

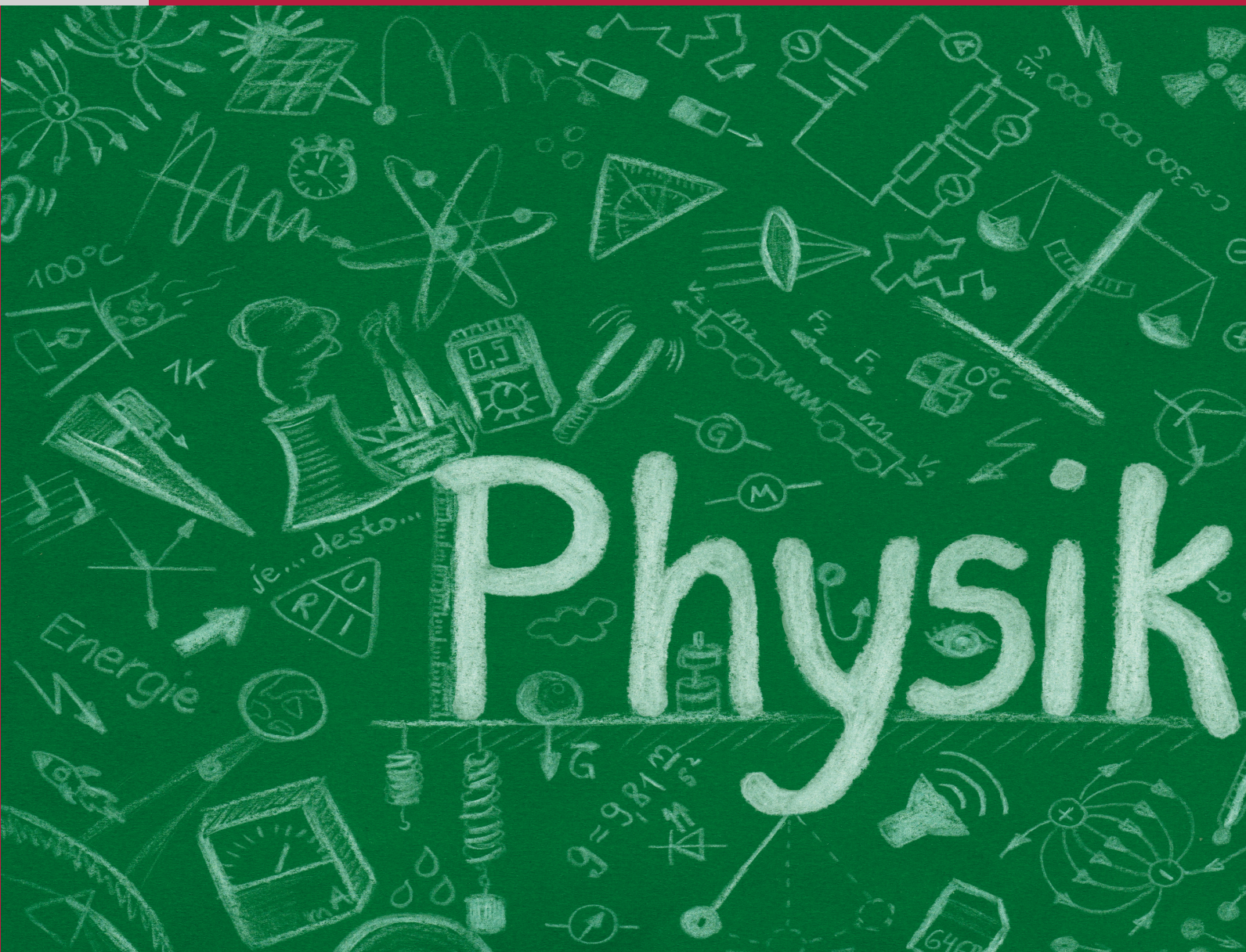


Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

WÄRMETRANSPORTE UND IHRE BEEIN- FLUSSUNG – THERMISCHE ENERGIE- STRÖME IM BASISKONZEPT SYSTEM

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Physik – Themenfeld 8



In den PL-Informationen werden Ergebnisse veröffentlicht, die von Lehrerinnen und Lehrern aller Schularten unter Einbeziehung weiterer Experten erarbeitet und auf der Grundlage der aktuellen pädagogischen oder fachdidaktischen Diskussion für den Unterricht oder die Schulentwicklung aufbereitet wurden. Mit ihnen werden Anregungen gegeben, wie Schulen bildungspolitische Vorgaben und aktuelle Entwicklungen umsetzen können.

Die PL-Informationen erscheinen unregelmäßig. Unser Materialangebot finden Sie im Internet auf dem Landesbildungsserver unter folgender Adresse:

<http://bildung-rp.de/pl/publikationen.html>

Die vorliegende Veröffentlichung wird gegen eine Schutzgebühr von 6,00 Euro zzgl. Versandkosten abgegeben. Bestellungen richten Sie bitte an das Pädagogische Landesinstitut:

bestellung@pl.rlp.de

IMPRESSUM

Herausgeber:

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz
Standort Bad Kreuznach
Röntgenstraße 32
55543 Bad Kreuznach
pl@pl.rlp.de

Redaktion:

Benjamin Hinkeldey, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Skriptbearbeitung:

Corina Blumenröder-Zimmer, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Titelbild:

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Januar 2017

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2017

ISSN 2190-9148

Soweit die vorliegende Handreichung Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Sollten dennoch in einigen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an das Pädagogische Landesinstitut Rheinland-Pfalz.

INHALT

1	Themenfeld 8: Wärmetransporte und ihre Beeinflussung – Thermische Energieströme im Basiskonzept System	3
1.1	Überblick über das achte Themenfeld	3
1.2	Die Themenfeld-Doppelseite	4
1.3	Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung	6
1.3.1	Intention	6
1.3.2	Kompetenzen	7
1.3.3	Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe	7
1.3.4	Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung	8
1.3.5	Differenzierungsmöglichkeiten	8
1.3.6	Bezüge	9
1.4	„Der rote Faden“ – Themenfeld 8 und seine Bezüge zu anderen Themenfeldern	10
1.5	Didaktische Anmerkungen	15
1.5.1	Zum physikalischen Fachbegriff „Wärme“ und der umgangssprachlichen Bedeutung des Wortes	15
1.5.2	Zur Einführung der Entropie im Unterricht der Mittelstufe	16
1.5.3	Zum Zusammenhang von Energiestrom und Entropiestrom	19
1.5.4	Zur Messung thermischer Energieströme mittels Peltierelementen	21
2	Unterrichtsbeispiele	23
2.1	Vorüberlegungen	23
2.2	Vorschlag für einen Unterrichtsgang: Tee warm halten	25

Literaturverzeichnis	52
Autorinnen und Autoren	53

1 THEMENFELD 8: WÄRMETRANSPORTE UND IHRE BEEINFLUSSUNG – THERMISCHE ENERGIESTRÖME IM BASISKONZEPT SYSTEM

1.1 Überblick über das achte Themenfeld

Der neue Lehrplan im Fach Physik für die Klassen 7 bis 9/10 der weiterführenden Schulen des Landes Rheinland-Pfalz trat zum Schuljahr 2014/15 in Kraft und schließt konzeptionell an den Lehrplan des Faches Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe an.

Die drei Säulen des NaWi-Unterrichtes **Kompetenzen, Basiskonzepte** und **Kontexte** bilden auch die Stützpfiler des Physikunterrichts und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

Das achte Themenfeld ist im Rahmen des spiralig angelegten Curriculums das zweite Themenfeld, das Aspekte aus der Wärmelehre zum Inhalt hat. Dabei liegt der Schwerpunkt hier auf der Betrachtung von thermischen Energieströmen und den sie beeinflussenden Parametern.

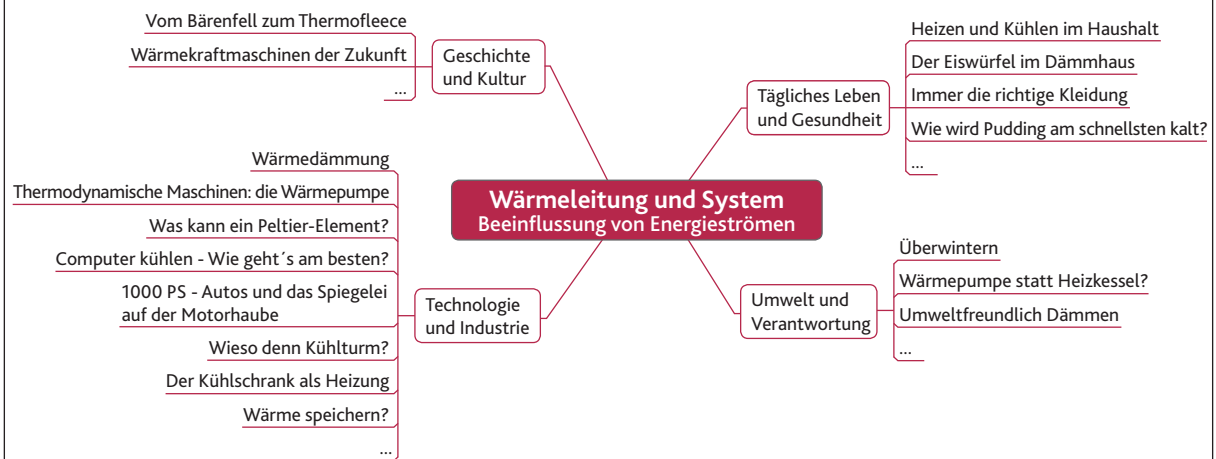
Eine besondere Intention für diese Schwerpunktsetzung liegt darin begründet, dass die Möglichkeit analoger Betrachtungsweisen bei elektrischen und thermischen Energieströmen didaktisch gewinnbringend genutzt werden kann. Abstrakte Begriffe zur Beschreibung elektrischer Ströme können mit den Schülerinnen und Schülern geläufigeren Größen bei thermischen Strömen verknüpft werden. So können aus dem ersten Themenfeld zur Elektrizitätslehre (Themenfeld 6) bekannte Sachverhalte (elektrische Energieströme benötigen eine Potenzialdifferenz als Antrieb) auf thermische Energieströme übertragen werden (hier sorgt eine Temperaturdifferenz für den Antrieb). Die Bedeutung des Begriffs „Widerstand“ wird bei thermischen Energieströmen sinnlich erfahrbar und bereitet damit ein Verständnis des in Themenfeld 9 einzuführenden Begriffs des elektrischen Widerstandes vor.

Die vorliegende Handreichung stellt die Themenfeld-Doppelseite des Lehrplans vor und zeigt beispielhaft, wie dieses Themenfeld entsprechend den Lehrplananforderungen konkret im Unterricht umgesetzt werden kann.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen werden die in der Handreichung vorgestellten Materialien (z. B. Arbeitsblätter) nicht 1:1 abgedruckt. Alle vorgestellten Materialien stehen in editierbarer Form zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter:
<http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/physik/unterricht.html>

1.2 Die Themenfeld-Doppelseite

TF 8: Wärmetransporte und ihre Beeinflussung Thermische Energieströme im Basiskonzept System	
<p>Effekte von erwünschten bzw. unerwünschten Wärmetransporten spielen im Alltag vielfach eine Rolle. So ist bei Wohnhäusern eine effektive Wärmedämmung gefragt, während bei der Kühlung von Prozessoren ein möglichst ungehinderter thermischer Energiestrom erwünscht ist. Nicht zuletzt hat die Frage nach der passenden Kleidung neben dem modischen auch einen physikalischen Aspekt.</p> <p>Ein Schwerpunkt dieses Themenfeldes ist es, Grundlagen der Wärmeleitung zu betrachten und dabei Anknüpfungsmöglichkeiten für die Beschreibung elektrischer Ströme bereitzustellen. Derartige thermische Ströme benötigen eine Temperaturdifferenz als Antrieb und lassen sich durch den Wärmewiderstand des durchströmten Materials in ihrer Stärke beeinflussen (Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept). Der besondere didaktische Reiz besteht darin, dass bei den thermischen Strömen ein „Begreifen“ von „Widerstand“ möglich ist und somit der thermische Widerstand – im Gegensatz zum elektrischen Widerstand – der sinnlichen Erfahrung zugänglich ist.</p>	
<p>Kompetenzen:</p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> • planen Experimente zu thermischen Energietransporten (z. B. zur effektiven Kühlung oder Wärmedämmung), führen sie durch, werten sie quantitativ mit Hilfe der Darstellung von Temperaturverläufen im Diagramm aus und interpretieren sie, • diskutieren und argumentieren in Bezug auf verschiedene Möglichkeiten der Kühlung bzw. Wärmedämmung, • optimieren Kühl- und Wärmedämmmaßnahmen durch gezielte Beeinflussung thermischer Energieströme, • vergleichen und bewerten verschiedene Möglichkeiten zur Kühlung bzw. Wärmedämmung, • nutzen Energieflussdiagramme zur Erklärung des Grundprinzips von Wärmepumpen und Wärmekraftmaschinen. 	
<p>Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (Wärmeleitung benötigt Temperaturdifferenz). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier der Temperatur). (SY, E) • Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die Stärke thermischer Ströme ist von Art, Dicke und Querschnitt des durchströmten Materials abhängig (thermischer Widerstand). (SY) • Die Vermeidung von unerwünschter Energieabgabe trägt zur Nachhaltigkeit bei. (E) 	<p>Fachbegriffe:</p> <p>Temperatur thermischer Strom Energie thermisches Gleichgewicht Wärmepumpe</p>

Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:**Differenzierungsmöglichkeiten:**

Einfache Experimente mit variierenden Parametern (Temperaturen, Dämmmaterial und -dicke) zeigen die Einflussfaktoren auf den thermischen Energiestrom. Dabei genügen zur vergleichenden Darstellung Messungen des Temperaturverlaufs oder direkte Messungen mittels geeigneter Messgeräte (z. B. Peltier-Elemente).

Zum vertieften Konzeptverständnis werden die Darstellungen stärker quantifiziert bzw. mathematisiert (z. B. Zusammenhang von Energie- und Temperaturänderung $\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$).

Eine weitere Vertiefungsmöglichkeit kann auf experimenteller Ebene vorgenommen werden, wenn je nach Komplexität eine oder mehrere Größen konstant gehalten werden müssen, um eine Formel zu gewinnen. Auch eine Vertiefung auf technischer Ebene ist möglich, z. B. zu Aufbau und Funktionsweise von Wärmepumpen.

Falls als Energieträger die Entropie (in phänomenologischer Deutung) eingeführt wird, kann die Analogie zwischen thermischen und elektrischen Energietransporten auch auf der Ebene der physikalischen Formeln und Größen herausgestellt werden (z. B. Zusammenhang von Energie- und Entropiestrom $P = I_S \cdot T$).

Abb. 1: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Physik“, S. 114/115

1.3 Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung

Die einzelnen Rubriken der Themenfeld-Doppelseite geben den Rahmen für die Unterrichtsplanung vor. Die Inhalte der Rubriken der linken Seite sind verbindlich umzusetzen, in denen der rechten werden Anregungen für die Unterrichtsgestaltung gegeben.

Themenfeld-Titel		Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung
Intention		Differenzierungsmöglichkeit
Kompetenzen		
Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte	Fachbegriffe	Bezüge

Der zweigeteilte **Themenfeld-Titel** „Wärmetransporte und ihre Beeinflussung – Thermische Energieströme im Basiskonzept System“ liefert eine fachsystematische Einordnung und gibt Aufschluss darüber, welches Basiskonzept schwerpunktmäßig weiterentwickelt werden soll. Inhaltlich wird aus dem Bereich der Wärmelehre vor allem auf die Betrachtung von Wärmetransporten fokussiert und deren gezielte Beeinflussung in den Mittelpunkt gerückt. Dabei wird das Basiskonzept „System“ weiter entwickelt und insbesondere der Begriff des Widerstands herausgearbeitet.

1.3.1 Intention

Die **Intention**, die im Unterricht **verbindlich** umzusetzen ist, gibt Aufschluss über die Bildungsabsicht.

Der zentrale Aspekt dieses Themenfeldes ist die Betrachtung von thermischen Energieströmen unter dem Aspekt „System“ und die damit verbundene Möglichkeit, analoge Strukturen bei elektrischen und thermischen Energieströmen herauszuarbeiten und didaktisch nutzbar zu machen.

Für die Herstellung eines Alltagsbezugs bietet sich die Betrachtung verschiedener Situationen an, in denen Wärmetransporte erwünscht (z. B. Kühlung eines Prozessors) oder aber unerwünscht (z. B. Dämmung eines Wohnhauses, Warmhalten von Tee) sind.

Der Schwerpunkt der Betrachtungen sollte auf dem Aspekt der Wärmeleitung liegen, denn dadurch bietet sich die Möglichkeit, Analogien zu bereits bekannten Phänomenen der Elektrizitätslehre zu nutzen – dort war als Antrieb eine Potenzialdifferenz nötig, hier ist es eine Temperaturdifferenz. Die Beeinflussung des thermischen Energiestroms (der Wärmeleitung) durch verschiedene Materialien bietet die Möglichkeit, den Begriff „Widerstand“ als Einflussgröße auf eine Stromstärke sinnlich erfahrbar zu machen. In Themenfeld 9 wird dieser Aspekt dann bei der Betrachtung des elektrischen Stromkreises als System wieder aufgegriffen.

1.3.2 Kompetenzen

Die hier aufgeführten konkreten Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler sind im Rahmen des Themenfeldes **verbindlich** zu ermöglichen und tragen zur Kompetenzentwicklung bei. In Themenfeld 8 werden Beiträge zur Weiterentwicklung in allen vier Kompetenzbereichen „Erkenntnisgewinnung“, „Kommunikation“, „Bewertung“ und „Umgang mit Fachwissen“ geleistet.

Die Schülerinnen und Schüler können in Themenfeld 8 ihre Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung weiterentwickeln, indem sie Experimente planen, Messungen durchführen, die Ergebnisse grafisch darstellen und quantitativ auswerten. Die Kompetenzentwicklung im Bereich Kommunikation wird bei der Diskussion und Argumentation in Bezug auf verschiedene Möglichkeiten zur Kühlung bzw. Wärmedämmung vorangebracht. Das Vergleichen und Bewerten dieser Möglichkeiten fördert die Bewertungskompetenz. Der Umgang mit Fachwissen wird sowohl bei der Optimierung von Maßnahmen zur Kühlung und Wärmedämmung durch gezielte Beeinflussung thermischer Energieströme als auch beim Erklären des Grundprinzips von Wärmepumpen und Wärmekraftmaschinen gefördert.

1.3.3 Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe

Die vermittelten Fachinhalte sollen über die Jahre hinweg Schülerinnen und Schülern helfen, eigene physikalische Konzepte aufzubauen. Deshalb wird das Fachwissen immer an Basiskonzepte angebunden.

Die beiden Rubriken „Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte“ und „Fachbegriffe“ geben verbindliche Hinweise darauf, mit welcher Schwerpunktsetzung die Fachinhalte aufbereitet werden sollen, um das angestrebte Konzeptverständnis zu erreichen, und welche Fachbegriffe von den Schülerinnen und Schülern im Unterricht verbindlich benutzt werden sollen.

Themenfeld 8 zielt schwerpunktmäßig auf die Entwicklung der Basiskonzepte Energie und System. Dabei stehen der thermische Energietransport sowie die gezielte Beeinflussung der Stärke dieser Energieströme im Mittelpunkt der Betrachtung. (Siehe hierzu auch Kapitel 1.4)

Eine Überfrachtung des Unterrichts mit Begriffen, die der reinen Beschreibung von Phänomenen dienen und weder aus pädagogischer Absicht noch zum Aufbau von Konzepten gebraucht werden, ist dringend zu vermeiden.

1.3.4 Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung

Diese Rubrik zeigt bildungsrelevante Kontexte und konkrete Fragestellungen aus vier lebensweltlichen Bereichen, die zentralen Bedürfnisfeldern der Menschen entsprechen. Es sind Vorschläge, wie das achte Themenfeld kontextuell angebunden werden kann. Weder die Abdeckung der vier Äste der Mindmap noch die Umsetzung dort aufgeführter Kontexte sind verbindlich. Sie sollen lediglich die Vielfalt der Möglichkeiten aufzeigen und entsprechende Anregungen geben. Bei der Wahl geeigneter Kontexte für die eigene Unterrichtsplanung sollten neben individuellen Interessen der Lernenden auch schulische Besonderheiten beachtet werden:

- fächerverbindende oder integrierte Lernangebote (z. B. zusammen mit Biologie),
- Möglichkeit für Projekte, z. B. im Ganztagsunterricht,
- Zusammenarbeit mit nicht-naturwissenschaftlichen Fächern oder dem Wahlpflichtfach,
- schulische Ausstattung,
- aktuelle Themen/Anlässe,
- Angebote außerschulischer Kooperationspartner.

