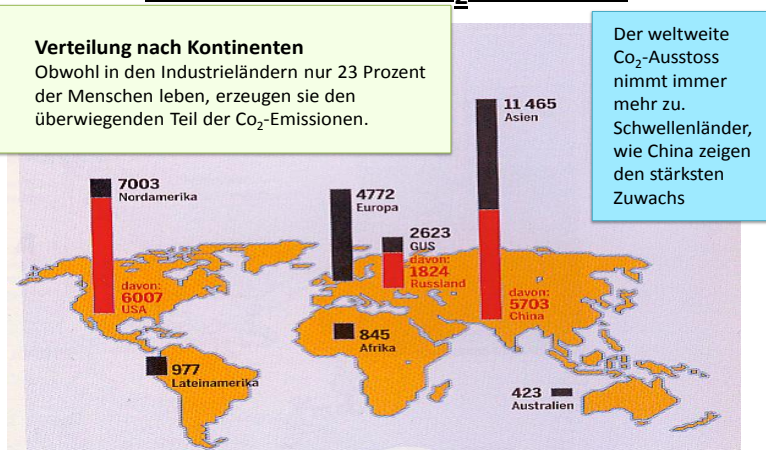
Folie 19

Abb. 8.12: Deutsche Kohlekraftwerke sind Dreckschleudern [INTQ29]

Klimawandel - CO₂-Ausstoss

Verteilung nach Kontinenten

Obwohl in den Industrieländern nur 23 Prozent der Menschen leben, erzeugen sie den überwiegenden Teil der CO₂-Emissionen.

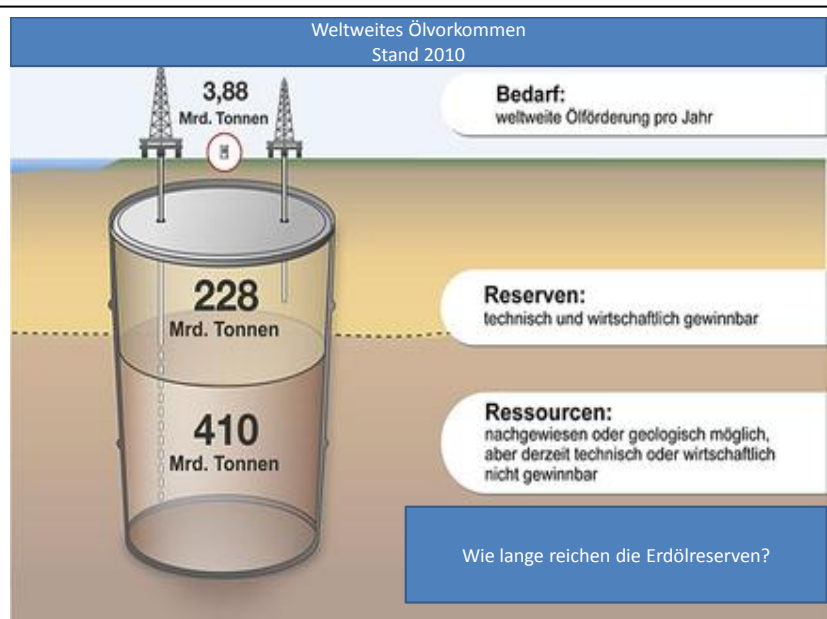


Der weltweite CO₂-Ausstoss nimmt immer mehr zu. Schwellenländer, wie China zeigen den stärksten Zuwachs

Folie 20

Abb. 8.13: Klimawandel und CO₂-Ausstoss [WEB08]

Weltweites Ölvorkommen Stand 2010



Folie 21

Abb. 8.14: Wie lange reichen die Erdölreserven [BUN09]

Folie 22

Abb. 8.15: Karikatur zur Energieproblematik II [WEB08]



Folie 23

Die einzelnen Stationen des Schülerlabors

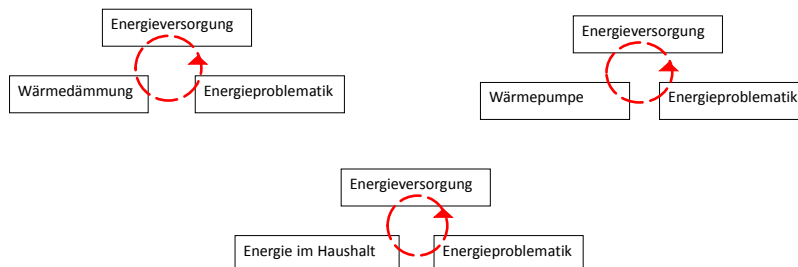
Station „Energieversorgung“ (E070)

Station „Energieproblematik“ (SE 6)

Station „Energie im Haushalt“ (E070)

Station „Wärmedämmung“ (A012)

Station „Wärmepumpe“ (A021)



8.4 Schülerhandout



Lehr-Lern-Labor

Energieversorgung

Energienutzung

Energieproblematik

ausgearbeitet von

Pregler Monika

betreut von

Prof. Dr. Thomas Trefzger

Oktober 2010

Name: _____

Die einzelnen Stationen des Schülerlabors

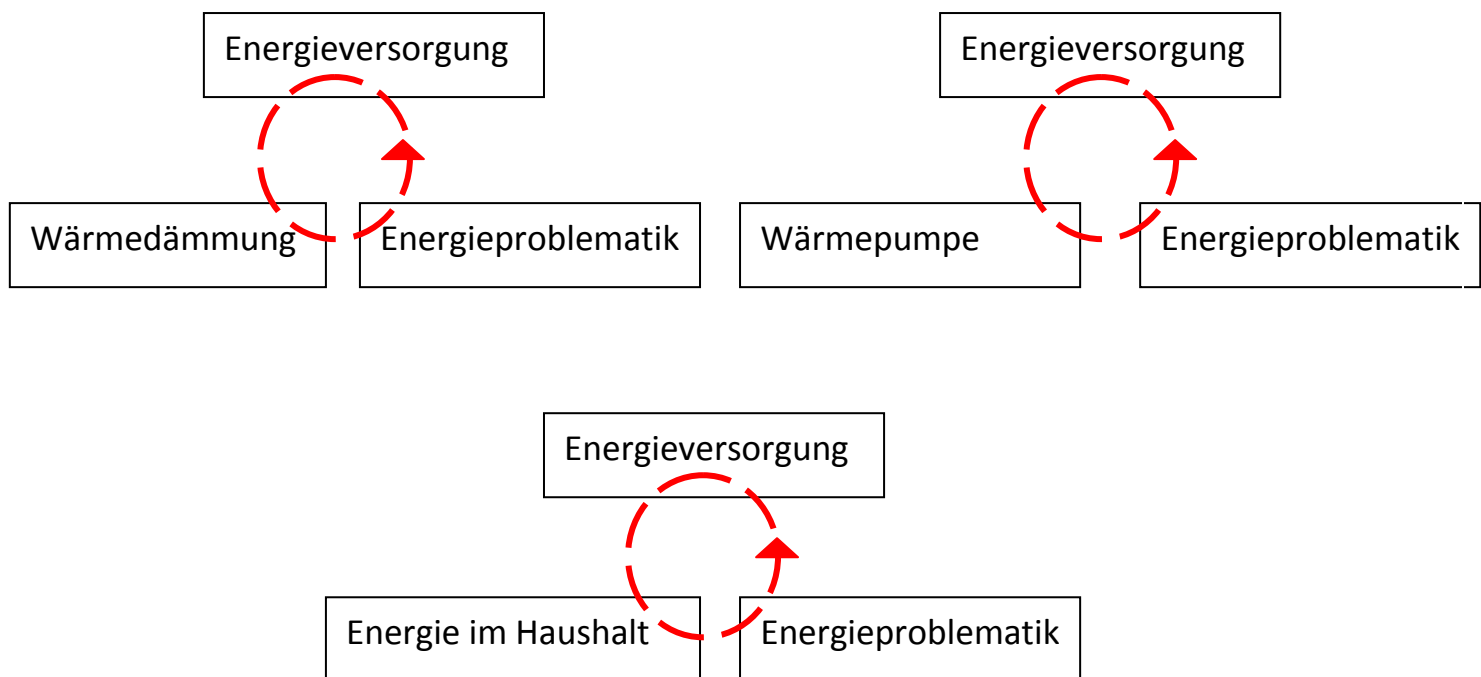
Station „Energieversorgung“

Station „Energieproblematik“

Station „Energie im Haushalt“

Station „Wärmedämmung“

Station „Wärmepumpe“



Wir wünschen viel Erfolg und gute Erkenntnisse bei der Durchführung!

Zeitlicher Rahmen

Du solltest im Laufe des Tages drei Stationen besuchen. Die Station „Energieversorgung“ und die Station „Energieproblematik“ sind dabei Pflichtstationen.

In welche dritte Station Du kommst, entweder Energie im Haushalt, Wärmedämmung oder Wärmepumpe, wird ausgelost.

Im Anschluss an die Mittagspause treffen wir uns alle gemeinsam im Seminarraum 6 zur Diskussionsrunde.

Pro Station benötigt man etwa 50 min bis zu 1h.

**Falls Du zwischen den Stationen Zeit hast, kannst Du im Raum (E071) vorbeischaun. Dort findest Du zusätzliche Materialien zum Thema Energie.
(z. B. ein Trimm-Dich-Rad)**

Bei Fragen wende Dich bitte einfach an eine/n Betreuer/in!

Lageplan

- 1 Station „Energieversorgung“ (E070)
- 2 Station „Wärmepumpe“ (A012)
- 3 Station „Energieproblematik“ (SE 6)
- 4 Station „Wärmedämmung“ (A021)
- 1 Station „Energie im Haushalt“ (E070)



Station

Energieversorgung



Der durchschnittliche Stromverbrauch einer Person pro Jahr liegt in den meisten Ländern zwischen 4.000 und 7.000 kWh.

Mit 24.000 kWh pro Kopf weist Norwegen weltweit den höchsten Stromverbrauch, noch weit vor den USA mit 12.000 kWh, pro Kopf auf.

Deutschland nimmt mit 5.800 kWh eine mittlere Stellung ein.

Arme Länder, wie Bangladesch, kommen jedoch gerade mal auf knapp 100 kWh.

Im langjährigen Mittel steigt der Verbrauch an elektrischer Energie in Deutschland jährlich um 2,5 - 3 %.



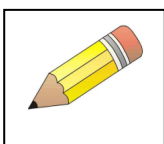
Wie wird die benötigte elektrische Energie erzeugt?



Bei allen Vorgängen der Umwandlung und Übertragung von Energie, in der Natur wie in der Technik, gilt das

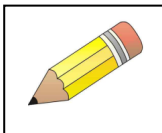
Gesetz von der Erhaltung der Energie.

In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien stets konstant.

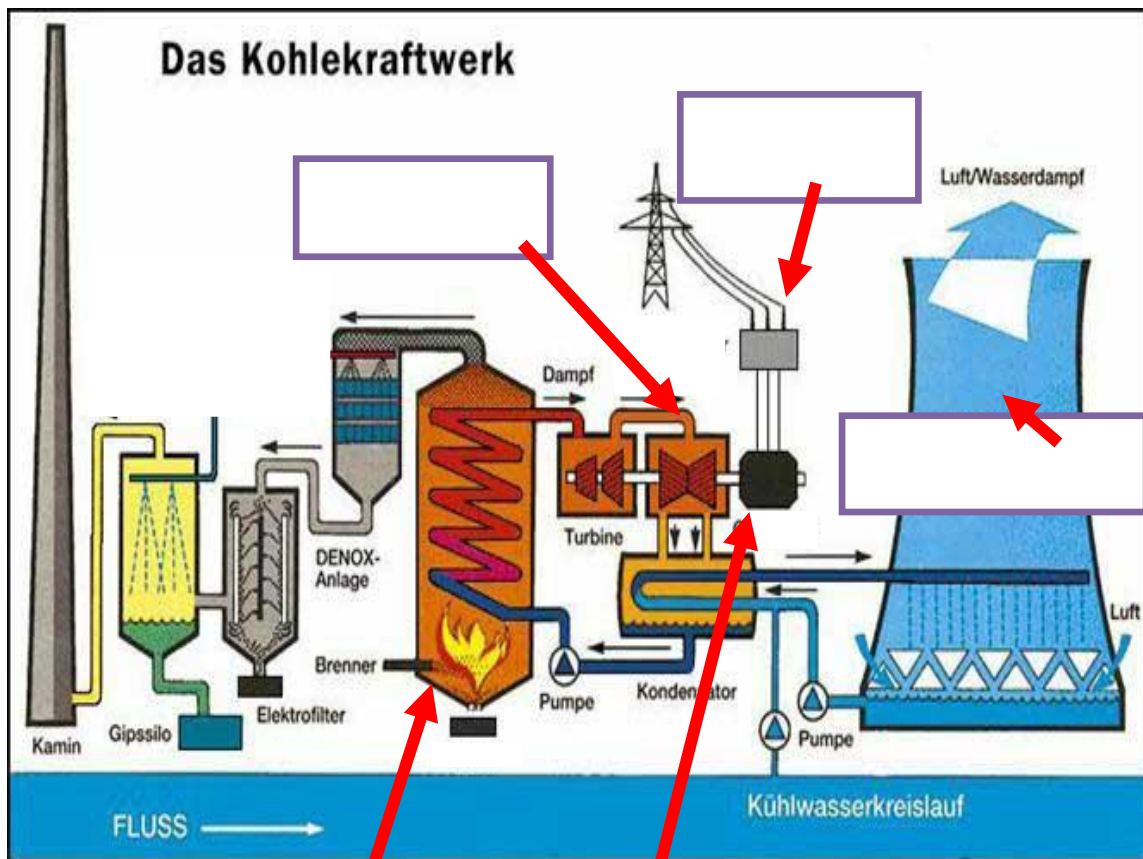


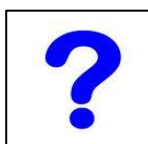
Welche Folgerung lässt sich aus diesem Satz ziehen?

Im weiteren Verlauf soll die grundsätzliche Funktionsweise eines Wärmekraftwerks beschrieben werden.



Vervollständige die Graphik, indem du die Platzhalter füllst. Falls du Hilfe benötigst, kannst du den Betreuer um eine Hilfekarte bitten.





Wie funktioniert ein Generator?

Grundlage jeglicher elektrischen Maschine, egal ob Generator oder Motor, ist die elektromagnetische Induktion.



Die in den meisten deutschen Kraftwerken verwendeten Generatoren sind fast ausschließlich **Drehstromgeneratoren**. Die Kraftwerksgeneratoren der öffentlichen Stromversorgung sind so gebaut, dass sie nicht nur einen einzigen, sondern drei Wechselströme zugleich erzeugen. Beim Drehstromgenerator rotiert ein **Elektromagnet** zwischen drei jeweils um 120° verschobenen Spulen.



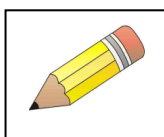
Versuch 2: Drehstromgenerator

Benötigtes Material:

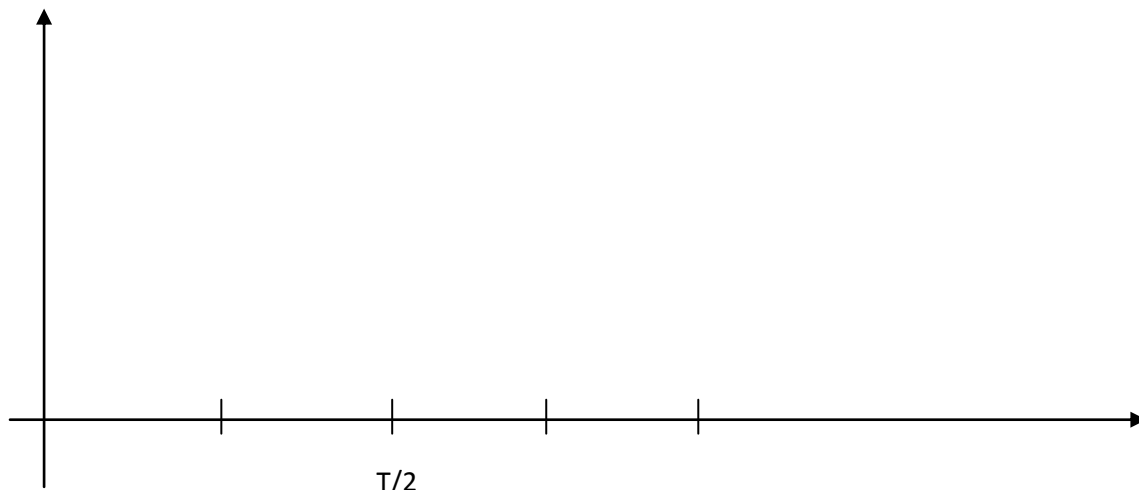
3 Spulen, Laptop, Powerlink, Spannungssensoren, Magnet mit Drehvorrichtung

Durchführung:

- Der Laptop ist bereits hochgefahren und das entsprechende Programm gestartet.
- Verbinde die 3 Spulen mit je einem Spannungssensor.
- Wenn du alle Vorbereitungen getroffen hast, kann die eigentliche Messung beginnen. Bringe den Magneten gleichmäßig zum drehen. Klicke im Programm „DataStudio“ auf „START“.
- Beobachte den Verlauf der Graphen auf dem Bildschirm.



Wie verlaufen die drei Graphen auf dem Bildschirm zueinander? Zeichne sie in das nachfolgende Diagramm mit jeweils einer anderen Farbe und beschrifte die Achsen. Kennzeichne die einzelnen Graphen mit L_1 , L_2 und L_3 .

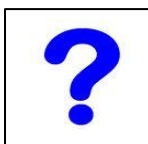


Was lässt sich über die Phasen der drei Wechselströme sagen?

