



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](mailto:bestellung@pl.rlp.de)

---

# IMPRESSUM

## **Herausgeber:**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz  
Standort Bad Kreuznach  
Röntgenstraße 32  
55543 Bad Kreuznach  
[pl@pl.rlp.de](mailto:pl@pl.rlp.de)

## **Redaktion und Skriptbearbeitung:**

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Titelbild:**

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Mai 2015

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2014

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

<b>1.</b>	<b>Themenfeld 3: Thermische Ausdehnung in Experiment und Modell – Temperatur im Basiskonzept Materie</b>	<b>3</b>
1.1	Überblick über das dritte Themenfeld	3
1.2	Die Themenfeld-Doppelseite	4
1.3	Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung – Analyse der Themenfeld-Doppelseite	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	Konzept- und Kompetenzentwicklung im dritten Themenfeld	10
1.5	Thermische Phänomene im Physikunterricht	13
1.6	Vertiefende Betrachtungen zu Anomalien	16
<b>2.</b>	<b>Unterrichtsbeispiele</b>	<b>19</b>
2.1	Unterrichtsgang 1 „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen“	20
2.2	Unterrichtsgang 2 – Bausteine für den individuellen Kontext	41
<b>3.</b>	<b>Glossar ausgewählter Methoden</b>	<b>51</b>



# 1. THEMENFELD 3

## THERMISCHE AUSDEHNUNG IN EXPERIMENT UND MODELL – TEMPERATUR IM BASISKONZEPT MATERIE

### 1.1 Überblick über das dritte 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 Stützpfeiler des Physik-Lehrplans und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

Die Kalorik/Wärmelehre war als traditionelles Sachgebiet der Physik schon bisher in allen Schularten verpflichtendes Unterrichtsthema der Mittelstufe und ist im neuen Lehrplan in mindestens 2 Themenfeldern verankert (Themenfelder 3 und 8). Themenfeld 3 zielt besonders auf die Entwicklung experimenteller Kompetenz und die Erweiterung des Materiekonzeptes. Die manchmal kaum merklichen Längenänderungen in den Experimenten eignen sich gut, um das Optimieren von Versuchsaufbauten oder Messinstrumenten zum Thema zu machen und diesbezügliche Möglichkeiten zu erproben. Die bereits in Themenfeld 1 angelegten Teilchenvorstellungen werden in diesem Themenfeld genutzt und erweitert.

Die vorliegende Handreichung stellt die Themenfeld-Doppelseite des Lehrplans vor und zeigt beispielhaft, wie dieses Themenfeld entsprechend der 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. Einen ersten Eindruck bieten die Vorlagen in stark verkleinerter Form. Alle vorgestellten Materialien stehen zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter <http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/physik/unterricht.html>.

## 1.2 Die Themenfeld-Doppelseite

### TF 3: Thermische Ausdehnung in Experiment und Modell Temperatur im Basiskonzept Materie

Die Beobachtung, dass sich Eigenschaften von Stoffen und Körpern mit der Temperatur ändern, gehört zu den Grunderfahrungen aus der Lebenswelt. Die Suche nach möglichen Erklärungen gibt Anlass zu vielfältigen Fragestellungen und experimentellen Untersuchungen und erfordert das Denken in Modellen.

Das einfach zugängliche Phänomen der thermischen Volumen- bzw. Längenänderung wird exemplarisch zur bewussten Auseinandersetzung mit der experimentellen Methode genutzt. Durch geschickte experimentelle Techniken und sorgfältiges Arbeiten können auch Effekte kleiner Größenordnung sichtbar gemacht werden. Der zweite Schwerpunkt des Themenfeldes besteht im bewussten Umgang mit Modellvorstellungen. Bei der Deutung der thermischen Ausdehnung von Metallen kann das aus dem NaWi-Unterricht bekannte einfache Teilchenmodell angewendet werden. Effekte wie z. B. das Zusammenziehen von Gummi bei Erwärmung oder aber die Anomalie des Wassers zeigen die Grenzen dieses Modells auf und machen eine Erweiterung notwendig.

#### Kompetenzen:

Die Schülerinnen und Schüler

- planen einfache Experimente (z. B. zur temperaturabhängigen Volumen- bzw. Längenänderung bei Körpern), führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse,
- entwickeln Strategien zum Sichtbarmachen kleiner Effekte,
- beschreiben an alltäglichen Beispielen das Verhalten von Stoffen bei Temperaturänderung unter Nutzung des Teilchenmodells,
- begründen an geeigneten Beispielen, dass das einfache Teilchenmodell Grenzen hat.

#### Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:

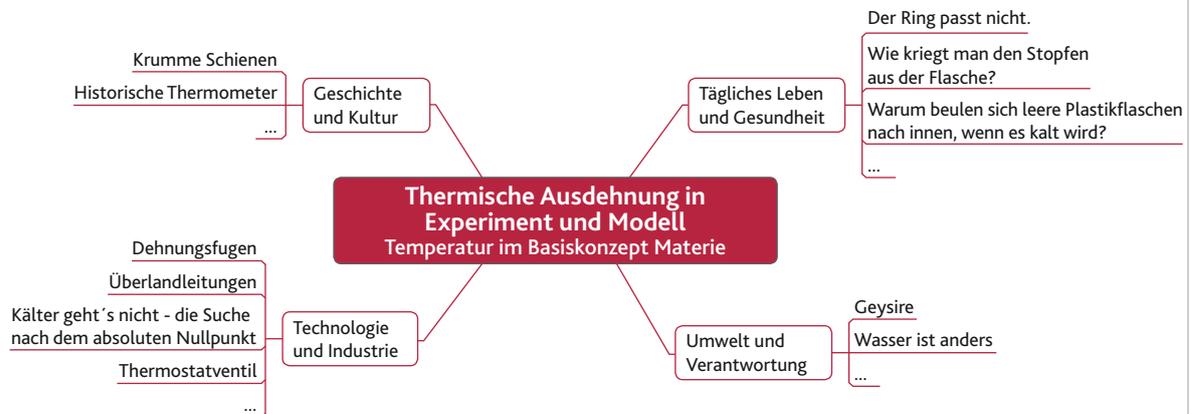
- Stoffe bestehen aus Teilchen, die sich bewegen und miteinander wechselwirken (z. B. stärkere Bewegung der Teilchen bei Temperaturerhöhung). (TMS)

#### Fachbegriffe:

Aggregatzustand  
Teilchen  
Teilchenmodell  
Temperatur  
thermische Ausdehnung

Abb.: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Physik“, S. 104

**Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:**



**Differenzierungsmöglichkeiten:**

Für den Aufbau von Grundfertigkeiten und eines Grundverständnisses reicht experimentell das Erklären der Funktionsweise eines vorgegebenen Aufbaus ebenso wie eine qualitative Beobachtung der Phänomene bei der Auswertung der Experimente. Erklärungen und Berechnungen können auf einfachem Niveau erfolgen. Auf der Modellebene wird ein Grundverständnis der Volumen- bzw. Längenausdehnung über Animationen oder Modellexperimente zum einfachen Teilchenmodell erreicht. Die Grenzen dieses Modells sollten in jedem Fall thematisiert werden.

Bei vertieftem Verständnis werden experimentelle Aufbauten selbst entwickelt und optimiert. Der Anforderungsgrad kann bei Auswertungen auf graphische Darstellung bis hin zu mathematischen Herleitungen erweitert werden. Möglich ist auch eine quantitative Untersuchung bei Gasen mit der Folgerung nach einem absoluten Nullpunkt der Temperatur. Die Erklärungstiefe kann ebenso erweitert werden wie der Komplexitätsgrad von Berechnungen. Auf der Modellebene kann zusätzlich eine notwendige Modellerweiterung unter Rückgriff auf das aus dem Chemieunterricht bekannte differenzierte Atommodell erfolgen.

**Bezüge:**

<p><b>NaWi</b></p> <p>TF 1 Thermometer, Ausdehnung von Flüssigkeiten</p>	<p><b>Biologie</b></p> <p>--</p>
<p><b>Chemie</b></p> <p>TF 1 einfache Atommodelle TF 2 Aggregatzustand, differenziertes Atommodell TF 7 Kunststoffe, komplexe Strukturen</p>	<p><b>Physik</b></p> <p>TF 8 Temperatur, Wärmeleitung</p>

Abb.: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Physik“, S. 105

### 1.3 Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung – Analyse der Themenfeld-Doppelseite

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		
Intention		Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung
Kompetenzen		Differenzierungsmöglichkeiten
Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte	Fachbegriffe	Bezüge

Der zweigeteilte **Themenfeld-Titel** „Thermische Ausdehnung in Experiment und Modell – Temperatur im Basiskonzept Materie“ liefert eine fachsystematische Einordnung des Themenfeldes (Kalorik/Wärmelehre) und gibt Aufschluss, welches Basiskonzept schwerpunktmäßig entwickelt werden soll (Materie). Das Konzept Materie wurde bereits im ersten Themenfeld „Akustische Phänomene“ angelegt und wird nun in Themenfeld 3 erweitert.

#### 1.3.1 Intention

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

Neben dem einleitenden Hinweis auf die Möglichkeiten, die sich durch Aufgreifen der lebensweltlichen Grunderfahrungen der Schülerinnen und Schüler ergeben, werden die im Unterricht zu setzenden Schwerpunkte deutlich herausgestellt:

Es geht zum einen um eine bewusste Auseinandersetzung mit der experimentellen Methode und damit verbunden um das Entwickeln geschickter Experimentiertechniken. Dazu wird das Phänomen der thermischen Volumen- bzw. Längenänderung exemplarisch betrachtet. Es geht nicht darum, die zur Temperatur proportionale Längen- bzw. Volumenausdehnung bis ins Detail genau herzuleiten.

Den zweiten Schwerpunkt bildet der bewusste Umgang mit Modellvorstellungen. In NaWi haben die Schülerinnen und Schüler bereits das einfache Teilchenmodell kennen gelernt. Beim Deuten thermischer Phänomene stößt dieses Modell schnell an seine Grenzen. Im Unterricht wird bewusst gemacht, dass darum das Modell aber nicht schlecht ist, sondern dass es modifiziert bzw. erweitert werden muss, damit es zur Vereinfachung des Verstehens z. B. der Anomalie des Wassers oder des Zusammenziehens eines Gummis bei Erwärmung weiter hilfreich ist.

Aus der Intention ergeben sich Konsequenzen für die anzusteuern Kompetenzen und das behandelte Fachwissen.

### 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. Schwerpunkte in Themenfeld 3 sind die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung (Erwerb von Experimentierkompetenz, Modellieren) und Umgang mit Fachwissen (naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen, Fachwissen strukturieren, Erklärungszusammenhänge herstellen).

Die Schülerinnen und Schüler sollen in Themenfeld 3 ihre bereits in den ersten beiden Themenfeldern angelegten Kompetenzen im Planen und Durchführen von Experimenten erweitern. Zusätzlich sollen sie mit Hilfe des bisher Gelernten Strategien entwickeln, die Versuche immer weiter zu optimieren. Mit Hilfe der Kenntnisse zum Teilchenmodell beschreiben die Schülerinnen und Schüler die Effekte (thermische Ausdehnung), die sie bei Temperaturänderung beobachten. Da das einfache Teilchenmodell zur Beschreibung von einigen Effekten wie der Wasseranomalie und dem Zusammenziehen eines Gummibandes bei Erwärmung jedoch nicht ausreicht, wird es in Themenfeld 3 sinnvoll erweitert. Das bewusste Erkennen von Modellgrenzen leistet einen Beitrag zur Kompetenzentwicklung im Bereich Modellieren. Der Erwerb dieser Kompetenzen ist eng mit der Anwendung von Fachwissen verbunden. Die zum Umgang mit Fachwissen nötige Wissensbasis wird im folgenden Abschnitt erläutert.

### 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 3 zielt schwerpunktmäßig auf die Entwicklung des Basiskonzeptes Teilchen-Materie/Stoff, in dem die Schülerinnen und Schüler die ihnen schon bekannte Teilchenvorstellung nutzen und bezogen auf temperaturbedingte Vorgänge erweitern. Eine Überfrachtung des Unterrichts mit Begriffen, die der reinen Beschreibung von Phänomenen dienen und weder zur pädagogischen 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 erste Wärmelehre/Kalorik-Themenfeld kontextuell angebunden werden kann. Weder die Abdeckung der vier Äste der Mindmap noch die Umsetzung dort aufgeführter Kontexte sind verbindlich. Bei der Wahl geeigneter Kontexte für die eigene Unterrichtsplanung sollten neben individuellen Interessen der Lernenden auch schulische Besonderheiten beachtet werden; wie z.B

- fächerverbindende oder integrierte Lernangebote (z. B. 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 in der Rubrik „Differenzierungsmöglichkeiten“ gegebenen Hinweise beziehen sich sowohl auf verschieden leistungsstarke Lerngruppen z. B. unterschiedlicher Schulformen als auch auf das leistungsdifferenzierte Arbeiten innerhalb einer Lerngruppe und bieten Vorschläge, wie der Plan durch Differenzierung nach oben oder unten auf die Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler zugeschnitten werden kann.

Der erste Abschnitt reduziert das Themengebiet der Wärmelehre/Kalorik auf grundlegende Experimentierfähigkeiten in den einzelnen Phasen des Experimentierens. Es wird auf Hilfen zum Modellverständnis verwiesen, um auch hierbei ein Grundniveau erreichen zu können. Dass Modelle Grenzen haben, muss für jede Schülerin/jeden Schüler deutlich werden.

Der zweite Absatz widmet sich der Öffnung des Themas, um höheren Leistungserwartungen (z. B. im Gymnasium) bzw. leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern einer Lerngruppe gerecht zu werden. Im experimentellen Bereich kann z. B. die Planung und Durchführung verstärkt in Schülerhand gelegt, die Auswertung stärker mathematisiert und der Experimentiergegenstand anspruchsvoller gewählt werden (Gase). Beim Erklären von beobachteten Phänomenen wird auf Möglichkeiten der Variation des Komplexitätsgrades anzustellender Berechnungen sowie der Erklärungstiefe hingewiesen. Auch eine Erweiterung des Modellverständnisses (differenziertes Atommodell, Chemie) trägt einem erweiterten Niveau Rechnung.

Zusätzliche Möglichkeiten zur Differenzierung bieten eine geschickte Kontextwahl zur Erschließung des Themenfeldes sowie der gezielte Einsatz von Hilfen und methodischen Maßnahmen, um die Kompetenzen den Lernenden angepasst zu entwickeln. Besonders bei vertiefenden Betrachtungen ist darauf zu achten, dass eine Überfrachtung des Unterrichts und eine Überforderung der Lernenden vermieden werden.

### 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 3 des Physiklehrplans inhaltliche Verbindungen zum Themenfeld 1 des NaWi-Lehrplans, zu den Themenfeldern 1, 2 und 7 des Chemielehrplans und zum Themenfeld 8 des vorliegenden Physiklehrplans aufweist.

Im NaWi-Unterricht der Orientierungsstufe lernten die Schülerinnen und Schüler im Zusammenhang mit der Temperaturmessung im Rahmen des Themenfeldes „Von den Sinnen zum Messen“ das Phänomen der thermischen Ausdehnung von Flüssigkeiten.

Während in NaWi Flüssigkeiten untersucht wurden, widmet sich das Physik-Themenfeld 3 den festen Stoffen oder sogar den Gasen (erweitertes Niveau). Das einfache Teilchenmodell ist den Schülerinnen und Schülern aus NaWi-Themenfeld 1 bekannt und wurde bereits in der Akustik aufgegriffen. In Themenfeld 3 erfährt es eine Erweiterung und die Modellgrenzen werden thematisiert.

Neben den genannten sind auch in Themenfeld 3 Bezüge zu weiteren Fächern möglich. Schulinterne Abstimmung ist hier ebenfalls notwendig und hilfreich.

### 1.4 Konzept- und Kompetenzentwicklung im dritten Themenfeld

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.

Der Beitrag des vorliegenden Themenfeldes zur Konzeptentwicklung erscheint beim Blick auf die Themenfeld-Doppelseite kleiner als bei den ersten beiden Themenfeldern. Das Themenfeld 3 nähert sich mit der Untersuchung des Phänomens der thermischen Ausdehnung der Wärmelehre auf der Teilchen-ebene. Damit wird schwerpunktmäßig das Basiskonzept Teilchen-Materie/Stoff weiter entwickelt, das bereits im NaWi-Unterricht sowie in Themenfeld 1 angelegt wurde und nun aufgegriffen werden kann. Der sichere Umgang mit dem Teilchenmodell bildet wiederum die Basis für den Übergang zum differenzierten Atommodell in Themenfeld 5 und je nach Thema die Themenfelder 7, 11 und/oder 12. Auf einen weiteren konzeptbildenden Schwerpunkt wird in Themenfeld 3 bewusst zugunsten einer verstärkten Kompetenzförderung im experimentellen Bereich verzichtet.

Basiskonzept	TF1	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												
Chemie												
Wechselwirkung												
Entwicklung												

Stoffe bestehen aus Teilchen, die sich bewegen und miteinander wechselwirken (z. B. stärkere Bewegung der Teilchen bei Temperaturerhöhung).

Stoffe bestehen aus Teilchen, die sich bewegen und miteinander wechselwirken (z. B. bei Schallübertragung, einfaches Teilchenmodell).

Atome bestehen nach dem Kern-Hülle-Modell aus Protonen und Neutronen im Kern und Elektronen in der Hülle (differenziertes Atommodell).

Basiskonzept verpflichtend ■ Basiskonzept ■■■■■■

Die in Themenfeld 3 behandelten Phänomene decken nur einen Teil der in der Wärmelehre zu behandelnden Themen ab. Im Lehrplan wurde die Wärmelehre/Kalorik in zwei Bereiche geteilt. Nach den erwähnten Inhalten und Konzepten in Themenfeld 3 werden in Themenfeld 8 energetische und systemische Betrachtungen zur Entwicklung der Basiskonzepte Energie und System unternommen. Dabei erhebt der Lehrplan nicht den Anspruch, mit diesen beiden Themenfeldern die gesamte Wärmelehre/Kalorik im Unterricht abzubilden. Zusätzliche Aspekte der Wärmelehre können in die Themenfelder 11 und 12 einfließen bzw. sind Bestandteil des Oberstufenunterrichts.

Der Physikunterricht kann bereits auf **Kompetenzen** aus dem NaWi-Unterricht zurückgreifen. Die stark reduzierte Übersicht aus dem Physiklehrplan zeigt die Schwerpunktkompetenzen in Themenfeld 3 aus den Bereichen Erkenntnisgewinnung und Umgang mit Fachwissen im Gesamtbild mit den anderen Physik-Themenfeldern, in denen diese Kompetenzen angelegt wurden bzw. erneut benötigt und gefestigt werden. Diese Kompetenzen bilden ebenso eine Grundlage für die weitere Schul- oder Ausbildung sowie das Berufsleben.

