





# **Wärmedämmung**

## **Unterrichtsreihe in einer 9. Klasse mit praktischen Bezügen zur Bauphysik**

– zur Veröffentlichung im WWW um Bilder im Anhang gekürzte und aus  
Datenschutzgründen zensierte Version –

Pädagogische Hausarbeit  
im Fach Physik  
vorgelegt von  
Studienreferendar Hannes Pahlke  
Staatliches Studienseminar  
für das Lehramt an Gymnasien Mainz  
Juli 2004



## Vorwort

Der Zeitpunkt war schlecht gewählt: Wärmedämmung im Juni. „Können wir nicht draußen Unterricht machen?“, fragten mich die Schülerinnen und Schüler schon in der Woche vor Beginn der Examensreihe. Zu gerne hätte ich ihnen nachgegeben. Stattdessen musste ich sie enttäuschen: „Daraus wird wohl in den nächsten drei Wochen nichts.“ Nun ist regulärer Physikunterricht mit Experimenten im Freien abseits der Sammlung ohnehin nur selten zu realisieren. Aber wie motiviert man das Thema Wärmedämmung, wenn die Fenster im Saal den ganzen Vormittag geöffnet sind, weil jeder froh über Wärme und Sonne von draußen ist?

Eine Pädagogische Hausarbeit zu verfassen, erscheint mir eine heikle Sache zu sein. Bisherigen Hausarbeiten im Fach Pädagogik bin ich bisher stets durch Arbeiten zur Geschichte der Pädagogik ausgewichen. Hier also mein erster Versuch zur praktischen Pädagogik, mir selbst eine unliebsame Aufgabe: Wissenschaftliche Methoden anzuwenden auf die Planung und Beschreibung eines Unterrichtsgeschehens, dessen Meistern doch so häufig eher handwerklicher Fertigkeiten anstelle gelehrter Bildung bedarf, erscheint merkwürdig. Was wird an dieser Stelle überhaupt von Referendaren erwartet? Was, das die bloße Aneinanderreihung von Verlaufsplänen mehrerer aufeinander folgender Stunden einer Unterrichtsreihe übersteigt? Welche Wissenschaftlichkeit wird hier gefordert, wo doch die Literaturverzeichnisse am Ende von Lehrprobenentwürfen kaum mehr als eine Alibifunktion besitzen?

Mein Dank für die Unterstützung während dieser Hausarbeit geht an die Universitäts- und Landesbibliothek sowie an die Bibliothek des Fachbereichs Physik der TU Darmstadt, deren Bestände ich auch nach meiner Exmatrikulation noch nutzen durfte. Die Recherchen dort gehörten zu den mir angenehmsten Aufgaben im Rahmen dieser Arbeit. Danken möchte ich dann für ihre Durchhalteparolen meinen Freunden in und um die AG Fujara an der TUD, Franz Fujara, Horst Nienstädt, Holger Storck und Richard Finckh, sowie Barbara Zipser im Londoner Exil („den Kopf über Wasser halten“), Françoise Ruzak in Paris („trouver son chemin“) und Michał Lopuszynski in Warschau („więc nie wierzę żebyś był złym nauczycielem“). Ich hätte frühzeitiger auf ihren Rat hören und ihren Beispielen folgen sollen. Mein Dank gilt schließlich aber nicht zuletzt den Schülerinnen und Schülern der Klasse 9d des Gymnasiums zu St. Katharinen in Oppenheim für ihre Geduld und ihr Mitgefühl.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Sachanalyse</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Ziel dieser Arbeit . . . . .	1
1.2	Was ist Wärme? . . . . .	2
1.3	Wärmeübertragung: <i>Die Energie geht ihren Weg...</i> . . . . .	5
1.4	Wärmedämmung: <i>...und wie sie aufgehalten werden kann</i> . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Bemerkungen zur Lerngruppe</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Didaktische Überlegungen</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Methodische Überlegungen</b>	<b>14</b>
4.1	Formen der Wärmeübertragung . . . . .	14
4.2	Der Hausmodellbauwettbewerb . . . . .	15
4.2.1	Das Modellhaus zur Wärmedämmung in der Literatur . . . . .	16
4.2.2	Das eigene Konzept des Modellhauswettbewerbs . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Bericht über die Durchführung der Reihe</b>	<b>20</b>
5.1	Übersicht über die Reihe . . . . .	20
5.2	Beschreibung der Einzelstunden . . . . .	21
5.2.1	1. Stunde vom 24. 5. 2004: Wärmeleitung . . . . .	21
5.2.2	2. Stunde vom 25. 5. 2004: Konvektion . . . . .	30
5.2.3	3. Stunde vom 1. 6. 2004: Wärmestrahlung . . . . .	33
5.2.4	4. Stunde vom 3. 6. 2004: Die Thermoskanne; Konzeption und Bau der Modellhäuser . . . . .	40
5.2.5	5. Stunde vom 7. 6. 2004: Modellhauswettbewerb . . . . .	42
5.2.6	6. Stunde vom 8. 6. 2004: Siegerermittlung; Wiederholung . . . . .	44
5.3	Leistungsüberprüfung und Evaluation . . . . .	47
5.3.1	Schriftliche Überprüfung . . . . .	47
5.3.2	Schülerbefragung . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Die Unterrichtsreihe im Rückblick</b>	<b>49</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>51</b>

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>52</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>54</b>
<b>A Der experimentelle Aufbau der Modellhäuser</b>	<b>57</b>
A.1 Zur Wahl der Form und der Abmessungen . . . . .	57
A.2 Zur Wahl der Beheizung und Leistungsmessung . . . . .	58
A.3 Die Temperaturmessung und Regelung . . . . .	59
<b>B Tafelbilder und Arbeitsblätter</b>	<b>61</b>
B.1 Material zur Stunde vom 24. 5. 2004 . . . . .	61
B.2 Material zur Stunde vom 25. 5. 2004 . . . . .	65
B.3 Material zur Stunde vom 1. 6. 2004 . . . . .	67
B.4 Material zur Stunde vom 3. 6. 2004 . . . . .	69
B.5 Material zur Stunde vom 7. 6. 2004 . . . . .	69
B.6 Material zur Stunde vom 8. 6. 2004 . . . . .	71
<b>C Aufgaben und Ergebnisse der Leistungsüberprüfung</b>	<b>73</b>
C.1 Die Aufgabenstellung der schriftlichen Überprüfung . . . . .	73
C.2 Musterlösung der schriftlichen Überprüfung . . . . .	74



# Kapitel 1

## Einleitung und Sachanalyse

### 1.1 Motivation und Ziel dieser Arbeit

Bei den Recherchen während der Vorbereitung für diese Unterrichtsreihe bin ich auf unerwartet viele Veröffentlichungen gestoßen, die sich mit der Frage der Energieeinsparung durch Wärmedämmung und den Möglichkeiten und Methoden, wie Schülerinnen und Schüler für diese Problematik sensibilisiert und über die theoretischen Hintergründe aufgeklärt werden können, beschäftigen. Die frühesten Artikel stammen aus dem Jahr 1977 [32, 33], spätere Arbeiten datieren aus den 1980er Jahren [6, 10, 34, 35], aber auch in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts [7, 18, 19, 26, 27, 36, 37] bis hinein in die letzten Jahre [24] blieb das Thema in der Literatur aktuell.

Auch die Lehrbücher für die Mittelstufe gehen mehr oder weniger stark auf das Thema ein [1, 4, 5]; der Lehrplan für Rheinland-Pfalz gibt den Hinweis, von der Energieübertragung ausgehend die Wärmedämmung als Anwendungsbezug in den Blick zu nehmen [25, S. 196].

Dass das Thema mittlerweile in Schulbüchern und Lehrplänen angekommen ist, ist sicherlich der Erfolg von umfassenden Aufklärungsbemühungen, wie sie in der Folge der Ölkrise in den 70er Jahren und der Umweltbewegung in den 80er Jahren gefordert und auch unternommen wurden [34]. In der Zwischenzeit sind weltweite Klimaveränderungen als eine Folge der von Menschen vor allem in den Industriestaaten verursachten Emission von Treibhausgasen in der Konferenz von Rio 1992 anerkannt worden.<sup>1</sup> Als Konsequenz wurde 1997 eine Verringerung der Emission von Treibhausgasen – das ist vor allem CO<sub>2</sub>, daneben Methan, Stickstoffoxide und FCKW – im Protokoll von Kyoto festgeschrieben.<sup>2</sup> Die Umsetzung dieser Übereinkunft erfordert von den Industriestaaten im Hinblick auf die dortigen Privathaushalte vor allem eine Reduzierung des Energiebedarfs für die Gebäudeheizung. Um hier erfolgreich anzusetzen, wurde in Deutschland im Jahr 2001 in der Nach-

Literaturüberblick

Wärmedämmung zur Erreichung von Klimaschutzziele

<sup>1</sup><http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

<sup>2</sup><http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

folge der Wärmeschutzverordnungen eine Energieeinsparverordnung erlassen.<sup>3</sup> Sie setzt vergleichsweise hohe Standards, die es bei Wärmedämmung von Neubauten einzuhalten gilt.<sup>4</sup> Für alle Neubauten ab einem bestimmten umbauten Volumen müssen Energiebedarfsausweise erstellt werden.<sup>5</sup> Es wird daher in verstärktem Maße auf uns und insbesondere zukünftig auch auf die jetzt noch jugendlichen Schülerinnen und Schüler zukommen, sich mit Maßnahmen zur Wärmedämmung von Gebäuden auseinanderzusetzen. Dazu gehört es nach meinem Dafürhalten, sich mit den grundlegenden Prinzipien der (Wärme-)Energieübertragung zu beschäftigen, um daraus entsprechende Maßnahmen ableiten und begründen zu können.

Weniger sinnvoll erscheint es mir, die Motivation einer vergleichbaren Unterrichtsreihe aus der begrenzten Reichweite der fossilen Energieträger Öl, Gas und Kohle abzuleiten [27]. Bereits in meinen eigenen Schulbüchern auf dem Stand der 70er Jahre wurde diese Ressourcenknappheit diskutiert und ein Ende der Reserven für die nächsten 50 Jahre prognostiziert. Nach diesen Vorhersagen müssten die Quellen in Kürze versiegen. Trotz des derzeitig viel diskutierten hohen Rohölpreises in Folge der politischen Instabilitäten in der Nahost-Region ist ein solches Versiegen zumindest kurzfristig nicht absehbar.<sup>6</sup>

## 1.2 Was ist Wärme?

Alltagsvorstellungen  
und ihre Entsprechung  
in physikalischen  
Größen

Will man Wärmelehre in der Schule unterrichten, gilt es vorab, sich mit dem Begriff der Wärme auseinanderzusetzen. Im alltäglichen Sprachgebrauch bezeichnet Wärme meist eine Eigenschaft, die ein Körper besitzt und die ihm beispielsweise durch Reibung oder Feuer beigebracht wurde, die jedoch nach einiger Zeit wieder verschwindet. In ähnlicher Weise ließe sich auch die Kälte als Eigenschaft eines Körpers beschreiben. Wobei dann anzumerken ist, dass sich ein Körper zwar von alleine abkühlt, sich aber nicht erwärmt, ohne dass ein anderer Körper oder Vorgang involviert ist.

Aus physikalischer Sicht muss nun zuerst die Kälte aus der Anschauung gebannt werden: An ihre Stelle hat der Mangel an Wärme zu treten. Dies wird am Beispiel des Kühlschranks deutlich, dem nicht Kälte zugeführt, sondern aus dem Wärme weggeführt wird. Es bleibt dann aber weiter die Frage, um was es sich bei der Wärme handelt.

<sup>3</sup>Energieeinsparverordnung vom 16. November 2001 (BGBl. I S. 3085).

<sup>4</sup>Für den Transmissionswärmeverlust gelten Höchstwerte zwischen 1,55 (große Nichtwohngebäude mit Fensterflächenanteil über 30%) und  $0,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$  (kleine Gebäude).

<sup>5</sup>Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 13 der Energieeinsparverordnung (AVV Energiebedarfsausweis) vom 7. März 2002.

<sup>6</sup>Vgl. dazu *Der Spiegel* 22/2004: „Die Fehleinschätzung im Bericht an den *Club of Rome* von 1972 über die Grenzen des Wachstums und die Erschöpfung der Ressourcen ist beinahe sprichwörtlich.“ Davon abgesehen, ist es natürlich dringend angeraten, auch im Hinblick auf zukünftige Generationen mit den begrenzten Ressourcen sparsam umzugehen.

Es gibt in der Physik drei Größen, die unter dem einen oder anderen Aspekt dem entsprechen, was man umgangssprachlich als Wärme bezeichnet [20, S. 34f.]: Temperatur, Energie, die übertragen wird, und die Entropie. Davon wird die Temperatur in der Wärmelehre regelmäßig zu einem frühen Zeitpunkt eingeführt. Als eine leicht messbare Zustandsgröße vermag sie jedoch nicht alles zu repräsentieren, was man üblicherweise mit Wärme bezeichnet. So lässt sie die Menge und Art eines Stoffes unberücksichtigt. Weiterhin wird bei Raumtemperatur beispielsweise Holz als warm, Metall als kalt empfunden; in einem Ofen auf jeweils  $60^\circ\text{C}$  erwärmt verhält es sich genau umgekehrt [22, S. 18]!

Temperatur,  
Energieübertrag,  
Entropie

Es hat sich nun etabliert, von den verbleibenden zwei Größen die Entropie vorerst unbeachtet zu lassen und die Wärme mit einer Übertragungsform von Energie zu identifizieren, der meist die Formelbezeichnung  $Q$  zugeordnet wird. Hier stellt sich aber ein Problem: Denn strenggenommen bezeichnet so definierte Wärme „allein die durch unregelmäßige Molekularbewegung oder Strahlung einem Körper zugeführte Energie“ [20, S. 1]. Ist Wärme einmal einem Körper zugeführt, darf die Energie nicht mehr als Wärme bezeichnet werden. Denn die Wärme ist ja eben als eine Prozess- und nicht als Zustandsgröße definiert worden. (Als solche weist sie im Übrigen strukturelle Ähnlichkeit mit der Größe Arbeit auf.) Die einem Körper zugeführte Wärme wird ersatzweise als „Innere Energie“ bezeichnet. Dieser Umstand ist Schülern im Unterricht nur schwer zu vermitteln [16, 22].

Probleme bei der  
Definition als  
Energieübertrag

Eine elegante Lösung bieten nun die Macher des *Karlsruher Physikkurses (KPK)* [14]: Die Wärme wird mit der Größe Entropie identifiziert, die so eine anschauliche Erklärung findet. Erstmals in einer umfassenden Darstellung vorgelegt wurde dieses Konzept 1972 von Georg Job [20]. Wärme in diesem Sinne definiert kann einem Körper zugeführt werden und ist dann in diesem enthalten. Die Entropie ist eine Zustandsfunktion: Ihre Änderung ist die Summe der zugeführten oder abgeführten (Wärme-)Energie geteilt durch die absolute Temperatur. Entgegen dem ersten Anschein lässt sich die Entropie auch leicht messtechnisch erfassen [13, S. 87].

Wärme als Entropie

Ein großer Vorteil der Identifikation der Wärme mit der Entropie liegt darin, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik sich unmittelbar erschließt: Entropie kann im Gegensatz zur Energie (die nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden kann) erzeugt werden. Es ist jedoch prinzipiell nicht möglich, Entropie zu vernichten, daher sind Vorgänge der Entropieerzeugung nicht umkehrbar [14, S. 125f.].

Trotz dieser offensichtlichen Vorteile, hat sich das Konzept der Wärme als Entropie in der Fachdidaktik für die Schule bisher nicht in der Breite durchsetzen können. Die Einführung des Begriffs der Entropie wird in der Mittelstufenphysik fast durchweg vermieden. Auch neuere Schulbücher halten an der klassischen Definition der Wärme fest, bemühen sich jedoch, den Aspekt der Entropie indirekt in das didaktische Vorgehen einfließen zu lassen, indem der Energie eine unterschiedliche Wertigkeit beigemessen

Unterschiedliche Wertigkeit von Energie als Ersatz der Entropie

wird [4, 1, 5]. Elektrische, mechanische oder chemische Energie kann Wärme erzeugen, aber umgekehrt kann Wärme nicht vollständig zu elektrischer, mechanischer oder chemischer Energie rückverwandelt werden. Wärme ist daher eine weniger wertvolle Art der Energie.

Ergebnisse einer empirischen Studie

Wesentlich für die Entscheidung zwischen den unterschiedlichen didaktischen Konzepten muss ihr jeweiliger Erfolg in der schulischen Unterrichtspraxis sein: Welche Konzeption bringt den größeren Lernerfolg? Dazu liegt seit letztem Jahr eine Untersuchung vor [28]: 155 Schüler aus neunten Klassen wurden nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichtet, 75 Schüler nach dem traditionellen Unterrichtsgang. Nach jeweils etwa 20 Stunden zur Wärmelehre wurden die Lernleistungen der Schüler erhoben und verglichen. Danach vermochten Schüler in beiden Vergleichsgruppen mit der Temperatur als einer intensiven Größe umgehen. Signifikante Unterschiede ergaben sich jedoch auf dem Gebiet der Temperatenausgleichsprozesse: Wenn nach Erklärungen für das Abkühlen eines warmen Körpers in einem kälteren Bad gefragt wurde, vermochten 67 % der nach dem KPK unterrichteten Schüler eine physikalische Antwort zu geben, während nur 34 % der nach dem herkömmlichen Konzept unterrichteten Schüler hierzu in der Lage waren. Nochmals stärker ausgeprägt waren die Unterschiede bei Fragen zum Wärmeempfinden: 33 % der nach dem KPK unterrichteten Schüler konnten eine entsprechende Aufgabe lösen, aber nur 5 % der nach dem traditionellen Unterrichtsgang unterrichteten Schüler. Bei letzteren wurde deutlich häufiger noch mit dem Begriff „Kälte“ argumentiert. Geringe Unterschiede zwischen beiden Gruppen gab es bei Aufgaben aus dem Bereich der Phasenübergänge und der Wärmeleitung. In seiner Schlussfolgerung kommt der Autor der Studie zu klaren Vorteilen für das Karlsruher Konzept: Insbesondere stütze es bei den Schülern die Entwicklung physikalischer Vorstellungen, die ihre bisherigen Alltagsvorstellungen abzulösen oder abzuändern vermögen. Zurückzuführen sei das allerdings auch auf das erfolgreiche „Sprachspiel“ des KPK, bei dem die Fachsprache den Schülern als ein Stützgerüst diene, an dem entlang sie sich physikalische Sachverhalte erschließen könnten.

Der KPK als in sich geschlossenes Konzept nicht zugänglich

Was spricht also noch gegen den Karlsruher Physikkurs? In meiner konkreten Situation ist das vor allem das in sich geschlossene Konzept des KPK. Der KPK setzt für sein Kapitel der Wärmelehre voraus, dass zuvor das Strom-Antrieb-Modell behandelt wurde. Anhand von Flüssigkeiten und Gasen wird in den Anfangskapiteln des KPK ein Modell entwickelt, wonach aus Druckdifferenz eine Strömung resultiert. Dieses Modell wird später beispielsweise auf den elektrischen Strom, den Impuls, aber auch auf die Entropie übertragen. Die Energie steht ferner ganz am Beginn des Physikunterrichts nach dem Karlsruher Physikkurs. Daher hat es sich auch nicht bewährt, nur die Wärmelehre isoliert nach dem KPK zu unterrichten. Von entsprechenden Mischformen zwischen dem Karlsruher Kurs und dem traditionellen Unterrichtsgang wird abgeraten [28].

Daher bleibt mir für diese Unterrichtsreihe nur, mich an dem traditio-

nellen Konzept zu orientieren, wie es auch von den anderen Lehrern an der Schule und vom eingeführten Lehrbuch verfolgt wird. Auch wenn die Entropie in meinem Unterricht also unbeachtet bleiben muss, halte ich gleichwohl einige Veränderungen am herkömmlichen Konzept für sinnvoll, um den Schülern das Verständnis zu vereinfachen: Im Mittelpunkt meiner Betrachtung der Wärmelehre steht der Begriff der Energie. Wärme habe ich als eine mögliche Bezeichnung für übertragen werdende Energie genannt. Wesentlich bleibt für mich, dass sich hinter dem, was übertragen wird, Energie verbirgt. Dadurch umgehe ich weitgehend die Problematik, dass Wärme als Prozessgröße nicht mit der inneren Energie als Zustandsgröße verwechselt werden darf. Die Energie steht vereinfachend für beide Größen. Die Abkürzung  $Q$  vermeide ich vollständig, der Begriff Wärme steht allenfalls nur in Klammern vor der Energie.<sup>7</sup> Im Mechanikunterricht der Klasse 8 habe ich in einer vergleichbaren Situation die mechanische Arbeit zugunsten der Übertragung von Energie zurückgestellt und damit gute Erfahrungen gemacht.

Konzept für diese Reihe: Energie und Energieübertrag

### 1.3 Wärmeübertragung: Die Energie geht ihren Weg...

In der folgenden Darstellung steht wie im Unterricht die Wärme für die Energie. Wenn daher von Wärmeübertragung gesprochen wird, so ist damit der Transport von Energie gemeint.<sup>8</sup> Drei Arten von Wärmeübertragung werden unterschieden; es sind dies die Wärmeleitung, die Konvektion und die Wärmestrahlung.

Bei der Wärmeleitung beruht der Energietransport auf der Wechselwirkung zwischen den Atomen beziehungsweise Molekülen des wärmeleitenden Materials. Das Material selbst wird dabei jedoch nicht transportiert. Wird ein Körper mit einer konstanten Querschnittsfläche  $A$  an seinen beiden Enden auf einer unterschiedlichen Temperatur ( $T_{warm}$  bzw.  $T_{kalt}$ ) gehalten, so stellt sich nach einiger Zeit ein stationärer Zustand. Die Temperatur nimmt dann gleichmäßig vom wärmeren zum kälteren Ende ab. In diesem Fall gilt, dass die Energie, die pro Zeit durch den Körper strömt, sich proportional zur Querschnittsfläche  $A$ , zur Temperaturdifferenz ( $\Delta T = T_{warm} - T_{kalt}$ ) und antiproportional zur Länge  $l$  des Stabes verhält:

Wärmeleitung: Energietransport ohne Materialtransport

$$P_{\text{Wärmeleitung}} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \lambda \frac{A \Delta T}{l} \quad (1.1)$$

<sup>7</sup>Leicht abweichend dazu aber doch mit einer ähnlichen Zielrichtung schlagen Kircher und Schneider vor, den Begriff Wärme im Unterricht immer nur im umgangssprachlichen Sinne zu verwenden und die Identifizierung mit der Energie zu vermeiden, um so dem Problem des unterschiedlichen Gebrauchs des Begriffs in der Fach- und Alltagssprache auszuweichen [22, S. 19].

<sup>8</sup>Bei einem Unterricht nach dem Karlsruher Physikkurs ließe sich unter der Bezeichnung „Wärmeübertragung“ alternativ auch der Entropiestrom betrachten. Die Effekte Wärmeleitung und Konvektion treten auch hier auf [14, S. 127ff.].

Die Proportionalitätskonstante  $\lambda$  hängt vom Material ab, sie wird daher als spezifische Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Bei Gasen wird die Energie durch Stöße zwischen den Gasmolekülen übertragen; die Wärmeleitfähigkeit ist verhältnismäßig gering. Metalle besitzen eine besonders gute Wärmeleitfähigkeit, da die freien Elektronen zum Energietransport zwischen den Atomen beitragen.

Konvektion:  
Dichteunterschied  
bewirkt Materiestrom  
mit Energietransport

Trotz der geringen Wärmeleitfähigkeit von Gasen eignen sich beispielsweise dicke Luftschichten ohne weitere Einbauten nicht als Wärmedämmstoff. Der Grund liegt in einer weiteren Form der Wärmeübertragung, der Konvektion: Die Temperaturdifferenz bewirkt Dichteunterschiede im Material. In einem Gas oder einer Flüssigkeit gleichen sich diese Unterschiede durch Strömungen innerhalb des Materials aus. Bei diesen Konvektionsströmungen führt die strömende Materie auf ihrem Weg vom wärmeren zum kälteren Ende Energie mit sich.