Betrachte die zeitlichen Verläufe der drei Stränge bei 90° . Was fällt dir auf?



Von den sechs Anschlüssen der drei Spulen wird je ein Anschluss zu einem gemeinsamen Leiter zusammengefaßt. Somit gehen vom Drehstromgenerator vier Leitungen aus. Deshalb sind bei Freileitungen nicht nur drei, sondern stets vier Drähte zu sehen. Da die Summe der drei Ströme immer nahezu null ist, fließt bei gleicher Belastung der drei Stränge in dem gemeinsamen Rückleiter kein Strom. Dadurch können die Verluste beim Energietransport halbiert werden.



Warum verwendet man bei Überlandleitungen hohe Spannungen von 110 kV bis 380 kV, wenn die meisten Geräte im Haushalt, Büro oder Industrie nur Spannungen von 230 V bzw. 400 V benötigen?



Elektrische Energie wird in Kraftwerken erzeugt, deren Standort von ihrem Typ abhängt. Kohlekraftwerke z. B. werden in der Umgebung der Kohleabbaugebiete und wegen ihres großen Bedarfs an Kühlwasser in der Nähe von Flüssen gebaut. Die erzeugte elektrische Energie muss meist über große Entfernungen zu den Endverbrauchern transportiert werden.



Ist U die Übertragungsspannung und I die Stromstärke in der Fernleitung, so beträgt die übertragene **Leistung $P = U \cdot I$** .

Da natürlich jede Fernleitung einen **elektrischen Widerstand R** besitzt, tritt in der Leitung durch Erwärmung ein nicht vermeidbarer Leitungsverlust **$P_V = R \cdot I^2$** auf.



Versuch 4:

Durchführung:

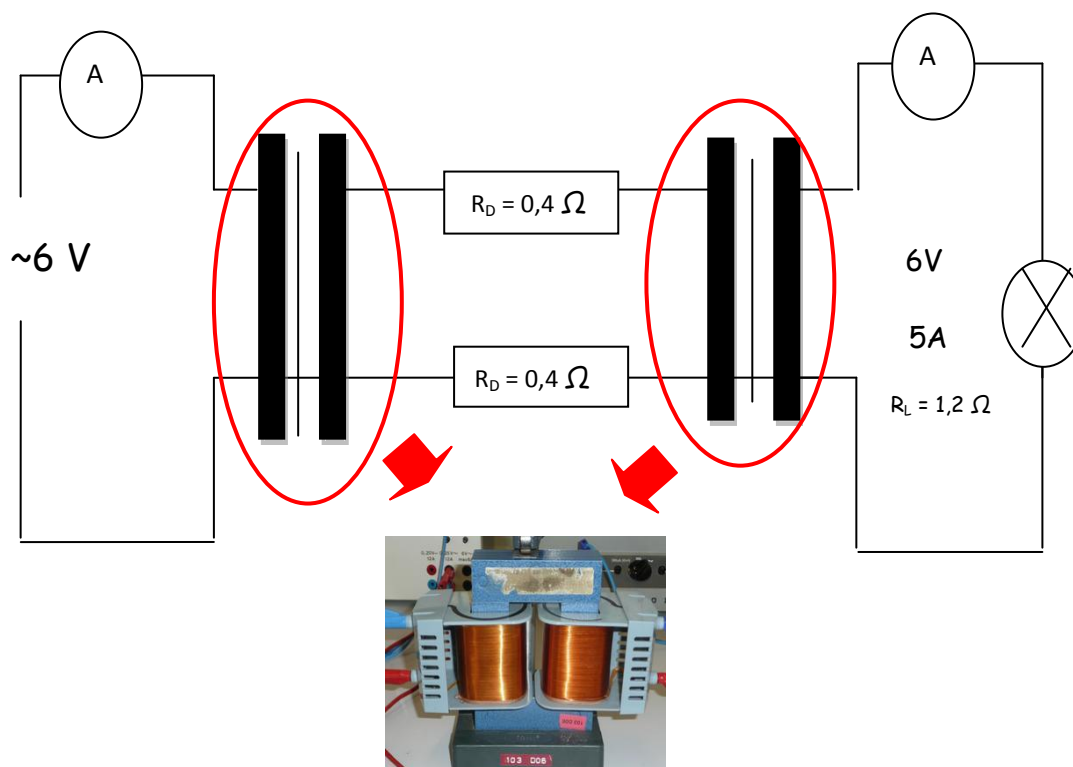
Ergänze den Aufbau des Versuchs 4. Die Anordnung des Versuchs ist im Schaltbild unten dargestellt.



Sobald die Spannungsquelle eingeschaltet ist, darf

kein Material mehr berührt werden!

Bevor du die Spannungsquelle anschaltest, lass den Betreuer den Aufbau kontrollieren.



Was kannst du nun feststellen?



Überlege, von welcher Größe wird die Verlustleistung am meisten beeinflusst? Warum?

Was kann man unternehmen, damit man diese Größe möglichst gering halten kann?

Ergebnis:

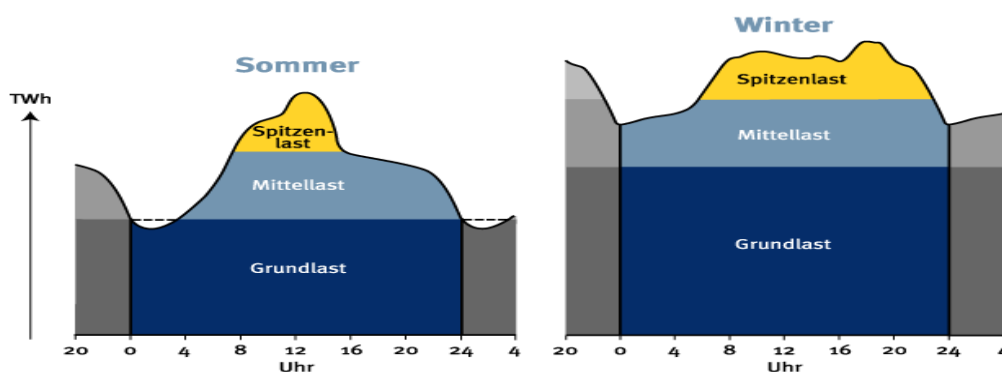
Nur durch hohe Übertragungsspannungen lassen sich die Energieverlust in einer Fernleitung auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß reduzieren.



Zusatzaufgabe:

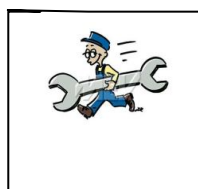
Wenn du noch Zeit hast, kannst du folgende Aufgabe bearbeiten.

Da sich elektrische Energie in größeren Mengen nicht speichern lässt, muss sie immer genau dann erzeugt werden, wenn sie benötigt wird. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Stromversorgung ist auch die Stabilität von **Frequenz f [Hz]** (~50 Hz) und **Stromspannung U [V]** (~230 V).



Grundlast, Mittellast und Spitzenlast – Der Leistungsbedarf Deutschlands an einem Sommer- und an einem Wintertag

	Sommer	Winter
Grundlast	/	Heizung, vermehrter Verkehr, Licht
Spitzenlast		Klimaanlagen



Diskutiert, welche Kraftwerkstypen die Grundlast und welche Kraftwerkstypen die Spitzenlast abdecken können.



Station

Wärmedämmung



In den Haushalten wird der größte Teil der Energie für die Raumheizung benötigt. Ein durchschnittliches Haus hat einen Wärmebedarf von 200 - 350 Kilowattstunden pro m^2 und Jahr.

Ein Niedrigenergiehaus erreicht einen Wärmebedarf von < 70 Kilowattstunden pro m^2 und Jahr.

Beim Passivhaus liegt der Heizwärmebedarf sogar maximal nur bei $15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$.



Was ist eigentlich ein Passivhaus?

Stelle dir vor, du hast dir eine Tasse Tee gekocht. Wenn du den Tee in der Tasse länger stehen lässt, kühlt er sich relativ schnell ab. Füllst du den Tee aber in eine Thermoskanne, bleibt er länger heiß.

Die Thermoskanne ist isoliert. Deshalb wird die Abgabe der Wärmeenergie vom Inneren der Kanne an die Umwelt verlangsamt. Hast du aber keine Thermoskanne, musst du dem Getränk immer wieder Wärmeenergie hinzufügen, damit es heiß bleibt.

Das Passivhaus nutzt das gleiche Prinzip wie die Thermoskanne. Es wird angestrebt, möglichst wenig Wärmeenergie an die Umwelt abzugeben, sodass fast keine Heizung mehr benötigt wird.



Damit man in einem Haus komfortabel wohnen kann, wird aber u. a. Energie zum Beheizen der Räume und für die Erwärmung von Wasser benötigt.

Teilt man diese Energie, die zur Heizung eines Gebäudes pro Jahr nötig ist, durch die **Nutzfläche A [m²]** des Gebäudes, erhält man den **Heizwärmebedarf P_H [kWh/(m²a)]**. Mit diesem Wert kann man die Häuser vergleichen.

Heizwärmebedarf _____ [_____] = $\frac{\text{_____}}{\text{_____} \cdot \text{Zeit t[a]}}$

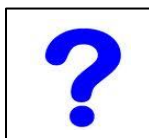


Warum bleibt aber nun die Wärme in einem Haus nicht erhalten?



Die Abgabe von Wärmeenergie an die Umwelt entsteht durch Energietransport. Dabei kühlt das Haus, oder wie oben die Tasse Tee, aus. Hierbei unterscheidet man zwischen Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung.

Im Folgenden werden die Wärmeleitung, die Wärmeströmung und die Wärmestrahlung näher thematisiert.



Was versteht man unter Wärmeleitung?



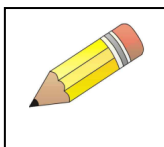
Versuch 1: Wärmeleitung

Benötigtes Material:

Metallring mit Halterung, Wackskügelchen, Gasbrenner, Stativ
Kupferstab, Messingstab, Eisenstab (alle 3 haben die gleichen
Abmessungen), Zange, Petrischale

Durchführung:

- a) Befestige die 3 Metallstäbe, an denen die Wackskügelchen kleben, am Metallring und diesen an dem Stativ in ca. 5 cm Höhe über dem Gasbrenner
- b) Erwärme mit Hilfe des Gasbrenners die Stäbe



Notiere deine Beobachtungen.

Vervollständige folgenden Text. Falls du Hilfe benötigst, kannst du den Betreuer um eine Hilfekarte bitten.

[Stofftransport, Temperaturunterschieds, Energietransport]

Als Wärmeleitung bezeichnet man den _____, der zwischen benachbarten Molekülen auftritt. Dieser Energietransport entsteht aufgrund eines _____. Mit einem _____ ist die Wärmeleitung nicht verbunden.



Vorsicht, die Metallstäbe sind heiß! Lass sie einfach für die nächste Gruppe auskühlen.



Was versteht man unter Wärmeströmung?

Versuch 2: Wärmeströmung mit Luft



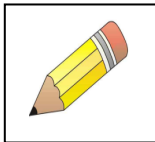
Benötigtes Material:

Glasröhrchen an einem Stativ,
Gasbrenner, Alufolie



Durchführung:

- Stelle den Gasbrenner unter das Glasröhrchen.
- Lege auf das Glasröhrchen ein Stück Alufolie. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Folie leicht absteht, so dass die Luft eine möglichst große Angriffsfläche hat. Jedoch sollte die Alufolie so auf dem Glasröhrchen liegen, dass sie nicht bei einem kleinen Luftzug herunter fällt.
- Mit Hilfe des Gasbrenners wird die Luft unterhalb des Rohres erwärmt.



Notiere deine Beobachtungen.

Vervollständige folgenden Text. Falls du Hilfe benötigst, kannst du den Betreuer um eine Hilfekarte bitten.

[Gasen, Wärmetransport, Konvektion, Flüssigkeiten, Teilchen, höherer]

Als Wärmeströmung bezeichnet man einen _____, der mit einem Transport von _____ verbunden ist. Konvektion tritt in _____ oder _____ auf. Bei der Konvektion wandert die Energie von einem Ort _____ Temperatur *mit* der erwärmten Materie zu einem Ort niedrigerer Temperatur. Ein anderer Begriff für Wärmeströmung lautet _____.

Diskutiert, wie diese Beobachtung physikalisch zu erklären ist.



Was versteht man unter Wärmestrahlung?

Ein Merkmal eines Passivhauses ist die passive Nutzung von Sonneneinstrahlung. Im folgenden Versuch soll untersucht werden, wie viel Energie, die durch Sonneneinstrahlung in das Gebäude gelangt, genutzt werden kann.



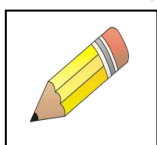
Versuch 3: Wärmestrahlung

Benötigtes Material:

Häuschen, 2 Thermometer, Baustrahler mit Stativ, Stoppuhr (du kannst auch die Stoppuhr deines Handy's benutzen)

Durchführung:

- a) Starte den Laptop.
- b) Sieh dir das Modellhäuschen an.
 - i. Die Trennwand zeigt, dass es sich hier um ein Modell für ein Doppelhaus handelt.
 - ii. Den Deckel des Modellhäuschens bildet eine klare Glasscheibe. Diese Glasplatte soll darstellen, dass jede Doppelhaushälfte ein großes Fenster hat, durch das die Sonne in das Haus scheint.
 - iii. Die linke Doppelhaushälfte ist nicht isoliert.
- c) Auf dem Desktop findest du eine Datei mit dem Namen „WAD2010“. Starte diese Datei.
- d) Schalte die beiden Thermometer ein und stecke sie in die dafür vorgesehenen Öffnungen. Stecke die beiden Thermometer so in die Öffnungen, dass du sie beide gut lesen kannst.
- e) Messe die Anfangstemperaturen.
- f) Die Glasplatte soll auf dem Abdichtgummi aufliegen.
- g) Stecke den Stecker der Lampe in die Steckdose, aber lass die Lampe noch ausgeschalten.
- h) Richte das Modellhäuschen und die Lampe so aus, dass die Lampe mittig auf die Glasscheibe zeigt. Die Beleuchtung der Lampe soll in diesem Versuch die Sonneneinstrahlung darstellen.
- i) Schalte den Baustrahler ein und drücke gleichzeitig auf die Stoppuhr.
- j) Lese 7 Minuten lang jede Minute beide Temperaturen θ_1 und θ_2 in den Innenräumen des Modellhäuschens ab und trage sie in die Tabelle auf dem Laptop.



Zu welchem Ergebnis kommst du?

Die Sonne ist aber nicht die einzige Wärmequelle, die zusätzlich Wärmeenergie liefert. Viele Wärmequellen befinden sich schon in einem Gebäude. Welche Wärmequellen fallen dir hier spontan ein?



Jeder Körper ist aus kleinen Teilchen, den Atomen bzw. Molekülen aufgebaut. Diese Teilchen bewegen sich. Je schneller sich die Teilchen bewegen, umso größer ist die innere Energie des Stoffes und umso größer ist seine Temperatur.

Ein Maß für die Geschwindigkeit der Teilchen ist also die Temperatur θ [$^{\circ}\text{C}$].

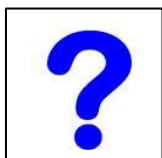
Die Wärmeenergie (oder auch nur Wärme) die zwischen verschiedene Körpern ausgetauscht wird, bezeichnet man mit ΔQ [_____]

Wärmeenergie wird immer von einem Körper mit höherer Temperatur an einen Körper niedrigerer Temperatur abgegeben. Nie umgekehrt!

Vervollständige folgenden Text. Falls du Hilfe benötigst, kannst du den Betreuer um eine Hilfekarte bitten.

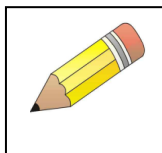
[Körper, Wärmestrahlung, Vakuum, Temperatur]

Jeder Körper sendet _____ aus. Ein anderer Begriff hierfür ist thermische Strahlung. Diese Strahlung breitet sich, so wie Licht, auch im _____ aus. Je höher die _____ eines Körpers ist, umso mehr Wärmestrahlung sendet der _____ aus.



Welche Maßnahmen gibt es nun zum Energie sparen?

Durch die Wände von Gebäuden entweicht durch Wärmeleitung Wärmeenergie. Dabei entsteht ein Wärmestrom I .



Überlege, wovon hängt dieser Wärmestrom ab?



Die Abhängigkeit vom Material wird durch die Wärmeleitfähigkeit λ bestimmt. Sie wird in der Einheit Watt angegeben.
Meter · Kelvin

*Je größer die Wärmeleitfähigkeit ist, desto größer ist der Wärmestrom.
Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit ist, desto kleiner ist der Wärmestrom.*

Im folgenden Versuch wird untersucht, welche Stoffe sich zum Isolieren eines Gebäudes eignen und Brennstoff so eingespart werden kann.



Versuch 4: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien

Benötigtes Material:

2 Glasgefäße unterschiedlicher Größe, die ineinander gestellt werden. Der Zwischenraum ist einmal mit Beton und einmal mit Glaswolle gefüllt,
2 Thermometer, Stoppuhr, 2 Gummistopfen, Wasserkocher, Becherglas



Durchführung:

Bitte lies die folgenden Anweisungen zuerst ganz durch, bevor du mit dem Experimentieren beginnst.

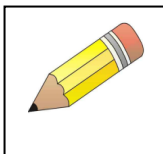
Für den Versuch wird heißes Wasser in die Bechergläser gefüllt und die Temperaturänderung des Wassers über 5 Minuten gemessen.