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			■			■		■	■	■		■
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.			■	■	■		■		■	■	■	■	
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.	Erkenntnisgewinnung	■	■	■	■		■		■	■		■	■
... modellieren.			■	■			■						

Einen wesentlichen Schwerpunkt bildet im Themenfeld 3 das Experimentieren. Experimentierkompetenz ist eine wesentliche Kompetenz, die im Unterricht der naturwissenschaftlichen Fächer gefordert ist und deshalb auch im Physikunterricht kontinuierlich entwickelt werden muss. Der Lehrplan bietet dafür in fast allen Themenfeldern (außer TF 5, TF 7 und TF 10) ausdrücklich Raum.

Nach den Themenfeldern zur Akustik und zur Optik wird das Planen, Durchführen und Dokumentieren von Experimenten immer komplexer. Das bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Schülerinnen und Schüler nun immer selbstständiger experimentieren müssen. Die für die Sammlung angeschafften Experimentiermaterialien zur thermischen Ausdehnung sind im Aufbau oftmals recht kompliziert. In diesem Fall könnte man eine komplette Anleitung vorgeben, damit sich die Schülerinnen und Schüler auf die Durchführung, Beobachtung und/oder Auswertung und besonders auf das Optimieren konzentrieren können. Da der Schwerpunkt des Arbeitens auf dem Entwickeln von Strategien für das Sichtbarmachen kleiner Effekte liegen sollte, ist eine Fokussierung auf das Optimieren von Versuchsaufbauten notwendig, was oftmals mit „freien“ Materialien besser umsetzbar ist.

Bei der Auswertung eines Experimentes zur Ausdehnung, bei der die gemessene Temperatur zusammen mit der gemessenen Ausdehnung tabellarisch erfasst wurde, kann man z. B. nur einen einfach zusammenfassenden Satz formulieren lassen. Hier ließe sich für Fortgeschrittene, die zusätzlich zum Optimieren noch Kapazitäten frei haben, das Feld erweitern durch das Erstellen eines Diagramms, das Finden eines Zusammenhangs zwischen den Größen oder das Herleiten einer Formel für den Zusammenhang aus den gemessenen Werten. Auch hier liegt es im Ermessen der Lehrkraft, für welche Schülerin/welchen Schüler welcher Schwerpunkt bzw. welche Hilfe geeignet ist.

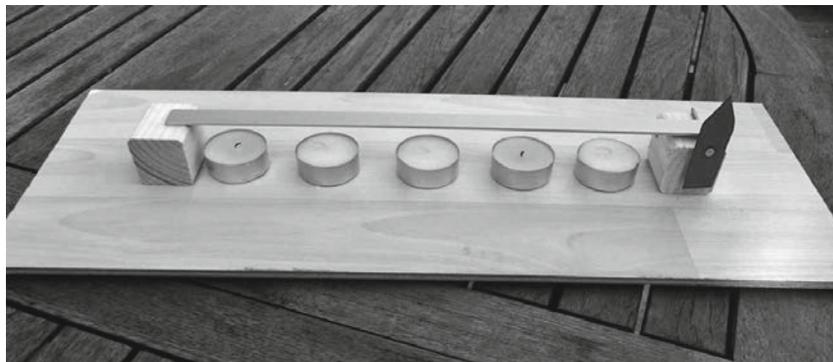
Bei den Experimenten zur Längenausdehnung von festen Körpern stehen die Experimentierenden vor dem Problem der oftmals kaum wahrnehmbaren Ausdehnungen.

Ausgehend von bisher gemachten Beobachtungen und Kenntnissen, die sie in der Lebenswelt bzw. im bisherigen Fachunterricht erwerben konnten, sollen die Schülerinnen und Schüler Lösungen für ein besseres Sichtbarmachen der Veränderungen entwickeln. Hierbei sind unterschiedlichste Ansätze möglich. Wichtig ist es, dass der Problemlöseprozess als solcher thematisiert bzw. auf der Metaebene betrachtet wird, damit es nicht beim bloßen Herumprobieren bleibt. Durch kompetenzorientierte Aufgabenstellungen, welche die Herstellung eines Lernproduktes einschließen, wird ersichtlich, welchen Stand die/der Einzelne erreicht hat und welche nächsten Schritte auf dem Weg zur persönlichen Kompetenzentwicklung eingeschlagen werden müssen. Sollen also „Strategien zur Sichtbarmachung kleiner Effekte“ entwickelt werden, könnte die Aufgabenstellung laut Lehrplan folgendermaßen aussehen:

„Forscht zielgerichtet nach einem Mechanismus, um die kleine Längenänderung besser sichtbar zu machen. Stellt eure ‚Erfindung‘ in einem Werbeflyer vor.“

Hier bieten sich differenzierend die unterschiedlichsten Förder- bzw. Unterstützungsmaßnahmen an, z. B.

- Vorgeben der Forschungsziele,
- Anbieten verschiedener Mechanismen zur Auswahl und deren Erforschung,
- Auswahlmöglichkeit zur schriftlichen oder mündlichen Dokumentation (z. B. mit Video),
- vorgegliederter oder freier Werbeflyer,
- anderes Lernprodukt (Aufsatz, Film, Plakat...).



*Experiment zur Längenänderung, Foto: Martin Buchhold*

## 1.5 Thermische Phänomene im Physikunterricht

Die Wärmeausdehnung spielt im Alltag eine wichtige Rolle. Berücksichtigt man sie dort nicht z. B. bei Konstruktionen von Brücken, Straßen, Gleisanlagen etc., so riskiert man neben erheblichen Sachschäden auch gesundheitliche Gefahren. Auch physikalisch sind diese Phänomene interessant.

Im Themenfeld geht es um ausgewählte Phänomene der Wärmelehre. Schon im Themenfeldtitel wird der Fokus auf die Temperatur und die mit ihr verbundenen thermischen Phänomene gelenkt. Es geht nicht um die „Wärme“ im fachsprachlichen Sinn und es werden auch keine Prozesse unter dem Aspekt der Energieübertragung betrachtet. Die beschreibende physikalische Größe ist in allen betrachteten Fällen ausschließlich die Temperatur. Das Themenfeld bietet deshalb auch keine geeigneten Anlässe, die Entropie als passenden Fachbegriff für den alltagssprachlich mit „Wärme“ bezeichneten Aspekt bei der thermischen Energieübertragung einzuführen. Dieser Sachverhalt wird in Themenfeld 8 thematisiert.

**Fachliche Aspekte** sind das Messen von Temperaturen und Längen bzw. Volumina sowie das Denken und Argumentieren in Modellen sowie die Auseinandersetzung mit deren Gültigkeitsbereichen bzw. Grenzen. Letzteres ist neben der Absicht, experimentelle Kompetenz zu entwickeln, auch aus **didaktischer Sicht** wichtig. Dabei liegt beim Experimentieren der Schwerpunkt auf der Tatsache, dass es in den Naturwissenschaften bisweilen auch von Interesse ist, kaum wahrnehmbare kleinste Veränderungen genauer zu untersuchen. Die Lernenden können/sollen erfahren, dass es durch entsprechend geschickte Vorrichtungen im experimentellen Aufbau gelingen kann, auch Veränderungen kleiner Größenordnung messbar zu machen. Im Unterricht zu Themenfeld 3 sollen die Phänomene qualitativ und quantitativ genau beobachtet und untersucht werden.

Die Temperatur wird bei den Experimenten als eine den Schülerinnen und Schülern geläufige Größe betrachtet. Es ist daher im Themenfeld nicht angedacht, die Messung der Temperatur sowie die Skalierung eines Thermometers zu thematisieren (das erfolgte i. A. bereits in NaWi) – bei Verwendung eines Lineals zur Längenmessung oder einer Uhr zur Zeitmessung wird auch nicht die Genese der Messtechnik thematisiert.

Das Denken und Argumentieren in Modellen als der zweite didaktische Hauptaspekt dieses Themenfeldes wird als ein für die Naturwissenschaften typisches Vorgehen in den Blick genommen. Dies spielt insbesondere bei der Deutung von Vorgängen auf der atomaren bzw. Teilchenebene eine wichtige Rolle. Wenn es also darum geht, die beobachteten Phänomene zu erklären, zu beschreiben oder darzustellen, sollte am Beispiel der Modellvorstellungen vom Aufbau der Materie der Umgang mit Modellen ganz bewusst im Unterricht thematisiert werden.

Ausgangspunkt dafür sollten die bei den Lernenden vorhandenen Präkonzepte sein:

„Das konstruktivistische Modell des Wissenserwerbs stellt Lernen als einen aktiven, zielgerichteten Prozess dar. Das **Vorwissen des Einzelnen** beeinflusst grundlegend, welche Informationen wahrgenommen und wie sie interpretiert werden. Auch im naturwissenschaftlichen Bereich bringen Schüler viele Vorstellungen mit in den Unterricht, die nicht mit den wissenschaftlichen übereinstimmen. Ein Nichtaufgreifen dieser Ideen kann zu Lernschwierigkeiten führen.“<sup>1</sup>

Ausgehend von diesen Präkonzepten kann das einfache Teilchenmodell, das bereits im NaWi-Unterricht genutzt wurde, wieder aufgegriffen und zur Deutung der Ausdehnung bei Erwärmung herangezogen werden. Beim Versuch, das Zusammenziehen eines Gummis bei Erwärmung oder aber die Volumenzunahme von Wasser beim Gefrieren zu erklären, versagt das Modell. Hier bietet sich die Möglichkeit, Anwendungsbereich und Grenzen von Modellen zu thematisieren.

Bei der Umsetzung des Themenfeldes im Unterricht bietet es sich an, auf gängige Experimentiersätze zur Längenausdehnung zu verzichten und stattdessen **Alltagsmaterialien** zu verwenden, auch wenn der Bereitstellungsaufwand dadurch wächst. Die fertigen Materialien verleiten zu einem rezeptartigen Abarbeiten und fordern nicht dazu heraus, sich gedanklich mit den Voraussetzungen und Hintergründen des Untersuchungsgegenstandes zu beschäftigen. Die mit den Materialien häufig mitgelieferten Arbeitsblätter sind überwiegend rein ergebnisorientiert. Kompetenzentwicklung im Bereich der Erkenntnisgewinnung wird jedoch gefördert, wenn zunächst Vorstellungen hinsichtlich möglicher Vorgehensweisen entwickelt, das Potenzial bzw. die Sinnhaftigkeit der vorgeschlagenen Wege kritisch betrachtet und dann Untersuchungen durchgeführt werden können, wobei auch das Erlebnis des Scheiterns bzw. die Erkenntnis, dass die gewählte Vorgehensweise gar keine Antwort auf die zu untersuchende Fragestellung zulässt, wichtige Erfahrungen sind. Oftmals entsprechen die Formulierungen auf den fertigen Arbeitsblättern auch nicht dem Sprachverständnis der Schülerinnen und Schüler, die damit zurecht kommen sollen. Die Formulierungen liegen häufig nur in verschiedenen „komplizierten Sprachen“ vor, so dass ein erfolgreiches Bearbeiten in einer vorgegebenen Zeit von vorne herein zum Scheitern verurteilt ist: Sprache der Mathematik, Sprache der Symbole, Fachsprache. Hier sind lerngruppengerechte Arbeitsaufträge, die in Alltags- oder der gewohnten Unterrichtssprache verfasst und mit klarer Bildsprache ergänzt werden, zielführender.

Gerade in der Beschäftigung mit thermischen Phänomenen kommt es bei der Verwendung von Begriffen oft zu einer Vermischung von **Alltagssprache und Fachsprache**. Aus lernpsychologischer Sicht gilt: Fachbegriffe stehen am Ende des Verstehensprozesses. Solange es darum geht, die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler kennenzulernen, sollten sie Sachverhalte und Vermutungen in ihrer Alltagssprache formulieren dürfen.

<sup>1</sup> Anne Beerenwinkel, Ilka Parchmann, Cornelia Gräsel: Chemieschulbücher in der Unterrichtsplanung – Welche Bedeutung haben Schülervorstellungen? In CHEMKON 14, (2007) Issue 1, Pages 7 – 14

Josef Leisen sagte auf einem Vortrag zum Thema Sprache des Physikunterrichts: „Der didaktische Ort der Alltagssprache ist der Anfang des Fachlernens, wo die Schüler gedanklich und sprachlich abgeholt werden. Der didaktische Ort der Bildsprache ist da, wo Begriffe und Vorstellungen entwickelt oder kommuniziert werden. Der didaktische Ort der Fachsprache und der mathematischen Sprache ist mehr am Ende des Fachlernens, wo eine mühsam errungene Erkenntnis zur Definition herabsinkt...Der didaktische Ort der Unterrichtssprache ist der Weg zum Verstehen beim sprachlichen Ausschärfen, Aushandeln und begrifflichen Umwenden. Die Unterrichtssprache ist kommunikativ und die ‚Leiter, die man verbrennen kann, wenn man oben angekommen ist.‘ Die Unterrichtssprache formuliert nicht minderwertig, sondern schülergemäß. Die Kommunikation gelingt nicht trotz sondern wegen fachsprachlicher Mängel.“<sup>2</sup>

Wenn also im Physikunterricht neue Fachinhalte vermittelt werden, sollte man sich bei der Aneignung um „Kohärenz zwischen Denk- und Sprachstrukturen“ bemühen und sich stets fragen „Passt die Sprache zum Denken?“.

Unter anderem in den Fachzeitschriften finden sich thematisch passende, interessante und vielfältig einsetzbare **Materialien zur Kompetenzentwicklung**, z. B. „Materialien & Methoden: Wärmelehre“ (Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Friedrich-Verlag, Heft 115, 2010) oder „Wärmelehre – Kompetenzförderung im Anfangsunterricht“ (PdN Physik in der Schule, Aulis Verlag, Heft 6, 2010).

<sup>2</sup> Josef Leisen: „Wie viel Sprache braucht der DFU und welche?“, Fortbildung an der Deutschen Schule Helsinki, 2006

## 1.6 Vertiefende Betrachtungen zu Anomalien

### a) Anomalie von Gummi bzw. gummiartigen Materialien

Erwärmt man Körper/Stoffe (fest, flüssig, gasförmig) dehnen diese sich in der Regel aus. Je höher die Temperatur steigt, desto größer wird das Volumen des jeweiligen Stoffes und desto kleiner wird seine Dichte. Neben Wasser, das bei etwa 4 °C seine größte Dichte hat, weicht unter anderem auch Gummi von dieser Regel ab. Der hier verwendete Begriff Gummi schließt dabei sowohl natürlichen Gummi als auch gummiartige Materialien ein. Naturgummi ist ein Produkt des Kautschukbaums und wird daher auch Kautschuk genannt. Gummiartige Materialien werden aus langen kettenförmigen Molekülen, den Polymeren, entwickelt.

Steht Gummi unter Spannung und wird erwärmt, so zieht es sich zusammen. Dieses Phänomen bezeichnet man nach den Entdeckern als Gough-Joule-Effekt, der bei ungedehntem Gummi im Übrigen nicht auftritt. Durch Anspannen können die langen Polymere der gummiartigen Materialien gestreckt werden. Weil Querverbindungen zwischen den Ketten – die z. B. durch Vulkanisation entstehen – aber die Ursprungslage wieder erzwingen, sobald diese Spannung aufgehoben wird, wirkt Gummi elastisch.

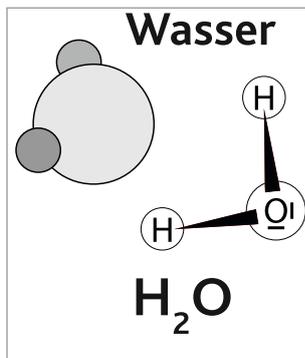
Wird ein Gummiband gedehnt, z. B. durch Anhängen eines konstanten Gewichtes (nicht als quantitatives Experiment geeignet), so gibt es Wärme ab (qualitativer Nachweis: Einweckgummi schnell kräftig ziehen und schnell gespannt an die Lippen halten → Wärmeabgabe spürbar).

Zur Erklärung kann die Struktur des Materials herangezogen werden. Es handelt sich bei den Teilchen des Gummis nicht um kugelartige Teilchen sondern um lange Ketten. Beim Erwärmen ist nicht nur die Bewegung der Teilchen untereinander sondern auch die der einzelnen Ketten in sich verstärkt. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit für eine nichtlineare Ausrichtung mit der Temperatur, was in der Summe eine Verkürzung zur Folge hat. Oder anders erklärt: Diese langen Polymerketten können im ungedehnten Zustand die unterschiedlichsten Formen zwischen den Verbindungen annehmen. Vorstellen kann man sich das wie ein Netz von Wollfäden, das wahllos hingeworfen wird. Es ergeben sich die unterschiedlichsten Erscheinungsbilder. Wird das Gummiband gedehnt, so richten sich die Ketten zwischen den Verbindungen, deren Abstand vergrößert wird, aus und die Ordnung im System steigt. Für das Wollnetz bedeutet das ein ordentliches Auslegen mit gestrafften Fäden. Diese „Erzeugung“ von Ordnung ist dafür verantwortlich, dass eine Erwärmung feststellbar wird, weil die Entropie (also hier die innere Unordnung) des Systems Gummiband verkleinert wird. Da die Entropie eines Systems aber immer ein Maximum anstrebt (2. Hauptsatz der Thermodynamik), führt eine Erwärmung eines gedehnten Gummis zu einem Ansteigen der Entropie, also auch zu einer Vergrößerung der Unordnung, weil sich die Verbindungen wieder zusammenknäulen. Dieser Hintergrund sollte auf der komplexen Ebene nicht im Unterricht thematisiert werden.

Eine ausführliche Darstellung der Prozesse sowie eine kurze Darstellung zweier Experimente zur Anomalie von Gummi findet man z. B. unter [http://www.polyphys.mat.ethz.ch/news\\_events/ETH\\_polymer-physics\\_opendays\\_4.pdf](http://www.polyphys.mat.ethz.ch/news_events/ETH_polymer-physics_opendays_4.pdf).

## b) Anomalie von Wasser

Wasser besteht aus Molekülen, die jeweils durch die Verbindung zweier Wasserstoffatome und eines Sauerstoffatoms entstanden sind. Die Atome sind dabei über Elektronenpaarbindung miteinander verknüpft. Das heißt, die beteiligten Atome steuern je ein Elektron zu einem gemeinsam genutzten Elektronenpaar bei. Diese Bindung verleiht den Wassermolekülen ihre spezielle Form und Eigenschaft.