1.3.5 Differenzierungsmöglichkeiten

Die dargestellten Möglichkeiten beziehen sich sowohl auf äußere Differenzierung, wie z. B. für unterschiedliche Schulformen, als auch auf binnendifferenzierte Arbeitsweisen innerhalb einzelner Lerngruppen. Sie schlagen Ansatzpunkte für die Differenzierung nach oben wie nach unten vor, um die Lerninhalte individuell an die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Lerngruppen anzupassen.

Der erste Abschnitt macht deutlich, dass ein Grundverständnis für die Einflussfaktoren auf thermische Energieströme schon mit Hilfe einfach strukturierter Experimente erreicht werden kann.

In den nächsten Abschnitten wird aufgezeigt, dass eine Vertiefung sowohl durch stärkere Abstraktion und Mathematisierung als auch durch eine Erhöhung der Komplexität bei der experimentellen Untersuchung erfolgen kann.

Der letzte Abschnitt weist auf die didaktische Alternative hin, in diesem Themenfeld die Entropie als Energieträger einzuführen und dann auch die strukturelle Gleichheit der mathematischen Formeln nutzen zu können. (Siehe hierzu Kapitel 1.5.2 dieser Handreichung)

1.3.6 Bezüge

Um Synergien nutzen zu können, empfiehlt es sich, zumindest die Arbeitspläne und Unterrichtsverteilungen der naturwissenschaftlichen Fächer NaWi, Biologie, Chemie und Physik aufeinander abzustimmen. Welche Voraussetzungen genau in NaWi geschaffen wurden bzw. wie die optimale Anbindung an die späteren Themenfelder in Chemie und Biologie aussehen kann, ist u. a. wegen der Kontingenzstundentafel und der darauf aufbauenden schulinternen Arbeitspläne sehr schulspezifisch. Auch deswegen empfehlen sich Absprachen innerhalb der Fachkonferenz bzw. fachübergreifend. Je besser die Vernetzung zwischen den Fächern erfolgt, desto kontinuierlicher werden Kompetenzen entwickelt und desto besser gelingt ein kumulativer Aufbau der Basiskonzepte.

Beispielhaft wird gezeigt, dass das Themenfeld 8 des Physiklehrplans inhaltliche Verbindungen zu den Themenfeldern 1 und 5 des NaWi-Lehrplans, zu den Themenfeldern 4 und 5 des Biologielehrplans, zu den Themenfeldern 3 und 8 des Chemielehrplans und zu den Themenfeldern 2, 3, 6, 9 und 11 des vorliegenden Physiklehrplans aufweist.

Im NaWi-Unterricht der Orientierungsstufe haben die Schülerinnen und Schüler in Themenfeld 1 eventuell Temperaturmessungen vorgenommen und in Themenfeld 5 die Angepasstheit an verschiedene Temperaturen thematisiert.

In der Biologie werden in den Themenfeldern 4 und 5 Energietransporte und Energieversorgung des Organismus thematisiert. Bei den Verbrennungsreaktionen in Themenfeld 3 der Chemie spielen thermische Energietransporte eine wichtige Rolle; Themenfeld 8 thematisiert u. a. die Steuerung und Nutzung der Energieabgabe bei großtechnischen Verfahren.

Die angegebenen Bezüge zum Physiklehrplan weisen darauf hin, dass z. B. aus Themenfeld 2 Kenntnisse zur Absorption und damit zusammenhängender Erwärmung vorhanden sind; der Temperaturbegriff wurde in Themenfeld 3 eingeführt. Eine weitere Nutzung des in Themenfeld 8 erarbeiteten Wissens ist im Zusammenhang mit Sensoren in Themenfeld 11 möglich. Zu weiteren Bezügen innerhalb der Physik insbesondere auch unter dem Aspekt der Entwicklung des Basiskonzepts System siehe auch Abschnitt 1.4.

Neben den genannten sind auch Bezüge zu weiteren Fächern möglich. Schulinterne Abstimmung ist hierbei ebenfalls notwendig und hilfreich.

1.4 „Der rote Faden“ – Themenfeld 8 und seine Bezüge zu anderen Themenfeldern

Entwicklung von Basiskonzepten

Der Physiklehrplan zielt auf die **Entwicklung von Basiskonzepten**, mit deren Hilfe sich die Schülerinnen und Schüler ein Bild von der Physik machen können, die ihnen aber auch in den anderen Naturwissenschaften bei der Erklärung ihrer lebensweltlichen Fragen helfen können. In der nachstehenden Grafik ist erkennbar, dass die Basiskonzepte kontinuierlich weiterentwickelt werden und einzelne Themenfelder jeweils auf unterschiedliche Weise Beiträge zur Entwicklung dieser Basiskonzepte leisten.

Basiskonzept	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	TF 5	TF 6	TF 7	TF 8	TF 9	TF 10	TF 11	TF 12
Energie												
System												
Teilchen-Materie/Stoff												
Struktur-Eigenschaft-Funktion												
Chemische Reaktion												
Wechselwirkung												
Entwicklung												

Basiskonzept verpflichtend Basiskonzept fakultativ

Abb. 2: Entwicklung von Basiskonzepten

Der Schwerpunkt des vorliegenden Themenfeldes liegt auf einer Weiterentwicklung in Bezug auf die Basiskonzepte Energie und System. Dazu leisten verschiedene Erkenntnisse und Beobachtungen aus dem Unterricht einen Beitrag. Wichtig für die Lehrkraft ist es, Lernmaterialien und Unterrichtssituationen so aufzubereiten und zu gestalten, dass diese Entwicklung und der Bezug auf bereits vorhandenes Konzeptwissen auch bewusst gemacht werden.

Das Basiskonzept Energie wurde im vorangegangenen Unterricht schwerpunktmäßig in den Themenfeldern 4 und 6 entwickelt. Dabei wurde in Themenfeld 4 die Energie vor allem im Zusammenhang mit Bewegungsvorgängen betrachtet. In Themenfeld 6 haben sich die Lernenden mit dem Transport und den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten von Energie befasst. Dabei stand neben dem Transport von Energie auf dem Träger Elektrizität auch die Umladung der Energie auf andere Träger in verschiedenen Elektrogeräten im Zentrum der Betrachtung. Auch im Umgang mit den Einheiten für die Energie sowie für die Energiestromstärke (Leistung) sollte eine gewisse Vertrautheit erreicht worden sein.

Im Mittelpunkt der unterrichtlichen Betrachtungen in Themenfeld 8 steht nun zunächst weniger die Energieumladung, sondern der thermische Energiestrom selbst im Zusammenhang mit Fragestellungen wie etwa: „Wie kann man diesen Energiestrom möglichst groß machen?“ (wenn es beispielsweise um die Kühlung eines Prozessors geht) oder „Wie kann man einen thermischen Energiestrom möglichst gering halten?“ (wenn es um das Warmhalten von Tee oder aber die Dämmung eines Wohnhauses geht). Die Umladung von Energie rückt dann im Zusammenhang mit der Erklärung des Grundprinzips von Wärmepumpen und Wärmekraftmaschinen wieder in den Fokus.

Die Weiterentwicklung des Basiskonzepts Energie erfolgt dann z. B. im Themenfeld 10, wenn die Effektivität solcher Energieumladungen unter dem Aspekt „Wirkungsgrad“ näher betrachtet und untersucht wird.

Beiträge zur Entwicklung des Basiskonzepts System wurden bereits in den Themenfeldern 1, 2, 4 und 6 geleistet. Dabei lernten die Schülerinnen und Schüler in den ersten beiden Themenfeldern, dass Systeme aus Elementen bestehen, die untereinander Materie, Energie und Information austauschen und dass dieser Austausch mit einer endlichen Geschwindigkeit stattfindet. In Themenfeld 4 kam der Aspekt des Gleichgewichts hinzu. Bei der Betrachtung des elektrischen Energietransports in Themenfeld 6 lernten die Schülerinnen und Schüler die Potenzialdifferenz als Bedingung für einen elektrischen Energietransport kennen.

In Themenfeld 8 werden diese bisherigen Erkenntnisse aufgegriffen und auf den thermischen Energietransport bezogen. Hier ist es eine Temperaturdifferenz, die notwendig ist, damit ein solcher Energietransport stattfinden kann. Als Erweiterung in Bezug auf das Basiskonzept System kommt nun der Aspekt hinzu, dass diese thermischen Energieströme durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden können.

Dieser Aspekt der Beeinflussung von Strömen durch Widerstände wird dann im Themenfeld 9 wieder aufgegriffen und auf elektrische Ströme angewendet. Erweitert wird das Wissen zum Basiskonzept System dann bei der Betrachtung komplexerer Systeme am Beispiel verzweigter Stromkreise. Dort lässt sich z. B. zeigen, dass solche Systeme stets als Ganzes reagieren und die Veränderung eines Elements Auswirkungen auf das gesamte System haben kann. Bezogen auf das Themenfeld 8 zeigt die folgende Darstellung noch einmal auf, wie die beiden Basiskonzepte zur Erklärung der Beobachtung von Wärmetransporten und zur Beantwortung vieler damit zusammenhängender Fragen beitragen.

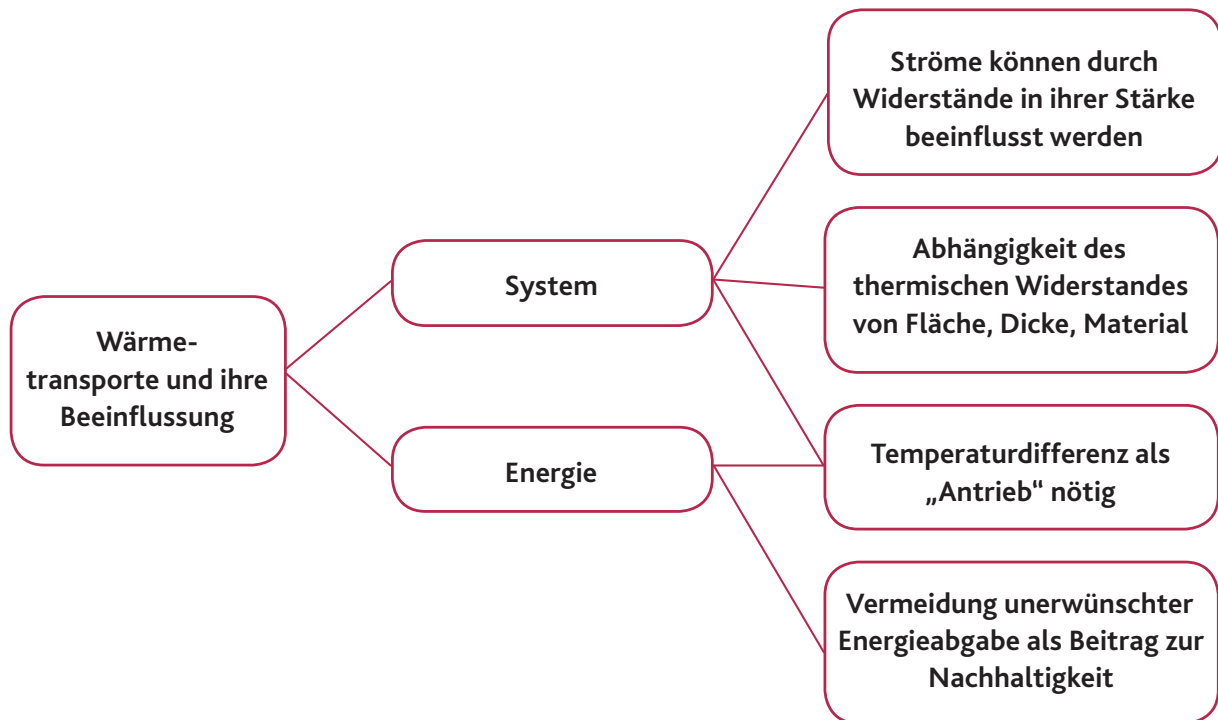


Abb. 3: Wärmetransporte und ihre Beeinflussung – Basiskonzepte

Kompetenzentwicklung

Die Schülerinnen und Schüler können...		TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	TF 5	TF 6	TF 7	TF 8	TF 9	TF 10	TF 11	TF 12
... naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen.	Umgang mit Fachwissen								■	■	■		■
... mit Geräten, Stoffen, Verfahren umgehen.		■								■			
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.			■	■	■			■	■	■	■	■	
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.	Erkenntnisgewinnung	■	■	■	■		■		■	■		■	■
... modellieren.													
... naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess reflektieren.												■	■
... Informationen sachgerecht entnehmen.	Kommunikation											■	
... sach- und adressatengerecht präsentieren und dokumentieren.		■										■	
... naturwissenschaftlich argumentieren und diskutieren.							■	■	■	■			■
... Bewertungskriterien festlegen und anwenden.	Bewertung								■	■			
... Handlungsoptionen erkennen und aufzeigen.		■										■	
... Sachverhalte naturwissenschaftlich einordnen und (multiperspektivisch) bewerten.								■	■			■	

... optimieren Kühl- und Wärmedämmmaßnahmen durch gezielte Beeinflussung thermischer Energieströme.

... nutzen Energieflussdiagramme zur Erklärung des Grundprinzips von Wärmepumpen und Wärmekraftmaschinen.

... planen Experimente zu thermischen Energietransporten (z. B. zur effektiven Kühlung oder Wärmedämmung), führen sie durch, werten sie quantitativ mit Hilfe der Darstellung von Temperaturverläufen im Diagramm aus und interpretieren sie.

... diskutieren und argumentieren in Bezug auf verschiedene Möglichkeiten der Kühlung bzw. Wärmedämmung.

... vergleichen und bewerten verschiedene Möglichkeiten zur Kühlung bzw. Wärmedämmung.

Abb. 4: Kompetenzentwicklung

Der Schwerpunkt von Themenfeld 8 liegt vermehrt auf der Entwicklung von Basiskonzepten, weniger auf der von den Kompetenzen. Ungeachtet dessen werden aber hier, wie in vorangegangenen Themenfeldern auch, sowohl neue Kompetenzen angelegt als auch bestehende weiter ausgebaut. Beispielsweise ist im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung im Vergleich zu vorangegangenen Themenfeldern eine klare Progression zu erkennen:

Im Bereich **Umgang mit Fachwissen** wurden in Themenfeld 1 Experimente nach Anleitung durchgeführt, in Themenfeld 2 und Themenfeld 3 wurden einfache Experimente geplant, durchgeführt und dokumentiert. In Themenfeld 5 wurde die Dokumentation durch die Wahl geeigneter Darstellungsformen erweitert, in Themenfeld 6 kam die genauere weil quantitative Messung hinzu. Themenfeld 8 stellt insofern eine Erweiterung dar, als dass zur Darstellung nun auch die Auswertung von quantitativen Messergebnissen und deren Interpretation hinzukommt.

Dies bedeutet nun aber nicht, dass ein Hauptaugenmerk des Themenfeldes auf dem Experimentieren liegt und ebenso wenig, dass alle Teilkompetenzen (Planen, Durchführen, Dokumentieren usw.) einzeln geübt oder thematisiert werden müssen oder sollen. Von größerer Bedeutung dagegen ist, dass im Zusammenhang von Messungen Beeinflussungsfaktoren betrachtet werden. Innerhalb von Themenfeld 8 sind diese noch recht konkret und (be)greifbar: die Größe der Kontaktfläche zweier Körper unterschiedlicher Temperatur, verwendete Materialien, Temperaturunterschiede, etc.

Alle diese Größen lassen sich letztlich zu einem immer noch recht konkreten Konzept vereinigen: Es gibt für das Strömen von Energie verschiedene Hindernisse, oder Widerstände.

Eine Vorstellung von Widerstand für Wärmeströme, der **Umgang mit diesem Fachwissen** stellt die Grundlage für ein Verständnis des abstrakten elektrischen Widerstands dar.

Um den Umgang mit dem nicht minder abstrakten Begriff der Energie weiter zu trainieren, tauchen die Flussdiagramme aus Themenfeld 6 erneut auf. Sie sollen nun wieder angewendet werden, um den Transport von Energie von Körpern höherer Temperatur zur solchen mit niedrigerer Temperatur zu veranschaulichen. Wie in den Ausführungen zu Basiskonzepten bereits angesprochen, stellt dies eine Weiterführung auch früherer Themenfelder dar: Nachdem Energie auf unterschiedlichen Trägern auftaucht (Licht, Schallwellen, Bewegung usw.), umgeladen und deponiert wird (Strahlungs- und Schallabsorption), wird in Themenfeld 6 ihr Transport im Zusammenhang mit elektrischen Schaltkreisen detaillierter besprochen. Diese Beschreibung mit Energieflussdiagrammen wird in Themenfeld 8 wieder aufgegriffen und somit gefestigt.

Im Bereich der **Kommunikation** wird ebenfalls eine Weiterentwicklung angestrebt. Anhand von quantitativen Auswertungen sollen die Schülerinnen und Schüler argumentieren, wie sie Wärmeströme, Kühlungsmaßnahmen oder Wärmedämmung optimieren können. Dies entspricht einer Weiterführung von Themenfeld 5 (Strahlenschutz), verbindet nun aber die Argumentation mit quantitativen Auswertungen. Infolgedessen ergibt sich auch, dass die **Bewertung** von Möglichkeiten zur Kühlung und Wärmedämmung eine andere Grundlage erhält.

Um den Einfluss verschiedener Kriterien zu erkennen und für die eigene Argumentation angemessen nutzen zu können, ist es notwendig, einzelne Kriterien gezielt zu untersuchen und die Messergebnisse entsprechend darzustellen. Diagramme von Temperaturverläufen dienen hierbei der Veranschaulichung. Erstmals wurden im Rahmen der **Erkenntnisgewinnung** Diagramme in Themenfeld 2 bei der Beschreibung der Lichtbrechung genutzt. Die Progression besteht darin, dass nun nicht mehr nur zwei Parameter zu betrachten sind (etwa Einfallswinkel und Brechungswinkel), sondern mehrere Parameter gleichzeitig und trotzdem voneinander unabhängig betrachtet werden (Temperaturdifferenz, Kontaktfläche, Material, etc.).

1.5 Didaktische Anmerkungen

Bei der Planung des Unterrichts zum Themenfeld 8 sind verschiedene didaktische Aspekte zu berücksichtigen.

Ein wichtiger Punkt ist die unterschiedliche Bedeutungszuweisung des Begriffs „Wärme“ in Alltags- und Fachsprache, aus der sich Verständnisschwierigkeiten und Lernhürden ergeben können (siehe 1.5.1).

Ein weiterer Aspekt ist die Beschreibung von Energietransporten im Energieträgerkonzept. Hier bietet sich durch die Einführung der Entropie die Möglichkeit, die in den Themenfeldern 4 und 6 eingeführte Beschreibungsweise konsequent fortzusetzen (siehe 1.5.2 und 1.5.3).

Zu beachten ist auch die oben im Abschnitt 1.4 unter „Entwicklung von Basiskonzepten“ dargestellte Funktion dieses Themenfeldes im Hinblick auf die Einführung des Widerstandsbegriffs bei thermischen Strömen und dessen Fortführung bei elektrischen Strömen im Themenfeld 9. Der Einsatz von Peltierelementen (auch: Peltier-Elemente, Peltier-Module) zur Messung von thermischen Energieströmen bzw. Entropieströmen bietet hier interessante didaktische Möglichkeiten (siehe 1.5.4).