- a) Messe die Umgebungstemperatur und trage diese unten in die Tabelle ein.
- b) Wasser wird im Wasserkocher zum Kochen gebracht.
- c) Kocht das Wasser, drückst du die Stoppuhr (Der Schalter des Wasserkochers springt dann auf aus). Noch im Wasserkocher wird die Temperatur des Wassers gemessen und der Wert unten in die Tabelle bei Zeit = 0 min eingetragen.
- d) In einem kleinen Becherglas wird für jedes Glasgefäß 60 ml Wasser abgemessen und sofort in die gefüllten Gläser gegeben.



**Vorsicht
heiß!!!**

- e) Sofort nach dem Einfüllen des Wassers werden die Gummistopfen mit dem Thermometer auf die Bechergläser gesteckt.
- f) Bis zu diesem Zeitpunkt sollten nicht mehr als 1 Minute vergangen sein.
- g) Lese jede Minute die Temperatur ab und trage die Werte unten in die Tabelle.



Auswertung:

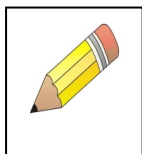
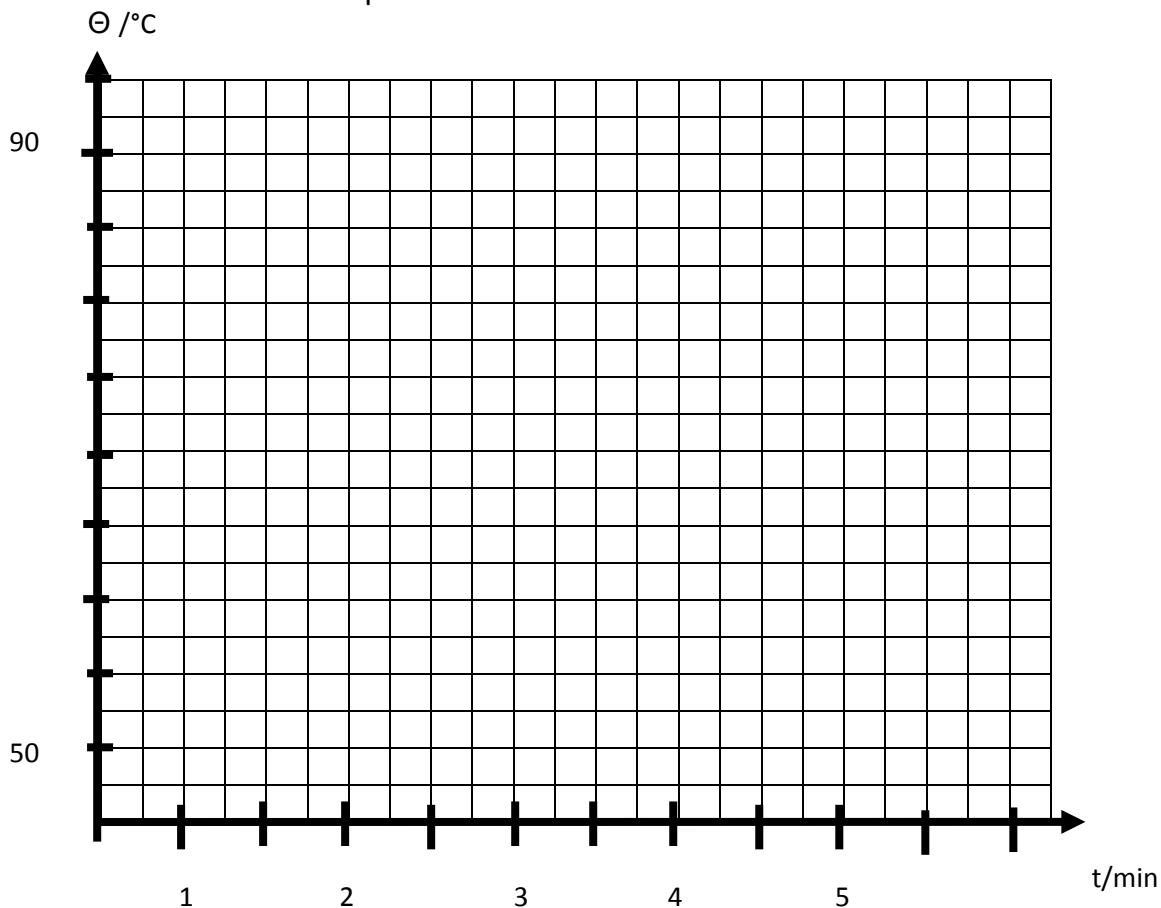
Umgebungstemperatur:

 °C

Temperaturen im Becherglas:

Zeit in [min]	Becher 2 mit Glaswolle	Becher 1 mit Beton
0		
1		
2		
3		
4		
5		

Skizziere kurz den Temperaturverlauf des Wassers.



Was kannst du feststellen? Welche der beiden Materialien besitzt eine größere Wärmeleitfähigkeit?



Überlege, welche Eigenschaften muss ein Stoff haben, damit er als Dämmstoff geeignet ist, also schlecht Wärme leitet?

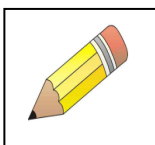
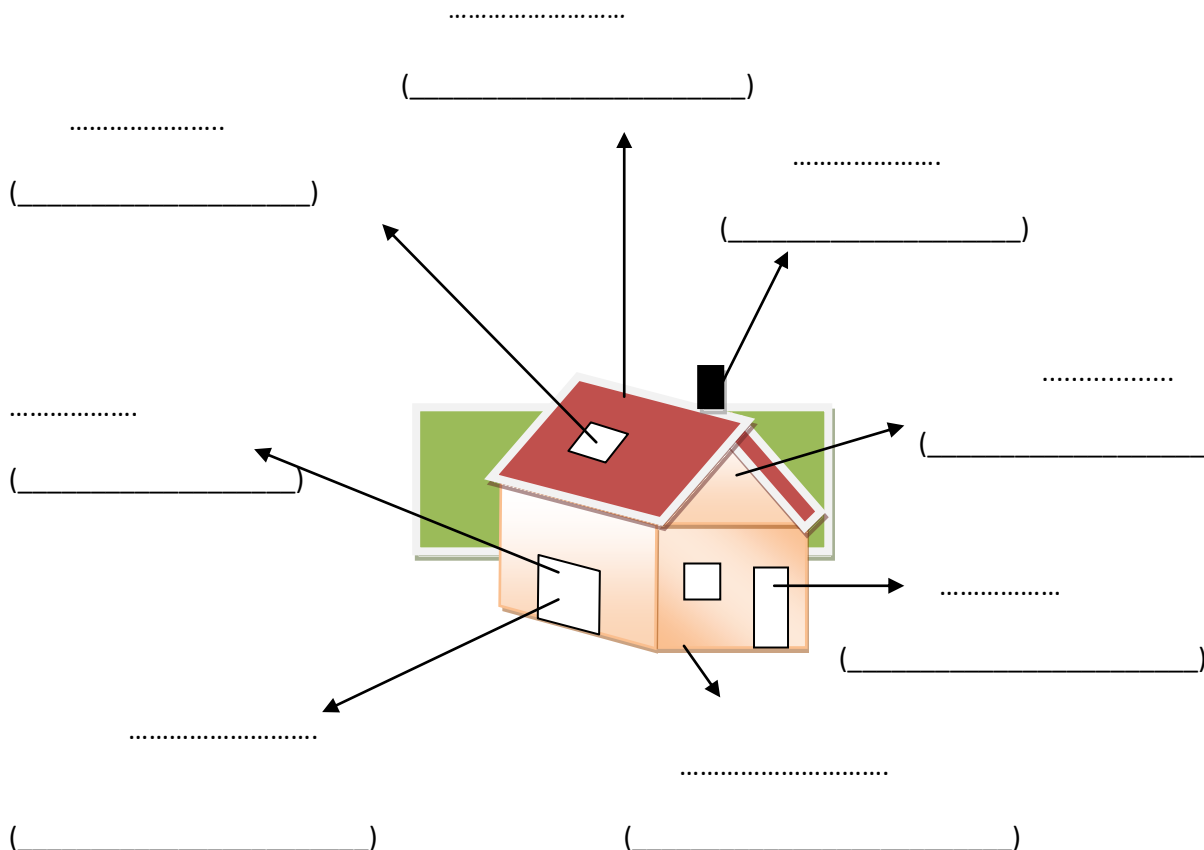
Vielleicht hilft dir die nachfolgende Tabelle, die Frage zu beantworten.

Stoff	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)
Glaswolle	0,32 - 0,5
Glas	0,76
Ziegelmauerwerk	0,5 - 1,4
Holz	0,09 - 0,19
Sand, trocken	0,58
Luft (21% Sauerstoff, 78 % Stickstoff)	0,0263
Wasser (0 °C)	0,5562

Zusatzaufgabe:



Überlege, in welchen Bereichen die Wärme aus dem Haus entweichen kann. Trage diese Begriffe auf die punktierten Linien. Welche Art von Wärmeübertragung liegt dabei jeweils vor? Trage diese Begriffe in die Klammern ein.



Überlege, warum stellt sich in einem geschlossenen Wintergarten bei Sonnenschein und Windstille eine höhere Temperatur ein, als im Freien?

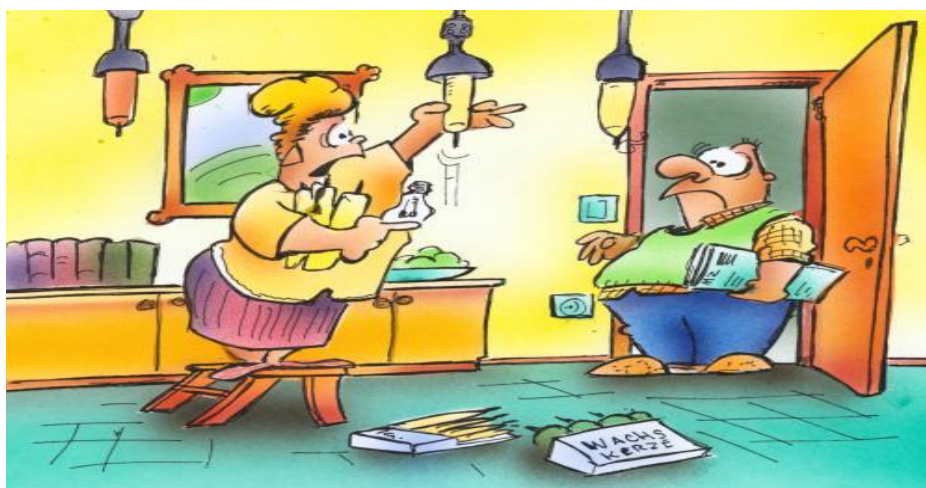
Nutze dabei die Kenntnisse, die du aus Versuch 1 -3 erworben hast.

Diskutiert über diesen Sachverhalt.

Falls Probleme auftauchen, kannst du den Betreuer fragen.

Station

Energie im Haushalt



Im Vergleich zu Haushalt, Handel und Gewerbe, Verkehr und Landwirtschaft ist die Industrie mit 256,0 Milliarden Kilowattstunden im Jahr der größte Stromverbraucher in Deutschland.

Ein Viertel des gesamten Stromverbrauchs entfällt auf die rund 39 Millionen Haushalte. 2009 bezogen sie 139,5 Milliarden Kilowattstunden Strom.

In Deutschland betrug im Jahr 2009 der Netto-Stromverbrauch 542,2 Milliarden Kilowattstunden insgesamt.

Die Versorgung mit ausreichend Energie ist eine entscheidende Voraussetzung für den vergleichsweise hohen Lebensstandard, in welchem wir momentan leben. Da jede Energieumsetzung aber mit einer Beeinflussung der Umwelt verbunden ist, müssen wir sorgfältig und sparsam mit der Energie umgehen.



Wie kann man aber nun im Haushalt Energie sparen?

Bei elektrischen Geräten wird immer die Leistung angegeben. Dadurch kannst du schon beim Kauf eines Geräts einschätzen, ob es beim Benutzen viel oder wenig Energie benötigt.



Versuch 1: Leistungsmessung

Benötigtes Material:

Fön, Schreibtischlampe, Leistungsmessgerät

Durchführung:

Mache dich mit dem Leistungsmessgerät vertraut. Hierzu findest du auf dem Arbeitsplatz Hilfekarten.

Arbeitsauftrag:

Finde mithilfe des Leistungsmessgerätes heraus, ob die auf dem Fön und der Schreibtischlampe angegebene Leistung stimmt!

Aber: Einen Fön kann man beim Benutzen ganz unterschiedlich einstellen!



Wird mehr Energie benötigt, wenn man eine halbe Stunde lang den Fön oder die Schreibtischlampe auszuschalten vergisst?

Begründe:

Aber auch beim Kochen in der Küche gibt es Möglichkeiten Energie zu sparen. Bei den nächsten Experimenten wirst du untersuchen, welche Methode des Wasserkochens am wenigsten Energie benötigt.

In den Versuchen 2 - 4 wird jeweils die gleiche Menge Wasser (1/2 Liter) in den verschiedenen Heizgeräten genau gleich lange erhitzt und die vom Heizgerät in dieser Zeit benötigte Energie mit dem Leistungsmessgerät Energy Check 3000 bestimmt.



Wie viel der benötigten Energie der verschiedene Geräte wird tatsächlich zur Erwärmung von Wasser verwendet? Wie hoch sind die jeweiligen Verluste? Welches Gerät zur Erwärmung von Wasser ist das günstigste?

Bevor du nun mit den Versuchen beginnst, starte den Laptop und führe deine Versuche mit Hilfe der vorbereiteten Datei „EIH2010“ aus. Diese Datei findest du auf dem Desktop.

Nach der Versuchsvorbereitung wird die Anfangstemperatur und die Endtemperatur des Wassers gemessen. Aus der Temperaturerhöhung, der Wassermenge und der spezifischen Wärme des Wassers wird die vom Wasser aufgenommene Energie berechnet.

Im Weiteren wird die Energieaufnahme der Geräte und schließlich der Wirkungsgrad der Geräte berechnet.



Arbeitsauftrag:

Lies dir im Vorfeld jeweils den Versuch durch, bevor du zu experimentieren beginnst.



Versuch 2: Erwärmen von Wasser

mit einer Heizplatte Teil 1

Benötigtes Material

Messgerät Energy Check 3000, Heizplatte, Messzylinder 500 ml, digitales Thermometer, Stoppuhr, Kochlöffel, Topf mit Deckel (Ø 16 cm, Größe an die Heizplatte angepasst), Topfuntersetzer



Vorbereitung

- a) Mit Hilfe des Messzylinders werden 500 g Wasser abgemessen
- b) Das Wasser wird in den Topf gegeben und seine Anfangstemperatur gemessen.
- c) Stecke das Leistungsmessgerät in die Steckdose.
- d) Der Drehknopf an der Heizplatte wird auf 0 gestellt und der Stecker des Verbrauchers wird in das Leistungsmessgerät gesteckt.
- e) Der Topf mit dem Wasser befindet sich noch neben der Heizplatte

Durchführung

- f) Die Heizplatte wird genau 1 Minute vorgeheizt. Drehe den Schalter der Heizplatte auf 6 (oder 5) und drücke gleichzeitig die Stoppuhr.
- g) Die angezeigten Werte auf dem Leistungsmessgerät werden hier noch nicht benötigt.
- h) Nach Ablauf der Minute drehst du die Heizplatte wieder auf 0 zurück.
- i) Stelle den Topf mit dem Wasser mit aufgesetztem Deckel recht zügig auf die Heizplatte.
- j) Schalte den Drehknopf der Heizplatte erneut auf 6 (oder 5) und messe genau eine Minute (Stoppuhr). Während dieser Zeit beobachtest du die Leistungsanzeige und bildest den Mittelwert, da diese Anzeige schwankt.
- k) Nach Ablauf der Minute nimmst du den Topf mit dem heißen Wasser sofort von der Heizplatte und stelle ihn auf den Topfuntersetzer. Rühre mit den Kochlöffel gut um und messe die Endtemperatur. (Die Arbeitsgänge sollten sehr schnell hintereinander ausgeführt werden, da sich das Wasser sonst zu sehr abkühlt und die Messwerte verfälscht werden.)
- l) Gieße das heiße Wasser aus.



Vorsicht, das Wasser und der Topf sind heiß!

Nun kannst du sofort im Anschluss zum Versuch 3 übergehen. Die Übertragung der Daten auf dein Arbeitsblatt und die Auswertung erfolgt später.



Versuch 3: Erwärmen von Wasser mit einer Heizplatte Teil 2



Benötigtes Material

Messgerät Energy Check 3000, Heizplatte, Messzylinder 500 ml, digitales Thermometer, Stoppuhr, Topf mit Deckel (Ø 12 cm, Größe an die Heizplatte nicht angepasst), Topfuntersetzer

Vorbereitung

- Mit Hilfe des Messzylinders werden 500 g Wasser abgemessen
- Das Wasser wird in den Topf gegeben und seine Anfangstemperatur gemessen.
- Stecke das Leistungsmessgerät in die Steckdose.
- Der Drehknopf an der Heizplatte wird auf 0 gestellt und der Stecker des Verbrauchers wird in das Leistungsmessgerät gesteckt.
- Der Topf mit dem Wasser befindet sich noch neben der Heizplatte.

Durchführung

- Die Heizplatte brauchst du hier nicht mehr erwärmen.
- Stelle den Topf mit dem Wasser mit aufgesetztem Deckel recht zügig auf die Heizplatte.
- Schalte den Drehknopf der Heizplatte auf 6 (oder 5) und messe genau eine Minute (Stoppuhr). Während dieser Zeit beobachtest du die Leistungsanzeige und bildest den Mittelwert, da diese Anzeige schwankt.
- Nach Ablauf der Minute nimmst du den Topf mit dem heißen Wasser sofort von der Heizplatte und stelle ihn auf den Topfuntersetzer. Rühre mit den Kochlöffel gut um und messe die Endtemperatur. (Auch hier ist zügiges Arbeiten nötig.)
- Gieße das heiße Wasser aus.



