

Prüfungstermin Frühjahr 1999, Thema Nr. 3
Übertragung thermischer Energie

1. Stellen sie auf fachwissenschaftlichem Niveau qualitativ die für den Physikunterricht relevanten Sachverhalte zu den verschiedenen Arten der Übertragung thermischer Energie dar!

Im Wesentlichen existieren drei Arten für die Übertragung thermischer Energie: Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion.

Die **Wärmeleitung** begründet sich auf den Energietransport durch Wechselwirkung zwischen Atomen und Molekülen, die dabei jedoch nicht selbst transportiert werden.

Im Allgemeinen ist die Voraussetzung für Wärmeleitung, dass ein Körper an unterschiedlichen Stellen unterschiedliche Temperaturen besitzt. Ist dies der Fall, so wird in diesem Körper Wärmeenergie vom wärmeren zum kälteren Punkt des Körpers geleitet. Es stellt sich ein stationärer Zustand ein, bei dem die Temperatur gleichmäßig vom wärmeren zum kälteren Ende hin abnimmt und pro Zeit eine konstante Energiemenge durchfließt.

Die Wärmeleitfähigkeit wird durch den Wärmeleitungskoeffizienten beschrieben. Dieser ist für Gase, Flüssigkeiten und bestimmte Feststoffe (z.B. Holz) relativ gering, für Metalle hingegen wesentlich höher (Begründung sieht unten 3.).

Bei der **Wärmestrahlung** wird die Wärmeenergie durch elektromagnetische Wellen (Lichtwellen im Infrarotbereich), die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, transportiert.

Sie gehorchen dementsprechend den physikalischen Gesetzen der Lichtwellen:

- So benötigt die Wärmestrahlung kein Trägermedium, sondern kann sich auch im Vakuum ausbreiten,
- Sie breitet sich geradlinig aus,
- Sie gehorcht dem Reflexionsgesetz.

Wichtig ist zudem, dass jeder Körper elektromagnetische Strahlung in Form von Wärme emittiert und absorbiert. Die emittierte Leistung ist dabei abhängig von der Oberfläche des emittierenden Körpers, sowie von der absoluten Temperatur. Die absorbierte Leistung dagegen ist abhängig von der Oberfläche des absorbierenden Körpers und von der Temperatur seiner Umgebung.

Fällt nun elektromagnetische Strahlung auf einen undurchsichtigen Körper, so wird sie teilweise reflektiert und teilweise absorbiert. Dabei reflektieren farbige (insbesondere sehr helle oder verspiegelte) Körper den Großteil des sichtbaren Lichts, wohingegen dunkle Körper den größten Teil absorbieren.

Im Allgemeinen gilt zudem: Emittiert ein Körper mehr Strahlung, als er aufnimmt, so kühlt er ab und seine Umgebung erwärmt sich durch die Absorption dieser Strahlung. Analoges gilt für das Verhältnis $\text{Strahlung}_{\text{emittiert}} < \text{Strahlung}_{\text{absorbiert}}$.

Befindet sich der Körper in einem thermischen Gleichgewicht mit seiner Umgebung, so vollziehen sich Emission und Absorption von Wärme mit gleicher Geschwindigkeit.

Bei der **Konvektion** (in der Schule auch oft Wärmeströmung) ist die Wärmeübertragung mit einem Stofftransport verbunden.

Sie kann nur bei Fluiden stattfinden, da nur diese physikalisch so beschaffen sind, dass ein Stofftransport möglich ist. Wird ein Fluid nun erwärmt, nimmt seine Dichte ab, da es sich bei gleicher Masse ausdehnt. Auf Grund der geringeren Dichte wirkt nun eine Auftriebskraft auf

das erwärmte Fluid und es steigt nach oben. Die Wärmeenergie wird dabei als innere Energie mitgeführt. Während das Fluid mit der kleineren Dichte nach oben strömt, sinkt von oben das kältere Fluid, dessen Dichte höher ist, nach unten.

2. Beschreiben sie zu jeder unter 1. angeführten Energieübertragungsart ein typisches Schulexperiment

Zur Wärmeleitung:

Ein Kupfer- oder Aluminiumstab, an dessen Enden Kontaktthermometer angebracht sind, wird mittels eines Bunsenbrenners an einer Seite erhitzt. Hierbei ist darauf zu achten, dass das Kontaktthermometer auf der Seite des Bunsenbrenners nicht mit in den Bunsenbrenner gehalten wird, sondern mind. 2 cm von dessen Flamme entfernt am Stab anliegt.

Beobachtung:

Während das Thermometer an der erwärmten Seite sehr schnell relativ weit ausschlägt, ist die Temperatur am anderen Ende zunächst konstant, nimmt dann jedoch stetig zu.

