



Konstruieren nach dem StartlearnING-Prinzip

-Bau einer Warmhaltebox-

Handreichung für Fachlehrkräfte

I	Technisches Konstruieren im Unterricht	1
II	Konstruieren nach dem StartlearnING-Prinzip	4
III	Ziele der Unterrichtseinheit aus Sicht der Naturwissenschaften	11
IV	Physikalische Grundlagen zur Wärmeenergie	12
V	Kälteschutzmechanismen des Eisbären	15
VI	Experimente zur Wärmeenergie	19
VII	Stundentafel und Unterrichtstabellen	25
VIII	Praxistipps für den Unterricht	36
IX	Beurteilung der Leistungen	37
X	Kopiervorlagen	39
XI	Bestandsliste der Kiste zur Konstruktion einer Warmhaltebox	

Diese Inhalte sowie die Erfinderhefte stehen im Mitgliederbereich zum Download zur Verfügung:

<https://www.startlearning.info/begleitmaterialien-warmhaltebox>

I Technisches Konstruieren im Unterricht

Die Frage ist, was es mit „startlearnING“ auf sich hat. Der Name unseres Projekts versucht das, was wir tun, prägnant zusammenzufassen und setzt sich aus den folgenden Bausteinen zusammen:

- **start:** Das Projekt ist auf allgemeinbildenden Unterricht ab Klasse 3 ausgerichtet. Es findet also bei den „Stärtern“ statt.
- **learn:** Es handelt sich um ein Bildungsprojekt, in dem das Lernen im Vordergrund steht.
- **ING:** Das Projekt orientiert sich an der Arbeitsmethodik von Ingenieuren. Die Schüler*innen tauchen in das systematische Konstruieren und Entwickeln ein.

Konstruieren im Unterricht – Herausforderungen und Chancen

Wenn etwas ohne Bauanleitung oder Musterlösung gebaut werden soll, um ein Problem zu lösen oder ein Bedürfnis zu erfüllen, dann wird konstruiert.

Da es für die meisten Probleme mehr als eine Lösung gibt, ist es absolut wesentlich, unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zuzulassen. Selbst wenn sich die erdachte Lösungsmöglichkeit als Fehler erweist, gilt es diese auszuwerten und das ursprüngliche Konstruktionsvorhaben gegebenenfalls abzuändern. So werden gute Ergebnisse erzielt. Die Fähigkeit, Fehler zu erkennen, zu analysieren und notwendige Änderungen daraus abzuleiten (und umzusetzen), ist ein elementares Lernziel. Es kann nur erreicht werden, wenn die ersten Entwürfe getestet, reflektiert und optimiert werden. Frustrationstoleranz ist dabei essenziell, denn auch die erfahrensten Konstrukteur*innen verbringen mindestens die Hälfte ihrer Arbeitszeit mit diesen Tätigkeiten.

Das Arbeiten ohne genaue Anleitung kann für Schüler*innen ungewohnt oder sogar verunsichernd wirken, weil sie „alles richtig machen“ wollen. Diese Haltung kann zu Hemmungen führen, wenn es darum geht, das Problem anzupacken. Das Arbeiten mit Haushalts- und kostenlosen Verbrauchsmaterialien kann jedoch helfen, die Hemmschwelle zu senken und neue Wege auszuprobieren. Durch die leichte Verfügbarkeit der Materialien kann, unabhängig vom Budget der Schule oder der Schüler*innen, damit gearbeitet werden und Kinder aus allen Gesellschaftsbereichen können auch zu Hause konstruieren.

Eine weitere ungewohnte Komponente ist die Tatsache, dass Schüler*innen möglicherweise gute Lösungen finden, ohne dass Lehrkräfte deren physikalischen Wirkungszusammenhang erklären zu können. Was hier aus naturwissenschaftlicher Perspektive befremdlich anmutet, ist für Ingenieur*innen und auch aus technisch didaktischer Sicht nicht wesentlich, solange die Lösung unter den gegebenen Bedingungen immer zuverlässig funktioniert. Bis heute werden selbst in sehr teuren Maschinen Effekte genutzt, die bisher kein*e Physiker*in umfassend erklären kann. Also sollte man auch im Unterricht davor keine Angst haben. Vielmehr gilt es, dies als Chance zu begreifen: Das Wissen um ein Phänomen kann bereits ausreichen, um Problemstellungen zu lösen.

Diese Besonderheiten führen zu spezifischen Herausforderungen für alle Beteiligten.

Für die Lehrkräfte bestehen die nachfolgenden Herausforderungen:

- Gleichzeitige Betreuung verschiedener Lösungswege (mit absehbaren Fehlschlägen)
- Aufzeigen des Weges zu einer einfachen Lösung bei feinmotorischen Defiziten
- Zulassen von Umwegen und Fehlschlägen und deren konstruktive Auswertung
- Aufgabenstellung ohne Musterlösung
- Bewertung eines Produkts in Bezug auf dessen Funktion und nicht in Bezug auf Ästhetik oder Komplexität
- Führung der Schüler*innen hin zu einem funktionierenden Ergebnis, ohne ihre Begeisterung zu bremsen und ihre Kreativität mehr als nötig einzuschränken
- Unterstützung: so wenig wie möglich und so viel wie nötig

Die Schülerinnen und Schüler stehen vor diesen Herausforderungen:

- Umgang mit vielen Lösungsmöglichkeiten aufgrund der offenen Konstruktionsaufgabe
- Mut etwas zu bauen, was möglicherweise schon beim ersten Funktionstest kaputtgeht
- Erkennen eigener Fehler und Ableitung entsprechender Konsequenzen
- Entwicklung von Ideen ausschließlich anhand von Vorlagen (aus Biologie, Alltag oder der Klasse)
- Aushalten von Frustration bei Fehlversuchen
- Realisierung und Test der notwendigen Funktionen, bevor viel Arbeit in Zusatzfunktionen (etwa Zusatzgadgets oder Verschönerungen) investiert wird

Verknüpfung von Biologie und Technik

Bei startlearnING lernen Schüler*innen technisches Konstruieren auf der Grundlage biologischer Phänomene, die an eine technische Problemstellung aus der Lebenswelt der Schüler*innen gekoppelt werden. Die Verknüpfung von Biologie und Technik ist ein ganz wesentlicher Baustein von startlearnING. Bei der Konstruktion der Warmhaltebox ergänzen wir Technik und Biologie zusätzlich um physikalische Phänomene.

Arbeitsweise beim Konstruieren

Anlehnend an die Arbeitsweise von Ingenieur*innen haben wir eine umsetzbare schüler*innenorientierte Arbeitsweise entwickelt, die wir im sogenannten startlearnING-Prinzip beschreiben und in dessen Mittelpunkt die phasenorientierte Konstruktionsmethodik steht.

Mit der Unterrichtseinheit „Konstruktion einer Warmhaltebox“ konstruieren die Schüler*innen nach Anforderungen. Die nachfolgenden Ziele sind aus Sicht der Technik damit verbunden:

- Die Schüler*innen entwickeln aus einer Bedarfssituation einen Anforderungskatalog (Checkliste).
 - Sie bestimmen Funktionen, die die Warmhaltebox erfüllen soll
 - (Sie bestimmen Materialien, die zur Fertigung der Boxen genutzt werden können)
 - Sie entwickeln aus Anforderungen Nutzungsfunktionen und ordnen sie nach Haupt- und Nebenfunktionen
- Die Schüler*innen unterteilen die Haupt- und Nebenfunktionen in Teilprobleme
- Die Schüler*innen suchen nach Lösungen für die Teilprobleme
 - Sie entnehmen Infotexten Informationen
 - Sie führen Versuche durch
- Die Schüler*innen übertragen Wirkprinzipien auf die Teilprobleme der Konstruktion und schaffen somit Teillösungen.
- Die Schüler*innen wählen Materialien anforderungsgeleitet
- Die Schüler*innen wählen Werkzeuge für verschiedene Fertigungsverfahren zielorientiert aus
- Die Schüler*innen wählen anforderungsgeleitet eine zweckmäßige Verbindungstechnik aus.
- Die Schüler*innen setzen ausgewählte Verbindungstechnik sachgerecht um
- Die Schüler*innen fügen die verschiedenen Teillösungen zur Verhinderung der Wärmeausbreitung in der Fertigung zusammen.
- Die Schüler*innen bewerten eine Konstruktion anhand des Anforderungskatalogs

II Konstruieren nach dem StartlearnING-Prinzip

Der schüler*innenorientierte Lernprozess nach dem startlearnING-Prinzip hat diese Merkmale:

1. Das Konstruieren erfolgt systematisch analog zur Vorgehensweise von Ingenieuren.
2. Problemstellungen aus der Lebenswelt sind Grundlage für technische Konstruktionen.
3. Das Konstruieren erfolgt ohne Lösungsvorgabe.
4. Naturwissenschaftliche Phänomene sind Ideengeber für technische Konstruktionen.
5. Das Konstruieren erfolgt mit einfachen Werkzeugen und Alltagsmaterialien.
6. Gute Konstruktionen erfordern Kommunikation.
7. Gute Konstruktionen funktionieren unabhängig vom Aussehen.
8. Fehler werden als Katalysatoren des Lernprozesses betrachtet.

Abb. 1: Merkmale des startlearnING-Prinzips

Zu den einzelnen Punkten:

1. **Das Konstruieren erfolgt systematisch analog zur Vorgehensweise von Ingenieur*innen:** Das ist das Herzstück des startlearnING-Prinzips und mündet in das nachstehend abgebildete Flussdiagramm (Abb. 2).
2. **Problemstellungen aus der Lebenswelt sind Grundlage für technische Konstruktionen:** Aus dem Alltagsbezug erwächst die Motivation, sich mit der Problemstellung auseinanderzusetzen.
3. **Das Konstruieren erfolgt ohne Lösungsvorgabe:** Nach Anleitung konstruieren geht nicht, das ist nachbauen und verhindert eine intensive Auseinandersetzung mit dem Problem
4. **Naturwissenschaftliche Phänomene sind Ideengeber für technische Konstruktionen:** Hier liegt der Schwerpunkt auf der Biologie. Biologische Phänomene zeigen, wie Problemstellungen in der Natur gelöst wurden oder sind Anlass für eine Konstruktion. Darüber hinaus ist gerade Schülerinnen ein großes Interesse daran anzumerken.
5. **Das Konstruieren erfolgt mit einfachen Werkzeugen und Alltagsmaterialien:** Letztlich müssen technische Konstruktionen nicht teuer sein. Wir wollen aufzeigen, was mit einfachen Materialien, zu denen jeder Zugang hat, möglich ist.
6. **Gute Konstruktionen erfordern Kommunikation:** Hier geht es darum, voneinander zu lernen und Fragen zu stellen. Auch wenn Schüler*innen durchaus allein konstruieren dürfen.
7. **Gute Konstruktionen funktionieren unabhängig vom Aussehen:** Wenn eine Lösung/Konstruktion funktioniert, dann ist das Ziel erreicht. Das Aussehen ist aus Sicht des Ingenieurs eher nicht relevant.
8. **Fehler werden als Katalysatoren des Lernprozesses betrachtet:** Aus Fehlern lernen die Kinder. Wir lassen sie bewusst Fehler machen und greifen nicht im Vorfeld ein.