Vorsicht, das Wasser und der Topf sind heiß!

Nun kannst du sofort im Anschluss zum Versuch 4 übergehen. Die Übertragung der Daten auf dein Arbeitsblatt und die Auswertung erfolgt später.



Versuch 4: Erwärmen von Wasser mit einem Wasserkocher

Benötigtes Material

Messgerät Energy Check 3000, Wasserkocher, Messzylinder 500 ml, digitales Thermometer, Stoppuhr, Kochlöffel

Vorbereitung

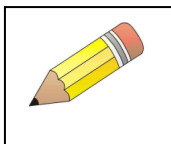
- Mit Hilfe des Messzylinders werden 500 g Wasser abgemessen
- Das Wasser wird in den Wasserkocher gegeben und seine Anfangstemperatur gemessen.
- Der Knopf an dem Wasserkocher wird auf 0 gestellt und der Stecker wird in das Leistungsmessgerät gesteckt.

Durchführung

- Schalte den Knopf des Wasserkochers auf 1 und messe genau eine Minute (Stoppuhr). Während dieser Zeit beobachtest du die Anzeige Wirkleistung und bildest den Mittelwert, da diese Anzeige schwankt.
- Ist die Minute abgelaufen, schaltest du den Wasserkocher wieder aus, rührst mit dem Kochlöffel gut um und misst die Endtemperatur mit dem Digitalthermometer.
- Gieße das warme Wasser wieder aus.



Vorsicht, das Wasser ist heiß!



Auswertung der Versuche 2 - 4

Übertrage die Werte, die du in der Datei „EIH2010“ bearbeitet hast, auf dein Arbeitsblatt und beantworte die gestellten Fragen.



Beim Erwärmen von Wasser mit einer Heizplatte oder mit einem Wasserkocher wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt.

1) Berechnung der Wärmeenergie, die vom Wasser aufgenommen wurde:

Die Energieaufnahme des Wassers errechnet sich durch:

	Heizplatte Teil 1	Heizplatte Teil 2	Wasserkocher
Anfangstemperatur in °C			
Endtemperatur in °C			
Temperaturerhöhung In °C			
Masse Wasser (0,5 Liter) in kg			
spezifische Wärme in Wh / kg x Grad			
Energieaufnahme des Wassers in Wh			



Wie kann man sich eine „Wattstunde“ [Wh] vorstellen?

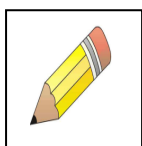
Mit einer Energie von 1 Wattstunde kann man 1 Liter Wasser um 0,864 °C erwärmen oder einen Gegenstand von 10 kg um 36 Meter heben.

2) Berechnung der vom Gerät aufgenommenen elektrischen Energie

Energie = _____ x _____



Die Leistung einer Maschine oder eines Geräts ist eine wichtige Kenngröße. Die Leistung (Symbol P) wird immer in einer der folgenden Einheiten angegeben.



In der folgenden Tabelle kannst du typische Leistungswerte erkennen. Vervollständige die gesuchten gelben Felder. Falls Probleme auftauchen, liegt wieder eine Hilfekarte auf dem Arbeitsplatz bereit.

	Watt W	Kilowatt KW	Megawatt MW	Gigawatt GW
Mensch bei der Arbeit	65-85			
Elektrische Glühbirne	100			
Fön	1200			
Wasserkocher				
Heizung Einfamilienhaus		15		
Mittelklasseauto		100		
ICE		8000		
Kohlkraftwerk			800	
Blitz				1000

	Heizplatte Teil 1	Heizplatte Teil 2	Wasserkocher
Leistung des Gerätes in Watt			
Zeitdauer des Versuches in h			
Energieaufnahme des Gerätes in Wh			

3) Berechnung des Wirkungsgrades

Der Wirkungsgrad errechnet sich aus:

$$\eta = \underline{\hspace{10cm}}$$

Was sagt der Wirkungsgrad aus? Welche Einheit besitzt der Wirkungsgrad?

Vervollständige folgende Sätze:

Verluste, Energieform, Wirkungsgrad, Gerät, 100 %

Je höher der _____ ist, desto besser wandelt das _____ die Energie, die sie aufgenommen hat, in die gewünschte _____ um.

_____, die beim Betrieb des Gerätes auftreten, können aus der Differenz zu _____ errechnet werden.

	Heizplatte Teil 1	Heizplatte Teil 2	Wasserkocher
Energieaufnahme des Wassers in Wh			
Energieaufnahme des Gerätes in Wh			
Wirkungsgrad in ____			
Verlust in %			

Welche Methode ist hier nun die beste Variante, um Wasser zu erwärmen?
Begründe deine Antwort.

In den Versuchen 2 - 4 haben alle Geräte eine bestimmte Energie aufgenommen, aber nur einen Teil davon als Wärme an das Wasser abgegeben.

Energie kann aber nicht verschwinden oder vernichtet werden.

Wie kommen die unterschiedlichen Wirkungsgrade bzw. die verschiedenen Verluste beim Wasserkocher und bei der Heizplatte zustande und wo geht die verbliebene Energie hin?

Wasser kann man aber auch z. B. mit einer Mikrowelle erwärmen. Diese hat einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 50 %. Wo verbleibt hier die restliche Energie?

Wenn du Versuche Heizplatte Teil 1 und Heizplatte Teil 2 miteinander vergleichst, welche Schlüsse lassen sich daraus ziehen?

Lässt sich ein höherer Wirkungsgrad mit oder ohne Deckel auf den Töpfen jeweils erreichen? Begründe.

Nenne Möglichkeiten für jeden Einzelnen, den Energieverbrauch im täglichen Leben einzuschränken.

Zusatzaufgabe:

Falls du noch Zeit hast, kannst du folgenden Versuch durchführen.



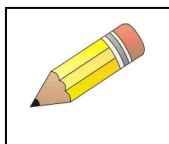
Versuch 5: Energiesparlampen

Benötigtes Material

- Sicherheitssteckdose + Verbindungskabel
- Glühlampe 15 Watt + Verpackung
- Energiesparlampe 14 Watt + Verpackung
- Halterungen für Lampen

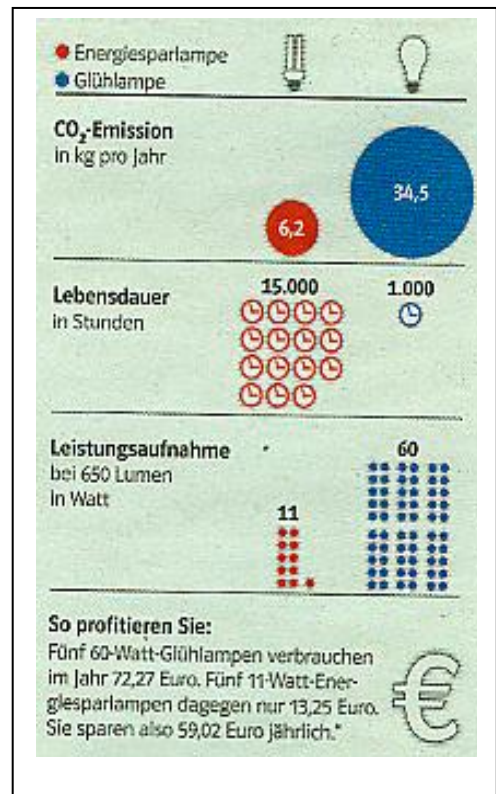
Durchführung

- a) Baue den Versuch auf, sodass die beiden Lampen leuchten. Benutze hierfür die Sicherheitssteckdose.
- b) Nimm die Verpackungen der beiden Lämpchen und vergleiche die Aufschriften.



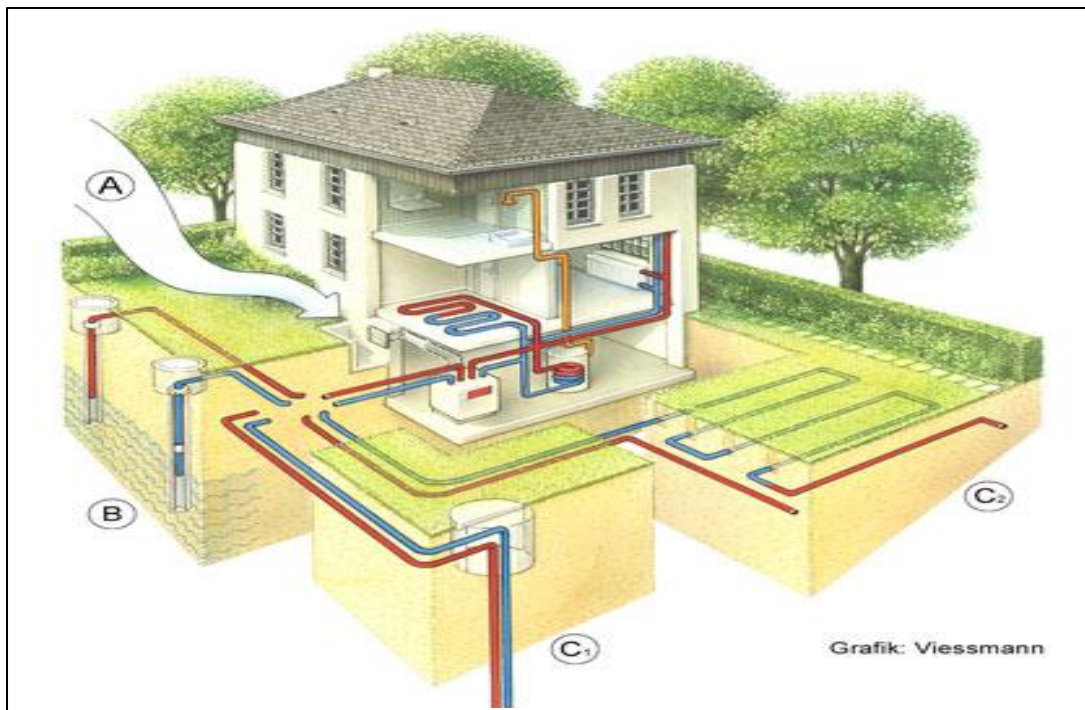
Notiere deine Beobachtungen.

Welche Vorteile besitzt die Energiesparlampe?
(Benutze hierzu die Graphik rechts)



Station

Wärmepumpe



- A) Wärmequelle Luft
- B) Wärmequelle Grundwasser
- C₁) Wärmequelle Erdreich (Sonde)
- C₂) Wärmequelle Erdreich (Erdwärmetauscher)

Wärmepumpenanlagen sind Wärmekraftmaschinen, mit deren Hilfe sich Energie in Form von Wärme aus der Umwelt (Luft, Wasser, Erdreich) entziehen lässt. Sie werden zur Raumbeheizung, zur Warmwasserbereitung und in der Verfahrenstechnik eingesetzt.



Wie funktioniert nun eigentlich eine Wärmepumpe?

In fast jedem deutschen Haushalt befindet sich ein Gerät,
das auf der Grundlage der Wärmepumpe arbeitet:

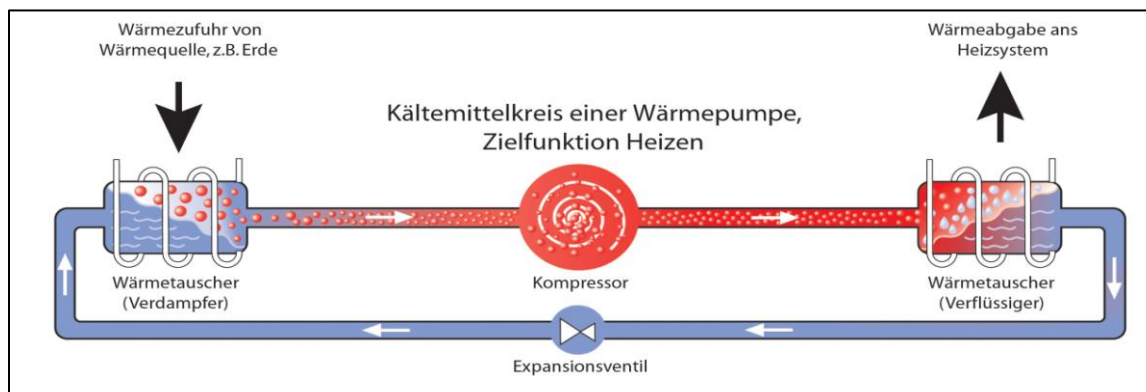
der _____.

Weniger bekannt ist bei uns die Wärmepumpe als Heizungsanlage von Gebäuden. Sie entzieht dem Erdreich oder der Umgebungsluft die erforderliche Wärmeenergie und speichert sie in einem isolierten Wasserspeicher. Das Warmwasser kann zur Beheizung des Hauses, zur Speisung der Dusche oder Waschmaschine usw. verwendet werden.



In der Wärmepumpe wird ein Trägermittel (Frigen, Freon oder Ammoniak) in einem Kreisprozess geführt, der aus den vier Schritten **Verdampfen**, **Verdichten**, **Kondensieren** und **Entspannen** besteht. Alle vier Stufen sind über ein abgeschlossenes Rohrleitungssystem miteinander verbunden. Zum Schluss des Kreisprozesses gelangt das Gas wieder in den Verdampfer.

Hochdruck



Niedrigdruck



Eine Wärmepumpe ist eine Maschine, die Wärme von einem Gebiet niedriger Temperatur in ein Gebiet höherer Temperatur bringt.

Wärme fließt aber immer von einem Ort höherer Temperatur zu einem Ort niedriger Temperatur. Warmes Wasser hat einen höheren Energiegehalt als kaltes Wasser. Energie wird durch Wärmeleitung übertragen, bis beide Wassertemperaturen gleich sind.

Bevor du nun mit dem ersten Versuch beginnst, blättere kurz zu Versuch 2 und führe die Vorarbeiten aus.



Wie bringt die Wärmepumpe aber nun Wärme von einem Gebiet niedriger Temperatur in ein Gebiet höherer Temperatur?



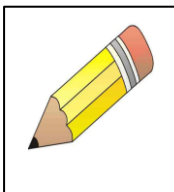
Versuch 1:

Benötigtes Material:

Luftpumpe

Durchführung:

Drücke die Luftpumpe zusammen und halte dabei das Auslassventil mit deiner Hand fest zu.



Notiere deine Beobachtungen

Wörter zum Einsetzen:

[Druckerhöhung, Kältemittels, Drucks, Wärmeabgabe, höherer Temperatur, größer, niedrigere]

Je _____ die Druckerhöhung ist, desto größer ist die Temperaturerhöhung. Um den Druck zu erhöhen, muss Arbeit verrichtet werden.

Die Arbeit muss umso größer sein, je größer die _____ sein soll.

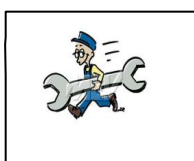
Bei der Wärmepumpe kann nun durch Veränderung des _____, Wärme von einem Gebiet niedrigerer Temperatur in ein Gebiet _____

gebracht werden. Um Wärme aufzunehmen, befindet sich das Kältemittel unter niedrigerem Druck und hat eine _____ Temperatur, als die Umgebung.

Bei der _____ ist der Druck des _____ hoch und die Temperatur höher als die Temperatur des Heizsystems. (vergleiche hierzu Versuch 4)



Was geschieht nun genau im Verdampfer einer Wärmepumpe?



Arbeitsauftrag 1:

Gib einige Tropfen Spiritus auf den Handrücken und blase leicht darüber. Was stellst du fest?

Diskutiert, wie sich diese Beobachtung physikalisch erklären lässt.



Bitte vorsichtig mit dem Spiritus umgehen!!!



Versuch 2:

Verdampfungswärme von Wasser

Benötigtes Material:

1 Becherglas
 Tauchsieder (300 Watt)
 Temperatursensor, Powerlink,
 Laptop
 Magnetrührgerät
 Stativmaterial,
 Topflappen

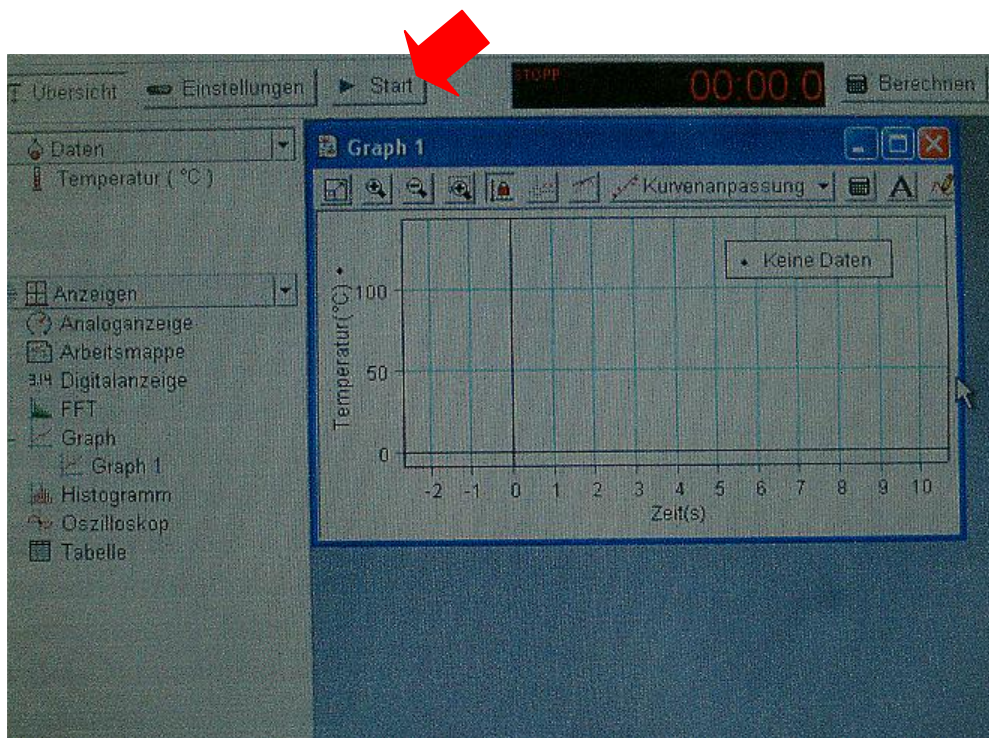


Bild 1

Durchführung:

- a) Starte den Laptop.
- b) Wiege das Becherglas leer (m_2), fülle ca. 400 ml Wasser in das Becherglas und wiege dieses mit dem Glas (m_1). Trage die Daten auf den nächsten Seiten in die Auswertung ein.
- c) Der Temperatursensor wird über ein Kabel an den Powerlink angeschlossen.
- d) In der Zwischenzeit sollte der PC soweit hochgefahren sein, dass er nach dem Benutzer fragt.
 Klicke auf „experimentieren“ und warte, bis Windows vollständig geladen ist.
 Von der Rückseite des Powerlinks geht ein USB-Kabel zum PC. Wenn du den Sensor ansteckst, wird er automatisch erkannt und du musst nur auf „Data-Studio-Starten“ klicken, um das Programm automatisch zu starten.