Wärmestrahlung:  
elektromagnetische  
Strahlung

Die dritte Form der Wärmeübertragung ist die Wärmestrahlung. Es handelt sich hierbei wie Licht um elektromagnetische Strahlung. Sofern der abstrahlende Körper eine Temperatur unterhalb von ca. 600°C besitzt, bleibt die Wärmestrahlung jedoch für das menschliche Auge unsichtbar, da die Wellenlängen im infraroten Bereich oberhalb von 800 nm liegen [29]. Nicht nur die Wellenlänge der Strahlung, auch die durch den Körper abgestrahlte Strahlungsleistung ist – und das sehr stark – von der Temperatur des Körpers abhängig. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$P_{\text{emittierte Wärmestrahlung}} = e\sigma AT^4 \quad (\text{Stefan-Boltzmann-Gesetz}) \quad (1.2)$$

Dabei ist  $A$  die Fläche des abstrahlenden Körpers und  $e$  bezeichnet den zwischen 0 und 1 liegenden Emissionsgrad, der von der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers abhängt.<sup>9</sup>

Der Faktor  $\sigma$  ist die Stefan-Boltzmann-Konstante ( $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ ). Es gilt zu beachten, dass ein Körper nicht nur Energie abstrahlt, sondern auch Strahlungsenergie absorbiert. Die absorbierte Strahlungsleistung gehorcht ebenfalls dem Stefan-Boltzmann Gesetz, nur ist hier anstelle der Temperatur des Körpers die Umgebungstemperatur  $T_{\text{Umgebung}}$  einzusetzen. Ob ein Körper daher netto Wärmeenergie abstrahlt oder aufnimmt, hängt von der Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung ab:

$$P_{\text{Netto}} = e\sigma A(T^4 - T_{\text{Umgebung}}^4). \quad (1.3)$$

<sup>9</sup>Der Emissionsgrad wird auch als Absorptionsgrad bezeichnet, da er für Emission und Absorption identisch ist. Der Emissionsgrad hängt allerdings von der Frequenz der Strahlung ab: Für sichtbares Licht gilt bekanntermaßen, dass schwarze Oberflächen stärker absorbieren (und damit auch emittieren) als weiße Flächen. Wärmestrahlung ist dagegen weitgehend „farbenblind“; allerdings reflektieren hier metallisch-glänzende Oberflächen (auch eine Folge der quasifreien Elektronen) die Wärme sehr stark, die Emission solcher Oberflächen ist umgekehrt sehr gering.

## 1.4 Wärmedämmung: . . . und wie sie aufgehalten werden kann

Durch Maßnahmen der Wärmedämmung soll der Strom von (Wärme-)Energie zwischen einem Reservoir mit hoher Temperatur und einem zweiten Reservoir mit geringerer Temperatur reduziert werden. Ziel ist typischerweise die Einsparung von Energie zur Raumheizung, zur Warmwasserbereitung oder zum Betrieb von Kühleinrichtungen. Dazu müssen die drei im vorherigen Kapitel aufgelisteten Formen der Wärmeübertragung minimiert werden. Völlig ausschließen lässt sich Wärmeübertragung zwischen zwei Reservoirs unterschiedlicher Temperatur nicht.

Eine nahezu ideale Wärmedämmung verhindert Konvektion und Wärmeleitung durch einen evakuierten Zwischenraum, da in beiden Fällen die Energieübertragung das Vorhandensein von Materie voraussetzt. Der Verlust von Energie durch Wärmestrahlung lässt sich durch eine geeignete Wahl der abstrahlenden Oberfläche (geringer Emissionsgrad) und eine Verringerung der Temperatur dieser Oberfläche erreichen. Dies setzt wiederum eine gute Wärmedämmung gegen Konvektion und Wärmeleitung voraus.<sup>10</sup>

Starke Anstrengungen für eine verbesserte Wärmedämmung werden seit einigen Jahren im Bereich der Bauphysik unternommen (vgl. Kapitel 1.1). Hier spielt die Wärmestrahlung wegen vergleichsweise geringer Temperaturdifferenzen zwischen Oberflächen und umgebendem Raum eine untergeordnete Rolle. Evakuierte Zwischenräume zur Verminderung von Konvektion und Wärmeleitung lassen sich in der Praxis nicht herstellen. Eine geeignete Wärmedämmung verringert deshalb die Wärmeleitung durch den Einsatz fester Baustoffe mit gasgefüllten Poren. Entsprechende Materialien sind beispielsweise Dämmplatten aus Mineralwolle, aus Holzwolle oder aus aufgeschäumten Kunststoffen (Styropor<sup>®</sup>) [31]. Die Poren der Materialien verhindern weitgehend die Konvektion innerhalb der Wärmedämmschicht. Um darüber hinaus den Luftaustausch durch verbleibende Spalte oder Zwischenräume im Wand- oder Deckenaufbau zu unterbinden, wird heute großer Wert auf den möglichst gasdichten Abschluss von Wohnräumen gelegt (zum Beispiel durch die flächendeckende Anbringung von Folien). Dadurch soll weiterhin vermieden werden, dass Wasserdampf aus dem warmen Innenraum in der kälteren Dämmschicht kondensiert und dort Schaden anrichtet [9].

Die Energieeinsparverordnung (Kapitel 1.1) setzt dem Heizenergiebedarf von Gebäuden konkrete Obergrenzen, die bei Neubauten, Anbauten und Renovierungen an bestehenden Gebäuden zu beachten sind. So wird auch die Beurteilung eines Wand- Decken- oder Bodenaufbaus bezüglich seines

Ziel der Wärmedämmung: Verminderung von Energieströmen

Wärmedämmung in der Bauphysik

<sup>10</sup>Bei Dewargefäßen im Labor oder Thermoskannen im Haushalt ist in der beschriebenen Form die Wärmedämmung durch eine Vakuumumhüllung mit verspiegelter Oberfläche optimiert (vgl. die Stunde vom 3. 6. in Kapitel 5.2.4). Bei Badkryostaten wird zusätzlich die Wärmeabstrahlung ins Vakuum durch eine temperierte Zwischenwand reduziert (vgl. die entsprechende Aufgabe in der schriftlichen Überprüfung im Anhang C.1).

$U$ -Wert =  $k$ -Wert =  
Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedämmvermögens immer wichtiger. Ein Maß hierfür ist der Wärmedurchgangskoeffizient, heute als „ $U$ -Wert“ und früher als „ $k$ -Wert“ bezeichnet.<sup>11</sup> Der Wärmeenergiestrom  $P$  durch einen Wandaufbau ist proportional zur Temperaturdifferenz  $T_{\text{Innenraum}} - T_{\text{Außenraum}}$  zwischen den Räumen auf beiden Seiten einer Wand und zur Wandfläche  $A$ . Der Proportionalitätsfaktor ist der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  mit der Einheit  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  [7]:

$$P = U \cdot A \cdot (T_{\text{Innenraum}} - T_{\text{Außenraum}}). \quad (1.4)$$

Für die Berechnung gilt es aber nun zu berücksichtigen, dass der Energiestrom durch eine Wand nicht nur von der Wärmeleitung im Material sondern auch vom Übergang der Energie auf die Wand und von der Wand in den umgebenden Raum abhängt. Die einzelnen Vorgänge werden wie folgt beschrieben:

- Der Wärmeübergang auf die Wand

$$P = \alpha_i \cdot A \cdot (T_{\text{Innenraum}} - T_{\text{Wandinnenseite}}), \quad (1.5)$$

- die Wärmeleitung innerhalb der Wand

$$P = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot (T_{\text{Wandinnenseite}} - T_{\text{Wandaußenseite}}), \quad (1.6)$$

- und der Wärmeübergang von der Wand in den umgebenden Raum

$$P = \alpha_a \cdot A \cdot (T_{\text{Wandaußenseite}} - T_{\text{Außenraum}}). \quad (1.7)$$

Die Faktoren  $\alpha_i$  und  $\alpha_a$  werden als Wärmeübergangskoeffizienten bezeichnet.<sup>12</sup> Durch Umstellen und Addition der Gleichungen 1.5 bis 1.7 ergibt sich die Gleichung 1.4 sowie ein Zusammenhang für die Bestimmung des  $U$ -Wertes:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (1.8)$$

Für einen mehrschichtigen Wandaufbau aus verschiedenen Materialien lässt sich der  $U$ -Wert entsprechend wie folgt berechnen:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (1.9)$$

Der  $U$ -Wert als Maß für die Wärmedämmung ist nicht unumstritten [31]: Er vermag nur die Wärmeleitung zu beschreiben und das auch nur im stationären Fall. Instationäre Vorgänge, die Speicherung von Energie oder die Wärmestrahlung werden bei der Angabe des  $U$ -Wertes nicht berücksichtigt.

<sup>11</sup>Der  $k$ -Wert war in der DIN 4108 definiert, in der europäischen Norm (EN 673) gilt die entsprechende Definition für den  $U$ -Wert. Das  $U$  steht dabei für *unit*.

<sup>12</sup>Der Wärmeübergangskoeffizient ist bei ruhender Raumluft nahezu unabhängig von Material und Beschaffenheit der Wandoberfläche. Er beträgt dann  $8,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  [7].



## Kapitel 2

# Bemerkungen zur Lerngruppe

Die Klasse 9d – 13 Schülerinnen und 13 Schüler – wird von mir seit Beginn des Schulhalbjahres eigenverantwortlich unterrichtet. In dieser Zeit hat sich ein sehr angenehmes Unterrichtsklima entwickelt, was ich gerade im Vergleich zu den anderen von mir eigenverantwortlich unterrichteten Klassen als sehr wohltuend empfinde. Ich unterrichte gerne in der 9d und die Klasse hat sichtlich Freude am Physikunterricht.

Angenehmes  
Unterrichtsklima

Das erfreulich gute Lehrer-Schüler-Verhältnis mag durch mein Aufnehmen von Schülerfragen und Anregungen im Unterricht, durch die Berücksichtigung von individuellen Problemen der Schüler oder durch mein Entgegenkommen bei der Durchführung und Korrektur der schriftlichen Hausaufgabenüberprüfungen entstanden sein, aber vielleicht – so ist zu hoffen – auch durch einen interessanten, durch zahlreiche Experimente geprägten Physikunterricht. In jedem Fall besteht bei den Schülerinnen *und* Schülern dieser Klasse Interesse an den Naturwissenschaften, nicht nur an Physik sondern auch, wie mir berichtet wird, an Chemie. Praktisch äußert sich das Interesse der Schüler in einer hohen Bereitschaft zur Teilnahme am Unterrichtsgespräch, an Schülerversuchen oder an Demonstrationsexperimenten. Selbst wenn sich ein Demonstrationsversuch unvorhergesehen lange hinzieht, bleibt die Klasse geduldig und ruhig.

Hohes Interesse an  
Physik, insbesondere  
an Schülerversuchen

Offensichtlich sind die Schüler alt und verständnisvoll genug, um meine Persönlichkeit mit ihren Eigenheiten in der Lehrerrolle zu akzeptieren. So hat die Klasse mehrfach der Klassenlehrerin und mir gegenüber den Wunsch zum Ausdruck gebracht, auch im nächsten Schuljahr von mir in Physik unterrichtet zu werden, was leider aufgrund im Lehrerkollegium anders getroffener Absprachen nicht möglich sein wird. Mich hat die Toleranz und Sympathie von Seiten der Schüler jedenfalls mit dazu bewogen, in der Klasse 9d diese Examensunterrichtsreihe durchzuführen.

Akzeptanz des Lehrers  
in seiner Rolle als  
Grundlage der Zusammenarbeit

Was das Leistungsvermögen im Fach Physik betrifft, würde ich die Klasse als durchschnittlich einstufen. Durch den Lehrer, der im vorherigen Schulhalbjahr die Klasse in Physik unterrichtet hat, wurden gleichwohl die Leis-

tungen von neun Schülern im Halbjahreszeugnis mit „mangelhaft“ bewertet. Dieses strenge Urteil kann ich aus meiner Sicht nur schwer nachvollziehen, erkenne ich doch bei allen Schülern der Klasse zumindest das Bemühen, sich im Unterricht zu engagieren und am Lernfortschritt teilzuhaben.

Das Leistungsvermögen der Schüler

Drei Mitglieder der Klasse zeigten in meinem Unterricht relativ konstant sehr gute Leistungen: A, B und C. Die beiden erstgenannten beteiligen sich auch von sich aus fleissig am Unterricht, auf C greife ich gerne bei schwierigen Fragen zurück und erhalte dann zuverlässig eine sehr gute Antwort. Auch D vermochte auf Nachfragen schon hervorragende Beiträge zu liefern; allerdings schwankt sein Interesse am Unterricht und damit die Qualität seiner Beiträge je nach Tagesform beträchtlich. Ein Großteil der Klasse bringt nach meiner Einschätzung gute oder befriedigende Leistungen. Sofern bei einigen Schülerinnen und Schülern die Leistungen im schriftlichen Bereich nicht mehr ausreichend sind – zu nennen wären E, F und G –, so beteiligen sich die Betroffenen mit ihren Meldungen eifrig am Unterrichtsgeschehen und bringen wenn nicht gute, so zumindest befriedigende Beiträge. Erwähnen sollte ich noch H, die stets einen abwesenden, verträumten Eindruck macht, sich noch nie gemeldet hat und auch nach Aufforderung still und unbeteiligt bleibt. Gleichwohl zeigt sie im Schriftlichen durchschnittliche Leistungen und tut sich hier sogar bisweilen mit überraschend unkonventionellen, geistreichen Einfällen hervor.

Physikalische Vorkenntnisse

Das physikalische Vorwissen der Schüler hat sich auf dem Gebiet der Themen des ersten Schulhalbjahres als vergleichsweise tragfähig erwiesen. Weniger präsent sind der Klasse dagegen die Inhalte aus dem Mechanikunterricht der achten Klasse. Insbesondere der Zusammenhang der Größen Leistung und Energie beziehungsweise Arbeit bereitet noch Schwierigkeiten, obwohl ich mit eingeschobenen Beispielaufgaben bereits versucht habe, die Erinnerung aufzufrischen.<sup>1</sup> Dennoch werde ich die Problematik in dieser Unterrichtsreihe nicht ausklammern können, da gerade der Transport von Energie pro Zeit betrachtet werden soll.

Schwierigkeiten bei mathematischen Beschreibungen

Starke Defizite haben sich darüber hinaus in der Vergangenheit bei handfesten mathematischen Berechnungen (Wärmekapazität, Gasgesetze) offenbart. Der Empfehlung und dem Wunsch von Mathematikkollegen, Rechenaufgaben zu physikalischen Fragestellungen zentral im Unterricht aufzugreifen, möchte ich gleichwohl nicht nachkommen. In der Sekundarstufe 1 bis zu eine Stunde für die mathematische Lösung einer einzigen Aufgabe zu verwenden, wird dem Ziel schulischen Physikunterrichts kaum gerecht. Dieses häufig geübte Vorgehen stößt bei vielen Schülern auf Ablehnung, die mit mathematischen Schwierigkeiten konfrontiert leicht ihre Freude auch am Fach Physik verlieren. Ich werde stattdessen bezüglich der mathematischen Beschreibungen eine didaktische Reduktion vornehmen (vgl. Kapitel 3).

<sup>1</sup>Nach meiner Beobachtung liegt das Problem vor allem darin, dass das Thema Optik im ersten Halbjahr der Klasse 8 häufig bis weit in das zweite Schulhalbjahr ausgedehnt wird. Energie und Leistung, am Ende der 8. Klasse vorgesehen, kommen folglich zu kurz. Vgl. die Kritik am Umfang des Optikunterrichts in der Sekundarstufe 1 in [17, S. 47ff.].

## Kapitel 3

# Didaktische Überlegungen

Was sollen Schülerinnen und Schüler über Wärmedämmung wissen? Welche Fähigkeiten sollen sie auf diesem Gebiet im Schulunterricht erwerben?

Zuerst scheint es mir wichtig, ihnen die Notwendigkeit zu vermitteln, weshalb es nötig und sinnvoll ist, Heizenergie einzusparen. Dies ist zum Teil bereits im Vorfeld der Unterrichtsreihe geschehen: In Anlehnung an das eingeführte Lehrbuch wurde die an die Umgebung abgegebene Wärmeenergie als eine minderwertige Energieform klassifiziert, die nicht zurück in mechanische oder elektrische Energie verwandelt werden kann [4, S. 240]. Zu Beginn der Unterrichtsreihe soll nun veranschaulicht werden, dass die Energie zum Heizen den größten Anteil am Energieverbrauch eines Privathaushaltes ausmacht und dass es daher sinnvoll ist, hier mit Sparbemühungen anzusetzen. Man könnte sicherlich auch weitergehen und die Einsparung von Energie in Zusammenhang setzen mit einer Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Abgabe und damit der Problematik der globalen Klimaveränderungen, wie das im Eingangskapitel dieser Arbeit versucht wurde. Der sogenannte Treibhauseffekt lässt sich nur durch das Wissen um das unterschiedliche Transmissionsvermögen der Treibhausgase für sichtbares Licht und Wärmestrahlung verstehen, steht somit in enger Verbindung zur Wärmedämmung als dem Kerninhalt dieser Unterrichtsreihe. Der sich hier eröffnende Themenkreis ist weit, für die Schüler interessant und im Sinne einer nachhaltigen Bildungsarbeit sicher wichtig. Trotzdem wird er im Rahmen der Unterrichtsreihe verschlossen bleiben. Die Rahmenbedingungen für diese Reihe sehen maximal sechs Unterrichtsstunden vor und der Untertitel der Reihe gibt einen Bezug zur Bauphysik vor.

Es gilt also zuvorderst, sich im Umfang der vorgesehenen Inhalte zu beschränken. Das ist auch vor dem Hintergrund der Lehrplanvorgaben im Zusammenhang mit dem Lernfortschritt der Klasse in diesem Schuljahr angeraten [25]: Als ich die Klasse zum Schulhalbjahr übernahm, stand das Thema „Druck in Gasen“ aus dem ersten Halbjahr noch aus. Es vergingen folglich einige Wochen, ehe die Wärmelehre im engeren Sinne mit der Einführung der Größe Temperatur beginnen konnte. Nun sieht der Lehrplan

Motivation der Reihe für die Klasse:  
sinnvoll Energie sparen

Didaktische Reduktion durch Umfangsbeschränkung und Lehrplanvorgaben

für das zweite Halbjahr der neunten Klasse ein umfangreiches Themenfeld vor, wobei insbesondere der Bereich der Wärmeenergieemaschinen bei gründlicher Behandlung im Schulunterricht mehr als die veranschlagten vier Unterrichtsstunden beanspruchen dürfte. Weiterhin bedarf es hierzu solider Vorarbeiten auf dem Gebiet der Energieerhaltung, der Aggregatzustände und der Phasenübergänge. Es verbleibt so nur wenig Zeit, um außerhalb der fachlichen Wissensvermittlung im engeren Sinne umweltrelevante Bezüge des Themas ausführlicher aufzugreifen. Auf der anderen Seite fordert der Lehrplan nachdrücklich auf, „Schülerinnen und Schüler bezüglich der Umweltrelevanz der Technikfolgen zu sensibilisieren“, und zum Thema „Energieübertragung durch Arbeit und Wärme“ erfolgt ein ausdrücklicher Hinweis auf „Wärmedämmung“ [25, S. 195]. Zusammengefasst ist es sicher angemessen, auf die Vorgänge der Wärmeübertragung und der Wärmedämmung im Rahmen von sechs Unterrichtsstunden einzugehen. Gleichzeitig muss dann aber in Anbetracht der begrenzten Zeit auf andere relevante Bezüge verzichtet werden. Die Bedeutung der globalen Klimaveränderungen und die öffentliche Diskussion über die menschliche Zivilisation als deren (Mit-)Verursacher lassen es allerdings dringend notwendig erscheinen, hierfür durch geänderte Vorgaben mehr Unterrichtszeit zur Verfügung zu stellen.

Verständnis von Wärmedämmung erfordert Kenntnis der Energie-transportprozesse

Um nun das Thema Wärmedämmung im Unterricht zu behandeln und die einzelnen Maßnahmen der Wärmedämmung für die Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar zu machen, halte ich es für wichtig, die drei Formen der Übertragung von (Wärme-)Energie nacheinander einzuführen und systematisch nach dem jeweiligen Hintergrund und den notwendigen Voraussetzungen zu fragen. Die von mir herangezogenen Lehrbücher für die Schule folgen diesem Gedanken nicht immer: So behandelt das in dieser Klasse eingeführte Lehrbuch aus dem Verlag *Cornelsen* die Wärmedämmung vor dem Hintergrund Energieentwertung [4, S. 242]. Es findet dann aber weder eine Unterscheidung der unterschiedlichen Transportprozesse statt, noch wird auch nur eine Form der Wärmeübertragung näher untersucht. Das vergleichsweise neue Lehrbuch aus dem *Klett*-Verlag leistet eine getrennte Vorstellung der drei Transportarten für (Wärme-)Energie [5, S. 152ff.]. Jedoch fehlt hier ein Bezug zur Wärmedämmung ebenso wie eine klare Gegenüberstellung der drei Transportarten. Für die Beschreibung der Wärmeleitung wird zwar der mathematische Formelzusammenhang eingeführt, jedoch im Folgenden nicht mehr genutzt. Die klarste Darstellung auf engem Raum bietet das Lehrbuch *Dorn · Bader*, das so in gewisser Hinsicht Vorbild für mein Vorgehen in dieser Unterrichtsreihe wurde [1, S. 244f.]: Ganz im Sinne meiner Vorüberlegungen zum Begriff „Wärme“ in der Schulphysik (vgl. Kap. 1.2) spricht dieses Lehrbuch durchgehend von Energietransport. Es unterscheidet dann konsequent die drei Formen Wärmeleitung („Energie wandert *durch* Materie“), Konvektion („Energie wandert *mit* Materie“) und Wärmestrahlung („Energie wandert *ohne* Materie“). Leider fehlt auch hier ein Bezug zur Bauphysik. Die Darstellung vermittelt aber ein klares Fundament, das aus Schülersicht lernfreundlich ist, und auf dem aufbauend sich Maßnahmen zur

Wärmedämmung entwickeln lassen.

Wärmedämmung meint die praktische Umsetzung des Wissens um die drei Arten des (Wärme-)Energietransport. Nachdem die Schülerinnen und Schüler gelernt haben, unter welchen Bedingungen Energie transportiert wird, sollen sie im zweiten Teil dieser Unterrichtsreihe ihr Wissen bezogen auf praktische Aufgabenstellungen anwenden lernen. Sie werden damit gewissermaßen von Physikern zu Ingenieuren. In der Praxis illustriert die Thermoskanne eine nahezu ideale Wärmedämmung. An ihrem Beispiel soll gezeigt werden, wie sich die drei Arten des Transports von (Wärme-) Energie wirkungsvoll reduzieren lassen. Im Hausbau sind andere Vorgaben zu beachten: Wie eine moderne Wärmedämmung für Gebäude aufgebaut ist, zeigen Informationsbroschüren [8, 9]. In den zu erstellenden Modellhäusern beweisen die Schülerinnen und Schüler, dass sie ihr Wissen eigenständig in die Praxis umsetzen können. Gleichzeitig gilt es, eine physikalische Messmethode zum Vergleich der Modelle zu entwickeln und anzuwenden.

Im Vergleich zu anderen in der Literatur beschriebenen Unterrichtsreihen mit Bezug zur Wärmedämmung [6, 10, 26, 27], die im Wesentlichen ein ähnliches Vorgehen beim Einstieg und bei der Behandlung des (Wärme-) Energietransports vorschlagen, werde ich in der hier vorgestellten Unterrichtsreihe eine wesentliche Reduktion vornehmen: Wie im vorherigen Kapitel dargestellt, tun sich die Schülerinnen und Schüler der Klasse aus meiner Sicht unverhältnismäßig schwer im Aufstellen und insbesondere im Anwenden mathematischer Formeln im Physikunterricht. Man kommt im Physikunterricht der Mittelstufe nicht umhin, an vielen Stellen auf eine beschreibende Formel zurückzugreifen. Für diese Unterrichtsreihe bedeutet dies, dass die Schülerinnen und Schüler den Zusammenhang Energiestrom oder Leistung  $P$  gleich Energie  $E$  durch Zeit  $t$  kennen sollten. Weiterhin sollten sie im Falle der Wärmeleitung und der Wärmestrahlung die Größen benennen können, von denen der jeweilige Energiestrom abhängt. Üblicherweise wird für die Beschreibung der Wärmeleitung in der Schule die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  eingeführt [10, 5, 27]. Allein in der Praxis reicht die Kenntnis um diese Größe nicht aus, um den Energiestrom durch einen gegebenen Wandaufbau zu berechnen. Daher wird in der Literatur auch vorgeschlagen, den Fokus bei der Beschreibung auf den Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k$ -Wert oder heute  $U$ -Wert) zu legen, der die Wärmeübergangswiderstände berücksichtigt und daher experimentell einfacher zu bestimmen ist [34]. Dafür spricht auch, dass diese Größe sich in den entsprechenden Vorschriften zur Wärmedämmung und den Angaben zu Gebäuden oder Bauteilen im Alltag häufig wiederfindet. Ich hatte im Vorfeld erwogen, den  $U$ -Wert der Modellhäuser in einer abschließenden Messung bestimmen zu lassen und dann den Vergleich mit tatsächlichen Wandaufbauten in der Baupraxis anzustellen (vgl. [26]). Mir erschien dann aber angesichts der beschränkten Zeit das tiefgreifende Verständnis der grundlegenden Prozesse wichtiger als die Einführung einer beschreibenden Größe, die im weiteren Physikunterricht später keine Rolle mehr gespielt hätte (vgl. [10]).