Für das phasenorientierte Vorgehen beim Konstruieren nach dem startlearn**ING**-Prinzip wurde ein Flussdiagramm entwickelt (Abb. 2). Zur Zielerreichung müssen alle Phasen durchlaufen werden. Es werden jedoch verschiedene Optimierungs- und Rückversicherungsschleifen notwendig sein. Das gehört zu einem Konstruktionsprozess dazu. Deshalb kann jederzeit von einer Phase zu allenvorgelagerten Phasen zurückgesprungen werden. Das Flussdiagramm kann also als grundsätzlicher Leitfaden für das Konstruieren mit Schülerinnen und Schülern verstanden werden, der dabei helfen soll, kreativ zu arbeiten, ohne das Ziel aus den Augen zu verlieren.

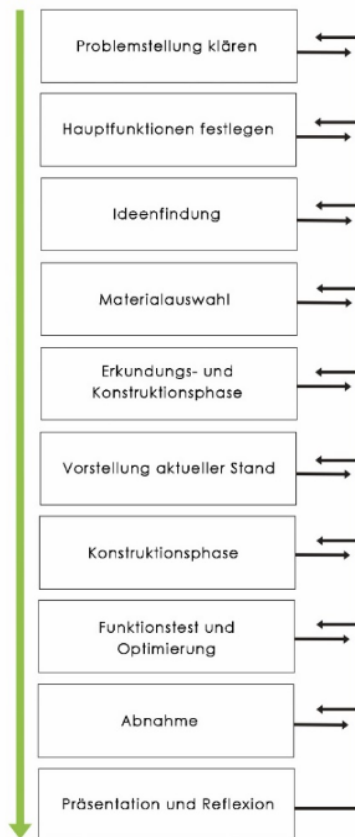


Abb. 2: Konstruktionsmethodik
nach dem startlearn**ING**-Prinzip:
10 Arbeitsphasen

1. Problemstellung klären

Zunächst muss geklärt werden, was die Konstruktion leisten soll. Ziel dieses Projektes ist es, aus einem Schuhkarton eine Box zu bauen, indem ein mit Wasser gefülltes Marmeladenglas möglichst wenig Wärme abgibt. Die Aufgaben an die Schüler*innen laut wie folgt:

„Baue aus oder mit deinem Schuhkarton eine Warmhaltebox für eine Suppe. Die Suppe wird in ein Marmeladenglas gefüllt und soll so lange wie möglich warm bleiben. Du willst die Box mehrfach verwenden. Du möchtest sie auf einen Ausflug mitnehmen.“

Die Kinder müssen vor dem Beginn der ersten Konstruktionsphase also zunächst klären/verstehen, wie Wärme wandert und wie etwas vor Wärmeabgabe geschützt werden kann. Wir spannen den Bogen zur Biologie. Wie sich ein Eisbär vor Wärmeabgabe schützt, erfahren die Schüler*innen durch das Lesen entsprechender Infotextes und den anschließenden Austausch über die Inhalte. Die konkreten Wärmetransportarten und Möglichkeiten zur Eindämmung der Wärmeabgabe lernen die Schülerinnen und Schüler durch Versuche kennen.

Die Schwierigkeit bei der Aufgabenstellung liegt darin, dass wir nicht vorgeben können, wieviel Wärme, (nachvollziehbar anhand des Temperaturverlusts), abgegeben werden darf. Der Temperaturverlust ist in Abhängigkeit von der Wassertemperatur und der Umgebungstemperatur innerhalb eines definierten Zeitraum immer unterschiedlich.

2. Hauptfunktionen festlegen

Wenn wir das Problem verstanden haben, können wir festlegen, was die Konstruktion können muss.

Hier wird zwischen den absolut notwendigen Funktionen und den sinnvollen/möglichen Zusatzfunktionen der Konstruktion unterschieden. Unter Hauptfunktionen versteht man alles, was die Konstruktion unbedingt können muss, um das Problem (siehe Aufgabenstellung!) zu lösen.

Zusatzfunktionen beschreiben die Anforderungen an die Konstruktion, die die Anwendung für (den jeweiligen Nutzer/ die jeweilige Nutzerin) angenehmer und praktischer machen. Diese können bei derselben Problemstellung unterschiedlich ausfallen - je nachdem, welche individuellen Bedürfnisse die Kinder mit der Aufgabenstellung verbinden und wie sie die Prioritäten setzen.

Für diese Funktionen wird mit den Kindern eine Liste von Anforderungen entwickelt, die Checkliste. Idealerweise wird die Checkliste im Unterrichtsgespräch entwickelt und an die Tafel geschrieben. Die Entwicklung der Checkliste ist für die Kinder eine Herausforderung, die sie allein nicht bewältigen können. Die Lehrkraft muss diesen Prozess intensiv führen, arbeiten, ohne das Ziel aus den Augen zu verlieren.

Hauptfunktionen	Zusatzfunktionen - Beispiele
1. Platz für das Glas 2. Wärme im Glas halten (Behinderung von Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Wärmeströmung) 3. Glas herausnehmbar 4. Box verschließbar	• Tragegriff •

Tab. 1: Haupt- & Nebenfunktionen

Weiterführende unterstützende Fragen im Rahmen der Entwicklung der Checkliste könnten sein:

- Was soll warm bleiben? Wo muss das Glas rein?
- Wie kann ich das Wasser am besten in das Glas füllen?
- Was wollen wir verhindern?
- Darf das Glas bei einem Ausflug aus der Box fallen?

Die Schüler*innen neigen dazu, von der Box aus zu denken. Für sie geht es primär darum, dass die Wärme nicht aus der Box entweicht. Das entspricht nicht der Hauptfunktion Nr. 2.

3. Ideenfindung

Sobald die Checkliste steht, sammeln die Schülerinnen und Schüler Umsetzungsideen. Diese Phase geht zumeist sehr schnell in die Phase der Materialauswahl über. Erfahrungsgemäß kommen den Schülerinnen und Schüler mit den Materialien die ersten guten Ideen.

4. Materialauswahl

Es folgt eine erste Informations- und Planungsphase. Das mitgebrachte Alltagsmaterial und die Arbeitsmaterialien aus der Erfinderkiste werden für die Kinder zu einem „Buffet“ aufgebaut. Die Schülerinnen und Schüler können materialgeleitet überlegen, was sie bauen wollen und die Materialien mit an ihren Platz nehmen.

Diese Phase ist für alle herausfordernd, weil zum ersten Mal konstruiert wird. Es kann hilfreich sein, wenn die Schüler vor dem Bauen überlegen müssen, ob ihre Umsetzungsidee wirklich zur Problemlösung taugt.

Eine klassische Planung, die idealerweise hier erfolgen sollte, ist für Ungeübte nicht sinnvoll. Sie können Probleme, die im Verlauf einer Konstruktion auftreten können, im Vorfeld nicht erkennen. Letztlich ist es eine Frage des pädagogischen Geschicks, einen für die beteiligten Schüler passenden Weg zu finden.

5. Erkundungs- und Konstruktionsphase

Die Kinder beginnen, ihre Vorhaben in die Tat umzusetzen. Es sollte bedacht werden, dass es für jede Funktion sehr viele Lösungsmöglichkeiten gibt.

Viele werden sehr schnell auf die ersten Schwierigkeiten bei den Detailkonstruktionen stoßen. In dieser Phase ist es sehr wichtig, den Schüler*innen nicht gleich zu helfen, sondern Fragen zu stellen:

- Was möchtest du bauen?
- Was soll es können?
- Wie möchtest du das umsetzen?
- Wo genau liegt das Problem?

Aktiv sollte nur bei feinmotorischen Defiziten geholfen werden oder wenn die Frustrationsgrenze erreicht wurde und es keinen einfacheren Weg gibt.

Wenn die Schüler*innen sich gegenseitig helfen, hat das mehrere positive Effekte:

- Wer sein Vorgehen erklären soll, muss darüber nachdenken.
- Wer erklärt, muss reden und sich so ausdrücken, dass er/sie verstanden wird.
- Wer fragt, bekommt einen Vorschlag und keine Anweisung.
- Gemeinsame Lösungsfindung erfolgt auf Augenhöhe und stärkt das Wir-Gefühl.
- Die Lehrkraft hat mehr Zeit, Arbeitsverhalten zu beobachten und wenn notwendig, Impulse zu geben.

Wie lange diese erste Konstruktionsphase dauern sollte, lässt sich nicht pauschal sagen. Kürzer als 20 Minuten sollte sie aber auf keinen Fall sein und spätestens nach einer Stunde sollte eine Besprechung von Zwischenergebnissen und Schwierigkeiten erfolgen.

6. Vorstellung aktueller Stand

Vor dem Ende der Unterrichtsstunde oder aus strategischen Gründen (z.B. ein Problem tritt bei den meisten Gruppen auf, eine Teilaufgabe scheint unklar, ...) wird die Arbeit an den Warmhalteboxen unterbrochen und die bisherige Arbeit reflektiert. Die Schüler*innen präsentieren den aktuellen Stand ihrer Arbeit und geben einen Ausblick, was sie in der nächsten Phase noch realisieren wollen. Die Kinder stellen einander Fragen und machen Lösungsvorschläge. Ziel dieser Phase ist, neben der Reflexion der eigenen Arbeit, auch der Austausch kreativer Ideen und die Einsicht, dass alle auf vergleichbare Probleme stoßen.

Die Schüler*innen sollen erklären, ob und ggf. wie sie ihren ursprünglichen Plan geändert haben und warum. Probleme und deren Lösung sowie besonders gelungene Baudetails sollen dabei besprochen werden. An dieser Stelle muss auch wieder (anhand der Checkliste, die die Kinder erstellt haben) überprüft werden, ob alle Funktionen erfüllt sind bzw. in der verbleibenden Bauzeit erfüllt werden können. Auch die Checkliste wird, falls nötig, noch einmal überprüft, ob sie wirklich der Aufgabenstellung entspricht.

Mögliche Impulsfragen in dieser Phase sind:

- Was hast du gebaut?
- Was ist besonders gut gelungen?
- Was funktioniert noch nicht?
- Welchen Zweck haben die einzelnen Komponenten?
- Was möchtest du noch bauen und wie?
- Hast oder wirst Du alle Hauptfunktionen erfüllen?
- Möchtest du Vorschläge/Ideen aus der Klasse haben?

Bei so einer Reflexionsphase kann aber auch ein konkretes Problem besprochen werden, für das verschiedene Lösungsansätze gesucht werden. Findet die Reflexion am Ende eines Unterrichtsblocks statt, können die Schüler*innen zur nächsten Stunde weiteres kostenloses Material mitbringen, wenn sie glauben, dass etwas fehlt. Ihre Konstruktionen dürfen sie zwar nicht mitnehmen, aber man sollte ihnen ausdrücklich erlauben, zu Hause technische Experimente oder Materialtests durchzuführen. Sollten sie dabei zu dem Ergebnis kommen, dass sie in der nächsten Stunde mit anderem Material oder sogar etwas ganz Neues bauen wollen, dann ist das legitim und sollte, wenn möglich, zugelassen werden.

7. Konstruktionsphase

Auf die Reflexionsrunde folgt die eigentliche Konstruktionsphase. Einige Kinder werden bei ihren ersten Vorstellungen bleiben, andere werden Details verändern und wieder andere ein ganz neues Bauvorhaben beginnen.

Je nachdem, wie heterogen die Klasse ist, können Kinder, die schon sehr weit oder fertig sind, die schwächeren bei ihrer Arbeit unterstützen.