Dein Bildschirm sollte dann etwa so aussehen:



- e) Baue den Versuchsaufbau aus Bild 1 nach, stelle den Tauchsieder bekannter Leistung in das Becherglas und tauche das Thermometer etwa auf halbe Wasserhöhe an der Seite ein und schalte das Magnetrührgerät ein.
- f) Wenn du alle Vorbereitungen getroffen hast, kann die eigentliche Messung beginnen. Schalte den Tauchsieder ein und starte die Stoppuhr. Klicke im Programm „DataStudio“ auf „START“. Du siehst, wie eine Messkurve aufgezeichnet wird.
- g) Den Siedebeginn des Wassers kannst du aus der Messkurve ablesen.

Es folgt die Auswertung.

Auswertung:Masse m_1 (Becherglas + Wasser_{kalt}): _____- Masse m_2 (Becherglas): _____Masse m_3 (Wasser_{kalt}) _____Masse m_4 (Becherglas + Wasser_{warm}): _____- Masse m_2 (Becherglas): _____Masse m_5 (Wasser_{warm}) _____

Tauchsieder: _____ Watt

Siedebeginn des Wassers t_{SB} _____ s $\Delta t = t_{EM} - t_{SB}$ _____ smit t_{EM} = Ende der Messung

h) Nun kannst du zum Versuch 1 zurückblättern und die Messung selbständig laufen lassen. Werfe trotzdem immer wieder einen Blick auf die Messung. Wenn das Wasser bereits ca. 5 Minuten siedet, schalte den Tauchsieder aus und drücke im Programm „DataStudio“ auf „Stopp“ und wiege das Becherglas mit Wasser (m_4) erneut.



Vorsicht, das Becherglas mit Wasser ist heiß!

i) Wenn du wieder hier angelangt bist, beschreibe, was du der Messkurve entnehmen kannst.

j) Berechne, wie viel Wasser verdampft ist.

k) Die vom Wasser in der Zeit Δt aufgenommene Wärmemenge ΔQ ergibt sich aus der Leistung P des Tauchsieders:

$$\Delta Q = P \cdot \Delta t$$

Beim Verdampfen von _____ g Wasser bei der

Siedetemperatur von 100 °C wird die Energie

_____ benötigt.



Mit der Energie, die benötigt wird, um 1 g Wasser zu verdampfen, kann man 10 g Wasser um ca. 50 °C erwärmen.

Bevor du nun hier weiter liest, blättere kurz zu Versuch 3 und führe die Vorarbeiten durch.

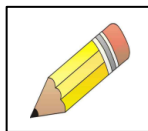


Arbeitsauftrag 2:

Fasse die beiden bisherigen Hauptkenntnisse zusammen.



Was bedeutet das für die Wärmepumpe?



Wörter zum Einsetzen:

[Verdampfer, Temperatur, Arbeitsstoff, Wärme, konstant]

Diese beiden Eigenschaften werden beim Betrieb der Wärmepumpe ausgenutzt:

Der in den _____ einströmende Arbeitsstoff ist flüssig, der Umgebung wird _____ entzogen und der _____ verdampft, während seine _____ etwa _____ bleibt.



Was geschieht im Kompressor?

Im Versuch 1 hast du eine Fahrradluftpumpe nach hinten bewegt und damit Luft angesaugt. Beim Zusammenpressen der Luft hast du weiter festgestellt, dass sich die Temperatur erhöht hat.

In der Wärmepumpe geschieht dies mit dem gasförmigen Trägermittel, es wird aus dem Verdampfer gesaugt und anschließend verdichtet. Dabei steigen der Druck und die Temperatur stark an. Zum Antrieb der Pumpe muss jedoch elektrische Energie zugeführt werden.



Versuch 3: Der Verflüssiger

Benötigtes Material:

Erlenmeyerkolben mit Stopfen, Gasbrenner mit Dreifuss, Stativmaterial, Becherglas, Digitalthermometer, Schlauch mit Glasröhrchen

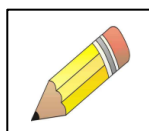
Durchführung:

- a) Entzünde den Gasbrenner, damit das Wasser im Erlenmeyerkolben zum Sieden gebracht werden kann.
- b) Der entstehende Wasserdampf wird in ein Reagenzglas geleitet, das sich in einem Becherglas mit kaltem Wasser befindet. Hole hierzu kaltes Wasser aus dem Kühlschrank und fülle ca. 400 ml Wasser in das Auffangbecherglas.
- c) Die Temperatur des Wassers im Becherglas wird gemessen.

Wenn du hier angelangt bist, kannst du wieder zurückblättern und den Arbeitsauftrag weiter bearbeiten. Werfe jedoch immer wieder einen Blick auf das Thermometer.



Achtung, der Schlauch ist heiß!



Notiere deine Beobachtungen.

Diskutiert, weshalb diese Beobachtung eingetreten sein könnte.

Übertrage deine Vermutung auf die Wärmepumpe. Wie wird dieser Vorgang hier ausgenutzt?



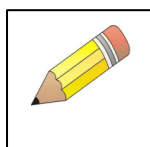
Versuch 4:

benötigtes Material:

Druckdose Frigen, Gummischlauch, Feinreguliertventil für Druckdosen, Digitalthermometer, Thermoelement, Reagenzglas, Gasverflüssigungspumpe

Durchführung:

- a) Das Ventil soll vorsichtig geöffnet werden.
- b) Ventil wird geschlossen, wenn die Flüssigkeit im Reagenzglas ca. 1 cm hoch steht
- c) Die Temperatur im flüssigen Frigen wird gemessen.
- d) Mit der Hand wird das untere Ende des Reagenzglases erwärmt.



Notiere deine Beobachtungen.

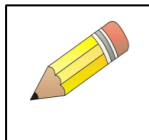


Was bedeutet dies für die Wärmepumpe?

Das Ventil demonstriert die Wirkungsweise eines Drosselventils in der Wärmepumpe. Es trennt die Bereiche hohen und niedrigen Drucks im Kreislauf der Wärmepumpe. Der Arbeitsstoff ist vor und hinter dem Ventil flüssig, die Temperatur sinkt aber beträchtlich, wenn der Druck erniedrigt wird. Der Verdampfer der Wärmepumpe liegt dicht hinter dem Drosselventil, da die Temperatur des Arbeitsstoffes so stark sinkt, dass sofort der Umgebung Wärme entzogen wird.

Durchführung:

- e) Setze auf das Reagenzglas, in dem sich Frigen befindet und welches mit der Hand erwärmt wurde, die Gasverflüssigungspumpe.
- f) Drücke den Kolben in den Zylinder.



Notiere deine Beobachtungen.

Erklärung:

Bei normalen Luftdruck (10^5Pa) siedet Frigen bei -29°C . Steigt der Druck über der Flüssigkeit, dann steigt auch die Siedetemperatur. Wenn der Druck ca. $6 \cdot 10^5 \text{Pa}$ beträgt, siedet, bzw. kondensiert Frigen bei Zimmertemperatur. In dem zu Anfang noch kalten Zylinder kondensiert bzw. siedet das Frigen bei etwas niedrigerem Druck.

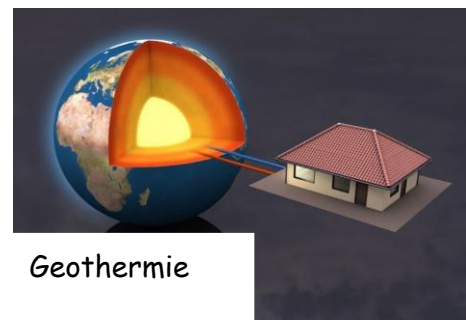
Die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck bildet eine wesentliche Grundlage für das Funktionieren einer Wärmepumpe. Dadurch wird ermöglicht, dass Wärme auf der kalten Seite aus der Umgebung aufgenommen und auf der wärmeren Seite an einen Speicher abgegeben werden kann.

Station

Energieproblematik



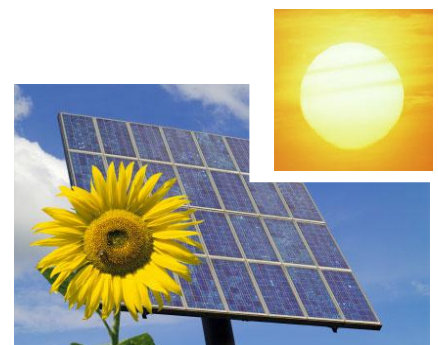
Kernkraftwerke



Geothermie



Windkraftanlagen



Energie aus der Sonne



Energie aus Biomasse



Wasserkraftwerk

Vorgehensweise

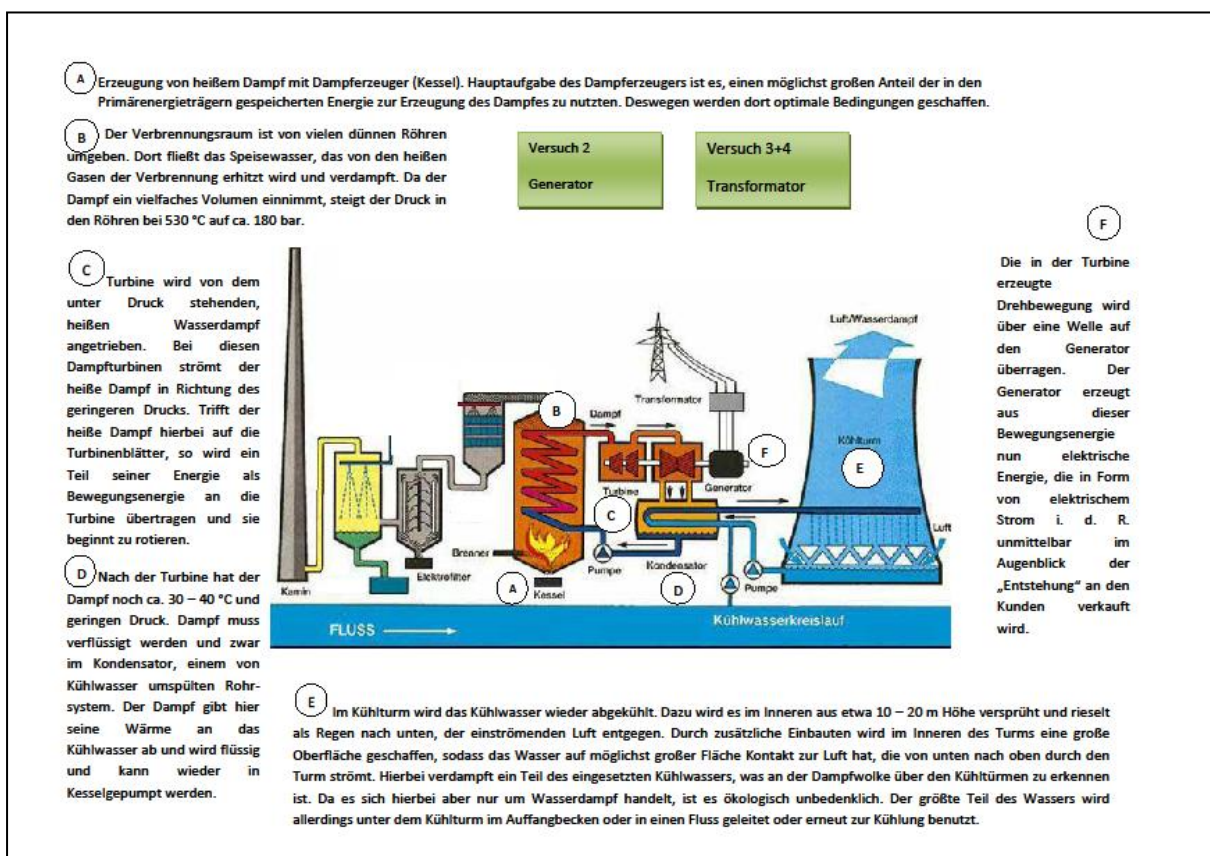
- 1) Jede Arbeitsgruppe bekommt ein Themengebiet zugeteilt, das in der Station „Energieproblematik“ bearbeitet werden soll.
- 2) Die Aufgabe eures Teams ist es, die Infomaterialien untereinander aufzuteilen und die Texte sorgfältig durchzulesen. Dabei solltet ihr folgende Fragen möglichst beantworten und die Tabelle auf dem folgenden Arbeitsblatt ausfüllen.

- A) Wie **funktioniert** der Kraftwerkstyp? Hier sollt ihr die **Energieumwandlungskette** auf der beiliegenden Folie ergänzen.
- B) Welche **Ressourcen** werden benötigt, wie lange sind sie vorrätig?
- C) Wie hoch ist der **Wirkungsgrad** bei dem jeweiligen Kraftwerk?
- D) Was ist der **momentane Stand der Verwendung** bei diesem Kraftwerkstyp?
- E) Welche **Vorteile und Nachteile** hat das entsprechende Kraftwerk?

- 3) Auf den Blättern mit der Überschrift „Informationen zu...“ steht was euch in den jeweiligen Artikeln erwartet und welche Überlegungen ihr machen solltet.
- 4) Einige Texte werdet ihr schnell überfliegen können um an eure Informationen zukommen, bei anderen müsst ihr überlegen um an die gewünschten Daten zugelang.
- 5) Formuliert die Antworten stichwortartig auf Papier, dann besprecht und vergleicht sie mit euren Gruppenmitgliedern.
- 6) Wenn ihr euch einig seid, sollten die Antworten für euren Kurzvortrag leserlich und verständlich auf die großen Karteikarten geschrieben werden.
- 7) Jede Gruppe bestimmt einen Sprecher, der die Ergebnisse des jeweiligen Themengebietes vorstellt.
- 8) Die anderen Gruppen sollten euren Vortrag nachvollziehen können.
- 9) Der Sprecher stellt die Punkte A - D der restlichen Klasse vor. Dabei nutzt er die gemeinsam erstellten Karteikarten, sowie die Folie der Energieumwandlungskette.
- 10) Der Punkt E wird anschließend in einer Diskussion gemeinsam bearbeitet. Dabei versucht jede Gruppe seinen Kraftwerkstyp zu vertreten. Hierbei werden wiederum die vorgefertigten Karteikarten verwendet.

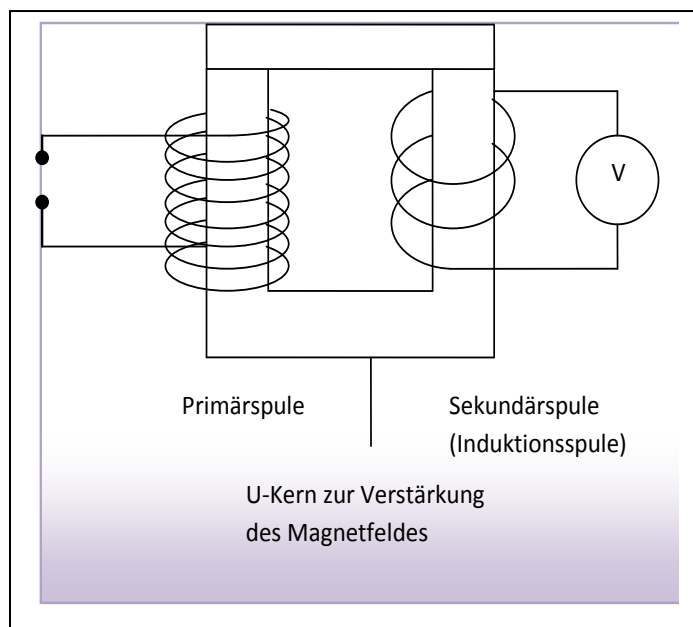
8.5 Hilfekarten

Karte 1 - Aufbau eines Wärmekraftwerkes



Karte 2 – Der Transformator

Hilfekarte Der Transformator



Der Transformator wird auch oft *Umspanner* genannt.

Ein Transformator besteht aus zwei auf einen geschlossenen Eisenkern gewickelten Spulen, einer Feldspule (Primärschleife) mit N_p Windungen und einer Induktionsschleife (Sekundärschleife) mit N_s Windungen.