Wärmedämmung als  
Ingenieuraufgabe:  
Umsetzung physikalischen  
Wissens

Didaktische Reduktion  
bei der mathematischen  
Beschreibung

## Kapitel 4

# Methodische Überlegungen

Die vorgestellte Unterrichtsreihe gliedert sich grob in zwei Teile: In den ersten drei Stunden erfolgt eine Einführung in die verschiedenen Formen der Wärmeübertragung. Die folgenden Stunden stehen dann im Zeichen der praktischen Anwendung des Gelernten: Am Beispiel der Thermoskanne wird eine ideale Wärmedämmung diskutiert; dann sollen die Schülerinnen und Schüler Modellhäuser konzipieren und bauen und damit in einem Wettbewerb um die beste Wärmedämmung gegeneinander antreten. Parallel dazu sollen die Inhalte der ersten Stunden wiederholt werden, um so die Voraussetzungen für eine schriftliche Überprüfung zu schaffen, die im Anschluss an die Reihe den durch die Schüler erlangten Wissenstand feststellen soll.

### 4.1 Formen der Wärmeübertragung<sup>1</sup>

Welches methodische Vorgehen zeichnet einen guten Physikunterricht aus?

Vor- und Nachteile traditionellen Physikunterrichts

Die Antwort auf diese Frage hängt davon ab, welche Erwartungen man an den Physikunterricht der Schule stellt. Ist es das Ziel, den Schülerinnen und Schülern einen möglichst großen Wissensvorrat zu vermitteln? Der klassische Frontalunterricht, einem „fragend-entwickelnden Drehbuch“ folgend und mit eingestreuten Demonstrationsexperimenten versehen, ist unter diesem Aspekt nach wie vor als wirkungsvoll anzusehen. Nur orientiert sich solcher Unterricht zu wenig an naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen, die immer eine Methodenvielfalt voraussetzen [11, S. 302]. Die Schülerinnen und Schüler werden nicht hinreichend darauf vorbereitet, eigenständig Konzepte zum Lösen von Aufgaben und Problemen zu entwickeln<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Das methodische Vorgehen für die einführenden Stunden zur Wärmeübertragung findet sich ausführlicher vorgestellt und begründet in den Beschreibungen zu den Einzelstunden der Reihe (Kap. 5.2.1 bis 5.2.3). Dort werden auch die jeweils ausgewählten Experimente beschrieben.

<sup>2</sup>Dieses Resultat zeitigen wiederholt empirische Untersuchungen. Nachweise bei Fischer und Draxler [11]. Vgl. auch die Schlussfolgerungen aus der PISA-Studie [2].

Als Alternative bieten sich für den Physikunterricht Schülerversuche und Projektarbeit an. Hier ist der Lernfortschritt jedoch stark von der Art der Aufgabenstellung abhängig: Akribisch angeleitete Experimente, wie sie etwa an der Universität im physikalischen Grundpraktikum vorgesehen sind, führen regelmäßig dazu, dass die Aufgaben nur sehr oberflächlich, „kochbuchartig“ abgehandelt werden. Damit geht nur ein geringer Wissenszuwachs einher. Auf der anderen Seite sind aber offene, nicht strukturierte Aufgabenstellungen ebenfalls häufig nur mit einem geringen Wissenszuwachs verbunden, da speziell Schülerinnen und Schüler aufgrund ihres fehlenden Vorwissens meist nicht in der Lage sind, ein physikalisch sinnvolles Vorgehen von sich aus zu planen und umzusetzen [11, S. 304]. Lernen durch Eigenerfahrung im naturwissenschaftlichen Unterricht sollte daher möglichst planvoll erfolgen.

Angeleitete Schüler-  
versuche oder freies  
Experimentieren

Gemäß dieser Vorüberlegungen wird der erste Teil dieser Unterrichtsreihe methodisch durch Abwechslung geprägt sein: Auf der einen Seite stehen angeleitete Schülerexperimente, die auf die umfangreichen Bestände der schulischen Sammlung zurückgreifen. Die Schüler arbeiten überaus gerne in Gruppen an solchen Versuchen. Besonderer Wert muss aus Lehrersicht dabei auf klare Arbeitsanweisungen gelegt werden; als problematisch erweist sich dabei häufig, dass die Schüler die schriftlich formulierten Aufträge nicht vollständig zur Kenntnis nehmen. Dem kann durch bildliche Anleitungen entgegengewirkt werden. Neben die Schülerversuche treten dann aber notwendigerweise auch Phasen, in denen der Unterricht klassisch-frontal erteilt wird: Es gilt durch den Lehrer im gelenkten Unterrichtsgespräch für Klarheit zu sorgen. Die Ergebnisse aus den Experimenten müssen vergleichend zusammengetragen werden; eine physikalische Gesetzmäßigkeit wird entwickelt und durch Aufschrieb gesichert. Sofern keine passenden Schülerexperimente zur Verfügung stehen, wie zum Thema Wärmestrahlung in der dritten Stunde der Unterrichtsreihe, tritt an diese Stelle der gemeinsam mit der Klasse entwickelte und durchgeführte Demonstrationsversuch.

Konsequenzen für die-  
se Reihe

## 4.2 Der Hausmodellbauwettbewerb

Die Idee, Wärmedämmung an Modellhäusern zu demonstrieren, ist nicht neu. Ich habe zum ersten Mal während eines Schulpraktikums von einem entsprechenden Projekt an einer Darmstädter Schule erfahren und fand die Idee sehr überzeugend. Während der Vorbereitung für diese Unterrichtsreihe stieß ich in der Literatur mehrfach auf Beschreibungen vom Bau und Einsatz entsprechender Modellhäuser im Physikunterricht. Sie sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden (Kap. 4.2.1). Die Autoren berichten dabei von einer hohen Motivation der Schülerinnen und Schüler beim Bau der Häuser: Das Interesse sei höher als am normalen Physikunterricht [33]. Daher habe ich mich darin bestärkt gefunden, ein ähnliches Projekt auch in der hier vorgestellten Unterrichtsreihe zu verwirklichen (Kap. 4.2.2).

### 4.2.1 Das Modellhaus zur Wärmedämmung in der Literatur

Zimmermann 1977:  
Die Idee

Im Jahr 1977 publiziert Uwe Zimmermann seinen Bericht über einen „Schulversuch zur Bestimmung der Energieeinsparung durch Wärmeisolation von Wänden oder durch Senkung der Zimmertemperatur“ [32, 33]. Er sieht sich damals zu seinem Vorgehen motiviert durch „die starke Verteuerung der Energiekosten und die Furcht, daß durch die Verzögerung beim Bau von Kernkraftwerken Engpässe in der Energieversorgung auftreten können“. Da in Privathaushalten „wirtschaftlich sinnvoller“ Energie eingespart werden könne als in der Industrie, propagiert er eine Energieeinsparung durch verbesserte Isolation von Fenstern und Wänden. Der Titel der Unterrichtseinheit lautet folgerichtig „Warum sollen und wie können wir Heizöl sparen“ [33, S. 358].

Würfel mit  
Wärmedämmung,  
Glühlampe,  
Thermometer

Zimmermann schlägt als Versuchsaufbau einen Würfel mit einer inneren Kantenlänge von 30 cm vor. Die Wände, Boden und Decke sollen wahlweise aus verschiedenen Materialien (Asbest, Styropor, Holz) unterschiedlicher Wandstärke bestehen. Als Wärmequelle dient im Inneren eine Glühlampe. Vorteile einer Glühlampe gegenüber anderen möglichen Wärmequellen ergäben sich unter dem Sicherheitsaspekt und daraus, dass die Leistung der Lampe bekannt und somit die in einer vorgegebenen Zeit abgegebene Energie einfach zu bestimmen sei. Gemessen wird dann im Versuch mittels eines in den Würfel eingelassenen Thermometers<sup>3</sup> der Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit. Nach einiger Zeit<sup>4</sup> stellt sich jeweils eine Gleichgewichtstemperatur ein. Es ist der stationäre Zustand erreicht, bei der die pro Zeit von der Lampe abgegebene Energie gleich der durch die Wände entweichenden Energie ist. Die Auswertung zeigt, welche Energie durch die Wahl geeigneter Materialien zur Wärmedämmung und deren Dimensionierung gespart werden kann. Werden bei gleicher Wärmedämmung nacheinander in ihrer Leistung verschiedene Glühlampen eingesetzt, und somit unterschiedliche Gleichgewichtstemperaturen erreicht, kann aus dem Vergleich gezeigt werden, dass aus einer Absenkung der Raumtemperatur eine überproportionale Energieersparnis resultiert („Bei einer Absenkung der Temperatur um 1°C werden 7% Heizkosten eingespart“). Schließlich schlägt Zimmermann noch vor, bei Vernachlässigung der Wärmeübergangswiderstände die Wärmeleitfähigkeit des eingesetzten Materials nach der Formel  $\lambda = \frac{d \cdot P}{A(T_i - T_a)}$  zu bestimmen [33].

Zimmermann 1981:  
Erste Modifikationen

Zimmermann hat in nachfolgenden Veröffentlichungen bis in jüngste Zeit immer wieder Artikel zu Fortentwicklungen und Modifikationen an seinem Konzept veröffentlicht. 1981 berichtet er von Versuchen, die eine Bestim-

<sup>3</sup>Um die Thermometer vor direkter Wärmestrahlung der Lampe zu schützen, die das Ergebnis verfälschen könne, wird im Innenraum eine Abschirmung zwischen Thermometer und Lampe angebracht. Vgl. die Skizze in [33, S. 359].

<sup>4</sup>Zimmermann gibt in Tabellen einen Überblick über die verschiedenen Zeitdauern für unterschiedliche Lampenleistungen und Wärmedämmungen [33].



mung von Wärmedurchgangskoeffizienten für unterschiedliche Materialien zum Ziel haben [34]: Dafür werden aus Styropor<sup>®</sup> Würfel mit 31,6 cm Innenkantenlänge und 4 cm Wandstärke gebaut.<sup>5</sup> Wieder wird die erreichte Gleichgewichtstemperatur gemessen und diesmal unter Berücksichtigung der bekannten Wärmeübergangswiderstände der  $U$ -Wert bestimmt und mit einem für diesen Aufbau theoretisch berechneten Wert verglichen. Der Aufbau wird nun über eine Veränderung der Einschublänge des Thermometers in den Würfel geeicht, bis gemessener und errechneter Wert übereinstimmen. Zur Messung des  $U$ -Wertes anderer Materialien wird nun der Deckel der Würfel durch einen Deckel aus entsprechendem Material ersetzt. Über eine für Schüler nicht triviale Rechnung wird aus der neuerlich gemessenen Gleichgewichtstemperatur der  $U$ -Wert für die Wärmedämmung des Deckels bestimmt. Zimmermann sieht den Vorteil des modifizierten Aufbaus darin, dass auch Materialien vermessen werden können, die sich nicht selbst zum Bau von Kästen eignen; beispielsweise könne der  $U$ -Wert von einfach verglasten Scheiben mit dem einer Doppelverglasung verglichen werden.

Drei Jahre später publiziert Zimmermann weitere Modifikationen an seinem Versuchsaufbau [35]: Er weist nach, dass die gemessenen  $U$ -Werte stark durch Luftpolster verfälscht werden, die sich außerhalb des Würfels angrenzend an dessen Wände bilden. Daher schlägt er vor, die Luft außerhalb des Würfels durch Ventilatoren umzuwälzen. Weiterhin werde der kurzweilige Anteil der Wärmestrahlung durch das Glas der Glühlampe nicht hinreichend absorbiert, so dass Energie in Form von Strahlung auch durch die Wärmedämmung hindurch entweichen könne. Da der  $U$ -Wert per Definition die Wärmestrahlung aber unberücksichtigt lasse, führe dies zu einer Verfälschung des Ergebnisses. Um dem entgegenzuwirken, wird vorgeschlagen, die Glühlampen mit Silberbronze zu bemalen; die darin eingelassenen Aluminiumteilchen sorgten zuverlässig für eine Absorption der Wärmestrahlung. Eine Veröffentlichung Zimmermanns aus dem Jahr 1992 berichtet dann vom Einsatz eines Lötkolbens anstelle der Glühlampe [36]. Die Leistung müsse genau angepasst gewählt werden, damit die Strahlung des Lötkolbens nicht zu hoch sei, eine hinreichende Konvektion im Kasten aber gewährleistet bleibe. Im Jahr 2000 folgt eine weitere Publikation, in der Zimmermann von letzten Modifikationen an seinem Versuchsaufbau berichtet [37]: Die Wandstärke der Box aus Styropor<sup>®</sup> ist auf 10 cm angewachsen, ein Miniaturlüfter sorgt für gleichmäßige Temperaturverteilung im Haus und die Temperatur der Wandinnen- und Außenflächen wird durch Thermoelemente gemessen. So bestimmt der Autor – mittlerweile Professor an der PH Heidelberg – mit diesem in 23 Jahren immer wieder verbesserten Aufbau die Wärmeleitfähigkeit von Styropor<sup>®</sup> zu  $0,0036 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  und damit auf

Zimmermann 1984,  
1992, 2000:  
Aufbau und Durch-  
führung perfektioniert

<sup>5</sup>Daraus ergibt sich eine wirksame Oberfläche von  $0,75 \text{ m}^2$ , geometrisch gemittelt aus äußerer und innerer Oberfläche des Kastens, wie von Zimmermann an anderer Stelle ausführlich begründet [36]. Die eingesetzte Glühlampe wird bei einer Leistung von 12,5 Watt betrieben [34, S. 324].

Weitere Umsetzungen der Idee eines Modells zur Wärmedämmung

0,001 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> genau.

Die Idee, an einem kastenförmigen Modell die Wärmedämmung zu demonstrieren und daran die unterschiedlichen Größen zu messen, wurde von anderen Autoren aufgegriffen, deren Modifikationen und Zielsetzungen hier nicht im Einzelnen vorgestellt werden sollen (z. B.: [10, 27]). Die Firma PHYWE bietet mittlerweile ein sogenanntes *Thermohaus*, mittels dessen die  $U$ -Werte unterschiedlicher Wandaufbauten ermittelt und verglichen werden können.<sup>6</sup> Aus dem angelsächsischen Bereich stammt die Idee von Ian Lawrence, Modellhäuser aus Karton bauen zu lassen und durch einen Widerstand (1  $\Omega$ , 11 W) im Inneren zu beheizen [24]. Lawrence empfiehlt, den Schülerinnen und Schülern die Freiheit zu lassen, ihr jeweiliges Haus nach eigenen Vorstellungen zu gestalten und wärmedämmtechnisch zu modifizieren.

Das Modellhaus nach Metzger: Veränderbare, messbare Leistung

Gesondert Erwähnung finden sollte noch die Veröffentlichung von Hans Christian Metzger [26]: Er beschreibt den Bau von Styropor<sup>®</sup>-Häusern im Rahmen einer Unterrichtsreihe in einer 10. Klasse. Ausgehend von der grundsätzlichen Konzeption Zimmermanns führt er als Neuerung eine veränderliche Leistung der zum Einsatz kommenden Glühlampen ein: Ziel ist es, eine für alle Häuser unabhängig von der jeweiligen Wärmedämmung gleiche Temperatur im Gleichgewichtszustand zu erreichen. Dies wird durch den Einsatz von vorgeschalteten Dimmern erreicht. Die bei der gewählten Temperatur und Wärmedämmung zu verzeichnende Verlustleistung kann direkt an digitalen Wattmetern abgelesen werden. Die Schülerinnen und Schüler sind bereits am Bau der Häuser beteiligt und während der Durchführung des Versuchs mit dem Einregeln der Temperatur beschäftigt, wodurch Wartezeiten vermieden werden. Der beschriebene Versuchsaufbau ist weiterhin realitätsnäher, da wie bei der Gebäudeheizung vorgegebene Temperaturdifferenzen angestrebt werden. Abschließend sieht das Konzept die Bestimmung von  $U$ -Werten verschiedener Materialien vor. Die Berechnung erfolgt hier vereinfacht und wird durch eine gelungene Anleitung in einem dem Artikel von Metzger beigelegten Arbeitsblatt wesentlich erleichtert.

#### 4.2.2 Das eigene Konzept des Modellhauswettbewerbs

*„Allow pupils to personalize for maximum involvement. Some (a few) may be skilful enough to modify the template, producing houses of different aspect ratios“ [24]*

Ein Wettbewerb um die beste Wärmedämmung und das schönste Modellhaus

Die in diesen Sätzen zum Ausdruck kommende Einstellung hinsichtlich der Einbindung von Schülerinnen und Schülern entspricht stark meinen eigenen Vorstellungen von Projektunterricht. Der Bau der Modellhäuser soll im Rahmen dieser Unterrichtsreihe die Gelegenheit geben, die erworbenen

<sup>6</sup>Das Konzept des Thermohauses von PHYWE wird beschrieben in den Veröffentlichungen von Regina Butt [6, 7]. Vergleiche auch die Herstellerangaben unter <http://products.phywe.de/>. Im Wesentlichen handelt es sich um den von Zimmermann entwickelten Aufbau; Messidee und selbst die Abmessungen stimmen nahezu überein.

Kenntnisse über Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung zur Anwendung zu bringen, gleichzeitig aber auch die Freiheit lassen, der eigenen Kreativität der Schülerinnen und Schüler Raum zu geben. Aus diesen Überlegungen resultiert meine Entscheidung, einen Wettbewerb um das am besten wärmegeämmte Modellhaus auszuschreiben und im Anschluss daran auch das am schönsten gestaltete Modellhaus zu prämiieren.

Vermeiden möchte ich langwierige Präzisionsmessungen der Größen Wärmeleitfähigkeit oder Wärmedurchgangskoeffizient. Auch wenn einiges dafür spricht, im Rahmen einer Unterrichtsreihe mit Bezug zur Bauphysik den  $U$ -Wert als vielleicht wichtigste beschreibende Größe der Wärmedämmung einzuführen, habe ich letztlich darauf verzichtet. Dabei könnte eine Berechnung sehr einfach erfolgen, wenn man sich darauf beschränkte, einen einzigen  $U$ -Wert für das jeweils ganze Modellhaus zu berechnen. Dieser gemessene Wert könnte dann mit dem von realen Gebäuden oder den Grenzwerten nach der Energieeinsparverordnung verglichen werden.<sup>7</sup>

Vermeidung einer Präzisionsmessung

Um die Wärmedämmung der von den Schülern gebauten Modellhäuser in einer Messung zu vergleichen, plane ich dem Vorschlag von Metzger zu folgen [26]: Die Idee, eine vorher bestimmte Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur einzustellen und dann im Gleichgewichtszustand die abgegebene Leistung abzulesen, scheint mir der realen Situation einer Gebäudeheizung und der Frage nach deren Energieverbrauch viel näher zu kommen als das Ablesen einer maximal erreichten Temperatur. Im ersten Fall fällt das Verständnis auch einfacher, weshalb die abgelesene (oder berechnete) Leistung ein Maß für die Güte der Wärmedämmung darstellt: Bei einer besseren Wärmedämmung fließt bei gleicher vorgegebenen Temperaturdifferenz pro Zeit weniger Energie in die Umgebung ab. Allein die Schwierigkeit des Vorgehens liegt dann im Einregelvorgang der Temperatur, der für ungeübte (und vor allem ungeduldige) Schülerinnen und Schüler nicht einfach vorzunehmen ist.<sup>8</sup>

Einregeln einer Temperatur anstelle Erreichung einer Maximaltemperatur

Der Bau der Modellhäuser soll durch die Schülerinnen und Schülern in Gruppen zu Hause geschehen. Ich werde jedoch dazu auffordern, die jeweiligen Konzepte vorher in der Klasse vorzustellen und diskutieren zu lassen. Der Materialverbrauch sollte sich in Grenzen halten; es dürfte häufig möglich sein, gebrauchte Verpackungen zum Einsatz zu bringen. Für die Verklebung von Hartschaummaterialien werde ich entsprechenden Klebstoff in der Schule bereithalten. Für den auch materiellen Einsatz soll auf der anderen Seite ein Anreiz existieren: Für die im Wettbewerb erfolgreiche Gruppe werde ich Gewinne bereithalten.

Bau in Heimarbeit; Gewinne für die Sieger

Die gewählten Abmessungen des Modellhauses sowie das experimentelle Vorgehen bei der Beheizung, der Temperaturregelung und Messung werden gesondert im Anhang dieser Arbeit vorgestellt und begründet (Kap. A.1 bis A.3). Mir ging es dabei vor allem darum, ein einfaches, günstiges, aber auch leicht nachvollziehbares Verfahren auszuwählen.

<sup>7</sup>Die Umsetzung dieses Vorhabens ist in dieser Unterrichtsreihe letztlich an der fehlenden Zeit gescheitert, nachdem ich mir bis zuletzt die Option offen gehalten habe.

<sup>8</sup>Eben daran soll auch dieses Vorgehen später in der Unterrichtspraxis scheitern.

# Kapitel 5

## Bericht über die Durchführung der Reihe

### 5.1 Übersicht über die Reihe

Die hier vorgestellte Unterrichtsreihe wurde im Zeitraum zwischen dem 24. Mai und 8. Juni 2004 gehalten. Die abschließende Leistungsüberprüfung fand am 14. Juni statt. Der reguläre Physikunterricht in der Klasse findet montags und dienstags statt. Da innerhalb der ins Auge gefassten Dreiwochenfrist eine Stunde am Montag wegen des Pfingstfeiertags ausgefallen ist, wurde am 3. Juni noch eine zusätzliche Stunde aus dem Kontingent der Klassenlehrerin „entliehen“. Die folgende Übersicht gibt die innerhalb der Reihe gehaltenen Stunden wieder, wie sie in den nachfolgenden Unterkapiteln näher vorgestellt werden:

	<b>Datum</b>	<b>Thema</b>	<b>Inhalte</b>
1	Montag, 24.5.04	Wärmeleitung	SExp, Theorie
2	Dienstag, 25.5.04	Konvektion	SExp, Theorie
3	Dienstag, 1.6.04	Wärmestrahlung, Vorstellung des Wettbewerbs	DExp
4	Donnerstag, 3.6.2004	Die Thermoskanne; Vorstellung der Schülerkonzepte	Theorie, SV
5	Montag, 7.6.04	Modellhauswettbewerb	SExp
6	Dienstag, 8.6.04	Siegerermittlung & Wiederholung	SExp, Theorie
7	Montag, 14.6.04	Schriftliche Überprüfung	

Tabelle 5.1: Übersicht über die innerhalb der Reihe gehaltenen Stunden. Es handelt sich jeweils um Einzelstunden.

## 5.2 Beschreibung der Einzelstunden

### 5.2.1 1. Stunde vom 24. 5. 2004: Wärmeleitung

#### Lernziele

Die Schüler sollen. . .

- erkennen, dass der wesentliche Teil des Energieverbrauchs eines Privathaushalts in Deutschland auf die Energie zum Heizen entfällt,
- erkennen, dass geheizt werden muss, weil Energie durch Wärmeleitung oder Konvektion nach außen gelangt, wenn es draußen kälter ist als drinnen,
- am Beispiel verschiedener Metalle die materialspezifische Wärmeleitfähigkeit kennenlernen (jedoch keine Herleitung oder Formel),
- verstehen, dass in der Modellvorstellung der Transport von Energie in Materialien durch Teilchenstöße erfolgt,
- im Ergebnis wissen, dass die Wärmeleitfähigkeit von Metallen höher ist als die anderer Festkörper, dass Flüssigkeiten die Wärmeenergie schlechter leiten als Festkörper und Gase die nochmals schlechteren Wärmeleiter sind. Styropor und ähnliche Feststoffe mit luftgefüllten Hohlräumen erreichen ähnlich geringe Wärmeleitfähigkeiten wie Luft.

#### Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	Zeit	Operation	Methode/Medien
1	8:40	<b>Einstieg:</b> Der Wert der Energie (Rückgriff auf die letzte Stunde) Energieverbrauch und Möglichkeiten der Energieeinsparung im Haushalt (Schülervorstellungen/Realität) Wo kann am meisten Energie eingespart werden? Warum muss ein Haus überhaupt geheizt werden? Wie gelangt die Energie nach draußen? Unterscheidung Konvektion/Wärmeleitung Wovon hängt ab, wieviel Energie durch die Wände abfließt?	LV Ug, TA, OH TA TA
2	8:50	<b>Erarbeitung:</b> Vergleichende Messung der Wärmeleitung in Kupfer und Eisen/Aluminium	SExp
3	9:10	<b>Auswertung:</b> Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten (Cu, Al, Fe, andere) Welcher der Stoffe leitet am besten die Energie? Was erwartet ihr von anderen Stoffen?	gUg
4	9:18	<b>Vertiefung:</b> Die Ursache der Wärmeleitung	LV, OH, TA
5	9:24	<b>HA:</b> Die Wärmeleitung im Detail (Text lesen)	AB

### Didaktische Überlegungen

Wärmeleitung,  
Wärmestrahlung,  
Konvektion

Weder der Lehrplan noch das eingeführte Schulbuch sehen die Phänomene der Wärmeübertragung explizit als Unterrichtsstoff vor (vgl. [4, 25], s. auch Kap. 4). Um eine solide theoretische Grundlage für die späteren praktischen Versuche zu legen, scheint es mir dennoch geraten, die drei Formen des (Wärme-) Energietransports systematisch nacheinander zu behandeln. Die gewählte Abfolge von Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion ist nicht zwingend, entspricht jedoch einer gewissen Tradition (vgl. [1, 29]). Die Konvektion erscheint mir im Unterricht am wenigsten zeitaufwändig zu sein, daher wurde sie an den Schluss des Einführungsteils gestellt, um in dieser dritten Stunde noch Zeit für die Aufgabenstellung des anschließenden Hausmodellbauwettbewerbs zu haben.<sup>1</sup>

Die Wärmeleitung ist ein alltägliches Phänomen: Metalle fühlen sich kalt an, Holz und andere Materialien empfinden wir beim Anfassen eher als warm. Die zugeführte Wärmeenergie der berührenden Hand wird einmal schnell weggeleitet, das andere Mal erwärmt sie das angefasste Material an der Berührungsstelle. Es wäre sicher möglich gewesen, die Schüler auf diesem Weg der eigenen Erfahrung an das Thema heranzuführen. Allein um den Anschluss an die zuletzt gehaltene Stunde zu wahren und gleichzeitig das Erstellen der Modellhäuser im zweiten Teil der Reihe zu motivieren, wurde ein anderer Zugang gewählt.