Der Wechsel von Besprechung der Zwischenergebnisse im Klassenkreis und anschließendem Konstruieren kann mehrere Male stattfinden, je nach Leistungsstand der Klasse und Komplexität der Problemstellung.

Kinder, die deutlich früher fertig sind als der Rest der Klasse, können ihre Konstruktion optimieren und „Extras“ einbauen.

8. Funktionstest und Optimierung

Am Ende der Konstruktionsphase haben die Schülerinnen und Schüler keine einfachen Modelle mehr vor sich, sondern auf die Anforderungen hin gezielt entwickelte Lösungen. Wer mit seiner Box fertig ist, muss sie erst mal testen. Das klingt banal, aber das systematische Überprüfen der eigenen Konstruktion ist ein häufiger und wichtiger Anteil der Arbeit von Ingenieuren. Die Schüler*innen sollen anhand ihrer Checkliste alle Hauptfunktionen überprüfen.

Wenn die Möglichkeit besteht, sollten sie vorab einen ersten Test der Warmhaltebox anhand der Testbeschreibung auf Seite 13 im Erfinderheft machen. Wichtig ist hier ein Vergleich mit einem ungeschützten Glas. Im 3. Experiment (Seite 9 im Erfinderheft) gibt es genau diesen Vergleichswert, wobei Anfangstemperatur und Temperatur im Klassenraum an diesem Tag anders gewesen sein könnten als beim Test. Nichtsdestotrotz ist das sicher ein guter Anhaltspunkt. Parallel zum Test kann selbstverständlich auch ein ungeschütztes Glas zum Vergleich herangezogen werden.

9. Abnahme

Wenn die Konstruktion nach Meinung vieler Schülerinnen und Schüler fertig ist, erfolgt eine Abnahme bei der Lehrkraft. Anhand der Checkliste werden alle Funktionen überprüft. Anschließend erfolgt gruppenweise ein „offizieller“ Test aller Boxen (Erfinderheft Seite 14). Nach der Durchführung des Tests können die Schüler*innen ihre Boxen mit denen anderer vergleichen. Bei welchem Glas ist der Temperaturverlust besonders hoch, bei welchem besonders niedrig? So können sie selbst ganz gut einordnen wie gut die Box funktioniert. Wichtig, das ist kein Wettbewerb!

Immer wenn der Temperaturverlust geringer ausfällt als bei einem ungeschützten Glas ist die Konstruktion ein Erfolg. Sie funktioniert.

Diese Warmhaltebox, also Ergebnis der Schülerinnen und Schüler, muss nicht unbedingt „schön“ sein. Das war nicht Teil der Aufgabenstellung! Aber, sie darf natürlich schön sein.

10. Präsentation und Reflexion

In dieser Phase stellen möglichst viele Kinder ihre Warmhaltebox vor. Auf diese Aspekte sollten sie im

Rahmen der Vorstellung eingehen:

- Wie bin ich vorgegangen?
- Was habe ich wie und warum gemacht?
- Welches Material/welche Baumaßnahme erfüllt welche Funktion in Bezug auf die drei Wärmeverlustarten?
- Mein Glas hat wenig Wärme verloren, weil
- Mein Glas hat viel Wärme verloren, weil

Einzel oder Gruppenarbeit?

Gruppenarbeit ist für viele Kinder hilfreich, aber nicht für alle. Mancher Ingenieur gibt an, als Kind nicht teamfähig gewesen zu sein, weil er seine eigenen Ideen in der Gruppe nicht ausreichend erproben und durchführen konnte. Eine erzwungene Gruppenarbeit kann dann durchaus eine negative Erfahrung sein. Hier stehen das Entwickeln und Erproben von Ideen im Fokus und nicht die Teamarbeit.

Deswegen ist bei dieser Unterrichtsform sinnvoll, die Schülerinnen und Schüler selbst entscheiden zu lassen, ob sie allein oder im Team arbeiten wollen. Um soziale Kompetenzen und Kommunikation fördern zu können, sollen sie bei Schwierigkeiten nicht auf die Lehrkraft warten, sondern sich im Idealfall gegenseitig helfen bzw. ihre Lösungsansätze oder Detailprobleme miteinander diskutieren (vgl. Punkt 6 des startlearnING-Prinzips).

Das Herumlaufen im Klassenraum und die Formulierung sogenannter “W”-Fragen (Wie macht ihr das? Warum macht ihr das? ...) sind erlaubt. Die Lehrkraft sollte lediglich Impulse setzen oder durch gezieltes Nachfragen die Kinder auf Ideen bringen. So lassen sich gewinnbringende Team-Diskussionen in Gang setzen, ohne dass sich alle Beteiligten auf einen Lösungsweg einigen müssen.

III Ziele der Unterrichtseinheit aus Sicht der Naturwissenschaften

1. Die Schüler*innen lernen Formen der Ausbreitung von Wärme (Strahlung, Leitung, Strömung) kennen und können diese benennen.

Spezifische Pfeile begleiten uns die gesamte Unterrichtseinheit. Zum Ende der Unterrichtseinheit haben die Schüler*innen die Begriffe zumeist verinnerlicht.

	Wärmeleitung
	Wärmeströmung
	Wärmestrahlung

Tab. 2: Pfeile zur Darstellung der Formen der Ausbreitung von Wärme

2. Die Schüler*innen benennen und beschreiben einige der Phänomene im Tierreich, die vor Wärmeverlust schützen.

Eine Unterrichtsstunde befassen wir uns mit dem Eisbären und einigen seiner Wärmeschutzmechanismen, die sich teilweise auf die Konstruktion der Warmhaltebox anwenden sind.

3. Die Schüler*innen führen Versuche nach Anleitung durch und ziehen Schlüsse aus der Beobachtung

Für jedes Phänomen der Wärmeausbreitung wurde ein altersgerechtes Experiment entwickelt. Mithilfe der Experimente „erfahren“ die Schüler*innen die Ausbreitung der Wärme durch gezielte Beobachtung. Parallel werden sie Möglichkeiten erkennen, wie der Wärmetransport begrenzt werden kann (vgl. auch Ziel Nr. 5).

4. Die Schüler*innen beschreiben Phänomene der Wärmeausbreitung.

Im Verlauf der Unterrichtseinheit, insbesondere im Rahmen des Experimentierens und der Konstruktionsphase, werden die Schüler*innen dazu ermutigt, die Formen der Wärmeausbreitung immer wieder mit ihren eigenen Worten zu beschreiben.

5. Die Schüler*innen benennen spezifische Maßnahmen zur Behinderung der unterschiedlichen Formen der Wärmeausbreitung und wenden diese an.

Das Ziel der Konstruktionsaufgabe ist, den Inhalt eines Marmeladenglases möglichst lange warmzuhalten. Im Rahmen der Konstruktion müssen die Schüler*innen Maßnahmen der Behinderung der Wärmeausbreitung verstehen und anwenden, wenn das Konstruktionsziel erreicht werden soll.

IV Physikalische Grundlagen zur Wärmeenergie

Energie ist ein Begriff, der im Alltag ständig auftaucht, aber sehr schwer zu verstehen ist. Wärme ist eine Form von Energie.

1 Was ist Wärme?

Alle Teilchen (Atome und Moleküle) in Gasen, Flüssigkeiten und auch in festen Körpern bewegen sich ungeordnet bzw. schwingen. Das bezeichnet man als Wärme, bzw. thermische Energie.

Im Alltag wird Wärme oft mit Temperatur gleichgesetzt, indem wir zum Beispiel fragen: „Wie warm ist das Wasser?“ Die Temperatur ist ein objektives Maß dafür, wie viel Wärmeenergie in einem Medium ist. Wir messen sie mit Thermometern. Selbst können wir keine absoluten Temperaturen wahrnehmen, sondern nur Temperaturänderungen (Stierstadt 2018).

2 Wie verbreitet sich Wärme?

Medien mit höherer Temperatur geben immer Wärme an Medien mit niedriger Temperatur ab. Wie funktioniert das?

Es gibt drei Mechanismen, wie sich Wärme ausbreitet:

1. Wärmeleitung
2. Wärmestrahlung
3. Wärmeströmung

Welcher davon überwiegt, hängt von vielen Faktoren ab. Das sind unter anderem Temperaturunterschiede, Art und Masse der Materialien sowie Umgebungsbedingungen (Breuer 2004).

Im Gegensatz zur Sonne, dem Lagerfeuer oder anderen Wärmequellen, in denen Wärme durch Energieumwandlung generiert wird, werden andere warme Körper durch die Weitergabe von Wärmeenergie kälter. Wir kennen das von heißen Getränken, die abkühlen, bis sie irgendwann die Umgebungstemperatur erreicht haben.

Im Folgenden erklären wir diese drei Mechanismen, so wie sie auch für Schüler*innen nachvollziehbar sein sollten.

2.1 Wärmeleitung

Bei der Wärmeleitung wird die Energie durch direkten Kontakt vom warmen zum kalten Medium weitergegeben (Stierstadt 2018).

Überall dort, wo sich die Medien berühren, erwärmt sich das kältere Medium und das wärmere kühlt ab. Auch innerhalb von Medien wird die Wärme weitergeleitet. Das wird deutlich, wenn man z. B. mit einem Metall-Löffel den heißen Tee umrührt. Nur der untere Teil des Löffels befindet sich im Tee, aber der Löffel wird auch oben sehr warm.

Unterschiedliche Materialien leiten Wärme nicht gleich gut. Luft ist ein vergleichsweise schlechter Wärmeleiter. Holz oder Wolle leiten die Wärme auch nicht so gut, aber besser. Metalle leiten Wärme dagegen sehr gut. Das merken wir nicht nur bei Löffeln in heißem Tee, sondern auch dann, wenn wir Gegenstände aus Metall anfassen. Die nachfolgende Übersicht gibt einen guten Eindruck hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit der für Schüler*innen bekannter Materialien, jeweils im Vergleich zur schlecht leitenden Luft.

Material	Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zur Luft
Wasser	25 mal besser
Holz/ Wolle	2,5 mal besser
Plastik	12,5 mal besser
Aluminium	1050 mal besser
Kupfer	1400 mal besser

Tab. 3: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien

In Stoffen mit hoher Dichte kann sich Wärme grundsätzlich besser ausbreiten als in Stoffen mit geringer Dichte. Styropor, Holz oder auch Fleece-Stoff leiten vor allem deswegen nicht sehr gut, weil sie kleine, mit Luft gefüllte Hohlräume besitzen. Aufgrund dieser eingeschlossenen Luft (schlechter Wärmeleiter) wird die Wärmeleitung erschwert (Breuer 2004).

Dieses Phänomen lässt sich gut mit den Hohlräumen bei einem Topflappen nachvollziehen. Im trockenen Zustand sind die Hohlräume mit Luft gefüllt und wir können ein heißes Backblech problemlos anfassen. Wenn der Topflappen nass ist, sind diese Hohlräume mit Wasser gefüllt. Durch das wesentlich besser leitende Wasser verbrennen wir uns schnell die Finger.

Warum fühlt sich Metall oft kalt an, Wolle aber nicht?

Ein Wollpullover oder ein Topf nehmen im Zimmer die Raumtemperatur an. Sie sind also jeweils kälter als unser Körper. Berühren wir den Topf oder den Wollpullover mit der Hand, so gibt unsere Hand Wärme ab. Weil das bei Metall so schnell geht, empfinden wir es als kalt. Bei Wolle läuft das viel langsamer ab, deshalb spüren wir es eher nicht. Ein Indiz für die Wärmeleitfähigkeit kann unter Umständen also das Anfassen sein (Stierstadt 2018).

2.2 Wärmestrahlung

Die Sonne ist ein beeindruckendes Beispiel dafür, dass Wärme, genauso wie Licht, ohne Beteiligung von Materie nur durch Strahlung über weite Strecken übertragen werden können. Wärmestrahlung ist dem Licht sehr ähnlich. Wir können Wärme aber nur fühlen, nicht sehen (Schlangen können übrigens auch Wärmestrahlung sehen). Jeder Körper sendet Wärmestrahlung aus. Die Strahlung ist intensiver, desto höher die Temperatur des Körpers ist.

Ein schönes Beispiel für die Wahrnehmung der Wärmestrahlen ist auch ein Lagerfeuer, dem wir uns vorsichtig ein bisschen mit dem Körper nähern.

Wärmestrahlen können, genau wie Lichtstrahlen, reflektiert (zurückgeworfen) oder absorbiert (aufgenommen) werden. Schwarze Gegenstände absorbieren Wärmestrahlung und erwärmen sich daher im Sommer ziemlich schnell. Weiß reflektiert dagegen die Wärme zu einem großen Teil. Das Gleiche gilt für Spiegel, die in einem sehr hohen Maße Wärmestrahlung reflektieren und mithin die Wärme kaum aufnehmen (Stierstadt 2018; Breuer 2004).

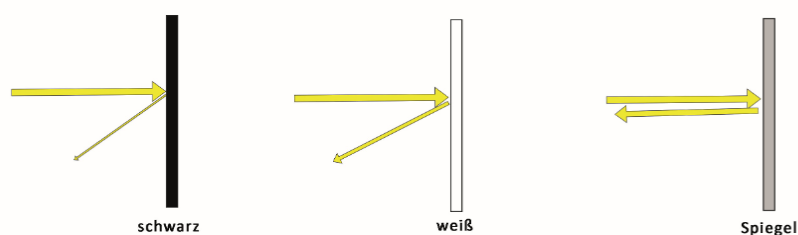


Abb. 3: Reflexionsverhalten der Wärmestrahlen

2.3 Wärmeströmung (Wärmekonvektion)

Erwärmte Luft steigt nach oben. Dadurch strömt weitere, kältere Luft nach und erwärmt sich ebenfalls. Das nennt man Wärmeströmung. Je mehr (und je schneller) kühlerer Luft sich um ein warmes Medium bewegen kann, desto schneller kühlt es ab. Das gilt übrigens nicht nur für Luft, sondern für jedes gasförmige und auch flüssige Medium.

Man kann es gut vergleichen, wenn man je ein Glas mit heißem Wasser in einen geschlossenen Schuhkarton stellt, eins in den Klassenraum und ein weiteres draußen auf das Fensterbrett. Nach 15 Minuten sind deutliche Unterschiede in Bezug auf die Wassertemperatur feststellbar. Die Luftmenge im Schuhkarton ist begrenzt, bewegt sich nur innerhalb

des Kartons und erwärmt sich dabei langsam. Kalte Luft kann nicht nachströmen. Im Klassenraum ist der Effekt der Wärmeströmung größer, weil viel mehr Luft im Raum ist, die sich um das Glas herumbewegen kann. Auf dem Fensterbrett ist der Effekt am stärksten, weil draußen nicht nur die meiste Luft ist, sondern oft auch Wind, sodass viel mehr Luft in der gleichen Zeit das Glas berührt. Allerdings ist das Abkühlen des Wassers nur dann vergleichbar, wenn ungefähr die gleichen Umgebungstemperaturen herrschen.

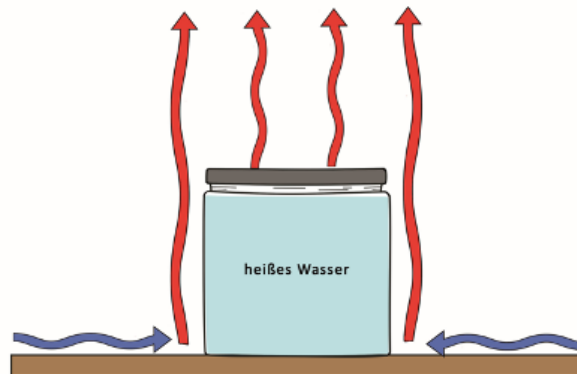


Abb. 4: Wärmeströmung

V Kälteschutzmechanismen des Eisbären



Abb. 5: Eisbär in seinem Habitat (SEQ)

Eisbären (*Ursus maritimus*) sind die zweitgrößte Bärenrasse der Welt. Neben ihrem weißen Fell sind sie an einer Vielzahl weiterer Merkmale, etwa den großen Tatzen, die ihnen sowohl beim Schwimmen als auch bei der Fortbewegung im Schnee helfen, zu erkennen

(Amstrup, Feldhamer, Thompson, & Chapman, 2003). Eisbären leben in der Arktis, rund um den Nordpol. Sie sind an das extreme Leben in der Arktis perfekt angepasst.

Ihre innere Körpertemperatur sollte rund 37°C betragen.

Nimmt die Wärmeabgabe durch das Sinken der Außentemperatur zu, hat der Eisbär unterschiedliche Strategien zur Bewältigung der Umgebungstemperaturen. Die Bandbreite der Strategien lässt sich in drei Kategorien unterteilen (vergleiche Abbildung 6).

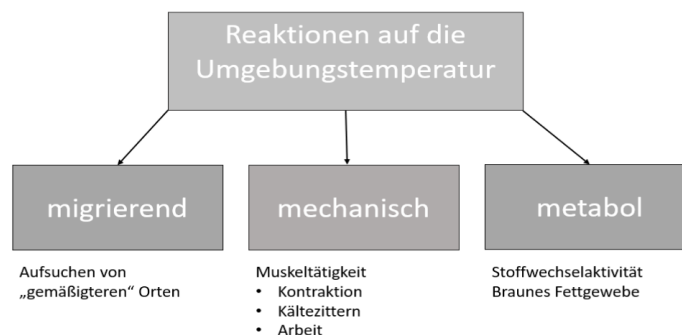


Abb. 6: Übersicht verschiedener Reaktionen des Eisbären auf die Umgebungstemperatur

Auch Eisbären können ihre Körpertemperatur durch ihr Verhalten beeinflussen. Hierzu machen sie sich die physikalischen Phänomene der Wärmeausbreitung zunutze, z.B. indem sie Orte mit einer „geeigneteren“ Temperatur aufsuchen (migrierend) oder die isolierende Wirkung von Schnee nutzen, wenn sie sich in eine Schneehöhle zurückziehen, um zu überwintern, wie es die trächtigen Weibchen tun. Die Männchen ziehen auch im Winter umher. Sie graben sich nur bei extremer Kälte, insbesondere arktischen Winden, für einige Zeit in eine Schneehöhle ein. Hier geht es insbesondere darum, Wärmeabgabe durch Wärmeströmung zu verhindern (A. S. Blix & Lentfer, 1979).

Eine mechanische Wärmegewinnung erfolgt durch das Einsetzen des Muskeltonus. Bereits durch das Anspannen der Muskulatur wird Wärme erzeugt. Bedingt ist dies durch den Wirkungsgrad der Muskulatur, der bei etwa 20% liegt. Die restlichen 80% werden in Form von Wärme abgegeben (Müller et al., 2019). Dieser Effekt kann durch das rhythmische Kontrahieren der Muskeln verstärkt werden. Wir kennen dieses Phänomen als Kältezittern.

Die **metabole** Wärmegewinnung erfolgt durch den Stoffwechsel der Eisbären. Die dabei bereitgestellte Energie wird durch chemische Reaktionen geliefert. Die Freisetzung von Wärme wird dabei oft als eine Art Abfallprodukt gesehen, das durch den Energiefluss zustande kommt und abgestrahlt wird. Bei lebenden Organismen bedingen sich Wärme und biochemische Reaktionen jedoch wechselseitig. Eine Erhöhung der Stoffwechselaktivität (= Umsetzung von Sauerstoff und Nährstoffen) setzt Wärme frei, die dazu beiträgt, die Körpertemperatur zu halten. Gleichzeitig bedarf es einer gewissen Körpertemperatur, um die biochemischen Reaktionen des Stoffwechsels überhaupt aufrechterhalten zu können

Eisbären verfügen zudem über ein spezielles Fettgewebe, das sog. braune Fett. Dieses Gewebe ermöglicht es, Fetteinlagerungen direkt mit Sauerstoff umzusetzen, ohne den Umweg über die Leber zu gehen. Die Energie wird dabei direkt zur Wärmegewinnung genutzt (Brandes, Lang, & Schmidt, 2019). Die metabole Wärmegewinnung stellt dabei die eleganteste Form der Wärmegewinnung abgeben (Müller et al., 2019)

Eisbären verfügen über eine Vielzahl weiterer körperlicher Anpassungen, die ein Leben in der Arktis ermöglichen. Im Folgenden nur die Anpassungen erörtert, die einen Schutz vor Wärmeverlust darstellen.

1. Das Fell

Das Fell besteht aus hohlen, durchsichtigen bis zu 30cm langen Deckhaaren und darunterliegenden gekräuselten Wollhaaren. Die transparenten Haare der Deckhaare

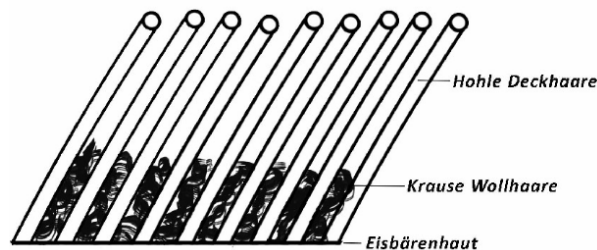


Abb. 7: Aufbau des Eisbärenfells

reflektieren das Sonnenlicht nahezu vollkommen, wodurch es zum Eindruck der weißen Farbe kommt (Amstrup et al., 2003). Fast der ganze Körper des Eisbären ist mit Fell bedeckt. Auch die Fußsohlen sind dicht behaart, nur die Ballen der Füße tragen keinen Pelz. Das Fell des Eisbären isoliert hervorragend. Die Isolationswirkung des Fells basiert zum einen auf den Luftpolstern zwischen den leicht gekräuselten Wollhaaren und in den hohlen Deckhaaren. Luft isoliert

etwa 25mal besser als Wasser. Wasser schütteln die Tiere nach einem Aufenthalt im Wasser sofort aus ihrem Fell. Das wird dadurch unterstützt, dass die Deckhaare ölig und wasserabweisend. Dieses Gewebe ermöglicht es, Fetteinlagerungen direkt mit Sauerstoff umzusetzen, ohne den Umweg über die Leber zu gehen. Die Energie wird dabei direkt zur Wärmegewinnung genutzt (Brandes, Lang, & Schmidt, 2019). Die metabole Wärmegewinnung stellt dabei die eleganteste Form der Wärmegewinnung abgeben (Müller et al., 2019)

Eisbären verfügen über eine Vielzahl weiterer körperlicher Anpassungen, die ein Leben in der Arktis ermöglichen. Im Folgenden nur die Anpassungen erörtert, die einen Schutz vor Wärmeverlust darstellen.

2. Die schwarze Haut

Die Haut eines Eisbären ist schwarz. Früher nahm man an, dass die transparenten Haare des Eisbären wie Lichtleiter wirken, die die Wärmestrahlung der Sonne durch das Fell bis hin zur schwarzen Haut des Eisbären leiten. Dort würde die schwarze Haut die Wärmestrahlung absorbieren. Diese Annahme wurde mehrfach widerlegt.

Bereits 1988 äußerte Mirsky, dass eine Erwärmung durch die Sonne in polaren Regionen nur eine untergeordnete Rolle spiele. Koon widerlegte 1998 die Annahme der optischen Leitfähigkeit und stellte stattdessen fest, dass das UV-Licht von den Felfasern schlicht absorbiert wird.

Mit der isolierenden Eigenschaft des Eisbärfells setzen sich auch Simonis et al 2014 auseinander. Sie konnten beobachten, dass bei Eisbären der Wärmeverlust durch Wärmestrahlung zehnmal so groß wie der durch Wärmeleitung ist. Da Eisbären aber mit einer Infrarotkamera so gut wie unsichtbar sind, kamen sie zu dem Schluss, dass das Fell die Infrarotstrahlung reflektiert. In der Tat scheinen die transparenten Haare des Eisbären, die vom Eisbären ausgehende Wärmestrahlung ähnlich einem Spiegel wieder auf den Körper zurückzuwerfen. Die schwarze Haut des Eisbären absorbiert also die reflektierte Infrarotstrahlung des Körpers und nicht die UV-Strahlung der Sonne (Simonis, Rattal, Oualim, Mouhse, & Vigneron, 2014).

3. Isolierende Fettschicht unter der Haut

Der Wärmeverlust vom Körperinneren an die Körperoberfläche wird durch die Fettschicht klein gehalten. Diese besitzt zum einen keine Blutgefäße und zum anderen ist die Wärmeleitfähigkeit von Fett gering. Entscheidend ist die Dicke der Fettschicht. Je dicker diese ist, desto geringer ist der Wärmeverlust an der Haut. Die Fettschicht des Eisbären ist in der Regel 5 bis 10 cm dick. (Colichia & Wiesner, 1998)

4. Weitere Anpassungen zur Reduktion des Wärmeverlustes

● Verminderung der Hautdurchblutung

Wärme wird im Inneren von Lebewesen über das Blut konvektiv transportiert. Um eine Wärmeabgabe über die Haut zu regulieren, können Lebewesen die Durchblutung der Haut und Extremitäten steuern. Ein verringerter Blutfluss bedeutet dabei auch einen geringeren Wärmeverlust in diesen Körperregionen.

● Gegenstromprinzip

Die großen Gefäße der Extremitäten (z.B. der Beine) sind parallel angeordnet. Das Blut der Arterien führt vom Zentrum des Körpers zu den Extremitäten hin und transportiert das auf Kerntemperatur erwärmte Blut mit sich. Das Blut in den Venen wird zum Körperinneren geführt und ist bereits abgekühlt, würde also kaltes Blut zur Körpermitte führen. Da die Blutgefäße aneinander vorbeiführen, erwärmt das noch warme Blut der Arterien, das vom Körperinneren stammt, das schon erkaltete Blut in den Venen im Gegenstrom. So kommt das in den Arterien transportierte Blut kühler in den Extremitäten an. Das venös transportierte Blut wird auf seinem Rückweg zum Körper etwas aufgewärmt. Dies stellt eine Energieersparnis dar, da das kalte Blut nun weniger stark im Körperinneren erwärmt werden muss (Brandes et al., 2019).

● Sohle des Eisbären

Der nicht mit Fell bedeckte Teil der Sohle verfügt über polsterartige Strukturen aus Hornhaut, die ebenfalls eine Wärmeabgabe verhindern (Amstrup et al., 2003).

- **Kleine Ohren**

Wärmeverluste erfolgen über alle äußeren Oberflächen eines Eisbären. Das bedeutet: Je größer die Oberfläche, desto größer sind grundsätzlich die Wärmeverluste. Auffallend sind die kleinen runden Ohren, die zur Verringerung der Körperoberfläche beitragen.

- **Verringerung thermischer Fenster**

Thermische Fenster sind schwach isolierte Bereiche bei Lebewesen. Bei Eisbären sind die schwach isolierten Zonen die Schleimhäute und die Augen. Wobei letztere beim Eisbären kleiner als bei anderen Bären sind.

- **Große Nasenhöhle**

Im Vergleich zu anderen Bären ist die Nasenhöhle von Eisbären vergrößert. Diese Anpassung findet sich bei Tieren in Kältezonen häufig. Die größere Nase soll die kalte, trockene Luft stärker aufwärmen und befeuchten, so dass keine eiskalte Luft in die Lungen geführt wird (A. S. Blix, 2016).

Literatur

Amstrup, S. A., Feldhamer, G. A., Thompson, B. C., & Chapman, J. A. (2003). *Polar bear. Ursus maritimus, Wild Mammals of North America: Biology, Management, and Conservation*: Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

Blix, A. S. (2016). Adaptations to polar life in mammals and birds. *Journal of Experimental Biology*, 219(8), 1093–1105.

Blix, A. S., & Lentfer, J. W. (1979). Modes of thermal protection in polar bear cubs--at birth and on emergence from the den. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 236(1), R67-R74.

Brandes, R., Lang, F., & Schmidt, R. F. (2019). *Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie* (32. Auflage). Springer-Lehrbuch.

Colichia, G., & Wiesner, H. (1998). *Wärmeübertragung bei Tieren. Unterrichtsvorschläge für ein fachübergreifenden Unterricht [Heat transfer in animals. Lesson materials for an interdisciplinary instruction]*. *Physik in Der Schule*, 36, 211-216.

Koon, D. W. (1998). *Is polar bear hair fiber optic?* *Applied Optics*, 37(15), 3198–3200.
<https://doi.org/10.1364/AO.37.003198>

Mirsky, S. D. (1988). Solar polar bears. *Scientific American*, 258(3), 24–26.

Müller, W. A., Frings, S., & Möhrle, F. (2019). *Tier- und Humanphysiologie: Eine Einführung* (6. Auflage). Lehrbuch.

Simonis, P., Rattal, M., Oualim, E. M., Mouhse, A., & Vigneron, J.-P. (2014). *Radiative contribution to thermal conductance in animal furs and other woolly insulators*. *Optics Express*, 22(2), 1940–1951.

1. Experiment: Wir untersuchen Wärmeleitung. (Seite 7 im Erfinderheft)

Mit diesem Experiment verbinden wir die folgenden zwei Ziele:

- 1) Die Schüler*innen lernen die Wärmeleitung kennen, indem sie „beobachten“, dass sich Wärme ausgebreitet hat.
- 2) Die Schüler*innen erkennen, dass Wärme durch Wärmeleitung materialabhängig unterschiedlich schnell übertragen wird.

Hinweis: Wir fokussieren uns dabei auf die Luft als schlechten Wärmeleiter. Parallel arbeiten wir nur mit Materialien, die auch zur Konstruktion der Warmhaltebox zur Verfügung stehen.

Was wird benötigt?

- Wasserkocher mit Wasser
- Bechergläser mit Materialstreifen (Pappe, Wellpappe, Gestrickte Wolle, Baumwolle)
- Materialproben zum Anfassen und Anschauen
- Testplättchen für wärmeempfindliche Farbe
- Erfinderheft und Stift

Durchführung:

Das Experiment wird in Gruppen von max. 4 Schüler*innen durchgeführt. Nach der Gruppeneinteilung erhält jede Gruppe ein Becherglas sowie Materialstreifen zum Anschauen und Anfassen. Es wird besprochen, welche Materialstreifen sich an welcher Stelle auf dem Glas befinden.

Die Schüler*innen haben die Experimentseite im Erfinderheft aufgeschlagen. Gemeinsam wird vorgelesen was zu tun ist, Absatz: „So gehst du vor?“

Vor dem Experiment gilt es zu demonstrieren, wie wärmeempfindliche Farbe funktioniert. Wärmempfindliche Farbe entfärbt sich, wenn sie warm wird. Sie ist also immer ein eindeutiger Indikator für Wärme. Wenn Schüler*innen ihre z. B. an der Heizung erwärmten Finger auf einen Klebepunkt halten, sehen sie schnell, dass sich der Klebepunkt verfärbt hat. Das gilt es im Vorfeld zu zeigen bzw. mit einigen Schülern anhand der Testplättchen auszuprobieren.

Anschließend wird das Glas so zwischen die Schüler*innen gestellt, dass sie möglichst viele Materialstreifen gleichzeitig sehen können: Zudem wird klar definiert, wer für die Beobachtung von welchem Materialstreifen zuständig ist.

Anschließend füllt die Lehrkraft nach und nach die Bechergläser bis zur Markierung mit dem heißen Wasser. Die Schüler*innen beobachten und notieren den „Zieleinlauf“. Welcher Farbpunkt entfärbt sich am schnellsten?

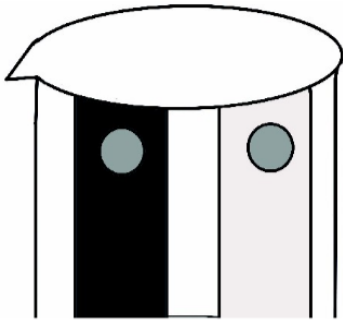


Abb. 8: Versuchsaufbau 1. Experiment

Beobachtung:

Wenn alles normal läuft, ist der Farbpunkt bei der dünnen Pappe und der Baumwolle ähnlich schnell rosa geworden. Später dran, aber wieder vergleichbar schnell, sind die Farbpunkte auf der Wolle und der Wellpappe.

Erklärung: Wenn die Wärme bei einem Material/Stoff schneller ist, so bedeutet das, dass die Wärmeleitung nach oben besser funktioniert. Baumwolle und einfache Pappe leiten besser, Wolle und Wellpappe leiten schlechter.

Das liegt daran, dass in der Wellpappe und der Wolle Luft eingeschlossen ist. Es gibt viele, viele kleine Luftkammern. Bei der Wellpappe sind die Luftkammern sichtbar. Wolle kann zusammengedrückt werden und mithin die Luft für eine kurze Zeit rausgepresst werden. So sollten den Schüler*innen die Luftkammern auch bei der Wolle bewusstwerden.

Hinweis: Bei Wellpappe funktioniert das mit der eingeschlossenen Luft nur, wenn diese auch wirklich nicht entweichen kann. Wir haben den Becher umklebt, deshalb kann die Luft nicht entweichen.

Im Unterricht kann wunderbar Bezug zum Eisbärenfell genommen werden: Das Eisbärenfell enthält ebenso viel eingeschlossene/gefangene Luft. Daran sollten sich die Schüler*innen erinnern.

Was bedeutet das für die Konstruktion der Warmhaltebox?

Materialien, die Wärme gut leiten, sind zum Schutz vor Wärmeleitung und mithin zur Isolation weniger gut geeignet. Materialien mit winzigen Luftkammern sind dagegen gut geeignet. Das trifft unter anderem auf gestrickte Wolle und Wellpappe zu. Fleece eignet sich genauso. Auch ein Eierkarton hat Lufteinschlüsse.

Hinweis. Die abgeschnittenen Seiten der Wellpappe sollten im Rahmen der Konstruktion abgeklebt werden, damit die Luft nicht entweichen kann.

2. Experiment: Wir untersuchen Wärmestrahlen. (Seite 8 im Erfinderheft)

Mit diesem Experiment verbinden wir die folgenden zwei Ziele:

- 1) Die Schüler*innen erfahren die Wärmestrahlung, indem sie „sehen“, dass sich Material ohne Berührung erwärmt hat.
- 2) Die Schüler*innen erkennen, dass die Wärmestrahlung materialabhängig unterschiedliche Auswirkungen hat.

Was wird benötigt?

- Infrarotlampe (Wärmelampe)
- Haltevorrichtung für Pappe
- DIN A4-Blatt
- 3 schwarze Pappe mit wärmeempfindlicher Farbe und unterschiedlichen Vorderseiten
 - o unbeschriftet
 - o einseitig mit weißem Papier beschriftet
 - o einseitig mit Spiegelfolie beschriftet
- Erfinderheft und Stift

Durchführung:

Hierbei handelt es sich um eine Experiment, welches frontal mit der Unterstützung einiger Schüler*innen durchgeführt wird.

Die Schüler*innen haben die Experimentseite im Erfinderheft aufgeschlagen. Gemeinsam wird erarbeitet, was zu tun ist, Absatz: „So gehst du vor?“

Zwei Schüler*innen positionieren Lampe und Halterung mit der schwarzen Pappe auf einem Tisch. Bitte beachten Sie, dass die Schüler*innen möglichst nicht in das Licht der Lampe schauen. Deshalb macht es in der Regel Sinn, die Infrarotlampe parallel zur Tafel zu stellen. Das Farbfeld auf der Pappe zeigt dabei nicht zur Lampe. Zur Abstandsmessung dient die Breite eines DIN A4-Blattes, welches genau zwischen Lampe und Abstandhalter passen sollte. Wenn alles steht, wird die Infrarotlampe eingeschaltet und die Sekunden werden gezählt.

Die Veränderung des Farbfelds wird von 1-2 Schüler*innen beobachtet, die ein Zeichen geben, wenn sich das Farbfeld entfärbt hat. Die Lampe wird ausgestellt und die entfärbte Rückseite wird allen Schüler*innen gezeigt. Die benötigte Sekundenzahl sollte an die Tafel geschrieben und in die Erfinderhefte übertragen werden. Mit den beiden anderen Pappen wird genauso verfahren.

Hinweis: Direkte Sonneneinstrahlung auf die Seite mit dem Farbfeld muss vermieden werden, da die Ergebnisse sonst verfälscht werden.

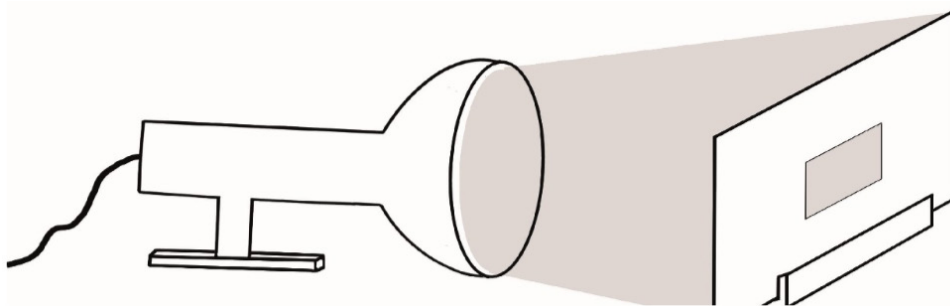


Abb. 9: Versuchsaufbau 2. Experiment

Beobachtung:

Normalerweise werden ungefähr diese Werte erzielt:

Farbe entfärbt sich in ...	... Sekunden
Schwarze Pappe	7
Weißer Pappe	40
Spiegelfolie	100

Tab. 4: Mögliche Ergebnisse 2. Experiment

Hinweis: Das laute Mitzählen die Sekunden mag keinen wissenschaftlichen Anforderungen genügen, aber auch wenn die Sekunden mal schneller und mal langsamer gezählt werden, wird das Ergebnis nicht verfälscht. Natürlich besteht immer die Möglichkeit, parallel mit einer Stoppuhr zu arbeiten.

Erklärung:

Wenn Wärmestrahlung auf etwas trifft, wird ein Teil aufgenommen und ein Teil reflektiert (zurückgeschickt). Je mehr Wärmestrahlen in kurzer Zeit aufgenommen werden, desto schneller erwärmt sich etwas. Die Aufnahme der Wärme ist von der Farbe der Oberfläche und ihrer Beschaffenheit abhängig: Schwarz nimmt Wärmestrahlung besser auf als weiß. Weiß nimmt aber wiederum Wärme besser auf als eine glatte, spiegelnde Oberfläche. Die Wärmestrahlen, die nicht aufgenommen werden, prallen an der Oberfläche der Pappe ab und kehren wieder um.

Was bedeutet das für die Konstruktion der Warmhaltebox?

Das Marmeladenglas strahlt Wärme ab. Es kann also Sinn machen, spiegelnde Materialien einzusetzen, um die Wärmestrahlen ins Glas zurückzuschicken.

3. Experiment: Wir untersuchen Wärmeströmung. (Seite 9 im Erfinderheft)

Mit diesem Experiment wird das Ziel verfolgt, die Kinder erkennen zu lassen, welche Auswirkungen die Wärmeströmung auf den Wärmeverlust hat.

Was wird benötigt?

- Thermoskanne mit heißem Wasser
- 2 Marmeladengläser
- durchsichtiger Gefrierbeutel
- Verschluss für Gefrierbeutel
- Uhr
- Thermometer
- Erfinderheft und Stift

Durchführung:

Hierbei handelt es sich ebenso um eine Experiment, welches frontal mit der Unterstützung einiger Schüler*innen durchgeführt wird.

Die Schüler*innen haben die Experimentseite im Erfinderheft aufgeschlagen. Gemeinsam wird erarbeitet, was zu tun ist, Absatz: „So gehst du vor?“

Beide Marmeladengläser werden mit heißem Wasser gefüllt. In einem Glas wird die Wassertemperatur zu Beginn gemessen und an die Tafel geschrieben. Man kann davon ausgehen, dass die Anfangstemperatur in beiden Gläsern gleich hoch ist. Zügig werden auf beide Gläser die Deckel geschraubt. **(Achtung! Die Gläser sind heiß.)** Eines der beiden Gläser wird in den Gefrierbeutel eingepackt und verschlossen. In der nachfolgenden Wartezeit von rund 15 Minuten bearbeiten die Schüler*innen die dem Experiment nachfolgenden Seite im Erfinderheft.

Nach der Wartezeit wird in beiden Gläsern die Temperatur gemessen und miteinander verglichen.

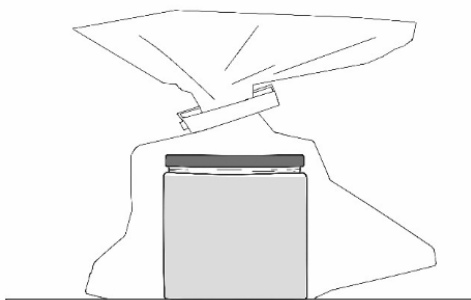


Abb. 10: Versuchsaufbau 3. Experiment

Beobachtung:

Das Wasser im Marmeladenglas, welches sich im Plastikbeutel befand, ist deutlich wärmer geblieben.

Hinweis: In Abhängigkeit von der Anfangstemperatur und der Umgebungstemperatur sind die Ergebnisse immer unterschiedlich, sodass wir hier keine Ergebnisse nennen können.

*Um besonders deutliche Ergebnisse zu erzielen, können die Gläser auch ans geöffnete Fenster gestellt werden. Parallel kann so auch die Wartezeit um ein paar Minuten reduziert werden. Sollten die Schüler*innen noch kein Kommazahlen kennen, dann muss mit den Zahlen vor dem Komma gearbeitet werden.*

Erklärung:

Warme Luft steigt auf. Das ist das Prinzip der Wärmeströmung. Der Plastikbeutel versperrt der nach oben strömenden Luft jedoch den Weg. So bleibt das Marmeladenglas durch den Plastikbeutel von warmer Luft umgeben.

Zudem gilt, dass der Wärmeverlust durch Wärmeleitung umso größer ist, desto größer die Temperaturunterschiede zwischen Glas und Umgebung sind. Diese Temperaturunterschiede werden jedoch immer kleiner, weil die Luft im Plastikbeutel immer wärmer wird.

Des Weiteren strömt bei dem Glas ohne Schutz immer wieder kalte Luft nach. Das muss so sein, wenn die warme Luft nach oben entweicht. Dieser Kreislauf kann innerhalb des Plastikbeutels nicht stattfinden.

Was bedeutet das für die Konstruktion der Warmhaltebox?

Es ist sinnvoll, die Wärmeströmung zu unterbinden, indem luftdicht gebaut wird. Es macht dabei aber Sinn, darauf zu achten, dass ein kleines Luftpolster bleibt, das sich erwärmen kann. Der Effekt eines enganliegenden, dünnen luftdichten Schutzes ist im Hinblick auf Verhinderung der Wärmeströmung eher zu vernachlässigen.

VII Stundentafel und Unterrichtstabellen

Für die Unterrichtseinheit sollte im Idealfall mit 12 Schulstunden geplant werden. Aus Tabelle 5 wird der grundsätzliche Ablauf sichtbar.

Stunde	Inhalt
Stunde 1	Einstieg mit den Arktisforschern „Jamal & Emma“, Wärmeschutzmechanismen des Eisbären
Stunde 2	Versuch zur Wärmeleitung
Stunden 3 und 4	Versuch zur Wärmestrahlung und Wärmeströmung, Aufgabenstellung
Stunden 5 und 6	Checkliste, Materialien & Konstruktionsbeginnstellung
Stunden 7 bis 10	Konstruktion & Fertigstellung
Stunden 7 bis 10	Test der Konstruktionen, Vorstellung der Konstruktionen, Abschluss

Tab. 5: Ablauf der Unterrichtseinheit

Unterrichtstabelle 1. Stunde

Stunde 1 (Einstieg & Eisbär)

Zeit	Unterrichtsphase	Inhalte	Sozialform	Materialien
10 min	Einstieg	Begrüßung Teil 1 der Geschichte „Die Arktisforscher Jama und Emma“ vorlesen	Plenum	Geschichte im Erfinderheft Seite 2
7 min	Kälteschutz des Eis- bären	Habt Ihr Ideen, wie sich ein Eisbär in der Arktis warmhält? Die Kinder formulieren zunächst ihre eigenen Vermutungen zur Angepasstheit von Eisbären. Die Lehrkraft hält die Antworten an der Tafel oder auf einem Poster fest. Erfinderheft austeilen, vorstellen und mit Namen versehen lassen.	Plenum	Tafel oder Poster
20 min	Kälteschutz des Eis- bären	Die Kinder werden in 3 Gruppen aufgeteilt. Jede Gruppe übernimmt eines der Themengebiete Fell, Fett oder andere körperliche Besonderheiten. Zunächst wird das in der Gruppe besprochen, dann werden die Gruppen so gemischt, dass alle Themen vertreten sind und alle 3 Themen besprochen werden.	Gruppen- arbeit	Erfinderheft Seite 3 + 4
7 min	Kälteschutz des Eis- bären	Passt das Erarbeitete zu unseren Vermutungen? Lehrkraft nimmt ggf. Änderungen vor.	Plenum	Tafel oder Poster

Unterrichtstabelle 2. Stunde

Stunde 2: Versuch zur Wärmeleitung

Zeit	Unterrichtsphase	Inhalte	Sozialform	Materialien
5 min	Einstieg	Es geht weiter mit den Arktisforschern Jamal und Emma -> vorlesen	Plenum	Geschichte im Erfinderheft Seite 5
10 min	Grundlagen zum Experimentieren	Wie führen wir Experimente sicher durch? Was ist thermochrome Farbe?	Plenum	Erfinderheft Seite 6
30 min	Versuch Nr.1 Wir untersuchen Wärmeleitung	Durchführung entsprechend der Beschreibung im Dokument „Experimente zur Wärmeenergie“ Die Schüler*innen bearbeiten die Aufgaben auf der Experimentseite im Erfinderheft. Gemeinsames Besprechen der Aufgaben. Rückgabe der Utensilien.	Gruppenarbeit	Erfinderheft Seite 7

Unterrichtstabelle 3. & 4. Stunde

Stunden 3 & 4: Versuche zur Wärmestrahlung und Wärmeströmung, Aufgabenstellung

Zeit	Unterrichtsphase	Inhalte	Sozialform	Materialien
5 min	Einstieg	Wiederholung letzte Stunde	Plenum	
20 min	Versuch Nr. 2: Wir untersuchen Wärmestrahlung	Durchführung entsprechend der Beschreibung im Dokument „Experimente zur Wärmeenergie“ Die Schüler*innen bearbeiten die Aufgabe auf der Experimentseite im Erfinderheft. Gemeinsames Besprechen der Aufgabe.	Plenum	Erfinderheft Seite 8
30 min	Versuch Nr. 3: Wir untersuchen Wärmeströmung	Durchführung entsprechend der Beschreibung im Dokument „Experimente zur Wärmeenergie“ In der Wartezeit: Was vermutet Ihr? Sehen wir nach 15 Minuten Unterschiede? Auch Emma und Jamal haben eine Vermutung -> Vorlesen Die Schüler*innen bearbeiten die Aufgabe auf der Experimentseite im Erfinderheft. Kurzes Besprechen der Aufgabe.	Plenum	Erfinderheft Seite 9 Erfinderheft Seite 10 Erfinderheft Seite 9
15 min		Letzter Absatz der Geschichte mit der Überleitung zu den Formen des Wärmeverlusts	Plenum	Erfinderheft Seite 10

		Frage an die Schüler: Auf welchen Wegen wandert die Wärme? • Wärmeleitung • Wärmeströmung • Wärmestrahlung Bei jeder genannten Variante einen entsprechenden Pfeil an die Tafel kleben. L: Kennt ihr Beispiele? L: Ganz wichtig, auch vom Marmeladenglas wandert die Wärme. Schaut auf Seite 11 unten im Erfinderheft.		Pfeile aus der Kiste Erfinderheft Seite 11
20 min	Vorbereitung der Konstruktion; Aufgabenstellung & Prinzip der Checkliste	Jetzt seid ihr bestens vorbereitet, eine Warmhaltebox zu bauen. Die Aufgabenstellung laut vorlesen lassen. Die Frage die wir uns stellen sollten. Was muss die Box können? Wir nennen das auch Funktionen. Alles was die Box können muss schreiben wir auf – und zwar in die sog. Checkliste. Was glaubt ihr, warum die Checkliste wichtig sein könnte? In die Checkliste könnt ihr auch noch Funktionen schreiben, die sie nicht unbedingt haben muss, die aber euch wichtig sind. Ggf. nochmal Hinweis auf Materialien zum Mitbringen geben.	Plenum	Erfinderheft Seite 12

Unterrichtstabelle 5. & 6. Stunde

Stunden 5 und 6 (Checkliste, Materialien und Konstruktionsbeginn)

Zeit	Unterrichtsphase	Inhalte	Sozialform	Materialien
5 min	Einstieg	Wofür brauchen wir eine Checkliste? Wie ist sie aufgebaut?	Plenum	
15 min	Klären der Problemstellung + Erstellung der Checkliste	Welche Anforderung gibt es an die Warmhaltebox? Checklisten-Tabelle an der Tafel gemeinsam mit den SuS erarbeiten. Was muss die Box können? <i>Was muss in die Box rein?</i> ● Platz für das Glas Willst Du die Box wiederverwenden? ● Wärme einsperren: Behinderung von Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung ● Glas herausnehmbar Muss der Deckel der Box festsitzen, z.B. für den Transport? ● Box verschließbar Nach Erstellung der Checkliste übertragen die SuS die Muss- Funktionen in ihr Erfinderheft. Die die ihnen noch wichtig sind, können Sie selbst hinzufügen.	Plenum	Erfinderheft Seite 12
5 min	Werkzeug vorstellen und „Regeln beim Konstruieren“	Das Arbeitsmaterial und das Werkzeug aus der Erfinderkiste werden vorgestellt. Die Konstruktionsregeln werden nach und nach – ggf. von verschiedenen Schüler*innen – laut vorgelesen. Alle Schüler*innen bekommen leihweise ein kleines Marmeladenglas aus der Erfinderkiste.	Einzel- oder Gruppenarbeit, Beides ist möglich.	Erfinderkiste Erfinderheft Seite 13

5 min	Materialauswahl + Ideenfindung	Kinder wählen am Materialbuffet die gewünschten Materialien aus und entwickeln ihre Ideen. Sie können mit dem Bauen beginnen. Möglicher Impuls: Schaue dir an, was zum Bauen der Box zur Verfügung steht und überlege, was du wie daraus bauen könntest. Wenn du eine Idee hast, dann nimm, was du brauchst.“		Erfinderkiste mitgebrachte Alltagsmaterialien
ca. 30 min	Erkundungs- und Konstruktionsphase	Bauphase - wichtige Elemente: • Fehler dürfen gemacht werden. • Fehler dürfen selbst analysiert werden. (Warum geht es so nicht). Ideen und Lösungsansätze dürfen zwischen Gruppen ausgetauscht werden.		Erfinderkiste mitgebrachte Alltagsmaterialien
10 - 15 min	Vorstellung aktueller Stand	Präsentation der ersten Fortschritte Mögliche Impulsfragen: • Wie weit bist du mit deinem Bauvorhaben gekommen? • Was hat gut geklappt? • Womit hattest du Probleme und wie hast du sie gelöst? • Wie willst Du weiter bauen? Reichen die mitgebrachten Materialien? Passt das zu dem was die Sus erstellen müssen/wollen. Ggf. Hinweis, dass noch Materialien mitgebracht werden sollten.	Stuhlkreis wenn möglich	Konstruktionen
15 min	Aufräumen	Aufräumen <i>Hinweis: entfällt und mithin Zeitgewinn, wenn noch eine Stunde oder Doppelstunde gebaut werden kann.</i>		

Die Erstellung der Checkliste ist für die SuS eine Herausforderung. Hier ist die Unterstützung der Lehrkraft durch die entsprechenden Fragestellungen gefragt. Wichtig ist, dass die Schüler*innen die Vorgehensweise kennenlernen.

Unterrichtstabelle 7. - 10. Stunde

Stunden 7 bis 10 (Konstruktion mit Fertigstellung)

Zeit	Unterrichtsphase	Inhalte	Sozialform	Materialien
5 min	Einstieg	Heute wird gebaut. Nach der Fertigstellung wird die Box getestet: Testprotokoll erklären	Plenum	Erfinderheft Seite 14
60 min	Konstruktionsphase	Weiterarbeit an der Box, Beratung durch Lehrkraft wo nötig bei der Umsetzung der Konstruktionsideen. Wer fertig ist, überprüft nochmal, ob alle Punkte aus dem „Abnahmeprotokoll“ erfüllt sind und kommt dann zur Lehrkraft, um sich dies bestätigen zu lassen.	Einzel oder Gruppenarbeit	Erfinderkiste mitgebrachte Alltagsmaterialien
10 min	(Zwischenbesprechung, falls notwendig)	Wenn viele Kinder an ähnlichen Problemen feststecken, kann die Konstruktionsphase für einen Sitzkreis unterbrochen werden. Konkrete Diskussion rund um das Problem: Welche Lösungsideen gibt es?	Stuhlkreis	Konstruktionen
20 min	Präsentation der Zwischen- oder Endergebnisse	Nach einer längeren Konstruktionsphase präsentieren die SuS noch einmal ihren Konstruktionsfortschritt. Idealerweise sind die meisten SuS bei den Hauptfunktionen schon sehr weit fortgeschritten. Eventuelle Extras und Vorzüge der Innenausstattung können ebenfalls präsentiert werden. Mögliche Impulse: • Was hast du gebaut? • Was ist besonders gut gelungen? • Was funktioniert noch - nicht? • Welchen Zweck haben die einzelnen Komponenten? • Was möchtest du noch bauen und wie? • Hast oder wirst Du alle Hauptfunktionen erfüllen? • Möchtest du Vorschläge/ Ideen aus der Klasse haben?	Stuhlkreis	Konstruktionen

60 - 80 min	Konstruktionsphase II inklusive Optimierung	Mögliche Impulse: Lehrkraft interveniert nach Bedarf. • Was baust du gerade und wie? Bei fehlenden Funktionen: • Hast du daran gedacht, dass...? Bei sehr langsamen Kindern kann im Einzelfall entschieden werden, ob sie aktive Hilfe von anderen annehmen dürfen. Die SuS sollen vor der Abnahme selbst kontrollieren, ob alle Anforderungen erfüllt werden. Ggf. müssen Sie nochmal optimieren.	Einzel- oder Gruppenarbeit	Erfinderkiste mitgebrachte Alltagsmaterialien
15 min	Aufräumen	Aufräumen	Einzelarbeit	

Es kann sein, dass einige Kinder schon fertig sind und einen Vorab-Test machen wollen. Wenn die Kapazitäten zur Verfügung stehen, dann ist das möglich. Das entsprechende Dokument gibt es auf der Seite 13 im Erfinderheft. Die Schüler*innen können dann zum Beispiel an der Wand des Schuhkartons fühlen, wo die Wärmeabgabe noch groß ist. Die Schüler*innen vergessen z.B. gerne den Deckel oder den Boden der Box zu isolieren.

Des Weiteren ist es sicher nicht ganz einfach, die Schüler*innen weiter zu beschäftigen, die mit ihrer Konstruktion definitiv fertig sind. Folgende Vorschläge dazu:

- die SuS können Zusatzfunktionen einbauen
- Sie können andere bei der Konstruktion unterstützen, wenn das gewünscht ist.
- Sie können mit dem Aufräumen beginnen.
- Sie können die Geschichte von Emma und Jamal weiterschreiben.
- ...

Unterrichtstabelle 11. & 12. Stunde

Stunden 11 und 12 (Test der Konstruktionen, Vorstellung der Konstruktionen, Abschluss)

Zeit	Unterrichtsphase	Inhalte	Sozialform	Materialien
5 min	Einstieg	Heute schließen wir den Bau der Warmhaltebox ab. Zunächst werden wir alle Boxen testen und später werden wir einzelne Boxen vorstellen. Was glaubt ihr welchen Temperaturverlust	Plenum	
30 min	Funktionstest	Gruppenweise (4 SuS) kommen Kinder mit ihren Konstruktionen vor. 5 Marmeladengläser werden gleichzeitig mit Wasser gefüllt. In einem Vergleichsglas wird die Temperatur gemessen (= Anfangstemperatur, die für alle gilt). Gleichzeitig schrauben die SuS möglich schnell die Deckel auf und verstauen die Gläser in der Box. Das Vergleichsglas verbleibt ungeschützt. Die nächste Gruppe kommt nach vorne... Die SuS tragen die Anfangstemperatur und die korrespondierende Uhrzeit in das Testdokument ein.	Erst Gruppenarbeit, dann Einzelarbeit	Erfinderheft Seite 14 Vorbereitete Thermoskannen mit heißem Wasser • Konstruktionen • Thermometer

In der Wartezeit von 15 Minuten bearbeiten die Schüler*innen die Aufgabe auf der S. 14 im Erfinderheft.

Nach Ablauf der 15 Minuten, kommt die Gruppe geschlossen nach vorne und es wird in jedem einzelnen Glas und in dem Vergleichsglas die Temperatur gemessen. Samt Uhrzeit werden die Ergebnisse m Testdokument festgehalten.

*Hinweis: Es kann ggf. auch Sinn machen, eine große Tabelle an der Tafel anzulegen, in die alle Schüler*innen ihre Ergebnisse eintragen.
(Möglicher Aufbau: Name/Anfangstemperatur/ Uhrzeit/Endtemperatur/Uhrzeit/Temperaturunterschied) In eine Zeile würden jeweils die Vergleichswerte eingetragen.*

15 min	Aufgaben	Die SuS bearbeiten die Aufgaben auf der letzten Seite im Erfinderheft.	Einzelarbeit	Erfinderheft Seite 15
30 min	Vorstellung der Konstruktionen	Vorstellung einiger Boxen und Besprechung • Wie bin ich vorgegangen? • Was habe ich wie und warum gemacht? • Welches Material erfüllt welche Funktion? Was war gut und schlecht an dem Projekt. Wer will die Konstruktion mit nach Hause nehmen? Zuhause könnten die Kinder noch weitere Optimierungen vornehmen und Tests durchführen.	Stuhlkreis	Konstruktionen
10 min	Verabschiedung und etwaiges Recyceln	Wenn die Schüler*innen die Box nicht mit nach Hause nehmen wollen, müssen die eingesetzten Materialien getrennt und dem Recycling zugeführt werden. Die Schüler*innen geben die Marmeladengläser zurück.	Plenum	

VIII Praxistipps für den Unterricht

Um die schwierige Aufgabe beim Planen und Durchführen des Projektes zu erleichtern, sind in der Folge einige Zweckmäßige Materialien und technische Verfahren erläutert.

- Zu den Alltagsmaterialien:

Es hat sich herausgestellt, dass die Schülerinnen und Schüler Tetrapaks mitbringen, die in der Regel nicht gut gespült sind. Die Tetrapaks sollten deshalb im Vorfeld alle überprüft werden.

Wir sollten aus Umweltgründen darauf verzichten, mit Alufolie zu arbeiten. Darüber hinaus reflektiert Alufolie zwar die Wärmestrahlen, ist jedoch ein sehr guter Wärmeleiter. Viel besser geeignet ist die kunststoffbasierte und Spiegelfolie aus Chipstüten oder anderen Verpackungen. Auch Rettungsdecken sind geeignet.

- Thermometer

Nicht alle Klassen haben Erfahrung mit dem Ablesen von Thermometern. Es kann sein, dass das im Vorfeld geübt werden muss. Auch mit Kommazahlen können viel Grundschülerinnen und Schüler nicht umgehen, hier muss die Zahl vor dem Komma abgelesen werden.

- Funktionstests

Die Tests (Vor- und Abschlusset) lassen sich am besten in Gruppen durchführen. Auch reicht pro Gruppe ein ungeschütztes Referenzglas.

IX Beurteilung der Leistungen

Das Vorgehen von Kindern beim Konstruieren ist sehr unterschiedlich, abhängig von Erfahrung, handwerklichem Geschick und Persönlichkeit. Es gibt nicht die eine richtige Arbeitsweise, so wie es auch nicht die eine richtige Lösung für eine Konstruktionsaufgabe gibt. Dennoch gibt es Kriterien, die für das Konstruieren wichtig sind und eine Bewertung ermöglichen. Die vorgeschlagenen Bewertungsfelder unterteilen sich in die Bereiche des Konstruktionsprozesses, der entstandenen Konstruktion (=Produkt) und der Reflexion.

Fertigungsprozess	Das Produkt	Reflexion
Der Schüler/die Schülerin • arbeitet zielstrebig • unterscheidet zwischen wichtigen und unwichtigen Funktionen • erkennt eigene Fehler • löst Probleme selbständig	Beurteilung anhand der notwendigen Funktionen der Checkliste und Bonuspunkte für Originalität	Der Schüler/Die Schülerin • kann sein Produkt präsentieren • kann Stärken und Schwächen identifizieren • kann Verbesserungsmöglichkeiten benennen

Abb. 11: Bewertung auf drei Ebenen

Auch wenn bei den Konstruktion die Funktionalität im Vordergrund steht, könnte durchaus bis zu drei Bonuspunkte für Originalität vergeben werden. Einigen Kindern ist es einfach wichtig, dass auch die Ausstattung und/oder das Design gewürdigt wird. Dem wollen wir gerne entsprechen. Hierbei handelt es sich um Zusatzpunkte.

Aus den Bewertungsfeldern haben wir eine Bewertungstabelle entwickelt, die sowohl als Kopiervorlage als auch als Excel-Datei auf unserer Webseite zur Verfügung steht. Die maximal zu erreichende Punktzahl, einschließlich der Bonuspunkte, beträgt 42 Punkte.

Beurteilung der Leistungen

Kategorien	Punkte		
Der Konstruktionsprozess	1	2	3
Der Schüler / Die Schülerin arbeitet zielstrebig an seiner /ihrer Konstruktion.			
Der Schüler / Die Schülerin unterscheidet wichtige und unwichtige Funktionen.			
Der Schüler / Die Schülerin erkennt eigene Fehler.			
Der Schüler / Die Schülerin löst Probleme selbstständig und / oder kann impulse selbstständig umsetzen.			
Das Produkt...	1	2	3
... ist fertig.			
... hat einen Platz für das Glas.			
Das Glas ist herausnehmbar.			
... behindert Wärmeleitung.			
... behindert Wärmestrahlung.			
... behindert Wärmeströmung.			
Bonus für Originalität			
Reflexion	1	2	3
Der Schüler / Die Schülerin kann sein Produkt präsentieren.			
Der Schüler / Die Schülerin kann Stärken und Schwächen identifizieren.			
Der Schüler / Die Schülerin kann Verbesserungsmöglichkeiten benennen.			
Summe			

Punkte	Note
40 - 42	1
38 - 39	1-
36 - 37	1-2
34 - 35	2+
32 - 33	2
30 - 31	2-
28 - 29	2-3
26 - 27	3+
24 - 25	3
22 - 23	3-
20 - 21	3-4
18 - 19	4+
<18	4

Vorschlag einer Notenskala anhand der Punkteverteilung

1. Beurteilung der Leistungen
2. Baumaterial für eine Wärmehaubebox

Diese Inhalte sowie die Erfinderhefte stehen im Mitgliederbereich zum Download zur Verfügung:

<https://www.startlearning.info/begleitmaterialien-warmhaubebox>

Beurteilung der Leistungen

Name: _____

Kategorien	Punkte		
Der Konstruktionsprozess	1	2	3
Der Schüler / Die Schülerin arbeitet zielstrebig an seiner /ihrer Konstruktion.			
Der Schüler / Die Schülerin unterscheidet wichtige und unwichtige Funktionen.			
Der Schüler / Die Schülerin erkennt eigene Fehler.			
Der Schüler / Die Schülerin löst Probleme selbstständig und / oder kann impulse selbstständig umsetzen.			
Das Produkt...	1	2	3
... ist fertig.			
... hat einen Platz für das Glas.			
Das Glas ist herausnehmbar.			
... behindert Wärmeleitung.			
... behindert Wärmestrahlung.			
... behindert Wärmeströmung.			
Bonus für Originalität			
Reflexion	1	2	3
Der Schüler / Die Schülerin kann sein Produkt präsentieren.			
Der Schüler / Die Schülerin kann Stärken und Schwächen identifizieren.			
Der Schüler / Die Schülerin kann Verbesserungsmöglichkeiten benennen.			
Summe			

Gesamtpunktzahl: _____

Gesamtnote: _____

Wir bauen eine Warmhaltebox!

Dafür benötigst du einen Schuhkarton.

Des Weiteren sollte Baumaterial mitgebracht werden.

Geeignetes Baumaterial:

- Leere Tetrapaks (gut ausgespült)
- Runde Chips-Verpackungen (z.B. Pringels)
- Leere, ausgespülte und innen spiegelnde Verpackungen von z.B. Chips, Erdnüssen und Schokoküssen
- Altpapier
- Kartonage, am besten doppelt gewellt
- Pappe
- Stoffreste (oder altes T-Shirt, alte Wollmütze, alte Handschuhe, etc. ...)
- Filz- und Wollreste
- Schaumstoff
- Eierkartons
- Luftpolsterfolie
- Watte

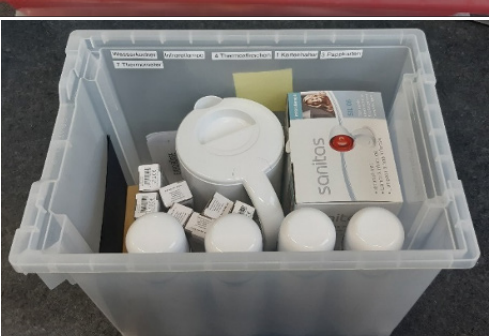
Niemand muss alles dabeihaben. Es wird ein Tisch mit allen Baumaterialien aufgebaut, an dem sich alle Kinder gleichermaßen bedienen dürfen.

Es darf auch gerne Material zum Isolieren mitgebracht werden, das nicht auf der Liste steht, solange es **nicht** extra dafür gekauft wird. Nur Styropor wollen wir nicht verwenden.

XI Bestandsliste der Kiste zur Konstruktion einer Warmhaltebox

Anzahl	Werkzeug/ Geräte/ Vorführmaterial:
1	Wasserkocher
1	Infrarotlampe
4	Thermoskannen
8	Bechergläser (beklebt)
8	Materialproben
1	Kartenhalter
3	Pappkarten (3 Farben, mit Messfeldern)
7	digitale Thermometer
12	laminierte Pfeile (orange, rot, gelb)
4	Tesa Abroller
4	große Scheren
32	Marmeladengläser
2	kleine Seitenschneider (rot)
1	Verlängerungskabel
4	Prickelnadeln
	Verbrauchsmaterial:
6 Rollen	Kreppklebeband
1 Rolle	Schnur
10 Rollen	Tesa
50	Haushaltsgummis
200	Musterbeutelklammern
1 Rolle	Draht

Sortierung der Kiste zur Konstruktion einer Warmhaltebox

	Toolbox
	obere kleine Kiste (mit Toolbox)
	mittlere kleine Kiste
	kleine Kiste (Gläser)
	mittlere Kiste
	große Kiste