Gesetze

am unbelasteten
Transformator

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

am belasteten
Transformator

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Funktionsweise

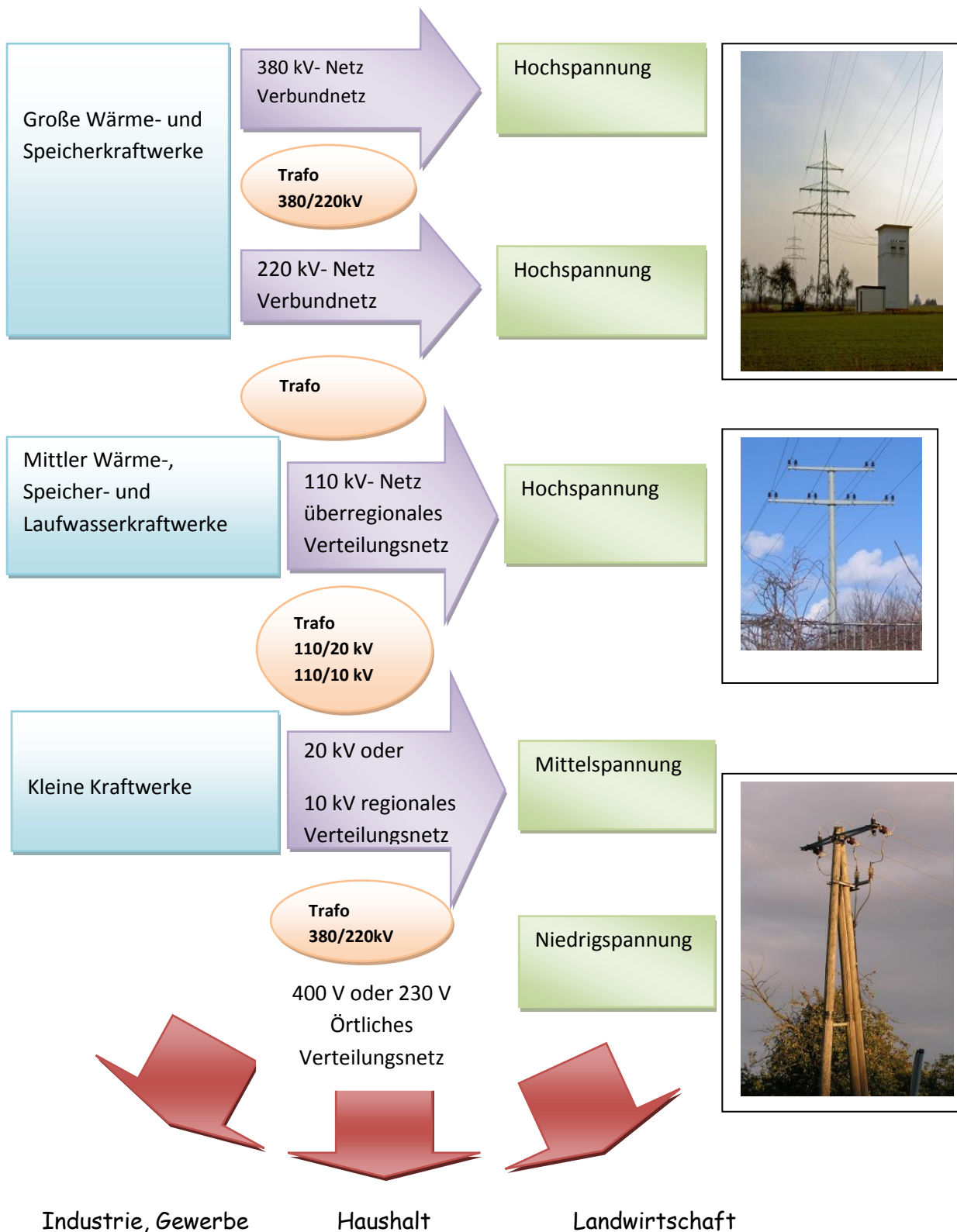
- Im Primärkreis fließt Wechselstrom.
- In der und um die Primärschleife entsteht ein Magnetfeld, verstärkt durch den U-Kern.
- Durch die Wechselfrequenz ändert sich das Magnetfeld ständig. Daher wird in der Sekundärschleife eine Sekundärspannung U_s induziert. Sie hat die gleiche Frequenz wie die Primärspannung U_p .

Das Verhältnis $N_s:N_p$ nennt man *Übersetzungsverhältnis* des Transformators.

Karte 3 – Übersichtskarte

Transport und Verteilung elektrischer Energie

Die Kraftwerke der Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind untereinander und mit dem europäischen Ausland verbunden.



Karte 4 – Die Wärmeleitung

Hilfekarte

Wärmeleitung

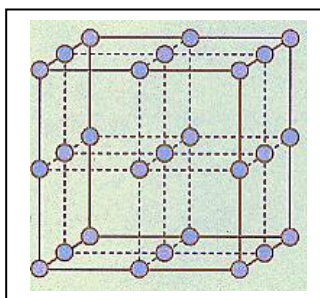
Die Wärmeleitung ist eine Art der Wärmeübertragung, bei der Wärme durch Körper hindurch von Bereichen höherer Temperatur zu Bereichen niedrigerer Temperatur übertragen wird.



Ein **Temperaturunterschied** ist also notwendige Voraussetzung für die Leitung von Wärme. Man bezeichnet die Wärmeleitung als den Energietransport, der zwischen benachbarten Molekülen eines Materials auftritt.

Wärmeleitung tritt in festen Körpern, in ruhenden Gasen oder in ruhenden Flüssigkeiten auf. Wie in der Abbildung zu sehen ist, kann man sich vorstellen, dass ein solcher Stoff aus Massepunkten aufgebaut ist, die durch Federn verbunden sind

Temperatur hoch



Temperatur niedrig

Liegt nun eine höhere Temperatur auf einer Seite vor, bewegen sich dort die Massepunkte schneller. Da aber die Punkte untereinander verbunden sind, fangen auch die Massepunkte auf der anderen Seite des Stoffes an, sich schneller zu bewegen. Die Temperatur auf dieser Seite hat sich also erhöht.

Karte 5 – Die Wärmeströmung

Hilfekarte

Wärmeströmung

Kalte Luft hat eine höhere Dichte als warme Luft, weil sich die Teilchen langsamer bewegen und so einen geringeren Abstand voneinander haben. Da warme Luft wegen der kleineren Dichte leichter ist als kalte Luft, steigt die warme Luft auf. Wenn man nun ein Fenster öffnet, so ist an der Stelle des Fensters die Druckdifferenz null, während es oberhalb des Fensters wegen der aufsteigenden Luft zu einem **Überdruck** und unterhalb des Fensters zu einem **Unterdruck** kommt.



Durch den Überdruck strömt die wärmere Luft ins Freie. Dies nennt man **Konvektionsströmung**. Dadurch kommt es also zu einem Wärmetransport, bei dem Energie verloren geht. Dieser Wärmetransport ist mit einem Transport von Teilchen verbunden und tritt in Gasen oder Flüssigkeiten auf.

Karte 6 – Die Wärmestrahlung

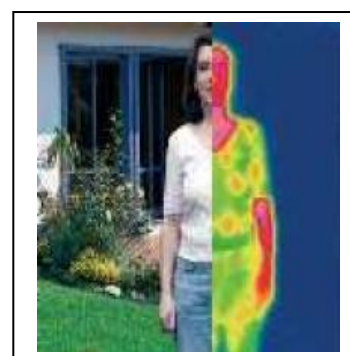
Hilfekarte

Wärmestrahlung

Jeder Körper ist aus kleinen Teilchen, den Atomen bzw. Molekülen aufgebaut. Diese Teilchen bewegen sich. Je schneller sich die Teilchen bewegen, umso größer ist die innere Energie des Stoffes und umso größer ist seine Temperatur.

Die **Temperatur** ist also ein Maß für die Geschwindigkeit der Teilchen.

Bringt man einen Körper in einen kälteren Raum, so strahlt der Körper **Wärmeenergie** an die Umgebung ab. Dabei sinkt seine Temperatur. Die abgegebene Wärmeenergie wird von der Umgebung aufgenommen. Die Temperatur im Raum steigt solange, bis Körper und Raum die gleiche Temperatur haben. Die Wärmeenergie, die zwischen verschiedenen Körpern ausgetauscht wird, bezeichnet man mit ΔQ .



Jeder Körper sendet **Wärmestrahlung** aus. Diese Strahlung breitet sich, so wie Licht, auch im Vakuum aus. Die Intensität der Wärmestrahlung hängt auch von der Oberfläche und der Farbe des Körpers ab. Dunkle, raue Körper strahlen mehr Energie ab als glatte und helle Körper.

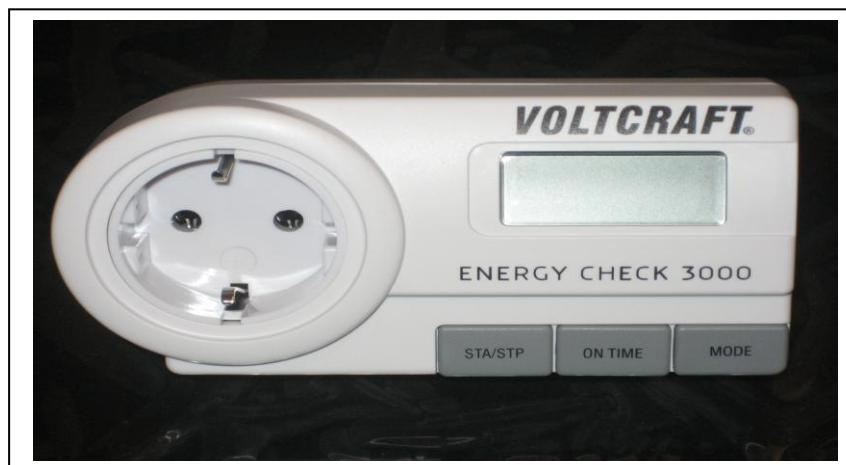
Wärmestrahlen können auch Körper durchdringen. Dies hängt jedoch vom Material des Körpers und von dessen Dicke ab.

Ein Körper strahlt aber nicht nur Energie ab, sondern kann Energie auch aufnehmen. Wenn die abgestrahlte Wärmeenergie größer als die aufgenommene ist, dann kühlt der Körper ab.

Karte 7 – Leistungsmessgerät

Hilfekarte

Leistungsmessgerät Energy-Check 3000



Verbindest du den Energy-Check 3000 mit einer 230 V - Steckdose, schaltet sich das Messgerät automatisch ein.

Verbinde den zu messenden ausgeschalteten elektrischen Verbraucher mit dem Messgerät.

Die Hauptanzeige auf der Startseite zeigt den **aktuellen Leistungsverbrauch** des mit dem Gerät verbundenen Verbrauchers an.

1842 W
0.331 costs/h
Tarif I

Die Anzeige darunter stellt jene **Kosten pro Stunde** dar, die der Verbraucher, basierend auf dem Tarif I (18 ct/kWh), verursacht. Der Tarif I wurde im Vorfeld bereits eingestellt.

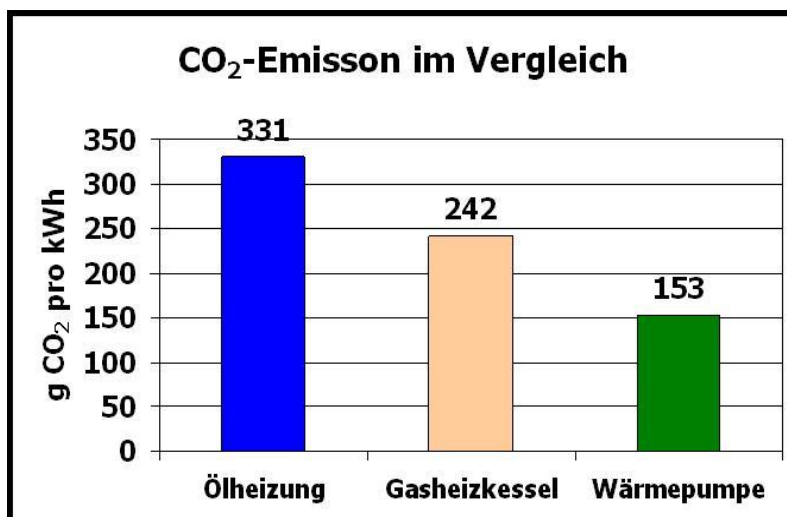
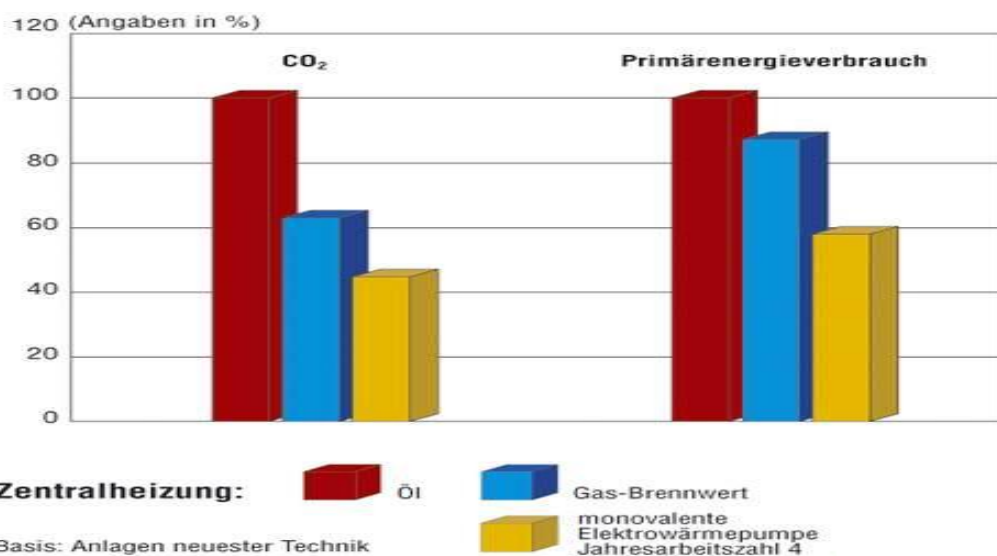
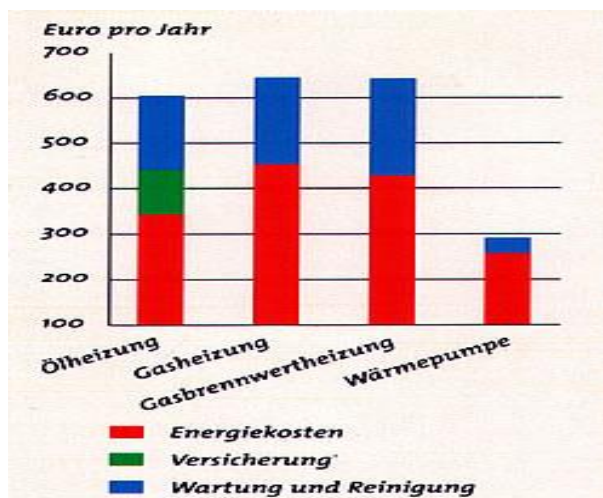
Kurzes Rechenbeispiel:

$1842 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} \cdot 0,18 \text{ Euro} / \text{kWh} = 0,331 \text{ Euro}$

Karte 8 – UmrechnungstabelleHilfekarteTabelle : Leistung

Größe	Symbol	Umrechnung
Milliwatt	mW	1 mW = 0,001 W
Watt	W	
Kilowatt	kW	1 kW = 1000 W
Megawatt	MW	1 MW = 1000 kW
Gigawatt	GW	1 GW = 1000 MW

Karte 9 – Vorteile der Wärmepumpe



8.6 Informationen zur beigefügten CD

Die beiliegende CD beinhaltet alle wichtigen Dateien, die für die erneute Durchführung des Schülerlabors „Energieversorgung, Energienutzung, Energieproblematik“ nötig sind.

Auf der CD befinden sich daher alle Schüler- und Betreuerhandouts als PDF-Dokumente. Außerdem beinhaltet die CD die Powerpoint-Präsentation des Vortrags und sämtliche weitere Materialien, die für die einzelnen Stationen relevant sind (Hilfekarten, Programmdateien, Arbeitsmappen).

Auf der CD sind darüber hinaus noch das Einladungsschreiben, Bilder, alle Evaluationsfragebögen und deren Auswertungen, sowie die vollständige schriftliche Ausarbeitung dieser Zulassungsarbeit in PDF-Format, enthalten.