Wassermolekül als Dipol

Da Sauerstoff eine erheblich größere Elektronegativität besitzt als Wasserstoff, sind die Elektronen, die von beiden Atomen gemeinsam genutzt werden, stärker zum Sauerstoff hin orientiert. Die Form des Moleküls lässt dadurch einen Dipol entstehen, dabei liegt die negative Ladung partiell beim Sauerstoff, die positive entsprechend beim Wasserstoff.

Neben anderen wirkenden Kräften verursacht der starke Dipol der Wassermoleküle erhebliche Anziehungskräfte zwischen den Molekülen, die sich bereits im flüssigen Zustand des Wassers mittels Wasserstoffbrückenbindungen zusammenlagern (Clusterbildung). Wasserstoffbrückenbindung entsteht dadurch, dass sich ein Wasserstoffatom eines Wassermoleküls, das eine positive Teilladung besitzt, an ein negativ geladenes Sauerstoffatom eines anderen Wassermoleküls annähert. Die Wasserstoffbrückenbindung kann im Sinne des Anlegens von Basiskonzepten analog zur Ionenbindung, zu den Van-der-Waals-Kräften und zur Dipol-Wechselwirkung allgemein als elektrostatische (Dipol-) Wechselwirkung zwischen gebundenen Wasserstoffatomen und Sauerstoffatomen betrachtet werden.

Bei etwa 4 °C beanspruchen die Cluster das geringste Volumen, das bedeutet, das Wasser hat seine größte Dichte. Steigt die Temperatur, bewegen sich die Moleküle stärker und beanspruchen mehr Raum, Cluster zerfallen und das Volumen steigt, wie bei anderen Flüssigkeiten.

Sinkt die Temperatur unter 4 °C, so verstärkt sich die Strukturbildung zwischen den Molekülen kontinuierlich. Bei gefrorenem Wasser (fest) bewirken die zahlreichen starken Wasserstoffbrückenbindungen eine spezielle Anordnung: Jedes Sauerstoffatom wird von vier Wasserstoffatomen umgeben, die tetraedrisch angeordnet sind. Im festen Zustand des Eiskristalls bewirkt diese Struktur verhältnismäßig große „Hohlräume“ zwischen den Molekülen. Diese Struktur benötigt mehr Platz, als wenn die Moleküle im flüssigen Zustand gegeneinander beweglich sind. Darum ist die Dichte von Wasser im festen Zustand geringer als bei flüssigem Wasser von 4 °C.

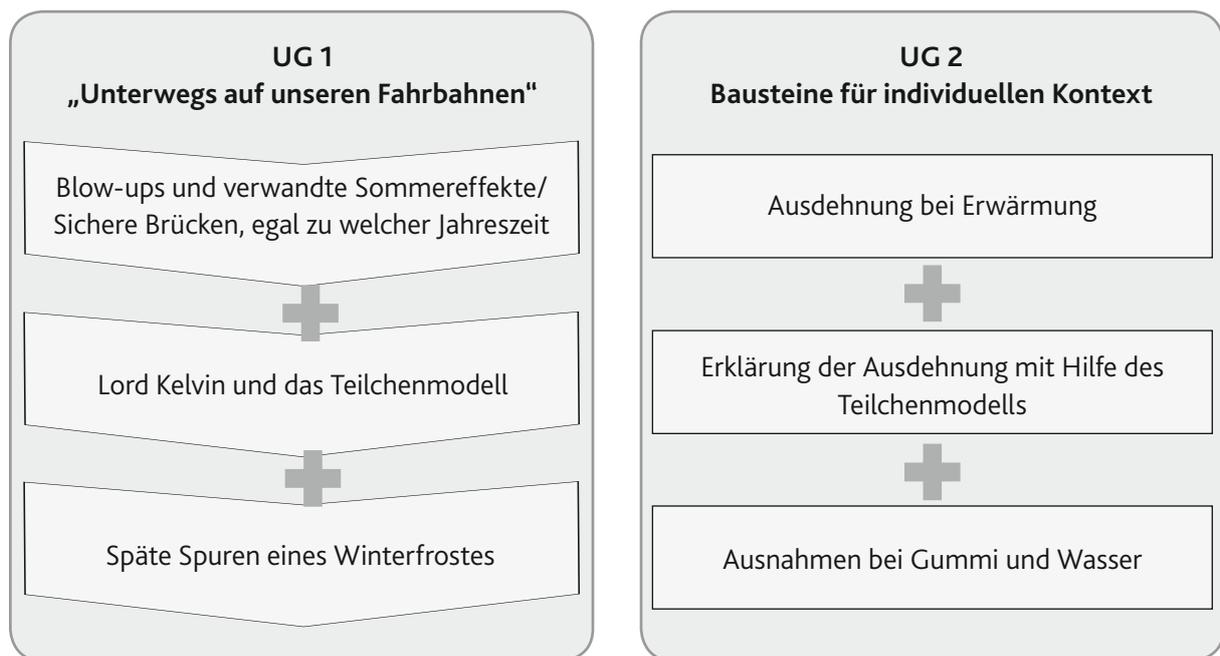
Durch diese sogenannte „Anomalie des Wassers“ sinkt z. B. 4 °C kaltes Wasser sowohl im Sommer als auch im Winter immer auf den Boden eines Sees und sorgt dafür, dass Seen normalerweise nie ganz zufrieren. Ein weiteres Beispiel für die Wirkung der Anomalie ist die Frostsprengung, die in beiden vorliegenden Unterrichtsgängen thematisiert wird.

Zum Teilchenmodell von Eis und Wasser sowie zur Frage, was an Wasser „anomal“ ist, gibt es im Netz geeignete Animationen zum online Betrachten oder zum Download. Anschauliche Materialien finden sich z. B. unter <http://www.chemie-interaktiv.net/ff.htm#> oder <http://phet.colorado.edu/de/simulation/states-of-matter-basics>.

Im Übrigen verhält sich Wasser für Schülerinnen und Schüler oft keineswegs „anomal“. Sie haben in ihrem Alltag kaum Erfahrungen mit dem Übergang anderer Stoffe in den festen Zustand. Das gezielte Beobachten beim Erstarren von Kerzenwachs oder beim „Einfrieren“ von Speiseöl kann deutlich machen, dass Wasser sich anders verhält als diese Stoffe.

## 2. UNTERRICHTSBEISPIELE

Im Folgenden wird an zwei Unterrichtsgängen (UG) gezeigt, wie das dritte Themenfeld kompetenz- und konzeptorientiert umgesetzt werden kann. Der Unterrichtsgang 1 bildet eine in sich geschlossene Einheit mit drei Sequenzen auf der Grundlage eines einzigen Kontextes. Zur individuellen Verwendung stellt der Unterrichtsgang 2 Materialien in drei Bausteinen vor, die für den Kompetenzerwerb im Themenfeld geeignet sind und für die eigenen Kontexte und Unterrichtsgänge angepasst genutzt werden können.



Der Unterrichtsgang bzw. die Materialien sind im Unterricht erprobt worden und erfüllen die Anforderungen des Lehrplanes. Durch Nutzung der vorgeschlagenen sowie von weiteren individuellen Differenzierungen können alle bereitgestellten Materialien für die eigene Schulform angepasst werden. Die notwendigen Maßnahmen für ein sicheres Umsetzen der vorgestellten Experimente im Unterricht obliegen der unterrichtenden Lehrkraft.

Bei der Beschreibung der Unterrichtsgänge werden folgende Abkürzungen verwendet:

TF – Themenfeld, S – Sequenz, B – Baustein, GA – Gruppenarbeit, AB – Arbeitsblatt, Info – Informationsmaterial, Merk – Merkblatt, LE – Lerneinheit, LK – Lernkontrolle, mind – Mindmap.

Alle vorgestellten Materialien stehen zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter <http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/physik/unterricht.html>.

Die Dateinamen bestehen aus der Kennung dieser Handreichung, der TF-Nr., dem Kürzel des Unterrichtsganges, der Sequenz- oder Bausteinnummer und der Art des Materials mit laufender Nummer sowie gegebenenfalls weiterer Kennzeichnung von Teilaufgaben, Gruppen, Differenzierung.

## 2.1 Unterrichtsgang 1 „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen“

Der im Folgenden vorgestellte Unterrichtsgang erschließt in drei Sequenzen die thermischen Ausdehnungsphänomene über den Kontext „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen/Straßen“. Der Kontext zeichnet sich dadurch aus, dass er zum täglichen Leben grundlegend dazu gehört und damit der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler entspringt, aber gleichzeitig von ihnen meist gar nicht wahrgenommen wird, weil sie auf den Straßen (das Fahrradfahren ausgenommen) nur als Beifahrer unterwegs sind.

Die Erprobung des hier ausgewählten Lebensweltbezugs im Unterricht hat gezeigt, dass die Auseinandersetzung mit der Thematik die persönliche Wahrnehmung der Umwelt und der Straßen nachhaltig verändern kann. Außerdem schärft die Betrachtung der mit dem Kontext verbundenen wirtschaftlichen Faktoren offensichtlich das gesellschaftsrelevante Verantwortungsbewusstsein der Schülerinnen und Schüler.

Der hier vorgeschlagene Kontext ist wie schon bei den ersten Themenfeldern in drei Sequenzen gegliedert (siehe Übersicht). Der Großteil der Experimente ist für Sequenz 1 vorgesehen, während Sequenz 2 sich ausschließlich der Modellbildung und der Einheit Kelvin widmet. In Sequenz 3 wird nur ein Experiment vorgeschlagen, das in die Hausaufgabe verlagert wird. Hier stehen die Auswirkungen der Anomalie des Wassers im Vordergrund. Dieser Teil erweitert damit die Betrachtungen zur thermischen Ausdehnung von Brücken oder Betonfahrbahnplatten aus Sequenz 1 um die Untersuchung ‚regelwidrigen‘ Verhaltens und zeigt Grenzen der Modellbildung aus Sequenz 2 auf. In dem hier vorgestellten Unterrichtsgang wurde aus Zeitgründen auf die ebenfalls einfach durchzuführende Betrachtung der Anomalie von Gummi verzichtet.

Möchte man die nach dem gehäuften Experimentieren in Sequenz 1 folgende experimentierfreie Phase vermeiden, lassen sich die erklärenden und modellbildenden Arbeitsblätter aus Sequenz 2 auch sinnvoll mit den Experimenten der ersten Sequenz verzahnen.

Sequenz 1 liegt in zwei Varianten vor. Die Variante „Sichere Brücken, egal zu welcher Jahreszeit“ bietet dabei eine stärkere Mathematisierung und beschäftigt sich ausführlich mit der Gewinnung einer Formel für die Längenänderung bei Temperaturänderung sowie deren rechnerischer Anwendung. Dies bietet neben der Bearbeitung von Rechenaufgaben Gelegenheit für Einheitenbetrachtungen (Absprachen Mathematik).

In der zweiten Variante der Sequenz 1 „Blow-ups und verwandte Sommereffekte“ tritt die Mathematisierung in den Hintergrund. Der Fokus liegt hier bei den Alltagseffekten und deren Sichtbarmachung. Beide Varianten beinhalten ein zentrales Schülerexperiment, das der Sichtbarmachung thermischer Ausdehnung dient. Das Experiment wird in drei methodischen Varianten angeboten, um den unterschiedlichen Schülergruppen gerecht zu werden und verlangt von der Lehrkraft Geschick in der Umsetzung und Vorbereitung.

Es geht im vorliegenden Themenfeld ausdrücklich nicht um Wärmetransporte und ihre Beeinflussung. Diese Thematik wird erst in Themenfeld 8 aufgegriffen.

TF 3	Sequenz	Fachlicher Schwerpunkt	Tätigkeiten/Lernprodukte
UG 1 „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen“	<p>S1: a) Sichere Brücken, egal zu welcher Jahreszeit bzw. b) Blow-Ups und verwandte Sommereffekte</p>	<p>Normales Verhalten von Feststoffen bei Temperaturerhöhung/ b) Mathematisierung (5 bzw. bei b) 6 Unterrichtsstunden)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Brücken und andere feste Körper dehnen sich bei Temperaturzunahme aus bzw. Der Blow-up und die Gefahren hoher Temperaturen bei Festkörpern (Experiment und Präsentation, optimiertes Experiment)</li> <li> Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen bei Temperaturerhöhung (Zeitungsartikel)</li> <li> Experiment zur Längenausdehnung/ mit dem Längenausdehnungsapparat (Dokumentation der Versuchsoptimierung)</li> <li> Eine Formel für die Längenausdehnung bzw. Arbeitsblatt zur Längenausdehnung von Festkörpern mit Fokus Bimetall (AB)</li> </ul>
	<p>S2: Lord Kevin und das Teilchenmodell</p>	<p>Denken im Teilchenmodell (3 Unterrichtsstunden)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⦿ Erklären im Teilchenmodell (Modellvorstellungen verbal und bildlich umsetzen)</li> <li>⦿ Umrechnen der Temperatureinheiten °C und K (Think-Pair-Share-Austausch, Quiz)</li> </ul>
	<p>S3: Späte Folgen eines Winterfrostes</p>	<p>Anomalie von Wasser (3 Unterrichtsstunden)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Schlaglöcher als Folge der Anomalie von Wasser (Arbeitsblatt)</li> <li> Frostsprengung, Frostgare und geplatze Wasserleitungen als Folgen der Anomalie von Wasser (AB)</li> <li> Anomalie von Wasser im Diagramm (AB)</li> </ul>

Weil sie meist nur als Beifahrer auf den Straßen unterwegs sind, haben die Schülerinnen und Schüler oft nur eine sehr selektive Erfahrungen mit den unterschiedlichsten Fahrbahnen und ihren Zuständen. Ihre zukünftige Wahrnehmung kann durch die Beschäftigung mit der Thematik jedoch nachhaltig verändert werden.

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 1 – Variante a) Sichere Brücken, egal zu welcher Jahreszeit

Den *Einstieg* (Stunde 1) in das dritte Themenfeld bildet ein Concept-Cartoon, mit dessen Hilfe die Schülerinnen und Schüler Vorhersagen aufgrund von Alltagserfahrungen treffen sollen. Dabei sollen die Wahrnehmung geschärft und ein Nachdenken über die Größenordnung von auftretenden Effekten (Messtechnik) angestoßen werden. Damit das gelingt, sollten die Sprechblasen im Cartoon sehr zielführend gestaltet und auf die Vorkenntnisse in NaWi abgestimmt sein.

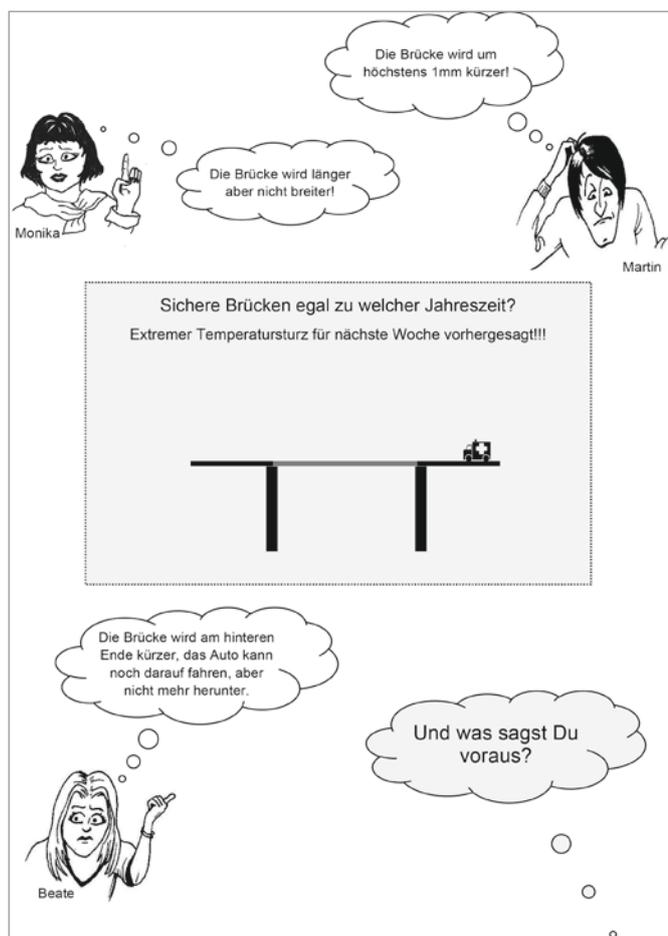
Aus der Beschäftigung mit dem Cartoon ergeben sich im Wesentlichen folgende Fragen, die den Verlauf der weiteren Sequenz bestimmen:

- Ist eine Brücke im Winter tatsächlich kürzer als im Sommer?
- Um wie viel ist die Brücke im Winter kürzer als im Sommer?
- Was macht ein Brückenbauingenieur, um Schäden und Katastrophen vorzubeugen?

Keine dieser Fragen kann bereits zu Sequenzbeginn hinreichend geklärt werden.

Information zur Brücke im Cartoon:

Die dort abgebildete Brücke gehört zu einem der einfachsten Brückentypen und ist eine Balkenbrücke. Sie besteht aus einem Unterbau (hier zwei Stützen) und einem Überbau (hier Balken oder Träger).



HR\_Ph\_TF3\_UG1\_S1\_Cartoon

*Schülerexperiment* zur Klärung der Frage, ob eine Brücke im Winter kürzer ist als im Sommer (Stunde 2)

Obwohl im Cartoon die Temperaturniedrigung als Einstiegsidee für einen spektakulären Effekt (Brückeneinsturz) dient, wird im Experiment mit der Stricknadel eine Temperaturerhöhung realisiert, da nur so eine ausreichend große Temperaturdifferenz und die damit einhergehende Längenänderung erreicht werden kann.

Vorteile bei Nutzung der Stricknadel bzw. einer Fahrradspeiche im Vergleich zu anderen Beispielen aus der Physiksammlung und evtl. klassischen Unterrichtsgängen sind die einfache Modellierung eines Brückenträgers mit einem Alltagsgegenstand sowie die schlüssige Hinführung auf die spätere quantitative Nutzung des Längenausdehnungsapparates (Dilatometer) als messtechnisches Instrument.

Zur Realisierung des Schülerexperimentes müssen die Möglichkeiten und Schwierigkeiten der **Temperaturänderung** und der **Anzeige** der vermuteten Längenänderung diskutiert werden.