1.5.1 Zum physikalischen Fachbegriff „Wärme“ und der umgangssprachlichen Bedeutung des Wortes

In der physikalischen Fachsprache bezeichnet der Begriff „Wärme“ eine Prozessgröße und damit eine Übertragungsform von Energie. Das hat zur Folge, dass man zwar fachsprachlich korrekt sagen kann, „Die Wärme strömt von der Herdplatte durch den Boden des Kochtopfes ins Wasser“ oder „Vom Tauchsieder strömt Wärme in das umgebende Wasser“, doch ist es im fachsprachlichen Sinne falsch zu folgern: „Anschließend ist die Wärme im Wasser.“ Vielmehr muss man fachsprachlich korrekt formulieren: „Die innere Energie des Wassers hat sich dadurch erhöht“. Aus Sicht von Schülerinnen und Schülern ist es schwer verständlich, dass etwas, das irgendwo hineinströmt, anschließend nicht mehr darin enthalten sein soll.

Die physikalische Fachsprache enthält mit dem Begriff der „Wärmekapazität“ eine weitere Hürde (und Inkonsequenz) bereit: Wie kann man eine Kapazität für etwas angeben, das gar nicht in einem Körper enthalten sein kann? De facto wird bei der Bestimmung der „Wärmekapazität“ mit Hilfe des Thermometers nicht die „Wärme“ selbst, sondern die Erhöhung der inneren Energie im Verhältnis zur Temperaturänderung bestimmt. Die „Wärmekapazität“ gibt also nicht an, wie viel mehr „Wärme“ ein Körper bei einer Temperaturerhöhung enthält, sondern um wie viel sich seine innere Energie erhöht hat. (Siehe Schwarze, H. (Hrsg.) (2015): Wärmelehre I: Wärme und Temperatur. Köln, Aulis. S. 8)

Um die Problematik der Begrifflichkeiten zu verringern und gleichzeitig den Energie-Aspekt in den Mittelpunkt zu rücken, wird im Rahmen dieser Handreichung und der vorgestellten Unterrichtsbeispiele auf den physikalischen Fachbegriff „Wärme“ verzichtet und stattdessen die Formulierung „thermisch übertragene Energie“ oder „thermischer Energiestrom“ genutzt. Auch auf den Begriff „innere Energie“ wird verzichtet. Wenn Energie thermisch auf einen Körper übertragen wird, so hat sich anschließend die im Körper gespeicherte Energie um diesen Betrag erhöht.

Auf diese Weise kann die in Themenfeld 6 begonnene Untersuchung von Energietransporten (hier wurde die Energie elektrisch transportiert) auf thermische Energietransporte erweitert werden. War als Antrieb für einen elektrischen Energietransport eine Potenzialdifferenz erforderlich, so können die Lernenden nun erkennen, dass im Falle des thermischen Energietransportes als Antrieb eine Temperaturdifferenz nötig ist. Bei der gezielten Suche nach Möglichkeiten zur Beeinflussung des thermischen Energiestroms kann der Begriff „Widerstand“ eingeführt und die angestrebte Entwicklung von Vorstellungen unterstützt werden.

1.5.2 Zur Einführung der Entropie im Unterricht der Mittelstufe

Die Einführung der Entropie als mengenartige Größe, die bei der thermischen Energieübertragung als Energieträger fungiert, eröffnet bei der Beschreibung von thermischen Energietransporten noch weiter gehende Möglichkeiten zur Analogiebildung sowie eine konsequente Fortführung des Energieträger-Konzeptes.

Im Folgenden wird gezeigt, wie man sich ein anschauliches Bild von der Entropie machen kann. Dabei wird deutlich, dass die Entropie im Wesentlichen dem entspricht, was man umgangssprachlich mit „Wärme“ oder „Wärmemenge“ bezeichnen würde, allerdings die Verwendung des Begriffs Entropie im Gegensatz zu Formulierungen mit „Wärme“ aber nicht zu den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen fachsprachlichen Schwierigkeiten führt. Entropie kann „strömen“ und Entropie kann „in Körpern enthalten sein“.

Vielfach erscheint die Entropie als komplizierte, auf Schulniveau nicht vermittelbare Größe, die sich kaum veranschaulichen lässt. Dies gilt insbesondere dann, wenn man ihre Herleitung im Rahmen der statistischen Thermodynamik vor Augen hat. Um sich ein Bild von dieser statistisch hergeleiteten Größe machen zu können, wird die Entropie bisweilen als Maß für die „Unordnung eines Systems“ (genauer: Anzahl der Realisierungsmöglichkeiten eines Zustandes) veranschaulicht. Diese Vorstellung ist jedoch didaktisch nicht fruchtbar.

Geht man jedoch von der Gibbs'schen Fundamentalform für die Änderung des Energieinhaltes eines Systems und ihrer Veranschaulichung als Zu- und Abflüsse eines Sees aus (siehe Handreichung Themenfeld 6, S. 17), so kann man zu einer wesentlich anschaulicheren und didaktisch nutzbaren Deutung der Entropie gelangen.

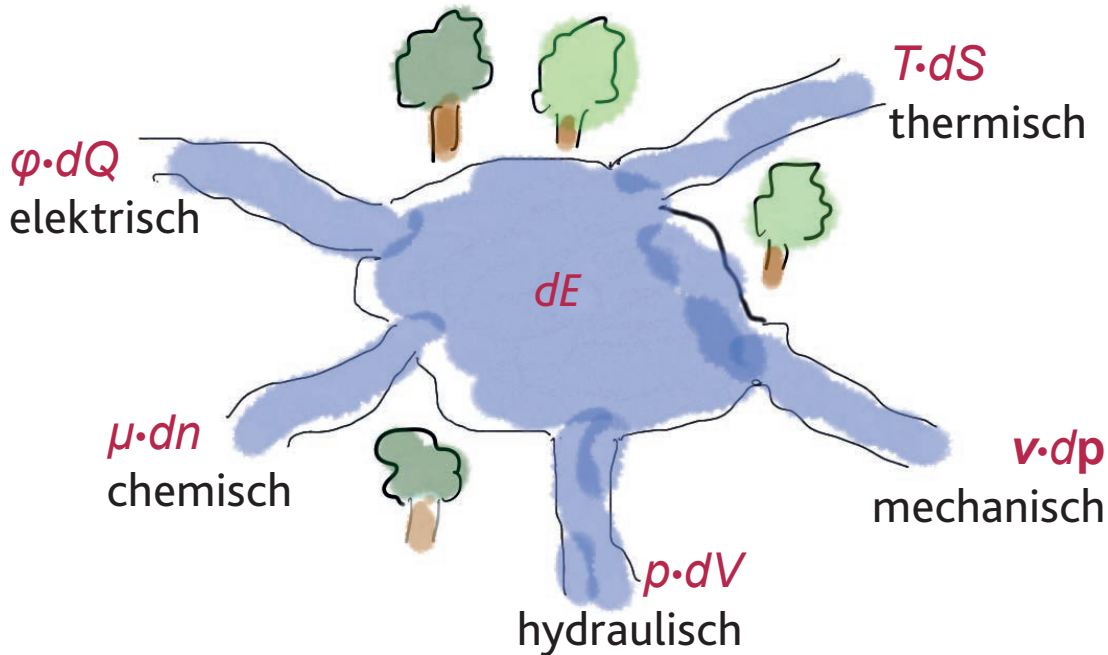


Abb. 5: „Energiesee“

Man erkennt: Wenn Energie thermisch transportiert wird, ändert sich neben der Energie auch die Entropie.

Betrachtet man die mathematischen Eigenschaften der physikalischen Größe Entropie genauer, so kann man nachweisen, dass die Entropie die Eigenschaften einer mengenartigen Größe hat (siehe z. B. Pohlig, M. (2012): Zur Geschichte des Entropiestroms. In: Praxis der Naturwissenschaften, 1/61, Januar 2012. S. 9-10) – sie erfüllt eine Kontinuitätsgleichung der Form:

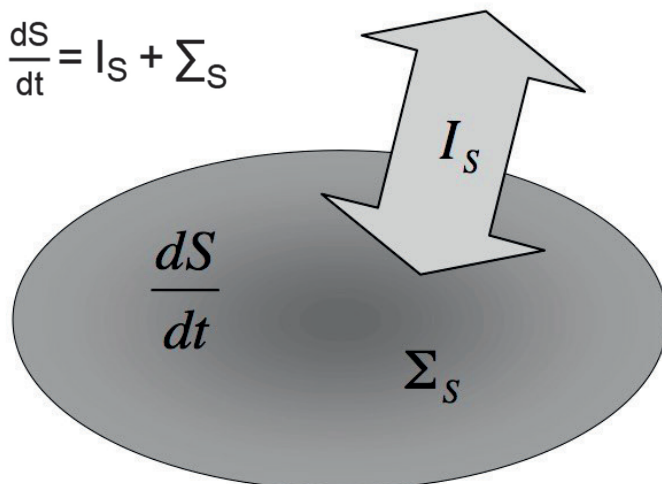


Abb. 6: Anschauliche Deutung der Kontinuitätsgleichung

Dabei beschreibt $\frac{dS}{dt}$ die zeitliche Änderung der Entropie in einem Raumbereich, I_S kann als Entropiestrom durch die Umgrenzung des Bereiches gedeutet werden und \sum_S beschreibt die Erzeugungsrate der Entropie innerhalb des Raumbereiches.

Man kann sich also die Entropie als einen Stoff oder als ein „Fluidum“ vorstellen, das angehäuft werden, sich verteilen oder von einem Körper zu einem anderen strömen kann. Entropie entspricht daher im Wesentlichen dem, was man umgangssprachlich mit „Wärme“ oder „Wärmemenge“ bezeichnen würde. Mit Hilfe dieser Vorstellung von Entropie als mengenartiger Größe können ähnliche Bilder im Kopf entstehen, wie man sie zur elektrischen Ladung haben kann („elektrische Ladung“ ist ja auch „nur“ eine abstrakte physikalische Größe, die eine bestimmte Eigenschaft von Objekten beschreibt – und doch konnte Maxwell auf Basis einer Fluidums-Vorstellung eine leistungsfähige Theorie entwickeln). Dabei kann Entropie – im Gegensatz zur elektrischen Ladung – auch erzeugt, jedoch nicht vernichtet werden.

„Die Entropie strömt von der Herdplatte durch den Boden des Kochtopfes ins Wasser“ oder „Vom Tauchsieder strömt Entropie in das umgebende Wasser“, und es ist nunmehr auch im fachsprachlichen Sinne richtig zu folgern: „Anschließend ist die Entropie im Wasser.“

Im SI-Einheitensystem hat die Entropie die Einheit J/K. Unter didaktischen Aspekten ist es jedoch ungünstig, einer mengenartigen Größe eine zusammengesetzte Einheit zuzuweisen (Man stelle sich vor, in der Elektrizitätslehre würde als Einheit der elektrischen Ladung die Kombination J/V anstelle von C verwendet). Es ist daher erwägenswert, für diese zusammengesetzte Einheit einen eigenen Namen einzuführen. So verwenden manche Autoren für die Entropie die Einheit „Carnot“ (abgekürzt: Ct).

1.5.3 Zum Zusammenhang von Energiestrom und Entropiestrom

Für den thermisch übertragenen Energiestrom gilt: $P_{\text{therm}} = T \cdot I_S$

wobei T die absolute Temperatur und I_S die Entropiestromstärke ist. Mit anderen Worten: Ein Entropiestrom der Stärke I_S trägt einen Energiestrom der Stärke $T \cdot I_S$. Je nach Temperatur trägt derselbe Entropiestrom einmal wenig, einmal viel Energie. Der Unterschied liegt in der Temperatur.

Die Nutzung dieses Zusammenhangs in Kombination mit den bereits eingeführten Energieflussdiagrammen ermöglicht eine sehr einfache Herleitung der Formel für den Carnot'schen Wirkungsgrad:

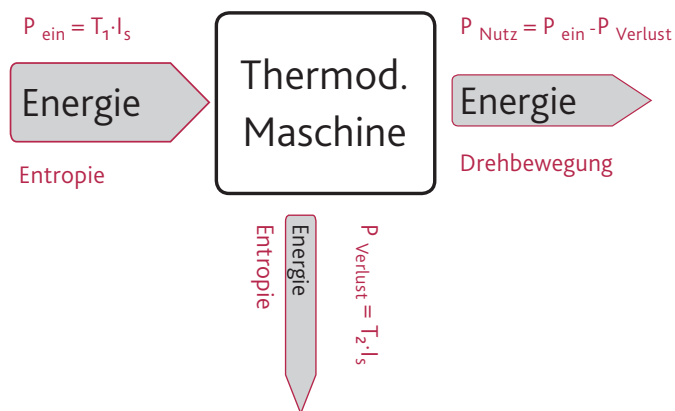


Abb. 7: Energieflussdiagramm einer thermodynamischen Maschine

Bei einer thermodynamischen Maschine wird die Energie auf dem Träger Entropie zugeführt. Da Entropie nicht vernichtet werden kann, muss sie die Maschine wieder verlassen und trägt dabei noch Energie mit sich. Der Wirkungsgrad einer Maschine gibt an, welcher Anteil der zugeführten Energie letztlich genutzt werden kann. Aus dem Flussbild ist ersichtlich, dass der nutzbare Energiestrom maximal so groß sein kann wie die Differenz zwischen dem Energiestrom am Eingang der Maschine und dem Energiestrom, der auf dem Träger Entropie die Maschine wieder verlässt. Für den Wirkungsgrad gilt also:

$$\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Ein}}} = \frac{P_{\text{Ein}} - P_{\text{Verlust}}}{P_{\text{Ein}}} = \frac{T_1 \cdot I_S - T_2 \cdot I_S}{T_1 \cdot I_S} = \frac{(T_1 - T_2) \cdot I_S}{T_1 \cdot I_S} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Dies ist der Carnot'sche Wirkungsgrad $\eta_C = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Er beschreibt den maximal erreichbaren Wirkungsgrad einer thermodynamischen Maschine.

Man erkennt: Der Wirkungsgrad wird umso größer, je kleiner T_2 ist. Er wäre maximal für $T_2 = 0 \text{ K}$, d. h. wenn die Entropie auf einem Temperaturniveau von 0 K „entsorgt“ werden könnte. Diese Temperatur wird aber nirgendwo in unserer Umgebung erreicht – nicht einmal im Weltraum ist es so kalt. Damit wird deutlich, dass ungeachtet aller denkbaren technischen Fortschritte eine beliebige Steigerung dieses Wirkungsgrades nicht möglich ist und thermodynamische Maschinen daher in Bezug auf die Nutzung der eingesetzten Energie einer physikalisch gegebenen Limitierung unterliegen. Übliche Umgebungstemperaturen auf der Erde liegen im Bereich von 300 K , technisch gut beherrschbare Prozesstemperaturen im Bereich 800 K , was zu einem Wert von $\eta = \frac{800 \text{ K} - 300 \text{ K}}{300 \text{ K}} = \frac{5}{8} = 0,625$ führt.

Auf gleiche Weise lässt sich auch die maximale Leistungszahl einer Wärmepumpe berechnen. Diese Leistungszahl (englisch: COP, Coefficient Of Performance) ist der Quotient aus der Energie, die an den Heizkreislauf abgegeben wird, und der eingesetzten Energie. Bei der Wärmepumpe wird Entropie aus der Umgebung (Temperatur T_1) auf ein höheres Temperaturniveau T_2 gepumpt und auf diese Weise Energie aus der Umgebung zum Heizen genutzt. Aus dem Energieflussbild der Wärmepumpe erkennt man:

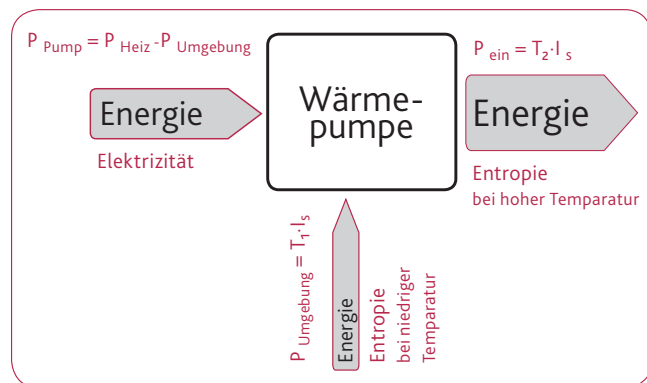


Abb. 8: Wärmepumpe

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{T_2 \cdot I_s}{T_2 \cdot I_s - T_1 \cdot I_s} = \frac{T_2 \cdot I_s}{(T_2 - T_1) \cdot I_s} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Bei einer Heizwasser-Temperatur von 50° C ergibt sich z. B. für eine Erdwärmepumpe (Temperatur im Boden 10° C) eine maximale Leistungszahl von:

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{323 \text{ K}}{323 \text{ K} - 283 \text{ K}} \approx 8,1$$

Das bedeutet: Theoretisch kann von der Wärmepumpe achtmal so viel Energie an den Heizkreislauf abgegeben werden, wie zum Antrieb der Pumpe aufgewendet werden muss. Mit 1 kW Antriebsleistung könnte also eine Heizleistung von 8 kW erreicht werden. In der Praxis liegen die Leistungszahlen für solche Wärmepumpen etwa bei $4,5$.

1.5.4 Zur Messung thermischer Energieströme mittels Peltierelementen

Im vorgestellten Unterrichtsgang werden in Sequenz 3 mit Hilfe eines Peltierelements thermische Energieströme gemessen. Im Folgenden sollen die Grundlagen des Einsatzes von Peltierelementen kurz vorgestellt werden. Weitergehende Informationen findet man z. B. in dem Artikel von U. Noll („Ein Amperemeter für die Wärmelehre“, <https://www.lehrer-online-bw.de/site/pbs-bw/node/811529/Lde/index.html>).

Wird ein Peltierelement zwischen zwei Körper unterschiedlicher Temperatur gebracht, so liefert es aufgrund des Seebeck-Effektes eine Thermospannung U , die näherungsweise proportional ist zur Temperaturdifferenz ΔT zwischen den beiden Kontaktflächen. Da die Entropiestromstärke ebenfalls proportional ist zur Temperaturdifferenz, kann die angezeigte Spannung auch als ein Maß für die Stärke des Entropiestromes I_S durch das Element hindurch interpretiert werden (ebenso, wie bei einem Drehspulinstrument der Zeigerausschlag sowohl als Maß für die anliegende Spannung (Potentialdifferenz) als auch als Maß für die elektrische Stromstärke durch das Instrument dienen kann). In Anbetracht des proportionalen Zusammenhangs zwischen Entropiestromstärke und thermischem Energiestrom $P_{\text{therm}} = T \cdot I_S$ kann die Anzeige des Peltierelements ebenfalls als Maß für den thermischen Energiestrom interpretiert werden. Genauere Ausführungen sowie Hinweise zur Eichung von Peltierelementen finden sich z. B. im oben genannten Artikel von U. Noll.

Mit Hilfe eines Peltierelements kann die Beeinflussung von Wärmeströmen auf einfache Weise experimentell untersucht werden. Nebenstehende Fotos zeigen die Untersuchung des thermischen Stroms durch ein Stück Moosgummi, das sich zwischen zwei mit Wasser unterschiedlicher Temperatur gefüllten Marmeladengläsern befindet. Das Peltierelement wird dazu mit dem Moosgummi „in Reihe geschaltet“.

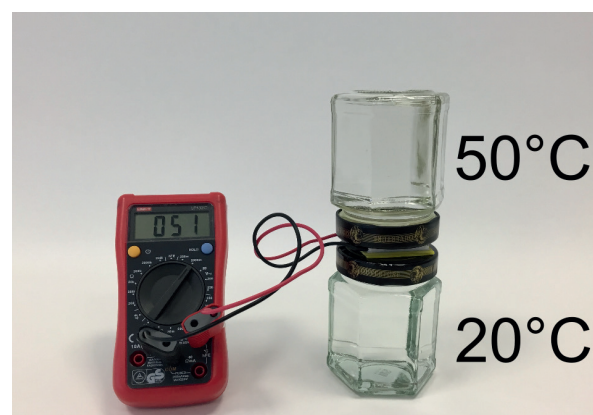
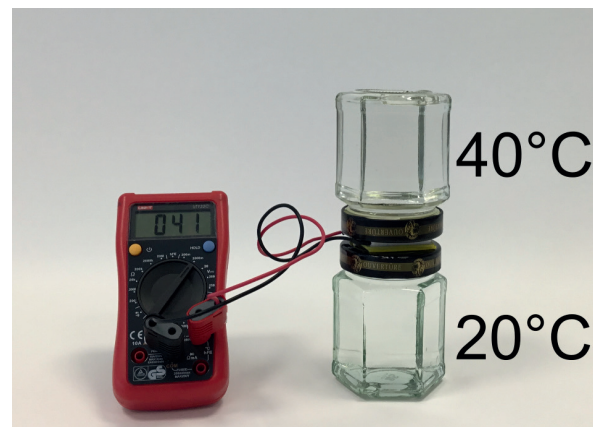
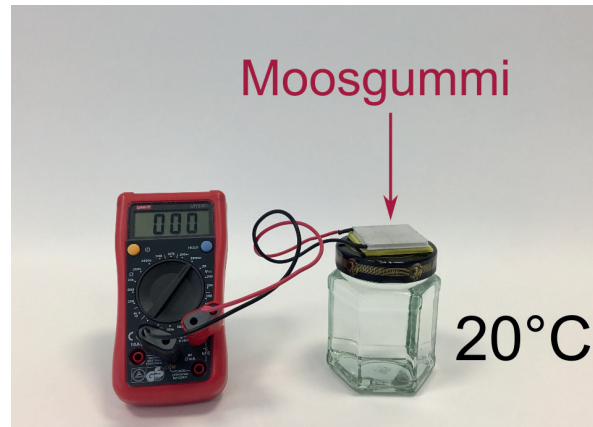


Abb. 9: Messung thermischer Energieströme

Mit diesem einfachen Aufbau lässt sich qualitativ zeigen, dass bei größerer Temperaturdifferenz ein größerer Entropiestrom (im gezeigten Fall durch ein Stück Moosgummi hindurch) fließt. Will man quantitativ verwertbare Ergebnisse erhalten, so muss man jedoch – genau wie in der Elektrizitätslehre – berücksichtigen, dass der Innenwiderstand des Messgerätes gering sein muss im Verhältnis zum äußeren Widerstand. Da der thermische Widerstand des Peltierelements nicht vernachlässigbar klein ist, eignet es sich für quantitative Untersuchungen (z. B. Abhängigkeit des Entropie- oder Energiestroms von der Schicht-Dicke) vor allem an schlechten thermischen Leitern wie z. B. Glas, Fliesen oder Holz, während man bei Messungen des thermischen Stroms durch gute thermische Leiter wie z. B. verschieden dicke Metallplatten nur qualitativ brauchbare Werte erhält.

2 UNTERRICHTSBEISPIELE

An einem möglichen Unterrichtsgang (UG) wird gezeigt, wie das achte Themenfeld kompetenz- und konzeptorientiert im Rahmen sinnstiftender Kontexte umgesetzt werden kann.

2.1 Vorüberlegungen

Für den im Folgenden skizzierten Unterrichtsgang gilt ein Zeitansatz von etwa 10 Unterrichtsstunden; Themenfeld 8 ist damit eher eines der kürzeren Themenfelder. Dieses Thema unterscheidet sich von der Wärmelehre im alten Lehrplan dadurch, dass ein Teil (thermische Ausdehnung und Teilchendeutung) bereits in Themenfeld 3 behandelt wurde und hier die energetische Betrachtung im Mittelpunkt steht. Diese hat zudem einen anderen Schwerpunkt.

Betrachtet wird der thermische Transport von Energie, speziell die Wärmeleitung und ihre Beeinflussung. Dieses ist begründet durch die Übertragbarkeit in den Alltag, in dem an vielen Stellen erwünschte und unerwünschte Wärmetransporte eine Rolle spielen. Es lassen sich leicht Beispiele (und damit Kontexte) für thermische Ableitung von Energie (z. B. bei Prozessoren oder Kühlungen) sowie für das Verhindern einer Abkühlung durch Isolation (z. B. bei Häusern oder bei warmen Getränken) finden. Besonders das Wissen über Isolation ist auch im Sinne einer nachhaltigen Umwelterziehung und in Bezug auf die Herausforderungen der Energiepolitik relevant. Zudem erfüllt das Phänomen Wärmeleitung eine Plattformfunktion im Sinn von Wagenschein, da es exemplarisch in die Tiefe gehend thematisiert wird, genau wie z. B. die thermische Ausdehnung in Themenfeld 3. Weitere energetische Aspekte der Thermodynamik werden angerissen, aber nicht vertieft.

Die im alten Lehrplan vorkommende Betrachtung des thermischen Energiegehalts eines Körpers (bzw. Wärmekapazität) ist nicht gefordert, kann aber, wenn es die Zeit erlaubt, als Ergänzung unterrichtet werden. Das kann insbesondere dann sinnvoll sein, wenn die Wärmeleitung auch quantitativ betrachtet wird. Dabei ist experimentell in Hinblick auf den vorangegangenen Unterricht die elektrische Erwärmung vorzuziehen. Die Behandlung des mechanischen Wärmeäquivalents ist wegen fehlender physikalischer Grundlagen nicht sinnvoll und zudem experimentell aufwändiger (besonders im Schülerversuch).

Grundsätzlich sollte im Vorfeld eine Entscheidung getroffen werden, ob der Begriff der Entropie verwendet wird oder nicht. Den Begriff einzuführen birgt Vorteile im Hinblick auf die konsequente Entwicklung des Strom-Antrieb-Widerstand-Konzepts und ist durch die Deutung des Begriffs als „Wärme“ im umgangssprachlichen Sinn unterrichtlich erprobt und fruchtbar. Näheres dazu findet sich im Kapitel 1.5 der Handreichung. Im dargestellten Unterrichtsgang werden indes Varianten mit bzw. ohne den Entropiebegriff gezeigt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der physikalische Begriff der Wärme Q als Prozessgröße (auf thermischem Weg transportierter Energie) im Lehrplan nicht vorgesehen ist und dementsprechend im Unterrichtsgang nicht verwendet wird. Es findet lediglich die Betrachtung der Energieänderung ΔE eines Körpers statt, was aber zum gleichen Ergebnis führt. Zur Sprache und Begrifflichkeit finden sich Anmerkungen in Kapitel 1.5 dieser Handreichung.

Für den vorgestellten Unterrichtsgang wurde wegen der Alltagsnähe der Kontext „Tee warm halten“ gewählt. Man kann alle Forderungen des Lehrplans damit erfüllen und die Entwicklung von Experimenten zur genaueren Untersuchung aufgeworfener Fragestellungen ist davon ausgehend leicht zu bewerkstelligen.

Wärmetransporte und ihre Beeinflussung

Unterrichtsgang: Tee warm halten

Sequenz 1: Tee und Temperatenausgleich – was passiert beim Abkühlen?

Sequenz 2: Wege des Energieaustauschs

Sequenz 3: Wie kann man die Wärmeleitung beeinflussen?

Sequenz 4: Energietransport erzwingen: die Wärmepumpe

Ergänzungen: Energiemenge und Temperatur, Wirkungsgrad einer Wärmepumpe

2.2 Vorschlag für einen Unterrichtsgang: Tee warm halten

TF8	Sequenz	Schwerpunkt	Tätigkeiten/Lernprodukte
UG: Tee warm halten	S1: Tee und Temperaturausgleich: was passiert beim Abkühlen?	Abkühlen von Tee deuten als Energiestrom in Richtung der geringeren Temperatur bis zum Temperaturgleichgewicht (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> ☉ Formulieren von Hypothesen zur Abkühlung einer Tasse Tee mit Hilfe vorgegebener Leitfragen ☉ Experimente zur Abkühlung: Temperaturkurve bei verschiedenen Anfangstemperaturen ☉ Deutung der Abkühlung als selbstständigem Energiestrom und Analogisierung mit elektrischem Energietransport ☉ Optional: Einführung der Entropie als Energieträger (Alltagsvorstellung von „Wärme“) und Deutung als Entropiestrom
	S2: Wege des Energieaustauschs	Energietransport auf verschiedenen Wegen: Konvektion/Strahlung/Leitung (1-2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> ☉ Beschreibung der Funktionsweise verschiedener Warmhaltegefäße für Tee – Übertragung von Energie durch Konvektion, Strahlung, Leitung ☉ Zuordnung der Übertragungswege bei verschiedenen Beispielen
	S3: Wie kann man die Wärmeleitung beeinflussen?	Identifikation der Faktoren, die die Wärmeleitung beeinflussen: Kontaktfläche, Leitungsstrecke (Dicke), Material und Temperaturdifferenz und experimentelle Überprüfung (3 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> ⌋ Hypothesen formulieren: was beeinflusst die Wärmeleitung, wie muss ein Aufbau aussehen, der Energie möglichst schnell ableitet (Prozessor/Tee)? ⌋ Planung, Durchführung und Auswertung von geeigneten Experimenten zur Überprüfung der Hypothesen ⌋ Formulieren und Anwenden der Gesetzmäßigkeiten
	S4: Energietransport erzwingen: die Wärmepumpe	Funktionsweise einer Wärmepumpe (1-2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> * Schrittweise Darstellung des Kreisprozesses beim Kühlschrank (Puzzle und Präsentation) * Darstellung der Wärmepumpe im Energieflussdiagramm * Anwendungsbeispiele und Vorteile von Wärmepumpen
	Ergänzungen: Energienmenge und Temperatur, Wirkungsgrad einer Wärmepumpe	Diverse Ergänzungen (optional je nach vorhandener Zeit): - Energiemenge und Temperaturänderung (2-3 Unterrichtsstunden) - Wärmepumpe und Entropie, Wirkungsgrad einer Wärmepumpe (1 Unterrichtsstunde)	<ul style="list-style-type: none"> + Experiment, Auswertung und Anwendungen zur Wärmekapazität $\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$ + Entropiefluss bei einer Wärmepumpe und Bestimmung des Wirkungsgrads

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 1 „Tee und Temperaturlausgleich: Was passiert beim Abkühlen?“

Das Ziel dieser Einstiegssequenz ist das Eröffnen des Themas anhand einer **Alltagssituation**, das Verfolgen des Abkühlungsprozesses sowie das Deuten mit Hilfe des Energiekonzepts. Dabei wird Vorwissen aus Themenfeld 6 aufgegriffen und angewandt.

Eine heiÙe Tasse Tee auf dem Pult genügt, um davon ausgehend in Gruppen Stellung zu verschiedenen **Leitfragen** nehmen zu lassen:

- Erläutere, ob es überhaupt möglich ist, Tee auf der gleichen Temperatur zu halten,
- skizziere und erläutere, wie der Temperaturverlauf beim Abkühlen aussehen könnte,
- beschreibe, was beim Abkühlen des Tees geschieht,
- notiere und erläutere, bei welcher Temperatur das Abkühlen endet.

Diese Leitfragen werden an verschiedene Gruppen verteilt, wobei sich das Vorgehen Think-Pair-Share anbietet: Zunächst bearbeitet jeder alleine die Fragestellung, dann tauscht er sich mit anderen aus, die die gleiche Fragestellung haben und formuliert mit diesen gemeinsam eine neue Version. In der anschließenden Präsentation in der Klasse wird diese schließlich vorgestellt, im Unterrichtsgespräch werden die Ergebnisse als Hypothesen notiert. Hierbei ist eine gewisse Lehrerlenkung sinnvoll, um die Hypothesen in Anzahl und Richtung zu begrenzen. Es könnten zum Beispiel folgende **Hypothesen** herauskommen:

- Es ist nicht möglich, den Tee für immer auf der gleichen Temperatur zu halten, durch Isolierung/Dämmung kann das Abkühlen nur verlangsamt werden.
- Beim Abkühlen geht dem Körper „etwas“ verloren.
- Die Abkühlung endet bei Umgebungstemperatur. (Skizze des Abkühlungsverlaufs)
- Solange die Temperatur außen kühler ist, findet Abkühlung statt.

Eine Lenkung durch Leitfragen ist insbesondere wichtig, da der Vorgang des Abkühlens (ebenso wie der des Erwärmens) verschiedene physikalische Konzepte berührt, die aber von den Lernenden natürlich zunächst nicht getrennt werden und sich in den Aussagen und Vorschlägen zum Abkühlungsvorgang widerspiegeln:

- „Pusten“ hilft → (forcierte) Konvektion/Wärmemitführung
- „In kaltes Wasser stellen“ hilft → Wärmeleitung
- „In den Kühlschrank stellen“ hilft → Wärmepumpe
- „Warten“ hilft
- ...

Je offener bzw. weniger geleitet diese erste Phase durchgeführt wird, desto mehr Schülervorstellungen werden im Raum stehen. Eine Strukturierung für den folgenden Unterricht kann dann erfahrungsgemäß schwierig werden und bei den Schülerinnen und Schülern lernhinderliche Verwirrung verursachen. Ein Bezug zu den Schülervorstellungen ist aber durchaus erwünscht und didaktisch sinnvoll, daher werden diese im Rahmen der Leitfragen etwas „vorstrukturiert“.

In der Präsentation und Diskussion wird auch das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler offensichtlich, daher dient diese Phase auch der **Diagnose der Schülervorstellungen**.

Es ist möglich, dass bereits hier eine energetische Deutung von Schülerseite erfolgt, dann kann das direkt aufgegriffen und notiert werden („Je höher die Temperatur eines Gegenstandes, desto mehr Energie ist enthalten, beim Verändern der Temperatur strömt Energie hinaus oder hinein.“).

Es ist aber auch möglich (und erfahrungsgemäß wahrscheinlicher), dass die verbreitete Vorstellung überwiegt, es gäbe „Wärme“ und „Kälte“ als zwei unterschiedliche, aber existente „Dinge“ – etwa in der Art, dass „Kälte in den warmen Tee kommt“. In diesem Fall ist es sinnvoll, zunächst weitere Erfahrungen zu sammeln und Beobachtungen bzw. Experimente zu machen. Die energetische Deutung erfolgt dann später im Lehrervortrag.

Die Experimente zur Abkühlung können direkt mit Wasser (statt Tee) durchgeführt werden, falls vorhanden und später in weiteren Experimenten wieder verwendet, können aber z. B. auch Aluminiumwürfel verwendet werden, wie sie in einigen Schülerübungskästen zum Thema Wärmelehre enthalten sind. Hierbei werden die Temperaturverläufe bei verschiedenen Anfangstemperaturen aufgenommen und dienen der Überprüfung der eingangs formulierten Hypothesen. Da die Abkühlung bei unbedachter Materialwahl lange dauern kann, sollten nur geringe Volumina verwendet werden, zudem ist die Verwendung gut wärmeleitender Gefäße hilfreich (kleine Metallbecher, Reagenzgläser etc.), zudem sollten aufgrund der angestrebten Vergleichbarkeit alle Gruppen gleiche Gefäße haben. Falls sich die energetische Deutung bei der Besprechung der Hypothesen direkt ergibt, werden die Experimente erst anschließend durchgeführt.

Als Ergebnis können z. B. die verschiedenen Verläufe in einem Diagramm zusammengefasst oder skizziert werden:

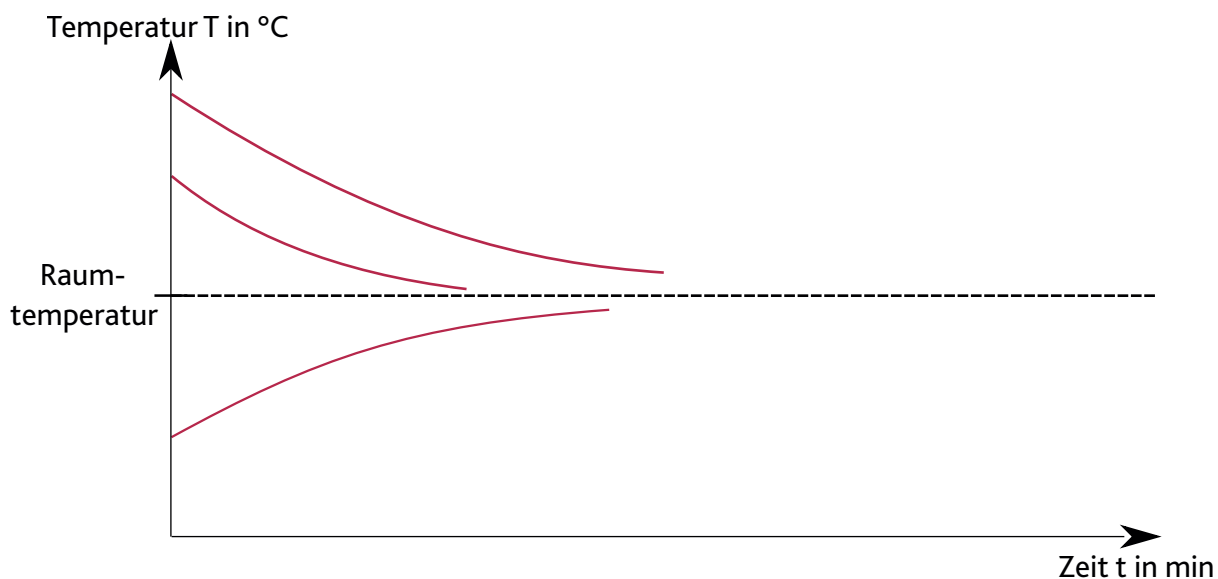


Abb. 10: Abkühlungskurven

Um im nächsten Schritt den Energiestrom plausibel zu machen, muss noch gezeigt werden, dass sich die Umgebung tatsächlich auch erwärmt (bzw. bei einem kalten Gegenstand abkühlt). Der Raum erwärmt sich beim Abkühlen von Tee nicht messbar wegen der Menge der Luft, in der sich die Wärme verteilt, daher werden auch Experimente mit einer festgelegten „Umgebung“ durchgeführt, die einen messbaren Temperatureffekt zeigt:

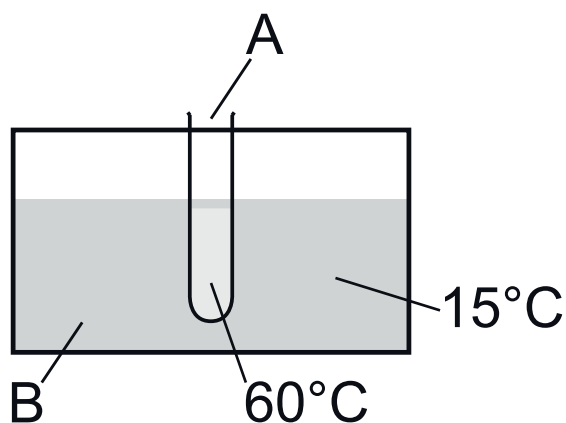


Abb. 11: Reservoirs, verändert nach: Hermann, F. et al. (2014): *Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie – Impuls – Entropie.*

Zusätzlich ist an dieser Stelle hilfreich zu klären, dass alle Gegenstände tatsächlich Raumtemperatur annehmen. Da sich verschiedene Materialien im Raum unterschiedlich warm anfühlen, sollten mit Hilfe eines Kontaktthermometers bzw. eines IR-Thermometers die Temperaturen verschiedener Materialien (Metall, Stoff, Holz ...) im Raum gemessen werden.

Diese Experimente können in Gruppen durchgeführt werden, die anschließende Präsentation eröffnet Diskussionen dazu, die die Grundlage für die energetische Deutung ergeben.

Für die Argumentation und diese Phase des Unterrichts finden sich grundsätzliche Überlegungen und weitere Vorschläge in Fritzsche, K.; Duit, R. (2000). Grundbegriffe der Wärmelehre – aus Schülervorstellungen entwickelt. In: Unterricht Physik 11, Nr. 60, S. 22-25.