9. Referenzen

In dieser Arbeit werden Literaturverweise auf folgende Art kenntlich gemacht:

Beispiele:

- [GER05/7-9] **Meschede, D.** (2005): Gerthsen Physik, 23.Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, s. 7 – 9
- [MOR03] **Mortimer, C. E., Müller, U.** (2003): Chemie, Das Basiswissen der Chemie, 8. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 45 - 52
- [INTQ] = Internetquelle

9.1 Bücher, Zeitschriften und Studien

- [BMU11] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** (2011): Kurzstudie Erneuerbare Energien 2010, Stand 23.März 2011
www.bmu.de (aufgerufen am 06.04.2011)
- [BMG11] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** (2011): Ausgewählte Graphiken zu Energiedaten, Stand 13.01.2011
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/Energiedaten/gesamtausgabe.html> (aufgerufen am 17.04.2011)
- [BUC08] **Buchal Prof. Dr. C.** (2008): Energie, 2. Auflage, Institut für Bio- und Nanosysteme, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
- [BUN09] **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe** (2009): Kurzstudie 2009, Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, www.bgr.bund.de (aufgerufen am 16.06.2010)
- [BÜR07] **Bührke, Dr. T.** (2007): Erneuerbare Energie, Alternative Energiekonzepte für die Zukunft, 1. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [CER94] **Cerbe, Dr. – Ing., G.** (1994): Einführung in die Thermodynamik, 10. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien
- [DEM02] **Demtröder, Prof. Dr. W.** (2002): Experimentalphysik 2, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [DIT98] **Dittmann, A., Zschernig, J.** (1998): Energiewirtschaft, 1. Auflage, B.G. Teubner, Stuttgart
- [DIX05] **Dixon, M.** (2005): Elektromagnetic Induction, Datalogger demonstrates electromagnetic induction, Physics Education, mdixon@clifton-college.avon.sch.uk
- [DOE08] **Doering, Prof. Dipl. – Phys., E.** (2008): Grundlagen der Technischen Thermodynamik, Lehrbuch für Studierende der Ingenieurwissenschaften, 6. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden
- [DUI07] **Duit, R.** (2007): Energie, Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts, erschienen in Naturwissenschaften im Unterricht Physik 18, (2007), Nr. 101, S. 4 – 7

- [DUI86] **Duit, R.** (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht, 1. Auflage, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, Kiel, S. 1 – 10
- [ENG04] **Englen, K.** (2004): Forschen statt Pauken, erschienen im Physik Journal 3, (2004), Nr. 3, S. 45 – 48
- [FIS08] **Fischer, Prof. Dr.-Ing., H.M.** (2008): Lehrbuch der Bauphysik, 6. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden
- [GER05] **Meschede, D.** (2005): Gerthsen Physik, 23. Auflage, Springer – Verlag, Berlin Heidelberg, S. 7 – 9
- [GRE98] **Grehn, J., Krause, J.** (1998): Metzler Physik, 3. Auflage, Schroedel Verlag GmbH, Hannover, S. 60 - 79 und S. 147 - 177
- [HEI03] **Heinloth, Prof. Dr., K.** (2003): Die Energiefrage, 2. Auflage, Frier. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig /Wiesbaden
- [HEP99] **Hepp, R.** (1999): Wärmepumpe und Kühlschrank – zu schwierig für den Physikunterricht?, erschienen in Naturwissenschaften im Unterricht Physik 10, (1999), Nr. 53, S. 34 – 53
- [HUB03] **Huber, E.** (2003): Technologie Technik, 1. Auflage, TR-Verlagsunion GmbH, München, S. 1 – 76
- [JEN02] **Jenisch, Prof. Dr. Ing., R.** (2002): Lehrbuch der Bauphysik, Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima, 5. Auflage, B. G. Teubner GmbH, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden
- [LAP10] **Lapp, O.** (2010): Schneller an den Wüstenstrom, erschienen im Fränkischen Tagblatt, Jahrgang Nr. 167, S. 30
- [MOR03] **Mortimer, C. E., Müller, U.** (2003): Chemie, Das Basiswissen der Chemie, 8. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 45 – 52
- [PET08] **Petermann, J.** (2008): Sichere Energie im 21. Jahrhundert, 3. Auflage, Hoffmann und Campe Verlag GmbH, Hamburg
- [SCH00] **Scheffer, K.** (2000): Energie aus der Vielfalt der Pflanzenarten, erschienen in Energie und Umwelt, Wo liegen optimale Lösungen?, (2000), 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 117 -125
- [SCH07] **Schwarz, R.** (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland – Exkurs NRW, Germanwatch, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 1. Auflage
- [STÖ98] **Stöcker, H. Prof. Dr.** (1998): Taschenbuch der Physik, 3. Auflage, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main
- [TIP04] **Tipler, P. A.** (2004): Physik, Für Wissenschaftler und Ingenieure, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, München
- [VIS05] **Viessmann** (2005): Fachreihe Wärmepumpe, Allendorf
http://www.viessmann.ua/etc/medialib/internet-ua/pdf_dokumente/top-nfo.Par.27272.File.File.tmp/fr-waermepumpen.pdf (aufgerufen am 18.04.2011)
- [WAG05] **Wagner, Dipl. - Ing., W.** (2005): Wärmeaustauscher, Grundlagen, Aufbau und Funktion thermischer Apparate, 3. Auflage, Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg

- [WEB08] **Weber, Dr. R.** (2008): Energie und Nachhaltigkeit, Probleme – Zielkonflikte – Lösungsansätze, Landeszentrale für Politische Bildung Baden-Württemberg, Heft 4 – 2008, 4. Quartal, 34 Jahrgang, Neckar-Verlag GmbH Villingen – Schwenningen
- [WIL07] **Wilhelm, Prof. Dr., R. D.** (2007): Der fossile Rohstoff Erdöl: Wann wird das Fördermaximum erreicht?, Forschungsbericht, TU Internation 60, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Berlin, <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-12714-2010-12-15.html> (aufgerufen am 01.04.2011)
- [WIL09] **Wilde, P.** (2009): Informationen zum Thema „Klimaschutz“: Erkenntnisse, Lösungsansätze und Strategien, 1. Auflage, Allianz Umweltstiftung, München <http://www.allianz-umweltstiftung.de/upload/allianzumweltstiftung/download/publikationen/klimaschutzmappe.pdf> (aufgerufen am 20.06.2010)
- [WOK99] **Wokaun, A.** (1999): Erneuerbare Energien, 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig

9.2 Internetquellen

- [INTQ01] Klimaschutzziele 2010 Mexiko
http://www.focus.de/politik/deutschland/un-durchbruch-in-cancn-lob-fuer-gastgeber-mexiko_aid_580686.html
(aufgerufen am 23.02.2011)
- [INTQ02] Energiekonzept Deutschland 2010
http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/tid-19766/energiekonzept-die-zukunft-von-atomenergie-und-kohlestrom_aid_549524.html
(aufgerufen am 23.02.2011)
- [INTQ03] PISA 2006
http://www.ipn.uni-kiel.de/pisa/Zusfsg_PISA2006_national.pdf
S. 6 – 9 (aufgerufen am 19.01.2011)
- [INTQ04] Die Verwirklichung des Bildungs- und Erziehungsauftrag
<http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=84cdf641b3c91f791628b7e316821e4> (aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ05] Der Bildungs- und Erziehungsauftrag
<http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=ef0a7ffa587462ba515ec737e5b44fe1> (aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ06] Lehrplan Realschule R6 8. Jahrgangsstufe
<http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=5&QNav=4&TNav=1&INav=0&Fach=16&Fach2=&LpSta=6&STyp=5&Lp=343> (aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ07] Lehrplan Realschule R6 9. Jahrgangsstufe
<http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=5&QNav=4&TNav=1&INav=0&Fach=16&Fach2=&LpSta=6&STyp=5&Lp=344> (aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ08] Lehrplan Realschule R6 10. Jahrgangsstufe
<http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=5&QNav=4&TNav=1&INav=0&Fach=16&Fach2=&LpSta=6&STyp=5&Lp=345>
(aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ09] Lehrplan Gymnasium G8 8. Jahrgangsstufe
<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26437>
(aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ10] Lehrplan Gymnasium G8 9. Jahrgangsstufe
<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26438>
(aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ11] Lehrplan Gymnasium G8 11. Jahrgangsstufe
<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=27147>
(aufgerufen am 25.01.2011)
- [INTQ12] Schülerlabore
<http://de.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%BClerlabor>
(aufgerufen am 13.03.2011)

- [INTQ13] Informelles Lernen im Schülerlabor: Beispielhafte Ergebnisse
http://www.gruene-bundestag.de/cms/archiv/dokbin/177/177772.beitrag_euler_plus_deckblatt.pdf
(aufgerufen am 13.03.2011)
- [INTQ14] Geschichte des Energiebegriffs
http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08_g8/geschichte/01energiebegriff/energiebegriff.htm
(aufgerufen am 26.01.2011)
- [INTQ15] Exergie
<http://de.wikipedia.org/wiki/Exergie> (aufgerufen am 10.03.2011)
- [INTQ16] Anergie
<http://de.wikipedia.org/wiki/Anergie> (aufgerufen am 10.03.2011)
- [INTQ17] Wirkungsgrade
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wirkungsgrad> (aufgerufen am 02.04.2011)
- [INTQ18] Enthalpie
<http://de.wikipedia.org/wiki/Enthalpie> (aufgerufen am 12.03.2011)
- [INTQ19] Verbrennung
<http://www.energie.ch/verbrennung> (aufgerufen am 26.02.2011)
- [INTQ20] Spektrum elektromagnetischer Wellen
<http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/13/pc/spektroskopie/theorie/images/spekber.gif> (aufgerufen am 13.01.2011)
- [INTQ21] Umrechnungstabelle für Energieeinheiten
<http://www.weltderphysik.de/de/4704.php?i=4712> (aufgerufen am 13.01.2011)
<http://www.volker-quaschnig.de/datserv/faktoren/index.php> (aufgerufen am 13.01.2011)
- [INTQ22] Primärenergie
<http://de.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A4renergie>
(aufgerufen am 12.03.2011)
- [INTQ23] Sekundär-, End-, Nutzenergie
<http://de.wikipedia.org/wiki/Sekund%C3%A4renergie>
(aufgerufen am 12.03.2011)
- [INTQ24] Energieflussdiagramm
<http://www.energie-einspar-check.de/VorOrtUnter/Warumeinspa.html>
(aufgerufen am 11.03.2011)
- [INTQ25] AGE B, AG Energiebilanzen eV, Pressedienst, Jahresbericht 2010
<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=62>
(aufgerufen am 11.03.2011)
- [INTQ26] Energiehunger der Welt
<http://www.agenda21-treffpunkt.de/archiv/10/bild/g3648.jpg>
(aufgerufen am 15.06.2010)
- [INTQ27] Der Treibhauseffekt
<http://www.pudong.ds-shanghai.de/uploads/pics/Traphausgas.jpg>
(aufgerufen am 14.06.2010)

- [INTQ28] Temperatur- und CO₂-Verlauf
<http://www.klima-retter.de/images/CO2undTemperatur.gif>
(aufgerufen am 05.04.2011)
- [INTQ29] Deutsche Kohlekraftwerke sind Dreckschleudern
<http://www.stern.de/wissen/natur/umweltstudie-deutsche-kohlekraftwerke-sind-dreckschleudern-588795.html> (aufgerufen am 12.06.2010)
- [INTQ30] Kohlekraftwerke
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlekraftwerk> (aufgerufen am 05.04.2011)
- [INTQ31] Kernkraftwerke in Deutschland
http://www.bfs.de/kerntechnik/ereignisse/standorte/karte_kw.html
(aufgerufen am 05.04.2011)
- [INTQ32] Kernenergie – längere AKW-Laufzeiten
<http://www.bild.de/politik/2010/politik/koalition-will-deutlich-laengere-akw-laufzeiten-13865050.bild.html> (aufgerufen am 05.04.2011)
- [INTQ33] Druckwasserreaktor
<http://de.wikipedia.org/wiki/Druckwasserreaktor>
(aufgerufen am 12.06.2010)
- [INTQ34] Siedewasserreaktor
<http://de.wikipedia.org/wiki/Siedewasserreaktor>
(aufgerufen am 12.06.2010)
- [INTQ35] Kernenergie - Basiswissen
www.kernenergie.de
(aufgerufen am 12.06.2010)
- [INTQ36] Durchschnittliche Sonneneinstrahlung in Deutschland
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_opt/pvgis_solar_optimum_DE.png
(aufgerufen am 06.04.2011)
- [INTQ37] Funktionsprinzip Photovoltaik
http://www.aet.co.at/pix/photovoltaik_funktion.jpg
(aufgerufen am 06.04.2011)
- [INTQ38] Die stärksten Kraftwerke der Welt
http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/technik/tid-12079/energie-die-staerksten-kraftwerke-der-welt_aid_337780.html (aufgerufen am 10.10.2010)
- [INTQ39] Laufwasserkraftwerk, Speicherkraftwerk, Pumpspeicherkraftwerk
<http://www.diebrennstoffzelle.de/alternativen/wasser/index.shtml>
(aufgerufen am 06.04.2011)
- [INTQ40] Wasserkraftwerke
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserkraftwerk>
(aufgerufen am 06.04.2011)
- [INTQ41] Bundesverband Bioenergie e.V.
<http://www.bioenergie.de/> (aufgerufen am 12.04.2011)
- [INTQ42] Biogasanlagen
<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie.html>
(aufgerufen am 12.04.2011)

- [INTQ43] Geothermie
<http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/geothermie.html> (aufgerufen am 12.04.2011)
- [INTQ44] Hot-Dry-Rock-Verfahren
<http://www.erdwärmelexikon.de/lexikon/ATT00016-Dateien/image017.jpg>
(aufgerufen am 12.04.2011)
- [INTQ45] Bundesverband WindEnergie e.V.
<http://www.wind-energie.de/de/> (aufgerufen am 11.04.2011)
- [INTQ46] Turmkraftwerk
http://solarenergie-fuer-afrika.de/solar/cms/upload/bilder/schule/beitraege/facharbeit_elias/kraftwerk_turm.jpg (aufgerufen am 11.04.2011)
- [INTQ47] Gezeitenkraftwerk
<http://www.eco-world.de/service/news/archiv/16624/gezeitenkraftwerk.jpg>
(aufgerufen am 11.04.2011)
- [INTQ48] Thermogramm eines Wohnhauses
<http://www.fromberger-hopf.de/images/thermografie.jpg>
(aufgerufen am 16.04.2011)
- [INTQ49] Funktionsprinzip einer Energiesparlampe
<http://www.dutschke-leuchten.com/bilder/sorms/bild11.jpg>
(aufgerufen am 18.04.2011)
- [INTQ50] Verbraucherzentrale Bayern – EU-Label
<http://www.verbraucherzentrale-bayern.de/UNIQ130314017216064/link658701A.html> (aufgerufen am 18.04.2011)
- [INTQ51] Wärmepumpen- und Kältetechnik I, Arbeitsmittel, Stand 2007
http://www.kunz-beratungen.ch/documents/pdf/WP-_und_Kaeltetechnik_I.pdf
(aufgerufen am 18.04.2011)
- [INTQ52] Experiment – Icon
<http://www.bs-wiki.de/mediawiki/images/Experiment.gif>
(aufgerufen am 20.08.2010)
- [INTQ53] Fragezeichen - Icon
<http://www.tsgkoenigslutter.de/userfiles/image/TSGK/Fragezeichen.jpg>
(aufgerufen am 20.08.2010)
- [INTQ54] Schriftlicher Arbeitsauftrag – Icon
<http://rz-home.de/~drhubrich/BILDER/Bleistift.JPG>
(aufgerufen am 20.08.2010)
- [INTQ55] Überlege! - Icon
https://www.mev.de/imagedb/LAYOUT_WZ/ART/VOL_01/AC0010238.jpg
(aufgerufen am 20.08.2010)
- [INTQ56] Achtung! – Icon
<http://www.sccjudo.de/sport/images/stories/beitragsbilder/achtung.jpg>
(aufgerufen am 20.08.2010)

- [INTQ57] Information! – Icon
http://www.htw-berlin.de/documents/Presse_Oeffentlichkeitsarbeit/Corporate_Design/Weitere_Piktogramme/Information_rgb.jpg
(aufgerufen am 20.08.2010)
- [INTQ58] Titelbild auf Werbeflyer
<http://enaro.de/energie.jpg> (aufgerufen am 15.08.2010)
- [INTQ59] Im Alltag wird täglich Energie genutzt
<http://img99.imageshack.us/i/fischgulasch1.jpg/>
<http://www.campingplus.de/media/330036g.jpg>
http://www.schwich.de/pics/heizung_katze.jpg
http://www20.wissen.de/wde/generator/material/gesundheit/BEWEGUNG_ER_NAEHRUNG/img_ausgewogene_4.jpg
<http://img99.imageshack.us/i/motorradfahrer20866714oz.jpg/>
(aufgerufen am 16.08.2010)
- [INTQ60] Was bekommt man für eine Kilowattstunde Strom
http://www.eco-world.de/service/news/archiv/18979/bmu_gluehbirne.jpg
http://www.n24.de/media/import/dpaserviceline/dpaserviceline_20080704_12/Fernsehen_18246078originallarge-4-3-800-0-0-2885-2168.jpg
(aufgerufen am 16.08.2010)
- [INTQ61] mechanische Energieformen
http://www.helitransair.com/grafiken/random/random_home/3.jpg
<http://www.eventim.de/obj/media/DE-ventim/teaser/222x222/2011/bobfahren-altenberg-innsbruck-tickets.jpg>
http://www.skr.de/fotos/cache/size300_quality80_journalfotos238.jpg
<http://www.feuerwehrmagazin.de/magazin/wp-content/uploads/2010/12/131210-rtw.jpg> (aufgerufen am 16.08.2010)
- [INTQ62] Energieformen
<http://auto.pege.org/2005-san-marino/tankstelle.htm>
<http://www.welf.ch/Portals/0/Radioaktiv.jpg>
<http://static.gulli.com/media/archiv/Handystrahlung.jpg>
(aufgerufen am 16.08.2010)
- [INTQ63] Entwicklung der Bevölkerung und des Weltenergieverbrauchs
<http://object.internal-audit.de/img/weltenergieverbrauch.gif>
(aufgerufen am 29.04.2011)
- [INTQ64] Energiehunger der Welt
<http://www.agenda21-treffpunkt.de/archiv/10/bild/g3648.jpg>
(aufgerufen am 16.08.2010)
- [INTQ65] Folgen der Umweltverschmutzung
<http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.pdf>
(aufgerufen am 16.08.2010)
- [INTQ66] Aufbau eines Transformators
<http://www.physikdidaktik.uni-bayreuth.de/lehre/fachdidii/ws2003/Aufgabe6/erhart.pdf>
(aufgerufen am 27.08.2010)