Dies geschieht solange, bis sich ein thermisches Gleichgewicht zwischen beiden Enden einstellt. Dabei bleiben die Temperaturen der beiden Enden konstant (wobei diese Temperaturen natürlich noch unterschiedlich sind).

Zur Wärmestrahlung:

Für dieses Experiment benötigt man zwei geschlossene Briefchen (ca. 5*3 cm), beide aus schwarzem Tonpapier. Eines der beiden wird mit einer Lage Aluminiumfolie umwickelt.

In beide Briefchen wird an den gleichen Stellen je ein Loch gestochen und mit je einem Thermometer die Innentemperatur gemessen. Diese sollte im Rahmen der Messgenauigkeit übereinstimmen.

Die Temperaturfühler verbleiben in den Briefchen während diese auf einen eingeschalteten Overheadprojektor gelegt werden.

Hierbei ist darauf zu achten, dass beide Briefchen ungefähr im gleichen Abstand von der Lampe des Projektors liegen und so die gleiche Strahlung abbekommen.

Beobachtung:

In beiden Briefchen steigt die Temperatur. Im schwarzen Briefchen tut sie das jedoch wesentlich schneller als im aluminiumumwickelten.

Zur Konvektion:

Für dieses Experiment wird ein Tintenfasschen mit zwei Löchern (Durchmesser ca. 0,5cm) im Deckel benötigt.

Dieses Tintenfasschen wird mit heißem, gefärbtem Wasser gefüllt und mit den Löchern nach oben in ein durchsichtiges Wasserbecken gestellt, welches mit wesentlich kälterem Wasser gefüllt ist.

Beobachtung:

Aus einem Loch im Deckel tritt gefärbtes Wasser aus. Es steigt nach oben, verbreitet sich an der Oberfläche und sinkt dann wieder nach unten.

3. Erläutern sie auf Grundlage des Teilchenmodells die Wärmeleitung!

Führt man einem Festkörper an dessen Ende Energie zu, so ist die mittlere Energie der Teilchen in diesem Bereich größer als in den übrigen Bereichen des Körpers.

Nun übertragen die Teilchen mit der größeren Bewegungsenergie durch Verrichtung von Arbeit (Schwingungen um ihre Gitterplätze) Energie auf benachbarte Teilchen, die weniger E-

nergie besitzen. Daraufhin nimmt deren Energie ebenfalls zu. Dieser Vorgang setzt sich nach dem Schneeballprinzip fort. So wird die zugeführte Energie als Energie- oder Wärmestrom von Bereichen höherer Temperatur zu Bereichen niedrigerer Temperatur geleitet.

Wie in 1. bereits erwähnt, setzt er sich so lange fort, bis sich ein stationärer Zustand eingestellt hat (Temperatur nimmt im Stab von erhitzten zum nicht erhitzten Ende gleichmäßig ab). In diesem Zustand haben die Atome am erhitzten Ende des Stabs zwar immer noch eine höhere Energie, als am nicht erhitzten, aber die Energien ändern sich nun nicht mehr, da gleich viel Energie aufgenommen wie abgegeben wird.

Bei metallischen Stoffen spielt die Gitteranordnung der Teilchen und deren Schwingungen keine wichtige Rolle mehr für den Wärmetransport. Dieser wird im Wesentlichen nämlich von den freien Elektronen im Metall verrichtet. Aus diesem Grund ist die Wärmeleitfähigkeit von Metallen auch wesentlich höher, als die von „Nicht – Metallen“.

- 4. Zeigen sie für die verschiedenen Arten der Übertragung thermischer Energie an je einem Naturphänomen und an je einer technischen Anwendung den Bezug zur Lebenswelt der Schüler und Schülerinnen auf! Geben sie konkrete Hinweise, wo und wie die Lernenden außerhalb des Unterrichts, z. B. eine Hausaufgabe, die angeführten Beispiele kennen lernen und untersuchen können!**

Naturphänomene und technische Anwendungen der verschiedenen Wärmeübertragungsarten:

Zur Wärmeleitung:

- *Naturphänomen:*

Die Erde gefriert im Winter höchst selten weiter als 1m unter die Oberfläche.

Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass in der Erde zahlreiche Lufteinschlüsse vorhanden sind und Luft ein schlechter Wärmeleiter ist.

- *Technische Anwendung:*

Jeder Prozessor in einem Computer wird heute von einem Kühler unterstützt, um eine Überhitzung zu vermeiden. Neben Aktivkühlern mit Ventilatoren gibt es auch Passivkühler, die aus Materialien bestehen, die eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzen. Da diese Kühler mittels Wärmeleitpaste direkt mit dem Prozessor in Kontakt stehen, wird die Wärme, die der Prozessor produziert, durch den Wärmetransport in dem Kühler vom Prozessor weg geleitet.