Die **energetische Deutung des Abkühlungsvorgangs** erfolgt ausgehend von den Hypothesen und den im Experiment gemachten Beobachtungen und kann von der Lehrkraft unter Bezug auf die bereits häufiger verwendete Energievorstellung präsentiert werden. Dabei lässt sich gut verdeutlichen, dass die Vorstellungen von „Kälte“ und „Wärme“ (falls diese Vorstellungen vorlagen) als entgegengesetzte Begriffe in der Physik nicht notwendig sind. Die Darstellung in geeigneten Diagrammen erleichtert das Übernehmen des Konzepts, ein möglicher Tafelanschrieb ist dann z. B.:

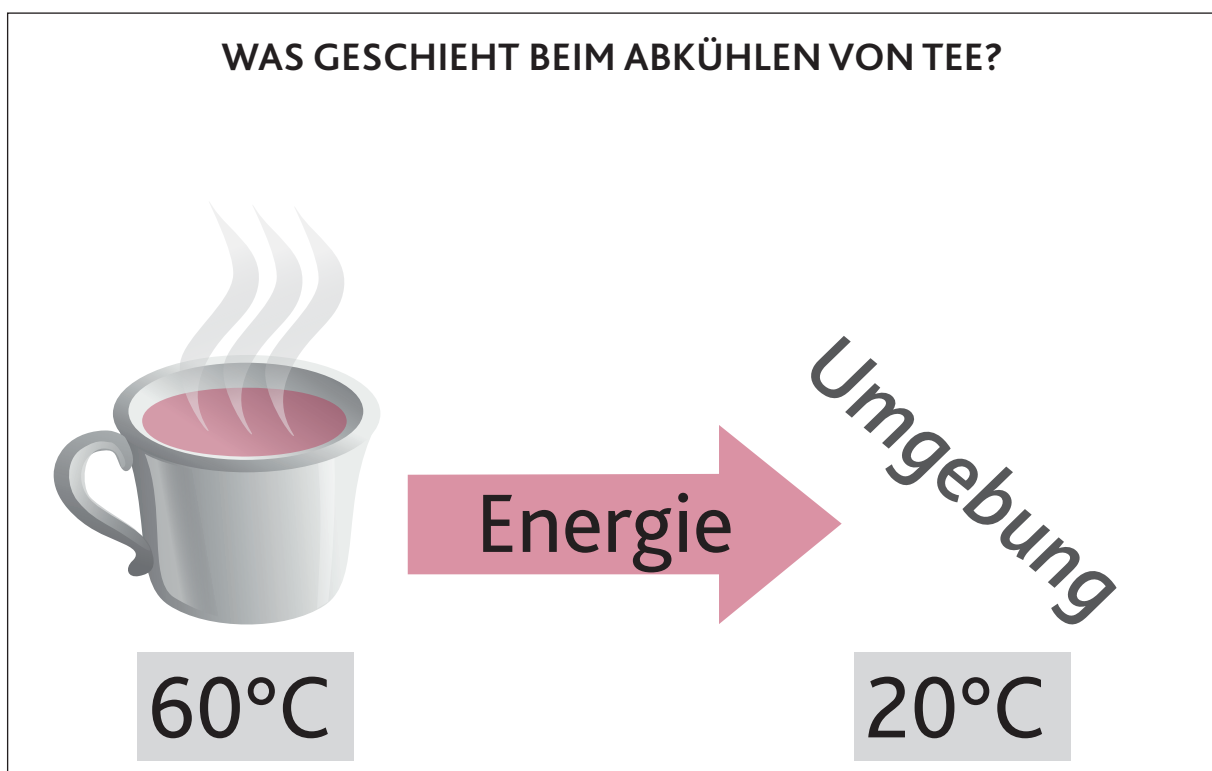


Abb. 12: Abkühlen von Tee

- Zur Abkühlung des Tees muss die Umgebung eine geringere Temperatur haben. Ist es außen wärmer, nimmt die Temperatur des Tees zu.
- Dabei wird Energie vom Körper mit höherer Temperatur zum Körper geringerer Temperatur transportiert („thermischer Transport von Energie“).
- Der wärmere Körper kühlt sich ab und der kühlere erwärmt sich.

- Der Energietransport endet, wenn beide Körper die gleiche Temperatur haben.
- Analogie zum elektrischen Transport von Energie: Elektrisch wird Energie transportiert, wenn und solange eine Potenzialdifferenz $\Delta\phi$ herrscht (thermisch: solange eine Temperaturdifferenz ΔT herrscht).

Dabei steht die bildliche Darstellung im Mittelpunkt, die notierten Sätze steigern sich im Abstraktionsgrad von der konkreten Abkühlung des Tees hin zum allgemeinen Konzept. Am Ende steht ein Verweis auf die Analogie zum elektrischen Transport von Energie, wie sie bereits in Themenfeld 6 ge- deutet wurde. Sinnvoll ist für das spätere Aufgreifen die Verdeutlichung, dass die Richtung des selbst- ständigen Energiestroms eine „Einbahnstraße“ ist. Wie im einführenden Text zum Unterrichtsgang und in Kapitel 1.5 ausgeführt, wird auf den physikalischen Wärmebegriff als Prozessgröße verzichtet und eine konzeptnahe Sprache mit möglichst wenigen Begriffen verwendet.

Das hier präsentierte Modell lässt sich an einem Beispiel einüben und festigen (HR_Ph_TF8_UG_S1_03_Uebung)

Wenn man sich im Vorfeld dafür entscheidet, die **Entropie als Energieträger** zu thematisieren, wird sie an dieser Stelle eingeführt. Da diese in den hier verwendeten Argumentationen mit der Alltags- vorstellung von „Wärme“ als „das, was in einem warmen Gegenstand ist“ deckungsgleich ist, kann es sogar einen leichteren Zugang ermöglichen. Zudem bezieht die Analogisierung zwischen Ladungs- strom und Entropiestrom die Energieträger mit ein. Eine ausführliche Diskussion des Begriffs fin- det sich in Kapitel 1.5 dieser Handreichung, eine Darstellung der Durchführung im Unterricht kann folgendermaßen aussehen:

Bereits bei den **Experimenten** ist es sinnvoll, eine Erweiterung von Experiment 2 (siehe HR_Ph_TF8_ UG_S1_02_ExpAbk_Wasser) vorzunehmen, so dass auch die verschiedenen Volumina eines warmen Stoffes betrachtet werden:

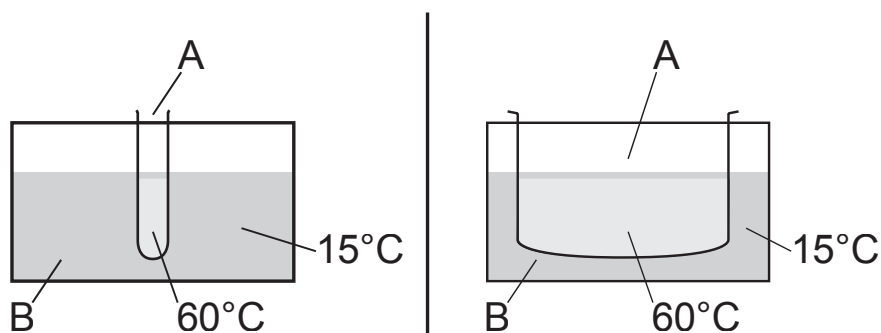


Abb. 13: Reservoirs, verändert nach: Hermann, F. et al. (2014): *Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie – Impuls – Entropie*

Bei der Deutung wird statt der Beschränkung auf die Energie das Augenmerk auf den Energieträger gelenkt, der sich in diesem Fall als deckungsgleich mit dem Alltagsbegriff von „Wärme“ erweist: „Wärme ist das, was Tante Erna in der Wärmflasche hat“. Sie hat umso mehr davon, je höher die Temperatur des Wassers darin ist, aber auch je mehr Wasser dieser Temperatur darin enthalten ist. Das ist in einfachen Demonstrationen mit Bechergläsern zu verdeutlichen und wird erfahrungsgemäß von den Schülerinnen und Schülern problemlos angenommen, als man als es sich als klassisch ausgebildeter Physiker vorstellt.

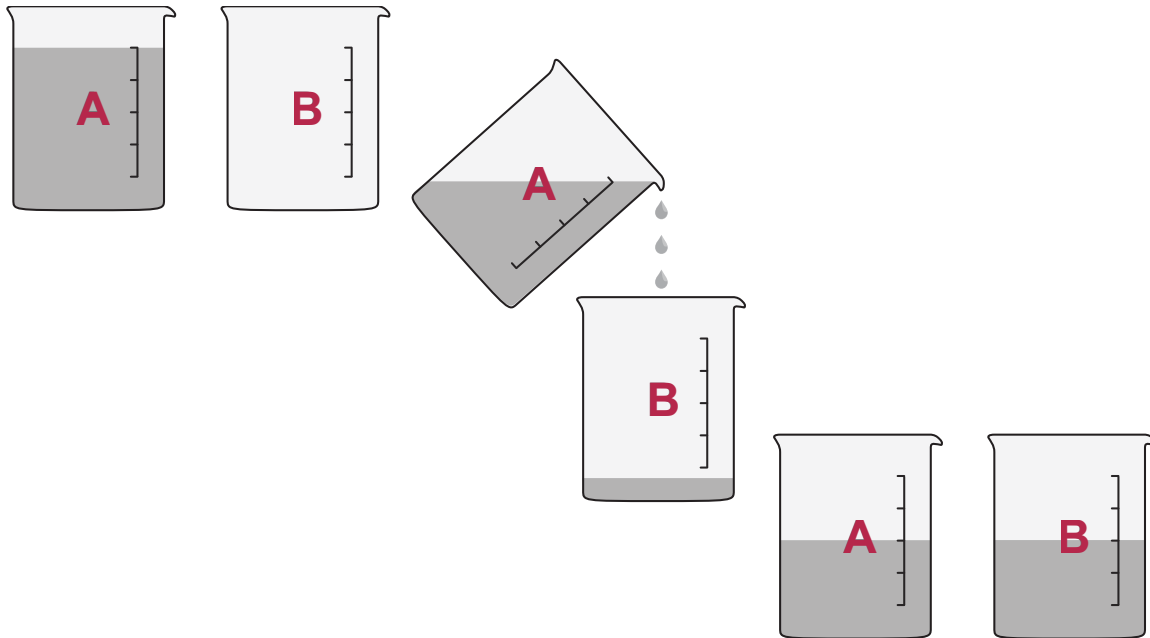


Abb. 14: Umschütten, verändert nach: Hermann, F. et al. (2014): *Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie – Impuls – Entropie*

An zwei Bechergläsern A und B kann man zeigen: zunächst ist in A Entropie im warmen Wasser, nach dem Umschütten ist je die Hälfte der Entropie in Glas A und Glas B. Beide haben aber die gleiche Temperatur wie vorher.

Man kann auch vergleichen, wie viel Entropie sich irgendwo befindet:

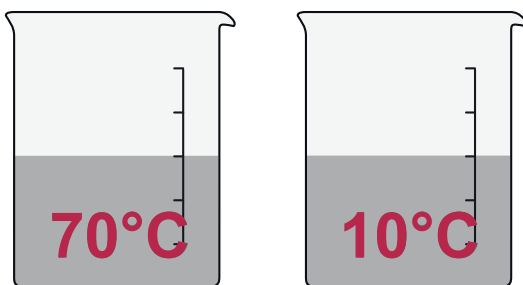


Abb. 15: Temperaturdifferenz, verändert nach: Hermann, F. et al. (2014): *Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie – Impuls – Entropie*

Je höher die Temperatur eines Gegenstandes ist, desto mehr Entropie enthält er.

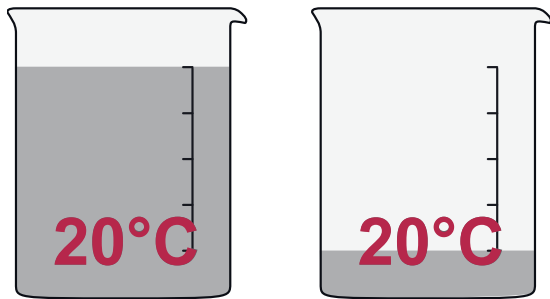


Abb. 16: Volumendifferenz, verändert nach: Hermann, F. et al. (2014): *Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie – Impuls – Entropie*

Je größer die Masse eines Gegenstandes ist, desto mehr Entropie enthält er:

- Die Temperatur (Symbol T ; Einheit $^{\circ}\text{C}$) charakterisiert den „Zustand des Warmseins“ eines Körpers, unabhängig von dessen Größe, Masse, Material, etc.
- Entropie ist, was man umgangssprachlich „Wärmemenge“ nennt (Symbol S ; Einheit Ct (Carnot)).
- Die Entropie ist etwas, das in dem Körper enthalten ist, abhängig von dessen Größe, Masse, Material, Temperatur, ...
- Die Entropie ist in etwa das, was wir umgangssprachlich „Wärme“ nennen.
- Mit Entropie kann man Energie übertragen.

Die Deutung mit dem obigen Tafelanschrieb kann nun direkt in der Entropieformulierung erfolgen. Die Schülerinnen und Schüler können bei der anschließenden Übung und im folgenden Unterricht mit dem Entropiestrom argumentieren, statt oder zusätzlich zum Energiestrom. Hilfreich ist hier insbesondere die Vorstellung der „Wärmemenge“. Ein weiteres Argument für die Verwendung des Entropiebegriffs ist die im späteren Verlauf der Unterrichtseinheit vorgenommene Betrachtung der Wärmepumpe, deren Funktion dann tiefergehend verstanden werden kann bis hin zu einer sehr einfachen Herleitung des Wirkungsgrades und dem Verständnis, dass eine Wärmepumpe (oder ein anderes Gerät) nie mehr Energie abgeben kann, als es aufnimmt.

LE: Formulieren von Hypothesen zur Abkühlung einer Tasse Tee mit Hilfe vorgegebener Leitfragen

<p>Kompetenz</p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... stellen gezielt Hypothesen auf und diskutieren diese.</p>	<p>Konzeptbezogenes Fachwissen</p> <p>Vorbereitung für die Lernziele:</p> <p>Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (Wärmeleitung benötigt Temperaturdifferenz). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier der Temperatur). (SY, E)</p> <p>Je höher die Temperatur eines Gegenstandes ist, desto mehr Energie ist enthalten, beim Verändern der Temperatur strömt Energie hinaus oder hinein.</p>
<p>Lernprodukt</p> <p>Hypothesen, die als Grundlage weiterer Überlegungen und Experimente dienen.</p>	<p>Differenzierung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bewusstes Verteilen der Leitfragen (z. B. ist das Beschreiben und Skizzieren der Abkühlung abstrakter als die Frage nach der Endtemperatur) - Think-Pair-Share dient als individuell differenzierende Methode.

Materialien und Literatur

AB online:

HR_Ph_TF8_UG_S1_01_Leitfragen

Kapitel 1.5 dieser Handreichung

1) Beantworte zunächst alleine den folgenden Arbeitsauftrag. Notiere dazu Stichworte oder Skizzen.
Erkläre, ob es überhaupt möglich ist, Tee auf der gleichen Temperatur zu halten.

2) Vergleiche anschließend eure Ideen in der Gruppe und einigt euch gemeinsam auf einen Ergebnisauszug und/oder eine erläuternde Skizze.

1) Beantworte zunächst alleine den folgenden Arbeitsauftrag. Notiere dazu Stichworte oder Skizzen.
Erkläre, ob es überhaupt möglich ist, Tee auf der gleichen Temperatur zu halten.

2) Vergleiche anschließend eure Ideen in der Gruppe und einigt euch gemeinsam auf einen Ergebnisauszug und/oder eine erläuternde Skizze.

1) Beantworte zunächst alleine den folgenden Arbeitsauftrag. Notiere dazu Stichworte oder Skizzen.
Erkläre, ob es überhaupt möglich ist, Tee auf der gleichen Temperatur zu halten.

2) Vergleiche anschließend eure Ideen in der Gruppe und einigt euch gemeinsam auf einen Ergebnisauszug und/oder eine erläuternde Skizze.

1) Beantworte zunächst alleine den folgenden Arbeitsauftrag. Notiere dazu Stichworte oder Skizzen.
Erkläre, ob es überhaupt möglich ist, Tee auf der gleichen Temperatur zu halten.

2) Vergleiche anschließend eure Ideen in der Gruppe und einigt euch gemeinsam auf einen Ergebnisauszug und/oder eine erläuternde Skizze.

Fritzsche, K.; Duit, R. (2000). Grundbegriffe der Wärmelehre – aus Schülervorstellungen entwickelt. In: Unterricht Physik 11, Nr. 60, S. 22-25.

LE: Experimente zur Abkühlung: Temperaturkurve bei verschiedenen Anfangstemperaturen

<p>Kompetenz</p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... führen Experimente zu thermischen Energietransporten durch, werten sie quantitativ mit Hilfe der Darstellung von Temperaturverläufen im Diagramm aus und interpretieren sie.</p>	<p>Konzeptbezogenes Fachwissen</p> <p>Vorbereitung zu:</p> <p>Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (Wärmeleitung benötigt Temperaturdifferenz). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier der Temperatur). (SY, E)</p> <p>Je höher die Temperatur eines Gegenstandes ist, desto mehr Energie ist enthalten, beim Verändern der Temperatur strömt Energie hinaus oder hinein.</p>
---	--

<p>Lernprodukt</p> <p>Diagramme, die den Temperaturverlauf beim Angleichen der Temperatur (z. B. beim Abkühlen) zeigen.</p>	<p>Differenzierung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experiment mit weniger bzw. mehr Material bzw. Komplexität (Experiment 1, Experiment 2, siehe AB) - Zeitdifferenzierung über Zusatzexperiment (siehe AB) - Offene/geschlossene Experimentanleitung - Entlastung durch vorgegebene Diagrammformulare - Foto des Experimentaufbaus vorgeben/Aufbau vorgeben
--	---

Materialien und Literatur

AB online:
 HR_Ph_TF8_UG_S1_02_ExpAbk_Wasser
 HR_Ph_TF8_UG_S1_02_ExpAbk_Aluwuerfel

Temperaturänderung von Wasser

Messung 1
 Gegeben: Gussmetallgefäß eine Aufgabe:
 • Zeit ablesen.
 • Temperatur ablesen.
 • Messwerte aufschreiben.

Für diese Messung benötigt für ein Thermometer und eine Stopuhr.

Auf dem Fuß eines Gefäßes mit abgemessenen warmen (oder kaltem) Wasser, außerdem Messzylinder mit einer kleinen Menge Öl.

Füllt ein Messzylinder bis zur Markierung mit Wasser aus einem der Gefäße. Messen nun jeweils die Temperatur des Wassers.

Tragt auch Werte in die Tabelle ein und zeichnet die Punkte im Diagramm.

Tauscht die Aufgaben und wiederholt den Versuch mit unterschiedlich warmen (oder kaltem) Wasser. Benutze im Diagramm für jedes Mal eine andere Farbe.

Zeit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatur in °C											
Temperatur in °C											

Temperaturverlauf

Experimentelle Untersuchung der Abkühlung (2 Unerrichtsstunden)

Die Abkühlung eines heißen Körpers hängt von verschiedenen Faktoren ab. In vier Experimenten sollen unterschiedliche Variablen untersucht werden.

Wir besitzen einen Aluminiumwürfel. Dieser wird auf einer Heizplatte auf 80°C erhitzt und dann zerlegt, so dass auch ein möglichst gleiches Material erhalten ist, wie die Abkühlung in Abhängigkeit von der Zeit verläuft.

Die Temperatur des Würfels soll bei jedem Wechsel der Thermometerbeine gemessen werden – eine Seite lang. Für jedes Temperaturwert sind ähnliche Auswertungsblätter geschaffen worden. Die vier Abkühlungskurven sollen in einem Koordinatensystem dargestellt werden. Aus dem Vergleich der vier Kurven ergibt sich das Ergebnis der Experimente. Jede Gruppe fertigt ein vollständiges Protokoll an (mit dem Namen aller Gruppenmitglieder einschließlich ihrer Verantwortlichkeiten in dieser Gruppe) – keine Verantwortlichkeit darf mehrfach auftreten!

1. Aufgabe (Konzeptionierung siehe unten).
2. Vorbereitung (Aufbau, Materialien).
3. Durchführung (Beschreibung, Messwerttabellen).
4. Auswertung (Übertragung der Messwerte in Koordinatensystemen, eventuelle Betrachtung auf kleinerer Faktor, Schlussfolgerungen).
5. Ergebnis (Zusammenfassung, direkt auf die Aufgabe bezogen).

Experiment 1: Untersuche die Abkühlung des Würfels ohne Beeinflussung bei Raumtemperatur.

Experiment 2: Untersuche die Abkühlung des Würfels in einem Styroporbehälter.

Experiment 3: Untersuche die Abkühlung des Würfels mit Beeinflussung des Wärmestromes (Variante 1).

Experiment 4: Untersuche die Abkühlung des Würfels mit Beeinflussung des Wärmestromes (Variante 2).

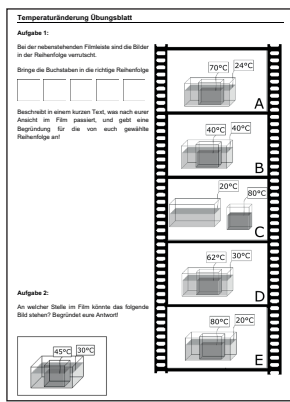
Fritzsche, K.; Duit, R. (2000). Grundbegriffe der Wärmelehre – aus Schülervorstellungen entwickelt. In: Unterricht Physik 11, Nr. 60, S. 22-25.

LE: Deutung der Abkühlung als selbstständigem Energiestrom und Analogisierung mit elektrischem Energiestrom

<p>Kompetenz</p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... interpretieren Beobachtungen und Experimente zu thermischen Energieströmen.</p>	<p>Konzeptbezogenes Fachwissen</p> <p>Je höher die Temperatur eines Gegenstandes ist, desto mehr Energie ist enthalten, beim Verändern der Temperatur strömt Energie hinaus oder hinein.</p> <p>Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (Wärmeleitung benötigt Temperaturdifferenz). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier der Temperatur). (SY, E)</p> <p>Analogie zum elektrischen Energiestrom: Elektrische Leitung benötigt Potentialdifferenz und findet von selbst immer in Richtung des geringeren Potentials statt.</p>
<p>Lernprodukt</p> <p>- Tafelbild mit Abbildung und Merksätzen zur energetischen Deutung von Abkühlung und Erwärmung (s. o.)</p> <p>- AB zur Übung HR_Ph_TF8_UG_S1_03_Uebung</p>	<p>Differenzierung</p> <p>--</p>

Materialien und Literatur

AB online:
 HR_Ph_TF8_UG_S1_03_Uebung



Fritzsche, K.; Duit, R. (2000). Grundbegriffe der Wärmelehre – aus Schülervorstellungen entwickelt. In: Unterricht Physik 11, Nr. 60, S. 22-25.

LE: Optional: Einführung der Entropie als Energieträger (Alltagsvorstellung von „Wärme“) und Deutung der Abkühlung als Entropiestrom, Analogisierung

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...

... interpretieren Beobachtungen und Experimente zu thermischen Energietransporten.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Je höher die Temperatur eines Gegenstandes ist, desto mehr Entropie ist enthalten, je größer sein Volumen bei gleicher Temperatur, desto mehr Entropie ist enthalten. Beim Verändern seiner Temperatur strömt Entropie hinaus oder hinein.

Energie ist an einen Träger gekoppelt und wird mittels diesem transportiert (hier: Entropie als Träger des thermischen Energiestroms).

Damit Entropie und mit ihr Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (Wärmeleitung benötigt Temperaturdifferenz). Die Entropie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier der Temperatur). (SY, E)

Analogie zum elektrischen Energiestrom: Elektrische Leitung benötigt Potentialdifferenz und findet von selbst immer in Richtung des geringeren Potentials statt.

Lernprodukt

- Tafelbilder zur Einführung der Entropie
- Tafelbild mit Abbildung und Merksätzen zur energetischen Deutung von Abkühlung und Erwärmung

Differenzierung

--

Materialien und Literatur

AB online:

HR_Ph_TF8_UG_S1_03_Uebung, HR_Ph_TF8_UG_S1_04_Entropie_Einfuehrung

Kapitel 1.5 dieser Handreichung

Temperaturänderung Übungsblatt

Aufgabe 1: Bei der nebenstehenden Filmaufnahme sind die Bilder in der Reihenfolge vermischt. Bringe die Buchstaben in die richtige Reihenfolge!

Beschreibe in einem kurzen Text, was nach neuer Ansicht im Film passiert, und gib eine Begründung für die von euch gewählte Reihenfolge an!

Aufgabe 2: An welcher Stelle im Film könnte das folgende Bild stehen? Begründe eure Antwort!

Entropie und Temperatur

In Behälter A befindet sich 1 l Wasser mit einer bestimmten Temperatur. Die Temperatur beträgt 60 Grad Celsius. Wie schreiben das: ... Grad Celsius? ... Grad Celsius?

Wie groß ist die Hälfte dieses Wassers in dem leeren Gefäß B?

Welche Temperatur hat das Wasser in Behälter B? „Die Temperatur beträgt ... Grad Celsius.“ Wie schreiben das: ... Grad Celsius?

Definieren: Für den Begriff Wärmemenge verwenden wir in Zukunft den Fachbegriff „Entropie“. Das Symbol dieser Größe ist S und die Maßeinheit ist Joule, abgekürzt J. (z.B. $S = 20 \text{ J}$)

Aufgabe: Vergleiche die Wasserbehälter in den 3 Abbildungen. Markiere jeweils die höhere Temperatur und erkläre, welche die beiden Gläser mehr Entropie enthält!

Zusammenfassung

Fritzsche, K.; Duit, R. (2000). Grundbegriffe der Wärmelehre – aus Schülervorstellungen entwickelt. In: Unterricht Physik 11, Nr. 60. S. 22-25.

Herrmann, F. et al. Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie - Impuls – Entropie. http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/Material_KPK.html.

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 2 „Wege des Energieaustauschs“

Hier werden verschiedene Wege aufgezeigt, auf denen ein Gegenstand Energie mit seiner Umgebung austauschen kann und sich dessen Temperatur ändert. Im Kontext bedeutet das, dass man verschiedene Arten betrachtet, wie Tee abkühlen kann bzw. auf welche Art man gerade eine Abkühlung verhindert. Zum Einstieg kann man verschiedene Möglichkeiten zeigen, Tee warm zu halten. Daraus lassen sich die drei klassischen Wege der Wärmeübertragung **Konvektion, Strahlung und Leitung** ableiten und näher thematisieren.

Auch hier kann die Diskussion mit Hilfe von verteilten Leitfragen und geeigneten Abbildungen oder Originalgegenständen angeregt werden (HR_Ph_TF8_UG_S2_01_Teewarmhalten):

Gruppe 1: Formuliere Vermutungen, wieso ein Deckel auf der Tasse den Tee besser warm hält.



Abb. 17: Tassen ohne und mit Deckel

Gruppe 2: Formuliere Vermutungen, wieso ein „Mantel“ aus Styropor den Tee besser warm hält.



Abb. 18: Teekanne mit „Mantel“

Gruppe 3: Formuliere Vermutungen, wieso eine innen verspiegelte Kanne den Tee besser warm hält.



Abb. 19: Teekanne mit verspiegelter Innenseite

Für die Durchführung bietet sich auch hier Think-Pair-Share an, damit Lernende sich untereinander ergänzen können und die Diskussion aufnehmen. Die **Zuordnung der Begriffe Konvektion, Strahlung und Leitung** kann in der Besprechung der Gruppenergebnisse vorgenommen werden, zusätzliche Impulse durch geeignete Abbildungen oder Demonstrationen können hier unterstützend wirken. Es wird verdeutlicht, dass selten eine Übertragungsart ausschließlich vorkommt, z. B. wird bei der verspiegelten Kanne auch die Konvektion verhindert. Ein entsprechender Tafelanschrieb mit den Definitionen sichert das Ergebnis. Eine Übertragung auf andere alltägliche Situationen übt den Transfer des Wissens (z. B. HR_Ph_TF8_UG_S2_02a, b und c).

Es ist aus Zeitgründen und wegen der Schwerpunktsetzung der Themenfeldes sinnvoll, diese Phase kurz zu halten. Sie ist aber notwendig, um in der nächsten Sequenz gezielt die Wärmeleitung untersuchen zu können.

Der Begriff der Wärmestrahlung, die oft fatalerweise mit Infrarot gleichgesetzt wird, sollte vermieden werden. Körper strahlen entsprechend ihrer Temperatur elektromagnetische Strahlung in einem weiten Wellenlängenbereich ab und die dadurch verspürte „Erwärmung“ beruht auf Absorption an geeigneten Materialien (die ebenfalls nicht ausschließlich im IR-Bereich stattfindet). Die Absorption von Energie (und möglicherweise die dadurch folgende Temperaturerhöhung) ist bereits im Themenfeld 2 bei der Erklärung der Farbigkeit von Stoffen sowie in Themenfeld 5 bei der schädigenden Wirkung ionisierender Strahlung Thema. Aus diesem Grund sollte sie hier aufgegriffen und verknüpft werden, statt eine unnötig verfälschende und verkürzende Vereinfachung zu verwenden. Zur Verdeutlichung der Abstrahlung heißer Körper kann z. B. ein glühendes Metallstück präsentiert werden, bei dem die Meisten schon durch Ansehen erkennen, dass es heiß sein muss.

LE: Beschreibung der Funktionsweise verschiedener Warmhaltegefäße für Tee – Übertragung von Energie durch Konvektion, Strahlung, Leitung sowie Zuordnung der Übertragungswege bei verschiedenen Beispielen

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...

... diskutieren und argumentieren in Bezug auf verschiedene Möglichkeiten der Kühlung bzw. Wärmedämmung.

... deuten Beobachtungen naturwissenschaftlich.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Bei Abkühlung und Erwärmung kann Energie auf verschiedenen Wegen strömen (Konvektion, Strahlung, Leitung).

Die Vermeidung von unerwünschter Energieabgabe trägt zur Nachhaltigkeit bei. (E)

Lernprodukt

Tafelanschrieb zu Konvektion, Strahlung, Leitung
AB zur Anwendung auf verschiedene Beispiele

Differenzierung

Think-Pair-Share in der Einführung bzw. in der Übungsphase

AB: verschieden viele und verschieden komplexe Beispiele vorgeben

Materialien und Literatur

AB online:

HR_Ph_TF8_UG_S2_01_Teewarmhalten


HR_Ph_TF8_UG_S2_02a_AustauschUeb

HR_Ph_TF8_UG_S2_02b_AustauschUeb


HR_Ph_TF8_UG_S2_02c_Anwendungen

Teewarmhalten


Gruppe 1: Formfeste Verformungen, wie ein Deckel auf der Tasse den Tee besser warm hält.



Gruppe 2: Formfeste Verformungen, wie ein Metall aus Styropor den Tee besser warm hält.



Gruppe 3: Formfeste Verformungen, wie eine innen verpackte Kanne den Tee besser warm hält.

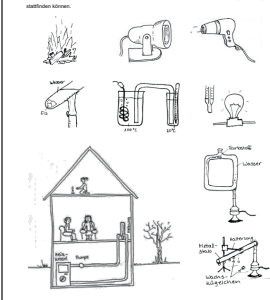


Möglichkeiten der Energieübertragung

1. Beschrifte die unten genannten Beispiele (Phänomene, Geräte, Experimente) und ordne jedem Beispiel die wesentliche Form der Energieübertragung zu. Beschrifte, dass im Haus mehrere Formen der Energieübertragung zu finden sind.

2. Nenne weitere Beispiele zu den drei Formen der Energieübertragung.

3. Nenne Beispiele für zwei Verformungen, durch die wesentliche Formen der Energieübertragung vermindert werden können.



Wärmehtransportarten - Arbeitsblatt

1. Nenne je drei Fakten, die die jeweilige Wärmehtransportart charakterisieren.

Wärmeleitung	Wärmehführung	Wärmehstrahlung

2. Fülle die Lücken in der Tabelle aus.

Energie in Form von Wärme wird von allein immer von Bereichen ... Temperatur transportiert.

Wie unterscheiden drei grundsätzlich verschiedene ...

Wärmeleitung	Wärmehführung	Wärmehstrahlung
Wärme wird ... Körper transportiert.	Wärme wird ... Körper transportiert.	Wärme wird ... Körper transportiert.
Es wird Energie hauptsächlich durch Leitung transportiert.	Es wird Energie hauptsächlich durch MEHnung transportiert.	Es wird Energie ausschließlich durch Strahlung transportiert.
Tellchen werden ...	Tellchen werden ...	Tellchen werden ...
Metalle sind gute Wärmehleiter, weil ...	Flüssigkeiten können gut

Wärmehtransport - Maßnahmen

Erkläre konkrete Maßnahmen, um das jeweilige Ziel zu erreichen. Begründe sie mit Hilfe deiner Wissens über Wärmehtransportarten. Erläutere weitere Beispiele.

	ändern	abkühlen
Verhindern	<ul style="list-style-type: none"> • Suppe / Nudeln / Essen • Wasser im Wasserkocher / für Dusche • Gebäuden: Einbaufenster / Doppelst. • Regenrinne • Heizkörper / Tischeheizkörper • Heizkörper (Heizung / Stromnetz) • Wärmehschutz • Phenol / Blasen vorziehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht Gebäudefenst / Gebäudedämmung • Kältegebläse • Gefrierkühl / Föhn • Frost / Frostschutzmittel • Kältegebläse • Luft im Auto / Haus (Klimaanlage) • Autokühl • Wasser für Eiswürfel • wasser Kälteblöcke • Zinn geladen
Vermeiden	<ul style="list-style-type: none"> • Spieße-Eis • kein Gefrierhit / Eiswürfel • Blauke im Sommer (auch Außen ...) • Gefäß an Stellen • Automatik • Isolierfenster • Füllmaterial (Alu) / PC • Autolack 	<ul style="list-style-type: none"> • wärmeh Essen / Getränke • Kältegebläse • Wärmehschutz / Wärmehisolierung • Wasser / Luft / Umgebung • Wärmehgebläse • Haus im Sommer • wärmeh Getränke • Kanne

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 3 „Wie kann man die Wärmeleitung beeinflussen?“

In dieser Sequenz ist das Ziel, die **Bedingungen der Wärmeleitung** genauer zu beschreiben. Dazu werden ausgehend von Hypothesen Experimente geplant und durchgeführt. Das Ergebnis kann sich auf Je-desto-Sätze beschränken, die zur Übung auf verschiedenen Beispielen (z. B. Beurteilung und Optimierung von Isolierungsmaßnahmen an Häusern) angewandt werden:

- Je größer die Kontaktfläche A ,
- je kleiner die Materialdicke d ,
- je größer die Wärmeleitfähigkeit λ ,
- je größer die Temperaturdifferenz ΔT ,

desto größer ist der thermische Energiestrom (= desto stärker ist die Wärmeleitung).

Für ein mathematisch tiefergehendes Verständnis bietet es sich jedoch an, daran die Formel für den thermischen Wärmestrom

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{A}{d} \cdot \lambda \cdot \Delta T$$

zu verdeutlichen und davon ausgehend auch Berechnungen zu den Isolierungsmaßnahmen durchzuführen. Diese Differenzierung kann gruppenweise oder auch individuell erfolgen.

Diese Beschreibung der Zusammenhänge lässt sich im nächsten Themenfeld (Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis) auf den spezifischen elektrischen Widerstand übertragen, da im Prinzip der gleiche Zusammenhang besteht. Während hier eine tatsächliche Überprüfung der Proportionalitäten messtechnisch schwierig ist und es bei einer Verdeutlichung bleibt, ist in Themenfeld 9 eine Bestätigung in Schülerexperimenten möglich.

Falls die Entropie als Energieträger eingeführt wurde, ist es sinnvoller, die Formel für den Entropiestrom

$$I_S = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{A}{d} \cdot \lambda_s \cdot \Delta T$$

zu verwenden. Das ist in dem Fall konsistenter und bietet den Vorteil einer noch besseren Analogie zum elektrischen Strom I , da dort üblicherweise ebenfalls der Strom des Energieträgers (dort Ladung Q , hier Entropie S) betrachtet wird.

Auch hier werden beim **Einstieg** konkrete Vorgaben gemacht, zu denen wieder in Gruppen und mittels Think-Pair-Share Stellung genommen werden soll. Wieder wird Gebrauch vom Kontext „Tee warm halten“ gemacht, ausgehend davon können die Experimente mit Laborgeräten abgeleitet werden. Die Leitfrage „Vergleiche jeweils zwei Gefäße! In welchem wird der Tee schneller kalt, d. h. wo ist der Energiestrom am größten? Was unterscheidet die Gefäße?“ verbindet eine Alltagssituation mit dem eingeführten Fachkonzept und lenkt die Überlegungen auf den thermischen Energiestrom in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. Diese Art der Fragestellung lässt verschiedene Überlegungen zu, fokussiert die Schülerergebnisse aber in sinnvoller Weise auf die Hypothesenbildung. (HR_Ph_TF8_UG_S3_01_TassenEinstieg und Bildmaterial)



Abb. 20: Tassen aus unterschiedlichen Materialien



Abb. 21: Tassen mit unterschiedlichen Oberflächen



Abb. 22: Tassen unterschiedlicher Dicke

Die vorgestellten Gefäße sollten sich dadurch eignen, dass sich z. B. je zwei ansonsten gleiche Tassen in einer Eigenschaft unterscheiden (Material: Blech – Kunststoff, Außenfläche groß oder gering, dickwandige oder dünnwandige Tasse). Die Gefäße sollten dabei auch etwa gleich groß sein, d. h. gleiches Volumen haben. Denn mit größerem Volumen nimmt die Wärmekapazität der enthaltenen Flüssigkeit zu, was die Abkühlungsgeschwindigkeit beeinflusst. Daher sollte das Volumen bei der Betrachtung und den Experimenten zur Wärmeleitung konstant gehalten werden. Eine getrennte Betrachtung der Wärmekapazität kann bei ausreichender Zeit als Ergänzung zur Unterrichtseinheit zusätzlich vorgenommen werden (siehe auch bei den Ergänzungen zum Unterrichtsgang). Es ist allerdings damit zu rechnen, dass einige Schülerbegründungen in die Richtung „mehr oder weniger Volumen“ gehen werden. Das kann gewollt durch die Vorauswahl der Gefäße provoziert werden, aber auch ohne diese vorkommen. In dem Fall sollte man den Volumeneffekt (bzw. Masseneffekt) anerkennen, aber von den Effekten der Wärmeleitung abgrenzen, z. B. durch die Rückmeldung „Es ist richtig: Wenn mehr Tee vorhanden ist, wird darin auch mehr Energie (bzw. Entropie) enthalten sein. Daher dauert es auch länger, bis diese hinausgeströmt ist. Um den Strom genauer zu untersuchen, sollten wir daher nur Tassen mit gleichem Volumen vergleichen.“

Davon ausgehend können im Verlauf der Schülerpräsentationen bzw. im Unterrichtsgespräch **Hypothesen** formuliert werden. z. B. :

- Je dünner das durchströmte Material,
- je größer die Kontaktfläche,
- je besser die Leitfähigkeit des Materials,

desto besser die Energieleitung.

Alternativ kann z. B. die Problemstellung der Prozessorkühlung bei Computern thematisiert werden, was aufgrund abnehmender Verwendung von Desktop-PCs allerdings zunehmend schwieriger darzustellen sein könnte und zudem Konvektion und Verdunstungswärme mit ins Spiel bringt (HR_Ph_TF8_UG_xtra_02_Prozessorkühlung). Wenn man diesen Kontext wählt, sollte eine Fokussierung auf die Leitung vorgenommen werden.

Um die **Planung und Durchführung der Experimente** zu den Hypothesen zu flankieren, wird das Material vorgegeben, da sonst viele Ideen entstehen, die nicht realisiert werden können. Es ist auch sinnvoll, zur Entlastung bereits eines der Experimente im Lehrervortrag darzustellen und seine Eignung für eine der Hypothesen zu erläutern. Zur Differenzierung kann eine schwache Schülergruppe direkt dieses vorbereitete Experiment durchführen, während die anderen zunächst eine Planung skizzieren und der Lehrkraft vorlegen müssen. Aus Zeitgründen ist eine Durchführung aller Experimente durch alle Gruppen nicht sinnvoll.

Für die Experimente selbst sind verschiedene Varianten denkbar:

- Es werden direkt Temperaturverläufe mit den vorgestellten Gefäßen aufgenommen und verglichen.
- Es werden Planung und Durchführung verschiedener Experimente aus einer Auswahl vorgegebener Materialien zugelassen, Ideen können als Hilfekärtchen ausgelegt werden (z. B. aus HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp1_Gefaesse).
- Es werden vorhandene Materialien aus einem Schülerübungskasten verwendet:
 - Aluwürfel mit Thermometeröffnung, die verschieden gegeneinander isoliert werden (HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp2_Alu).
 - Direkte Messung des Energiestroms oder Entropiestroms mittels Peltierelement.
- Die direkte Messung des Energie- bzw. Entropiestroms kann auch mit Materialien erfolgen, die sich günstig beschaffen lassen (siehe Kapitel 1.5.4 und HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp3_Peltier).

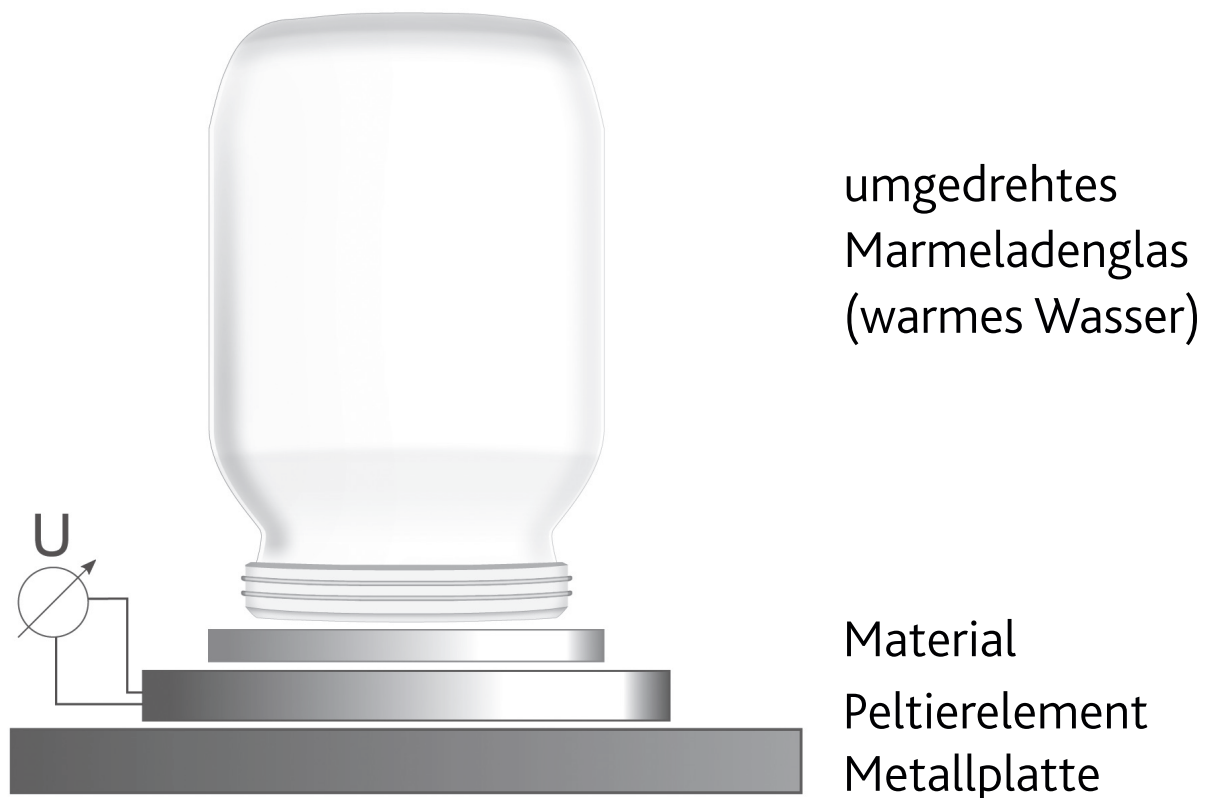


Abb. 23: Peltierelement

In jedem Fall ist auf die Variablenkontrolle zu achten (alle Größen außer der variierten müssen gleich bleiben, insbesondere das Volumen und die Temperatur der Flüssigkeit). Eine Schwierigkeit besteht aber bei den Experimenten mit Temperaturmessung gerade darin, dass die Temperatur der abkühlenden Flüssigkeit als Maß für den Energiestrom verwendet wird, so dass eine exakte Variablenkontrolle nicht möglich ist. Ergebnisse sind trotzdem verlässlich zu erhalten. Eine Proportionalität wird aber nur erkennbar, wenn die Temperaturabnahme sehr gering bleibt (kurze Messdauer) und die Temperaturdifferenz ΔT zu dem Außenraum sehr groß ist. Insbesondere ist darauf zu achten, dass die zu

messende Temperaturänderung und die Temperaturdifferenz ΔT der Reservoirs im Gespräch nicht verwechselt werden und eine unterschiedliche Benennung erfolgt. Bei den Messungen mittels Peltier-element ist dieses Problem geringer, da direkt ein Messwert für den Energiestrom abgelesen wird.

Die **Auswertung** wird je nach Zielsetzung wie oben beschrieben auf Je-desto-Beziehungen beschränkt oder die Formel wird plausibel gemacht. Dabei muss je nach Experiment nochmals deutlich werden, dass mit der Abkühlung eines Körpers ein Energieverlust ΔE verbunden ist und diese Energie abfließt. Eine Bezugnahme zur energetischen Deutung des Abkühlens zu Beginn der Unterrichtseinheit ist hilfreich. Im Anschluss können dann z. B. Übungen dazu vorgenommen werden.

An dieser Stelle bietet es sich (falls noch nicht bei den Wärmetransportarten geschehen) auch an, die Wärmeleitung auf Teilchenebene darzustellen (Energieweitergabe durch Anstoßen des benachbarten Teilchens). Je nach Experiment kann die Proportionalität an den Messwerten erkannt werden, im Allgemeinen reicht eine Plausibilisierung der Formel aus. Es ist sinnvoll, verschiedene Beispiele für die Wärmeleitfähigkeit zu geben, etwa wie folgt:

Wärmeleitfähigkeiten in W/(m K)
(falls nicht anders angegeben bei Raumtemperatur 300K)

Luft (0°C)	0,024	Glas	1
Polystyrol	0,035-0,050	Beton	2,1
Glaswolle	0,04	Granit	2,8
Porenbeton	0,08-0,25	Stahl	15-58
Dämmputz	0,1	Eisen	80
Vollziegel	0,5-1,4	Aluminium	237
Wasser	0,6	Kupfer	401
Diamant	2300		

Quelle: <http://www.chemie.de/lexikon/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit.html>

Ein mögliches Tafelbild könnte so aussehen (Formel optional):

Bei der quantitativen Untersuchung der Wärmeleitung stellt man fest, dass der **thermische Energiestrom P** (= Energieänderung $\Delta E/\Delta t$) durch einen Körper von verschiedenen Faktoren abhängig ist:

- vom Material,
- von der Temperaturdifferenz zwischen den zwei Enden,
- von der Querschnittsfläche und
- von der Dicke bzw. Länge.

des Körpers.

Idealisiert ergeben sich folgende Proportionalitäten:

- $\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim \lambda$ (Wärmeleitfähigkeit des Materials, Einheit W/(m·K))
- $\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim \Delta T$ (Einheit K)
- $\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim A$ (Einheit m²)
- $\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim \frac{1}{l}$ (Einheit m⁻¹)

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T$$

Experimente:

- a) Wärmestrom in Abhängigkeit vom Material ($\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim \lambda$)

⇒ Untersuchung von Aluminium, Plastik und Holz

Ergebnis:

Je größer die „spezifische Wärmeleitfähigkeit des Materials“, desto größer ist der Wärmestrom. Je größer der „spezifische Wärmewiderstand des Materials“, desto geringer ist der Wärmestrom.

- b) Wärmestrom in Abhängigkeit von der Materialdicke ($\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim \frac{1}{l}$)

⇒ Untersuchung verschiedener Dicken bei Aluminium, Plastik und Holz

Ergebnis:

Je dicker das Material, desto größer ist der „Wärmewiderstand“ und desto geringer ist der Wärmestrom.

Im vorangegangenen Unterricht (Themenfeld 6) wurde bereits ausgehend von der Leistung eines elektrischen Gerätes die umgesetzte Energie und deren Kosten berechnet. Hier können nun in analoger Weise Energieverlust und Kosten für ein Haus abgeschätzt werden. Auch ohne Rechnungen kann aus den Je-desto-Beziehungen erkannt werden, dass Dicke, Fläche und Material bzw. spezifische Wärmeleitfähigkeit einen erheblichen Einfluss auf den Energieverlust eines Hauses haben (HR_Ph_TF8_UG_S3_03_Berechnung). Differenzieren lässt sich dabei z. B. durch die Vorgabe der ersten Rechnung a). Ähnliche Rechnungen zur weiteren Übung sind denkbar, die Vertiefung in Form von Referaten zu verschiedenen Anwendungen (Niedrigenergiehaus, Prozessorkühlung, Tiere im Winter, Kleidung, ...) bietet sich bei ausreichender Zeit an. Es können auch differenzierend parallel Kurzreferate vergeben werden, bei denen ein Teil der Schülerinnen und Schüler die Mathematisierung bearbeiten.

Beispielrechnungen:

Doppelhaushälfte – Wohnung 80 m² (10m lang – auf einer Seite gemeinsam mit einem Nachbar, 8 m breit, 2,50 m hoch)

Berechne den Energieumsatz für einen 3-stündigen Fernsehabend, Außentemperatur 0° C, Innentemperatur.

a) Altbau, Ziegelstein, Normalglas

gesucht: Energieverlust ΔE in kWh

gegeben: $\Delta t = 3 \text{ h}$
 $\Delta T = 25 \text{ K}$
 $\lambda = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Berechnung:

$$\Delta E = \lambda \frac{A}{l} \Delta T \cdot \Delta t$$

Raumtemperatur: 25° C

$$\Delta E = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{65 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} 25 \text{ K} \cdot 3 \text{ h}$$

$$\Delta E = 13000 \text{ Wh} = 13 \text{ kWh} (3,64 \text{ €})$$

Raumtemperatur 20° C

$$\Delta E = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{65 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} 20 \text{ K} \cdot 3 \text{ h}$$

$$\Delta E = 10400 \text{ Wh} = 10,4 \text{ kWh} (2,91 \text{ €})$$

Fernseher (40 Zoll, 60 W)

$$\Delta E = P \cdot \Delta t = 60 \text{ W} \cdot 3 \text{ h} = 180 \text{ Wh} (\Delta E_{\text{Wände Altbau}} \approx 72 \cdot \Delta E_{\text{Fernseher}})$$

b) Gasbeton, Isolierglas

ΔE in kWh

$\Delta t = 3 \text{ h}$
 $\Delta T = 25 \text{ K}$
 $\lambda = 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \lambda \frac{A}{l} \Delta T \quad | \cdot \Delta t$$

$$\Delta E = \lambda \frac{A}{l} \Delta T \cdot \Delta t$$

$$\Delta E = 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{65 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} 25 \text{ K} \cdot 3 \text{ h}$$

$$\Delta E = 3250 \text{ Wh} = 3,25 \text{ kWh} (0,91 \text{ €})$$

$$\Delta E = 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{65 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} 20 \text{ K} \cdot 3 \text{ h}$$

$$\Delta E = 2600 \text{ Wh} = 2,6 \text{ kWh} (0,73 \text{ €})$$

LE: Hypothesen formulieren: Was beeinflusst die Wärmeleitung, wie muss ein Aufbau aussehen, der Energie möglichst schnell ableitet (Prozessor/Tee)?

<p>Kompetenz</p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... stellen gezielt Hypothesen auf und diskutieren diese.</p>	<p>Konzeptbezogenes Fachwissen</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die Stärke thermischer Ströme ist von Art, Dicke und Querschnitt des durchströmten Materials abhängig (thermischer Widerstand). (SY)</p>
<p>Lernprodukt</p> <p>4 Hypothesen, die als Grundlage weiterer Überlegungen und Experimente dienen.</p>	<p>Differenzierung</p> <p>- Think-Pair-Share</p> <p>- Auswahl der zu vergleichenden Gefäße</p>

Materialien und Literatur


AB online:

HR_Ph_TF8_UG_S3_01_TassenEinstieg

HR_Ph_TF8_UG_xtra_02_Prozessorkühlung

...alle Tassen im Schrank

Vergleiche jeweils zwei Gefäße. In welchem wird der Tee schneller kalt, d. h. wo ist der Energiestrom am größten? Beschrifte, wie sich die Gefäße unterscheiden.



Info: Prozessorkühlung

Der Prozessor ist das zentrale Bauteil eines Computers, auf dem laufen die Betriebssysteme (z. B. Windows) und sämtliche Programme ("Apps") etc. In Desktop-Computern können moderne Prozessoren bis zu 24 Milliarden Befehle pro Sekunde ausführen, in einem Smartphone sind es auch schon bis zu 1,8 Milliarden Befehle. Die gesamte CPU, auf dem diese Berechnungen laufen, ist nur ungefähr so groß wie ein Daumenknäuel – er wird daher bei Benutzung sehr heiß, so 10-mal so warm wie eine Handgelenk-Temperatur über 50°C können den Prozessor überhitzen, das muss die Energie, die beim Betrieb entsteht, abgeführt werden. Dafür gibt es verschiedene Methoden, die Du mit diesem Blatt erforschen sollst.

1. Passive Prozessorkühlung

Das Betriebssystem sagt, wie die im Jahr 1985 Prozessoren gekühlt wurden. Mit einer Wärmeleitpaste wurde der Prozessor auf einen großen Kühlkörper aus Metall gelötet (im oberen Bild zu sehen). Das untere Bild zeigt einen weiteren Kühlkörper von oben – beachte auch seine ca. 1cm dicken Metallplatte, die in die senkrecht stehenden dünnen Kühlrippen übergeht.

- Ⓜ Zeichne eine Ansicht, die den Prozessor, die Wärmeleitpaste und den Kühlkörper im Schnitt (von der Seite) zeigt.
- Ⓜ Beschrifte, auf welche Arten die Energie vom Prozessor "abgeführt" wird.
- Ⓞ Wozu dienen die Kühlrippen – warum wird man nicht einen soliden Block Metall auf den Prozessor, kann das nicht ein wenig Energie speichern?

2. Aktive Prozessorkühlung

- Ⓜ Wie sieht man die Prozessoren so beschreibungsfähig (und wozu ist das), dass die in Aufgabe 1 beschriebenen passiven Kühlkörper nicht mehr ausreichen. Bei den selbsten verwendeten aktiven Kühlern wird auf dem Kühlkörper ein Lüfter (gelbes Bild).
- Ⓜ Beschreibe, welche Funktion der Lüfter zusätzlich zu dem bereits in Aufgabe 1 beschriebenen Kühlkörper hat. Warum nennt man diesen als Kühlkörper aber nicht den "Kühler"? (passiv?)
- Ⓜ Im unteren Bild siehst Du den Kühlkörper für einen Intel Atom-Prozessor von 2008 im Vergleich zu einem Pentium-Drehler von 1985. Schreibe einen Kommentar dazu: Was können Computer im Jahr 2008 "temper" als im Jahr 1985? Haben die neueren Computer vielleicht auch Nachteile gegenüber den älteren?

3. Heatpipes

In modernen Computern gibt es so genannte Heatpipes ("Wärmerohre"), die die Energie vom Prozessor zum Kühlkörper ableiten. Du siehst die (ca. 0,5cm) dicken Kupferrohre auf dem oberen Bild, auch auf dem Bild in Aufgabe 2 sehen siehst Rohre an dem größeren Prozessorkühlkörper.

- Ⓜ Den Aufbau der Rohre siehst Du unten Bild. In Rohr befindet sich eine Flüssigkeit, die an dem Ende, wo die Rohre heiß wird, verdunstet (Dampf) fließt zu dem Ende, wo der Kühlkörper ist. Durch Verdampfen des Wassers und fließt von selbst (aufgrund eines physikalischen Effekts, der "Kapillarkraft" heißt) wieder zurück zum anderen Ende. Erkläre, warum dieses "Wärmerohr" viel mehr Energie transportieren kann als ein normales schickes Kupferrohr (Stichwort: Verdampfungsenthalpie ...).
- Ⓜ Schau Dir das obere Bild genau an: Warum sind Heatpipes die einzige Möglichkeit, in modernen Notebook-Computern die leistungsstärksten Prozessoren zu kühlen?

LE: Planung, Durchführung und Auswertung von geeigneten Experimenten zur Überprüfung der Hypothesen

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...
 ... planen Experimente zu thermischen Energietransporten (z. B. zur effektiven Kühlung oder Wärmedämmung), führen sie durch, werten sie quantitativ mit Hilfe der Darstellung von Temperaturverläufen im Diagramm aus und interpretieren sie.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die Stärke thermischer Ströme ist von Art, Dicke und Querschnitt des durchströmten Materials abhängig (thermischer Widerstand). (SY)

Lernprodukt

Protokolle von Experimenten, Messergebnisse, Schülerpräsentationen

Differenzierung

- Auswahl und Zuordnung von Experimenten zu Gruppen
- Anzahl der Experimente pro Gruppe
- Hilfkarten zur Planung

Materialien und Literatur

AB online:
 HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp1_Gefaesse
 HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp2_Aluminium
 HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp3_Peltier

Von welchen Faktoren hängt der Energietransport ab?

Je schneller etwas abkühlt (erhitzt), desto besser. Wie schnell? Welche Faktoren? Welche Geschwindigkeit hängt von welchem Faktor ab, die wir etwas beeinflussen wollen. Um herauszufinden, ob ein Faktor einen Einfluss hat, muss man diesen Faktor in einem Experiment verändern, alles andere dabei gleich lassen.

Hier untersuchen wir, ansonsten die Abkühlung von Wasser in einem Becherglas. Wir beschreiben uns dabei nur auf die Wärmeleitung. Um das Abkühlen vergleichen zu können und damit die Experimente nicht zu kompliziert werden, sehen in der Tabelle 100ml!

Frage: Welches Wasser (Abkühlung nicht verändert) in einem Becherglas und messen alle 30 Sekunden die Temperatur über einen Zeitraum von 4 Minuten. Tragen die Temperaturverläufe in ein Diagramm ein.

A. Führe eines der tabellarischen Experimente durch und erweitere dies zu vollständigen Protokollen (Nenne dabei in deiner Tabelle, Diagramm und dem Satz zur Schlussfolgerung).
 B. Ergänze die Planung für die letzte Zeile der Tabelle.
 C. Formuliere eine hypothetische Formel, die den thermischen Energietransport (Energieabgabe) P in Abhängigkeit von den genannten Faktoren beschreibt ($P = \dots$)

Hypothese: Die Abkühlgeschwindigkeit hängt ab von ...	Idee für Experiment, Aufbau	Wir variieren	Wir halten gleich
Temperaturunterschied (Innen - außen)	Heißes Wasser in Becherglas, das in einem größeren Gefäß mit Wasser steht	Temperatur des Wassers im Außengefäß (oder dort ebenfalls Vorlauf messen)	Abkühltemperatur, Volumen Wasser, Farbe und Größe, Material und Oberfläche des Gefäßes
Oberfläche A	100 ml heißes Wasser in zwei Gefäßen mit unterschiedlicher Kontaktfläche (z. B. Becherglas, Messzylinder, ...)	Oberfläche (Beschreibe die Fläche nach außen hin zur Höhe des Wassingersanges für jedes Gefäß)	Abkühltemperatur, Volumen Wasser, Abkühltemperatur der Luft
Material	Heißes Wasser in Bechergläsern aus verschiedenen Materialien (z. B. Glas, Kunststoff)	Material des Becherglasses	Abkühltemperatur, Volumen Wasser, Abkühltemperatur, Farbe und Größe des Becherglasses

Experimentelle Untersuchung der Wärmeleitung II: Unterwasserwiderstand



Das Phänomen der Wärmeleitung hängt von verschiedenen Faktoren ab. In vier Experimenten sollen unterschiedliche Abhängigkeiten untersucht werden.

Wir benutzen zwei gleiche Aluminium-Würfel. Ein auf 60°C erhitzter Würfel wird auf einen mit Zimmertemperatur gestelltem Unterwasserwiderstand mit vier verschiedenen Bedingungen erprobt.

Die Temperaturen beider Würfel sollen zu jedem Wechsel der Temperaturerzeugung gemessen werden – so lange, bis sich die Temperaturdifferenz zwischen oberem und unterem Würfel etwa halbiert hat. Für jede Teiltemperatur sollen mittlere Ausgangsbedingungen geschaffen und in jeweils einem Koordinatensystem sowohl die Abkühlung des oberen als auch die Erwärmung des unteren Würfels dargestellt werden. Die Koordinatensysteme der einzelnen Teilexperimente müssen dabei vergleichbar sein (gleicher Maßstab). Aus diesen Teilprotokollen ergibt sich das Ergebnis der Experimente.

Jede Gruppe fertigt ein vollständiges Protokoll an (mit den Namen aller Gruppenmitglieder einschließlich ihrer Verantwortlichkeit in dieser Gruppenarbeit - keine Verantwortlichkeit darf mehrfach aufweisen)

Aufgabe: (Kochrezeptform siehe unten).

- Vorbereitung:** Aufbau, Materialliste
- Durchführung:** (Beschreibung, Messwerttabellen)
- Auswertung:** Darstellung der Messwerte in Koordinatensystemen, eventuelle Betrachtung abgeleiteter Fehler, Schlussfolgerungen
- Ergebnis:** (Zusammenfassung, direkt auf die Aufgabe bezogen)


Gruppe 1: Untersuche den „Wärmeübergang“ zwischen beiden Würfeln mit 0, 1, 2 und 3 Aluminium-Schichten zwischen den beiden Würfeln.

Gruppe 2: Untersuche den „Wärmeübergang“ zwischen beiden Würfeln mit 0, 1, 2 und 3 Plastik-Schichten zwischen den beiden Würfeln.

Gruppe 3: Untersuche den „Wärmeübergang“ zwischen beiden Würfeln mit 0, 1, 2 und 3 Holz-Schichten zwischen den beiden Würfeln.

Gruppe 4: Untersuche den „Wärmeübergang“ ohne und mit je einer Aluminium-, Plastik- und Holz-Schicht zwischen den beiden Würfeln.

Experimentelle Untersuchung der Wärmeleitung mit Peltier-Element



Das Phänomen der Wärmeleitung hängt von verschiedenen Faktoren ab. In diesem Versuch untersuchen wir den Einfluss der Temperaturdifferenz sowie verschiedener Materialien und deren Dicke auf die Wärmeleitung.

Auf ein Messbecherglas mit einem warmen Wasser legen wir ein Peltier-Element. Wenn du jetzt ein zweites Messbecherglas mit warmem Wasser (Sensitiv) direkt auf das Peltier-Element stellst, steigt das Messgerät eine Spur an.

Aufgaben:

- Nehme die gemessene Spannung für verschiedene Wärmeflussraten beider Gläser.
- Lage zwischen dem Messbecherglas und dem Peltier-Element verschiedene Materialien. Versuche dabei jede Messung mit gleich warmem Wasser (oben und unten) durchzuführen – du musst das Wasser also eventuell wieder aufwärmen oder austauschen.

Fülle deine Ergebnisse in folgende Tabelle ein:

Temperatur oben	Temperatur unten	ΔT	Material und Dicke	Peltierleistung
			Kein Material	
			Messzylinder 1cm	
			Messzylinder 2cm	
			Kunststoff 1cm	

3. Fasse deine Beobachtungen in Ja/Nein-Aussagen zusammen.

LE: Formulieren und Anwenden der Gesetzmäßigkeiten

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...

- ... werten Ergebnisse von Experimenten aus.
- ... nutzen naturwissenschaftliche Konzepte und Gesetzmäßigkeiten zur Bestimmung von Energieverlusten.
- ... vergleichen und bewerten verschiedene Möglichkeiten zur Kühlung bzw. Wärmedämmung.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die Stärke thermischer Ströme ist von Art, Dicke und Querschnitt des durchströmten Materials abhängig (thermischer Widerstand). (SY)
Die Vermeidung von unerwünschter Energieabgabe trägt zur Nachhaltigkeit bei. (E)

Lernprodukt

Protokolle von Experimenten, Messergebnisse, Schülerpräsentationen

Differenzierung

- Einbeziehung mathematischer Zusammenhänge über je-desto-Beziehungen hinaus
- Mathematisierung für Teilgruppen im Rahmen von Kurzreferaten
- Hilfestellungen bei Berechnungen

Materialien und Literatur

AB online:

HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp1_Gefaesse

HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp2_Aluminium

HR_Ph_TF8_UG_S3_02_Exp3_Peltier

Von welchen Faktoren hängt der Energietransport ab?
In welcher Hinsicht (Pulsung, kaltes Wasser, ein Prozess, ein Heiz-, ...) kann mehr Energie von einer Sekunde transportiert. Diese Geschwindigkeit hängt von mehreren Faktoren ab, die wir einzeln untersuchen wollen. Um herauszufinden, ob ein Faktor einen Einfluss hat, muss man diesen Faktor in einem Experiment variieren, alle anderen dabei aber konstant halten.
Hier untersuchen wir, wovon die Abkühlung von Wasser in einem Becherglas abhängt. Wir beschreiben uns dabei nur auf die Wärmeleitung. Um die Abkühlung vergleichen zu können und damit die Experimente nicht zu kompliziert werden, haben wir die Tabelle hinterfüllt.
Fülle heißes Wasser (Kühlung nicht verhindern) in einen Becherglas und messe alle 20 Sekunden die Temperatur über einen Zeitraum von 4 Minuten. Trage die Temperaturwerte in ein Diagramm ein.

- Fülle einen der beschriebenen Experimente durch und erweitere dies ein vollständiges Protokoll (siehe dabei ein Schema, Tabelle, Diagramm und einen Satz zur Schlussfolgerung).
- Ergänze die Planung für die letzte Zeile der Tabelle.
- Formuliere eine hypothetische Formel, die den thermischen Energietransport (Energietransportrate P) in Abhängigkeit von den genannten Faktoren beschreibt ($P = \dots$).

Hypothese: Die Abkühlgeschwindigkeit hängt ab von...	Was für Experiment Aufbau	Was variieren	Was halten gleich
Temperaturdifferenz ΔT (heißer - wärmer)	Heißes Wasser in Becherglas, das in einem größeren Gefäß mit kaltem Wasser	Temperatur des Wassers im Außengefäß (siehe dort identische Versuchsaufbau)	Außenwassertemperatur, Volumen Wasser innen und außen, Material und Oberfläche der Gefäße
Oberfläche A	50 ml heißes Wasser in zwei Gefäßen mit unterschiedlicher Kontaktfläche (z.B. Becherglas, Reagenzglas, Messzylinder, ...)	Oberfläche (Berühnende der Fläche nach außen bis zur Höhe des Wasseringangs für gleiche Gefäße)	Außenwassertemperatur, Volumen Wasser, Außenwassertemperatur der Luft
Material	Heißes Wasser in Bechergläsern aus verschiedenen Materialien (z.B. Glas, Kunststoff)	Material des Becherglases	Außenwassertemperatur, Volumen Wasser, Außenwassertemperatur, Form und Größe des Becherglases

Stich des Becherglases

Experimentelle Untersuchung der Wärmeleitung (2 Unberührtzustände)

Das Phänomen der Wärmeleitung hängt von verschiedenen Faktoren ab. In vier Experimenten sollen unterschiedliche Abhängigkeiten untersucht werden.
Wir benutzen zwei gleiche Aluminium-Würfel. Ein auf 60 °C erhitzter Würfel wird auf einen mit Zimmertemperatur gemessenen Würfel gesetzt, wie sich der untere Würfel unter verschiedenen Bedingungen verhält.

Die Temperaturen beider Würfel sollen bei jedem Wechsel der Temperaturmessung gemessen werden – so lange, bis sich die Temperaturdifferenz zwischen dem oberen und unteren Würfel etwas reduziert hat. Für jedes Teilexperiment sollen ähnliche Ausgangsbedingungen geschaffen und in jeweils einem Koordinatensystem sowohl die Abkühlung des oberen als auch die Erwärmung des unteren Würfels dargestellt werden. Die Koordinatensysteme der einzelnen Teilexperimente müssen direkt vergleichbar sein (gleicher Maßstab). Aus diesen Vergleich ergibt sich das Ergebnis der Experimente.

Jede Gruppe fertigt ein vollständiges Protokoll an (mit den Namen aller Gruppenmitglieder einschließlich aller Verantwortlichkeiten in dieser Gruppenarbeit, keine Verantwortlichkeit darf mehrfach auftreten):

- Aufgabe** (Kontrollierung siehe unten).
- Vorbereitung** (Aufbau, Materialen).
- Durchführung** (Beschreibung, Messwerttabellen).
- Auswertung** (Ermittlung der Messwerte in Koordinatensystemen, eventuelle Betrachtung möglicher Fehler, Schlussfolgerungen).
- Ergebnis** (Zusammenfassung, direkt auf die Aufgabe bezogen).

Gruppe 1: Untersuche den „Wärmeübergang“ zwischen beiden Würfeln mit 0, 1, 2 und 3 Aluminium-Schichten zwischen den beiden Würfeln.

Gruppe 2: Untersuche den „Wärmeübergang“ zwischen beiden Würfeln mit 0, 1, 2 und 3 Plastik-Schichten zwischen den beiden Würfeln.

Gruppe 3: Untersuche den „Wärmeübergang“ zwischen beiden Würfeln mit 0, 1, 2 und 3 Holz-Schichten zwischen den beiden Würfeln.

Gruppe 4: Untersuche den „Wärmeübergang“ ohne und mit je einer Aluminium-, Plastik- und Holz-Schicht zwischen den beiden Würfeln.

Experimentelle Untersuchung der Wärmeleitung mit Peltier-Element

Das Phänomen der Wärmeleitung hängt von verschiedenen Faktoren ab. In diesem Versuch untersuchen wir das Einfließen der Temperaturdifferenz sowie verschiedener Materialien und deren Dicke auf die Wärmeleitung.

Auf ein Materialgefäß mit einem warmen Wasser legen wir ein Peltier-Element. Wenn es jetzt ein zweites Materialgefäß mit warmem Wasser (Dreißig Grad) auf das Peltier-Element stellt, zeigt das Messgerät eine Spannung.

Aufgaben:

- Nehmen die gemessene Spannung für verschiedene Wärmematerialien fest.
- Legen zwischen das Materialgefäß und das Peltier-Element verschiedene Materialien. Versuche dabei jede Messung mit gleich warmem Wasser (siehe oben) durchzuführen – so muss das Wasser also eventuell wieder aufheizen oder austauschen.

Fülle deine Ergebnisse in folgende Tabelle ein:

Temperatur oben	Temperatur unten	ΔT	Material und Dicke	Peltierspannung
			Messzylinder 1cm	
			Messzylinder 2cm	
			Kunststoffbecherglas	

3. Fasse deine Beobachtungen in 2-3-Sätzen zusammen.

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 4 „Energietransport erzwingen: die Wärmepumpe“

Ausgehend von der bekannten Tatsache, dass bei einer Temperaturdifferenz immer selbstständig Energie thermisch vom Ort höherer Temperatur zum Ort niedrigerer Temperatur fließt, wird hier die Umkehrung thematisiert: Wie kann man von einem kühleren Gegenstand Energie auf einen wärmeren Gegenstand übertragen. Dabei wird direkt geklärt, dass es sich nicht um ein einfaches Erwärmen (z. B. mittels Tauchsieder) handelt, sondern um die erzwungene Umkehrung der thermischen Stromrichtung.

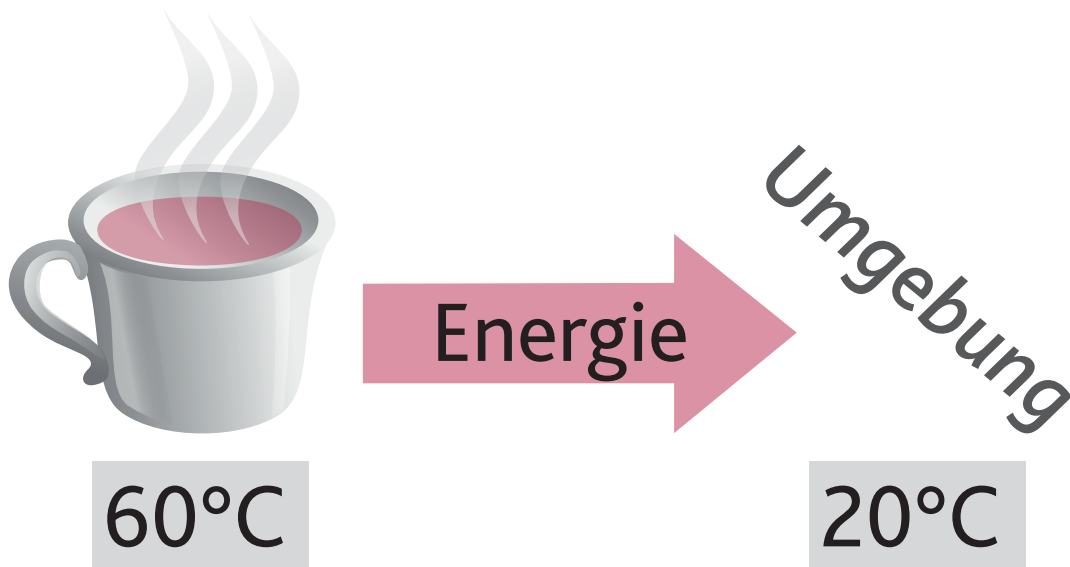


Abb. 24: Energieabgabe an Umgebung

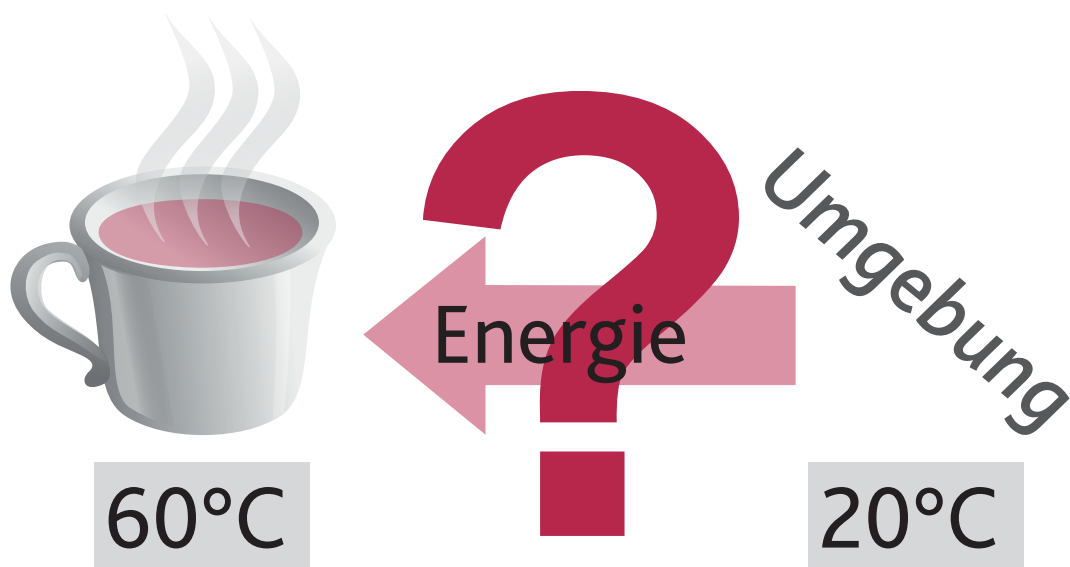


Abb. 25: Energieaufnahme von Umgebung

Das Ziel ist dabei die Darstellung des prinzipiellen Konzepts einer Wärmepumpe. Es werden verschiedene Anwendungen aufgezeigt, z. B. im Kühlschrank, der Klimaanlage oder der Wärmepumpenheizung

im Haus. Es ist nicht beabsichtigt, hierbei den thermodynamischen Kreisprozess der üblichen Wärmepumpe in den Blick zu nehmen, zumal neben der traditionellen Bauart zunehmend Wärmepumpen verwendet werden, die auf Peltierelementen beruhen (z. B. in neueren Wäschetrocknern). Trotzdem kann neben der Darstellung als Energieflussdiagramm die Funktionsweise eines Kühlschranks erarbeitet werden (HR_Ph_TF8_UG_S4_01_Kuehlschrank bzw. HR_Ph_TF8_UG_S4_02_Kuehlschrank_Entropie).

Erläuterungen zur weiteren Vertiefungen

Wie bereits bei der Erläuterung zu den Experimenten erwähnt spielt die **Wärmekapazität** eine Rolle bei der Abkühlung und Erwärmung, da eine größere Masse eines Stoffs mehr Energie bzw. Entropie enthält und somit länger braucht, um diese abzugeben.

Dazu können die üblichen Experimente zur Wärmekapazität durchgeführt werden, die zum Zusammenhang

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

führen. Im Zusammenhang mit der Unterrichtseinheit sind folgende Punkte allerdings zu beachten, die entsprechende Änderungen der Arbeitsaufträge und Aufgaben nötig machen können:

- Der Begriff der Wärme Q wurde nicht verwendet. Stattdessen wird die Energiedifferenz ΔE verwendet.
- Experimente zum mechanischen Wärmeäquivalent sind ungeeignet, da der Zusammenhang zwischen Kräften (hier bei Reibung) und der damit verbundenen Energie (bzw. mechanischer Arbeit) erst in Themenfeld 10 betrachtet wird. Stattdessen sind (auch wegen der besseren Durchführbarkeit in Schülergruppen) Experimente zur elektrischen Erhitzung von Wasser sinnvoll, bei denen der eingeführte Zusammenhang $\Delta E = P \cdot \Delta t$ Verwendung findet.
- Übermäßige Übungen und Rechnungen, z. B. zu Mischtemperaturen, sollten aus Zeitgründen vermieden werden.

Ein Arbeitsblatt zur Wärmekapazität findet sich in den Online-Materialien (HR_Ph_TF8_UG_xtra_01_WaermekapazitaetExp).

Wenn die Entropie eingeführt wurde, lässt sich einfach zeigen, dass **der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe** in jedem Fall unter 100% ist (siehe Kapitel 1.5.3).

LITERATURVERZEICHNIS

Autorenkollektiv. Wärmeleitfähigkeit.

<http://www.chemie.de/lexikon/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit.html>.

Herrmann, F. et al. Der Karlsruher Physikkurs – Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Band 1: Energie – Impuls – Entropie. http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/Material_KPK.html.

Fritzsche, K.; Duit, R. (2000). Grundbegriffe der Wärmelehre – aus Schülervorstellungen entwickelt. In: Unterricht Physik 11, Nr. 60. S. 22-25.

Noll, U. Ein Amperemeter für die Wärmelehre. <https://www.lehrer-online-bw.de/site/pbs-bw/node/811529/Lde/index.html>.

Pohlig, M. (2012): Zur Geschichte des Entropiestroms. In: Praxis der Naturwissenschaften, 1/61, Januar 2012. S. 9-10.

Schwarze, H. (Hrsg.) (2015): Wärmelehre I: Wärme und Temperatur. Köln, Aulis.

AUTORINNEN UND AUTOREN

Norbert Ames

Staatliches Eifel-Gymnasium, Neuerburg

Birgit Becher

Realschule plus Kirchheimbolanden, Kirchheimbolanden

Esther Braun

Integrierte Gesamtschule Nieder-Olm, Nieder-Olm

Martin Buchhold

Kurfürst-Balduin-Gymnasium, Münstermaifeld

Andrea Bürgin

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Silvia Casado-Schneider

Realschule plus Mainz-Lerchenberg, Mainz

Katharina Franke

Gymnasium Nackenheim, Nackenheim

Wolfgang Heuper

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien, Koblenz

Benjamin Hinkeldey

Integrierte Gesamtschule Mainz-Hechtsheim, Mainz

Tobias Jung

Gymnasium Nieder-Olm, Nieder-Olm

Cordula Mauch

Peter-Joerres-Gymnasium, Ahrweiler

Markus Monnerjahn

Gutenberg-Gymnasium, Mainz

Christa Müller

Integrierte Gesamtschule Ludwigshafen-Gartenstadt, Ludwigshafen

Monika Nikolaus

Sickingen-Gymnasium, Landstuhl

Lutz Rosenhagen

Integrierte Gesamtschule Ernst Bloch, Ludwigshafen

Nicole Seyler

Realschule plus Lauterecken-Wolfstein, Lauterecken

Beate Tölle

Bischöfliches Angela-Merici-Gymnasium, Trier

Dr. Anke Winkler-Virnau

Lina-Hilger-Gymnasium, Bad Kreuznach

Sofern in der Bildunterschrift nicht anders deklariert, liegen die Urheberrechte beim Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz oder bei den mitwirkenden Autorinnen und Autoren selbst.



Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

Pädagogisches Landesinstitut
Butenschönstr. 2
67346 Speyer

pl@pl.rlp.de
www.pl.rlp.de