9.3 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 0.1.: Weltenergieverbrauch
<http://www.tarife.net/images/Energie.jpg>
aufgerufen am 13.02.2011
- Abb. 0.2.: Zitat von Klaus Töpfer
http://www.gutzitiert.de/zitat_autor_klaus_toepfer_2203.html
aufgerufen am 01.04.2011
- Abb. 4.1: Energieflussbild zur Energieumwandlungskette von Sonnenenergie beim Parabolrinnenkraftwerk
- Abb. 4.2: Möglichkeiten der Energieumwandlung
- Abb. 4.3: Spektrum elektromagnetischer Wellen [INTQ20]
- Abb. 4.4: Energieflussdiagramm [INTQ24]
- Abb. 4.5: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs: [BUN09/7-8]
- Abb. 4.6: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2010: [INTQ25]
- Abb. 4.7.: Energiehunger der Welt: [INTQ26]
- Abb. 4.8: Die Hubbert-Kurve“ nach ASPO 2004 : [PET08/69]
- Abb. 4.9: Der Treibhauseffekt: [INTQ27]
- Abb. 4.10: Die globalen CO₂-Emission [WOK99/206-215]
- Abb. 4.11: Temperatur- und CO₂-Verlauf [INTQ28]
- Abb. 4.12: Durchschnittliche Sonneneinstrahlung in Deutschland [INTQ36]
- Abb. 4.13: Funktionsprinzip Photovoltaik [INTQ37]
- Abb. 4.14: Turmkraftwerk [INTQ46]
- Abb. 4.15: Parabolrinnenkraftwerk [LAP10]
- Abb. 4.16: Laufwasserkraftwerk, Speicherkraftwerk, Pumpspeicherkraftwerk [INTQ39]
- Abb. 4.17: Gezeitenkraftwerk [INTQ47]
- Abb. 4.18: Energiegewinnung mit einer Biogasanlage [INTQ42]
- Abb. 4.19: Hot-Dry-Rock-Verfahren [INTQ44]
- Abb. 4.20: Nutzung geothermischer Wärme in Deutschland [INTQ43]
- Abb. 4.21: Die Entwicklung der Windenergie in Deutschland bis zum Jahr 2010 [INTQ45]
- Abb. 4.22: mittlere Windgeschwindigkeit in Deutschland [HEI03/310]
- Abb. 4.23: Seewindstärken in 100 m Höhe in Europa [PET08/222]
- Abb. 4.24: Auftriebsprinzip als Antriebskraft [INTQ45]
- Abb. 4.25: Luftdruck an einem Blatt [INTQ45]
- Abb. 4.26: Leistungsbegrenzung bei Windzunahme durch Strömungsabriss [INTQ45]
- Abb. 4.27: Leistungsbegrenzung bei Windzunahme durch Regelung mittels Blattwinkelverstellung [INTQ45]
- Abb. 4.28: Leistungskurven [INTQ45]
- Abb. 4.29: Wechselstromgenerator mit einem rotierenden Feldmagneten und feststehenden Induktionsspulen [DEM02/140]

- Abb. 4.30: Modell eines Drehstromgenerators mit drei gegeneinander um 120° phasenverschobenen Wechselspannungen [DEM02/142]
- Abb. 4.31: Sternschaltung des Drehstroms [DEM02/143]
- Abb. 4.32: Strom- und Spannungsverlauf [DEM02/143]
- Abb. 4.33: Modell des magnetischen Drehfeldes des Drehstroms [DEM02/143]
- Abb. 4.34: Vektoraddition der Magnetfelder in den drei Spulen des Magnetfeldes [DEM02/144]
- Abb. 4.35: Dreieckschaltung für Drehstrom [DEM02/144]
- Abb. 4.36: Thermogramm eines Zweiparteienhauses [INTQ48]
- Abb. 4.37: Stationäre Wärmeleitung durch eine ebene Wand [CER94/325]
- Abb. 4.38: Stationäre Wärmeleitung durch eine mehrschichtige ebene Wand [CER94/328]
- Abb. 4.39: Energieverteilung der schwarzen Strahlung [CER94/348]
- Abb. 4.40: Zusammenhang der Wärmeleitfähigkeit mit der Rohdichte von Materialien [JEN02/129]
- Abb. 4.41: Zusammenhang der Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur von Materialien [JEN02/131]
- Abb. 4.42: Funktionsprinzip einer Energiesparlampe [INTQ49]
- Abb. 4.43: Beispiel für EU-Label [INTQ50]
- Abb. 4.44: Funktionsschema einer Kompressions-Wärmepumpe [VIS05/7]
-
- Abb. 5.1: Experiment – Icon [INTQ52]
- Abb. 5.2: Fragezeichen – Icon [INTQ53]
- Abb. 5.3: Schriftlicher Arbeitsauftrag – Icon [INTQ54]
- Abb. 5.4: Überlege! – Icon [INTQ55]
- Abb. 5.5: Achtung! – Icon [INTQ56]
- Abb. 5.6: Information! – Icon [INTQ57]
- Abb. 5.7: Energieversorgung - Aufbau Versuch 1 – Die elektromagnetische Induktion
- Abb. 5.8: Energieversorgung - Aufbau Versuch 2 – Der Drehstromgenerator
- Abb. 5.9: Zeitlicher Verlauf der Spannungsstränge
- Abb. 5.10: Zeitlicher Verlauf der Spannungsstränge mit PASKO – Datenlogger [DIX05]
- Abb. 5.11: Aufbau eines Transformators [INTQ66]
- Abb. 5.12: Auszug aus Schülerhandout Energieversorgung; Versuchsbeschreibung Experiment Nr. 3
- Abb. 5.13: Energieversorgung - Schaltbild des Experimentes 3
- Abb. 5.14: Energieversorgung – Rechenbeispiel zu Versuch 3 und 4
- Abb. 5.15: Modellexperiment zur Dampfturbine
- Abb. 5.16: Auszug aus Schülerhandout Wärmedämmung; Was ist ein Passivhaus?
- Abb. 5.17: Wärmedämmung - Aufbau Versuch 1 – Wärmeleitung
- Abb. 5.18: Wärmedämmung - Aufbau Versuch 2 – Wärmeströmung
- Abb. 5.19: Wärmedämmung - Versuch 2 – Foto der Durchführung
- Abb. 5.20: Wärmedämmung - Aufbau Versuch 3 – Wärmestrahlung
- Abb. 5.21: Wärmedämmung – Messwerte der Temperaturerhöhung
- Abb. 5.22: Wärmedämmung – Versuch 3 – Foto der Durchführung
- Abb. 5.23: Wärmedämmung – Versuch 4 – Wärmeleitfähigkeit

- Abb. 5.24: Wärmedämmung – Versuch 4 – Diagramm
- Abb. 5.25: Energie im Haushalt – Versuch 1 – Leistungsmessgerät Energy Check 3000
- Abb. 5.26: Energie im Haushalt – Versuch 2 – Wasserkochen mit Ceranheizplatte und passendem Gefäß
- Abb. 5.27: Energie im Haushalt – Versuch 3 – Wasserkochen mit Ceranheizplatte und kleinerem Topf
- Abb. 5.28: Energie im Haushalt – Versuch 4 – Wasserkochen mit Wasserkocher
- Abb. 5.29: Energie im Haushalt – Versuch 5 – Energiesparlampen
- Abb. 5.30: Wärmepumpe – Funktionsprinzip einer Wärmepumpe
- Abb. 5.31: Wärmepumpe – Temperatursensor
- Abb. 5.32: Wärmepumpe – Powerlink
- Abb. 5.33: Wärmepumpe – Versuch 2 – Verdampfungswärme von Wasser
- Abb. 5.34: Wärmepumpe – Versuch 2 – Temperatur des Wassers in Abhängigkeit von der Heizzeit
- Abb. 5.35: Wärmepumpe – Versuch 2 – Durchführung
- Abb. 5.36: Wärmepumpe – Versuch 3 – Der Verflüssiger
- Abb. 5.37: Wärmepumpe – Versuch 4 – Die Funktion des Expansionsventils
- Abb. 5.38: Wärmepumpe – Versuch 4 – vereistes Glas
- Abb. 5.39: Wärmepumpe – Versuch 4 – Gasverflüssigungspumpe
- Abb. 5.40: Wärmepumpe – Versuch 4 – Durchführung
- Abb. 5.41: Wärmepumpe – Versuch 5 – Natürlicher Wärmeenergiefluss
- Abb. 5.42: Wärmepumpe – Versuch 5 – Verlauf der Temperaturgraphen
- Abb. 5.43: Energieproblematik – Einarbeitungsphase I
- Abb. 5.44: Energieproblematik – Einarbeitungsphase II
- Abb. 5.45: Energieproblematik – Energieumwandlungsketten – Bsp. Windenergie
- Abb. 5.46: Energieproblematik – Präsentation der Funktionsweise eines Parabolrinnenkraftwerks
- Abb. 5.47: Energieproblematik – Präsentation der Ergebnisse mit Hilfe von Karteikarten
- Abb. 5.48: Energieproblematik – Matrix
- Abb. 5.49: Fahrradergometer
- Abb. 5.50: Modell eines Energiesparhauses
-
- Abb. 6.1: Evaluationsfrage - Interesse an Themengebiete Energie im Vorfeld
- Abb. 6.2: Evaluationsfrage - Inhalte des Labors sind ansprechend
- Abb. 6.3: Evaluationsfrage - Experimentieren macht Spaß
- Abb. 6.4: Evaluationsfrage - Besuch des Labors, weil Interesse an Themengebiet besteht
- Abb. 6.5: Evaluationsfrage - Beurteilung des Schülerlabors mit Schulnoten
- Abb. 6.6: Evaluationsfrage - Hat der Vortrag einen Überblick geliefert?
- Abb. 6.7: Evaluationsfrage - Welche Station hat am meisten gefallen?
- Abb. 6.8: Evaluationsfrage - Wie hat die Diskussionsrunde gefallen?
- Abb. 6.9: Evaluationsfrage - Welche Station hat am wenigsten gefallen?
- Abb. 6.10: Evaluationsfrage - Übersichtlichkeit der Arbeitsblätter
- Abb. 6.11: Evaluationsfrage - Waren die Zusatzmaterialien interessant?
- Abb. 6.12: Evaluationsfrage - Wie häufig wurden die Hilfekarten benutzt?

- Abb. 6.13: Evaluationsfrage: Ich habe die Anleitung zum Experimentieren gut verstanden
- Abb. 6.14: Evaluationsfrage – Einstufung der Experimente
- Abb. 6.15: Evaluationsfrage – Schwierigkeitsgrad der Experimente
- Abb. 6.16: Evaluationsfrage – Die Durchführung der Experimente war langweilig
- Abb. 6.17: Evaluationsfrage – Das Finden der Erklärungen für die Experimente war eine Herausforderung
- Abb. 6.18: Evaluationsfrage – Wie hilfreich war die Betreuung?
- Abb. 6.19: Evaluationsfrage – Es war nicht möglich, während dem Experimentieren, eigene Ideen zu verfolgen
- Abb. 6.20: Evaluationsfrage – War genügend Zeit zur Bearbeitung der Arbeitsblätter?
- Abb. 6.21: Evaluationsfrage – Die Dauer der einzelnen Stationen war angemessen
- Abb. 6.22: Evaluationsfrage – Die Dauer des gesamten Schülerlabors war angemessen
- Abb. 6.23: Evaluationsfrage – Die Arbeitsatmosphäre war gut
- Abb. 6.24: Evaluationsfrage – Das Schülerlabor ist eine gute Ergänzung zum normalen Unterricht
- Abb. 6.25: Evaluationsfrage – Schülerlabore sollte man öfter besuchen
- Abb. 6.26: Evaluationsfrage – Pretest; fachliche Fragen
- Abb. 6.27: Evaluationsfrage – Posttest; fachliche Fragen
- Abb. 6.28: Evaluationsfrage – Den Inhalt der Stationen habe ich verstanden
- Abb. 6.29: Evaluationsfrage – Außerhalb des Labors habe ich über Inhalte nachgedacht
- Abb. 6.30: Evaluation der Betreuer – Interesse an dem Themengebiet Energie
- Abb. 6.31: Evaluation der Betreuer – Verständlichkeit der Handouts
- Abb. 6.32: Evaluation der Betreuer – Bewertung der Hilfekarten und Übersichten
- Abb. 6.33: Evaluation der Betreuer – Benutzung der Hilfekarten
- Abb. 6.34: Evaluation der Betreuer – Schwierigkeitsgrad der Experimente
- Abb. 6.35: Evaluation der Betreuer – Bewertung der Diskussionsrunde
- Abb. 6.35: Evaluation der Betreuer – Benotung des Schülerlabors
-
- Abb. 8.1: Titelbild auf Werbeflyer – Übersicht der erneuerbaren Energie [INTQ58]
- Abb. 8.2: Folie 3 - Im Alltag wird täglich Energie genutzt [INTQ59]
- Abb. 8.3: Folie 6 - Was bekommt man für eine Kilowattstunde? [INTQ60]
- Abb. 8.4: Folie 7 – mechanische Energieformen [INTQ61]
- Abb. 8.5: Folie 8 - Energieformen [INTQ62]
- Abb. 8.6: Entwicklung der Bevölkerung und des Weltenergieverbrauchs [INTQ63]
- Abb. 8.7: Energiehunger der Welt [INTQ64]
- Abb.8.8 : Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2010, [INTQ25]
- Abb.8.9 : Der Treibhauseffekt [INTQ27]
- Abb. 8.10: Folgen der Umweltverschmutzung [SCH07]
- Abb. 8.11: Karikatur zur Energieproblematik I [WEB08]
- Abb. 8.12: Deutsche Kohlekraftwerke sind Dreckschleudern [INTQ29]
- Abb. 8.13: Klimawandel und CO₂-Ausstoß [WEB08]
- Abb. 8.14: Wie lange reichen die Erdölreserven [BUN09]
- Abb. 8.15: Karikatur zur Energieproblematik II [WEB08]

9.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.: Wirkungsgrade

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wirkungsgrad> (aufgerufen am 02.04.2011)

Dittmann, A., Zschernig, J. (1998) Energiewirtschaft, 1. Auflage, B.G. Teubner, Stuttgart

Tabelle 2.: Beispiele für Umwandlungsprozesse

Tabelle 3.: Umrechnungstabelle für Energieeinheiten

<http://www.weltderphysik.de/de/4704.php?i=4712> (aufgerufen am 13.01.2011)

<http://www.volker-quaschnig.de/datserv/faktoren/index.php> (aufgerufen am 13.01.2011)

Tabelle 4.: Spezifischer Heizwert H_u [STÖ98/738]

Tabelle 5.: Wärmeleitfähigkeit und Dichte bei bestimmter Temperatur einiger Baustoffe [FIS08/332-334], [JEN02/242-244]

Tabelle 6.: Übersicht über teilnehmende Klassen am Schülerlabor

Tabelle 7.: Zeitplan für den 12. und 13. Oktober

Tabelle 8.: Zeitplan für den 14. Oktober

Tabelle 9.: Übersichtsplan für die Schüler

Tabelle 10.: Experimentierstation Energie im Haushalt – Versuch 2 – 4

Tabelle 11.: Eckdaten verschiedener Energiegewinnungsmöglichkeiten im Vergleich

10. Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich während der letzten Monate bei der Realisierung und Vollendung dieser Arbeit auf verschiedenste Art und Weise unterstützt haben.

Zunächst einmal gilt mein Dank dem Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg. Ein besonderer Dank gilt hierbei Herrn Professor Dr. Thomas Trefzger, der mir ermöglicht hat, diese Arbeit am Lehrstuhl für Didaktik durchführen zu können. Beim Aussuchen der Versuche hat er mir absolut freie Hand gelassen und mir finanziell ermöglicht, einige Materialien für das Schülerlabor anschaffen zu können, sodass ich die Versuche gemäß meinen Vorstellungen gestalten konnte. Außerdem hat er mir mit seinen Anregungen und Tipps zu meiner Ausarbeitung und den Schüleranleitungen geholfen, meine Arbeit erfolgreich zu gestalten.

Des Weiteren möchte ich mich bei den Lehrstuhlmitarbeitern Herrn AR Matthias Völker und Herrn Christoph Stolzenberger bedanken, die mir bei der Organisation des Schülerlabors und bei anderen Schwierigkeiten geholfen haben.

Vielen Dank auch an Herrn AD Wolfgang Reusch, der mich mit seinen pfiffigen Ideen und sinnvollen Erklärungen immer wieder auf neue Versuche und Ideen gebracht hat, durch die mancherlei Probleme gelöst werden konnten.

Mein Dank gilt auch meinen Kommilitoninnen und Kommilitonen, die als Betreuer sehr zuverlässig und engagiert waren und dadurch reibungslosverlaufende Durchführungen des Schülerlabors ermöglicht haben. Herzlichen Dank auch an die Lehrkräfte, die das Schülerlabor besucht haben.

Außerdem möchte ich den Physiklaborantinnen und Physiklaboranten Frau Kathrin Löffler und Frau Marina Nahm für die unkomplizierte Zusammenarbeit und die tatkräftige Unterstützung beim Aufbau von Versuchen danken.

Vielen Dank auch an meinen Schwager Bernhard Raab, der mir bei manchen Konstruktionen wertvolle Tipps gegeben hat und mir seine Werkstatt zu Verfügung gestellt hat. Bei meinen Schwestern, Margit Raab und Rosi Reichl, möchte ich mich für das Korrekturlesen bedanken. Ein herzliches Dankeschön spreche ich hiermit auch meinen Eltern aus, die mich immer unterstützt haben.

Abschließend möchte ich besonders meiner Schwester, Annette Pregler, und meinem Freund, Gerhard Waedt, danken, die sämtliche Versuche zur Probe durchgeführt haben und mir so wichtige Tipps zur Gestaltung der Schüleranleitungen geben konnten.

Vielen Dank!

11. Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Allen benutzten Quellen, welchen wörtlich oder inhaltlich Informationen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Bildliche Darstellungen habe ich, soweit nicht anders angegeben, selbst angefertigt.

Würzburg, den 27.06.2011

Pregler Monika