Mögliche Diskussionsansätze ergeben sich aus folgenden Stichworten:

- Zur Temperaturänderung: eine Kerze, Vielzahl von Kerzen, vollständige oder nur teilweise Erwärmung der Stricknadel bzw. Fahrradspeiche, Abstand zur Flamme, Bunsenbrenner, Eiswasser, Föhn ...
- Zur Anzeige: Fixierung der Stricknadel bzw. Fahrradspeiche auf einer Seite, Auflage, Länge der Stricknadel bzw. Fahrradspeiche, Material der Stricknadel bzw. Fahrradspeiche, Rollenlager mit fixiertem Anzeiger (Stecknadel mit Strohalm), Durchmesser eines Rollenlagers (Stecknadel) ...

☞ **Belehrung zum sicheren Umgang beim Experimentieren beachten!**

Die kommenden Schülerexperimente bergen unterschiedliche experimentelle Gefahren, auf welche die Schülerinnen und Schüler in geeigneter Art hingewiesen werden müssen. Eine zuvor erstellte Gefährdungsbeurteilung schätzt die entsprechenden Risiken ein und beugt durch geeignete Maßnahmen vor (z. B. sollte hier auf feuerfesten Unterlagen gearbeitet werden).



*Schülerexperimente zur Längenausdehnung, Fotos: Lutz Rosenhagen*

Jede der folgenden methodischen Alternativen kann je nach Schwerpunktsetzung im Unterricht und nach Differenzierungsansatz genutzt werden.

**Alternative 1 - Schwerpunkt: Durchführen von Experimenten nach Planung im Plenum:**

Dazu könnten die Ideen der Schülerinnen und Schüler gesammelt (z. B. Think-Pair-Share-Methode) und auf ihre Durchführbarkeit hin diskutiert (Plenum) werden. Nach gemeinsamer Planung und Festlegung des durchzuführenden Aufbaus wird in Gruppen experimentiert und selbstständig dokumentiert (Video oder Fotos).

**Alternative 2 - Schwerpunkt: Planung und Durchführung von Experimenten bei vorgegebenen Rahmenbedingungen, Differenzierung:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen das Überprüfungsexperiment aus einem vorgegebenen Materialfundus heraus entwickeln. Als möglicher Differenzierungsansatz können die Materialien vollständig oder überzählig angeboten werden (z. B. feuerfeste Unterlage, Teelichter, Stricknadel bzw. Fahrradspeiche, Korken, Holzplättchen, Wäscheklammer, Reagenzglasklammer, Stecknadel, Strohalm, ...).

Eine andere Differenzierungsmöglichkeit ergibt sich durch den Umfang der Teile, die bereits fertig aufgebaut angeboten werden, z. B. vermeidet eine mit einem Anzeiger fest verbundene Stecknadel als Rolllager Fehler beim Umgang.

**Alternative 3 - Schwerpunkt: Planung von Experimenten, die auch misslingen können:**

Ohne vorherige Sammlung und Abstimmung führt jede Schülergruppe ihre eigene Idee durch. Offene Aufgabenstellung und das Finden kreativer Lösungsmöglichkeiten fördern in besonderem Maße die Eigenständigkeit der Schülerinnen und Schüler und bilden die naturwissenschaftliche Arbeitsweise optimal ab.

Der Ideenreichtum der Schülerinnen und Schüler führt manchmal zu außergewöhnlichen Messmethoden und kann die Bereitstellung des dazu notwendigen Materials mitunter recht aufwendig gestalten. Außerdem kann der Nachweis der Längenänderung in der vorgegebenen Zeit bei einzelnen Gruppen vollständig misslingen. Solche Fehlschläge sind aber auch Lernchancen. Nach einer Reflexion der Ursachen für das Misslingen können die Messmethoden verbessert werden, so dass der Nachweis (bei ausreichender Zeit) möglicherweise in einem zweiten Durchlauf realisiert werden kann.

**Möglicher Arbeitsauftrag:**

Idealisiert kann man anstatt eines Brückenträgers auch z. B. eine Stricknadel oder Fahrradspeiche betrachten.

**Plant** ein Experiment, mit dem ihr nachweisen könnt, dass sich eine Stricknadel bzw. Fahrradspeiche ausdehnt, wenn man sie erhitzt. Optimiert das Experiment so, dass der Effekt der Ausdehnung möglichst gut sichtbar wird.

**Dokumentiert** euren Versuch, ihr dürft auch mit eurem Handy ein Video oder Foto machen!

Eine quantitative physikalische Untersuchung ist an dieser Stelle noch nicht erwünscht. Zur Dekontextualisierung wird im Anschluss an das Experimentieren eine Hausaufgabe gestellt: Das bei Brücken neu kennen gelernte Phänomen wird auf andere Alltagsbeispiele übertragen. Außerdem wird eine Erweiterung weg vom Festkörper (Brückenproblem) hin zu Flüssigkeiten und Gasen angeregt, da sich auch diese normalerweise bei Erhöhung der Temperatur ausdehnen (z. B. Thermometer).

🌡️	Ausdehnung bei Erwärmung	Aufgabe
<p>In der Regel dehnen sich Körper beim Erwärmen aus. Die Temperatur spielt nicht nur bei den Fahrbahnplatten einer Brücke eine entscheidende Rolle. Analysiere die vorliegenden Fotos und formuliere schriftlich den Einfluss und die Gefahren hoher Temperaturen:</p>		
<p>Beispiel A:</p>	 <p><small>© Eisenbahn-Forum 01.04.2017 04:04:00 - Eigenes Foto Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleiseverbiegung_01.jpg Datei:Gleiseverbiegung_01.jpg</small></p>	
<p>Beispiel B:</p>	 <p>Geländer an einer Schrägseilbrücke Foto: PL/Ronny Schwarz</p>	
<p>Beispiel C:</p>	 <p>Silikonfugen am Haus Foto: Morinka Nikolaus</p>	
<p>Auch Flüssigkeiten und Gase dehnen sich bei Erwärmung aus. Überlege dir ein Experiment oder eine Alltagserfahrung, die diese Behauptung unterstützt und schreibe dies in deinem Physikheft auf!</p>		

HR\_Ph\_TF3\_UG1\_S1\_Ausdehn\_HA

Die *Besprechung des Hausaufgabenblattes* (Stunde 3)

erweitert die Betrachtung des Phänomens der Ausdehnung von Festkörpern bei Temperaturerhöhung auf Flüssigkeiten und Gase.

Als ergänzende Teilkontexte/Experimente eignen sich unter anderem:

- Kalibrieren eines Flüssigkeitsthermometers  
Dies könnte bereits in NaWi erfolgt sein, deshalb ist eine vorherige Absprache sinnvoll.
- Knack-Experiment mit der PET-Flasche  
Einstieg z. B. mit einer Alltagsgeschichte aus dem Winter: „Nachmittags brachte ich den Korb mit den leeren Plastikflaschen ins Auto, um sie bei nächster Gelegenheit abzugeben. Am nächsten Morgen hatte ich das vergessen und fuhr los. Während der Fahrt fing es plötzlich an zu knacken und zu ploppen. Was war da passiert?“  
oder  
Stiller Impuls: Fest verschlossene leere Plastikflasche aus dem Eisschrank ohne Worte hinlegen und zunächst die Hausaufgabe besprechen.

■ Zaubertricks

Hier sollte nicht über eine Druckdifferenz argumentiert werden, sondern höchstens über den Platzbedarf der Gasteilchen (vgl. Sequenz 2).

- Geldstück auf benetztem Flaschenrand einer eisgekühlten Flasche (Flaschengeist)  
→ Phänomen der Erwärmung,
- Ei in die Flasche zaubern → Phänomen der Abkühlung,
- Luftballon auf Erlenmeyerkolben befestigen und Luft im Kolben durch Eintauchen in ein Wasserbad erhitzen.

■ In einem Internetforum fragt ein Fahranfänger: „Warum soll ich bei großer Hitze mein Auto nicht ganz volltanken?“ Schreibe einen Forumsbeitrag, der diese Frage beantwortet.

Als Abschluss eignet sich eine Zusammenfassung für alle Aggregatzustände z. B. als Animation unter <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/ausdehnung-bei-erwaermung>.

*Dilatometerexperiment* zur Klärung der Frage „Wie viel kürzer ist eine Brücke im Winter als im Sommer?“ (Stunden 4/5)

Ausgangspunkt dieser Stunden ist die folgende konkrete Aufgabe mit Zahlenwerten zu einer Stahlbetonbrücke:

Eine Autobahnbrücke aus Stahlbeton hat bei 10 °C eine Länge von 300 m.

- a) Schätze zunächst und berechne dann, um wie viel sich die Brücke ausdehnt, wenn sie im Sommer auf 40 °C erwärmt wird?
- b) Um wie viel zieht sie sich im Winter bei -30 °C zusammen?
- c) Schau dir eine Brücke in deiner Nähe genau an und untersuche, ob der Brückenbauingenieur eine Lösung für das Problem gefunden hat.

Der Rechenteil dieser Aufgabe kann von den Lernenden noch nicht gelöst werden, da sie keinen mathematischen Zusammenhang zwischen den beteiligten Größen kennen. Die Schülerinnen und Schüler merken sehr schnell, dass sie noch nicht in der Lage sind auszurechnen, um wie viel eine Stahlbetonbrücke von 300 m Länge länger wird, wenn sich die Temperatur von 10 °C auf 40 °C verändert.

Somit sind eine exakte experimentelle Versuchsreihe und/oder eine sich daraus ergebende mathematische Formel zwingend nötig, um den Schätzwert, den jede Schülerin und jeder Schüler geben kann, mit einem exakten Wert zu vergleichen.

Die vorgegebene Aufgabe strukturiert damit wesentlich den weiteren Unterrichtsgang, wobei die quantitative Untersuchung der Längenänderung mit einem Dilatometer (Längenausdehnungsapparat) im zeitökonomischen Lehrerdemonstrationsexperiment erfolgen kann.

Methodisch eröffnet die Stahlbetonbrückenaufgabe eine besondere Möglichkeit, die insbesondere als Differenzierungselement gesehen werden kann: Man kann diese Aufgabe als Langzeitaufgabe einsetzen.

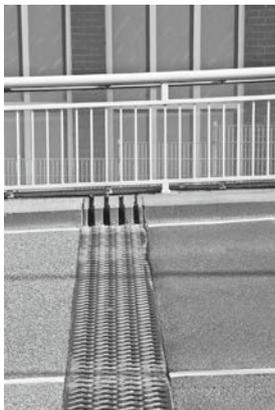
Dazu folgender Hinweis:

Aufgaben als längerfristige Zielsetzung sind ein Methodentrainingselement und fördern Selbstorganisation und Zeitmanagement der Schülerinnen und Schüler. Außerdem ist ein individuelles Arbeitstempo möglich und lässt dadurch ein eigenständiges Lösen über Recherche und Sachtextverständnis zu. Dies ist gleich zu Beginn oder im Verlauf des Unterrichts zu unterschiedlichen Wissensständen möglich.

Einige Schülerinnen und Schüler werden bereits direkt nach der Aufgabenstellung in der Lage sein, diese durch geeignete Recherche zu lösen. Andere können diese Aufgabe erst nach dem Demonstrationsexperiment zum Längenausdehnungsapparat (Dilatometer) selbstständig lösen. Von einer vollständigen Besprechung im Unterricht sollte abgesehen werden.

Lösungsstrategien (unter Einbeziehung der Langzeitaufgabe):

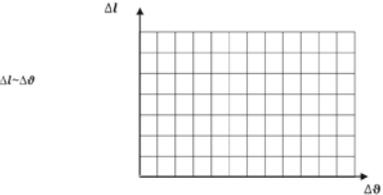
- Erweitern des Laborexperimentes aus Stunde 1/2 auf Präzisionsmessgerät
- Experimentieren und Mathematisieren/Herleitung einer Formel
- Ausrechnen mit der neu gewonnen Formel und vorgegebenem  $\alpha$  ohne Potenzschreibweise zunächst ohne Tabelle
- Vergleichen mit den Schätzwerten
- Lösungen in der Realität wahrnehmen (Frage zum Brückenplaner)



*Verschiedene Maßnahmen zum Ausgleich der Längenausdehnung an Brücken, Fotos: PL/Ronny Schwarz*

Andere Lösungsstrategien:

Alternativ könnte man den Mathematisierungsgrad niedrig halten, indem man einen Stab aus Stahl der Länge 50 cm erhitzt (Temperaturen in der Textaufgabe geschickt wählen!) und dann nur die Verlängerung absolut misst und mit Dreisatz auf die gegebene Länge hochrechnet. Ein vereinfachter Umgang mit tabellarisch gelisteten Werten für  $\alpha$  ist trotzdem möglich, insbesondere das Verhalten eines Bimetalls und entsprechende Anwendungen.

	<b>Experiment mit dem Längenausdehnungsapparat</b>	<b>Arbeitsblatt</b>				
<b>Durchführung:</b>						
_____ _____ _____ _____ _____ _____						
<b>Beobachtung:</b>						
Raumtemperatur: $\theta_1 =$ _____		Ausgangslänge des Stabes: $l_0 =$ _____				
$\theta_2$ in °C						
$\Delta\theta$ in K						
$\Delta l$ in mm						
<b>Auswertung:</b>						
Genauer, es gilt: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta\theta</math></span> mit $\Delta l$ :						
$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ ist der Temperaturunterschied. Er wird nicht in °C sondern in K (Kelvin) angegeben.						
$l_0$ :						
$\alpha$ :						

HR\_Ph\_TF3\_UG1\_S1\_Dilatometer\_AB

In der Vertiefungsstunde 6 bzw. den Vertiefungsstunden 6/7 können sich die Lernenden mit weiteren Aufgaben zur Längenänderung auch mit einem erhöhten mathematischen Anteil beschäftigen. In einem ersten Arbeitsblatt erschließen sich die Schülerinnen und Schüler eine Tabelle, in der Längenausdehnungskoeffizienten verschiedener Feststoffe gelistet sind und nutzen diese für entsprechende Erklärungen zu Bimetallen und möglicherweise deren Anwendung (Bügeleisen). Berechnungen mit Hilfe der zuvor erarbeiteten Formel sind hier nicht notwendig. Einzige Schwierigkeit birgt der Längenausdehnungskoeffizient hinsichtlich seiner Einheit. Eine vereinfachte Version dieses Arbeitsblattes finden Sie in der Variante b der Sequenz 1, dabei wird neben anderen Vereinfachungen die Potenzschreibweise durch Dezimalschreibweise vermieden. Ergänzend bieten sich hier Schülerexperimente mit geeigneten Bimetallstreifen an.

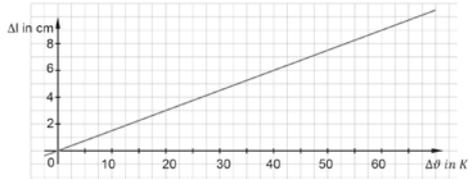
Im zweiten Arbeitsblatt wird eine stärkere Mathematisierung vorgenommen. Es kann als Additum genutzt werden. Hier können die Schülerinnen und Schüler den korrekten Umgang mit der Formel und der

Mitführung der Einheiten trainieren. Es bietet sich zur Differenzierung an (Umgang mit Formeln, Diagramme zeichnen, Textaufgaben, Diagramme lesen). Dabei bedarf es der Unterstützung durch die Lehrkraft und es sind vielfältige Arbeitsmethoden denkbar.

Aus zeitlichen Gründen sollte aus diesen beiden Arbeitsblättern eine Auswahl getroffen werden. Sie können auch als inhaltliche Vertiefungsinseln dienen.

🌡️	Der Längenausdehnungskoeffizient $\alpha$	Arbeitsblatt																												
<b>Wir arbeiten mit einer Tabelle für Feststoffe</b>																														
Es gibt Tabellen, in denen der sogenannte Längenausdehnungskoeffizient $\alpha$ für verschiedene Feststoffe aufgeschrieben ist. Am Zahlenwert kann man ablesen, welcher Feststoff sich bei gleicher Temperaturerhöhung stärker ausdehnt.																														
<p>a) Begründe, welcher Feststoff sich bei gleicher Temperaturzunahme mehr ausdehnt, Gold oder Kupfer!</p> <p>b) Begründe, welcher Feststoff sich bei gleicher Temperaturzunahme mehr ausdehnt, Porzellan oder Kochsalz!</p> <p>c) Nenne das in der Tabelle gelistete Metall, dessen Volumen sich bei Temperaturabnahme am wenigsten verändert.</p> <p>d) Erkläre, wieso man zur Stabilisierung von Betonplatten im Baugewerbe Stahlgeflechte einarbeiten kann (Fachwort „Bewehrung“), ohne dass bei Temperaturschwankungen Risse entstehen.</p> <p>e) Ein Bimetallstreifen besteht aus zwei fest miteinander verbundenen Metallen. Unser Bimetallstreifen sei links fest eingespannt. Im Modell könnte man sich das so vorstellen:</p>	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Stoff</th> <th><math>\alpha</math> in <math>\frac{1}{10^6 \text{K}}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aluminium</td><td>23,8</td></tr> <tr><td>Beton</td><td>12</td></tr> <tr><td>Blei</td><td>29,4</td></tr> <tr><td>Eis (-4°C)</td><td>37</td></tr> <tr><td>Eisen (Stahl)</td><td>11,5 – 12</td></tr> <tr><td>Glas für Laborgeräte</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>Gold</td><td>14,2</td></tr> <tr><td>Kochsalz</td><td>48</td></tr> <tr><td>Kupfer</td><td>16,8</td></tr> <tr><td>Porzellan</td><td>4</td></tr> <tr><td>Platin</td><td>9,1</td></tr> <tr><td>Plexiglas</td><td>75</td></tr> <tr><td>Silber</td><td>19,3</td></tr> </tbody> </table>	Stoff	$\alpha$ in $\frac{1}{10^6 \text{K}}$	Aluminium	23,8	Beton	12	Blei	29,4	Eis (-4°C)	37	Eisen (Stahl)	11,5 – 12	Glas für Laborgeräte	3,2	Gold	14,2	Kochsalz	48	Kupfer	16,8	Porzellan	4	Platin	9,1	Plexiglas	75	Silber	19,3	
Stoff	$\alpha$ in $\frac{1}{10^6 \text{K}}$																													
Aluminium	23,8																													
Beton	12																													
Blei	29,4																													
Eis (-4°C)	37																													
Eisen (Stahl)	11,5 – 12																													
Glas für Laborgeräte	3,2																													
Gold	14,2																													
Kochsalz	48																													
Kupfer	16,8																													
Porzellan	4																													
Platin	9,1																													
Plexiglas	75																													
Silber	19,3																													
																														
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkläre mit Hilfe der Tabelle, was geschieht, wenn man diesen Bimetallstreifen erhitzt!</li> <li>• Zeichne die Form des erwärmten Bimetallstreifen in die obige Abbildung ein!</li> <li>• Ein anderer Bimetallstreifen besteht aus Aluminium und Zink. Er soll sich beim Erwärmen nach unten biegen. Zeichne eine Modellabbildung für die Anordnung der Metalle samt Befestigung!</li> </ul>																														

HR\_Ph\_TF2\_UG1\_S1\_LAKoeff\_AB

🌡️	Längenausdehnung von Festkörpern	Arbeitsblatt			
<b>Aufgabe 1:</b>					
Eine für Hochspannungsleitungen verwendete Stahllegering hat einen linearen Ausdehnungskoeffizienten von $0,00016 \frac{1}{\text{K}}$ .					
Berechne für verschiedene Temperaturänderungen die jeweilige Längenänderung eines 100m langen Teilstücks der Hochspannungsleitung und zeichne ein zugehöriges $\Delta l - \Delta \theta$ -Diagramm!					
$\Delta \theta$ in K	5	10	15	20	25
$\Delta l$ in mm					
<b>Aufgabe 2:</b>					
Die 1937 gebaute Teufelstalbrücke an der Autobahn A4 ist eine Stahlbetonbrücke mit einer Stützweite von 138m. Wie groß ist die Längenänderung dieses Brückenteils zwischen Sommer (+25°C) und Winter (-5°C)?					
Stahlbeton hat einen linearen Ausdehnungskoeffizienten von $0,00012 \frac{1}{\text{K}}$ .					
<b>Aufgabe 3:</b>					
Rohrleitungen, z. B. Fernwärmeleitungen, haben etwa alle 50 m einen Ausgleichsbogen.					
Berechne die Längenänderung der Eisenrohre auf dieser Strecke, wenn sie sich von 10°C auf 70°C erwärmen ( $\alpha_{\text{Eisen}} = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$ ).					
					