Zur Wärmestrahlung:

- *Naturphänomen:*

Die Wärmestrahlung ist im Wesentlichen dafür verantwortlich, dass die Wärme, die durch die Sonne produziert wird, durch den luftleeren Raum zur Erde gelangt.

Eine Erwärmung der Erde durch die Sonne wäre ohne die Wärmestrahlung gar nicht möglich. Folglich könnte auch kein Leben in der uns bekannten Form auf der Erde existieren.

- *Technische Anwendung:*

Eine nicht so verbreitete Nutzmöglichkeit der Wärmestrahlung sind Sonnenkollektoren.

Diese werden auf Dächern montiert, um eine direkte Sonneneinstrahlung zu gewährleisten. Diese Wärmeeinstrahlung durchdringt die Glasscheibe beinahe ungeschwächt und wird zum großen Teil von den schwarzen Rohren absorbiert. Durch Wärmeleitung in den Rohren wird nun die in den Rohren strömende Flüssigkeit erwärmt.

Diese Flüssigkeit durchströmt anschließend innerhalb des Hauses einen Wärmetauscher, der die thermische Energie an das Heiz- oder Brauchwasser abgibt.

Zur Konvektion:

- *Naturphänomen:*

Größere Vögel wie Bussarde, Adler oder Störche nutzen dieses Phänomen zum Steigen. Die Luftmassen, die am Boden von der Sonneneinstrahlung erwärmt werden, steigen wegen der Abnahme ihrer Dichte nach oben. Da die erwähnten Vögel alle relativ große Flügel haben, bleibt ein Teil der aufsteigenden Luft unter den ausgebreiteten Flügeln und verschafft den Vögeln so eine Schubkraft nach oben, ohne dass diese zusätzlich mit ihren Flügeln schlagen müssen.

- *Technische Anwendung*

Die Konvektion findet z.B. in einer Warmwasserheizung Anwendung:

So wird das Heizungswasser im Keller durch einen Brenner erwärmt und steigt über Rohrleitungen nach oben zu den Heizkörpern in den verschiedenen Zimmern. Hier gibt das Wasser die mitgeführte Wärme über Wärmeleitung (an den Heizkörper) und Wärmestrahlung (an die Umluft) wieder ab. Durch diese Abgabe nimmt die Temperatur des Wassers ab. Da von unten immer warmes Wasser nachkommt, wird das abgekühlte Wasser wieder nach unten geleitet, wo der Prozess von neuem beginnt. Da dieser Vorgang jedoch relativ lange dauert, ist mittlerweile in jeder Warmwasserheizung eine Pumpe eingebaut, die den Wasserleitungsprozess beschleunigt.

Erforschung der Phänomene außerhalb des Unterrichts:

Wärmeleitung:

Die Schüler sollen zu Hause einen Becher mit sehr heißem Wasser füllen und ihn mit einem Bierdeckel abdecken, in den sie zwei Löcher gestoßen haben. In eines dieser Löcher sollen sie einen vollmetallinen Löffel einführen und in den anderen einen Kunststofflöffel.

Nach 2 – 3 Minuten sollen sie testen, welcher der beiden Löffel wärmer ist.

So sollen sie zu der Erkenntnis gelangen, dass die Wärmeleitung eines Körpers abhängig ist von dessen Material.

Wärmestrahlung:

Die Schüler sollen zwei gleiche Konservendosen mit Wasser füllen, komplett mit weißem bzw. schwarzem Tonpapier umwickeln und die Deckel mit entsprechenden Tonpapierscheiben bekleben. Diese Dosen sollen sie dann vollständig der Sonneneinstrahlung aussetzen. Nach 1 – 2 Stunden sollen sie durch Fühlen in der Umgebung der Dosen austesten, welche der beiden mehr Wärme abstrahlt.

Die Schüler sollen auf diese Weise zu der Erkenntnis gelangen, dass die schwarze Dose nicht nur mehr Wärme absorbiert, sondern auch mehr Wärme abstrahlt als die weiße.

Konvektion:

Die Schüler sollen zu Hause eine Kerze anzünden und sie um ca. 45° schräg halten.

Dann sollen sie sich überlegen, warum die Flamme nicht dem Verlauf der Kerze folgt (und dementsprechend auch im 45° Winkel zur Vertikalen steht), sondern weiterhin senkrecht nach oben zeigt.

Für die Begründung dieser Beobachtung ist noch eine kleine Vorüberlegung notwendig. Die Flamme ist streng genommen nichts anderes, als sehr heißes gasförmiges Wachs und Luft. Dieses Gemisch hat auf Grund seiner hohen Temperatur eine geringere Dichte als die Umgebungsluft und erfährt deshalb eine Auftriebskraft senkrecht nach oben.