$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \lambda \frac{A}{d} \Delta \theta$   
 $\lambda$  : Wärmeleitfähigkeit  
des Materials

Die zentrale Erkenntnis der Stunde zur Wärmeleitung sollte sein, dass sich Energie durch einen Stoff hindurch bewegt, ohne dass sich das Material selbst beziehungsweise seine kleinsten Konstituenten über die entsprechende Strecke hinwegbewegen würden. Dieser Energietransport durch ein Material hindurch hängt pro Zeit in nahe liegender Weise von der Querschnittsfläche des Körpers und dessen Dicke ab. Dies müssten die Schüler eigentlich aus der Anschauung heraus verstehen, wenn auch nicht in eine Formel fassen können. Weiterhin ist der Energiestrom abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Enden des Körpers. Dies ist nicht unbedingt auf den ersten Blick einsichtig, soll aber auch nicht weiter thematisiert werden.<sup>2</sup> Wesentlich im Hinblick auf die Zielsetzung der Reihe scheint mir die starke Materialabhängigkeit der durch Wärmeleitung transportierten Energie zu sein. Schön wäre es daher gewesen, wenn es in der Umsetzung gelungen wäre, Metalle, andere Festkörper sowie Flüssigkeiten und Gase vergleichend messtechnisch zu erfassen. Da sich dies in der Umsetzung als nicht praktikabel erwies (vgl. methodische Bemerkungen), aber gleichzeitig zumindest

<sup>1</sup>Die Abfolge der Stunden wurde später gegenüber dieser ursprünglichen Planung verändert. Vgl. Anm. 4 S. 30.

<sup>2</sup>Obwohl man durch die Abhängigkeit des Energieverlustes von der Temperaturdifferenz auf die Energieeinsparmöglichkeit durch Senkung der Raumtemperatur zu sprechen kommen könnte, also die landläufige Regel der Kosteneinsparung von 7% bei einer Temperaturabsenkung um 1°C. Aber das Thema bietet gerade am Einstieg zu viele Möglichkeiten, als dass alle verfolgt werden könnten.

eine quantitative Messung stattfinden sollte, habe ich mich dafür entschieden, zumindest die leicht handhabbaren Metalle untereinander zu vergleichen. Denn auch zwischen den verschiedenen Metallen ergeben sich aus dem Versuch noch deutliche Unterschiede in der im gleichen Zeitraum transportierten Energie. Der Versuch wird allerdings quantitativ nicht weiter ausgewertet werden, und zwar aus Zeitgründen und weil die Schüler wie dargestellt (Kap. 2) sich nur wenig erfolgreich in der Handhabung von mathematischen Zusammenhängen zeigen. Gleichwohl werde ich den Schülern im Anschluss an den Versuch Wärmeleitfähigkeiten, ausgedrückt in der Größe  $\lambda$ , in einer vergleichenden Darstellung präsentieren. Dies sollte für die Anschauung und spätere Umsetzung in der praktischen Anwendung hinreichend verständlich sein.

Schließlich scheint es mir wichtig, auch kurz auf die Theorie hinter dem Phänomen der Wärmeleitung einzugehen. Die Modellvorstellung von einander anstoßenden Teilchen sollte sich für die Schüler als gleichermaßen tragfähig wie verständlich erweisen. Leider geht von den herangezogenen Lehrbüchern nur das Werk *Dorn · Bader* näher darauf ein [1, S. 244f.]. Allerdings ist die dort verwendete Formulierung „Den Energietransport durch Stöße bei der ungeordneten Teilchenbewegung nennt man Wärmeleitung“ nicht ganz glücklich gewählt, könnte man doch auf den ersten Blick dazu verleitet werden, die Teilchenbewegung anstelle der Stöße zwischen den Teilchen als Ursache des Energietransports anzusehen.

Durch Stöße von Teilchen wird Energie weitergegeben

### Methodische Überlegungen

Man hätte über eine Vielzahl von Stegreifexperimenten in das Thema Wärmeleitung einsteigen können. Beispielsweise lässt man mit einem Streichholz eine Münze erwärmen: Trotz gleicher Entfernung von der Flamme wird die Münze zwischen den Fingern eher heiss und zwingt zum Loslassen als das Streichholz. Man hätte ebenso die Stunde mit einer Vorstellung der Unterrichtsreihe und deren Zielsetzung beginnen können, etwa indem man ein energiesparendes „Passivhaus“ mit seinen Besonderheiten vorgestellt und nach deren Sinn gefragt hätte. Mit dem von mir gewählten Einstieg möchte ich zum einen an die vorangegangene Stunde anknüpfen. Dort wurde die Ungleichwertigkeit der Energieformen behandelt und von der Unumkehrbarkeit gewisser Prozesse gesprochen. Sinngemäß ging es demnach um den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, wonach bei irreversiblen Prozessen die Entropie des Universums ansteigt. Dabei hat das eingeführte Lehrbuch, an dem ich mich orientierte, den Begriff Entropie erwartungsgemäß vermieden [4, S. 238]. In jedem Fall erscheint es mir sinnvoll, die Problematik in dieser Stunde nochmals aufzugreifen und die Minderwertigkeit „entwischener“ Wärmeenergie zum Ausgangspunkt der Überlegungen zu machen: Wie können wir vermeiden, dass Energie nutzlos verloren geht? Wo können wir im Haushalt Energie einsparen? Dieser Einstieg soll zum anderen auch

Einstieg:  
Anknüpfung an die vergangene Stunde

dem weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe den Weg ebnen. Die zum Heizen benötigte Energie stellt den mit Abstand größten Anteil der in Privathaushalten verbrauchten Energie dar. Hier mit der Einsparung anzusetzen ist sinnvoll und bedeutet bildlich gesprochen, die Energie auf ihrem Weg aus dem Haus nach draußen aufzuhalten, sich also um die Wärmedämmung zu kümmern.

Erarbeitung:

Auswahl eines Versuchs zur Demonstration der Wärmeleitung

Um die Wärmeleitung verschiedener Materialien vergleichend im Experiment zu zeigen, gibt es verschiedene etablierte Versuchsaufbauten. So bietet die Firma PHYWE eine Vorrichtung mit drei waagrecht von einem zentralen, durch eine Flamme erhitzten Punkt ausgehenden unterschiedlichen Metallstreifen an. Auf den nach oben umgebogenen Enden der Bleche liegen Streichhölzer auf, die sich je nach Metall zu unterschiedlichen Zeiten entzünden sollen. Abgesehen davon, dass im Vorversuch die Streichhölzer eher vom Fuß her verschmorten, als dass sie sich am Kopf entzündeten, gilt für diesen Versuch wie für die meisten anderen die Kritik von Dahncke [10]: Gezeigt wird strenggenommen die Temperatur- und nicht die Wärmeleitfähigkeit des Materials. In besonderem Maße trifft dies auch auf einen Versuch zu, wie ihn die Firma Leybold anbietet (Abb. 5.1): Der Versuch zeigt im direkten Vergleich sichtbar und fühlbar die Temperaturleitfähigkeit verschiedener Stäbe gleicher Dicke und Länge aber unterschiedlichen Materials.

□

Abbildung 5.1: Versuch der Firma LEYBOLD zum Vergleich der Wärmeleitung verschiedener Feststoffe. Das Reservoir wird mit heißem Wasser gefüllt, an den Stäben kann die Temperatur gefühlt und durch Thermopapier sichtbar gemacht werden [Abbildung: Gebrauchsanweisung 389 031 der Fa. LEYBOLD].

Mein ursprüngliches Ziel war es, in einem Versuch zumindest qualitativ die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Gasen, Flüssigkeiten, Metallen und anderen Festkörpern vergleichend zu zeigen und damit verschiedene Materialien in Bezug auf ihre Einsetzbarkeit als Wärmedämmstoffe diskutieren zu können. Scuffil

schlägt einen solchen, auf den ersten Blick sehr einfachen und sinnvollen Versuch vor [27]: Dabei werden mit heißem Wasser gefüllte Bechergläser in ein größeres, mit kaltem Wasser gefülltes Becken gestellt. Eines der Gläser steht direkt in kaltem Wasser, ein anderes ist, durch ein weiteres Gefäß abgetrennt, von einer Luftschicht umgeben. Tatsächlich findet in dem von Wasser umgebenen Becherglas recht schnell ein Temperatúrausgleich mit dem umgebenden kalten Wasser statt, während das von Luft isolierte Glas länger warm bleibt. Um auch eine Isolationsschicht aus einem festen Stoff mit in den Vergleich einzubeziehen, habe ich den Versuch abgewandelt aufgebaut und probeweise durchgeführt (Abb. 5.2). Auch nach mehrfacher Durchführung und einigen Änderungen im Aufbau brachten die Messungen jedoch keine Ergebnisse, die als Demonstration der Wärmeleitung hätten dienen können (vgl. Tab. 5.2).

Sollten Festkörper in der Theo-



rie sich als relativ gute Wärmeleiter erweisen und Wasser, wie Scuffil schreibt, „ein schlechter Wärmeleiter sein“ [27, S. 32], so beweist der Versuch auf den ersten Blick das Gegenteil. Die Ursache hierfür dürfte in der beträchtlichen Wärmekapazität der Isolationsmaterialien liegen. Bevor im

Falle der Isolierung aus Sand bzw. Wasser überhaupt eine Wärmeleitung durch das Material hindurch erfolgen kann, muss sich erst in dem Material ein entsprechender Temperaturgradient einstellen. Weiterhin gilt der Grundsatz, dass in Flüssigkeiten und Gasen neben der Wärmeleitung stets auch Konvektion auftritt. Die durch Konvektion in Luft und Wasser transportierte Energie liegt normalerweise deutlich über der durch Wärmeleitung in diesen Medien transportierten Beträge [10].

Im Ergebnis habe ich davon Abstand genommen, die Wärmeleitung in festen, flüssigen und gasförmigen Materialien vergleichend darzustellen. Man hätte sich an dieser Stelle

Zeit $t$ in min	$T$ in °C Isolierung Luft	$T$ in °C Isolierung Wasser	$T$ in °C Isolierung Sand
0	21,8	22,5	23,1
1	22,6	23,8	23,5
4	24,3	34,4	24,2

darauf beschränken können, die Wärmeleitung jeweils getrennt in kleinen Stegreifversuchen für jeden Aggregatzustand zu zeigen, beispielsweise indem Wasser in einem Reagenzglas am oberen Ende durch eine Flamme zum

Sieden gebracht wird, ohne dass ein Eiswürfel am Boden schmilzt. Derartige Versuche verdeutlichen aber nur wenig die unterschiedliche Wärmeleitung der Materialien. Daher werden die Schüler in der Erprobungsphase Schülerversuche der Firma LEYBOLD durchführen, die die Wärmeleitung verschiedener Metalle sinnvoll miteinander vergleicht. Die Versuche funktionieren sehr gut, der Nachteil liegt im relativ großen Zeitaufwand für Aufbau und Abbau der Versuche, sowie in der nicht ganz außer Acht zu lassenden Unfallgefahr durch Brenner und heiße Metallteile. Weiterhin kann man dem Versuch vorwerfen, dass er zwar korrekt die Wärmeleitung durch verschiedene Metalle zeigt, dass aber im Hinblick auf das Thema Wärmedämmung niemand ernsthaft in Erwägung ziehen würde, Metalle als Dämmstoffe einzusetzen. Letztlich verbleibt eine Abwägung: Um die Schüler selbst aktiv werden und ein Experiment mit Messung durchführen zu lassen, habe ich mich für den Schülerversuch entschieden.

Da der Versuch im Wesentlichen nur

einen qualitativen Vergleich von Kupfer, Aluminium und Eisen bietet, ist keine längere Auswertung nötig. Ich werde daher an dieser Stelle lediglich den besten und den schlechtesten Wärmeleiter benennen lassen und die Schüler dann auffordern, andere Materialien verglei-

Tabelle 5.2: Messwerte für den Versuch zur Wärmeleitung von Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern. Aus dem Impuls der Vergleichsreihe, 2010

Auswertung:

Nur qualitative Einordnung, Vergleich von Literaturwerten

chend hierzu einzuordnen. Der Einschätzung der Schüler werde ich eine Tabelle mit den Literaturwerten der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien gegenüberstellen. Indem sie sich zumindest in der Messung für die Metalle bestätigt finden, sollten sie auch die übrigen Angaben nachvollziehen können. Ich werde nur kurz im Lehrervortrag auf die korrekte Definition der Größe  $\lambda$  und ihre Einheit eingehen. Da keine weiteren Rechnungen mit dieser Größe vorgesehen sind, genügt die Anschauung der relativen Größen. Anstelle einer Sicherung werden aus Zeitgründen die Schüler die Tabelle als Kopie am Ende der Stunde zusammen mit den Hausaufgaben bekommen.

Vertiefung und Hausaufgabe:  
Modellvorstellung zur Wärmeleitung

Zuvor jedoch möchte ich, sofern es aus Zeitgründen noch möglich ist, auf die theoretische Modellvorstellung für die Wärmeleitung eingehen. Dies wird weitestgehend im Lehrervortrag erfolgen müssen. Um die Anschauung zu erleichtern, werde ich eine Folie einsetzen, wenngleich ich sie als nicht völlig gelungen einschätze (Abb. B.1). Da ich den Lehrervortrag am Ende der Stunde bezüglich seiner Nachhaltigkeit trotz eines ergänzenden Tafelaufschriebs eher geringschätze, mir die Theorie aber gleichwohl wichtig erscheint, sollen die Schüler sich die Modellvorstellung nochmals zu Hause durch die Lektüre eines Textes aneignen, den ich mit erklärenden Anmerkungen versehen einem Physiklehrbuch entnommen habe. Um sicherzustellen, dass der Text auch wirklich gelesen wird, habe ich ihm zwei einfache Fragen beigefügt.

### Tatsächlicher Verlauf der Stunde

Ein Grundproblem der Stundenplanung am Gymnasium zu St. Katharinen in Oppenheim – möglicherweise aber auch an anderen Schulen – liegt darin, dass die Stunde nicht aus 60 Minuten besteht, wie man sich das als (Physik-)Lehrer oft wünscht, und auch nicht aus den nominell bereitstehenden 45 Minuten. Durch die Nichtexistenz von 5-Minuten-Pausen und dem nötigen Raumwechsel der Schüler verbleiben de facto mit aller Regelmäßigkeit nur noch knapp 40 Minuten für eine Schulstunde. Sollte man dementsprechend Verlaufspläne erst 5 Minuten nach dem formellen Stundenbeginn einsetzen lassen? Ich bin an dieser Stelle dazu übergegangen, die Einstiegsphase in Nicht-Lehrproben-Stunden mit 10 anstelle von 5 Minuten einzuplanen. Trotzdem war der Plan für diese Stunde offenbar zu knapp kalkuliert: Zum Lernschritt 3, der gemeinsamen Auswertung der Versuche kam es nach Abbau der Versuche erst gut 5 Minuten vor Stundenende. Die geplante Vertiefung im 4. Lernschritt und die Sicherung im Tafelanschrieb mussten daher auf die Hausaufgaben beziehungsweise die nächste Stunde aufgeschoben werden.

Zeitknappheit – ein Grundproblem?

Der Einstieg in die Stunde gelang meiner Einschätzung nach recht gut, das heisst für die Schüler motivierend. Die Frage nach dem Energieverbrauch eines Einfamilienhaushalts stieß auf einige Resonanz, wenngleich die Antworten der Schüler untereinander teils widersprüchlich waren. Aber dies war ja auch konzeptuell gewünscht. Überraschend eindeutig jedenfalls identifizierten die Schüler die Raumheizung als den größten Energieverbraucher im Haushalt. Bereits bekannt oder intuitiv klar war den Schülern dann auch, dass Häuser deshalb geheizt werden müssen, weil (Wärme-)Energie durch Wände, Decken, Türen und Fenster verloren geht. Wovon dieser Energieverlust pro Zeit abhängt, wollte ich im nächsten Schritt wissen und war dann über die Antworten der Schüler äußerst positiv überrascht: Die Wanddicke und Fläche sowie das Material wurden sofort als Einflussgrößen genannt. Allein bei der Temperatur bedurfte es meiner Aufforderung nach Präzisierung, bevor dann aber auch bald Sabrina die Temperaturdifferenz zwischen außen und innen als entscheidende Größe nannte. Bis zu diesem Punkt gab es keine größere Verzögerung gegenüber dem geplanten Ablauf der Stunde, und auch im Nachhinein würde ich daher das Vorgehen so weit als didaktisch richtig und methodisch gelungen bezeichnen.

Einstieg und Hinführung: wichtig und gelungen

Die Schwierigkeiten, die das Zeitgerüst der Stunde umwarfen, traten dann vor allem während der Erarbeitungsphase in den Schülerversuchen auf. Es stellte sich heraus, dass die Klasse noch nie zuvor mit dem zur Verwendung als Stativmaterial kommenden Mechanik-Grundkasten der Schülerübungen gearbeitet hatte. Da ich selbst in der fünften und achten Klasse bereits mehrfach im eigenen Unterricht auf das Material zurückgegriffen habe, erstaunte mich dieser Sachverhalt doch sehr. Einige Gruppen taten sich sichtlich schwer mit dem Zusammenstecken der Stativstangen und Halter.

Probleme bei Versuchsdurchführung: Folge mangelnder Lesekompetenz?

Sodann trat einmal mehr ein mir bereits bekanntes Problem auf: Die Schüler begannen teilweise voller Ungeduld bereits mit der Versuchsdurchführung, ohne sich jedoch zuvor die Aufgabenstellung durchgelesen zu haben, das heisst ohne konkret die Anfangstemperaturen gemessen und die Endtemperatur errechnet zu haben. Andere hatten schon zuvor infolge ungenügender Berücksichtigung der Aufbauanleitung zwei gleichartige Metallstäbe parallel in ihren Aufbau eingesetzt, die dann wieder anderen Gruppen fehlten. Dass Anleitungen oder Aufgabenstellungen nicht oder nur oberflächlich von den Schülern gelesen werden, habe ich bereits früher in dieser aber auch in anderen Klassen feststellen müssen. Ich habe darauf reagiert, indem ich die Hinweise dem Umfang nach bereits deutlich reduziert habe.<sup>3</sup> Um Unklarheiten bei der Wahl des Materials zu beseitigen, hatte ich zudem in dieser Stunde vor dem Austeilen der Versuche am Schrank die benötigten Utensilien aufgezählt und vorgezeigt. Letztlich könnte ich soweit gehen, den Schülern einen vorgefertigten Versuchsaufbau vorzusetzen, aber der Unterricht sollte die Schüler doch auch zu einer gewissen Eigenständigkeit erziehen und anleiten. Man wird die Schüler daher nicht davon entbinden können, zukünftig Arbeitsaufträge genauer zur Kenntnis zu nehmen. Möglicherweise sollte man für eine Übergangszeit darauf bestehen, die Hinweise vor Versuchsbeginn nochmals verlesen zu lassen, auch wenn dies einer neunten Klasse eigentlich nicht mehr angemessen erscheint. Letztlich macht sich hier ganz buchstäblich eine Art mangelnder Lesekompetenz bemerkbar, wie sie in letzter Zeit häufig beklagt wurde, wobei es weniger an der Fähigkeit als vielmehr an der selbstverständlichen Bereitschaft zum Lesen fehlt.

Mögliche Sicherheitsrisiken vermeidbar

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass sich während des Versuchsaufbaus noch ein weiteres, sicherheitsrelevantes Problem ergab: Bei einigen Kombinationen aus Thermometer und Gummistopfen ließen sich erstere nur sehr schwer in die Öffnungen der vorgesehenen Stopfen schieben. Möglicherweise bestand Bruchgefahr, was nicht ungefährlich war, zumal es sich bei wenigen Thermometern noch um quecksilbergefüllte Geräte handelte. Letztlich waren genügend geeignete Thermometer-Stopfen-Kombinationen für alle Gruppen verfügbar. Im Nachhinein würde ich jedoch die Anleitung so gestalten, dass die Schüler aufgefordert wären, die Thermometer mit der Hand in die Flüssigkeiten zu halten. Dies wäre auch von daher sinnvoll, dass sich dann die Temperaturen einfacher ablesen lassen, was so durch die Stopfen teilweise behindert war.

Gute Schülerbeiträge während der Auswertung

Leider konnten aus Zeitmangel nicht alle Gruppen ihren Versuch beenden. Das Versuchsergebnis war jedoch auch aus den Beobachtungen bei den nur begonnenen Versuchen letztlich für alle nachvollziehbar. Zumindest dass Kupfer von den drei beteiligten Metallen die beste Wärmeleitfähigkeit besitzt, hatten alle Schüler erkannt. Ich hätte mir an dieser Stelle mehr Zeit

<sup>3</sup>Die von der Firma LEYBOLD für den Versuch bereitgestellte Anleitung erstreckt sich über 2 DIN A 4 Seiten und ist in 18 Teilaufgaben unterteilt.

gewünscht, um vielleicht die vollständigen Ergebnisse nochmals für alle zum Vergleich an die Tafel zu bringen. Die Überleitung von der konkreten Versuchsauswertung zur Betrachtung der Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Materialien, wie ich sie auf einer Folie zusammengestellt hatte (B.1), gelang dann wieder recht zwanglos. Wirklich überrascht war ich dann wieder über die sehr gute Antwort von Sabrina auf meine Frage, bei welchen Materialien man in der Zusammenschau eine höhere und wo eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit feststellen könnte. Sabrina hatte noch ehe ich die Folie aufgelegt hatte in der hinten im Schulbuch abgedruckten Tabelle die Einzelwerte verglichen und daraus den Schluss gezogen, dass eine höhere Wärmeleitfähigkeit im Regelfall mit einer höheren Dichte korrespondiere. Ich habe sie für ihre Meldung gelobt, dann aber weiter hinterfragt, weshalb bei annähernd gleicher Dichte bei Granit und Beton auf der einen Seite und Aluminium, Eisen und Kupfer auf der anderen Seite so unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten aufgelistet sind. Auch hier konnte ein anderer Schüler rasch feststellen, dass Metalle sich offensichtlich durch besonders gute Wärmeleitfähigkeit auszeichneten. An dieser Stelle war dann auch leider schon das Ende der Stunde erreicht. Der erklärende Text, wie Wärmeleitung mikroskopisch funktioniert und weshalb sich Metalle als die besseren Wärmeleiter erweisen, konnte sich dennoch sinnvoll als Hausaufgabe anschließen. Das Tafelbild muss darauf aufbauend in der nächsten Stunde vervollständigt werden.

Man kann sich rückblickend auf diese Stunde auch in Abwägung der im Vorfeld gemachten Überlegungen fragen, ob es sinnvoll war, einen zeitaufwändigen Schülerversuch in das Zentrum der Stunde zu stellen. Es gibt ein entscheidendes Argument, das für den Schülerversuch spricht: die Begeisterung mit der sich die Klasse auf die Versuche eingelassen und das ernsthafte Interesse mit der sie Messung und Auswertung verfolgt hat. Schon unmittelbar nachdem ich die Schülerversuche angekündigt hatte, drückten die Schüler verbal ihre Begeisterung aus, als es dann darum ging, die Versuche vor dem Austeilen der Gerätschaften noch kurz zu erklären, waren einige Schüler *und* Schülerinnen schon kaum mehr auf ihren Plätzen zu halten. Mir liegt viel daran, diese Begeisterung für die Physik und hier für die Aktivität in Versuchen zu erhalten. Ich musste eben auch erleben, wie ungerne sich die Klasse mit den mathematischen Anteilen im Physikunterricht auseinandersetzt. Man kann keine Seite völlig ausblenden; jedoch kann man wohl in der Sekundarstufe I, wo es nicht zuletzt auch darum gehen muss, Nachwuchs für die Naturwissenschaften in der Oberstufe und im Studium zu requirieren, den Schülern in ihren Vorlieben weitestgehend entgegenkommen.

Begeisterung für  
Schülerversuche

### 5.2.2 2. Stunde vom 25. 5. 2004: Konvektion<sup>4</sup>

#### Lernziele

Die Schüler sollen...

- die Modellvorstellung von der Wärmeleitung verstanden haben und gute und schlechte Wärmeleiter benennen können,
- im Versuch beobachten, wie sich erwärmte Luft- und Wassermassen in kühlerer Umgebung verhalten,
- den selbst aufgebauten Versuch beschreiben und eine Ursache für die Beobachtung formulieren können,
- am Ende der Stunde verstanden haben, dass bei der Konvektion der Energietransport auf Materietransport beruht,
- in der Hausaufgabe lernen, wie beim Hausbau Konvektion verhindert werden kann.

#### Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	Zeit	Operation	Methode/Medien
1	9:40	<b>Wiederholung und HA-Besprechung:</b> Modellvorstellung für die Wärmelehre Was ist Wärmeleitung? Warum leiten feste Stoffe besser die Wärmeenergie als gasförmige Stoffe? Warum leiten Metalle besonders gut die Wärmeenergie? Welche Materialien/Materialkombinationen bieten sich als Isolationsmaterialien an?	gUg TA
2	9:50	<b>Einstieg:</b> Motivation durch Harlekinfigur als Zugluftbremse Was ist das und wozu dient das? Diese Stoffpuppe löst bei mir zu Hause im Winter ein Problem, welches?	Stofffigur
3	9:55	<b>Erarbeitung:</b> Schülerversuche zur Konvektion in Wasser und Luft Erwärmte Luft dreht ein Flügelrad; heißes, gefärbtes Wasser strömt durch einen Glaskolben	SExp
4	10:10	<b>Auswertung/Sicherung:</b> Zusammenfassung der Beobachtungen im Tafelanschrieb Was konntet Ihr beobachten? Wie wird hier Wärmeenergie transportiert? Warum funktioniert das so?	gUg, TA
5	10:20	<b>Vertiefung:</b> Auflösung der Motivation (Harlekinfigur) Wie vermeidet man in der Praxis wirksam Konvektion in Haus/Wohnung/beim Bauen? Hinweise zu Luftabdichtung und zu Dichtheits-tests im Hausbau	OH-Folie LV, OH-Folie
6	10:24	<b>HA:</b> Lesen von Kapiteln 6 und 7 in [9], Fragen	Broschüre, AB

<sup>4</sup>Da aus der ersten Stunde der Reihe vom 24. 5. noch umfangreichere Nachträge zu machen sind, habe ich mich dazu entschlossen, die Themen der 2. und 3. Stunde entgegen der ursprünglichen Planung zu tauschen. Das voraussichtlich einfachere und daher schneller abzuhandelnde Thema Konvektion wird daher auf diese 2. Stunde vorgezogen.

### Tatsächlicher Verlauf der Stunde

Die Stunde vom 25. Mai würde ich im Nachhinein als eine gelungene Stunde bezeichnen. Glücklicherweise, als dass sowohl die Schüler als auch ich als Lehrer Freude am Unterricht empfanden. Damit möchte ich nicht behaupten, eine didaktisch oder methodisch besonders ausgereifte Stunde geplant oder gehalten zu haben. Eine gut geplante Stunde kann ein Gerüst für einen erfolgreichen Unterricht sein. Aber noch immer muss ich leider täglich in anderen Klassen erleben, wie unermügend für sich genommen dieser Aufbau ist. Ein solides Fundament in Form eines toleranten und respektvollen Verhältnisses zwischen Schülern und Lehrern ist das entscheidende Kriterium, ohne das ein Unterricht nicht gelingen kann.

Das erfolgreiche Gelingen knüpft sich im Vergleich zur vorherigen Stunde formal daran, dass die Planung und hier insbesondere die Zeitvorgaben in der Stunde umgesetzt werden konnten, ohne dass die Schüler dadurch über- oder unterfordert wurden.

Dies findet seinen Grund vor allem darin, dass der gewählte Schülerversuch diesmal einfach und unkompliziert aufzubauen war. Die Anleitung konnte kurz gehalten werden, so dass auch hier keine Missverständnisse entstehen konnten. Die Durchführung verzichtete auf eine Messung und beschränkte sich auf die Beobachtung des Phänomens der Konvektion. Die gewonnene Zeit konnte im Anschluss für eine analysierende Besprechung und Sicherung des Beobachteten genutzt werden.

Der Einstieg in das Thema zuvor gelang motivierend (eine Schülerin erkannte die Funktion der Figur) und konnte später wieder aufgegriffen werden, als es um die Umsetzung der neu gewonnenen Erkenntnisse über Konvektion in der Bauphysik ging. Hier wurde allerdings auch deutlich, dass einige Schüler noch nicht scharf zwischen den beiden bisher behandelten Phänomenen Wärmeleitung und Wärmeströmung differenzierten: Auf die Frage, wie Energieverlust durch Konvektion im Hausbau vermieden werden könne, erhielt ich die Antwort, dies könne durch Dämmung mit Glaswolle geschehen. Hier bedurfte es meiner Klarstellung, dass diese Materialien sich primär durch geringe Wärmeleitung auszeichneten, dabei aber nicht luftundurchlässig seien. Möglicherweise ist in diesem Punkt die Wiederholungsphase am Beginn der Stunde zum Thema der Wärmeleitung zu forciert erfolgt. Die Schüler schienen mir hier allerdings auch die schwierigeren Sachverhalte im Zusammenhang mit der guten Wärmeleitfähigkeit von Metallen aus der Hausaufgabe durchaus verstanden zu haben.

Zum Ende der Stunde nahmen die Schüler dann willig die Broschüren in Empfang, in denen sie sich über die praktische Wärmedämmung bei Hausbau- und Renovierung informieren sollen. Insgesamt stimmte diese Stunde zuversichtlich für den weiteren Verlauf der Reihe, insbesondere unter dem

Eine gelungene Stunde?

Kompakter Versuch beschränkt sich auf Beobachtung

Abbildung 5.4: Ein besonders kreativer Versuchsaufbau von Schülern zum Thema Konvektion in Wasser und Luft.

Schwierigkeiten bei der Differenzierung Wärmeleitung/Konvektion

Aspekt der hohen Motivation der Klasse.



### 5.2.3 3. Stunde vom 1. 6. 2004: Wärmestrahlung

#### Lernziele

Die Schüler sollen...

- erkennen, dass die Sonne direkt oder indirekt Quelle fast aller Energie auf der Erde ist,
- begreifen, dass die Energie auf ihrem Weg von der Sonne zur Erde das praktisch materiefreie Weltall durchquert, dass folglich weder Konvektion noch Wärmeleitung diesen Energietransport erklären können,
- aus einem Versuch ableiten, dass heiße Körper Wärmestrahlung und bei noch höheren Temperaturen Licht aussenden; beide Strahlungsarten durchdringen auch luftleeren Raum,
- von der Idee ausgehend, dass auch auf Wärmestrahlung die Gesetze der Optik anwendbar sind, einen Versuchsaufbau entwickeln, der Wärmestrahlung bündelt und so zur Energiegewinnung nutzbar macht,
- im Anschluss daran erkennen, dass sich im Hinblick auf Anwendungen in der Wärmedämmung spiegelnde Metallfolien als Reflektoren für Wärmestrahlung eignen.

#### Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	Zeit	Operation	Methode/Medien
1	9:40	<b>HA-Besprechung:</b> Sicherstellen, dass die Broschüre gelesen wurde	gUg
2	9:45	<b>Einstieg:</b> Der Weg der Energie von der Sonne zur Erde „Woher stammt die Energie, die wir verbrauchen?“ „Wie gelangt die Energie von der Sonne zur Erde?“ Konvektion und Wärmeleitung ausschließen	gUg  TA
3	9:50	<b>Erarbeitung:</b> Die Energieabstrahlung einer Glühlampe „Das Innere einer Glühlampe ist (in einigen Fällen) evakuiert, was beobachten/fühlen wir bei Erhöhung der zugeführten Energie pro Zeit?“	DExp  TA
4	10:05	<b>Bewährung:</b> Gesetze der Optik für Wärmestrahlung „Wie lässt sich Wärmestrahlung nutzen?“ Skizzierung des Strahlengangs, Vorhersage des Brennpunkts, Verifizierung im Experiment	gUg AB, StA, DExp
5	10:17	<b>Vertiefung:</b> Reflexion verhindert Durchgang von Wärmestrahlung	gUg
6	10:20	<b>HA/Ausblick:</b> Vorstellung des Konzepts für den Modellhausbauwettbewerb, Einteilung in Gruppen; HA: Überlegen eines Konzepts	LV, AB

### Didaktische Überlegungen

Stefan-Boltzmann-  
Gesetz:

$$P_{\text{emitt.}} - P_{\text{absorb.}} = \epsilon \sigma A (T_{\text{Oberfl.}}^4 - T_{\text{Umg.}}^4)$$

Man kann sich fragen, ob es überhaupt sinnvoll ist, in einer Unterrichtseinheit zum Thema der Wärmedämmung mit dem angestrebten Praxisbezug zur Bauphysik die Wärmestrahlung zu behandeln. Der Energiestrom, der durch elektromagnetische Strahlung netto von der Oberfläche eines Körpers emittiert wird, hängt wesentlich von der Temperaturdifferenz der Oberfläche gegenüber ihrer Umgebung ab. Gelingt es demnach, die Wärmeleitung durch eine Wand gering zu halten, so bewirkt dies gleichzeitig eine geringe Energieabstrahlung.<sup>5</sup> Spezifische Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverlustes durch Strahlung werden daher meines Wissens nach in der Bauphysik nicht getroffen; der  $U$ -Wert ( $k$ -Wert) berücksichtigt den Energiestrom in Form von Wärmestrahlung nicht [35]. Auf der anderen Seite findet allerdings Thermographie, also die Messung von Wärmestrahlung zur Aufdeckung beispielsweise von Wärmebrücken, in der bautechnischen Praxis Verwendung.

Für mich stand bei meiner Entscheidung, der Wärmestrahlung zumindest eine kurze Betrachtung innerhalb der Reihe zu widmen, der Gedanke einer systematisch vollständigen Behandlung der (Wärme-)Energietransportprozesse im Vordergrund.<sup>6</sup> Das Gebiet der elektromagnetischen Strahlung zu betreten, birgt dabei die Gefahr, sich eigentlich sehr intensiv und zeitaufwändig damit beschäftigen zu müssen. Wenn man nach der Verwandtschaft zwischen Licht und Wärmestrahlung und der temperaturabhängigen Emission beziehungsweise Absorption fragt, gelangt man zur spektralen Energieverteilung, deren Deutung erst durch die Quantenmechanik gelingt. Ziel im Mittelstufenunterricht muss es daher sein, die bekannten Phänomene zu deuten ohne dabei zu sehr ins Detail zu gehen.

Wärmestrahlung und  
Licht transportieren  
Energie auch durch  
materielosen Raum

In dieser Stunde soll im Wesentlichen, gezeigt werden, dass Strahlung eine Form des Energietransports ist. Diese Strahlung kann im sichtbaren Bereich (Licht) oder im unsichtbaren Bereich (Wärmestrahlung) auftreten. Die Intensität der Strahlung nimmt mit steigender Temperatur des strahlenden Körpers zu; Licht entsteht neben unsichtbarer Wärmestrahlung, wenn eine gewisse Temperatur überschritten wird. Nicht explizit näher eingehen möchte ich dagegen wie angedeutet auf den unterschiedlichen Emissionsgrad

<sup>5</sup>Anne Scuffil argumentiert in der Begründung des Vorgehens in ihrer Unterrichtsreihe anders: Wärmestrahlung spiele beim Niedrigenergiehaus eine wesentliche Rolle, nur Wärmeströmung könne vernachlässigt werden. Sie schlägt deshalb umfangreiche Messungen zum Absorptions- und Abstrahlverhalten von Körpern vor [27]. Ich kann dieses Vorgehen insofern nachvollziehen, als dass der sogenannte Treibhauseffekt durch die Messungen Erklärung findet: Sichtbares Licht durchdringt Glas, für emittierte Wärmestrahlung dagegen ist Glas undurchsichtig. Aus gerade diesem Grund machen aber auch Scuffils Versuche, die beweisen sollen, dass ein dunkler Körper mehr Energie pro Zeit abstrahlt als ein heller, wenig Sinn: Bei den relevanten Temperaturen strahlen die Körper eben gerade nicht im sichtbaren Bereich ab; ob hell oder dunkel spielt in der Praxis bei der Emission keine Rolle, wie auch Versuche mit dem Lesiewürfel sehr eindrucksvoll zeigen.

<sup>6</sup>Vgl. hierzu die knappe aber vollständige Darstellung der (Wärme-)Energietransportphänomene im Lehrbuch *Dorn-Bader*, die meiner Vorstellung sehr nahe kommt [1, S. 244f.].

verschiedener Oberflächen. Es wird in dieser einen Stunde auch kein formelhafter Zusammenhang, der die Energieabstrahlung beschreibt, hergeleitet oder eingeübt werden können.

Sinnvoll erscheint es mir dagegen die Sonnenenergie, die vollständig in Form von Strahlung zur Erde gelangt, zentral in den Mittelpunkt der Stunde zu stellen. Es stellt sich für uns die Frage, wie diese Energie praktisch genutzt werden kann. Eine Möglichkeit besteht darin, große Glasflächen nach Süden zu orientieren, die Energie in Form von sichtbarem Licht hinein, aber Wärmestrahlung nicht nach außen gelangen lassen. Fällt die Sonneneinstrahlung jedoch weg, so bilden Glasscheiben vergleichsweise gute Wärmeleiter und von der warmen Glasoberfläche wird Energie nach außen abgestrahlt. Dieser Aspekt erscheint mir daher zu komplex, um ihn in einer Stunde zu betrachten. Einfacher ist es wohl, durch das Aufgreifen der Vorkenntnisse der Schüler aus der Optik die Strahlung in einem Punkt zu bündeln und zu beobachten, wie sie eine Temperaturerhöhung bewirkt. Dies beweist, dass Strahlung Energie transportiert und die Anwendung liegt auch nahe: Sonnenkollektoren bündeln die eingestrahlte Energie auf kleine Bereiche und machen sie zur Warmwasserbereitung in thermischen Solaranlagen nutzbar.

Anwendung:  
Thermische Solaranlagen

### Methodische Überlegungen

Da das als Hausaufgabe zu lesende Informationsmaterial der DEUTSCHEN ENERGIE-AGENTUR sehr umfangreich war, hatte ich zusätzlich einfache Verständnisfragen aufgegeben, deren Beantwortung sich unmittelbar aus dem Text der ausgewählten Kapitel ergab. Mit den Fragen wollte ich bewirken, dass die Texte nicht zu oberflächlich oder überhaupt nicht zur Kenntnis genommen würden. Die Fragen sollten daneben auch den Bezug zu den im Unterricht behandelten Aspekten hervorheben. Vor diesem Hintergrund erscheint es mir sinnvoll, die Beantwortung der Fragen am Beginn der Stunde im Unterrichtsgespräch vergleichend sicherzustellen.

HA besprechen:  
die Kenntnisnahme der Broschüren sicherstellen

Der Einstieg in das Thema der Stunde wird im engeren Sinne nicht problemorientiert erfolgen. Es soll vielmehr darum gehen, dass Naturphänomen der Sonnenstrahlung gedanklich zu analysieren und zu erkennen, dass hier Energietransport stattfindet, der sich weder durch Wärmeleitung noch durch Wärmeströmung erklären lässt. In gewissem Sinne ergibt sich hieraus das Problem, eine andere Erklärung für dieses Phänomen finden zu müssen. Ob sich die Physik durch diese Erkenntnis für die Schüler als nützlich erweist und der Unterricht damit strenggenommen einem problemorientierten Ansatz folgt, sei dahingestellt. Ich halte die Suche nach einer Erklärung von Naturerscheinungen für einen durchaus sinnvollen Anknüpfungspunkt für den Physikunterricht, zumal es sich in diesem Fall anbietet, die Ergebnisse der vergangenen Stunden nochmals zu rekapitulieren.<sup>7</sup>

Erklärung eines Naturphänomens als problemorientierter Einstieg?

<sup>7</sup>In Wagenscheins *genetischem* Vorgehen bilden Naturerscheinung typischerweise die *Exposition* an der Stelle eines Unterrichtseinstiegs. Nur dass die von ihm propagierte Me-

Alternative Versuchsaufbauten in der Erarbeitungsphase

Wärmestrahlung im Unterricht darzustellen, erweist sich als nicht einfach. Nicht nur dass die Strahlung im infraroten Bereich und damit für das Auge unsichtbar stattfindet. Es mangelt darüber hinaus auch an geeigneten Nachweisgeräten. Zumindest besitzt das Gymnasium zu St. Katharinen keine Thermosäule, wie sie sonst zum Nachweis von Wärmestrahlung eingesetzt wird. Somit scheidet auch der Einsatz eines sogenannten *Leslie*-Würfels aus, mit dem üblicherweise die Abstrahlung von Energie eines warmen Körpers gezeigt wird. Allein mit einem empfindlichen Thermometer als Nachweisgerät, ergeben sich keine aussagekräftigen Differenzen zwischen den unterschiedlichen Seiten des Würfels.<sup>8</sup>

Unter den in der Schule vorhandenen Schülerversuchsgeräten der Firma LEYBOLD findet sich ein Aufbau, der mittels eines U-Rohr-Manometers den Druckanstieg beziehungsweise die Volumenausdehnung eines Luftvolumens infolge der Temperaturerhöhung nachweisen soll. Als Strahlungsquelle dient ein Petroleumbrenner, der vor einer Sonde, die das Luftvolumen abschließt und mit einer schwarzen oder einer metallisch glänzenden Abdeckung versehen werden kann, befestigt wird. Wie in dieser Beschreibung schon an klingt, ist der Aufbau des Versuchs sehr aufwändig; zudem fehlen in hinreichender Zahl Verbindungsmuffen zwischen den benötigten Schlauch- und Rohrstücken. Das für mich entscheidende Argument gegen diesen Versuch ist jedoch, dass nicht hinreichend ersichtlich wird, weshalb die nachgewiesene Temperaturerhöhung des Luftvolumens Folge eines Energietransports in Form von Strahlung sein soll. Gerade bei einer offenen Flamme liegt es zumindest für den Schüler nahe, als Form des Transports die Strömung der heißen Luft anzunehmen.

Ein sehr empfindliches Messgerät für den Nachweis von Wärmestrahlung bildet die menschliche Haut: Wir spüren, wenn sich uns ein warmer Körper nähert, noch ehe die Strömung der warmen Luft zu uns gelangt. Wenn sich eine Wolke vor die Sonne schiebt, nehmen wir den unterbrochenen Energiestrom sofort wahr, auch bei geschlossenen Augen.

Erarbeitung anhand einer Glühlampe als Modell Sonne-Erde

Ich möchte mich mit den Schülern auf diesem Weg der Wärmestrahlung nähern: Aus der Beschreibung der Empfindung im Zusammenwirken mit der Analyse des Vorgangs sollen sie zu einer Erklärung gelangen. Als strahlender Körper dient der Glühwendel einer Glühlampe. Betreibt man die Lampe anfangs mit geringer Spannung, so sendet sie nur Strahlung im infraroten Bereich aus. Legt man eine Hand auf die Oberfläche des Glaskörpers, so spürt man eine Erwärmung. Ich werde den Schülern mitteilen, dass das In-

---

thode nach seiner eigenen Einschätzung im Rahmen üblicher 45 Minuten-Kurzstunden nur rudimentär umsetzbar ist. In seinem Sinne hätte ich die Einstiegsfragen nicht selbst stellen dürfen, sondern abwarten müssen, bis sich die passende Frage zu dem Phänomen „aufwirft“ [30, S. 81].

<sup>8</sup>Als Alternative hätte sich hier möglicherweise auch ein interaktives Bildschirmexperiment angeboten, wie es an der TU Darmstadt entwickelt wurde: <http://www.physik.tu-darmstadt.de/praktika/demo/ibes/erste%20IBE/leslie.htm>

nerer der Lampe evakuiert ist.<sup>9</sup> Die Lampe stellt somit auch ein geeignetes Modell für das Verhältnis zwischen Sonne (Glühwendel im Zentrum) und Erde (getrennt durch materiefreien Raum) dar. Die zugeführte elektrische Energie erhöht die Innere Energie und damit die Temperatur des Glühwendels. Sofern dieser eine konstante Temperatur erreicht und weiter Energie zugeführt wird, so muss die Energie die Glühwendel verlassen. Konvektion oder Wärmeleitung können nun keine Erklärung für den Energietransport sein. Wie der Transport stattfindet, wird deutlich, wenn die Spannung und damit die der Lampe zugeführte Leistung weiter erhöht wird: Erst dunkelrötlich, dann immer heller beginnt der Glühwendel zu leuchten, also Licht auszusenden! Aus dieser Beobachtung folgt, in der Stunde möglicherweise durch meine Hinweise unterstützt, die Erklärung für das beobachtete Phänomen: Wärme kann wie Licht als Strahlung transportiert werden. In beiden Fällen findet ein Transport von Energie statt. Bei geringen Temperaturen wird ausschließlich Wärmestrahlung ausgesandt, bei höheren zusätzlich Licht. Diese Erkenntnis ist für die Stunde sicherlich zentral und wird deshalb unmittelbar anschließend im Tafelanschrieb gesichert. Gegebenenfalls werde ich an dieser Stelle mehr Zeit verwenden und lieber im Nachfolgenden kürzen. Um eine größtmögliche Exaktheit in der Argumentation zu erreichen, wird das Experiment als Demonstrationsversuch stattfinden und die Auswertung erfolgt im geleiteten Unterrichtsgespräch.

In der nachfolgenden Unterrichtsphase soll es darum gehen, das Wissen um den Energietransport in Form von Strahlung praktisch anzuwenden. Als Modell der Sonne dient wieder eine Glühlampe; um wie bei der Sonne parallele Lichtbündel zu erzeugen, wird hinter der Lampe ein Hohlspiegel aufgestellt.<sup>10</sup> Die Aufgabe an die Schüler wird sein, die abgestrahlte Energie der Lampe wieder an einen Punkt zusammenzuführen und damit potentiell nutzbar zu machen. Sofern noch genügend Zeit vorhanden ist, sollen die Schüler dazu auf einem Arbeitsblatt den Strahlengang am Hohlspiegel konstruieren und so den Brennpunkt vorhersagen. Da ich die Klasse im letzten Jahr nicht selbst auf dem Gebiet der Optik unterrichtet habe, ist schwer vorherzusehen, wie schwer die Aufgabe fällt. Notfalls muss die Vorhersage

Anwendung: Sonnenkollektor

<sup>9</sup>Strenggenommen sind Glühlampen teilweise mit einem Schutzgas gefüllt. Halogenfüllungen sollen die Verdampfung des Wolframs minimieren, sie erreichen höhere Temperaturen und damit bessere Wirkungsgrade. Kleinere Glühlampen sind jedoch tatsächlich evakuiert. Unterscheiden lässt sich die Bauart beim Erwärmen des Glaskolbens über einem Brenner: Bei evakuierten Glaskolben kommt es zur Implosion, im anderen Fall zur Explosion infolge der thermischen Ausdehnung. Vgl. <http://www.b-kainka.de/bastel124.htm>. Bei Nachfragen werde ich diesen Sachverhalt klarstellen.

<sup>10</sup>Das Lehrbuch *Dorn-Bader* schlägt vor, den Versuch mit einem LötKolben anstelle einer Lampe durchzuführen [1, S. 245]. Das ist vom Sicherheitsstandpunkt nicht unproblematisch, wenn Schüler experimentieren sollen. Außerdem trifft es viel eher die Problemstellung, wenn im Versuch erkannt wird, dass sowohl Licht als auch der Wärmestrahlung Formen des Energietransports sind. Nicht zuletzt wird auch in den Modellhäusern später eine Glühlampe als Heizung eingesetzt werden, die sowohl mit ihrem Licht wie mit der Wärmestrahlung den Raum erwärmt.

entfallen und an diese Stelle gleich das praktische Experiment treten. Durch ein exakt positioniertes Alkoholthermometer lassen sich Temperaturen von über 70°C nachweisen. Bei entsprechendem Wetter könnte dieser Versuch sogar direkt mit dem Sonnenlicht am Fenster oder außerhalb des Klassensaals erfolgen. In jedem Fall sollten die Schülerinnen und Schüler hier wieder stärker in das Geschehen eingebunden sein.

Bezug  
Wärmedämmung:  
Reflexion an metallischen Oberflächen

Um eine weitere Schlussfolgerung aus dem Experiment zu ziehen und gleichzeitig den Bezug zur Bauphysik und damit auch zur kommenden Aufgabenstellung zu ziehen, soll abschließend kurz diskutiert werden, wie der Durchgang von Wärmestrahlung verhindert werden kann. Aus der Anschauung des Experiments ergibt sich, dass metallisch glänzende Oberflächen Licht und Wärmestrahlung optimal reflektieren.

Die letzten Minuten der Stunden sollen dazu dienen, der Klasse das Projekt des Modellhausbauwettbewerbs vorzustellen und die Gruppen einzuteilen. Als Hausaufgabe sollen sie sich ein Konzept überlegen und in der nächsten Stunde vorstellen.

### Tatsächlicher Verlauf der Stunde

Gesamteindruck: anstrengend durch starke Lehrerzentrierung

Die dritte Stunde der Unterrichtsreihe habe ich als sehr anstrengend empfunden. Als Grund dafür lässt sich ohne weiteres die starke Lehrerzentrierung des gehaltenen Unterrichts anführen. Die wiederum resultiert zu einem nicht geringen Teil aus dem knapp kalkulierten Zeitplan für die Stunde.