<b>Aufgabe 4:</b>					
Eine Stahlbetonbrücke dehnt sich bei Erwärmung aus. Der Temperaturunterschied zwischen Sommer und Winter kann bis zu 60K betragen. Der Zusammenhang zwischen Temperaturunterschied und Längenänderung der Brücke ist im Diagramm dargestellt.					
					
<p>a) Zeichne eine Tabelle mit zwei Zeilen: Temperaturänderung in K und Längenänderung in cm. Trage vier Wertepaare für Temperaturänderung und zugehöriger Längenänderung ein.</p> <p>b) Beschreibe den Zusammenhang zwischen Temperaturunterschied und Längenänderung der Brücke in einer Je-desto-Beziehung.</p>					

HR\_Ph\_TF2\_UG1\_S1\_LAFestkoerper\_AB

UG1 „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen“ – Sequenz 1 a): Sichere Brücken, egal zu welcher Jahreszeit fachliche Schwerpunkte: Normales Verhalten von Feststoffen bei Temperaturerhöhung/Mathematisierung					
Lerneinheit (Stunden)	Kompetenz Schülerinnen und Schüler...	Konzeptbezogenes Fachwissen	Lernprodukt	Differenzierung	Material
<b>Ausdehnung von Festkörpern bei Erhitzung</b> (1./2. Stunde)	... machen Vorhersagen zu einem Cartoon aufgrund von Alttagserfahrungen. ... überprüfen ihre Vermutung zur Längenänderung bei Erhitzung eines Festkörpers im Labor-S-Experiment. ...übertragen das physikalische Phänomen auf andere Beispiele. ...präsentieren sich gegenseitig ihre Ergebnisse.	Brücken sind im Winter kürzer als im Sommer. Ausdehnung von Körpern bei Hitze findet man z. B. auch bei Bahngleisen, Geländern und im Haus.	Dokumentation des Nachweises perimentes Arbeitsblatt	Cartoon Alternativen beim Schülerexperiment	Cartoon Arbeitsblatt
<b>Auch Flüssigkeiten und Gase dehnen sich aus</b> (3. Stunde)	... präsentieren die Hausaufgabe. ... beobachten Experimente, experimentieren und protokollieren. ... oder schreiben einen Zeitungsartikel zum Gelernten. ... informieren sich im Internet durch Ausführung einer Animation.	Auch Flüssigkeiten und Gase dehnen sich beim Erwärmen aus.	Protokoll zu Experimenten oder Zeitungsartikel		Animation als Zusammenfassung bei LEIFIphysik <a href="http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/ausdehnung-bei-erwaermung">http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/ausdehnung-bei-erwaermung</a>
<b>Quantitative Längenänderung bei Temperaturveränderungen</b> (4./5. Stunde)	... experimentieren als Demonstrationsexperiment oder in Gruppen mit Längenausdehnungsapparat (Dilatometer). ... messen, dokumentieren und werten aus. ... wenden neu gefundene Formel an.	Mit der Formel $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$ kann man bei Temperaturveränderung die Längenänderung berechnen. Eine Brücke von 300 m ist im Sommer fast 20 cm länger als im Winter. Rolllager und Dehnungsfugen kompensieren technisch das Problem.	Lösung der Langzeithausaufgabe Ausgefülltes Arbeitsblatt	Langzeitaufgabe fordert und ermöglicht individuelles Lerntempo und eigene Lösungsstrategie. Problem ist in Anpassung auch ohne die Formel lösbar.	Längenausdehnungsapparat Arbeitsblatt
<b>Vertiefung</b> (6. Stunde)	... lesen und interpretieren eine Tabelle. ... führen Schülerexperimente zum Verhalten eines Bimetallstreifens durch. ... erklären Funktionsweise schriftlich anhand einer Abbildung. ... lösen verschiedenartige Rechen- und Zeichenaufgaben.	Funktionsweise eines Bimetallstreifens. Anwendung beim Bügeleisen und beim Thermometer.	Ausgefülltes Arbeitsblatt Rechenaufgaben	Zusätzliches Arbeitsblatt zum Umgang mit $\alpha$ und Anwendungsaufgaben zur hergeleiteten Formel. Einfachere Aufgaben befinden sich in Version b) von Sequenz 1.	Arbeitsblätter

**Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 1 – Variante b): Blow-ups und verwandte Sommereffekte**

Für den *Einstieg* (Stunde 1) eignet sich ein Zeitungsartikel, wenn nicht auf persönliche Erfahrungen, Bildmaterial etc. zurückgegriffen werden kann.

Beispiele findet man z. B. unter

<http://www.abendzeitung-muenchen.de/inhalt.gluthitze-setzt-strassen-zu-blow-up-toedliche-gefahr-auf-den-autobahnen.c5477c20-df78-43c3-a8e4-7762c223c8c6.html>

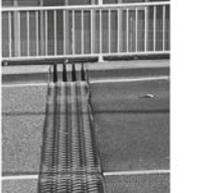
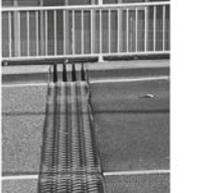
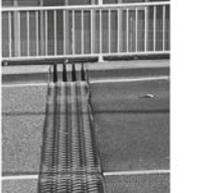
oder

[http://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/blow\\_up.aspx](http://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/blow_up.aspx)

Worum geht es physikalisch?

→ Die Asphaltplatten dehnen sich bei Hitze aus und brechen auf, weil sie nicht ausweichen können.

Wo tritt der Effekt auch auf?

<p>HR_Ph_TF3_UG1_S1_Ausdehn_GA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="231 952 587 987">Ausdehnung bei Erwärmung</th> <th data-bbox="587 952 657 987">Gruppenaufgabe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" data-bbox="231 996 657 1032">Betrachtet die vorliegenden Fotos und stellt Überlegungen über den Einfluss und die Gefahren hoher Temperaturen an. Präsentiert eure Ergebnisse vor der Klasse:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1041 438 1211"> <p>Beispiel A:</p>  </td> <td data-bbox="438 1041 657 1211"> <p>Beispiel B:</p>  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1220 438 1288"> <p><small>„Gleisverwerfung ehem. Bf Göttersloh Ost 04 08 2013“ von Albin TWE - Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons  <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg#mediaviewer/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg#mediaviewer/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg</a></small></p> </td> <td data-bbox="438 1220 657 1288"> <p><small>Dehnungsfuge am Geländer Foto: PL/Andrea Bürgin</small></p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1296 438 1512"> <p>Beispiel C:</p>  </td> <td data-bbox="438 1296 657 1512"> <p>Beispiel D:</p>  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1520 438 1543"> <p><small>Dehnungsfugen/Verzahnungsfuge an einer Brücke Foto: PL/Robert Schmal</small></p> </td> <td data-bbox="438 1520 657 1543"> <p><small>Silikonfügen an Haus Foto: Monika Klotzweck</small></p> </td> </tr> </tbody> </table>	Ausdehnung bei Erwärmung	Gruppenaufgabe	Betrachtet die vorliegenden Fotos und stellt Überlegungen über den Einfluss und die Gefahren hoher Temperaturen an. Präsentiert eure Ergebnisse vor der Klasse:		<p>Beispiel A:</p> 	<p>Beispiel B:</p> 	<p><small>„Gleisverwerfung ehem. Bf Göttersloh Ost 04 08 2013“ von Albin TWE - Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons  <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg#mediaviewer/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg#mediaviewer/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg</a></small></p>	<p><small>Dehnungsfuge am Geländer Foto: PL/Andrea Bürgin</small></p>	<p>Beispiel C:</p> 	<p>Beispiel D:</p> 	<p><small>Dehnungsfugen/Verzahnungsfuge an einer Brücke Foto: PL/Robert Schmal</small></p>	<p><small>Silikonfügen an Haus Foto: Monika Klotzweck</small></p>	<p>A: Bahngleise</p> <p>B: Geländer</p> <p>C: Dehnungsfugen → Lösung für Brücken → Rolllager bzw. Verzahnung/Verzahnungsgeflecht</p> <p>D: Silikonfuge im Haus</p>
Ausdehnung bei Erwärmung	Gruppenaufgabe												
Betrachtet die vorliegenden Fotos und stellt Überlegungen über den Einfluss und die Gefahren hoher Temperaturen an. Präsentiert eure Ergebnisse vor der Klasse:													
<p>Beispiel A:</p> 	<p>Beispiel B:</p> 												
<p><small>„Gleisverwerfung ehem. Bf Göttersloh Ost 04 08 2013“ von Albin TWE - Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons  <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg#mediaviewer/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg#mediaviewer/File:Gleisverwerfung_04_08_13_Goettersloh_Ost_04_08_2013.jpg</a></small></p>	<p><small>Dehnungsfuge am Geländer Foto: PL/Andrea Bürgin</small></p>												
<p>Beispiel C:</p> 	<p>Beispiel D:</p> 												
<p><small>Dehnungsfugen/Verzahnungsfuge an einer Brücke Foto: PL/Robert Schmal</small></p>	<p><small>Silikonfügen an Haus Foto: Monika Klotzweck</small></p>												

Das Arbeitsblatt zur Gruppenarbeit wird in Kleingruppen bearbeitet. Hierbei soll das bei den Blow-ups neu kennen gelernte Phänomen nun auf andere Beispiele des Alltags übertragen werden. Eine nähere physikalische Untersuchung ist an dieser Stelle noch nicht erwünscht. Ausgelöst durch ein Bild tauschen sich die Schülerinnen und Schüler zunächst nur mit anderen aus und präsentieren dann. Das Aufschreiben dient der Ergebnissicherung und kann zu Hause oder im Unterricht geschehen. Eigentliche Hausaufgabe ist die Erweiterung weg vom Festkörper und evtl. auch weg vom Straßenbau hin zu Flüssigkeiten und Gasen.

Denn normalerweise gilt auch für Flüssigkeiten und Gase: Sie dehnen sich bei Temperaturerhöhung aus, siehe Thermometer bzw. Plastikflasche.

Die Besprechung des Hausaufgabenblattes (Stunde 2) führt gleichzeitig zur Erweiterung der Beschäftigung mit der Ausdehnung von Festkörpern bei Temperaturerhöhung auf Flüssigkeiten und Gase.

Ergänzende Kontexte/Experimente in dieser Stunde könnten sein (analog Variante a)):

- Kalibrieren eines Flüssigkeitsthermometers  
Dies könnte bereits in NaWi erfolgt sein, deshalb ist eine vorherige Absprache sinnvoll.
- Knack-Experiment mit der PET-Flasche  
Einstieg z. B. mit einer Alltagsgeschichte aus dem Winter: „Nachmittags brachte ich den Korb mit den leeren Plastikflaschen ins Auto um sie bei nächster Gelegenheit abzugeben. Am nächsten Morgen hatte ich das vergessen und fuhr los. Während der Fahrt fing es plötzlich an zu knacken und zu ploppen. Was war da passiert?“  
oder  
Stiller Impuls: Fest verschlossenen Plastikflasche aus dem Eisschrank ohne Worte hinlegen und zunächst die Hausaufgabe besprechen.
- Zaubertricks  
Hier sollte nicht über eine Druckdifferenz argumentiert werden, sondern höchstens über den Platzbedarf der Gasteilchen (vgl. Sequenz 2).
  - Geldstück auf benetztem Flaschenrand einer eisgekühlten Flasche (Flaschengeist)  
→ Phänomen der Erwärmung
  - Ei in die Flasche zaubern → Phänomen der Abkühlung
  - Luftballon auf Erlenmeyerkolben befestigen und Luft im Kolben durch Eintauchen
  - in ein Wasserbad erhitzen
- In einem Internetforum fragt ein Fahranfänger: „Warum soll ich bei großer Hitze mein Auto nicht ganz volltanken?“. Schreibe einen Forumsbeitrag, der diese Frage beantwortet.

Als Abschluss eignet sich eine Zusammenfassung für alle Aggregatzustände z. B. als Animation unter <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/ausdehnung-bei-erwaermung>.

Um den Blow-up zu verdeutlichen, steht in den Stunden 3 und 4 die qualitative Untersuchung der Längenänderung bei Erwärmung einer Stricknadel bzw. Fahrradspeiche im Schülerexperiment im Fokus: *Sichtbar machen, was man sonst nicht wahrnimmt*. Das experimentelle Vorgehen entspricht dem aus Stunde 2 in Variante a) (S. 23).

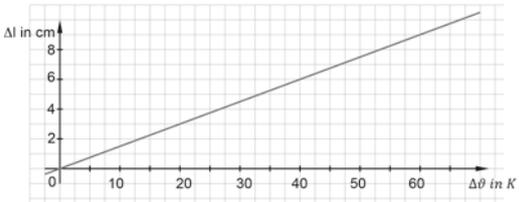
Möglichkeiten des Verdeutlichens von Längenänderungen sind ausreichend von klassischen Unterrichtsgängen bekannt. Vorteile bei Nutzung der Stricknadel bzw. Fahrradspeiche sind die einfache Modellierung der Betonfahrbahnplatte mit einem Alltagsgegenstand.

Möglicher Arbeitsauftrag für das Modellieren des Blow-up:

Ist eine Betonfahrbahnplatte im Sommer tatsächlich länger als im Winter?  
 Eine Autobahnplatte aus Beton ist 20 m lang. Idealisiert kann man anstatt einer Fahrbahnplatte auch z. B. eine Stricknadel oder eine Fahrradspeiche betrachten.

- a) **Plant** ein Experiment, mit dem ihr nachweisen könnt, dass sich diese Stricknadel bzw. Fahrradspeiche ausdehnt, wenn man sie erhitzt.
- b) **Optimiert** das Experiment so, dass der Effekt der Ausdehnung möglichst gut sichtbar wird.
- c) **Dokumentiert** euren Versuch, ihr dürft auch mit eurem Handy Fotos machen oder ein Video drehen!

Zur weiteren Beschäftigung mit der Längenausdehnung von Festkörpern und zur Vertiefung eignet sich das Arbeitsblatt in Stunde 5, das auch schon in der vorigen Variante der Unterrichtssequenz Verwendung fand.

	Längenausdehnung von Festkörpern	Arbeitsblatt
<b>Aufgabe 1:</b>		
Eine für Hochspannungsleitungen verwendete Stahlegierung hat einen linearen Ausdehnungskoeffizienten von $0,000016 \frac{1}{K}$ . Berechne für verschiedene Temperaturänderungen die jeweilige Längenänderung eines 100m langen Teilstücks der Hochspannungsleitung und zeichne ein zugehöriges $\Delta l - \Delta \theta$ -Diagramm!		
$\Delta \theta$ in K	5	10
$\Delta l$ in mm		
<b>Aufgabe 2:</b>		
Die 1937 gebaute Teufelstalbrücke an der Autobahn A4 ist eine Stahlbetonbrücke mit einer Stützweite von 138m. Wie groß ist die Längenänderung dieses Brückenteils zwischen Sommer (+25°C) und Winter (-5°C)? Stahlbeton hat einen linearen Ausdehnungskoeffizienten von $0,000012 \frac{1}{K}$ .		
<b>Aufgabe 3:</b>		
Rohrleitungen, z. B. Fernwärmeleitungen, haben etwa alle 50 m einen Ausgleichsbogen.		
Berechne die Längenänderung der Eisenrohre auf dieser Strecke, wenn sie sich von 10°C auf 70°C erwärmen ( $\alpha_{Eisen} = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$ ).		
<b>Aufgabe 4 :</b>		
Eine Stahlbetonbrücke dehnt sich bei Erwärmung aus. Der Temperaturunterschied zwischen Sommer und Winter kann bis zu 60K betragen. Der Zusammenhang zwischen Temperaturunterschied und Längenänderung der Brücke ist im Diagramm dargestellt.		
		
a) Zeichne eine Tabelle mit zwei Zeilen: Temperaturänderung in K und Längenänderung in cm. Trage vier Wertepaare für Temperaturänderung und zugehöriger Längenänderung ein. b) Beschreibe den Zusammenhang zwischen Temperaturunterschied und Längenänderung der Brücke in einer Je-desto-Beziehung.		

HR\_Ph\_TF2\_UG1\_S1\_LAFestkoerper\_AB

UG1 „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen“ – Sequenz 1 b): Blow-ups und verwandte Sommereffekte fachliche Schwerpunkte: Normales Verhalten von Feststoffen bei Temperaturerhöhung					
Lerneinheit (Stunden)	Kompetenz Schülerinnen und Schüler...	Konzeptbezogenes Fachwissen	Lernprodukt	Differenzierung	Material
<b>Blow ups und verwandte Effekte - Zeitungsartikel zu Blow ups</b> (1. Stunde)	... kommunizieren zu gesellschaftlich relevanten Themen insbesondere unter physikalischen Gesichtspunkten. ... übertragen das physikalische Phänomen auf andere Beispiele. ... präsentieren sich gegenseitig ihre Ergebnisse.	Asphaltplatten dehnen sich bei Hitze aus und brechen auf, weil sie nicht ausweichen können. Ausdehnung von Körpern bei Hitze findet man z. B. auch bei Bahngleisen, Metallgeländern, bei Brücken und im Haus.	Arbeitsblatt		<a href="http://www.abendzeitung-muenchen.de/inhalt.gluthitze-setzt-strassen-zu-blow-up-toedliche-gefahr-auf-den-autobahnen.c5477c20-df78-43c3-a8e4-7762c223c8c6.html">http://www.abendzeitung-muenchen.de/inhalt.gluthitze-setzt-strassen-zu-blow-up-toedliche-gefahr-auf-den-autobahnen.c5477c20-df78-43c3-a8e4-7762c223c8c6.html</a>  <a href="http://www.adac.de/infotrat/adac-im-einsatz/motorwelt/blow_up.aspx">http://www.adac.de/infotrat/adac-im-einsatz/motorwelt/blow_up.aspx</a>  Arbeitsblatt
<b>Auch Flüssigkeiten und Gase dehnen sich aus</b> (2. Stunde)	... präsentieren die Hausaufgabe. ... beobachten Experimente, experimentieren und protokollieren. ... oder schreiben einen Zeitungsartikel zum Gelehrten. ... informieren sich im Internet durch Aus-führung einer Animation.	Auch Flüssigkeiten und Gase dehnen sich beim Erwärmen aus.	Protokolle zu Experimenten oder Zeitungsartikel		Animation als Zusammenfassung bei LEIFphysik <a href="http://www.leifphysik.de/themenbereiche/ausdehnung-bei-erwaermung">http://www.leifphysik.de/themenbereiche/ausdehnung-bei-erwaermung</a>
<b>Quantitative Längenänderung eines Festkörpers</b> (3./4. Stunde)	... entwickeln und optimieren ein Experiment zum Beweis der Längenänderung eines Festkörpers. ... dokumentieren ihr Experiment und ihre Optimierungsvorschläge.	Auch im Laborexperiment kann man die Längenänderung bei Erwärmung nachweisen, z. B. bei einer Stricknadel oder Fahrradspeiche.	Dokumentation Video oder Fotos zum Experiment	Mathematisierung zu quantitativen Auswirkungen als Möglichkeit.	
<b>Vertiefung</b> (5. Stunde)	... lesen und interpretieren eine Tabelle. ... führen Schülerexperimente zum Verhalten eines Bimetallstreifens durch. ... erklären Funktionsweise schriftlich anhand einer Abbildung.	Funktionsweise eines Bimetallstreifens. Anwendung beim Bügeleisen.	Ausgefülltes Arbeitsblatt		Arbeitsblatt Evtl. Bügeleisen zerlegen

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 2 – Lord Kelvin und das Teilchenmodell

In Sequenz 2 liegt der Fokus auf der abstrakten Vorstellungsebene und den noch fehlenden Erklärungen zu den in Sequenz 1 gemachten Beobachtungen. Sie beschäftigt sich im Wesentlichen mit dem Teilchenmodell, welches bereits im Fach NaWi in der Orientierungsstufe angelegt wurde. Mit dem Teilchenmodell soll die Volumenzunahme, schwerpunktmäßig die Längenänderung eines langen Stabes erklärt und veranschaulicht werden. Die Modellvorstellung wird sowohl verbal als auch bildlich umgesetzt.

In Sequenz 2 ist explizit kein weiteres Experiment vorgesehen. Es ist nicht zuletzt aus Zeitgründen eher sinnvoll die Modellerklärungen für Rückbezüge auf die bereits in Sequenz 1 kennengelernten Phänomene heranzuziehen und diese abzurunden. Dadurch ergibt sich natürlich die Möglichkeit, Sequenz 2 als Einzelbaustein komplett aufzulösen und in Sequenz 1 zu integrieren. Möchte man dies nicht, besteht die Möglichkeit, die theorielastige kurze Sequenz 2 durch geeignete Animationen aufzulockern bzw. methodische Vielfalt bei der Erarbeitung in den Fokus zu rücken.

Die Aufarbeitung von bereits Bekanntem, Erweiterungen oder Anwendungen erfolgen in Form von Arbeitsblättern, die gleichzeitig auch Merkblätter sind.

Ein Arbeitsblatt beschäftigt sich mit der Temperatureinheit Kelvin und dient gleichzeitig als Merkblatt. An sehr vielen Stellen der Arbeitsblätter bietet es sich an, die bereits besprochenen Phänomene und Experimente aus Sequenz 1 wieder einzubinden oder Animationen diesmal unter dem Blickwinkel „Teilchenmodell“ erneut zu betrachten.

Methodisch könnte die Erarbeitung der Merkblätter über die Think-Pair-Share-Methode geschehen, Teile der Arbeitsblätter könnten auch als Hausaufgaben gegeben werden. Ein Quiz bietet sich als Abschluss von Sequenz 2 als Diagnoseinstrument an, bevor es mit Sequenz 3 weitergeht.

Da die Gestaltung der Sequenz 2 eng mit Sequenz 1 verknüpft ist und nach den jeweiligen Randbedingungen orientiert sein muss, wird an dieser Stelle auf ein vorgeschlagenes Stundenraster verzichtet, sondern nur auf die vorhandenen Arbeitsblattvorschläge verwiesen.

Vorhandene Arbeitsblätter (siehe Folgeseite):

- Arbeitsblatt zum Teilchenmodell mit Musterlösung
- Arbeitsmaterial differenziert G und B zur Erklärung der Ausdehnung
- Arbeitsblatt Lord Kelvin und das Teilchenmodell
- Arbeitsblatt Ausdehnung eines langen Stabes bei Erwärmung



## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 3 – Späte Spuren eines Winterfrostes

### Zeitungsartikel als Einstieg (Stunde 1)

Artikel mit bildlicher Darstellung(!) und Erklärung des Zustandekommens [http://www.nw-news.de/owl/8245363\\_Strassenschaeden\\_durch\\_Frost\\_kosten\\_Milliarden.html?set\\_style=2](http://www.nw-news.de/owl/8245363_Strassenschaeden_durch_Frost_kosten_Milliarden.html?set_style=2)

oder

<http://www.wz-newsline.de/lokales/wuppertal/strassenschaeden-durch-frost-flickschusterei-im-gros-sen-stil-1.1239929>

### Worum geht es physikalisch?

Insbesondere der erste Artikel beschäftigt sich nicht nur mit den immensen und kostenintensiven Schäden, die jährlich im Straßennetz entstehen, sondern auch mit einer einfachen Erklärung „Wie Schlaglöcher entstehen“ mit bildlicher Unterstützung der Darstellung der Vorgänge.

Physikalisch ist die Anomalie von Wasser hier von besonderer Bedeutung. Durch rissigen Asphalt gelangt Wasser unter die Fahrbahndecke, welches nicht abfließen kann. Das Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus (Anomalie von Wasser) und die Fahrbahndecke wölbt sich dadurch nach oben. Bei steigenden Temperaturen bleibt ein Hohlraum zurück, der bei Belastung durch einen Pkw einbricht - ein Schlagloch entsteht.

Methodisch wäre es interessant, sowohl den Artikel als auch die Bilder **ohne Erklärung** vorzugeben und eine entsprechende Erklärung von den Schülerinnen und Schülern anfertigen zu lassen. Alternativ kann man die Erklärungskästen als Puzzle zuordnen lassen oder die Erklärungskästen in falscher Reihenfolge vorgeben und berichtigen lassen. Die richtige Verbalisierung könnte dann als Merktexzt zugrunde gelegt werden.

Hausaufgabe könnte sein, noch einmal zu erklären, wieso das Verhalten von Wasser mit Blick auf Sequenz 1 als anomales Verhalten bezeichnet werden kann.

### Wo tritt der Effekt noch auf?

<p><i>HR_Ph_TF3_UG1_S3_Winterfrost_AB</i></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 40%; text-align: center;">Arbeitsblatt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <b>Folgen eines Winterfrostes</b> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p style="font-size: small;">Das Verhalten von Wasser bei Temperaturveränderungen spielt nicht nur bei Schlaglöchern eine entscheidene Rolle. Analysiert in Gruppenarbeit die vorliegenden Fotos und formuliert schriftlich den Einfluss und die Gefahren tiefer Temperaturen.</p> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>Beispiel A:</p> <hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">   <small>Frostsprengung, Foto: PJA, Buergin</small> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>Beispiel B:</p> <hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">   <small>Frostgare, Foto: PL/Ronny Schwarz</small> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>Beispiel C:</p> <hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/><hr/> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <p style="font-size: x-small;">hier Bild einfügen z. B. unter: <a href="http://www.diy-info.de/files/Post-wasserleitungen-frostschaden.jpg">http://www.diy-info.de/files/Post-wasserleitungen-frostschaden.jpg</a></p> <p style="font-size: x-small;">geplatzte Wasserleitung</p> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: x-small; margin-top: 5px;">Hausaufgabe: Informiert euch genauer im Internet über das Verfahren der Frostsprengung oder der Frostgare!</p> </div>		Arbeitsblatt	<b>Folgen eines Winterfrostes</b>		<p style="font-size: small;">Das Verhalten von Wasser bei Temperaturveränderungen spielt nicht nur bei Schlaglöchern eine entscheidene Rolle. Analysiert in Gruppenarbeit die vorliegenden Fotos und formuliert schriftlich den Einfluss und die Gefahren tiefer Temperaturen.</p>		<p>Beispiel A:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	 <small>Frostsprengung, Foto: PJA, Buergin</small>	<p>Beispiel B:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	 <small>Frostgare, Foto: PL/Ronny Schwarz</small>	<p>Beispiel C:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	<p style="font-size: x-small;">hier Bild einfügen z. B. unter: <a href="http://www.diy-info.de/files/Post-wasserleitungen-frostschaden.jpg">http://www.diy-info.de/files/Post-wasserleitungen-frostschaden.jpg</a></p> <p style="font-size: x-small;">geplatzte Wasserleitung</p>	<p>A: Frostsprengung (zusätzlich Video <a href="http://www.prosieben.de/tv/galileo/videos/100-sekunden-frostsprengung-clip">http://www.prosieben.de/tv/galileo/videos/100-sekunden-frostsprengung-clip</a>)</p> <hr/> <p>B: Frostgare</p> <hr/> <p>C: geplatzte Wasserleitungen</p>
	Arbeitsblatt												
<b>Folgen eines Winterfrostes</b>													
<p style="font-size: small;">Das Verhalten von Wasser bei Temperaturveränderungen spielt nicht nur bei Schlaglöchern eine entscheidene Rolle. Analysiert in Gruppenarbeit die vorliegenden Fotos und formuliert schriftlich den Einfluss und die Gefahren tiefer Temperaturen.</p>													
<p>Beispiel A:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	 <small>Frostsprengung, Foto: PJA, Buergin</small>												
<p>Beispiel B:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	 <small>Frostgare, Foto: PL/Ronny Schwarz</small>												
<p>Beispiel C:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	<p style="font-size: x-small;">hier Bild einfügen z. B. unter: <a href="http://www.diy-info.de/files/Post-wasserleitungen-frostschaden.jpg">http://www.diy-info.de/files/Post-wasserleitungen-frostschaden.jpg</a></p> <p style="font-size: x-small;">geplatzte Wasserleitung</p>												

☁	Die Anomalie von Wasser	Arbeitsblatt
<p>a) Kreuze die richtigen Antworten an!</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei 0°C ist größer als das bei 10°C.</li> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei 0°C ist kleiner als das bei 10°C.</li> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei 0°C ist genauso groß wie das bei 10°C.</li> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei 2°C ist größer als das bei 8°C.</li> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei 6°C ist größer als das bei 2°C.</li> <li><input type="radio"/> Wasser bei 2°C benötigt weniger Platz als das bei 4°C.</li> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei -1°C ist größer als das bei 1°C.</li> <li><input type="radio"/> Das Wasservolumen bei -1°C ist kleiner als das bei 1°C.</li> </ul> <p>b) Zeichne außerdem in das Diagramm einen zweiten Graphen für Alkohol ein und begründe, warum Alkohol im aufgetragenen Temperaturbereich für ein Thermometer besser geeignet ist als Wasser!</p> <p>c) Wir haben in der ersten Sequenz erklärt, dass ein erhitzter Körper beim Erwärmen nicht schwerer wird.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkläre den Abkühlvorgang von 4°C auf 0°C im Teilchenmodell und nimm Bezug zum Graphen!</li> <li>• Erkläre, was daraus für die Dichte von Wasser bei 1°C verglichen mit Wasser der Temperatur 5°C folgt!</li> </ul> <p>d) Ergänze den Merksatz: Wasser benötigt am meisten Platz bei _____°C. Da es nicht schwerer wird, wenn es sich ausdehnt, ist die Dichte bei dieser Temperatur am _____.</p> <p>Das bedeutet für Wasser:</p> <p>Dichte bei 1°C &lt; Dichte bei 2°C _____ Dichte bei 3°C _____ Dichte bei 4°C _____ Dichte bei 5°C _____ Dichte bei 6°C.</p> <p>Man spricht deshalb auch von einer Dichteanomalie.</p>		

e) Trage in die gezeichnete Skizze eines herbstlichen Sees, dessen Höchsttemperatur 6°C und Tiefsttemperatur 2°C beträgt, die Temperaturen 2°C, 4°C, 6°C ein.

Du kannst dir zu Hause auch eine Animation anschauen, die zeigt, wie sich der Temperaturverlauf im Wandel der Jahreszeiten verändert.

<http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/10/waerme/temperatur/anomalie.htm>

f) Überlege, wie der Graph für negative Temperaturen weiter gehen müsste. Suche nach Beispielen oder Experimenten, die deine Vermutung bestätigen!

**Hausaufgabe:**

Fülle eine Einwegplastikflasche (dünn) mit Leitungswasser randvoll und verschließe sie. Packe die volle Flasche in eine Plastiktüte und knote sie fest zu. Stelle sie in den Gefrierschrank und lass alles über Nacht darin stehen. Schau erst am anderen Tag nach, ob sich etwas verändert hat. Schreibe dann deine Beobachtung in dein Heft auf und erkläre sie mit Bezug zum obigen Diagramm!

HR\_Ph\_TF3\_UG1\_S3\_Anomalie\_AB

Die Aufgaben des Arbeitsblattes sind vielfältig, so dass man leicht eine passende Auswahl treffen kann. Es geht prinzipiell um das Lesen und Anwenden des vorgegebenen Diagramms. Methodisch startet das Arbeitsblatt mit einem Multiple-Choice-Test, den man kürzen oder sprachlich, wie an einer Stelle geschehen, einfacher gestalten kann. Man könnte ihn aber auch um Items erweitern, die ohne nähere Erläuterung auf den Dichtebegriff abzielen. Aufgaben c) und d) erst lenken zum Dichtebegriff hin und finden in Aufgabe e) eine Anwendung, die durch eine Animation im Internet erweitert werden kann. In Aufgabe b) wird ein Rückbezug zu Sequenz 1 gezogen (Animation ist auch hier – genau wie in Aufgabe e) – möglich unter <http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/10/waerme/temperatur/anomalie.htm>).

Auch in der Hausaufgabe ist ein Rückbezug zu Sequenz 1 möglich. Die Hausaufgabe schließt auch Sequenz 3 ab, denn durch die Volumenänderung und die Aggregatzustandsänderung hat man die Laborbestätigung für die Phänomene zu Arbeitsblatt 1 und den Schlaglöchern. Das dazugehörige Protokoll lässt sich zur Leistungsfeststellung nutzen.

Natürlich hat man alternativ die Möglichkeit, mit einem Experiment, das den Wechsel des Aggregatzustandes beinhaltet, zu beginnen. Davon ausgehend kann das Verhalten von Wasser bei Temperaturen über 0 °C untersucht werden.

Methodische Vielfalt ist beim Arbeitsblatt ebenfalls Gestaltungsmerkmal.

Schülerinnen und Schüler sollen ...

- ... den Graphen lesen,
- ... Sachverhalte begründen und erklären,
- ... Werte in ein vorgegebenes Diagramm einzeichnen und Wissen graphisch umsetzen,
- ... auf eine Beziehung zwischen Volumenänderung und Dichteänderung schließen,
- ... nach Anleitung zu Hause experimentieren,
- ... ein Experiment deuten,
- ... vorgegebene Werte in eine Schemazeichnung eintragen,
- ... neue mit bereits gelernten Erkenntnissen verknüpfen.