Ich hatte erst am selben Morgen von einer Klassenkonferenz in der Pause unmittelbar vor der Stunde erfahren, an der ich teilzunehmen hatte. Gleichzeitig wollte ich in der Pause die umfangreichen Gerätschaften für die in der Stunde vorgesehenen Versuche in den Saal transportieren und dort justieren. Nun fällt es mir als Anfänger wesentlich leichter, mich gedanklich in eine Stunde einzufinden, wenn ich vorher die Zeit habe, den Saal für meine Ansprüche herzurichten. Mir ist bewusst, dass dies im späteren Lehreralltag nur noch selten zutreffen wird. Jedenfalls war ich in dieser Stunde aufgrund der zu Beginn so notwendigerweise eingetretenen Verzögerung und in Kenntnis des knappen Zeitkorsetts deutlich angespannt. Nachdem der Unterricht mit etwa fünf Minuten Verspätung begonnen hatte, habe ich die Hausaufgabenbesprechung sehr knapp gehalten und nur die ersten beiden Aufgaben besprochen. Es hat sich gezeigt, dass die Schüler die Aufgaben durchaus versucht hatten zu beantworten, die Antworten jedoch nicht in jedem Fall korrekt waren. Nun war allerdings die Frage nach der Funktion der Dampfsperre nicht einfach zu beantworten, da die Schüler zumindest im Physikunterricht die Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks von Wasser nicht explizit kennengelernt haben. Dennoch konnte schließlich ein Schüler den Sachverhalt korrekt darstellen.

Ein fortdauernd fragend-gelenkter Unterricht

Mit dem Einstieg begann dann methodisch strenggenommen eine Phase des geleiteten Unterrichtsgesprächs, die bis zum Ende der Stunde andauerte. Didaktisch halte ich das Vorgehen nach wie vor für stringent und fast schon zwingend. Jedoch wirkt sich ein fragend-gelenkter Unterricht auf Dauer eben

anstrengend auf den Lehrer und ermüdend auf die Schüler aus. Konkret bedurfte es in dieser Stunde etlicher Nachfragen meinerseits, um in der Sonne den Ursprungsort der meisten auf der Erde umgesetzten Energie zu erkennen. Vielleicht hätte ich mich an dieser Stelle bereits durch den Einsatz einer Folie, die beispielsweise den durch die Einstrahlung der Sonne angetriebenen Wasserkreislauf in der Natur zeigt, entlasten können.

Wichtig schien mir die Diskussion über die möglichen Wege der Energie von der Erde zur Sonne. Sie bot die in der Tat dringend nötige Gelegenheit, die Formen des Energietransports durch Konvektion und Konduktion zu wiederholen; auch der Tafelanschrieb, der diese Formen für das aufgeworfene Problem ausschloss, schien mir sinnvoll zu sein.

Vielleicht hätte die folgende Erarbeitungsphase besser im Schülerversuch anstatt als Demonstrationsexperiment umgesetzt werden sollen. Ich hatte zwar einen Schüler nach vorne gebeten, um das Verhalten der Lampe bei Erhöhung der zugeführten Leistung zu beschreiben, jedoch blieb die übrige Klasse durch den Effekt und die – allerdings reichlich müde – Schilderung des Schülers eher unberührt. Gleichwohl waren die Schüler hinterher in der Lage, das Ergebnis des Versuchs in eigenen Worten darzustellen. Die Deutung des Phänomens durch ausgesendete Energie in Form von Licht und Wärmestrahlung bereitete keine offensichtlichen Schwierigkeiten. Gleichwohl bin ich skeptisch, inwieweit so durch eine verhältnismäßig kurze Einführung die Identifikation von Wärmestrahlung und Licht als elektromagnetische Strahlung – der Begriff selbst wird natürlich vermieden – nachvollzogen wurde. Ich denke aber, jeder Schüler hat erkannt, dass hier eine Form des Energietransports existiert, die ohne die Vermittlung durch Materie auskommt.

Angesichts der fortgeschrittenen Zeit habe ich darauf verzichtet, im folgenden Lernschritt die Schüler den Strahlengang selbst auf dem Papier skizzieren zu lassen. Ich hatte zuvor erfragt, dass die Klasse in der Optik nicht den Hohlspiegel behandelt hat. Mir war es deshalb an dieser Stelle primär wichtig, noch einen Anwendungsbezug herzustellen. Die Schüler erkannten auch schnell, dass die Strahlung der Sonne durch Photovoltaik oder zum Erhitzen von Wasser verwendet werden kann. Auch ohne Kenntnis der Optik des Hohlspiegels konnten die Schüler voraussagen, dass das Thermometer optimal in einer symmetrischen Anordnung analog der Glühlampe zum anderen Spiegel angeordnet werden müsse. Leider habe ich an dieser Stelle unter Zeitdruck und unter dem Zwang der Gewohnheit den Fehler begangen, die Aufbauten selbst auszurichten. Die Schüler waren zwar auch so fasziniert durch die schon nach kurzer Zeit erreichte Temperatur von über 60°C, jedoch habe ich die Gelegenheit verschenkt, die Schüler hier stärker einzubinden. Diese hatten dann jedoch keinerlei Schwierigkeiten, in der Reflexion an metallischen Oberflächen eine Möglichkeit zu erkennen, ungewünschten Energietransport durch Strahlung zu verhindern. Sogar die Verspiegelung von Thermoskannen wurde bereits ins Spiel gebracht.

Auf die Vorstellung des Konzepts für den Wettbewerb reagierte die Klasse nicht enthusiastisch aber auch nicht ablehnend. Bedenken hegten die Schüler hinsichtlich vieler zeitnah festgesetzter Klassenarbeiten.

Mangelnde Schülerbeteiligung in der Erarbeitung

### 5.2.4 4. Stunde vom 3. 6. 2004: Die Thermoskanne; Konzeption und Bau der Modellhäuser

#### Lernziele

Die Schüler sollen. . .

- Ideen entwickeln, mit welchen gebündelten Maßnahmen Wärmeenergie-transport annähernd vollständig ausgeschlossen werden kann,
- an einer haushaltsüblichen Thermoskanne die für die Wärmedämmung relevanten Bauteile erkennen,
- aus der Erinnerung an die bekannten Formen des (Wärme-)Energie-transportes und deren Verhinderung die jeweils spezifische Funktion der Bestandteile der Isolierung einer Thermoskanne deuten können,
- erkennen, wo Schwachstellen in der Wärmeisolierung einer Thermoskanne verbleiben, und sich überlegen, welche Erkenntnisse aus der Isolierung einer Thermoskanne auf die Bauphysik übertragen werden können und welche nicht,
- ein Konzept für ein optimal wärmegeämmtes Modellhaus entwickeln können und dieses Konzept der Klasse vorstellen,
- die von den Mitschülern vorgestellten Konzepte kritisch hinterfragen und Verbesserungsvorschläge unterbreiten können.

#### Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	Zeit	Operation	Methode/Medien
1	10:30	<b>Einstieg:</b> Problemstellung: Optimierte Wärmedämmung „Wie transportiert man als Physiker Proben bei Flüssig-Stickstoff-Temperaturen quer durch die Stadt, ohne dass der Stickstoff verdampft?“ Sammeln der Schülerideen	LV  uGg, TA
2	10:35	<b>Erarbeitung:</b> Präsentation und Untersuchung einer Thermoskanne Schüler demontieren die Kanne und beschreiben den Aufbau, Sicherung im TA	DExp, gUg  TA
3	10:50	<b>Schülervorträge:</b> Gruppen präsentieren Konzepte für Modellhäuser Diskussion und Kritik der Konzepte	SV
4	11:00	<b>Modellbau:</b> Gelegenheit zum Aufbau/Ausbau der Modellhäuser	



### Tatsächlicher Verlauf der Stunde

Laut Raumverteilungsplan hätte ein freier Physiksaal für diese zusätzliche Stunde zur Verfügung stehen müssen. Tatsächlich war ich – als Referendar im Zweifel immer in einer schwächeren Position – gezwungen, im Klassenraum der 9d zu unterrichten. Die Schüler waren offensichtlich enttäuscht über mein Zurückstecken gegenüber den Parallelklassen, war ihnen dadurch doch auch bewusst, dass sie keine Versuche erwarten würde. Ob es daran lag, dass mir die Klasse in der Stunde ungewohnt unruhig begegnete? Möglicherweise war es aber auch der Widerwille der Gruppe gegen den ihr aufgetragenen Bau der Modellhäuser. Stärker als noch in der letzten Stunde spürte ich eine Ablehnung des Projekts durch die Schüler. Nur wenige äußerten ihre Motivation, viele zeigten sich skeptisch oder ablehnend, vor allem wegen der vorausgesehenen Arbeitsbelastung am Wochenende. Den erbetenen Aufschub konnte ich ihnen indes aufgrund der zeitlich begrenzten Vorgaben für die Unterrichtsreihe nicht gewähren. Stattdessen wies ich sie nochmals auf die mögliche Einfachheit der gestellten Aufgabe hin. Einige Schüler hatten noch gänzlich unrealistische Vorstellungen von der Größe der zu erstellenden Modelle. Als ich sie bat, ein Volumen von 8l mit den Händen zu markieren, deuteten diese Schüler Quader in der Größe eines Wäschekorb an. Insgesamt verstärkte sich bei mir der Eindruck, dass die Schüler die Aufgabe als uninteressant, vielleicht auch als nicht altersgemäß betrachteten.

Der geplante Unterricht in der ersten Hälfte der Stunde verlief weitestgehend den Planungen entsprechend. Stellenweise waren die Schülerbeiträge durchaus ertragreich, etwa wenn es darum ging, Schwachstellen der Wärmeisolierung einer Thermoskanne zu benennen. Nachdem zuvor die scheinbar ideale Isolation mit Vakuum und verspiegelter Glasschicht vorgestellt worden war, konnten die Schüler dem ihre Erfahrung entgegen setzen, dass auch in einer Thermoskanne aufbewahrte Flüssigkeiten, sich nach längerer Zeit der Umgebungstemperatur angleichen. Sie fanden dafür auch von sich aus, selbst von meiner Seite bis dahin unbeachtet gelassene Begründungen. Dass professionelle Dewargefäße sich nicht prinzipiell von haushaltsüblichen Thermoskannen unterscheiden, wie ich anhand einer Abbildung bewies, setzte die Schüler dann in Erstaunen. Es war wichtig, dass am Beispiel der Thermoskanne nochmals die drei Formen des Wärmetransports wiederholt wurden, zeigte es sich doch in einigen Äußerungen, dass viele Schüler hier noch nicht trennscharf unterschieden. So gesehen halte ich die Stunde in ihrem didaktischen Vorgehen für begründet. Methodisch waren die Schüler in dieser Stunde etwas stärker eingebunden, da sie die Thermoskannen zerlegen und durch die Reihen geben sollten. Letztlich bin ich so mit dem Ergebnis der Stunde zufrieden, allein die Unruhe in der Klasse hat mich angestrengt und auch mit Blick auf die Zukunft beunruhigt.<sup>11</sup>

<sup>11</sup>Ein Nachgespräch mit der Klassenlehrerin ergab, dass die Klasse am selben Tag auch in anderen Stunden (die zeitlich vor meiner Stunde lagen!) auffallend unruhig war, so dass meine Stellung oder mein Verhalten nicht ursächlich waren.

Ursachen für eine ungewohnte Unruhe in der Klasse

Sinnvolle und fruchtbare Wiederholung der drei Formen des Wärmetransports

### 5.2.5 5. Stunde vom 7. 6. 2004: Modellhauswettbewerb

#### Lernziele

Die Schüler sollen...

- eine Messmethode entwickeln, mit der die Wärmedämmung eines Hauses verglichen werden kann,
- sorgfältig einen Messaufbau erstellen und daran eine längere Messung durchführen,
- Erfahrungen mit einem Temperaturregelvorgang sammeln,
- die Messmethode kritisch hinterfragen und mögliche Messfehler benennen können,
- eventuell die Notwendigkeit einer weiteren Messung einsehen können.

#### Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	Zeit	Operation	Methode/Medien
1	8:40	<b>Einstieg:</b> Problemstellung: Wie bestimmt man das Haus mit der besten Wärmedämmung? Gesucht wird $P_{\text{Wärmeverlust}}$ . Bei $\theta = \text{konst.}$ gilt $P_{\text{el.}} = P_{\text{Wärmeverlust}}$	gUg TA
2	8:45	<b>Erarbeitung/Einführung:</b> Erklärung des Versuchsaufbaus, Hinweise zur Temperaturregelung	LV, DExp, OH
3	8:50	<b>Erarbeitung/Messung:</b> Präparieren der Modellhäuser, Einregeln der Temperatur auf $\theta = \theta_0 + 20 \text{ K}$ , Messung von Spannung und Stromstärke	SExp, AB
4	9:15	<b>Auswertung:</b> Vergleich der Wärmeverlustleistung (Messungen können weiterlaufen) Diskussion der Ergebnisse, insb. Messgenauigkeit, eventuell weitere Messung initialisieren	gUg, OH
5	9:24	<b>HA:</b> Bestimmung der Innen- und Außenfläche der Modellhäuser	

#### Tatsächlicher Verlauf der Stunde

Überraschendes  
Schülerengagement:  
sechs aufwändig ge-  
dämmte Modellhäuser

Zwei gegensätzliche Eindrücke dominieren den Rückblick auf die Stunde: Zum einen war ich spürbar überrascht, welche Mühe sich die Schüler beim Bau ihrer Modellhäuser gegeben hatten. Bis auf eine Gruppe (krankheitsbedingt) hatten alle Gruppen aufwändig gedämmte und teilweise hübsch verzierte Häuser gebaut. Bedauerlich allerdings, dass vier der sechs Häuser in

einem oder mehreren Punkten (Wanddicke, Mindestvolumen) der Ausschreibung des Wettbewerbs nicht entsprachen. Somit war eine Vergleichbarkeit der Modellhäuser von vornherein nicht gegeben.

Der zweite und entscheidende Eindruck nach der Stunde war jedoch der, dass die Schüler mit der Aufgabe der Messung deutlich überfordert waren. Schon im Einstieg wurde deutlich, wie wenig die Schüler eine Vorstellung davon besaßen, wie ein Vergleich zwischen den Modellhäusern stattfinden sollte. Ich musste daher schon die Idee der Messung weitestgehend allein im Lehrervortrag und Tafelanschrieb präsentieren und war mir auch anschließend nicht sicher, ob dieses Vorgehen von der ganzen Klasse nachvollzogen werden konnte.

Allein das wesentliche Problem lag dann darin, dass die Schüler auch praktisch nicht in der Lage waren, den Aufbau der Messgeräte nach Anleitung durchzuführen. Dabei war dieser Schritt den Schülern mehrfach vorgegeben: Ich hatte den Aufbau am Lehrerpult demonstriert und durch meinen Vortrag ergänzt. Daneben lagen den Schülern aber auch die Anleitungsblätter mit einer fotografischen Abbildung des Aufbaus und ergänzenden schriftlichen Hinweisen vor. Die Verkabelung von Volt- und Amperemeter und die zu wählenden Messbereiche (den wenigsten Schülern noch aus der Orientierungsstufe präsent) gingen aus der Abbildung klar hervor. Dennoch war ich während der gesamten Zeit der Schülerversuche gefordert, auf Nachfrage der Schüler die Aufbauten zu korrigieren. Und selbst wenn letztlich überall die Funktion sichergestellt war, so führte keine Gruppe die anschließende Messung entsprechend der Vorgaben durch. Dabei hatte ich auch hier im Vorfeld anhand des auf Folie abgebildeten Protokolls eines Temperaturregelvorgangs versucht, Vorgehen und Ziel der Messung verständlich und nachvollziehbar zu machen. In fast allen Fällen wurden weder Strom, Spannung noch Temperatur protokolliert. Ein Einregeln der gewählten Endtemperatur fand bei keiner Gruppe statt.

Möglicherweise hätte das Ziel der Unterrichtsstunde erreicht werden können, wenn man für Theorie und Durchführung der Messung zusammen eine Doppelstunde einkalkuliert hätte. Ohne dass die Versuchsidee von den Schülern verstanden worden war, hätte die Messung nicht begonnen werden dürfen. Die Aufbauten hätte ich entweder selbst fertig verkabelt vorbereitet oder zumindest vor Inbetriebnahme inspizieren sollen. Unter Umständen hätte es auch geholfen, die Klasse nach Versuchsbeginn nochmals zur Ruhe zu bitten und die bis dahin aufgetretenen Unklarheiten zu beseitigen. Auf der anderen Seite steht aber auch – zu Recht angesichts des noch zu erfüllenden Lehrplans – nicht beliebig viel Zeit für die Unterrichtsreihe zur Verfügung. So gesehen hätte es sich vielleicht eher angeboten, schon in der Planung für diese Stunde eine einfachere, wenn auch weniger vorbildgerechte Messmethode vorzusehen, wie sie nun in der folgenden Stunde der Reihe umgesetzt werden soll (Vgl. die Ausführungen in Kap. 4.2.2).

Einstieg: Die Schüler haben keine Messidee

Schüler sind mit dem Aufbau überfordert, Messauftrag bleibt unklar

Alternativen:  
Doppelstunde,  
fertiger Aufbau,  
andere Messmethode

### 5.2.6 6. Stunde vom 8. 6. 2004: Siegerermittlung & Wiederholung

#### Lernziele

Die Schüler sollen...

- eine experimentell einfachere Messmethode für die Wärmedämmung entwickeln oder zumindest nachvollziehen können,
- die vereinfachte Messung durchführen,
- die Argumentation nachvollziehen können, weshalb Häuser mit zu kleinem Volumen Vorteile besitzen und deshalb vom Wettbewerb ausgeschlossen werden,
- die Wärmedämmung der unterschiedlichen Modellhäuser in ihrer Wirksamkeit angesichts der Messergebnisse diskutieren,
- im Vergleich nochmals die drei Formen der Wärmeübertragung mit ihren jeweiligen Ursachen wiederholen und für eine schriftliche Überprüfung lernen.

#### Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	Zeit	Operation	Methode/Medien
1	9:40	<b>Einstieg:</b> Problemstellung: Wie lässt sich unser Vergleich einfacher durchführen? Einregeln entfällt, wenn $P_{el.}$ bei allen Häusern gleich ist, gemessen und verglichen wird die erreichte maximale Gleichgewichtstemperatur	gUg LV, TA
2	9:50	<b>Erarbeitung/Messung:</b> Aufbau und Durchführung der Messung (Messung läuft während des Unterrichts weiter)	SExp
3	10:00	<b>Übung/Wiederholung:</b> Die drei Formen der (Wärme-)Energieübertragung im Vergleich <b>AA:</b> „Versucht jeweils kurz in Stichworten die drei Formen der Wärmeübertragung zu charakterisieren: Was ist die jeweilige Ursache, wo tritt diese Form auf und was wird transportiert?“ Zusammentragen und Korrigieren der Ergebnisse auf vorbereiteter OH-Folie Hinweise zur schriftlichen Überprüfung	StA gUg, OH
4	10:15	<b>Auswertung:</b> Temperaturen ablesen Häuser vom (Wärmedämm-)Wettbewerb disqualifizieren, Siegerhaus bestimmen Schönstes Haus wählen lassen	SExp LV
5	10:24	<b>HA:</b> Lernen für schriftliche Überprüfung	

### Tatsächlicher Verlauf der Stunde

Es war richtig, in der Planung für diese Stunde keine neuen Unterrichtsinhalte vorzusehen. So war die Stunde allein durch die vereinfachte Wiederholung der Temperaturmessung für den Wettbewerb der Modellhäuser und eine zwischenzeitliche Zusammenfassung des gelernten Stoffes im Hinblick auf die schriftliche Überprüfung gut ausgefüllt. Ursprünglich hatte ich inhaltlich wesentlich mehr für die Stunde vorgesehen, so die Berechnung von  $U$ -Werten für die Modellhäuser und den Vergleich mit realen Energiesparhäusern. Die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen zur Verminderung des Wärmetransports sollten für das Modell und das reale Haus vergleichend besprochen werden. Zu all dem ursprünglich noch in der Reihe Geplanten ist es nicht gekommen. Mir schien nach der Erfahrung der bisherigen Stunden die Wiederholung des bis zu diesem Zeitpunkt gelernten Stoffes im Interesse der Schüler wichtiger.

Reduktion der inhaltlichen Ziele

Die alternative, vereinfachte Messmethode war zu Beginn der Stunde wie erhofft durch die Schüler vorgeschlagen worden. Allerdings war den Schülern dabei nicht bewusst, dass erst ein Gleichgewichtszustand erreicht sein muss, bevor vergleichbare Temperaturen mit Aussagekraft hinsichtlich der Wärmedämmung gemessen werden können. Unter Hinweis auf die ansonsten zu berücksichtigende Wärmekapazität habe ich dies korrigiert.

Abbildung 5.5: Ein Modellhaus mit optimierter Wärmedämmung. Hier wurde die höchste Temperatur erreicht, jedoch das Mindestvolumen nicht eingehalten und die maximale Wandstärke überschritten.

Der Aufbau der Messung gestaltete sich in dieser Stunde deutlich einfacher. Allerdings war ab Beginn der Messungen stets ein Teil der Klasse durch die laufenden Versuche abgelenkt. Es war dennoch möglich und stieß auch auf das Interesse der Schüler, nebenher die Formen der Wärmeübertragung erst in Stillarbeit und dann im Unterrichtsgespräch zu wiederholen. Eine gewisse Unruhe dabei war zwar für den Lehrer anstrengend, jedoch aus Schülersicht verständlich und möglicherweise auch fruchtbar, insoweit die Schüler die Aufbauten der anderen Gruppen misstrauisch analysierten.

Erleichterte und im Wesentlichen nachvollziehbar Messung

Als bei einem Versuchsaufbau schon bald nach Beginn deutlich höhere Temperaturen erreicht wurden als in den anderen Häusern, lag bei den Mitschülern schnell der Verdacht nahe, dass hier die Volumenvorgabe nicht beachtet wurde. So war die Ermittlung der Gewinnergruppe am Ende der Stunde auch einfach möglich: Vier Teams hatten sich nicht an die Vorgaben gehalten (was sie ohne weiteres einsahen) und wurden vom Wettbewerb um die beste Wärmedämmung ausgeschlossen. Siegreich war ein relativ einfach gehaltenes, schwarzes Modellhaus mit einer Isolierung aus Schaumstoffmaterial knapp vor einer aufwändigen Konstruktion aus Holz und Styropor. Das Messergebnis war, wie ein Vorversuch ergeben hatte, auch bei Kombinationen mit anderen Glühlampen und Thermometern reproduzierbar.

Lernen aus Misstrauen?!

An der Wahl zum schönsten Modellhaus durften wieder alle Häuser teil-

Die Gewinner

nehmen. Es gewann – zu Recht – das auch im Wärmedämmwettbewerb zweitplatzierte Haus (Abb. 5.6). Insgesamt hatten die Schüler in der Stunde sehr viel Spaß am Wettbewerb und der Messung, die aus ihrer Sicht im Vordergrund der Stunde standen. Der Lernerfolg dürfte sich daher weitestgehend auf die Erfahrungen aus den Messungen beschränken. Die von mir erhoffte eingehendere Diskussion der Ergebnisse kam dagegen leider etwas zu kurz. Die Arbeitsblätter mit den wiederholenden Hinweisen zu den drei Formen der Wärmeübertragung, die ich auch im Hinblick auf die fehlenden Ausführungen im Schulbuch entworfen hatte, nahmen die Schüler im Vorfeld der schriftlichen Überprüfung jedoch begierig entgegen.

## 5.3 Leistungsüberprüfung und Evaluation

### 5.3.1 Schriftliche Überprüfung

Im Fach Physik sind in der Sekundarstufe I zwei Arten der schriftlichen Leistungsfeststellung möglich [3]: Das schriftliche Abfragen der Hausaufgaben (§46 Abs. 2) und die schriftliche Überprüfung (§47 Abs. 2). Da Ersteres sich nur auf die Hausaufgaben der letzten beiden Stunden beziehen darf, die Leistungsüberprüfung am Ende der Unterrichtsreihe aber sinnvollerweise den Unterrichtsstoff der ganzen Reihe abprüfen will, habe ich entschieden, für die Stunde unmittelbar nach Abschluss der Unterrichtsreihe eine schriftliche Überprüfung festzusetzen. Eine solche Überprüfung darf sich über die Unterrichtsinhalte der letzten zehn Unterrichtsstunden erstrecken, muss den Schülern mindestens eine Woche vorher angekündigt werden, darf nicht in den letzten vier Wochen vor der Zeugniskonferenz geschrieben werden und darf maximal 30 Minuten dauern. Diese Vorgaben wurden alle eingehalten, darüber hinaus erstreckten sich die Aufgaben nur unmittelbar auf die Unterrichtsreihe, also nur auf die letzten sechs Stunden vor der Überprüfung.