UG1 „Unterwegs auf unseren Fahrbahnen“ – Sequenz 3: Späte Spuren eines Winterfrostes					
fachliche Schwerpunkte: Anomalie von Wasser					
Lerneinheit (Stunden)	Kompetenz Schülerinnen und Schüler...	Konzeptbezogenes Fachwissen	Lernprodukt	Differenzierung	Material
<b>Schlaglöcher als späte Folgen eines Winterfrostes</b> (1. Stunde)	<ul style="list-style-type: none"> <li>... kommunizieren zu gesellschaftlich relevanten Themen insbesondere unter physikalischen Gesichtspunkten.</li> <li>... formulieren einen Merktext in Fachsprache.</li> <li>... erklären ein Fachwort mit Bezug zu Sequenz 1.</li> <li>... vergleichen das Verhalten einer Flüssigkeit mit dem anderer Flüssigkeiten.</li> </ul>	<p>Durch rissigen Asphalt dringt Wasser unter die Fahrbahndecke, das nicht abfließen kann. Das Wasser dehnt sich beim Gefrieren (Anomalie von Wasser) aus und die Fahrbahndecke wölbt sich nach oben. Bei steigenden Temperaturen bleibt ein Hohlraum zurück, der bei Belastung durch einen Pkw einbricht und ein Schlagloch verursacht.</p>	<p>Evtl. gepuzzelter Merktext</p>	<p>Siehe Hinweise zur Umsetzung von Bild in Text</p>	<p><a href="http://www.nw-news.de/owl/8245363-Strassenschaeden_durch_Frost_kosten_Milliarden.html?set_style=2">http://www.nw-news.de/owl/8245363-Strassenschaeden_durch_Frost_kosten_Milliarden.html?set_style=2</a></p> <p><a href="http://www.wz-newsline.de/lo-kales/wuppertal/strassenschaeden-durch-frost-flickschusterei-im-grossen-stil-1.1239929">http://www.wz-newsline.de/lo-kales/wuppertal/strassenschaeden-durch-frost-flickschusterei-im-grossen-stil-1.1239929</a></p>
<b>Weitere Auswirkungen der Anomalie von Wasser</b> (2. Stunde)	<ul style="list-style-type: none"> <li>... übertragen das physikalische Phänomen auf andere Beispiele.</li> <li>... arbeiten in Gruppen.</li> <li>... präsentieren sich gegenseitig ihre Ergebnisse.</li> </ul>	<p>Ähnliche Phänomene findet man bei der Frostsprengung, der Frostgare oder geplatzen Wasserleitungen.</p>	<p>Arbeitsblatt</p>	<p>Zusammensetzung der Gruppe Zuordnung zu den Beispielen</p>	<p>Video zur Frostsprengung <a href="http://www.prosieben.de/tv/galileo/videos/100-sekunden-frostsprengung-clip">http://www.prosieben.de/tv/galileo/videos/100-sekunden-frostsprengung-clip</a></p>
<b>Vertiefung</b> (3. Stunde)	<ul style="list-style-type: none"> <li>... lesen und interpretieren ein Diagramm.</li> <li>... begründen Sachverhalte.</li> <li>... führen Schülerexperimente zum Verhalten von Wasser durch.</li> <li>... erklären ein Experiment schriftlich mit Bezug zum Diagramm.</li> <li>... schließen auf eine Beziehung zwischen Volumenänderung und Dichteänderung.</li> </ul>	<p>Volumen und Dichte von Wasser verändern sich mit der Temperatur. Wasser hat das kleinste Volumen und die größte Dichte bei 4 °C. Dieses Verhalten weicht stark von dem anderer Flüssigkeiten ab. Das Fachwort dafür lautet Anomalie.</p>	<p>Ausgefülltes Arbeitsblatt Experiment zu Hause</p>	<p>Auswahl bei Arbeitsblatt</p>	<p>Arbeitsblatt Experiment zu Hause <a href="http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/10/waerme/temperatur/anomalie.htm">http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/10/waerme/temperatur/anomalie.htm</a></p>

## 2.2 Unterrichtsgang 2 – Bausteine für den individuellen Kontext

Anders als UG 1 steht dieser Unterrichtsgang unter keinem konkreten lebensweltlichen Kontext. Vorschläge dafür finden sich z. B. auf der zweiten Seite der Themenfeld-Doppelseite des Lehrplans (siehe auch Seite 5). Die vorgestellten Bausteine innerfachlicher Kontexte und die Materialien lassen sich auf jeden entsprechenden lebensweltlichen Kontext anwenden.

TF 3	Baustein	Fachlicher Schwerpunkt	Tätigkeiten/Lernprodukte
UG 2 Bausteine für individuelle Kontexte	B 1: „Kleine Effekte sichtbar machen“ – Arbeiten wie die Wissenschaftler	Thermometer, thermische Ausdehnung, geschicktes Experimentieren (5 Unterrichtsstunden)	AA Experimentieren zu thermischer Ausdehnung (Dokumentation, Skizze, Präsentation)
	B 2: Wärmeausdehnung in Natur und Alltag	Bedeutung und Nutzung thermischer Ausdehnung (2 Unterrichtsstunden)	* ** Gestaltung einer Themenseite (Arbeitsblatt)
	B 3: Keine Regel ohne Ausnahmen	Teilchenmodell und seine Grenzen (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Darstellung der Ausdehnung mit dem einfachen Teilchenmodell (Skizze, Text)</li> <li>● Grenzen des Modells begründen (Dokumentation/Präsentation)</li> </ul>

Die Schülerexperimente, die in den Bausteinen beschrieben sind, bergen verschiedenste experimentelle Gefahren, auf welche die Schülerinnen und Schüler in geeigneter Art hingewiesen werden müssen. Eine zuvor erstellte Gefährdungsbeurteilung hilft, die entsprechenden Risiken einzuschätzen und beugt durch geeignete Maßnahmen vor (z. B. sollte hier auf feuerfesten Unterlagen gearbeitet werden).

### Bemerkungen zu Baustein 1:

Zu Beginn des Bausteins werden die Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler, die sie im NaWi-Unterricht im Rahmen des Themenfeldes 1 erworben haben, reaktiviert. Im Sinne eines kompetenzorientierten Unterrichts und unter Berücksichtigung des konstruktivistischen Denkansatzes ist es günstig, an dieser Stelle das (vermeintliche) Vorwissen sowie mögliche Fragen der Schülerinnen und Schüler zu sammeln und festzuhalten. Als reaktivierende Lernanlässe können eignen sich z. B. die Demonstration der Funktion eines Flüssigkeitsthermometers, die Demonstrationsexperimente Kugel-Ring-Versuch sowie Gasthermometer. Am Ende der Sequenz kann rückblickend darauf der Lernzugewinn festgehalten werden. Möchte man zwischendurch ein ‚Grundwissen‘, auf dem die weitere Einheit aufbaut, für alle festhalten, empfiehlt sich das Notieren eines Merkstoffes zum (vorerst regelgerechten) Ausdehnungsverhalten von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen, wie er in allen gängigen Schulbüchern enthalten ist (z. B. Fokus Physik, S. 222).

In der darauf folgenden Stunde beginnt die Phase, in der die Entwicklung der Experimentierkompetenzen der Schülerinnen und Schüler im Fokus steht. Es geht um die Planung, Durchführung Optimierung und Präsentation eines Experimentes zur Längenausdehnung. Dazu wird die Klasse in Gruppen (je nach schulischen Voraussetzungen z. B. 6er Gruppen) eingeteilt, die sich jeweils mit dem Arbeitsauftrag auseinandersetzen sollen, der wie folgt aussehen könnte:

Plant ein Experiment, mit dem ihr nachweisen könnt, dass sich Luft (bzw. Wasser, Stricknadel/Fahrradspeiche) ausdehnt. Optimiert es so, dass der Effekt der Ausdehnung möglichst gut sichtbar wird.

Dokumentiert zuerst eure Idee in einer Skizze und erstellt dann eine Materialliste.

Hier geht es um das intensive Überlegen und Vorbereiten der Experimentierphase. Bei Bedarf können als Hilfe zur Vorbereitung unter anderem Einzelseiten aus Schulbüchern empfohlen werden, wie z. B. aus Erlebnis Physik S. 204, S. 210f., S. 216.



*Ausdehnung bei Flüssigkeiten und Gasen, Fotos: Lutz Rosenhagen*

In den nächsten Stunden steht das Durchführen des Experimentes im Vordergrund. Da die zu beobachtenden Effekte sehr klein ausfallen, eignen sich Längenausdehnungsexperimente besonders gut, um Optimierungsmöglichkeiten zu thematisieren. Der gestaffelte Arbeitsauftrag für die etwa zweistündige Arbeitsphase könnte z. B. folgendermaßen formuliert sein:

**1. Phase**

Baut den Versuch auf, führt ihn durch und erstellt ein Protokoll. Überlegt euch dann, wie ihr den Versuch optimieren könnt, damit die Ausdehnung besser sichtbar wird und erstellt eine neue Materialliste.

**2. Phase**

Baut den neuen Versuch auf, führt ihn durch und erstellt ein Protokoll. Bereitet die Präsentation eures Versuches vor. Tauscht euch mit anderen Schülerinnen und Schülern aus, die denselben Versuch geplant haben.

Da das Protokollieren schon während der vorangegangenen Themenfelder trainiert worden ist, können die Protokolle der Experimentierphase gegebenenfalls für eine erste Leistungsbewertung heran gezogen werden.

Die eigentliche Leistungsbewertung erfolgt im Rahmen der Präsentationen der Experimentiergruppen. Dazu sollte in der Klasse vorher eine klare Anforderungsklärung erfolgen, um die Bewertungskriterien transparent zu machen.

Unterrichtsgang – Bausteine für individuelle Kontexte <b>Baustein 1: „Kleine Effekte sichtbar machen“ – Arbeiten wie die Wissenschaftler</b>	
<b>LE: Wiederholung und Impulssetzung</b> (1 Unterrichtsstunde) Einstieg in die thermischen Ausdehnungsphänomene, Demonstrationsexperimente: Bolzensprenger, Kugel-Ring-Versuch, Gasthermometer	
<b>Kompetenz</b> Schülerinnen und Schüler ...  ... verknüpfen Vorwissen und entwickeln Erklärung aufgrund vorhandener Präkonzepte.  ... dokumentieren Experimente.	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b> Funktion eines Flüssigkeitsthermometers Thermische Ausdehnung
<b>Lernprodukt</b> Dokumentation eines Experimentes	<b>Differenzierung</b> nach Bedarf über - Methoden - Hilfen - Schwierigkeit des Experimentes - vorstrukturierte Dokumentation - ...
<b>Materialien und Literatur</b> Merkstoff aus vorhandenen Schulbüchern (Ausdehnung fester, flüssiger und gasförmiger Körper, Zusammenhang Temperaturänderung – Volumenänderung, Materialabhängigkeit, Besonderheiten)	

Unterrichtsgang – Bausteine für individuelle Kontexte  
**Baustein 1: „Kleine Effekte sichtbar machen“ – Arbeiten wie die Wissenschaftler**

**LE: Gruppenexperiment** (4 Unterrichtsstunden)

Planung, Durchführung Optimierung und Präsentation eines Experimentes, Bewertung

**Kompetenz**

Schülerinnen und Schüler ...

... planen einfache Experimente zur temperaturabhängigen Volumen- bzw. Längenänderung bei Körpern, führen sie durch und dokumentieren ihre Ergebnisse.

... entwickeln Strategien zum Sichtbarmachen kleiner Effekte.

... präsentieren ihre Vorgehensweise und ihre Ergebnisse.

**Konzeptbezogenes Fachwissen**

Geschickte experimentelle Techniken und sorgfältiges Arbeiten ermöglichen das Sichtbarmachen kleinster Effekte.

**Lernprodukt**

Versuchstagebuch  
 Dokumentation in Form eines Protokolls  
 Präsentation (Plakat, Bildschirmpräsentation, Textdokument o. Ä.)

**Differenzierung**

- Gruppen nach Neigung, Aggregatzustand...
- einfache je-desto-Aussagen
- Erstellen von Messwerttabellen (kalibriert/unkalibriert)
- Darstellung in Diagrammen
- Mathematisierung  $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$
- wenn Präsentationserstellung bereits fertig: Bimetallstreifen untersuchen und dazu Erklärung finden

**Materialien und Literatur**

Eingeführte Schulbücher als Hilfe,  
 z. B. Erlebnis Physik (S. 204, 210 f., 216)

**AA Ausdehnung bei Erwärmung Arbeitsblatt**

1. Bimetallstreifen bestehen aus verschiedenen Metallen. Zeichne bei den drei Beispielen ein, in welche Richtung sich der jeweilige Bimetallstreifen verbiegt und begründe.

2. Ein Bimetallstreifen aus Aluminium und Zink soll sich beim Erwärmen nach unten biegen. Wie müssen die beiden Materialien angeordnet sein? Zeichne auf und begründe.

3. Das rechts dargestellte Diagramm bezieht sich auf einen Aluminiumstab und auf einen Stahlstab. Beide sind jeweils 1 m lang.

a) Formuliere den Zusammenhang zwischen der Längenänderung und der Temperaturänderung als Proportionalität und als Satz.

b) Fülle die Tabelle mit Hilfe des Diagramms.

Material	Längenänderung	Temperaturänderung
Stahl		80 K
Aluminium	1,5 mm	40 K

4. Der lineare Ausdehnungskoeffizient einer Stahlegierung, die für auch für Hochspannungslösungen verwendet wird, beträgt  $0,00018 \text{ 1/K}$ . Berechne für verschiedene Temperaturänderungen jeweils die Längenänderung für ein 100 m langes Stück der Leitung. Trage die Ergebnisse in eine Tabelle ein und zeichne das dazugehörige  $\Delta l$ - $\Delta T$ -Diagramm.

*HR\_Ph\_TF3\_UG2\_B1\_Ausdehnung\_AB*





### **Bemerkungen zu Baustein 3:**

Baustein 3 widmet sich dem Teilchenmodell und seinen Grenzen. Er umfasst je nach Ausweitung 3-4 Unterrichtsstunden.

Anfangs wird das Verhalten verschiedener Körper/Stoffe bei Temperaturänderung unter Nutzung des Teilchenmodells, das bereits in NaWi kennengelernt wurde, beschrieben. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten dazu gemeinsam die vorgegebenen Arbeitsblätter. Gerade die Tabelle zum Teilchenmodell ließe sich leicht abgewandelt später auch als Begriffsnetz, ggf. mit Lücken einsetzen, um den Verständnisgrad der Schülerinnen und Schüler zu prüfen.

Eine gute Möglichkeit, die Teilchenbewegung bei Erwärmung zu verbildlichen ist das Darstellen mit der Klasse. Ein Beispielvideo, in dem das naturwissenschaftliche Teilchenmodell durch Schülerinnen und Schüler des Kurfürst-Balduin-Gymnasiums Münstermaifeld dargestellt wurde, findet man unter <https://www.youtube.com/watch?v=46l3S4qSDDM>.

Nachdem das „Regel konforme“ Verhalten von Körpern bei Temperaturerhöhung erklärt und dargestellt wurde, werden in der darauffolgenden Stunde die abweichenden Phänomene in den Blick genommen. Dazu können gegenüberstellend in vollen Teelichtbehältern abgekühltes Wachs und gefrorenes Wasser betrachtet und als Demonstrationsexperiment (bzw. als Film) die Erwärmung eines Gummiseiles gezeigt werden. Dabei werden die Grenzen des bis dahin bekannten Teilchenmodells deutlich erkennbar und müssen thematisiert werden.

Daran anschließend kann das Arbeitsblatt mit Aufgaben zur Anomalie des Wassers eingesetzt werden. Nach einer abschließenden Besprechung und Wiederholung bietet sich Gelegenheit für einen 10-Stunden Test zu den Phänomenen der thermischen Ausdehnung.

Für eine Vertiefung innerhalb des Unterrichtsganges eignen sich sowohl das Abschätzen und anschließende Berechnen verschiedener Längenänderungsphänomene als auch das vertiefte Experimentieren mit einem langen Draht und vielen darunter platzierten Teelichtern.

Unterrichtsgang – Bausteine für individuelle Kontexte  
**Baustein 3: Keine Regel ohne Ausnahmen**

**LE: Teilchenmodell** (1 Unterrichtsstunde) optional: **Erweiterung des Modells (+1)**  
 Darstellung der Ausdehnung mit dem einfachen Teilchenmodell

**Kompetenz**

Schülerinnen und Schüler ...

... beschreiben an alltäglichen Beispielen das Verhalten von Stoffen bei Temperaturänderung unter Nutzung des Teilchenmodells.

**Konzeptbezogenes Fachwissen**

- Aggregatzustand
- Teilchen, Teilchenmodell, Temperatur
- Stoffe bestehen aus Teilchen, die miteinander wechselwirken.

Optional:

- Kelvinskala
- Differenziertes Teilchenmodell

**Lernprodukt**

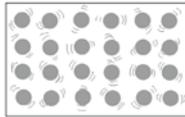
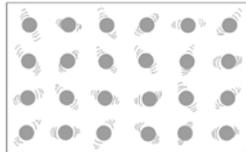
Skizze und/oder Text zur thermischen Ausdehnung

**Differenzierung**

Simulationen  
 Gasthermometer

**Materialien und Literatur**

Simulationen bei PhET  
 Youtube (Teilchenmodell)  
 Arbeitsblatt

●	Ausdehnung bei Erwärmung	Arbeitsblatt	
Im Alltag treten häufig Längenänderungen fester Körper bei Temperaturänderungen auf. Entscheide, ob die Längenänderung erwünscht oder unerwünscht ist. Mit welchen Maßnahmen können Schäden vermieden werden? Ergänze zwei weitere Beispiele.			
Beispiel	erwünscht?	unerwünscht?	Maßnahme
lange Rohrleitung			
Eisenbahnschienen			
Bimetall-Thermometer			
Freileitungen			
Fensterscheiben			
Mit Hilfe des Teilchenmodells, das schon aus NaWi bekannt ist, kann man die <b>Ausdehnung von Körpern</b> erklären:			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Erwärmung eines Körpers führt zu schnellerer Teilchenbewegung und auch zu häufigeren und kräftigeren Wechselwirkungen zwischen ihnen.</li> <li>• Als Folge vergrößert sich der (mittlere) Abstand zwischen den Teilchen. Also dehnt sich der Körper aus.</li> <li>• Eigentlich dehnt sich der Körper in alle Raumrichtungen aus. Bei länglichen Festkörpern wirkt sich diese Ausdehnung aber hauptsächlich in die Längsrichtung aus.</li> </ul>	
			

HR\_Ph\_TF3\_UG2\_B3\_TeilchenAusdehn\_AB

Unterrichtsgang – Bausteine für individuelle Kontexte

**Baustein 3: Keine Regel ohne Ausnahmen**

**LE: Grenzen des Teilchenmodells – Anomalien bei Wasser, Wachs und Gummi; schriftlicher Leistungsnachweis** (2 Unterrichtsstunden)

Nicht alle Stoffe verhalten sich „normal“ – Modelle haben Grenzen.

**Kompetenz**

Schülerinnen und Schüler ...

... begründen an geeigneten Beispielen, dass das einfache Teilchenmodell Grenzen hat.

**Konzeptbezogenes Fachwissen**

- Grenzen der Modellvorstellung

**Lernprodukt**

Dokumentation/Präsentation

**Differenzierung**

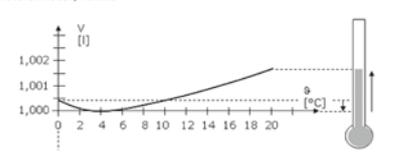
Demonstrations- oder Schülerexperimente

**Materialien und Literatur**

Arbeitsblatt: *HR\_Ph\_TF3\_UG2\_B3\_TempTeilchen\_AB*

Differenzierter Test:

*HR\_Ph\_TF3\_UG2\_B3\_AusdehnTeil\_Test*

	Teilchenmodell und Temperatur	Arbeitsblatt								
1.	Erläutere mit Hilfe des Teilchenmodells den Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der Bewegung seiner Teilchen. Gehe auch auf den absoluten Nullpunkt ein.	..... ..... ..... .....								
2.	Ergänze die fehlenden Temperaturangaben.	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">Celsius-Skala</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Kelvin-Skala</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </table>	Celsius-Skala	0	100		Kelvin-Skala			0
Celsius-Skala	0	100								
Kelvin-Skala			0							
3.	Beschreibe mit Hilfe der Abbildung die Anomalie des Wassers. Zeichne außerdem in das Diagramm einen zweiten Graphen für eine Flüssigkeit, die sich „normal“, d.h. nach dem Teilchenmodell, verhält.	 ..... ..... .....								

	Ausdehnung von Körpern im Teilchenmodell	Test				
1.	Notiere die drei Grundaussagen des Teilchenmodells.	..... .....				
2.	Wie kann man sich mit Hilfe des Teilchenmodells die Ausdehnung eines Körpers vorstellen? Stelle dies anhand zweier Skizzen eines quaderförmigen festen Körpers dar.	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">kalt</td> <td style="text-align: center;">heiß</td> </tr> <tr> <td style="height: 50px;"></td> <td style="height: 50px;"></td> </tr> </table>	kalt	heiß		
kalt	heiß					
3. G	Erläutere ein Experiment, mit dem man zeigen kann, dass sich Gummi beim Erhitzen anders verhält als die meisten Stoffe. (zusätzlich evtl. beschriftete Skizze auf der Rückseite)	..... ..... .....				
4. E	Erläutere mit Hilfe des Teilchenmodells den Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der Bewegung seiner Teilchen. Gehe auch auf den absoluten Nullpunkt ein.	..... ..... .....				
5. E	Beschreibe mit Hilfe der Abbildung die Anomalie des Wassers. Zeichne außerdem in das Diagramm farbige einen zweiten Graphen für eine beliebige Flüssigkeit ein, die sich „normal“, d.h. nach dem Teilchenmodell, verhält.	 ..... ..... .....				

# 3. GLOSSAR AUSGEWÄHLTER METHODEN

## Concept-Cartoon

Concept-Cartoons sind einfach, schnell und effektiv einzusetzen. Sie dienen dazu, sich auf ein Thema einzulassen, das Denken zu fördern und Diskussionen zu provozieren. Concept-Cartoons problematisieren Konzepte und geben Lernimpulse. Mit einem Concept-Cartoon z. B. zu Modellen oder Vorstellungen lassen sich engagierte Diskussionen provozieren und Schülerinnen und Schüler dazu anregen, mehr über das zentrale Problem erfahren zu wollen.

Dabei wird im Concept-Cartoon eine zentrale Frage oder ein Problem aufgeworfen und von verschiedenen Charakteren (bewährt haben sich 3 bis 4) in Form von Sprechblasen beantwortet. Eine zusätzliche Sprechblase bleibt frei und symbolisiert die eigenen Überlegungen.

Concept-Cartoons eignen sich ausgezeichnet dazu, Präkonzepte zu ermitteln oder Fehlvorstellungen zu erkennen und damit einen an den Vorstellungen der Lernenden orientierten Unterricht zu generieren. Durch Anpassen der Formulierungen in den Sprechblasen an das Sprachvermögen der Schülerinnen und Schüler eignen sich Concept-Cartoons auch sehr gut zur Differenzierung.



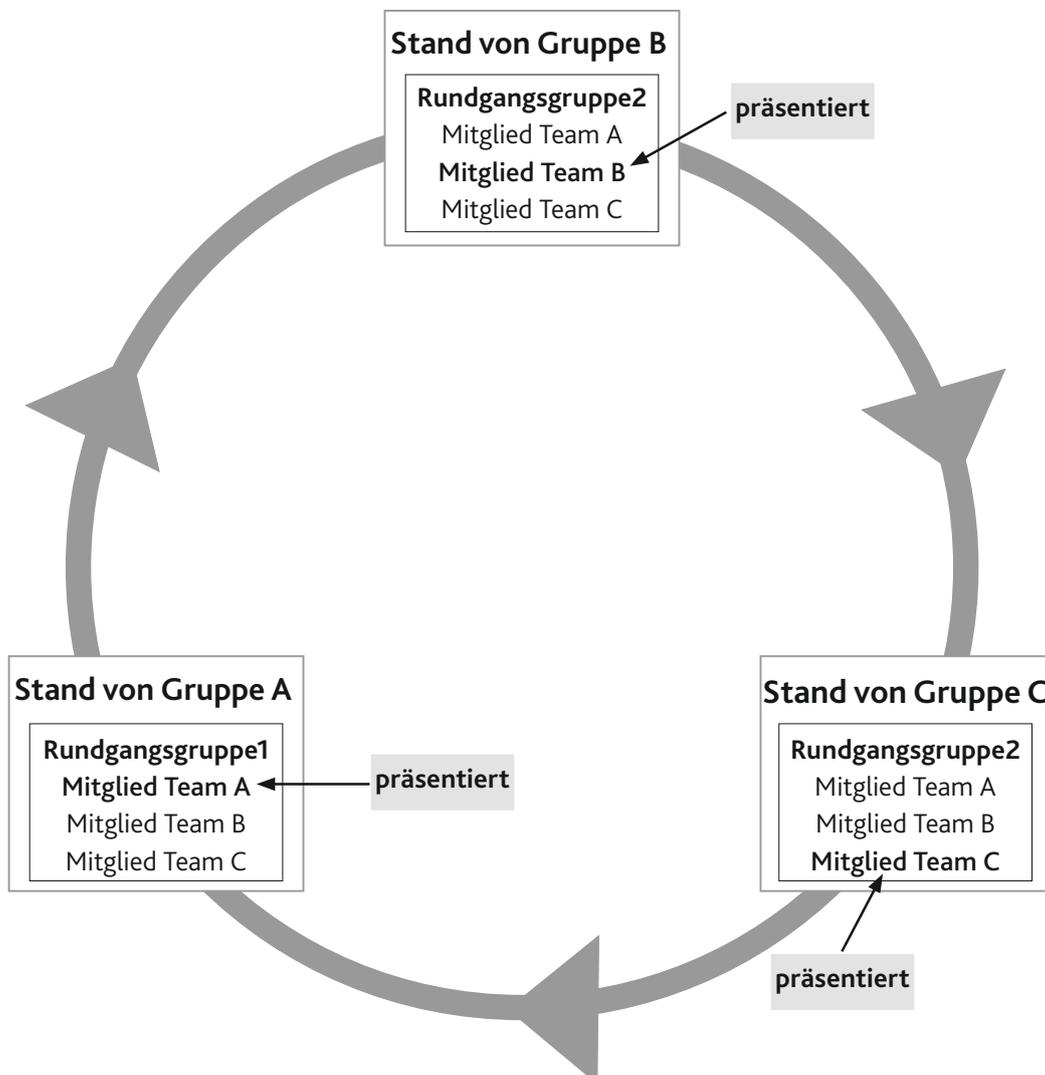
*HR\_Ph\_TF3\_Glossar\_Cartoon*

### Galerie/Museumsrundgang

Diese Form der Präsentation lässt sich gut im Anschluss an eine Gruppenarbeitsphase zu unterschiedlichen Themen bzw. Inhalten einsetzen. Dabei erfahren die Schülerinnen und Schüler in neu zusammengestellten Gruppen (oder auch alleine) die Arbeiten und Lernprodukte der anderen Arbeitsgruppen und setzen sich mit deren bearbeiteten Inhalten und Erfahrungen auseinander.

Jede Arbeitsgruppe bekommt einen Ort z. B. im Klassenraum zugeordnet, an dem sie ihre Ergebnisse präsentiert. Die Klasse wird nun gruppengemischt neu aufgeteilt, so dass in jeder Rundgangsgruppe mindestens ein Mitglied jeder Arbeitsgruppe enthalten ist. Die Rundgangsgruppen besuchen nacheinander die Stationen bzw. Ausstellungen der einzelnen Arbeitsgruppen. Dort bekommen sie vom jeweiligen Arbeitsgruppenmitglied ihrer Rundgangsgruppe als jeweiligem Spezialisten die Station erklärt und können Fragen stellen.

Diese Methode lässt sich z. B. einsetzen als Zusammenfassung der Ausdehnungsexperimente in UG 2 zu den unterschiedlichen Aggregatzuständen.



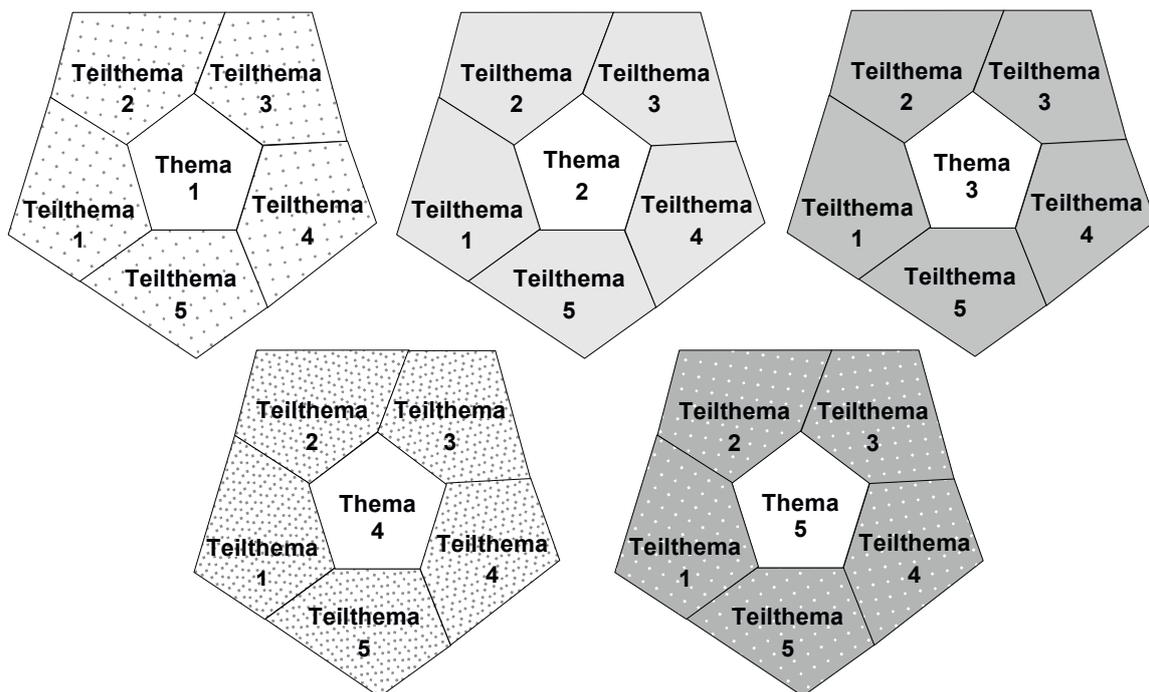
Beispiel für einen Museumsrundgang bei 3 Arbeitsgruppen mit je drei Mitgliedern

## Gruppenpuzzle

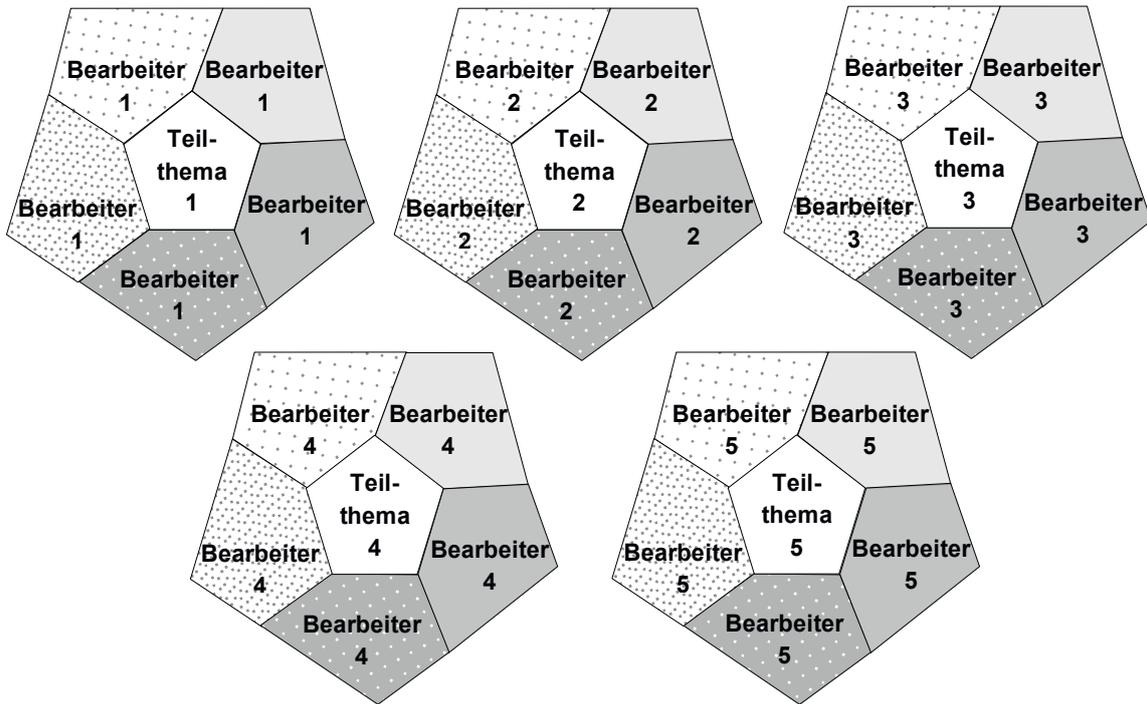
Für diese Form der Gruppenarbeit benötigt man eine Einteilung, in der die Anzahl der Gruppen idealerweise mit der jeweiligen Anzahl der Gruppenmitglieder übereinstimmen sollte. In jeder Gruppe wird das gleiche Thema bearbeitet, allerdings beschäftigt sich jedes Gruppenmitglied während der Arbeitsphase als „Experte“ mit einem anderen Teilthema. Nach dieser Arbeitsphase tauschen sich gruppenübergreifend die Expertinnen und Experten zum Teilthema aus. Dabei vertiefen sie ihr Expertenwissen, korrigieren und erweitern es. Mit diesem vertieften Kenntnisstand geht es zurück in die ursprüngliche Gruppe, wo er den anderen Teammitgliedern präsentiert wird. Die „Laien“ hören dabei zu, stellen Fragen und diskutieren mit der Expertin/dem Experten, um sich das Spezialgebiet ebenfalls anzueignen. Auf diese Weise wird die Gruppe selbstständig mit dem Gesamtthema vertraut, so dass am Ende auch von allen Schülerinnen und Schülern das gesamte Thema abgeprüft werden kann.

Das Gruppenpuzzle lässt sich beispielsweise zur Bearbeitung der Aufgaben zur Längenausdehnung in UG 2 einsetzen. Dabei würden die Aufgaben gleichartig auf die Gruppenmitglieder verteilt, so dass sich beispielsweise Experten für die Aufgaben 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6 usw. herausbilden, die sich untereinander ergänzen und dann mit den anderen Aufgabenexpertinnen und -experten austauschen.

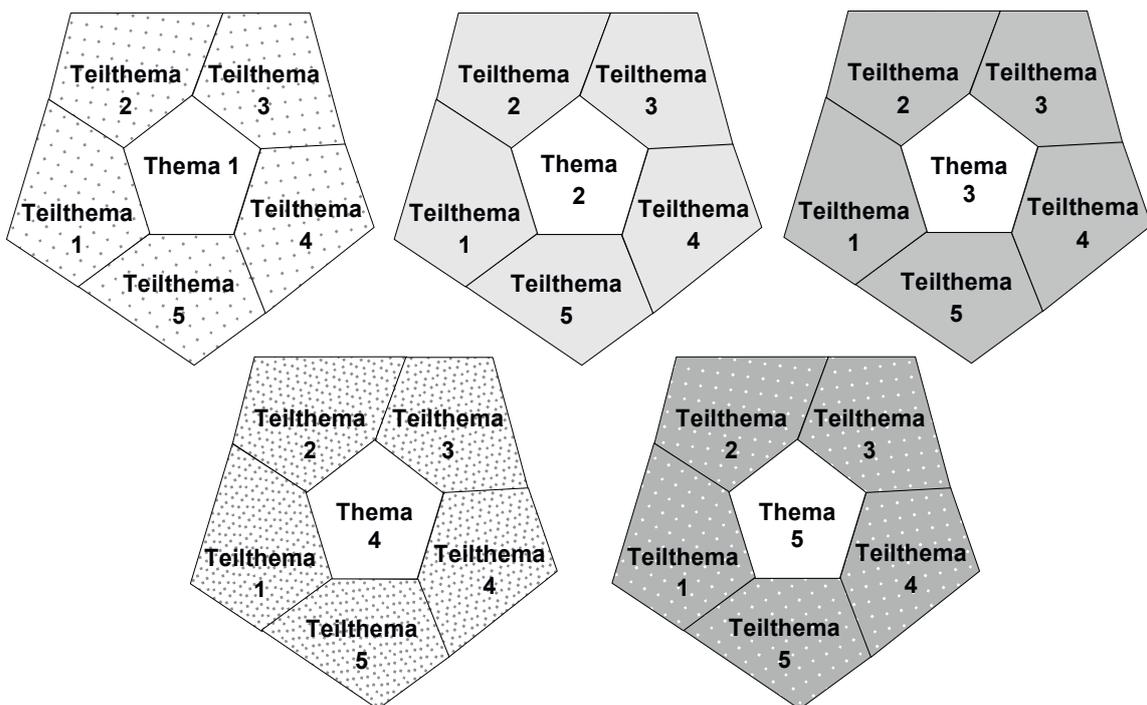
### Phase 1



Phase 2



Phase 3



## Literatur

Anne Beerenwinkel, Ilka Parchmann, Cornelia Gräsel: Chemieschulbücher in der Unterrichtsplanung – Welche Bedeutung haben Schülervorstellungen? In CHEMKON 14, (2007)

## **Autorinnen und Autoren**

### **Norbert Ames**

Staatliches Eifel-Gymnasium Neuerburg

### **Esther Braun**

Integrierte Gesamtschule Nieder-Olm

### **Martin Buchhold**

Kurfürst-Balduin-Gymnasium Münstermaifeld

### **Andrea Bürgin**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

### **Silvia Casado-Schneider**

Realschule plus Mainz-Lerchenberg

### **Wolfgang Heuper**

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien Koblenz

### **Tobias Jung**

Gymnasium Nieder-Olm

### **Cordula Mauch**

Peter-Joerres-Gymnasium Ahrweiler

### **Markus Monnerjahn**

Gutenberg-Gymnasium Mainz

### **Monika Nikolaus**

Sickingen-Gymnasium Landstuhl

### **Lutz Rosenhagen**

Integrierte Gesamtschule Ernst Bloch Ludwigshafen

### **Beate Tölle**

Bischöfliches Angela-Merici-Gymnasium Trier





Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES  
LANDESINSTITUT

Pädagogisches Landesinstitut  
Butenschönstr. 2  
67346 Speyer

[pl@pl.rlp.de](mailto:pl@pl.rlp.de)  
[www.pl.rlp.de](http://www.pl.rlp.de)