Entsprechend der Konzeption der ganzen Unterrichtsreihe habe ich in der Abschlussüberprüfung darauf verzichtet, rechnerische Zusammenhänge abzufragen. Aufgaben in einer Leistungsmessung sollen die in Erarbeitungs- und Übungsphasen eines Unterrichts verfolgten Lernziele erfassen [11]. Da die Lernziele der vorangegangenen Stunden vor allem die Phänomenologie und Erklärung von Wärmeübertragungsprozessen in den Mittelpunkt stellten und daneben auch das Kennenlernen praktischer Anwendungen umfassten, wurde in der Überprüfung anhand von praktischen Beispielen das Verständnis dieser Prozesse getestet.

Nach der Überprüfung kamen aus den Reihen der Schüler Stimmen auf, der Test sei zu einfach ausgefallen. Tatsächlich waren einige Aufgaben (Nr. 1-3, 5; vgl. Anhang C.1) bewusst einfach gehalten und beschränkten sich im Wesentlichen auf eine Reproduktion des Erlernten. Der in Aufgabe 4 zu beschreibende und erklärende Versuch erforderte ein tieferliegendes Verständnis der physikalischen Prozesse, und insbesondere die Konstruktionsaufgabe verlangte zur Lösung eine gründliche Überlegung vor dem Hintergrund der besprochenen Zusammenhänge. Die letztgenannte Aufgabe wurde von keinem Schüler vollständig gelöst; bei einem Schüler und einer Schülerin war die Konstruktion sinnvoll, jedoch die Begründung unzureichend.

Insgesamt ergaben sich aus der Korrektur und Bewertung der abgebenen Überprüfungen (alle Schüler der Klasse hatten mitgeschrieben) vie-

Formen der Leistungsüberprüfung

Inhalte der Aufgaben an den Lernzielen orientiert

Ergebnis: Zumindest Grundlagen von allen verstanden

Punkte	Note	Anzahl
26-30	1	2
21-25	2	11
16-20	3	12
11-15	4	1

Tabelle 5.3: Das Ergebnis der schriftlichen Überprüfung. Es ergibt sich bei 26 Überprüfungen ein Durchschnitt von 2,5.

le gute und befriedigende Leistungen, die beweisen, dass die angestrebten Lernziele im Wesentlichen erreicht wurden. Nur zweimal ergaben sich knapp sehr gute Leistungen. Das deckt sich mit meiner Erfahrung (vgl. Kap. 2), dass die Klasse zwar sehr bemühte und auch gute Schüler und Schülerinnen umfasst, jedoch keine herausragenden Spitzenkräfte aufweist. Eine Arbeit wurde mit „Ausreichend“ bewertet, aber wie die Bezeichnung schon sagt, waren auch hier wesentliche Inhalte der Unterrichtsreihe von der Schülerin verstanden worden und konnten zumindest wiedergegeben werden. So lässt sich zusammenfassend feststellen, dass zumindest die Grundlagen der Wärmeübertragungsformen von allen Schülern verstanden worden sind.<sup>12</sup>

### 5.3.2 Schülerbefragung

Punktabfrage

Um von Seiten der Schülerinnen und Schüler eine Rückmeldung über ihre Einschätzung der Unterrichtsreihe zu erhalten, wurde im Anschluss an die schriftliche Überprüfung eine sogenannte Punktabfrage durchgeführt. Dabei sind die Schüler aufgefordert, den Unterricht unter den Aspekten „hat Spaß gemacht/weniger Spaß gemacht“ und „viel gelernt/wenig gelernt“ in einer zweidimensionalen Darstellung einzuordnen. An der Tafel wurde ein Koordinatensystem aufgezeichnet, in das die Schüler ihre Einordnung durch ein Kreuz eintragen konnten.

Um zu verhindern, dass sich die Schüler dabei an den Markierungen ihrer Mitschüler orientieren, waren sie aufgefordert, sich vorher einen exakten Punkt auszusuchen und zu merken und erst dann die Auftragung selbst vorzunehmen. Die auf diese Art gewonnene Einschätzung der Reihe durch die Schülerinnen und Schüler gibt die Abbildung 5.7 wieder.

Viel Spaß,  
mittlerer Lernerfolg

Man erkennt, dass die Schüler Spaß am Unterricht hatten, den Lernerfolg zwar nicht allzu hoch, aber auch nicht zu gering einschätzen.

Abbildung 5.7: Das Ergebnis einer Punktabfrage als Form der Bewertung durch die Schüler nach Abschluss der Unterrichtsreihe.

lehrerzentriert unterrichtenden Lehrkräften weniger zu lernen. Im Gegenzug macht ihnen der Unterricht aber wesentlich mehr Freude. Meine konkrete Nachfrage, ob die Klasse den Modellbauwettbewerb innerhalb der Reihe überflüssig oder kindlich fand, erbrachte die Antwort, gerade dieser Teil der Reihe habe ihnen Spaß gemacht. Welche Rolle bei dieser Einschätzung die beinahe zeitgleich der Klasse ausgehändigten Preise hatten, sei dahingestellt.

Dieses Ergebnis überrascht mich nicht unbedingt. Es klang mir gegenüber schon häufiger an, dass die Schüler teilweise das Gefühl haben, bei mir im Vergleich zu anderen, autoritär-

<sup>12</sup>Nichtsdestotrotz ließ die Überprüfung erkennen, dass einige Fehlvorstellungen noch nicht gänzlich ausgeräumt werden konnten: So argumentierten mindestens ein Schüler mit der „Kälte“; zweimal tauchte die Vorstellung auf, flüssiger Stickstoff könne flüssiges Helium kühlen, obwohl beide Siedetemperaturen angegeben waren.



## Kapitel 6

# Die Unterrichtsreihe im Rückblick

„Man hätte noch so vieles machen *können*“, dieser Gedanken kommt einem häufig als Lehrer im Rückblick auf gehaltenen Unterricht. Gleichzeitig muss man sich aber auch die Frage stellen, ob man es auch hätte machen *sollen*: Die begrenzte Unterrichtszeit zwingt immer zu einer Reduktion der grundsätzlich vermittelbaren Inhalte.

Welches Auslassen oder Kürzen eines Themenbereichs schmerzt im vorliegenden Fall am stärksten? Man müsste vielleicht an erster Stelle die Bauphysik selbst nennen, auf die Bezug zu nehmen der Untertitel dieser Arbeit verspricht. Es gab hier die Broschüren, die den Schülerinnen und Schülern zur Bearbeitung mitgegeben wurden. Aber die Auswertung und Kritik dieses Informationsmaterials geriet doch zu kurz. Ich hätte noch sehr gerne ein modernes „Passivhaus“ in den Blick genommen und die dort angewendeten Energiesparmaßnahmen diskutiert. Man hätte dann auch, vorausgesetzt es wäre gelungen, im Unterricht  $U$ -Werte für die Modellhäuser zu bestimmen, die neue Energieeinsparverordnung und die dort vorgegebenen Grenzwerte zum Vergleich heranziehen können. Es wäre mir mindestens ebenso wichtig gewesen, den Einsatz fossiler Energieträger zur Wärmegewinnung unter dem Aspekt ihrer Endlichkeit, der  $\text{CO}_2$ -Freisetzung und der Treibhausproblematik zu behandeln. Allein damit hätte ich eindeutig die Themenstellung für diese Arbeit verfehlt. Aber ist das Thema deshalb hinreichend unwichtig, um darüber hinwegzugehen?

Ich denke, in der Nachbetrachtung waren die vorgenommenen Reduktionen im didaktischen Vorgehen angemessen in Anbetracht der Umstände aber gleichwohl inakzeptabel bei grundsätzlicher Betrachtung. Die Lösung bestünde darin, entweder mehr Zeit für den Physikunterricht zur Verfügung zu stellen – unter den derzeitigen Vorzeichen eher unrealistisch –, oder eben die Inhalte des Physikunterrichts umzugewichten.<sup>1</sup>

Schmerzliche Reduktionen

---

<sup>1</sup>Ansätze böten sich in einer Kürzung der Optik, vergleiche nochmals [17, S. 47ff.].

Didaktisches Vorgehen  
richtig

Als richtig werte ich auch im Nachhinein das didaktische Vorgehen im Hinblick auf die systematisch-gründliche Behandlung der drei Formen der Energieübertragung, Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. Es gibt Sinn, die Phänomene abschließend vergleichend gegeneinander zu stellen und die Unterschiede herauszustreichen. Nicht zuletzt hat die schriftliche Überprüfung am Ende der Reihe gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler hier die wichtigsten Prinzipien verstanden haben. Es sind dies die wichtigsten Erkenntnisse, die als Wissensgewinn den Schülerinnen und Schülern dauerhaft erhalten bleiben dürften. Es ist auf der anderen Seite mehr als unwahrscheinlich, dass sie nach einer entsprechenden Zeit noch in der Lage sein würden, beispielsweise einen Wärmedurchgangskoeffizienten aus Wanddicken, Wärmeleitfähigkeiten und Wärmeübergangskoeffizienten zu berechnen, sofern man eine entsprechende Berechnung in den Mittelpunkt des Unterrichts gestellt hätte. Dagegen sollte es ihnen auch in einigen Jahren, so hoffe ich, keine Schwierigkeiten bereiten, eine ideale Wärmedämmung zu skizzieren und zu begründen.

Methodische Fehler

Was würde ich bei einem erneuten Unterrichten der Reihe anders machen? Neben den Dingen, die schon in den Nachbetrachtungen der einzelnen Stunden zur Sprache kamen – zuvorderst wäre hier eine stärkere Schülerbeteiligung zu nennen bei gleichzeitig eng kontrolliertem Vorgehen –, muss vor allem die Vergleichsmessung der Wärmedämmung der Modellhäuser genannt werden. Es ist dies ausgerechnet der Sachverhalt, über den in fachdidaktischen Veröffentlichungen am meisten geschrieben wurde. Der von Hans Christian Metzger vorgeschlagene Weg fasziniert mich nach wie vor: Man müsste sich in Zukunft einfach eine Doppelstunde Zeit nehmen, das Geld in Leistungsmessgeräte, Dimmer und sichere Lampenfassungen investieren, die Klasse im Vorfeld hinreichend mit dem Einregelvorgang vertraut machen, dann sollte eigentlich nichts mehr schief gehen. Falls wie in meinem Fall nur eine Einzelstunde zur Verfügung steht, müsste man sich dementsprechend von vornherein mit der Methode nach Zimmermann zufrieden geben.

Die Klasse und der  
Wettbewerb

Der Wettbewerb war eine Möglichkeit, die Schüler zur Mitarbeit zu motivieren. Als solcher war er sehr erfolgreich. Nachdem mich im Vorfeld und auch zwischenzeitlich während der Reihe (4. Stunde, Kap. 5.2.4) Befürchtungen plagten, die Schülerinnen und Schüler könnte es an der notwendigen Motivation zum Bau der Häuser mangeln, hat mich das Ergebnis der sechs fertiggestellten Modellhäuser eines besseren belehrt. Waren der Wettbewerb und die Gewinne deshalb notwendig? Und welchen Anteil an der Motivation hatte das Wissen der Schüler, dass der Hausbau als Teil meiner Examenreihe konzipiert war? Ich kann das für diesen Fall nicht endgültig beantworten. In anderen Klassenstufen und in meinem zweiten Fach Geschichte habe ich jedenfalls auch unter anderen Vorzeichen ebenfalls gute Erfahrungen mit Projektarbeit in Gruppen gemacht.

# Tabellenverzeichnis

5.1	Übersicht über die innerhalb der Reihe gehaltenen Stunden. Es handelt sich jeweils um Einzelstunden. . . . .	20
5.2	Messwerte für den Versuch zur Wärmeleitung von Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern. . . . .	25
5.3	Das Ergebnis der schriftlichen Überprüfung . . . . .	47
A.1	Gegenüberstellung der beiden Möglichkeiten zur kontrollier- ten Beheizung der Modellhäuser . . . . .	58
A.2	Vergleichende Temperaturmessungen mittels verschiedener Mess- geräte . . . . .	59
A.3	Temperatureinstellung in den Modellhäusern . . . . .	60
B.1	Wärmeleitfähigkeiten bei 20°C. Daten entnommen aus [23]. .	63
B.2	Folie mit einer Übersicht über die Modellhäuser der Schüler .	72

# Abbildungsverzeichnis

5.1	Versuch zum Vergleich der Wärmeleitung verschiedener Feststoffe (Leybold). . . . .	24
5.2	Versuch zur Wärmeleitung von Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern. . . . .	25
5.3	Schülerversuch der Firma LEYBOLD zur Wärmeleitung von Metallen . . . . .	26
5.4	Versuchsaufbau durch Schüler zum Thema Konvektion . . . . .	31
5.5	Ein von Schülern gebautes Modellhaus . . . . .	45
5.6	Ein zweites von Schülern gebautes Modellhaus . . . . .	46
5.7	Punktabfrage als Form der Bewertung durch die Schüler . . . . .	48
A.1	Die eingesetzten Autothermometer untereinander im Vergleich. . . . .	60
B.1	Energieverbrauch privater Haushalte. Entnommen aus [27]. . . . .	61
B.2	Geplantes Tafelbild zur Stunde am 24. 5. 2004 . . . . .	62
B.3	Modellvorstellung zur Wärmeleitung. Entnommen aus [1, S. 244]. . . . .	62
B.4	Einstiegsmotivation zur Stunde am 25. 5. 2004 . . . . .	65
B.5	Geplantes Tafelbild zur Stunde am 25. 5. 2004 . . . . .	65
B.6	Geplantes Tafelbild zur Stunde am 1. 6. 2004 . . . . .	67
B.7	Arbeitsblatt Strahlengang am Hohlspiegel . . . . .	67
B.8	Geplantes Tafelbild zur Stunde am 3. 6. 2004 . . . . .	69
B.9	Geplantes Tafelbild zur Stunde am 7. 6. 2004 . . . . .	69
B.10	Geplantes Tafelbild zur Stunde am 8. 6. 2004 . . . . .	71
B.11	Abbildung der Modellhäuser der Schüler . . . . .	72

# Abkürzungsverzeichnis

## Abkürzungen in den Stundenverlaufsplänen

AB	Arbeitsblatt
DExp	Demonstrationsexperiment
HA	Hausaufgaben
LS	Lernschritt
LV	Lehrervortrag
OH	Folie in Overhead-Projektion
PA	Partnerarbeit
SExp	Schülerexperiment/-Versuch
StA	Stillarbeit
SV	Schülervortrag
TA	Tafelanschrieb
(g)Ug	(geleitetes) Unterrichtsgespräch

## Abgekürzte Zeitschriftentitel

MNU	Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht
NiU-PC	Naturwissenschaften im Unterricht / Physik, Chemie
PdN-PhiS	Praxis der Naturwissenschaften im Unterricht. Physik in der Schule

# Literaturverzeichnis

- [1] FRANZ BADER/HEINZ-WERNER OBERHOLZ (Hg.): *Dorn Bader. Physik. Gymnasium Sek. I.* Hannover 2001.
- [2] JÜRGEN BAUMERT U.A. (Hg.): *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich.* Opladen 2001.
- [3] REINHARD BENDER/JOACHIM GRUMBACH: *Schulordnung (Übergreifende Schulordnung) für die öffentlichen Hauptschulen, Regionalen Schulen, Realschulen, Gymnasien, Integrierten Gesamtschulen und Kollegs in Rheinland-Pfalz. Text und Erläuterungen.* Grünstadt 1999.
- [4] GERD BOYSEN U. A.: *Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Länderausgabe C.* Teilband 2, Neubearbeitung. Berlin 1995. [Eingeführtes Lehrbuch]
- [5] WILHELM BRENDTHAUER U. A.: *Impulse Physik, Klasse 8-10, Ausgabe Rheinland-Pfalz.* Stuttgart 2003.
- [6] REGINA BUTT: Wärmedämmung – Ein aktuelles Thema für den Physikunterricht. – In: *PdN-PhiS* **36**, Heft 6, 22-26, (1987).
- [7] REGINA BUTT: *Was heißt eigentlich k-Wert? Experimente zum Thema Wärmedämmung.* – In: *PdN-PhiS* **47**, Heft 4, 13-17 (1998).
- [8] DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (Hg.): *Ratgeber zur Energieeinsparverordnung für Bauherren und Käufer.* Berlin 2002.
- [9] DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (Hg.): *Modernisierungsratgeber Energie. Kosten sparen – Wohnwert steigern – Umwelt schonen.* Berlin 2003.
- [10] HELMUT DAHNCKE: *Wärmeleitung, Wärmeübergang und Wärmedurchgang. Ein Beispiel für Probleme zwischen begriffsorientiertem und anwendungsorientiertem Unterrichtssatz.* – In: *NiU-PC* **31**, Heft9, 316-322 (1983).

- [11] DENNIS DRAXLER/HANS E. FISCHER: *Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben*. – In: ERNST KIRCHER, WERNER B. SCHNEIDER (Hg.): *Physikdidaktik in der Praxis. Eine Einführung*. Berlin u. a. 2002. S. 300-322.
- [12] ARTUR FRIEDRICH: *Handbuch der Experimentellen Schulphysik. Bd. 4. Wärmelehre mit Thermodynamik*. Köln 1964.
- [13] FRIEDRICH HERRMANN, GEORG JOB: *Altlasten in der Physik*. Köln 2002.
- [14] FRIEDRICH HERRMANN (HG.): *Der Karlsruher Physikkurs. Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe 1. Teil 1. Energie, Impuls, Entropie*. Köln 1998.
- [15] FRIEDRICH HERRMANN: *Der Wärmetransport durch die Troposphäre*. – In: *PdN-PhiS* **50**, Heft 3, 40-46 (2001).
- [16] FRIEDRICH HERRMANN: *Altlasten der Physik (68): Innere Energie und Wärme*. – In: *PdN-PhiS* **52**, Heft 6, 47 (2003).
- [17] FRIEDRICH HERRMANN (HG.): *Der Karlsruher Physikkurs. Unterrichtshilfen*. Köln <sup>5</sup>1998.
- [18] STEFAN HOPPENAU: *Energie im globalen Treibhaus – Herausforderung auch für die Schule – Teil 1* – In: *MNU* **45**, Heft 8, 458-465 (1992).
- [19] STEFAN HOPPENAU: *Energie im globalen Treibhaus – Herausforderung auch für die Schule – Teil 2* – In: *MNU* **46**, Heft 1, 13-20 (1992).
- [20] GEORG JOB: *Neudarstellung der Wärmelehre. Die Entropie als Wärme*. Frankfurt 1972.
- [21] ERNST KIRCHER, RAIMUND GIRWIDZ, PETER HÄUSSLER: *Physikdidaktik. Eine Einführung*. Berlin u. a. 2001
- [22] ERNST KIRCHER, WERNER B. SCHNEIDER (Hg.): *Physikdidaktik in der Praxis. Eine Einführung*. Berlin u. a. 2002.
- [23] HORST KUCHLING: *Taschenbuch der Physik*. Leipzig <sup>15</sup>1995.
- [24] IAN LAWRENCE: *Hot houses*. – In: *Physics Education* **36** 79-80 (2001).
- [25] *Lehrplan-Entwürfe Lernbereich Naturwissenschaften. Biologie, Physik, Chemie. Orientierungsstufe (Klassen 5-6), Hauptschule, Realschule, Gymnasium (Klassen 7-9/10)*. 1997. [Lehrplan für Rheinland-Pfalz]
- [26] HANS CHRISTIAN METZGER: *Energiesparen durch Wärmedämmung. Schülerversuche zur Bestimmung der k-Werte verschiedener Materialien*. – In: *PdN-PhiS* **45**, Heft 6, 34-36 (1996).

- [27] ANTJE SCUFFIL: *Das Niedrigenergiehaus – Eine Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe I.* – In: *PdN-PhiS* **47** Heft 4, 30-36 (1998).
- [28] ERICH STARAUSCHEK: *Wärmelehre mit der Entropie – Welchen Nutzen bringt sie Schülerinnen und Schülern?* – In: *PdN-PhiS* **52**, Heft 8 (2003).
- [29] PAUL A. TIPLER: *Physik*. Heidelberg u. a. 1994.
- [30] MARTIN WAGENSCHHEIN: *Zum Problem des genetischen Lehrens.* – In: Ders.: *Verstehen lernen*. Weinheim/Basel 1999. S. 75-123.
- [31] *Wärmedämmung.* – In: *Wikipedia. Die freie Enzyklopädie*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmedämmung>. Zuletzt geändert um 14:28, 14. Mai 2004.
- [32] UWE ZIMMERMANN: *Ein Schulversuch zur Bestimmung der Energieeinsparung durch Wärmeisolation von Wänden oder durch Senkung der Raumtemperatur und ein Praktikumsversuch zum Thema Wärmedurchgang durch Wände.* – In: *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. Hannover 1977.
- [33] UWE ZIMMERMANN: *Ein Schulversuch zur Bestimmung der Energieeinsparung durch Wärmeisolation von Wänden oder durch Senkung der Raumtemperatur* – In: *NiU-PC* **25**, Heft 12, 358-363 (1977).
- [34] UWE ZIMMERMANN: *Energiesparen als Energiequelle – Versuche zur Wärmedämmung und Energieeinsparung.* – In: *NiU-PC* **29**, Heft 8, 322-326 (1981).
- [35] UWE ZIMMERMANN: *Bestimmung der k-Werte von Glasscheiben.* – In: *NiU-PC* **32**, Heft 7, 227-230 (1984).
- [36] UWE ZIMMERMANN: *Verblüffende Ergebnisse bei Versuchen zum Thema „Wärmetransportprozesse“.* – In: *Physik und Didaktik* **3**, 232-240 (1992.)
- [37] UWE ZIMMERMANN: *Experimente mit Styroporkästen. Teil 1: Wärmeleitfähigkeit bei Gleichgewichtsbedingungen.* – In: *PdN-PhiS* **49**, Heft 4, 45-46 (2000).



## Anhang A

# Der experimentelle Aufbau der Modellhäuser

### A.1 Zur Wahl der Form und der Abmessungen

In Vorversuchen zur Unterrichtsreihe wurde ein würfelförmiges Modellhaus aus Styropor<sup>®</sup> ( $d=2\text{ cm}$ ) mit einer inneren Kantenlänge von 20 cm gebaut. Das eingeschlossene Luftvolumen von 8 l sollte später auch Vorgabe für die zu bauenden Schülerhäuser sein. Die so vergleichsweise kleinen Häuser bieten den Vorteil einer kürzeren Aufheizzeit, des einfacheren Transports und des geringeren Materialverbrauchs. Auch eine größere Wandstärke zu wählen, brächte für die hier geplanten Versuche keine Vorteile. Bewusst wird die Form der Modellhäuser nicht vorgegeben. Dass die Oberfläche möglichst klein zu wählen ist, um die hindurchströmende Energie gering zu halten, soll ein Ergebnis der Überlegungen der Schülerinnen und Schüler sein.

Da in den Vorversuchen nur ein Flüssigkeitsthermometer zur Verfügung stand, musste zum Ablesen eine Öffnung in das Haus geschnitten werden, die von der Innen- und Außenseite durch Klarsichtfolien geschlossen wurden. Letztlich erwuchs hieraus die Idee, eine oder mehrere solche transparente Fensteröffnungen mit der Gesamtfläche von  $100\text{ cm}^2$  auch für die Schülerhäuser vorzuschreiben, auch wenn dies später durch die Verwendung von Digitalthermometern mit separater Anzeige nicht mehr nötig sein würde. Die erschwerte Aufgabenstellung, wie in echten Häusern Fenster vorzusehen, bietet einerseits die Möglichkeit, die Modellhäuser individueller zu gestalten, und andererseits eine Herausforderung an die Schülerinnen und Schüler, ihr Wissen zur Wärmedämmung auch auf optisch transparente Wandfläche anzuwenden.

## A.2 Zur Wahl der Beheizung und Leistungsmessung

Zur Beheizung der Modellhäuser sind Glühlampen vorgesehen. Zwei alternative Möglichkeiten bleiben zur Wahl: Sollen die Lampen wie von Metzger vorgeschlagen [26] mit Netzspannung und vorgeschalteten Dimmer zum Einsatz kommen oder soll an dieser Stelle ein Netzgerät mit Spannungen von maximal 30 V Verwendung finden?

Insbesondere der Kauf von Leistungsmessgeräten wäre im ersten Fall mit hohen Kosten verbunden. Um kleine Gruppengrößen mit maximal vier Beteiligten zu gewährleisten, möchte ich die Klasse in sieben Gruppen einteilen, was die entsprechend hohe Anzahl an benötigten Geräten mit sich bringt. Auf der anderen Seite bieten die Leistungsmessgeräte („Energiekostenzähler“) den Vorteil einfacher Ablesbarkeit: Die Leistung kann direkt in Watt abgelesen werden und muss nicht aus Spannung und Stromstärke errechnet werden. Handelsübliche Dimmer weisen nur einen eingeschränkten Regelbereich auf. Kleine Spannungen, wie sie möglicherweise benötigt würden, lassen sich nicht einstellen. Entscheidend ist für mich jedoch der Sicherheitsaspekt: Die in der Schule vorhandenen Lampenfassungen weisen Anschlussbuchsen für Bananenstecker auf. Beim Betrieb mit Netzspannung von bis zu 230 V ist die Gefährdung der Schüler durch offene Kontaktstellen leicht nachvollziehbar.

	Netzspannung		Netzgerät	
	Gerät	Kosten	Gerät	Kosten
„Heizung“	Glühbirne 230 V/60 W	vorhanden	Glühbirne 12 V/21 W	7 · 1,05 € =7,35 €
Spannungsregelung	Dimmer	7 · 6,95 € =48,65 €	Netzgerät 0-12 V/2,5 A	vorhanden
Temperaturmessung	Digitalthermo- meter	7 · 4,95 € =34,65 €	Digitalthermo- meter	7 · 4,95 € =34,65 €
Leistungsmessung	Digitaler Energie- kostenzähler	7 · 19,95 € =139,65 €	Digitalmulti- meter	vorhanden
<b>Vorteile</b>	Einfacher Aufbau Einfache Leistungsermittlung		Bekannte Geräte Ungefährliche Spannungen	
<b>Nachteile</b>	Verlustleistung Dimmer Kontaktgefährliche Spannung (Lampenfassung, Zuleitungen) Regelbereich eingeschränkt		Keine Fassungen vorhanden Spannung <i>und</i> Stromstärke müssen gemessen werden Maximalleistung begrenzt	

Tabelle A.1: Gegenüberstellung der beiden Möglichkeiten zur kontrollierten Beheizung der Modellhäuser. Ein Arbeiten mit Netzspannung ohne vorgeschaltetes Netzgerät wäre mit höheren Kosten verbunden und würde Sicherheitsfragen aufwerfen.

### A.3 Die Temperaturmessung und Regelung

Für die Temperaturmessung wurden ebenfalls verschiedene Methoden im Vorfeld gegeneinander abgewogen. Die älteren Beschreibung in der fachdidaktischen Literatur berichten von der Verwendung konventioneller Flüssigkeitsthermometer [33, 34, 35]. Spätere Veröffentlichungen empfehlen u. a. die Verwendung elektrischer Fieberthermometer [36]. In einem Vorversuch wurde daher parallel mit verschiedenen Thermometern die Temperatur im Modellhaus während eines Aufheizvorgangs gemessen (Tab. A.2). Es kamen dabei ein als Lehrmittel konzipiertes digitales Temperaturmessgerät, ein digitales Autothermometer, ein digitales Handmultimeter mit angeschlossenem Thermofühler und ein Flüssigkeitsthermometer zum Einsatz. Die digitalen Messgeräte verfügen alle über ein Thermoelement als externen Fühler. Strenggenommen messen die Geräte nur Spannungs- und somit Temperaturdifferenzen. Für genauere Temperaturbestimmungen müsste daher ein Kontakt auf einer konstanten Referenztemperatur (z. B. Eiswasser) gehalten werden.

Im Ergebnis zeigte das Alkoholthermometer aus dem Bestand der Physiksammlung systematisch niedrigere Temperaturen als die anderen Messgeräte. Außerdem – und das ist entscheidend – zeigt es ein deutlich trägeres Reaktionsverhalten als die elektrischen Messgeräte. Vor dem Hintergrund dieser Versuche wurden günstige Autothermometer als Messgeräte für alle Gruppen angeschafft. Gleichwohl muss auch hier davon ausgegangen wer-

$t$ in min	$\theta$ Maey in °C	$\theta$ Atech in °C	$\theta$ VC140 in °C	$\theta$ Alkohol in °C
0	20,8	20,9	21	20,8
1	24,5	25,3	26	22
2	27,6	27,7	29	23,5
3	30,5	30,9	32	25,6
4	33,3	34,7	34	28,2
5	35,5	37,7	37	30,5
6	37,3	39,3	38	32
7	38,7	40,4	40	34
8	40,0	42,2	41	36
9	39,3	41,7	41	36,5
10	38,4	40,9	40	37
11	38,1	40,7	40	37
12	38,0	40,5	40	37

Tabelle A.2: Temperaturmessungen mittels verschiedener Geräte während eines Aufheiz- und Regelvorgangs. Alle Messfühler bzw. das Reservoir des Flüssigkeitsthermometers befanden sich an gleicher Position innerhalb des Modellhauses, abgeschirmt durch einen Karton vor direkter Einstrahlung durch die Lampe. Zum Einsatz kamen ein als Lehrmittel konzipiertes digitales Temperaturmessgerät der Firma MAEY, ein Autothermometer mit Innen- und Außenfühler der Firma ATECH, ein digitales Handmultimeter VOLT-CRAFT VC140 mit angeschlossenem Thermoelement und ein Alkoholthermometer mit kleiner Skalenteilung.

den, dass die angezeigte Temperatur als Messgröße deutlich fehlerbehaftet ist, die Digitalanzeige gaukelt mit einer Nachkommastelle eine in der Realität nicht erreichte Genauigkeit vor. Wichtig im Hinblick auf den Wettbewerb unter den Gruppen ist, dass die Thermometer untereinander keine stärkeren Abweichungen zeigen. Dies ist, wie Abbildung A.1 zeigt, erfüllt.

□

Abbildung A.1: Die eingesetzten Autothermometer untereinander im Vergleich. (Die rechte Anzeige zeigt die Temperatur am externen Fühler.) Gerundet auf volle Grad zeigen sie identische Temperaturen.

wieweriger erwies sich die exakte Temperaturregelung: Um die angestrebte Temperatur auf 0,1 K stabil zu halten, musste etwa 20 Minuten sorgfältig die Einstellung angepasst werden (Tab. A.3). Diese Schwierigkeit darf im Hinblick auf die Schülerinnen und Schüler nicht unterschätzt werden. Metzger sieht nur einseitig den Vorteil, dass die Klasse durch die Aufgabe der Temperaturregelung während des Messvorgangs beschäftigt sei [26]. Dieses Argument ließe sich noch verstärken, wenn man im Kennenlernen des Regelvorgangs ein erwünschtes Lernziel erblickt.

$t$ in min	$\theta$ in °C	$U$ in V	$I$ in A	$P$ in W
0	20,4	12	1,73	20,8
...	...	...	...	...
6	41,0	6,53	1,24	8,1
8	40,5	6,92	1,28	8,9
9	40,2	8,14	1,40	11,4
10	41,0	7,67	1,35	10,4
11	41,5	6,98	1,29	9,0
13	40,9	6,98	1,29	9,0
...	...	...	...	...
16	40,4	7,04	1,29	9,1
17	40,4	7,11	1,30	9,2
18	40,5	7,04	1,29	9,1
...	...	...	...	...
23	40,5	7,04	1,29	9,1

Tabelle A.3: Einregeln einer konstanten Temperaturdifferenz von  $\Delta T = 20$  K in einem Modellhaus aus Styropor.

Probemessungen ergaben bei der Maximalleistung von 21 W eine Aufheizdauer des Modellhauses aus Styropor<sup>®</sup> von 6 Minuten für eine Temperaturdifferenz von 20 K gegenüber der Umgebung. Als lang-

Übersehen wird jedoch die Gefahr, dass es einigen Gruppen in der Klasse bis zum Ende einer Unterrichtsstunde nicht gelingt, die gewünschte Temperatur konstant einzuregeln.

Aus den im Vorversuch ermittelten Messwerten ergibt sich für das Mustermodellhaus aus Styropor bei einer mittleren Oberfläche von  $0,29 \text{ m}^2$  ein Wärmedurchgangskoeffizient von  $1,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ . Wenn man erwägt, dass das Haus nicht vollkommen abgedichtet und ein Fenster in die Hauswand eingelassen war und dass andererseits das Haus mit der Grundseite auf dem Tisch stand, ergibt sich eine sinnvolle Größenordnung (Vgl. [6]).

## **Anhang B**

# **Tafelbilder und Arbeitsblätter**

### **B.1 Material zur Stunde vom 24. 5. 2004**

#### **Einstiegsfolie**

Abbildung B.1: Energieverbrauch privater Haushalte. Entnommen aus [27].

**Geplantes Tafelbild**

Abbildung B.2: Geplantes Tafelbild zur Stunde am 24. 5. 2004

**Folie zur Theorie der Wärmeleitung**

Abbildung B.3: Modellvorstellung zur Wärmeleitung. Entnommen aus [1, S. 244].

**Wärmeleitfähigkeiten im Vergleich**

Stoff	$\lambda$ in $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
Kupfer	384
Aluminium	220
Eisen	74
Granit	$\approx 2,5$
Eis (0°C)	2,2
Beton	$\approx 1$
Glas	$\approx 1$
Wasser	0,598
Ziegelstein	$\approx 0,6$
Holz (trocken)	$\approx 0,1$
Styropor	0,036
Luft	0,026

Tabelle B.1: Wärmeleitfähigkeiten bei 20°C. Daten entnommen aus [23].

**Hausaufgaben: Wärmeleitung**

Bei der Wärmeleitung vollzieht sich der Energietransport durch Wechselwirkung zwischen Atomen oder Molekülen, die aber selbst nicht transportiert werden. Wird beispielsweise fester Stab an einem Ende erwärmt, dann schwingen die Atome hier stärker, also mit höherer Energie als die Atome am kalten Ende. Durch Stöße mit den jeweils benachbarten Atomen wird die Wärmeenergie allmählich durch den Stab geleitet, wobei jedes Atom an seinem Platz bleibt. Die Metalle leiten die Wärme sehr gut, weil die freien Elektronen [In Metallen können sich die Elektronen als Besonderheit „frei“ bewegen. H. P.] in ihnen während ihrer Bewegung ständig mit den Atomen zusammenstoßen, deren thermische Energie aufnehmen, dadurch ihre eigene kinetische Energie [d. i. Bewegungsenergie. H. P.] erhöhen und sie dann durch Stöße mit anderen Atomen wieder abgeben. In Gasen wird die Wärme durch die Stöße der Gasmoleküle übertragen. Die Moleküle im wärmeren Teil des Gasvolumens haben eine höhere mittlere kinetische Energie als die im kälteren Teil und geben ihre Energie bei den Stößen teilweise an die langsameren Moleküle ab.

Entnommen aus [29, S. 546].

**Verständnisfragen:** Warum ist die Wärmeleitfähigkeiten von Gasen geringer als die von Festkörpern? Warum ist die Wärmeleitfähigkeit bei Metallen besonders hoch?

**Arbeitsblatt Schülerversuche Wärmeleitfähigkeit**

1. Baue den Versuch wie in folgender Abbildung auf:
  - 
  - Benutze in den Rohren nach Wahl Stäbe aus Kupfer und Eisen ODER aus Kupfer und Aluminium. Die Stäbe sollen in gleicher Höhe über der Brennerflamme stehen!
  - Statt des abgebildeten Brenners benutze den Brenner aus Glas!
  - Fülle in jedes Rohr gleich viel Wasser (s. Abb A1).
  - Setze in jedes Rohr von oben ein Thermometer ein (gehalten durch Gummistopfen). Thermometer muss ins Wasser eintauchen!
2. Notiere die Anfangstemperaturen, bereite damit die Tabelle unten vor!
3. Zünde den Brenner an
4. Lösche den Brenner, wenn die vorgegebene Endtemperatur  $\theta_2$  im Rohr mit dem Kupferstab erreicht ist.
5. Notiere die Endtemperatur im anderen Rohr!

**ACHTUNG:** Metallstäbe sind nach dem Versuch SEHR heiss! Vor Berühren unter kaltes Wasser halten!

Material	Anfangstemperatur $\theta_1$	Endtemperatur $\theta_2$	$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$
Kupfer			10 K
Aluminium bzw. Eisen			



## **B.2 Material zur Stunde vom 25. 5. 2004**

### **Einstiegsmotivation**

Abbildung B.4: Ein Harlekin als Zugluftbremse. Die Figur wird von innen gegen einen eventuellen Spalt unter der Wohnungstür gelegt.

### **Geplantes Tafelbild**



Abbildung B.5: Geplantes Tafelbild zur Stunde am 25. 5. 2004

**Arbeitsblatt Schülerversuche Konvektion**

1. Baue den Versuch wie in der Abbildung auf, benutze dabei *einen* Brenner aus Glas.
2. Zünde den Brenner an und halte ihn unter das Flügelrad!
3. Lass einen Tropfen Tinte (aus Deiner Tintenpatrone) in das Wasser im Glaskolben fallen, unmittelbar bevor Du den Brenner unter den Kolben hältst!
4. Was beobachtest Du jeweils?
5. Finde eine Erklärung für Deine Beobachtungen!

**Vorsicht** beim Abbau mit heißen Metallteilen (dünner Stab)!

**Arbeitsblatt Hausaufgaben**

**Hausaufgaben:** Lesen/Ansehen Kapitel 6 und 7 im „Modernisierungsratgeber Energie“

Beantworten der folgenden Fragen:

1. Welche Gruppen von Dämmstoffen unterscheidet man. Welche Wärmeleitfähigkeit sollten sie maximal haben? Vergleiche mit der Tabelle (HA von gestern)!
2. Wozu dient eine Dampfsperre (außer zur Verhinderung von Konvektion)?
3. Wo kann bei einem Schrägdach die Dämmung verlegt werden und wie dick sollte diese Dämmung sein?

### **B.3 Material zur Stunde vom 1. 6. 2004**

#### **Geplantes Tafelbild**



Abbildung B.6: Geplantes Tafelbild zur Stunde am 1. 6. 2004

#### **Arbeitsblatt Strahlengang Hohlspiegel**



Abbildung B.7: Der Strahlengang eines einfallenden, engen parallelen Lichtbündels am Hohlspiegel soll verfolgt werden. Abbildung hier nochmals um 50% verkleinert.

### Ausschreibung des Modellhausbauwettbewerbs

## Ausschreibung eines Wettbewerbs um das energiesparendste Modellhaus

Gymnasium zu St. Katharinen Oppenheim, Klasse 9d

1.-7. Juni 2004

**Formalien** Findet Euch in insgesamt 7 Gruppen zu maximal 4 Personen zusammen

**Arbeitsauftrag** Gebaut werden sollen Modellhäuser, die über eine gute Wärmedämmung verfügen. Es gilt also, den Transport von (Wärme-)Energie aus dem Haus heraus zu minimieren.

Die Häuser sollen über einen Mindestrauminhalt von **8 l** verfügen. Die Wandstärke darf maximal **2,5 cm** betragen. Es sind Fensterflächen von mindestens **100 cm<sup>2</sup>** vorzusehen. Im Dach ist eine verschließbare Öffnung von ca. 2 mal 2 cm vorzusehen, um später eine Heizung einzubauen. Eine weitere Öffnung im Dach ca. 4 cm von beiden Seitenwänden entfernt und ca. 1 mal 1 cm groß dient später der Einführung des Temperaturfühlers.

*Hinweis: Im einfachsten Fall genügt ein Karton, der die Mindestgröße erfüllt und in den die entsprechenden Öffnungen geschnitten wurden. Die Fensteröffnungen können z. B. mit transparenter Plastikfolie (Tüte/„gelber Sack“) zugeklebt wurden. Ihr könnt Euch aber auch gerne mehr Mühe machen und aufwändigere Wandaufbauten entwerfen. Spezialklebstoff für Hartschaummaterialien (Styropor®) ist in der Schule vorhanden.*

**Zeitvorgaben** Erstellt bis zum Donnerstag ein Konzept, das Ihr in der Stunde kurz mündlich vorstellt. Die Stunde soll auch Gelegenheit geben, Nachfragen zu stellen bezüglich Materialien und Aufbau. Eventuell kann in der Stunde auch bereits mit dem Bau begonnen werden. (Falls gewünscht, Material mitbringen.) Zu Beginn der Stunde am Montag, dem 7. Juni müssen die Häuser fertig aufgebaut sein.

**Ermitteln des Siegerhauses** Es gewinnt das Haus, das die geringste zugeführte Leistung (Energie/Zeit) benötigt, um eine Temperaturdifferenz von 20°C zur Umgebung über längere Zeit konstant zu halten. Sollte sich hierbei kein eindeutiger Sieger ermitteln lassen, gewinnt das Haus, in dem bei maximaler Leistung die höchste Temperatur erreicht wird. Die Messung findet in der Stunde am 7. Juni oder im Anschluss daran statt.

**Preise** Die Gewinnergruppe wird in einem Oppenheimer Eiscafé zum Eis eingeladen oder erhält wahlweise pro Person einen Eintrittsgutschein in ein Mainzer Kino. Zusätzlich findet eine Prämierung des schönsten Modellhauses statt.

## **B.4 Material zur Stunde vom 3. 6. 2004**

### **Geplantes Tafelbild**



Abbildung B.8: Geplantes Tafelbild zur Stunde am 3. 6. 2004

## **B.5 Material zur Stunde vom 7. 6. 2004**

### **Geplantes Tafelbild**



Abbildung B.9: Geplantes Tafelbild zur Stunde am 7. 6. 2004

**Arbeitsblatt Vergleichsmessung****Messanleitung**

1) Baut die Heizungsanlage entsprechend nebenstehendem Bild in Eurer Haus ein. Zur Bestimmung der elektrischen Leistung ( $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = U \cdot I$ ) müssen Strom und Spannung gemessen werden.

2) Führt den Temperaturmessfühler ca. 4 cm tief in

Eurer Haus ein.

3) Messt die Anfangstemperatur ( $\theta_0$ ) im Haus und bestimmt die gewünschte Endtemperatur ( $\theta_{End} = \theta_0 + 20 \text{ K}$ )

4) Beginnt die Messung mit voller Leistung (**max. 12 V!**), regelt später sorgfältig die gewünschte Endtemperatur ein.

**Messprotokoll**

Anfangstemperatur  $\theta_0$  :  °C ,

Endtemperatur  $\theta_{End} = \theta_0 + 20 \text{ K}$ :  °C .

$t$ in min	$\theta$ in °C	$U$ in V	$I$ in A	$P = U \cdot I$ in W
0				

**Achtung:** Lampe wird während des Versuchs heiss! Vorsicht, dass die Isolierung sich nicht entzündet!

## B.6 Material zur Stunde vom 8. 6. 2004

### Geplantes Tafelbild



Abbildung B.10: Geplantes Tafelbild zur Stunde am 8. 6. 2004

### Arbeitsblatt und Folie zur Wiederholung

#### Wärmeleitung (Konduktion)

**Ursache:** Stöße zwischen thermisch angeregten, um ihre Gleichgewichtsposition schwingenden Teilchen

**Vorkommen:** Nur in Materie (nicht im Vakuum)

**Was wird transportiert?** Nur Energie, nicht Materie

**Hängt ab von:** Material, Fläche, Dicke, Temperaturdifferenz

#### Wärmeströmung (Konvektion)

**Ursache:** Dichteunterschiede unterschiedlich warmer Materie. Durch die Schwerkraft sinken dichtere (=kältere) Teilmengen nach unten, weniger dichte (=warme) steigen auf.

**Vorkommen:** In Flüssigkeiten und Gasen

**Was wird transportiert?** Materie, bringt ihre Energie mit

#### Wärmestrahlung

**Ursache:** Durch die Schwingungen von thermisch angeregten, geladenen Teilchen wird elektromagnetische Strahlung erzeugt (wie Licht, nur im infraroten Bereich), die für eine Ausbreitung der Energie sorgt.

**Vorkommen:** Ausbreitung auch (und besonders gut) im materiefreien Raum

**Was wird transportiert?** Energie

**Hängt ab von:** Beschaffenheit der abstrahlenden Oberfläche (mattschwarz strahlt am stärksten, metallisch glänzend am wenigsten), stark von der Temperatur der Fläche ( $\sim T^4$ )!

### Folie Modellhäuser im Überblick

Gruppe		Volumen	Wand- dicke	$\theta_{max.}$ in °C
„Edgar’s House“	Burkart, Carla, Laura, Rebecca	4,2 l	4 cm	62,0
„Die Thermoskanne“	Alexander, Timm, Marcel, Christoph	6,8 l	2 cm	46,2
„Das Bauhaus“	Janis, Martin, Nico	7,7 l	2,5 cm	43,3
„Animal Farm“	Rainer, Marcel, Sabrina, Maïke	8,0 l	2,5 cm	36,2
„Die Schuhschachtel“	Annegret, Alina, Ortrun, Franziska	4,9 l	1,5 cm	37,8
„Black Box“	Eugen, Steffen, Helge, Johannes	9,0 l	2,5 cm	37,9

Tabelle B.2: Folie mit einer Übersicht über die Modellhäuser der Schüler. Nach Disqualifikation der Häuser „Edgar’s House“, „Die Thermoskanne“, „Das Bauhaus“ und „Die Schuhschachtel“ wegen Nichteinhaltung der Vorgaben gewinnt das Haus „Black Box“. Als schönstes Haus wird „Animal Farm“ gewählt.

### Abbildung Modellhäuser im Überblick

Abbildung B.11: Abbildung der Modellhäuser der Schüler. Von links „Edgar’s House“, „Die Thermoskanne“, „Black Box“, „Die Schuhschachtel“, „Das Bauhaus“, „Animal Farm“.



# Anhang C

## Aufgaben und Ergebnisse der Leistungsüberprüfung

### C.1 Die Aufgabenstellung der schriftlichen Überprüfung

#### SCHRIFTLICHE ÜBERPRÜFUNG IM FACH PHYSIK

Gymnasium zu St. Katharinen Oppenheim, Klasse 9d, Hannes Pahlke

14. 06. 2004

1. Benenne die drei Formen des Transports von Wärmeenergie!
2. Betrachte einen 1 m mal 1 m großen Ausschnitt aus einer Wand. Wovon hängt es ab, wieviel Energie pro Zeit durch Wärmeleitung hindurch transportiert wird?
3. Warum leiten Festkörper im Allgemeinen die Wärme besser als Gase?
4. Versuch: Glasrohr als Heizungsmodell
  - (a) Beschreibe die Durchführung des Versuchs und deine Beobachtung!
  - (b) Erkläre den Versuch! Welche Formen der Wärmeenergieübertragung spielen eine Rolle? Woher stammt die Energie, die das Wasser im Glasrohr antreibt?
  - (c) Inwiefern kann das Modell zur Erklärung einer Zentralheizungsanlage dienen?
5. Luft als Wärmeisolation
  - (a) Warum ist die Wärmedämmung bei Luft besonders groß, wenn sie in Poren eingeschlossen ist?
  - (b) Nenne Isolierstoffe, bei denen in Poren eingeschlossene Luft Verwendung findet!

6. In Laboren benutzt man flüssiges Helium beispielsweise zur Temperierung von supraleitenden Magnetspulen. Helium siedet bei 4,2 K. Damit möglichst wenig Helium verdampft, muss die Wärmeisolation extrem gut sein. Man setzt daher sogenannte Bad-Kryostaten ein. Entwerfe einen solchen Bad-Kryostaten! Dir stehen neben Metall (daraus bestehen die Gehäusewände), Vakuum und flüssiger Stickstoff (Siedetemperatur: 77 K) zur Verfügung.

Hinweis: Auch metallisch glänzende Oberflächen reflektieren Wärmestrahlung nicht vollständig und strahlen selbst noch Wärme ab. Diese Wärmeabstrahlung ist aber sehr stark von der Temperatur der Metallfläche abhängig ( $\sim T^4$ ). Benutze folgende Abbildung (Querschnitt) als Vorlage für deinen Entwurf! Beschriftung und kurze Begründung nicht vergessen! Die Entlüftungsöffnungen sollen außer Acht bleiben.

## C.2 Musterlösung der schriftlichen Überprüfung

1.
  - Wärmeleitung (Konduktion),
  - Wärmeströmung (Konvektion),
  - Wärmestrahlung
2.
  - Material (Wärmeleitfähigkeit)
  - Dicke des Materials
  - Temperaturdifferenz zwischen beiden Enden der Wand
3. In Festkörpern sind die Teilchen miteinander verbunden. Wird an einer Stelle (Wärme-)Energie zugeführt, so kann diese Energie besonders leicht durch Wechselwirkungen an benachbarte Teilchen weitergegeben werden. In Gasen beruht die Wärmeleitung auf Teilchenstößen. Dazu muss ein Teilchen auf ein anderes treffen.
4. Versuch: Glasrohr als Heizungsmodell
  - (a) Siehe Zeichnung:
  - (b) Von der Hand kommt Wärmeenergie. Sie wird durch die Glaswand zum Wasser geleitet und erwärmt das Wasser im Glasrohr auf der rechten Seite. Warmes Wasser besitzt eine geringere Dichte als kaltes Wasser. Daher steigt das warme Wasser im rechten Rohrabschnitt nach oben (Konvektion). Das kalte Wasser im linken Rohr sinkt ab. Es entsteht im gesamten Rohrkreislauf eine Wasserströmung im Gegenuhrzeigersinn. Das Fluorescein zeigt diese Strömung an.

- (c) Bei der Zentralheizung strömt warmes Wasser vom Heizkessel durch eine Rohrleitung zu den Heizkörpern und kaltes Wasser von dort durch eine andere Leitung zurück zum Kessel. Allerdings haben Heizungsanlagen meist zusätzlich eine Pumpe.

5. Luft als Wärmeisolation

- (a) Durch die Poren wird die Wärmeströmung (Konvektion) verhindert; so lässt sich die geringe Wärmeleitfähigkeit der Luft optimal nutzen.
- (b) Hartschaum (Styropor<sup>®</sup>)
- (c) Glaswolle/Steinwolle
- (d) Porenbetonstein/Hohlblockziegel

6. Siehe Zeichnung: