



**Passivhaus-Schulen  
werden aktiv**



# PASSIVHAUS-SCHULEN WERDEN AKTIV!

Energetisch hocheffiziente Schulgebäude als Unterrichtsthema  
Handreichung für Lehrkräfte ab Klasse 4



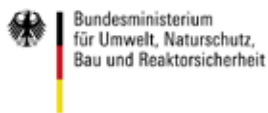


# **PASSIVHAUS-SCHULEN WERDEN AKTIV!**

Energetisch hocheffiziente Schulgebäude als Unterrichtsthema  
Handreichung für Lehrkräfte ab Klasse 4

Dieses Projekt wurde finanziell vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## IMPRESSUM:

Autorinnen: Dorothea Carl und Marlies Bock | [www.ufu.de](http://www.ufu.de)

Gestaltung und Layout: Karo3, Jules Weigel | [www.karo3.de](http://www.karo3.de)

Projektpartner: Werk-statt-Schule e.V. und e&u energiebüro gmbh



e&u energiebüro  
gmbh

1. Auflage: 300 Stück, Berlin 2017

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Druckerei: SOLID EARTH Berlin

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Einführung 5

- 1.1 Schulen in Passivhaus-Bauweise als Beitrag zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen 5
- 1.2 Das Projekt „Passivhaus-Schulen werden aktiv“ 5
- 1.3 Intention der Broschüre, Aufbau und Einsatz im Unterricht 6

## 2. Klimawandel und Wärmewende 7

- 2.1 Treibhauseffekt und anthropogener Klimawandel 7
  - 2.1.1 Wetter – Klima – natürlicher Treibhauseffekt 7
  - 2.1.2 Anthropogener Klimawandel 10
  - 2.1.3 Folgen des anthropogenen Klimawandels 10
- 2.2 Wärmewende 12
- 2.3 Zukunftsfähige Nicht-Wohngebäude 13

### Arbeitsblätter und Kopiervorlagen

- Quizfragen zum Klimawandel 15
- Klimawandel 16
- Folgen des anthropogenen Klimawandels 17
- Klimawandel: Lebensstil – früher und heute 18

## 3. Das Passivhaus – Außen 21

- 3.1 Standortwahl und Baukörper 22
  - 3.1.1 Die Lage im Gelände 22
  - 3.1.2 Baukörperform 22
  - 3.1.3 Dimensionierung 23
- 3.2 Die thermische Außenhülle 25
  - 3.2.1 Wärmetransporte 26
  - 3.2.2 Eigenschaften von Dämmstoffen 28
  - 3.2.3 Außenwände, Boden, Dach 31
  - 3.2.4 Fenster und Türen 32
  - 3.2.5 Sonnen-/Wärmeschutz 34

### Arbeitsblätter und Kopiervorlagen

- Tiere sind Baumeister! 37
- Wärmetransport – Experiment 39
- Dämmstoffe 40
- Dämmstoffe-Memory 42
- Gebäudehülle – Wärmedämmung – Dämmstoffe 43

## 4. Das Passivhaus – Innen

44

4.1 Heizung	44
4.2 Lüftung	49
4.2.1 Innenraumluftqualität, Hygiene und Behaglichkeit	49
4.2.2 Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	51
4.2.4 Lüftungsanlagen im Sommerbetrieb	55
4.3 Beleuchtung	57
4.4 Sonstige Stromverbraucher	59

### Arbeitsblätter und Kopiervorlagen

Die thermische Hülle und Technik eines Passivhauses	61
„Schnitzeljagd“	63
Passivhauskomponenten im eigenen Raum finden und skizzieren	64
„Richtig oder Falsch“ Passivhaus	65
Gebäudecheck Sinneseindrücke	67
Gebäudecheck – Nutzerbefragung und Messung in einem Raum	68
Gebäudecheck in mehreren Räumen	69
Gute Luft in Passivhäusern	70
Richtwerte für die Innenraumluftqualität	74
Prima Klima in der Schule?	76
Luft und Lüftung	77

## 5. Anhang

78

5.1 Integration in den Unterricht	78
5.2 Beispiele	78
„Crashkurs“ / 1 Doppelstunde	81
Unterrichtsprojekt oder Projekttag / Dauer: 3 Doppelstunden	83
5.3 Methoden	85
5.4 Verhaltensregeln und Kommunikation im Passiv-Schulgebäude	89
5.5 Medentipps	91
5.6 Abbildungsverzeichnis	92

# 1. Einführung

## 1.1 Schulen in Passivhaus-Bauweise als Beitrag zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen

---

Während die meisten Menschen beim Thema Energiesparen an elektrischen Strom denken, ist nur den wenigsten bewusst, dass in unseren Breiten noch immer mehr als zwei Drittel des Energiebedarfs für die Herstellung von Raumwärme und Warmwasser aufgewendet werden müssen, und in Privathaushalten mehr als 80 % des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Heizungen verursacht werden. Im Bereich der öffentlichen bzw. Nichtwohn-Gebäude sieht es nicht viel besser aus, dabei ließe sich durch energetische Sanierungen, Modernisierungen und ausschließlichen Neubau in hoch energieeffizienten Standards der Heizenergiebedarf deutlich senken. Da die überwältigende Mehrheit der Heizungen mittels Verbrennung von Erdöl oder Erdgas Wärme erzeugen, müssen gerade in diesem Sektor erhebliche Verbesserungen erfolgen, damit die deutschen und europäischen Klimaziele wenigstens annähernd erreicht werden können.

Die Schülerinnen und Schüler<sup>1</sup> von heute werden in wenigen Jahren darüber entscheiden, wie gebaut und wo gelernt wird. Dabei kommt ihren eigenen Erfahrungen mit Lernorten und daraus resultierenden Meinungen und Haltungen eine besondere Rolle zu.

Mit dieser pädagogischen Handreichung wollen wir dazu beitragen, dass schon Kinder und Jugendliche ein Verständnis für zukunftsweisendes Bauen im Kontext des Klimawandels entwickeln. Voraussetzung dafür ist der Erwerb von Kompetenzen zu Planung, Bauweise, Funktion und Nutzung von Niedrigenergie-, Passiv- oder Plus-Energie-Gebäuden, wobei das eigene Schulgebäude praktischerweise als Forschungsobjekt fungieren kann. Auch bei vielen Lehrkräften, die der Passivhaus-Bauweise<sup>2</sup> nicht selten skeptisch bis ablehnend gegenüberstehen, kann die Beschäftigung mit diesem Thema zu größerer Akzeptanz führen.

## 1.2 Das Projekt „Passivhaus-Schulen werden aktiv“

---

Die vorliegende Handreichung für Lehrkräfte wurde im Rahmen des Projekts „Passivhaus-Schulen werden aktiv“ konzipiert. Dieses Projekt wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert und von 2015 bis 2017 vom Unabhängigen Institut für Umweltfragen (UfU) e.V., e8u energiebüro gmbh und Werk-statt-Schule e.V. durchgeführt. Sie beruht auf Erkenntnissen und Erfahrungen aus der Kooperation mit 30 Schulen, die über einen Zeitraum von 2 Jahren intensiv betreut wurden. Vielerorts führen vermeidbare Mängel bei Planung, Bauausführung, Wartung und Bedienung der technischen Bauteile zu einer negativen Haltung gegenüber den untersuchten Gebäuden. Doch auch die unsachgemäße Nutzung aufgrund fehlender Anleitung, Schulung und Unterstützung trägt dazu bei, dass die hohen Erwartungen an die Aufenthaltsqualität und die Reduktion des Energiebedarfs enttäuscht werden.

---

<sup>1</sup> „Schülerinnen und Schüler“ wird im folgenden Text mit „SuS“ abgekürzt.

<sup>2</sup> Im Weiteren wird die Kurzform „PH“ für Passivhaus verwendet.

Die verschiedenen Bausteine, aus denen die vorliegende Handreichung besteht, lassen sich nicht nur ergänzend zum regulären Fachunterricht in Form von Projektstunden oder -tagen durchführen, sondern auch gut an vielen Stellen in NaWi, Physik, Geografie, WAT, Deutsch, Ethik und Kunst einsetzen. Der unmittelbare Praxisbezug und konkrete Handlungsoptionen lassen auch Schülerinnen und Schüler für Themen Interesse entwickeln, bei denen sie im „Normalbetrieb“ abschalten würden.

### **1.3 Intention der Broschüre, Aufbau und Einsatz im Unterricht**

---

Unsere Absicht bei der Entwicklung dieser Broschüre war es, Lehrerinnen und Lehrern verschiedener Fachrichtungen und Schulformen Materialien an die Hand zu geben, die ohne intensive Vorbereitung und Expertenwissen möglichst vielseitig einsetzbar sind. Das eigene Schulgebäude als Forschungs- und Anschauungsobjekt zu nutzen, kann den Unterricht an vielen Stellen bereichern und durch die Herstellung eines unmittelbaren Bezugs zur Lebenswelt auch den Kompetenzerwerb in Bereichen erleichtern, die Schülerinnen und Schüler oft als sehr abstrakt und theoretisch wahrnehmen, wie z. B. die Zusammensetzung der Atemluft, die Grundlagen der Thermodynamik oder geometrische Berechnungen. Je nach fachlicher Anbindung, Interessen der Lehrenden und Leistungsniveau der Lernenden kann aus dem „Aufgabenbaukasten“ ausgewählt werden, was inhaltlich und vom Umfang her gerade am besten passt. Die meisten Aufgaben sind so angelegt, dass ihre Bearbeitung nicht mehr als 25 Minuten in Anspruch nimmt, sodass ein Thema mit Einstieg/Informationsteil, Erarbeitung und Abschluss sogar im Rahmen einer Schulstunde behandelt werden kann.



*Außenansicht der Mensa der Grundschule am Stöckener Bach / Hannover*

Jeder Themenkomplex beginnt mit einem Informationsteil, der an einigen Stellen durch weitere, detailliertere Ergänzungen vertieft wird. Im Text werden Hinweise für die praktische Umsetzung im Unterricht gegeben. Leitfragen, Experimente und Aufgaben schließen sich den Informationen an. Kopiervorlagen für Arbeitsblätter und weitere Materialien finden Sie am Ende des jeweiligen Kapitels. Medientipps und ein Quellenverzeichnis schließen die Broschüre ab.

Zur Vertiefung und als Ergänzung empfehlen wir Ihnen die Lektüre der ebenfalls im Projekt entwickelten Broschüre „Praxishandbuch - Empfehlungen für Planung, Bau, Betrieb und Nutzung von energieeffizienten Schulgebäuden“.



## 2. Klimawandel und Wärmewende

### 2.1 Treibhauseffekt und anthropogener Klimawandel

Die meisten Schülerinnen und Schüler<sup>3</sup> werden ihm schon mal im Unterricht und natürlich auch außerhalb der Schule begegnet sein: dem KLIMAWANDEL. Schon die Erwähnung des Begriffes mag bei manchen ein reflexartiges Gähnen auslösen, gefolgt von der Bemerkung: „Hatten wir schon“. Dennoch ist es wichtig, hoch energieeffizientes Bauen als eine unverzichtbare Maßnahme zur Eindämmung des Klimawandels zu identifizieren und diesen Kontext den SuS bewusst zu machen. Je nach Wissensstand der SuS, der sich mit den Methoden „Einfache Soziometrie“, „Stille Diskussion“ oder einem kurzen „Quiz“<sup>4</sup> ermitteln lässt, und verfügbarem Zeitbudget sollte mehr oder weniger ausführlich auf den anthropogenen Klimawandel, seine Ursachen, Folgen und mögliche Gegenmaßnahmen eingegangen werden. Jüngere oder leistungsschwächere SuS sollten die unterschiedliche Bedeutung der Bezeichnungen „Klima“ und „Wetter“ kennen und zumindest eine grobe Vorstellung davon haben, welche Faktoren für Wetter und Klima verantwortlich sind. In dieser Broschüre werden die Themen „Wetter, Klima und natürlicher Treibhauseffekt“ nur kurz angeschnitten. Im Internet sind mittlerweile zahlreiche gute Lehrfilme zum Thema zu finden und es gibt viele Veröffentlichungen, die sich der Themen intensiv annehmen. (siehe Medientipps und Links im letzten Teil der Broschüre).

Das Foto dieses seines natürlichen Lebensraumes beraubten Eisbären eignet sich gut als Impuls für den Einstieg ins Thema. Lassen Sie das Bild von Ihren SuS beschreiben, analysieren und interpretieren. Im Gesprächsverlauf können Sie nebenbei ganz gut herausfinden, was Ihre SuS bereits über Ursachen und Folgen des anthropogenen Klimawandels wissen.



*Bedrohter verhungerner Eisbär*

#### 2.1.1 Wetter – Klima – natürlicher Treibhauseffekt

Unter „Wetter“ verstehen wir den Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort, der durch Erscheinungen wie Niederschlag, Temperatur und Wind gekennzeichnet ist. Während das Wetter eine Momentaufnahme darstellt, beschreibt „Witterung“ eine abgrenzbare Abfolge verschiedener Wetterzustände in einem Gebiet (meist mehrere Tage). Beim „Klima“ handelt es sich um Witterungsvorgänge in größeren Gebieten oder Klimazonen über einen längeren Zeitraum.

Das Klima und nachgeordnet alle Wetterphänomene sind auf die Beschaffenheit unseres Planeten, seine Lage im Sonnensystem und die Aktivitäten unseres Zentralgestirns zurückzuführen. Maßgeblich für die Entwicklung von Leben in all seiner Vielfalt ist das Vorhandensein einer Atmosphäre, deren Gasgemisch die Erde wie eine Schutzhülle umgibt.

<sup>3</sup> Schülerinnen und Schüler werden im Folgenden mit „SuS“ abgekürzt.

<sup>4</sup> Diese und weitere Methoden werden in den Medientipps erläutert.

Die Treibhausgase sind als natürlicher Teil der Atmosphäre für das Leben essentiell. Neben Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zählen dazu Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid bzw. Lachgas (N<sub>2</sub>O), Fluorchlor-kohlenwasserstoff (FCKW), Ozon (O<sub>3</sub>) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O).

## EXKURS

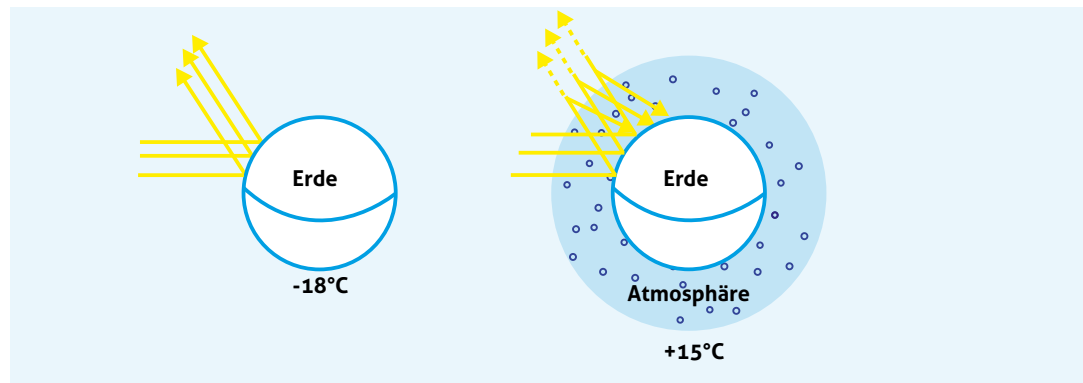


### Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre

Die folgende Tabelle eignet sich gut, um die weit verbreitete Annahme zu entkräften, dass „Luft“ überwiegend aus Sauerstoff besteht. Viele SuS sind auch überrascht, wenn sie sich die minimalen Anteile von CO<sub>2</sub> und Methan in der Atmosphäre vergegenwärtigen, wobei der Vergleich von den heutigen mit den vorindustriellen Werten den rasanten Anstieg des Volumenanteils offenbart. Dass auch schon die bisherigen Veränderungen weitreichende Konsequenzen für das Leben auf unserem Planeten haben, verdeutlicht die unverzichtbare Notwendigkeit eines sofortigen Umdenkens und Umlenkens in allen Lebensbereichen – vor allem bei uns, den Hauptemittenten von Treibhausgasen.

Gas	Formel	Volumenanteil	Eigenschaften
Stickstoff	N <sub>2</sub>	78,09 %	Elementarer Lebensbaustein, der klimaschädliche (Lachgas N <sub>2</sub> O) und gesundheitsschädliche (Stickoxide NO <sub>x</sub> ) Verbindungen bilden kann
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	20,95 %	Unverzichtbar für das Leben auf der Erde, „Abfallprodukt“ der Photosynthese
Wasser	H <sub>2</sub> O	< 4 %	„Motor“ der Wetterentwicklung. Wegen seiner hohen Fähigkeit zur Wärmespeicherung ist Wasser für die Erwärmung der Erdatmosphäre von großer Bedeutung.
Argon	Ar	0,93 %	Edelgas, schlechter Wärmeleiter, deshalb Schutzgas und Isolator zwischen Fensterscheiben
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	0,04 % vorindustriell: 0,028 %	Verdoppelung des Anteils seit der industriellen Revolution durch Verbrennen fossiler Brennstoffe, Brandrodung, Waldvernichtung, Anstieg der Meeresswassertemperatur. Wird in der Photosynthese zu Sauerstoff und Glucose umgewandelt
Methan	CH <sub>4</sub>	0,00018 % vorindustriell: 0,00007 %	sehr schädliches Treibhausgas; Freisetzung durch Auftauen von Permafrostböden und Trockenlegung von Mooren, Verdauungsprodukt von Rindern

Die Treibhausgase verhalten sich wie die Glashülle eines Gewächshauses: Sie lassen die kurzwellige solare Strahlung, also das Licht, weitgehend auf die Erdoberfläche durch, absorbieren jedoch die langwellige Strahlung, d.h. die Wärme und verhindern dadurch, dass die Wärme von der Erdoberfläche ungehindert ins All zurückgestrahlt wird. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre auf der Erde mit einer globalen Mitteltemperatur von  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  statt  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  Grad kein Leben in den uns bekannten Formen denkbar.



links: Erde ohne Treibhausgase, rechts: Erde mit Treibhausgasen

Obwohl der Anteil der sogenannten Treibhausgase an der Atmosphäre nur sehr gering ist, haben diese einen entscheidenden Einfluss auf das Klima. Nimmt ihre Konzentration zu, und dies geschieht durch die menschlichen Aktivitäten auf der Erde, insbesondere seit dem Beginn der Industrialisierung, verstärkt dies den Treibhauseffekt und führt bereits heute regional und global zu Klimaveränderungen mit in ihren Ausmaßen noch unabsehbaren, gravierenden Folgen.

## EXPERIMENT



**Material:** 1 Tischlampe / Strahler oder besser: Sonne, 2 Sekundenthermometer, 1 Bogen schwarzes Tonpapier, Folie oder andere Unterlage, Büroklammern, (Stopp-)Uhr, Tabelle zur Dokumentation der Temperaturveränderungen, bzw. Blatt Papier für entsprechende Notizen.

**Durchführung:** Die schwarze Unterlage wird dicht unter die Lampe oder in die pralle Sonne gelegt. Die Fühler des Sekundenthermometers werden mit Büroklammern auf der Unterlage fixiert. Die erste Messung erfolgt bevor die Lampe angeschaltet wird – beide Thermometer sollten dieselbe Temperatur anzeigen. Nun wird über das eine Thermometer ein umgedrehtes Glas gestellt und in Intervallen von 3 bis 6 Minuten zeitgleich die Temperatur von beiden Thermometern abgelesen.

**Ergebnis:** Mit Glasdeckel entwickeln sich höhere Temperaturen als ohne Abdeckung. Das Glas funktioniert also ähnlich wie die Atmosphäre oder ein Treibhaus.

## GEDANKEN-EXPERIMENT



In der Zentralsahara steigen die Temperaturen tagsüber auf 40 °C Grad und sinken bis zum frühen Morgen auf -3 °C Grad. Wie ist das zu erklären? Der Volumenanteil der Treibhausgase ist doch überall gleich ....

**Lösung:** Es fehlt in extrem trockenen Regionen der Wasserdampf in Form von Wolken, die als Schutzhülle die tagsüber entstandene Hitze daran hindern, nachts in das Weltall zu entweichen.

### 2.1.2 Anthropogener Klimawandel

In den letzten 35 Jahren sind die von uns Menschen verursachten Treibhausgasemissionen um 70 % gestiegen. Der ständig zunehmende Volumenanteil dieser Gase durch Energieerzeugung, Verkehr, Industrieproduktion, Abholzung, Landwirtschaft usw. führt zu einer unnatürlichen Erwärmung mit weitreichenden Folgen für unser Klima. Man spricht von einem künstlichen, menschlich verursachten oder anthropogenen Treibhauseffekt, dessen Auswirkungen nur durch eine deutliche Verringerung der Emissionen gestoppt werden können. Mit 64 % hat CO<sub>2</sub> global den größten Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt, es folgen Methan (CH<sub>4</sub>) mit 20 %, FCKW mit 10 % und Lachgas (N<sub>2</sub>O) mit 6 %. Noch immer gibt es Menschen, die darauf verweisen, dass sich das Klima schon immer verändert hat, und den Einfluss der Menschheit auf das Klima für irrelevant halten. Zweifelsohne gab und gibt es klimatische Veränderungen auch ohne menschliches Zutun, allerdings vollzogen sich diese im Laufe von Jahrtausenden und nicht innerhalb von 150 Jahren.

## HINWEIS



Im Anhang finden Sie Links zu einigen Videos im Internet, die das komplexe Thema „Klimawandel“ kurz und anschaulich behandeln. Zur Abfrage des Wissensstandes (vor oder nach dem Input in Form eines Films oder Vortrags) können Sie eine „Einfache Soziometrie“ (Anleitung in der Methodensammlung) mithilfe der Kopiervorlage „Klimawandel – richtig / falsch“ durchführen.

### 2.1.3 Folgen des anthropogenen Klimawandels

Schon heute sind die Folgen der Klimaerwärmung deutlich spürbar, berauben viele Menschen ihrer Lebensgrundlage und zwingen sie dazu, ihre Heimat zu verlassen. Extremwetterereignisse wie Stürme, Unwetter, Starkregen und lang anhaltende Dürreperioden treffen vor allem die Gesellschaften besonders hart, deren Treibhausgasemission gering ist. Aber auch in unseren Breiten machen sich die Auswirkungen des Klimawandels unangenehm bemerkbar.

Vor allem wir, die BürgerInnen der reichen Industrieländer, stehen in der Pflicht, unseren Ausstoß an Klimagasen zu reduzieren, denn unsere Pro-Kopf-Emissionen liegen wegen unseres Lebensstils um ein Vielfaches über denen einer Chinesin, eines Inders oder einer Äthiopierin. Da wir davon ausgehen müssen, dass sich in den kommenden Jahrzehnten auch der Lebensstandard und der damit einhergehende Ressourcenbedarf der sogenannten Schwellen- und Entwicklungsländer an unseren angleichen wird, müssen wir alles daran setzen, unseren Treibhausgasausstoß stark zu reduzieren.

## LEITFRAGEN



### Für das Unterrichtsgespräch:

- Welche Folgen hat der Klimawandel?
- Welche Regionen sind davon besonders betroffen?
- Welche Auswirkungen hat der Klimawandel in Deutschland?
- Welche Ursachen hat der Klimawandel?
- In welchen Lebensbereichen verbrauchen wir fossile Energieträger?
- Welche Alternativen zum Verbrauch von Öl, Gas und Kohle gibt es?
- Welche Hindernisse stehen einer Dekarbonisierung<sup>5</sup> im Wege?
- Was kann jede/-r Einzelne tun, um den Temperaturanstieg zu bremsen?
- Warum fällt es uns so schwer, unser Verhalten zu ändern?
- Welche Maßnahmen haben in Deutschland in den letzten 20 Jahren zur Energiewende beigetragen?
- Sind gesetzliche Vorschriften oder Appelle an Vernunft und Gewissen erfolgreicher, wenn es um die Durchsetzung der Energiewende geht?
- Was versteht man unter dem Rebound-Effekt<sup>6</sup>, und wo begegnet er uns im Alltag?
- Warum ist es in Deutschland gerade im Bereich der Mobilität so schwierig, die Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren?

## HINWEIS



Im Internet gibt es verschiedene kostenlose Angebote für die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks oder Rucksacks sowie zu CO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe Anhang).

Schulen können mit dem CO<sub>2</sub>-Schulrechner im KLIMASCHUTZSCHULEN-ATLAS<sup>7</sup> darüber hinaus die Höhe potenzieller Emissionsreduktionen durch verschiedene Maßnahmen kalkulieren.

Lohnenswert ist auch ein Blick in die Statistiken zum globalen Treibhausgasausstoß, die das UBA (Umweltbundesamt), die IEA (Internationale Energie Agentur) und das Unternehmen Statista auf ihren Webseiten auch zum kostenlosen Download anbieten.

5 Unter De- oder Entkarbonisierung ist die Umstellung von Prozessen, die mit der Freisetzung von CO<sub>2</sub> einhergehen, auf alternative Verfahren zu verstehen. Dies gelingt vor allem auch durch den Einsatz von nachwachsenden oder unbegrenzt verfügbaren Ressourcen anstelle von Rohstoffen auf Erdöl- oder Kohlebasis

6 Aus dem Englischen: rebound = Rückprall. Effekt, der eintritt, wenn positive Maßnahmen keinen Erfolg haben, weil sie Handlungen hervorrufen, die deren Wirksamkeit beeinträchtigen oder zunichte machen. Bsp.: Moderne Fernseher sind viel energieeffizienter als alte, wenn aber wesentlich größere Bildschirmdiagonalen gekauft werden und die Geräte länger laufen, erhöht sich der Energieverbrauch sogar.

7 [www.klimaschutzschulenatlas.de/co2-rechner](http://www.klimaschutzschulenatlas.de/co2-rechner)

## 2.2 Wärmewende

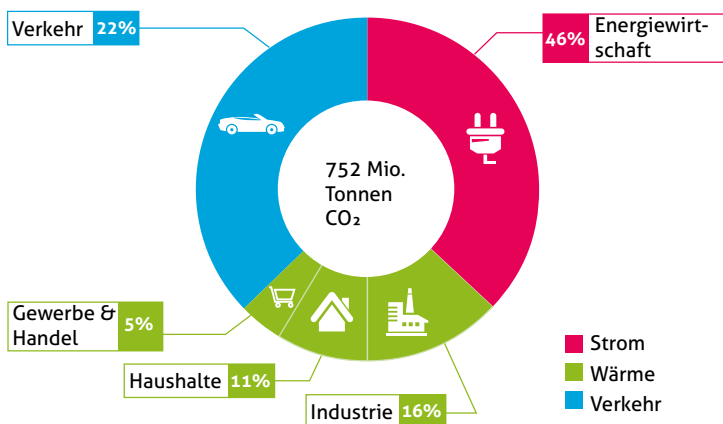
Über 80 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland entstehen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe, zum überwiegenden Teil in Form von Kohlendioxid. Während bei der Stromerzeugung in den letzten Jahren durch den Rückgang der Kohleverstromung und den starken Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien der CO<sub>2</sub>-Ausstoß sank, stiegen die Emissionen im Industrie-, Wärme- und Verkehrssektor 2016 wieder an. (Stand 2013, Quelle UBA).

Betrachtet man nur den Gebäudebereich, kann festgestellt werden, dass rund 70 % des gesamten Energieverbrauchs für das Heizen benötigt wird (siehe Abbildung unten). Wer in die energetische Sanierung seines Gebäudes investiert, kann heute von zahlreichen Förderprogrammen profitieren und jahrelang durch den geringeren Energiebedarf Kosten sparen, sowie beim Verkauf eines

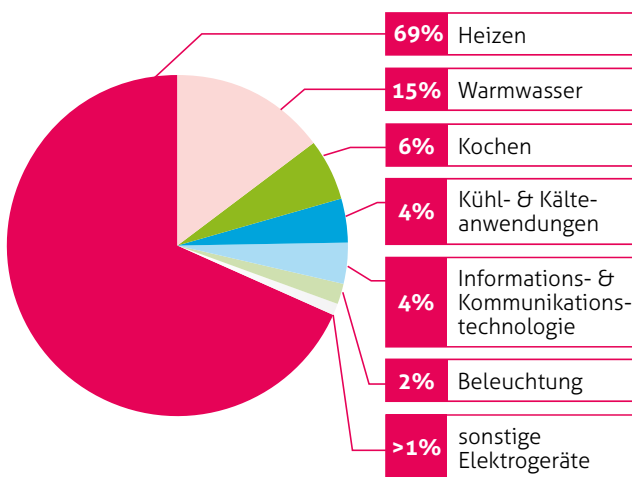
energetisch hoch effizienten Hauses deutlich höhere Gewinne erzielen als mit einem Energiefresser. Neben den finanziellen Anreizen sind es aber vor allem gesetzliche Regelungen, die Bauherren eine Entscheidung für energieeffizientes Bauen und Sanieren erleichtern bzw. abnehmen.

Wenn wir den Klimawandel stoppen oder zumindest begrenzen wollen, muss in Deutschland eine „Wärmewende“ vollzogen werden, die Wohnhäuser genauso umfasst wie öffentliche Gebäude. Nur wenn jährlich mehr als 1 % des Gebäudebestands energetisch saniert, mit modernster Haustechnik ausgestattet und mit erneuerbaren statt mit fossilen Energieträgern versorgt wird, können die Klimaschutzziele in diesem bedeutenden Sektor erreicht werden. Die Europäische Gebäuderichtlinie von 2014 schreibt den Niedrigstenergiestandard für öffentliche Neubauten ab 2019 vor und verpflichtet die Mitgliedsländer zu einer entsprechenden Anpassung ihrer nationalen Normen. In Deutschland soll das „Gebäude-Energie-Gesetz“ (GEG) die vorhandenen drei Regelwerke (Energieeinsparverordnung, Energieeinsparungsgesetz und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz) in einem Gesetz zusammenführen und damit die europäischen Vorgaben umsetzen.

CO<sub>2</sub>-Emissionen durch fossile Energien in Deutschland in 2014



11 % des deutschen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes werden durch fossile Energieverbrennung in Haushalten verursacht (Stand 2014)

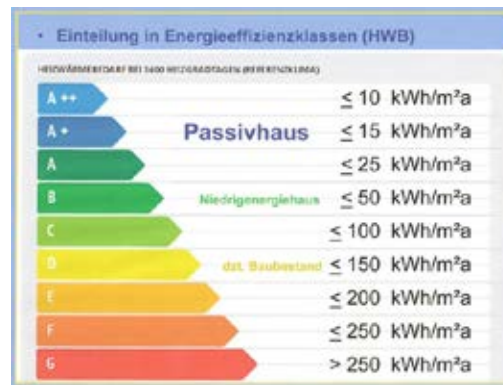


Verteilung des Energieverbrauchs von privaten Haushalten (Stand 2011/12)

## HINWEIS



Schauen Sie sich mit Ihren SuS den Energieausweis der Schule an und ordnen Sie ihr Schulgebäude der entsprechenden Energieeffizienzklasse zu.



Energieeffizienzklassen für Gebäude



Energieeffizienzlabel für Geschirrspüler

Seit 2014 werden Gebäude ähnlich wie Elektrogeräte und Lampen Effizienzklassen zugeordnet. Passivhäuser verbrauchen im Vergleich zum durchschnittlichen derzeitigen Baubestand weniger als ein Zehntel der Heizenergie.

## 2.3 Zukunftsfähige Nicht-Wohngebäude

„Die Bildungsgebäude in Deutschland verbrauchen an Endenergie<sup>8</sup> pro Jahr in etwa 20 Mio. MWh, wovon ca. zwei Drittel auf Schulgebäude entfallen. Die 40 000 Schulhäuser belasten daher den Betriebshaushalt der Kommunen erheblich.“<sup>9</sup>

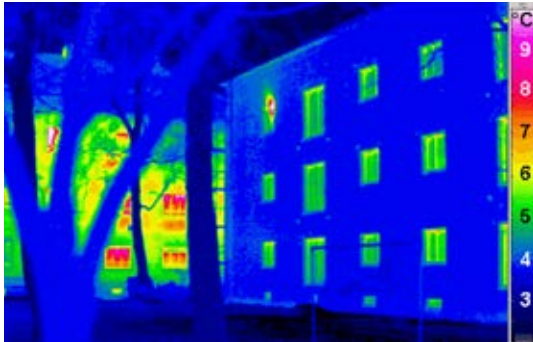
Neben den ökologischen Aspekten sind deshalb ökonomische Überlegungen dafür ausschlaggebend, dass seit der Jahrtausendwende hunderte von Schulgebäuden in Deutschland energetisch saniert oder als besonders energieeffiziente Gebäude neu gebaut worden sind. Nach dem Niedrigenergiehausstandard und dem Passivhausstandard wird mittlerweile ein Plusenergiestandard angestrebt. Dieser sieht vor, dass Schulgebäude mithilfe von Kleinwindkraft-, Photovoltaik-, Solar- oder Geothermie-Anlagen mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen.

Als der Bauphysiker Dr. Wolfgang Feist 1991 in Darmstadt die ersten Reihenhäuser in Passivhausbauweise bauen ließ, wurde er von vielen belächelt. Zu ambitioniert schienen die energetischen Ziele, laut schallten die Unkenrufe, was Behaglichkeit und Funktionalität angeht, und ein finanzieller Mehraufwand von damals 90.000 DM gegenüber einem „normalen“ Reihnhaus schien durch nichts gerechtfertigt zu sein. Entgegen aller negativen Prophezeiungen steht dieser Prototyp noch immer und hält ein, was hinsichtlich des Energiebedarfs und Wohnkomforts versprochen wurde. Nach 25 Jahren im Betrieb und zahllosen Neubauten und Sanierungen in

<sup>8</sup> Unter Endenergie ist der nach Umwandlungsprozessen und Transport beim Nutzer / Verbraucher ankommende Rest der Primärenergie zu verstehen. Global wird die meiste Endenergie aus Erdöl gewonnen.

<sup>9</sup> Quelle: EnEff: Schule – Energieeffiziente Schulen / Begleitforschungsvorhaben. Hrsg: Hochschule München Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, 2013

Passivhaus-Bauweise hat sich gezeigt, dass die hoch gesteckten Ziele (Heizenergiebedarf um 80 % reduziert gegenüber Normalstandard bei  $1,5 \text{ m}^3 \text{ Heizöläquivalent/m}^2/\text{Jahr}$ )<sup>10</sup> tatsächlich erreicht wurden, und durch die größere Nachfrage nach passivhaustauglichen Bauteilen (z. B. dreifachverglaste Fenstern) hat sich auch der hohe Kostenaufwand reduziert. Dennoch haben Passivhäuser häufig einen schlechten Ruf und gelten als ungemütlich, schimmelfeucht, kalt im Winter und stickig im Sommer, obwohl sämtliche Studien das Gegenteil belegen. Neben einer umfassenden Planung, einer sorgfältigen Bauausführung und einer intensiven Einregulierung bedarf es einer sachgemäßen Wartung und Nutzung, um die energetischen Ziele zu erreichen und Behaglichkeit sowie Lernkomfort sicher zu stellen.



Die Thermografie zeigt den großen Unterschied bezüglich der Wärmeabgabe zwischen einem Gebäude mit einer sehr guten thermischen Hülle rechts und einem schlecht gedämmten Gebäude im Hintergrund. In der obersten Etage des gut gedämmten Hauses ist ganz links ein offensichtlich gekipptes Fenster zu erkennen, durch dessen Öffnung Wärme entweicht, was die Infrarotkamera sichtbar macht.

#### HINWEIS



Thermografien eignen sich hervorragend, um auch „sperrigen“ Lehrstoff (z. B. Wärmelehre/Thermodynamik) anschaulich und verständlich zu vermitteln und den Unterricht lebensweltnah zu bereichern. Erkundigen Sie sich bei Ihrer örtlichen Klimaschutz- oder Energieagentur, ob Sie sich temporär eine Wärmebildkamera ausleihen können.

**Die Arbeitsblätter zu diesem und den folgenden Kapiteln stehen auch auf der UfU-Homepage ([www.ufu.de](http://www.ufu.de)) zum Download zur Verfügung.**

<sup>10</sup> Zum Vergleich: Niedrigenergiestandard nach EnEV:  $7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{Jahr}$



## Kopiervorlage: Quizfragen zum Klimawandel

Die Tabelle kann kopiert, laminiert und in kleine Schnipsel geschnitten werden, von denen jedeR SuS einen vor oder nach der Vorführung des Filmes „Klimawandel von „WissensWerte“ erhält und beantwortet. Ältere SuS können die Fragen beantworten, auch ohne den Film gesehen zu haben. Die Antworten werden im Plenum vorgestellt und besprochen.

Nenne mindestens 3 Gase, aus denen die Erdatmosphäre besteht.	Wie stark ist der Meeresspiegel in den letzten 200 Jahren angestiegen?
Wo wird auf der Erde CO <sub>2</sub> gespeichert?	Nenne 3 fossile Energieträger.
Wie trägt die Landwirtschaft zum Klimawandel bei?	Warum sollten wir vor allem regional produzierte Lebensmittel kaufen?
Durch welche Naturereignisse gelangt viel CO <sub>2</sub> auf einmal in die Atmosphäre?	Was passiert, wenn die großen Eisflächen an den Polen schmelzen?
Welche Folgen könnte der Klimawandel für die Region, in der du lebst, haben?	Warum sollten wir aufhören, Wälder abzuholzen und Moore trocken zu legen?
Welche Auswirkungen könnte der Klimawandel auf Bangladesch haben?	Warum ist es gut für's Klima, wenn wir weniger tierische Nahrungsmittel essen?
Welche Verkehrsmittel sind am klimafreundlichsten?	Was passiert, wenn der Meeresspiegel weiter steigt?
Wie können wir zuhause am meisten Energie sparen?	Wie können wir in der Schule Energie sparen?
Wie unterscheidet sich der aktuelle Klimawandel von früheren Klimaveränderungen?	Warum könnten wir auf der Erde ohne Treibhausgase nicht überleben?
Warum sollten wir unseren Strom aus erneuerbaren Energiequellen beziehen?	Warum sind vor allem die reichen Industrieländer für den Klimawandel verantwortlich?
Welche Folgen hat der Klimawandel für die Artenvielfalt?	Wie wirkt sich eine höhere Wassertemperatur in den Weltmeeren aus?
Auf wie viel Grad Celsius soll der Temperaturanstieg begrenzt werden?	Welche negativen Folgen des Klimawandels sind schon heute zu beobachten?
Warum führt der Klimawandel dazu, dass immer mehr Menschen auf der Flucht sind?	Woran erkennt man beim Kauf von Haushaltsgeräten, wie viel Strom sie verbrauchen?
Welches Symbol zeigt, dass Schulmaterialien klimafreundlich hergestellt wurden?	Was versteht man unter „grauer Energie“?

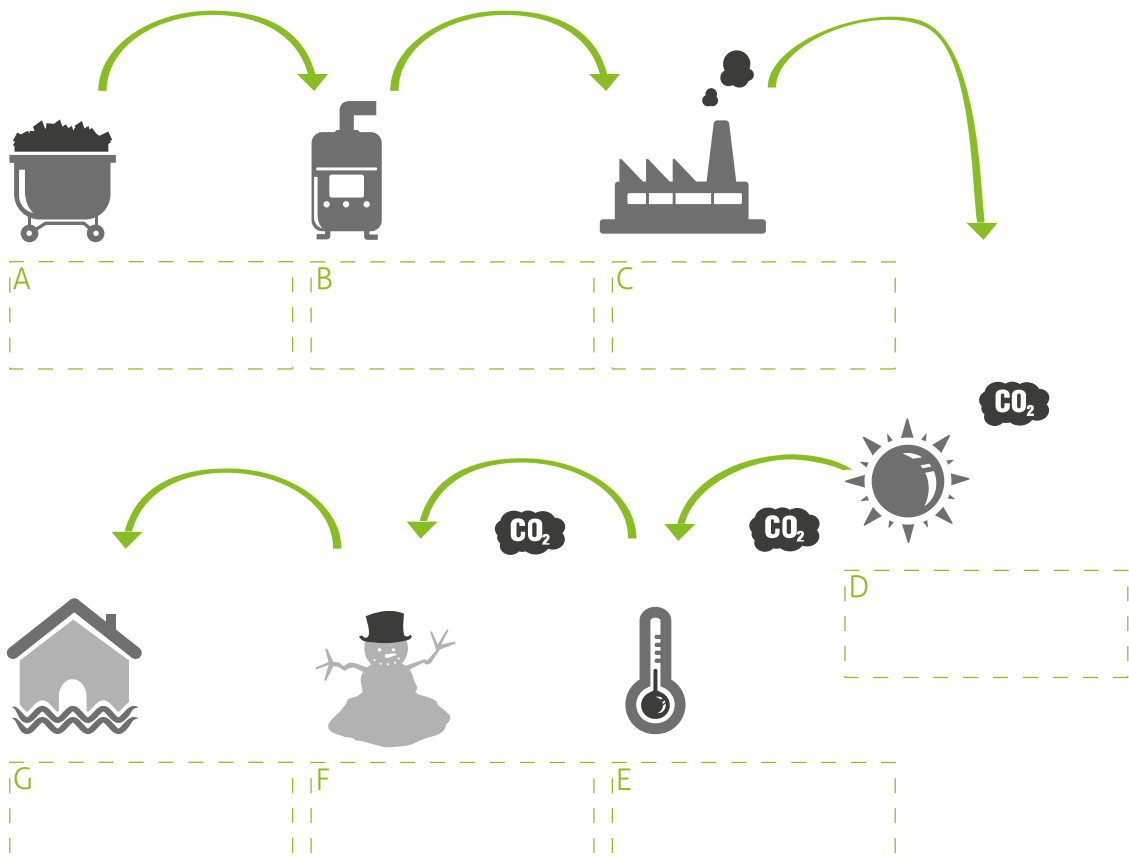
## Arbeitsblatt: Klimawandel

Der Klimawandel hängt mit unserem Energieverbrauch zusammen. Durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas gelangt immer mehr Treibhausgas, meist Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), in die Atmosphäre. Das führt dazu, dass die Sonnenstrahlung zwar zu uns kommt, die Wärmestrahlung der Erde aber nicht wieder in das Weltall entweichen kann und somit die Temperaturen auf der Erde steigen. Das führt zu unkalkulierbaren Folgen wie dem Schmelzen des Festland- und Meereises und somit einem Anstieg des Meeresspiegels, aber auch zu Extremwetterereignissen wie Starkregen mit Überschwemmungen, Trockenheit und Dürre, Wirbelstürmen ...

Das Bild zeigt die Zusammenhänge zwischen Energieverbrauch und Klimawandel in einer Kurzversion.

### Füge folgenden Begriffe in die Kästchen ein:

Die Atmosphäre wird warm – Eis schmilzt – Klimagase kommen in die Atmosphäre – Klimagase entstehen – Kohle wird abgebaut – Kohle wird verbrannt – Wasser steigt



# Arbeitsblatt: Folgen des anthropogenen Klimawandels

Ergänze die Tabelle:

Folgen des globalen Temperaturanstiegs	Auswirkungen auf die menschlichen Lebensbedingungen
Lange Hitzewellen	
Gletscherschmelze	
Meeresspiegelanstieg	
Auftauen der Permafrostböden	
Ausbleiben von Niederschlägen	
Extreme Stürme	
Andauernder Starkregen	

**Frage 1:** Welche Folgen des Klimawandels könnten auch in deiner Region spürbare Auswirkungen haben?

.....

.....

.....

**Frage 2:** Mit welchen Maßnahmen schützt sich deine Region vor ihnen?

.....

.....

.....

## Arbeitsblatt: Klimawandel: Lebensstil – früher und heute

Deutschland liegt mit einer Pro-Kopf-Emission von 8,93 t CO<sub>2</sub> in 2016 im globalen Vergleich im Mittelfeld (Katar: 35,73 t, USA: 16,22 t, Schweiz: 4,61 t, Indien: 1,56 t)<sup>11</sup>. Wenn die 2015 auf dem Weltklimagipfel in Paris formulierten Klimaziele erreicht werden sollen, muss der Pro-Kopf-Ausstoß auf 2,5 t begrenzt werden. Die Größe unseres CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks ist vor allem auf unseren Lebensstil zurückzuführen, der sich stark von dem unserer Urgroßeltern und der Mehrzahl der Menschen in Ländern des globalen Südens unterscheidet. Ein Blick zurück oder in andere Weltregionen kann uns dabei helfen, nachhaltiger zu leben und weniger CO<sub>2</sub> zu emittieren.

**Ergänze die folgende Tabelle:**

Bereich	früher	heute	Problemlösungsansatz
Wohnen			
Mobilität			

<sup>11</sup> Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA) 2016

Bereich	früher	heute	Problemlösungsansatz
Ernäh- rung			
Konsum			

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Lösungsblatt: Klimawandel: Lebensstil – früher und heute

Bereich	früher	heute	Problemlösungsansatz
<b>Wohnen</b>	geringe Wohnfläche pro Kopf; erneuerbare Brennstoffe für Heizung und Warmwasser; nur wenige Räume beheizt; Häuser kaum gedämmt	große Wohnfläche pro Kopf; alle Räume stark beheizt; unzureichend gedämmte Gebäude; Wärmeerzeugung mit fossilen Energien	kollektive Wohnformen mit fördern; energetisch hocheffizienter Neubau Gebäude; energetische Sanierung; Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien
<b>Mobilität</b>	nur wenige Menschen reisen; Aktionsradius ist gering; vor Dampfmaschineneinsatz CO <sub>2</sub> -neutrale Transportmittel	Berufspendeln, Fernreisen, Motorsport u.v.m. mit Verbrennungsmotoren; Auto als Statussymbol; Vernachlässigung klimafreundlicher Mobilität	Hohe Steuern auf Erdölprodukte; Gesetze zur Förderung von klimafreundlicher Mobilität; Unterstützung kollektiver Formen von Mobilität; Re-Regionalisierung der Wirtschaft
<b>Ernährung</b>	regionale, saisonale, wenig verarbeitete, selbst produzierte oder zubereitete, überwiegend vegetarische Nahrung; Nahrungsmittelknappheit	ganzjährig gleichbleibendes Angebot; hoher Ressourcenverbrauch; industrialisierte, globalisierte Landwirtschaft; hoher Anteil an tierischen und Fertigprodukten	Konsum tierischer Produkte reduzieren; saisonale, regionale und biologische Erzeugnisse bevorzugen; Lebensmittel selber herstellen und frisch zubereiten
<b>Konsum</b>	Viele Güter für den alltäglichen Bedarf werden selbst hergestellt; Waren relativ teuer, dafür haltbar und reparaturfähig; Herstellung oder Kauf nur bei Bedarf; überwiegend kurze Produktionsketten und Transportwege	Lange Produktionsketten und globaler Handel; billige, kurzlebige Massengüter; energieintensive Herstellung, kurze Nutzung; Reparatur oft nicht möglich; Entsorgung problematisch	strategischer Konsum: Bevorzugung von fair, ökologisch und langlebig Produziertem; bedarfsgerechte Beschaffung; Nutzungsdauer verlängern; Produktionsketten verkürzen; Up- oder Recyclen

## 3. Das Passivhaus – Außen

In diesem Kapitel werden die verschiedenen baulichen Komponenten und technischen Ausstattungsmerkmale eines Passivhauses genauer betrachtet. Möglicherweise werden Sie nicht alle der im Folgenden beschriebenen Elemente an und in Ihrem Schulgebäude auf Anhieb wiederfinden. Manches Geheimnis wird sich aber durch eine Nachfrage beim Hausmeister oder der Hausmeisterin, beim Gebäudemanagement des Schulträgers oder dem Planungsbüro lüften lassen.

### Die Grundprinzipien energetisch hocheffizienter Schulgebäude

Die Grundprinzipien des Passivhaus-Standards gelten für Wohnhäuser, Schulgebäude, Werkstätten oder Spaßbäder gleichermaßen:

- Ein Passivhaus verbraucht im Vergleich zu einem konventionellen Bestandsgebäude bis zu 85 % weniger Heizenergie.
- Der Baukörper eines Passivhauses sollte ein möglichst günstiges Verhältnis von Volumen und Oberfläche aufweisen (optimal wären Kugel oder Würfel)
- Passivhäuser werden so geplant und errichtet, dass sie möglichst viel Sonnenwärme aufnehmen und speichern (Standortwahl und Ausrichtung des Gebäudes)
- Das Passivhaus nutzt außerdem die in seinem Inneren vorhandenen Energiequellen wie die Körperwärme von Personen und die Abwärme elektrischer Geräte, sodass nur noch eine kleine Heizungsanlage an sehr kalten Tagen für eine „Zuheizung“ sorgen muss.
- Spezielle Fenster mit 3-fach-Verglasung, Türen und eine luftdichte Gebäudehülle mit einer hochwirksamen Wärmedämmung an Außenwänden, Dach und Bodenplatte sperren die Kälte aus und halten die Wärme im Haus.
- Die Gebäudehülle muss bei geschlossenen Außentüren und Fenstern luftdicht und wärmebrückenfrei sein.
- Für gleichbleibend gesunde, frische Luft sorgt eine Lüftungsanlage, in der ein hocheffizienter Wärmetauscher mit der Wärme der Abluft die einströmende Frischluft erwärmt.
- Damit es im Sommer drinnen nicht zu heiß wird, sind Passivhaus-Schulen auf der Sonnenseite mit Balkonen oder Vorsprüngen, außen liegenden Jalousien, Markisen o.ä. zur „Verschattung“ ausgestattet. Auch Laubbäume vor dem Gebäude können im Sommer für Schatten und angenehme Temperaturen im Gebäude sorgen.

#### HINWEIS



Lassen Sie ihre SuS schätzen, wie groß die Energieeinsparungen eines Passivhauses im Vergleich zu einem durchschnittlichen und einem Niedrigenergiehaus sind. Vielleicht haben Sie auch SuS in der Klasse, die selbst in einem energetisch hoch effizienten Gebäude wohnen und von den Unterschieden zu konventionellen Häusern berichten können. Wenn Ihre Schule über mehrere Gebäude verfügt, die nicht alle denselben energetischen Standard haben, können Ihre SuS vor Ort Vergleiche ziehen und diverse Unterschiede entdecken.

## 3.1 Standortwahl und Baukörper

### 3.1.1 Die Lage im Gelände

Nur in den wenigsten Fällen befinden sich PlanerInnen von Schulgebäuden in der komfortablen Situation, zwischen verschiedenen Standorten für einen Schulneubau entscheiden zu dürfen, und selbst dann sind bei der Entscheidung für ein Gelände Faktoren wie die infrastrukturelle Anbindung unter Umständen ausschlaggebender als eine für hocheffiziente Gebäude optimale Geländestruktur und Südausrichtung. Aber auch wenn die Spielräume durch die örtlichen Gegebenheiten begrenzt sind, gilt es, die Variante zu wählen, bei der das geplante Gebäude die Sonneneinstrahlung am besten ausschöpfen kann. Auch sehr stark dem Wind ausgesetzte Lagen sind aus energetischer Sicht weniger gut geeignet. Für die geografische Lage heißt das im Idealfall, einen leicht abfallenden Südhang oder ein Gelände zu finden, das eine Südorientierung möglichst großer Gebäudeteile begünstigt. Talkessel, Senken, Nordhänge, schmale oder verwinkelte Grundstücke, hohe Gebäude in der unmittelbaren Nachbarschaft oder auch ein Nadelwald können die Nutzung der Strahlungswärme der Sonne in der Heizperiode erschweren, was aber nicht bedeutet, dass nicht auch an „schwierigen“ Standorten energetisch hocheffiziente Gebäude errichtet und erfolgreich betrieben werden können.

#### AUFGABE



**leicht:** In welche Himmelsrichtung schaut ihr, wenn ihr euch mit Blick nach draußen ans Fenster stellt? Seht ihr hohe Gebäude, Berge, Türme oder Bäume? In welcher Himmelsrichtung liegen sie? Falls ja, stehen diese so nah an eurer Schule, dass sie Schatten auf euer Gebäude werfen? Gibt es Zeiten im Jahr, in denen auch Schatten auf eure Fenster fallen? Wenn ja, wann und auf welcher Seite?

**anspruchsvoller:** Wie ist das Gelände eurer Schule strukturiert? Mit welchen besonderen Herausforderungen waren die PlanerInnen konfrontiert und wie wurden sie ggf. gemeistert?

**Impuls:** Stellt euch vor, dass eine Drohne eine Luftaufnahme von eurer Schule und deren Umgebung macht. Skizziert eine schematische Umgebungskarte. (Variante: Nutzt das Internet, um einen passenden Kartenausschnitt zu kopieren).

Tragt die Himmelsrichtungen ein. Schätzt die Höhe der darauf befindlichen Gebäude und beschriftet sie entsprechend. Überlegt, wo im Jahresverlauf Schatten auf das Gebäude fallen.

### 3.1.2 Baukörperform

Wegen des günstigen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen sollte der Baukörper eines Passivhauses so kompakt wie möglich sein. Aus geometrischer Sicht optimal wären kugel- oder würfelförmige Bauten, weil durch ihre im Verhältnis zum Rauminhalt geringen Außenflächen weniger Wärmeenergie entweichen kann. Außerdem ist die Außendämmung ein nicht unerheblicher Kostenfaktor. Bei einem Haus mit einem nicht-quadratischem Grundriss müsste man



mindestens 2 cm mehr Dämmung anbringen, damit es den gleichen Energieverbrauch aufweist wie ein flächengleiches Gebäude mit einem quadratischen Grundriss.

## AUFGABE



**leicht:** Welche Baukörperform hat euer Schulgebäude? Vielleicht setzt es sich auch aus mehreren geometrischen Körpern zusammen. Mit leeren Pappschachteln oder anderen Verpackungen könnt ihr das Schulgebäude nachbauen.

**mittel:** Berechnet die Oberfläche (A) und das Volumen (V)

a) eines Würfels mit 10 cm Kantenlänge

Ergebnis:  $V=1000 \text{ cm}^3$ ;  $A=600 \text{ cm}^2$

b) eines Quaders mit den Kantenlängen  $a = 20 \text{ cm}$   $b = 5 \text{ cm}$  und  $c = 10 \text{ cm}$

Ergebnis:  $V=1000 \text{ cm}^3$ ;  $A=2 \cdot (20 \cdot 5 + 5 \cdot 10 + 10 \cdot 20) = 700 \text{ cm}^2$

**schwer:** Berechne die Oberfläche einer Kugel mit einem Volumen von  $1.000 \text{ cm}^3$

Formel:  $A=4 \cdot \pi \cdot r^2$ ;  $r=6,2 \text{ cm}$

Ergebnis:  $A=4 \cdot 3,14 \cdot 6,2^2=483 \text{ cm}^2$

**Interpretiere das Ergebnis:** Bei gleich bleibendem Volumen vergrößert sich die Oberfläche der Quaderform gegenüber der Würfelform um  $100 \text{ cm}^2$ . Die Kugel hat bei gleichem Volumen die kleinste Oberfläche und stellt die energetisch beste Form für einen Baukörper dar.



Kugelförmige Bauwerke: Iglu, „Kugelmugel“ Wien, Ökosiedlung Dysskilde, Kugelhaus Dresden

### 3.1.3 Dimensionierung

Auch bei der Frage nach der optimalen Dimensionierung spielt der energetische Anspruch eine Rolle. Natürlich soll ein Gebäude vor allem so konzipiert sein, dass es den vielfältigen Anforderungen an seine Nutzung gerecht wird, angefangen von der Schülerzahl über die Raumfunktionen bis zur Sicherheit. Wie großzügig jedoch das Foyer, Treppenhaus, eine Aula und die Flure geplant werden, wirkt sich nicht unerheblich auf den Energiebedarf aus, weil in diesen Bereichen die Gewährleistung einer gleichbleibend hohen Raumluftqualität und angemessener Helligkeit aufgrund stark schwankender Belegung beeinflusst wird. Bei der Planung sollte deshalb ein Raumangebot geschaffen werden, das gleichermaßen den Bedürfnissen der NutzerInnen und dem Anspruch an höchste Energieeffizienz entspricht.

## AUFGABE



Welche Folgen kann eine unpassende Dimensionierung des Gebäudes und einzelner Räume haben? Unterscheide zwischen Auswirkungen auf **a)** den Energiebedarf und **b)** die Innenraumluftqualität.

### Lösungsvorschlag:

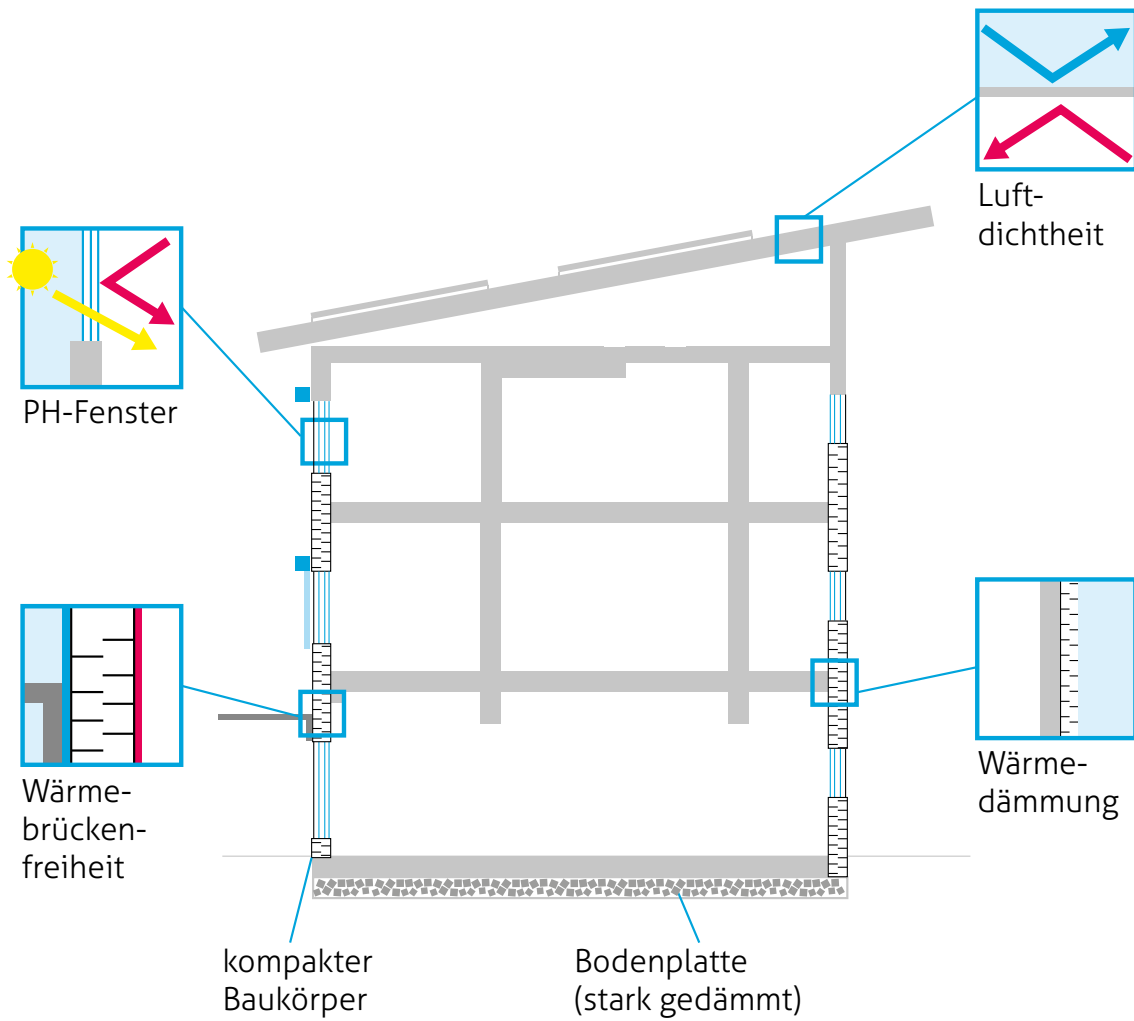
	Gebäude / Raum zu klein dimensioniert (Überbelegung)	Gebäude / Raum zu groß dimensioniert (Unterbelegung)
a) Folgen für die Luftqualität	relativer CO <sub>2</sub> -Anteil und Temperatur zu hoch; Geruchsentwicklung;	Vor allem in der Heizperiode: zu kalt und unbehaglich
b) Folgen für den Energiebedarf	höher als gewünscht, weil Lüftungsanlage häufiger, länger und mit höheren Volumenströmen laufen muss, was den Energiebedarf steigen lässt. Wenn die Lüftungsanlage den Frischluftbedarf nicht decken kann, muss zusätzlich über Fenster gelüftet werden, wodurch wertvolle Wärme verloren geht.	höher als erwartet, weil Wärmeeinträge der Personen nicht ausreichen, um empfohlene Raumtemperaturen zu erzielen und zu halten, sodass zusätzlich geheizt werden muss.

## EXKURS



**Tierische Vorbilder:** Tiere und Pflanzen können für die Menschen in vielen Bereichen gute Vorbilder sein. Auch in der Kunst des Bauens haben sich Menschen schon viele Ideen von den Tieren abgeguckt. Am Ende dieses Kapitels gibt es hierfür ein Arbeitsblatt, das sich mit den Baukünsten von Tieren befasst.

## 3.2 Die thermische Außenhülle



### Südseite:

- große Fenster
- Wärmeschutz

### Nordseite:

- wenige kleine Fenster

An Gebäude in Passivhausstandard werden nicht nur sehr hohe Erwartungen hinsichtlich des Energiebedarfs gestellt, sondern sie sollen auch komfortabel und behaglich sein. Befragungen von NutzerInnen belegen, dass dies in den meisten Passivhaus-Schulen gewährleistet ist. Neben den „harten“ Indikatoren, wie Temperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt und relative Luftfeuchte, spielen auch die Lichtverhältnisse, die Akustik und Unterschiede bei den Oberflächentemperaturen eine Rolle für das Wohlbefinden in Räumen. Gerade in Bezug auf den letztgenannten Aspekt schneiden hoch energieeffiziente Gebäude wesentlich besser ab als herkömmliche, weil alle Bauteile stark gedämmt sind, also Wärme gut speichern und sehr schlecht leiten.

Zum besseren Verständnis der Passivhauskomponenten und insbesondere der „thermischen Außenhülle“ empfiehlt es sich, im Vorfeld einen Exkurs zum Thema „Wärmetransporte“ zu machen.

### 3.2.1 Wärmetransporte

Thermische Energie, die wir als Wärme wahrnehmen, ist der zentrale Faktor im Passivhaus. Mit besonderen Konstruktionsprinzipien und der Verwendung von Materialien mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit wird der Bedarf möglichst gering gehalten. Die Beschäftigung mit dem eigenen Schulgebäude bietet einen willkommenen Anlass, die Grundlagen von Energie und Energieumwandlungen einzuführen, zu wiederholen und/oder zu vertiefen.

Die SuS sollten am Ende der Unterrichtseinheit wissen, dass Wärmetransporte in Form von Strahlung, Strömung und Leitung vorstattgehen und in allen drei Fällen Teilchen in einem Material in Bewegung geraten.

#### 1. Wärmeströmung / Konvektion / Wärmemitführung

- Bei der Wärmeströmung, die auch als Konvektion bezeichnet wird, fließt Energie in stofflicher Form von einem Ort mit höherer Temperatur zu einem Ort mit niedrigerer Temperatur.
- Sie findet in und zwischen flüssiger und/oder gasförmiger Materie statt.
- Bei der Erwärmung erhöht sich die Bewegungsenergie der Moleküle, Stoffe dehnen sich aus, wodurch sich die Dichte des erwärmten Stoffes verringert. Die leichter gewordene erwärmte Materie erhält Auftrieb. (Bsp.: Erwärmte Luft steigt nach oben – unter der Zimmerdecke ist es wärmer als in Bodennähe)

#### 2. Wärmestrahlung (Temperaturstrahlung)

- Bei der Wärmestrahlung wird Energie ohne Beteiligung von Materie transportiert. Sie steht in enger Verbindung zur elektromagnetischen Lichtstrahlung. Die bedeutendste Emittentin ist die Sonne, deren Wärmestrahlung uns trotz der großen Entfernung durch den fast materiefreien Weltraum erreicht.
- Beim Auftreffen von Wärmestrahlung auf einen Körper kann die Strahlung teilweise durchgelassen, reflektiert oder auch absorbiert werden. Von Körpern mit gleicher Temperatur strahlt derjenige mit schwarzer Oberfläche deutlich mehr ab als einer mit weißer Oberfläche. Umgekehrt absorbiert ein schwarzer Körper Wärmestrahlung besser als ein weißer. (Bsp.: Solarduschen aus schwarzen Plastikbeuteln)

### 3. Wärmeleitung

- Bei der Wärmeleitung wandert die Energie von einem Ort mit höherer Temperatur durch eine weitgehend ruhende Materie zu einem Ort mit niedrigerer Temperatur, ohne dass die Moleküle ihren „Platz“ verlassen
- Der Übergang der Wärmeenergie erfolgt durch Teilchenstöße, das heißt, dass die Teilchen mit hoher Temperatur stoßweise Energie an weniger warme Nachbarmoleküle abgeben, die sie wiederum an ihre „Nachbarschaft“ weiterleiten (Bsp.: Löffel in heißem Tee).
- Gase sind schlechte Wärmeleiter, Metalle sehr gute.

In unserem Kontext spielen Wärmetransporte, bzw. deren Unterbindung, eine bedeutende Rolle. Oberflächen und Bereiche messen und gemeinsam interpretieren. Wenn es in Ihrer Schule energetisch unterschiedlich effiziente Gebäude(teile) gibt, kann eine vergleichende Temperaturmessung sehr aufschlussreich sein: Im Passivhausbereich sollten deutlich geringere Temperaturunterschiede bei unterschiedlichen Oberflächen (Fensterbank, Tafel, Tische, Boden) und Bereichen (Fenster Nähe, Heizungs Nähe, gegenüberliegende Wand, Decken- und Bodennähe) auftreten als in weniger energieeffizienten Räumen.

#### AUFGABE



**1. „Teilchenspiel“:** Die Lehrkraft fordert 6 SuS auf, sich an einen freien Platz im Raum zusammen zu stellen und an den Händen zu fassen. Sie repräsentieren Moleküle in einem Stoff. 3 weitere SuS werden hinzugezogen, die eine Wärmequelle darstellen und sich dicht an die Gruppe stellen. Die SuS zeigen nun szenisch, was bei Wärmeströmung, -strahlung und -leitung im „Teilchenmodell“ passiert:

**a) Wärmeströmung:** Die 6 SuS fassen sich an den Händen und bilden einen möglichst engen Kreis. Die 3 SuS, die „Wärme“ darstellen, dringen an drei Stellen in den Kreis ein und nehmen jeweils zwei „Teilchen“ an die Hand. Die Bindungen zwischen den Teilchen lösen sich und sie wandern mit der Wärme locker verbunden durch den Raum.

**b) Wärmestrahlung:** Wieder wird ein Kreis aufgestellt, mit den drei „Wärmequellen“ diesmal auf einer Seite stehend. Die Wärmequelle bleibt an Ort und Stelle und sendet „Strahlung“ aus. Je 2 „Teilchen“ stellen nun Transmission, Absorption und Reflexion dar, indem sie mehr oder weniger in Bewegung geraten.

**c) Wärmeleitung:** Unser Stoff, also der Kreis der „Teilchen“, empfängt einen Wärmeimpuls in Form eines sanften Schubs durch eine „Wärmequelle“ und die Wärmeleitung beginnt. Eine „Wärmequelle“ gibt einem „Teilchen“ einen sanften Schubs, worauf dieses erst langsam, dann schneller in Bewegung gerät und dann sein Nachbar teilchen ansteckt, welches seinerseits seine Nachbarn in Bewegung versetzt. Ist die „Wärme“ weiter geleitet, lässt die Bewegung der einzelnen Teile wieder rasch nach.

**2. „Wärme im Raum“:** Nach dem Input zu den 3 Formen des Wärmetransportes und dem Hinweis auf die Grundregel, dass Wärme immer vom wärmeren zum kälteren Stoff transportiert wird, werden die SuS gebeten, in Teams oder in Einzelarbeit im Raum jeweils 2 Beispiele für jede Form des Wärmetransportes zu finden und kurz schriftlich zu beschreiben. Die Ergebnisse werden anschließend im Plenum besprochen.

### 3.2.2 Eigenschaften von Dämmstoffen

Um unerwünschte Wärmetransporte von innen nach außen so weitgehend wie möglich zu unterbinden, werden in sehr energieeffizienten Gebäuden für die Gebäudehülle Bau- und Dämmstoffe eingesetzt, deren Wärmeleitfähigkeit gering ist. Die Wärmeleitfähigkeit - ausgedrückt durch die Wärmeleitzahl ( $\lambda$ ) in Watt pro Meter mal Kelvin [W/(mK)] – beschreibt das Vermögen eines Baustoffes, thermische Energie mittels Wärmeleitung zu transportieren.

Die folgende Tabelle macht eine Aussage über die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe

Luft	Styropor	Wasser	Glas	Kupfer
0,026 W/(mK)	0,03–0,05 W/(mK)	0,56 W/(mK)	0,75 W/(mK)	380 W/(mK)

Die im Passivhausbau verwendeten Materialien haben eine besonders schlechte Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ). Unten sehen Sie einige Beispiele von Baumaterialien und Dämmstoffen, deren Wärmeleitfähigkeit in [W/(m·K)] angegeben wird. Je kleiner der Wert, desto schlechter wird die Wärme durch das Material geleitet und umso wirkungsvoller ist die Dämmung, was sich nicht zuletzt auf die Menge an Materialien, die verbaut wird, den Ressourcenbedarf und die Kosten niederschlägt.

Baumaterialien	Dämmstoffe
Beton: 2,1	Schaumglas: 0,04
Ziegel: ca. 0,5...1,4	Zelluloseflocken: 0,04
Holz: 0,13	Hanffaser-Dämmwolle: 0,04
gefüllter Ziegelstein: ca. 0,08	Styropor: ca. 0,03...0,05

Baustoffe und Dämmmaterialien sollten im Sinne einer nachhaltigen, klimafreundlichen Entwicklung nach Möglichkeit nicht aus fossilen Rohstoffen gewonnen werden (wie z. B. Polystyrol/ Styropor), deren Herstellung und Entsorgung sehr energieaufwendig ist. Es gibt umweltverträglichere Dämmstoffe aus regionalen, nachwachsenden Rohstoffen, wie z. B. Hanf, Flachs, Stroh oder Zellulose aus einheimischen Holzabfällen, die vergleichbare Dämm- und Verarbeitungsmerkmale aufweisen. Derzeit sind diese Materialien leider häufig noch teurer als Materialien auf Erdölbasis.

## HINWEIS



Forschen Sie doch einmal mit Ihren SuS nach, welche Bau- und Dämmstoffe in Ihrem Schulgebäude verwendet wurden. Und lassen Sie die SuS recherchieren, welche nachwachsenden Rohstoffe, aus denen Dämmmaterial hergestellt wird, in Ihrer Region heimisch sind, kultiviert und verarbeitet werden! Diskutieren Sie Vor- und Nachteile der verschiedenen Bau- und Dämmstoffe und überlegen Sie gemeinsam, warum Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen teurer sind als andere.



links: Dämmung mit Holz, Hanf, Schilf und Lehm; rechts: Dämmung mit Polystyrol und Bauschaum

## EXPERIMENT



**Ziel/Dauer:** SuS wissen, welche Materialien gute (Metalle, Wasser) bzw. schlechte Wärmeleiter (Holz, Luft, Kunststoff) sind.  
Dauer: 15–30 Min.

**Inhalt/Methode:** Die Teams verteilen sich so auf die Tische im Raum, dass sich keiner in die Quere kommt. Die Lehrkraft gibt Sicherheitshinweise, stellt den Wasserkocher an, lässt Behälter, Materialproben und Thermometer auf die Gruppen verteilen und erläutert den Arbeitsauftrag: In jeden Behälter wird eine Materialprobe gelegt, sodass ihr Ende über seinen Rand hinausragt; Thermometer, Uhr(en) sind einsatzbereit. Nun werden in die Behälter mithilfe des Messbechers 50–100 ml kaltes Wasser gefüllt und mit 100–200 ml kochendem Wasser aufgefüllt. Temperaturmessungen erfolgen in vorher festgelegten Zeitintervallen mit dem Fühler immer am selben Punkt am herausragenden Ende der Materialprobe. Die Messwerte werden in einer Tabelle notiert. Bei jüngeren SuS sollte die Lehrkraft laut für alle ansagen, wann die Temperatur abgelesen werden soll.

### Materialien:

- Wasserkocher
- 6–10 Behälter ähnlicher Größe
- mind. 1 Messbecher
- entsprechend viele gleich große Materialproben (Holz, Kunststoff, verschiedene Metalle...)

- und ebenso viele Thermometer (am besten Sekundenthermometer mit Fühlern). Stopp- oder andere Uhr(en)
- 1 Satz Papier
- Stifte für jedes Team (für jüngere SuS Tabelle als Vorlage für jedes Team)

## EXPERIMENT



**Ziel/Dauer:** Die SuS wissen, dass in allen gut dämmenden Materialien (Isolatoren = schlechte Wärmeleiter) vor allem dort eingeschlossene Luft den Wärmetransport einschränkt oder weitgehend verhindert. Die SuS wissen, dass neben der materiellen Beschaffenheit auch die Stärke/Dicke der verwendeten Dämmung für die isolierende Wirkung ausschlaggebend ist. Sie können schlussfolgern, dass deswegen die Außendämmung hochenergieeffizienter Gebäude besonders dick ist und die Fenster dreifach verglast sind.

Dauer: 20–35 Min.

**Inhalt/Methode:** Aufteilung der Gruppe in 3-er-Teams, Erklärung des Arbeitsauftrags, Ausgabe der Materialien. Lehrkraft erklärt Ablauf des Experiments: Jedes Team bekommt die benötigte Ausrüstung (siehe unten), nur 1–2 Teams bekommen keine Dämmmaterialien, weil sie mit Wasser und Luft „dämmen“. Bis auf diese Teams sollen alle mit ihren Dämmstoffen eine Isolationsschicht zwischen beide ineinander gestellte Behälter anbringen, ohne die Stabilität zu gefährden, denn anschließend erfolgt das Befüllen mit heißem Wasser (min. 50 °C bis max. 80 °C). Gleich nach dem Einfüllen wird das erste Mal gemessen, weitere Messungen erfolgen nach 2–4 Minuten (Intervalle legt die Lehrkraft fest). Die Werte werden notiert. Während der Messpausen beschäftigen sich die SuS mit ihren Dämmstoffen und ältere SuS fertigen Steckbriefe für „ihre“ Materialien an (Angaben zu Eigenschaften gibt es von den HerstellerInnen, dem Vertrieb/Handel und im Internet, aber auch sensorische Überprüfung – fühlen, riechen)

Wahlweise können auch einige Teams zusätzlich Versuche mit Deckeln/ Abdeckungen durchführen (dabei müssen Menge und Beschaffenheit der verwendeten Dämmstoffe gleich sein.)

Die Gruppen präsentieren im Anschluss ihre Ergebnisse und ziehen Schlussfolgerungen.

### Materialien für jedes Team:

- ausreichend großer Raum mit hitzefesten Tischen und guter Beleuchtung
- Stabthermometer
- ein großes und ein kleines Becherglas (oder andere hitzebeständige, wasserdichte Behälter, die man so ineinander stellen kann, dass



zwischen beiden genug Platz für die Befüllung mit Dämmstoffen vorhanden ist. Ggf. Deckel für die Behälter.)

- Mindestens eine Uhr (besser: Stoppuhren für jede Gruppe)
- Verschieden gut dämmende Materialien (Sand, Styropor, Hanf, Zeitungspapier, Stoffreste, Stroh, Wolle, Neptutherm, Perlite, Moos...)
- Wasserkocher mit heißem Wasser (bei großen Gruppen in Thermoskanne abgefülltes heißes Wasser bereithalten)
- Kopien der Messprotokolle in ausreichender Stückzahl
- Übersichtstabelle zu Eigenschaften verschiedener Dämmstoffe

## EXPERIMENT



**Ziel/Dauer:** Die SuS kennen verschiedene einheimische, nachwachsende Rohstoffe, aus denen sich Dämmstoffe herstellen lassen, die mindestens genauso gute Eigenschaften wie erdölbasierte, importierte und in der Entsorgung problematische Erzeugnisse haben.

Dauer: 10–20 Min.

**Inhalt/Methode:** Die SuS erhalten verschiedene Materialproben und ihre Markenbezeichnungen und recherchieren im Internet die Herkunft der Rohstoffe, die Dämm- und Verarbeitungseigenschaften sowie Haltbarkeit, Entsorgungsoptionen und Preise. Sie tragen ihre Ergebnisse zusammen und fertigen ein Ranking an, wobei Nachhaltigkeitsaspekte besonders berücksichtigt werden sollten.

### Materialien:

- Materialproben von verschiedenen Dämmstoffen aus fossilen, mineralischen und nachwachsenden einheimischen und importierten Rohstoffen (erhältlich im Baumarkt, Baustoffhandel, als Abfall von Baustellen). Internetzugang

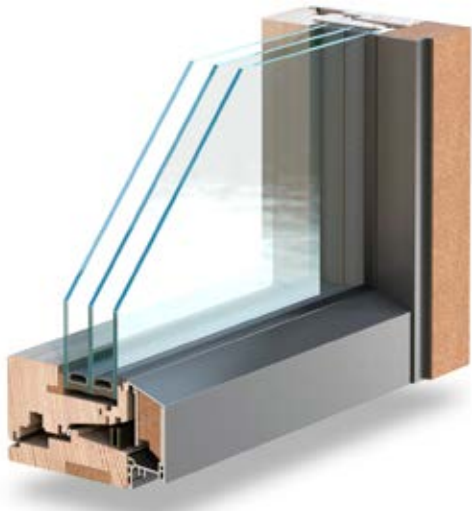
### 3.2.3 Außenwände, Boden, Dach

Durch die Wahl der „richtigen“ Materialien wird also versucht, die Wärmeverluste in einem Gebäude so gering wie möglich zu halten. An Stellen, wo zwei verschiedene Bauteile aneinander stoßen (z. B. Fenster an Wände, Dach auf Wand) oder ein zusätzliches Bauteil wie ein Erker oder eine Gaube „auskragt“, entstehen häufig so genannte „Wärmebrücken“. Diese heißen so, weil sich die Wärme an diesen Stellen einen Weg (eine „Brücke“) nach draußen sucht. In konventionellen Gebäuden ruhen z. B. die Balkone oft auf Metallträgern, die die Gebäudehülle durchdringen und als gute Wärmeleiter thermische Energie von innen nach außen transportieren. Hier geht viel Wärme verloren. Im Passivhaus werden solche Bauteile nicht verwendet, sondern Balkone ohne Beeinträchtigung der Gebäudehülle angebaut.

Die gesamte thermische Gebäudehülle muss mit größter Sorgfalt gebaut werden, denn nach der Fertigstellung muss bei geschlossenen Außentüren und Fenstern Luftdichtigkeit herrschen. Mit dem sogenannten „Blower-Door-Test“ wird dies nachgewiesen, um eine Zertifizierung als Passivhaus zu erhalten.

### 3.2.4 Fenster und Türen

In Gebäuden betragen die Wärmeverluste durch Fenster zwischen 10–30 % der gesamten Wärmeverluste. Fenster sind folglich mit die schwächsten Stellen in der Gebäudehülle. In Passivhäusern wird deshalb besonderer Wert darauf gelegt, Fenster einzubauen, durch die in geschlossenem Zustand möglichst wenig Wärme entweichen kann, was sich in einem niedrigen U-Wert<sup>12</sup> niederschlägt.



Passivhausfenster Modell „SMARTWIN“

Passivhaustaugliche Fenster weisen außerdem einen hohen Sonnenenergiedurchlassgrad auf. Das bedeutet, dass die natürliche Wärme durch die Sonneneinstrahlung viel effektiver genutzt werden kann als bei konventionellen Fenstern.

Passivhausfenster besitzen eine 3-fache Wärmeschutzverglasung. Zwischen den 3 Scheiben sorgen die zwei Zwischenräume für zusätzliche Wärmedämmung. In diesen Zwischenräumen befindet sich ein Gasgemisch (Hauptbestandteil ist meist Krypton), das einen  $\lambda$ -Wert von annähernd 0,0 hat, also keine Wärme leitet (Luft hat den Wert  $\lambda=0,026$ ). Dadurch sinkt die Temperatur innen am Glas selbst im Winter nicht unter 17 °C, was zu viel geringeren Luftbewegungen („Zugluft“) als in konventionellen Gebäuden führt.

Auch der Rahmen des Fensters muss besonders gut wärmegeämmt sein und darf die Wärme nicht durchlassen. Außerdem ist der korrekte Einbau der Fenster in die Wand sehr wichtig, damit hier keine Wärmebrücken entstehen.

Weil in einem PH-Gebäude weitgehend auf Heizung verzichtet werden kann, spielt der Eintrag von Wärme durch die Sonne eine große Rolle. Über die vorhandenen Fensterflächen können sogenannte „solare Wärmegewinne“ erzielt werden. In den Übergangszeiten (Herbst

und Frühling) können diese, zusammen mit den Wärmegewinnen durch Menschen und elektrische Verbraucher, ausreichend sein, um den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes zu decken. Wichtig ist also, dass die Fenster die Strahlen von außen gut durchlassen und die Wärme dann innen halten, in welche Himmelsrichtung die Fenster weisen (Nord, Ost, Süd, West) und wie groß die Fensterfläche ist.

<sup>12</sup> Der U-Wert ist ein Maß für den Wärmedurchgang durch einen festen Körper und wird in  $W/(m^2 \cdot K)$  (Watt pro Quadratmeter und Kelvin) angegeben. Je niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient desto besser ist die Wärmedämmeigenschaft. (Quelle: wikipedia)



„Earthships“ nutzen lokale Standortbedingungen optimal aus

## EXKURS



### „G- Wert“

Während der sogenannte „U-Wert“ darüber Aufschluss gibt, wie viel Wärme ein bestimmtes Material von innen nach außen durchlässt, beschreibt der „G-Wert“, wieviel Energie durch ein Fenster von außen nach innen gelangen kann. Im Passivhaus soll vor allem in der kalten Jahreszeit so viel Sonneneinstrahlung wie möglich durch die Fensterscheiben in die Räume kommen, damit die so gewonnenen Wärmeeinträge eine zusätzliche Heizung möglichst überflüssig machen.

Ein G-Wert von 1,0 würde bedeuten, dass 100 % der Sonneneinstrahlung ein Fenster durchdringen kann, was aufgrund einer immer vorhandenen Reflexion in der Realität nicht vorkommt. Für Passivhausfenster erreichbar sind G-Werte von 0,5, d. h. dass 50 % der Sonneneinstrahlung transmittieren kann. Fenster mit doppelten Scheiben haben zwar bessere G-Werte, allerdings sind dann auch die U-Werte höher, was sich in unseren klimatischen Breiten negativ auf den Energiebedarf auswirkt. Es muss daher ein Kompromiss gefunden werden: Das ganze Fenster (Verglasung und Fensterrahmen) soll einen G-Wert von annähernd 0,50 und einen U-Wert von 0,80 W/(m<sup>2</sup>K) haben.

## AUFGABE



In welcher Himmelsrichtung befindet sich die Fensterseite eures Raumes? Wie ändert sich die Menge der auftreffenden Sonneneinstrahlung im Verlauf eines Tages und eines Schuljahres? Wann ist Sonneneinstrahlung erwünscht, und wann müsst ihr die Sonne aus dem Raum „aussperren“?

## GEDANKEN-EXPERIMENT



Der Himmel ist wolkenverhangen, kein Sonnenstrahl lässt sich blicken. Wie könnt ihr ein Passivhausschulgebäude als Kompass nutzen?

**Antwort:** Wir zählen Fenster! Denn wir können davon ausgehen, dass auf der Südseite viel mehr und größere Fenster liegen als auf der Nordseite.

## KLEINES EXPERIMENT



Vor ein geschlossenes Fenster wird in geringem Abstand eine Lampe gehalten oder gestellt, sodass sich der Lichtschein spiegelt. Noch besser ist eine brennende Kerze, falls dies möglich ist. Die Anzahl der Spiegelungen im Fenster gibt Aufschluss über die Anzahl der verarbeiteten Scheiben: Passivhausfenster sollten dreifach verglast sein und 3 Reflektionen des Lichtscheins zeigen. Ist ein Fenster zusätzlich mit einer Wärmeschutz- oder anderen Folien beklebt, schimmert die Spiegelung violett.

### 3.2.5 Sonnen-/Wärmeschutz

An heißen Tagen können die Temperaturen im Gebäude durch die vorhandenen Wärmeeinträge unangenehm hohe Werte erreichen. Da die Wärmeabgabe durch die NutzerInnen des Gebäudes und die Geräte im Sommer genauso wie im Winter stattfindet, müssen wenigstens die Wärmeeinträge durch die Sonneneinstrahlung weitgehend verhindert werden. Und auch der Wärmeeintrag durch die Beleuchtung muss im Sommer angemessen berücksichtigt werden.



links: Auch im Herbst kann Wärmeschutz notwendig sein - hier in Form „klassischer“ Jalousien; rechts: „Markisette“ als Sonnenschutz

Die sonnenseitigen Fenster von Passivhäusern sind deshalb mit einem außenliegenden Sonnen- bzw. Wärmeschutz ausgestattet, der schon vor dem ersten Auftreffen von Sonnenstrahlen auf die Scheiben geschlossen sein sollte. Im Hochsommer können auch Fenster mit Nordostausrichtung schon frühmorgens stark von der Sonne angestrahlt werden, weshalb auch dort Wärmeschutzeinrichtungen vorhanden sein und bei Bedarf geschlossen werden sollten. In den meisten Schulgebäuden übernehmen Jalousien diese Funktion, seltener sind Fensterläden, Vertikal-Lamellen und Markisen. Wo immer möglich sollten Laubbäume vor dem Gebäude gepflanzt werden, deren Laub im Sommer Schatten spendet und für ein angenehmes Raumklima sorgt.



links: Diese unangeschlossene Wetterstation liefert keine Daten; rechts: Leibnizschule Tageslichtsteuerelement

Auch bei der Steuerung von Wärmeschutzeinrichtungen gibt es eine große Bandbreite an Systemen: Sie können manuell, mechanisch, halb- oder vollautomatisch regulierbar sein und ihre Einstellung kann für jedes Fenster einzeln, einen Raum, ganze Etagen, Gebäudeteile oder zentral für das gesamte Gebäude erfolgen. In den meisten neuen Schulen gibt es Sensoren und Computerprogramme, die dafür sorgen, dass die Jalousien genau dann geschlossen werden, wenn der Wärmeschutz benötigt wird. Dazu werden Werte wie Lichtstärke, Außentemperatur, Innentemperatur, Niederschlag und Windstärke erfasst. Die Sensoren, die diese Parameter erfassen, müssen dafür an

den richtigen Stellen liegen. Helligkeitssensoren in schattigen Fassadenzonen oder Anemometer (Windstärkenmessgeräte) in einer geschützten Nische liefern der Steuerung unter Umständen Daten, auf deren Basis das Programm der Situation unangemessene Entscheidungen trifft.

Neben der automatischen Steuerung verfügen einige Systeme (teilweise zusätzlich) über eine manuelle Steuerung für das Schließen, Öffnen und die Einstellung des Neigungswinkels der Lamellen. Wichtig hierbei ist, dass in der Steuerungsautomatik eine „Reset-Funktion“ vorhanden ist, die zu vorgegebenen Zeiten alle Jalousien in die Stellung zurückversetzt, die für das Raumklima am besten ist, denn NutzerInnen machen auch manchmal Fehler.

Natürlich sollte die Anwendung des Sonnenschutzes möglichst nicht dazu führen, dass es im Raum völlig dunkel ist und das Licht angeschaltet werden muss, denn auch die Beleuchtung liefert Wärmeeinträge und verbraucht Strom. Deswegen werden Modelle mit Lamellen verbaut, deren Neigung so eingestellt werden kann, dass so viel Wärmestrahlung wie möglich „ausgesperrt“ wird und trotzdem noch ausreichend viel Tageslicht den Raum erhellt.

Während der Heizperiode (ca. Oktober bis April) kann der Wärmeschutz weitgehend pausieren, denn in dieser Zeit sollen Strahlungswärme und Sonnenlicht möglichst ungehindert in das Gebäude gelangen können.

## HINWEIS



Wenn in Ihrer Schule eine manuelle Jalousiensteuerung vorhanden ist, sollten Sie folgendes beachten:

- Während der Heizperiode bleibt der Sonnenschutz offen, um die Wärmegewinne über die Fenster zu bekommen. Bei Bedarf wird mit innen liegenden Vorhängen oder Rollos verdunkelt (siehe Blendschutz).
- Außerhalb der Heizperiode, wenn die Räume warm genug sind, sollten die Jalousien in den Zeiten geschlossen gehalten werden, zu denen die Sonne direkt in den Raum scheint. Im Hochsommer ist dies eventuell schon einige Stunden vor Unterrichtsbeginn der Fall, und die Morgensonne erreicht auch Räume mit Nord-Ost-Fenstern.
- Stellen Sie bei geschlossener Jalousie die Lamellen so ein, dass die Sonnenstrahlen nicht direkt in den Raum fallen können, aber noch Tageslicht von außen in den Raum gelangen kann. Die optimale Neigung der Lamellen liegt bei einem Winkel zwischen 38–45 Grad.
- Öffnen Sie die Jalousien wieder, sobald die Sonne nicht mehr in den Raum scheint. Vergessen Sie nicht, dann auch die künstliche Beleuchtung auszuschalten, falls sie vorher angeschaltet werden musste.
- Schicken Sie Ihre SuS auf eine Entdeckungstour im und um das Gebäude herum. In Kleingruppen haben sie den Auftrag, so viele Informationen wie möglich zum Thema Sonnen-/Wärmeschutz an ihrer Schule zusammenzutragen und zu dokumentieren.
- Lassen Sie die SuS eine kleine Umfrage zum Thema Jalousien durchführen.
- Wenn Sie manuell steuerbare Jalousien haben, beauftragen Sie die SuS, Hinweisschilder für die richtige Nutzung anzufertigen, die neben dem Bedientableau oder Schalter angebracht werden können.

## AUFGABE



- Beobachtet, zu welchen Jahres- und Tageszeiten die Sonne direkt in den Raum scheint.
- Beobachtet eure Sonnenschutzeinrichtung gezielt. Wann fährt die Jalousie automatisch herunter, wann fährt sie hoch?
- Befragt den Hausmeister nach programmierten Zeiten am Tag und zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Habt ihr Ideen, wie die Jalousiensteuerung verbessert werden kann?

## EXKURS



### Blendschutz

Unter Blendschutz ist nicht der außen liegende Sonnen- und Wärmeschutz zu verstehen, sondern an der Fensterinnenseite angebrachte Rollos oder Vorhänge. Grundsätzlich sollte der Blendschutz nur benutzt werden, um Beeinträchtigungen des Unterrichts zu verhindern und den Raum temporär zu verdunkeln, damit beispielsweise ein Film oder Darstellungen auf dem interaktiven Whiteboard<sup>13</sup> besser zu sehen sind. Als Wärmeschutz im Sommer taugen Vorhänge oder Rollos nicht, denn sie hindern die Strahlungswärme nicht daran, durch die Fensterscheiben in den Raum zu gelangen. Wie für die außen installierten Verschattungseinrichtungen gilt auch für Vorhänge, Rollos und Gardinen, dass sie nur so lange wie nötig geschlossen werden sollten.

## HINWEIS



Die unterschiedlichen Funktionen von innen angebrachten Blendschutzeinrichtungen und außenliegendem Sonnenschutz ist vielen NutzerInnen nicht bewusst. Die Verwendung der Bezeichnung „Wärmeschutz“ anstelle von „Sonnenschutz“ macht es leichter zu verstehen, welchen Zweck eine Jalousie im Unterschied zu einem Vorhang in Passivhäusern zu erfüllen hat.

## AUFGABE



Fertigt Hinweisschilder oder Plakate für die richtige Bedienung des Blendschutzes an.

<sup>13</sup> Während höherwertige und neuere Fabrikate von interaktiven Whiteboards auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen noch gut lesbare Ergebnisse liefern, ist auf älteren und weniger lichtstarken Geräten oft schon bei geringem Sonnenlichteinfall nicht viel zu erkennen. Nach einer energetischen Sanierung wird das Whiteboard meistens dort aufgehängt, wo auch schon vorher die Tafel hing, obwohl die Lichtverhältnisse auf der gegenüberliegenden Wandseite vielleicht günstiger für das Whiteboard wären.

## Arbeitsblatt: Tiere sind Baumeister!

Menschen und Tiere sind Baumeister. Sie gestalten Räume in vielfältigen Formen, aus unterschiedlichsten Materialien und für verschiedene Zwecke. **Ergänze in der Tabelle!**

Name des Tieres	Art des „Bauwerks“	Baumaterial	Nutzung/Zweck
Wespe	Nest aus abgerundeten sechseckigen Waben	papierartige Speichelmasse aus Holzfasern	Fortpflanzung, Brutpflege
Webervogel	Hängenest		Schutz vor Feinden, Fortpflanzung
Orang-Utan	sesselartige Baumnester		
	Gewebe, Gespinst, Netz	Spinnenseide aus Drüsensekret	
Igel		Laub, Äste, Zweige	
	meterhohe, festungartige Hügel aus Lehm		Erzeugung von Nahrung (Pilzzucht) Schutz vor Hitze
Laubenvogel			Fortpflanzung, Partnersuche, Schutz vor Feinden

Seitdem Menschen Bauwerke errichten, nehmen sie sich die Natur zum Vorbild, indem sie ihre Formensprache imitieren, Baumaterialien aus ihr beziehen und mit dem Bauen dieselben Zwecke wie andere Lebewesen verfolgen. **Vervollständige die folgende Tabelle.**

Menschliches Bauwerk	Vorbild aus dem Tierreich
Lehmbau	
	Biberburg
Baumhaus	
	Fuchsbau

## Arbeitsblatt: Tiere sind Baumeister! – Lösungsblatt

Menschen und Tiere sind Baumeister. Sie gestalten Räume in vielfältigen Formen, aus unterschiedlichsten Materialien und für verschiedene Zwecke. **Ergänze in der Tabelle!**

Name des Tieres	Art des „Bauwerks“	Baumaterial	Nutzung/Zweck
Wespe	Nest aus abgerundeten sechseckigen Waben	papierartige Speichelmasse aus Holzfasern	Fortpflanzung / Brutpflege
Webervogel	Hängenest	Gras, Stroh, Pflanzenfasern, Federn	Schutz vor Feinden / Fortpflanzung
Orang-Utan	sesselartige Baumnester	Zweige, Äste, Blätter	Schutz vor Nässe + Feinden / Schlaf
Spinne	Gewebe, Gespinst, Netz	Spinnenseide aus Drüsensekret	Beutefang / Ernährung
Igel	Höhle in einem Laubhaufen	Laub, Äste, Zweige	Schutz vor Kälte und Nässe Winterschlaf
Termiten	meterhohe, festungsartige Hügel aus Lehm	„verdauter“ Lehm	Erzeugung von Nahrung (Pilzzucht) Schutz vor Hitze
Laubenvogel	komplizierte Gebilde aus verwebten, geflochtenen, gesteckten Elementen	Gras- und Strohhalme, Moos, Blumen, Blätter, Müll	Fortpflanzung / Partnersuche / Schutz vor Feinden

Seitdem Menschen Bauwerke errichten, nehmen sie sich die Natur zum Vorbild, indem sie ihre Formensprache imitieren, Baumaterialien aus ihr beziehen und mit dem Bauen dieselben Zwecke wie andere Lebewesen verfolgen. **Vervollständige die folgende Tabelle.**

Menschliches Bauwerk	Vorbild aus dem Tierreich
Lehmbau	Termitenhügel
Wasserschloss	Biberburg
Baumhaus	Eichhörnchenkobel
Erdhaus	Fuchsbau



# Arbeitsblatt: Wärmetransport – Experiment

---

Datum: .....

Team: .....

Wir haben uns folgende Frage gestellt:

.....  
.....  
.....

Mit diesem Experiment haben wir eine Antwort gesucht:

.....  
.....  
.....

Messungen:

	Temp. Start	Temp. 2 Min.	Temp. 4 Min.	Temp. 6 Min.	Temp. 8 Min.	Temp. 10 Min.	Temp. 12 Min.
Material 1							
Material 2							
Material 3							
Material 4							

Beobachtungen:

.....  
.....  
.....

Ergebnis:

.....  
.....  
.....

## Arbeitsblatt: Dämmstoffe

Recherchiere im Internet und ergänze die Tabelle!

Bezeichnung	Rohstoff	Entsorgung	Abbildung
Neptutherm			
ThermoHanf			
Diffutherm			
ThermoFloc			
Thermo-Fill			
Schaumglasschotter			
Styropor			
Mineralwolle			
Korkplatten			

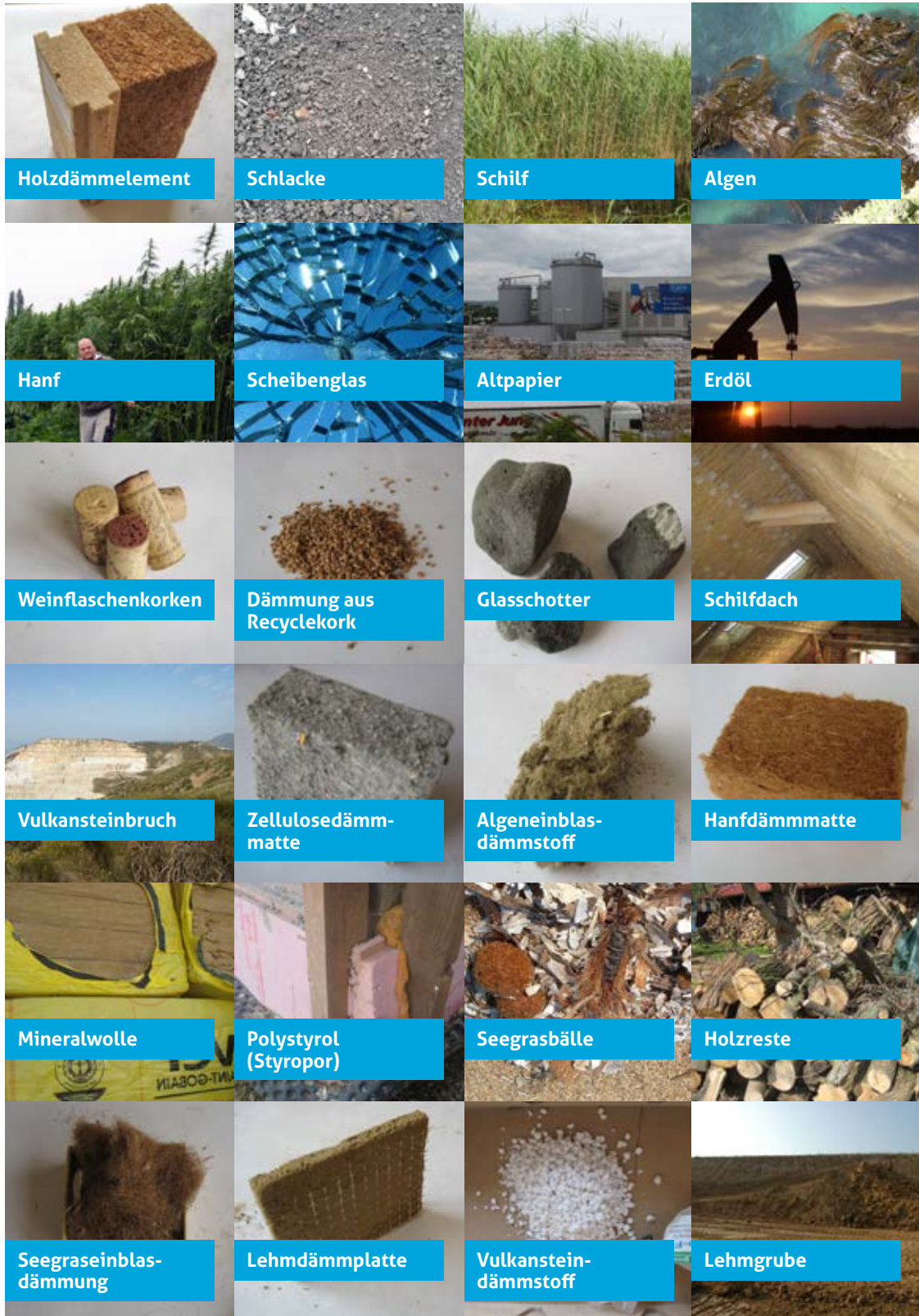
## Arbeitsblatt: Dämmstoffe – Lösungsblatt

### Lösung:

Bezeichnung	Rohstoff	Entsorgung	Abbildung
Neptutherm	Seegras	Kompost	
ThermoHanf	Hanfpflanzen	Kompost	
Diffutherm	Holzabfälle	Kompost, Verbrennung	
ThermoFloc	Zellulose (Altpapier)	Kompost, Verbrennung	
Thermo-Fill	Perlit (Vulkangestein)	Recycling, Deponie	
Schaumglasschotter	Altglas (Scheiben)	Baustoffdeponie	
Styropor	Erdöl	Verbrennung / Sondermüll	
Mineralwolle	Schlacke / Erzabbau	Bauschuttdeponie	
Korkplatten	recycelte Weinkorken / Rinde der Korkeiche	Recycling, Kompost	

## Kopiervorlage: Dämmstoffe-Memory

**Anleitung:** Drucken, laminieren und auseinanderschneiden. Bilder mischen und zunächst offen hinlegen und richtig zuordnen (Rohstoff – Dämmmaterial). Wer das beherrscht, kann mit verdeckten Karten Memory spielen!



# Arbeitsblatt: Gebäudehülle – Wärmedämmung – Dämmstoffe

## Vervollständige den Lückentext mit den folgenden Wörtern!

Wärmequelle – Energie – niedrig – transportiert – Teilchen –  
stärker – dämmen – Wärmeleiter – thermische

Jeder Stoff besteht aus winzigen ....., die sich bewegen. Wenn ein Stoff ein guter ..... ist, kann er die Wärme gut von einem Molekül auf das nächste übertragen. Wird ein Molekül erwärmt, gewinnt es an ..... Dadurch bewegt es sich ..... Es stößt an das Nachbarmolekül und gibt die Energie weiter. Das Nachbarmolekül gibt seinerseits die Energie weiter. So geht die Energie auf den ganzen Gegenstand über. Je schneller diese „Übergabe“ funktioniert, desto besser ..... ein Stoff Wärme. Die Wärmeleitfähigkeit – ausgedrückt durch die Wärmeleitzahl ( $\lambda$ ) in Watt pro Meter mal Kelvin [W/(mK)] – beschreibt das Vermögen eines Baustoffes, ..... Energie mittels Wärmeleitung zu transportieren. Wenn wir ein Gebäude ..... wollen, empfiehlt es sich, Materialien zu verwenden, deren  $\lambda$ -Wert möglichst ..... ist.

## In der Tabelle siehst du die Wärmeleitwerte ( $\lambda$ ) verschiedener (Bau-)Stoffe in W/mK:

- |                               |                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| ■ Steinwolle 0,019            | ■ Holzfaserdämmplatten: 0,040–0,052   |
| ■ Hartschaumplatten: 0,025    | ■ Hanfmatten: 0,040–0,050             |
| ■ Polystyrol : 0,040          | ■ Kokosfasermatten: 0,045             |
| ■ Mineralwolle: 0,030–0,050   | ■ Kork: 0,045–0,050                   |
| ■ Schaumglas: 0,038–0,070     | ■ Neptutherm/ Seegras: 0,049          |
| ■ Schafwolle: 0,040–0,045     | ■ Schilfrohr: 0,055                   |
| ■ Flachmatten: 0,040          | ■ Baustrohballen: 0,045–0,080         |
| ■ Zelluloseflocken: 0,040     | ■ Porenbeton: 0,08–0,21               |
| ■ Ziegelstein: 0,08           | ■ Holz: 0,13                          |
| ■ Minerale Dämmplatten: 0,045 | ■ Aluminium: > 115                    |
| ■ Blähton: 0,10–0,16          | ■ Polyurethan-Hartschaum: 0,024–0,035 |

## Aufgabe:

1. Markiere die drei Materialien mit den höchsten Wärmeleitwerten mit einem blauen Buntstift.
2. Unterstreiche Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen grün und Dämmstoffe, deren Rohstoff (auch) aus Deutschland kommt, gelb.
3. Nenne 4 Faktoren, die neben der Wärmeleitfähigkeit ausschlaggebend sind, wenn es um die Kaufentscheidung für ein Dämmmaterial geht.
4. Welche der Dämmstoffe würdest du bevorzugen, wenn du das Klima schützen willst? Begründe deine Wahl!

## 4. Das Passivhaus – Innen

Nachdem wir uns das Passivhaus von außen angeschaut haben, wenden wir uns nun dem Innenleben des Gebäudes zu, das voller Technik steckt. Ohne diese Technik wären die übergeordneten Ziele – höchste Energieeffizienz, optimale Raumlufthygiene und maximaler Lernkomfort – unerreichbar. Auch in den 1990-er Jahren wurden schon sehr gut gedämmte Häuser gebaut, allerdings meistens mit sehr viel weniger Gebäudetechnik als heute. Damals gab es in vielen dieser Gebäude massive Probleme mit einer zu hohen relativen Luftfeuchte und daraus resultierender Schimmelbildung, vor allem an Außenwänden, wo wegen falscher Planung oder schlechter Bauausführung Wärmebrücken oder luftdurchlässige Stellen auftraten. Heute geplante und gebaute Passivhäuser verfügen über eine ausgeklügelte Gebäudetechnik, mit der wir uns im Folgenden beschäftigen werden.

### 4.1 Heizung

Die Bezeichnung „Passivhaus“ bedeutet, dass im Prinzip keine Wärme „aktiv“ von außen in das Gebäude eingebracht werden muss. In vielen Passivhäusern gibt es daher tatsächlich keine oder nur eine kleine Heizung für eine Zuheizung zu bestimmten Zeiten, wenn es vorübergehend deutlich kälter ist als gewöhnlich. Auch nach einer längeren Nutzungspause in der kalten Jahreszeit (Ferien), frühmorgens oder nach den Wochenenden kann aktives Heizen notwendig sein.

Ansonsten wird in einem Passivhaus die nötige Wärmemenge durch die Sonneneinstrahlung von außen und durch sogenannte interne Wärmegewinne bereitgestellt. Für die internen Wärmegewinne sorgen in erster Linie die Personen und die technischen Geräte, die sich im Gebäude befinden.

Ein Mensch gibt über seine Körperoberfläche kontinuierlich Wärme an seine Umgebung ab. Die Menge ist von verschiedenen Faktoren abhängig: von der Größe und dem Gewicht der Person (Volumen und Körperoberfläche) sowie von ihrer Bekleidung und Aktivität.

Die Tabelle zeigt die Wärmeabgabe von Personen in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Aktivität.

Körperliche Aktivität	Wärmeabgabe [W / m <sup>2</sup> ]	Wärmeabgabe einer Person mit 1,8 m <sup>2</sup> Körperoberfläche [W]	Wärmeabgabe eines Kindes mit 1,3 m <sup>2</sup> Körperoberfläche [W]
Entspanntes Sitzen	58	104	75,4
Sitzende Tätigkeit	70	126	91
Stehende Tätigkeit	93	167	120,9
Schnelles Gehen	200	360	260
Sportliche Betätigung	250	450	325

## HINWEIS



Mit einer Wärmebildkamera oder Infrarotthermometern kann die Körperwärme sichtbar gemacht bzw. gemessen werden. Bei dieser Gelegenheit können auch noch einmal die Grundlagen der Thermodynamik (siehe vorheriges Kapitel) wiederholt werden.

## AUFGABE



Berechnet die Wärmeabgabe eurer Klasse (und evtl. der Schule) bei unterschiedlichen Aktivitäten (z. B. Pause, Klassenarbeit, Experiment, Sport) für eine Zeitstunde, eine Schulstunde und einen durchschnittlichen Schultag.

Auch durch die Beleuchtung und den Betrieb von elektrischen Geräten werden im Gebäude Wärmegewinne erzielt. Bei der Energieumwandlung von Strom in Licht oder mechanische Energie werden oft erhebliche Wärmemengen freigesetzt. So wird bei einer konventionellen Glühlampe nur ein Bruchteil der eingesetzten Energie in Licht umgewandelt und 90 % der elektrischen Leistung direkt als Wärme an die Umgebung abgegeben. Bei anderen, energieeffizienteren Lampen, wie Energiesparlampen, Spiegelrasterleuchten oder LEDs ist dieser Anteil wesentlich geringer.<sup>14</sup>



*Leere Sporthalle bei voller Beleuchtung – unnötiger Stromverbrauch und überflüssiger Wärmeeintrag*

Interessant ist jedoch, dass die gesamte Leistung einer Lampe letztendlich als Wärme im Raum landet. Denn auch der Teil der Energie, der zuerst als Licht genutzt wird, wandelt sich schließlich in Wärme um. Das ist im Prinzip so wie bei der Sonne: Die Strahlen, die wir als Licht wahrnehmen, wandeln sich, sobald sie auf einen Gegenstand treffen, in Wärme um.

Bei elektrischen Geräten ist die Wärmeabgabe sehr unterschiedlich. Oft kann man diese in den Herstellerangaben nachlesen.

<sup>14</sup> Energieeffiziente Leuchtmittel erzeugen mit einer möglichst geringen Leistungsaufnahme [Watt] möglichst viel Lichtstrom [Lumen]. Eine Glühlampe hat eine Energieeffizienz von 12 Lumen pro Watt,

Die folgende Tabelle zeigt die typische Wärmeabgabe von verschiedenen Bürogeräten in Watt [W]:

Gerät	in Betrieb	Stand-by	aus
Tintenstrahldrucker	20	2	0
PC	60	10	5
Monitor	90	5	0
Laserdrucker	190	2	1
Beamer	300	2	0
Kopierer	1100	27	1

### AUFGABE



Warum hat sogar ein ausgeschalteter PC eine Wärmeabgabe von 5 W?

**Antwort:** Weil im PC eine Batterie eingebaut ist, die auch bei Trennung vom Stromnetz weiter läuft.

Berechnet mithilfe der Angaben in der Tabelle (siehe oben) oder den Herstellerangaben die Wärmeeinträge durch elektrische Geräte im Unterrichtsraum, im Computerraum, im Lehrerzimmer und im Sekretariat.



dezentrale, bedarfsabhängige Warmwasseraufbereitung mit Durchlauferhitzer

Auch für die Erhitzung von Wasser für das Händewaschen und Duschen gibt es in Schulen einen Energiebedarf, der nicht durch die oben beschriebenen Wärmeeinträge bedient werden kann. Um den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten, werden zum Beispiel kleine Durchlauferhitzer genutzt, die nur Wasser erwärmen, das sofort verwendet wird. Immer mehr Schulen sind auch mit Solarthermie-Anlagen für die Warmwasseraufbereitung ausgestattet.

Der interne Wärmegewinn durch Personen und elektrische Verbraucher stellt für den Winterbetrieb eines Gebäudes aus energetischer Sicht einen großen Vorteil dar. Für den Sommerbetrieb kann er allerdings zum Problem werden, weil dann die Summe der Wärmeeinträge inklusive der Wärmegewinne durch die Sonneneinstrahlung zu hoch ist und sich das Gebäude stark aufheizt. Durch die gut gedämmte



thermische Außenhülle bleibt die Wärme bei geschlossenen Fenstern und Außentüren im Gebäude gefangen. Daher sollten insbesondere in den Sommermonaten überflüssige Wärmeeinträge durch elektrische Geräte vermieden werden.

In den Zeiten, wo zusätzlich geheizt werden muss, wird die zusätzlich benötigte Wärme über unterschiedliche Wege im Gebäude verteilt: über die Lüftungsanlage, herkömmliche Heizkörper, Fußbodenheizung oder Deckenstrahlungsheizung. Teilweise gibt es auch verschiedene Systeme in einem Gebäude. Die NutzerInnen haben manchmal die Möglichkeit, die Wärme im Raum selbst zu regulieren, z. B. über Thermostatventile an Heizkörpern oder zentrale Regelmöglichkeiten in jedem Raum. In anderen Fällen erfolgt die zumeist computergestützte Regulierung der Wärmezufuhr ausschließlich zentral durch eine verantwortliche Person (HausmeisterIn, GebäudetechnikerIn).

Strahlungsheizungen, wie z. B. Fußboden-, Wand- und Deckenstrahlungsheizungssysteme benötigen im Vergleich zu konventionellen Heizkörpern eine größere Fläche. Fußbodenheizungen sind in der Regel recht träge, reagieren also nicht besonders schnell auf Temperaturänderungen. Die Vorlauftemperatur, also die Temperatur im Heizungssystem, ist jedoch viel niedriger als bei Systemen mit Heizkörpern, was bedeutet, dass weniger Energie für die Bereitstellung der Wärme erforderlich ist. Deckenstrahlungsheizungen sind besser regelbar als Fußbodenheizungen und haben eine geringere Trägheit. Sie werden insbesondere in hohen, großen Räumen (wie z. B. Eingangs- oder Sporthallen) eingesetzt. Für geringe Raumhöhen sind sie ungeeignet, da die Erwärmung in Kopfhöhe als unangenehm empfunden wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Passivhausgebäude die meiste Zeit im Jahr ohne eine zusätzliche Beheizung auskommt und die Heizungsanlage deshalb im Vergleich zu konventionellen Gebäuden wesentlich kleiner dimensioniert ist.

## AUFGABE



Was für eine Art von Heizung(en) ist in eurer Schule vorhanden?  
Welche Energieträger werden verwendet?

Wie erfolgt die Wärmeübergabe an den Unterrichtsraum (Heizkörper, Fußbodenheizung, Lüftungsanlage...)?

Wie und vom wem lässt sich die Temperatur direkt im Raum regulieren?

Wie und durch wen wird der Betrieb der Heizungsanlage zentral gesteuert?  
Wie erfolgt die Warmwasseraufbereitung?

## HINWEIS



Lassen Sie sich und Ihren SuS die Heizungsanlage und den Energieausweis des Gebäudes vom Hausmeister/der Hausmeisterin zeigen und erklären.

## EXKURS



### Richtwerte für die Raumtemperatur nach der Arbeitsstättenverordnung

Menschen empfinden Temperaturen sehr unterschiedlich. Vermutlich liegen auch in Ihrer Klasse oder im Lehrerzimmer die Einschätzungen bezüglich einer angemessenen Temperierung des Raumes weit auseinander: Während die einen im T-Shirt vor Ihnen sitzen und am liebsten die Fenster aufreißen würden, ist anderen trotz Wollpulli zu kalt. Allen gleichzeitig wird man es also nie recht machen können und muss es auch nicht. Um sich nicht auf subjektive Empfindungen stützen zu müssen, können wir Thermometer einsetzen und uns zur Bewertung hinsichtlich der Angemessenheit der Raumtemperaturen an der Arbeitsstättenverordnung bzw. den „Technischen Regeln für Arbeitsstätten“ (ASR A3.5) orientieren.

In Bildungseinrichtungen sollen demnach folgende Mindesttemperaturen erreicht werden:

Bereich	Mindesttemperatur
Unterrichtsraum	20 °C
Flur/Treppenhaus	12 °C
Sporthalle	18 °C
Toilette / Garderobe	15 °C

Flure, die auch für längere Aufenthalte (z. B. für Ausweicarbeitsplätze) genutzt werden, sollten deutlich wärmer als 12 °C Grad sein. Unterrichtsräume, in denen überwiegend körperliche Arbeiten im Stehen verrichtet werden (z. B. Werkstätten) dürfen auch kühler als 20 °C sein. Eine angenehme Temperatur in Unterrichtsräumen wird bei normaler Belegung eines Raumes schnell erreicht, wenn ein Sollwert von 18 °C bis 20 °C eingestellt ist.

## AUFGABE



**Blitzlichtumfrage:** Wem ist es gerade zu warm oder zu kalt?

VertreterInnen beider „Lager“ sollen mögliche Ursachen benennen (zu dünn/zu dick angezogen, lange draußen gewesen, nichts gegessen, Sport gehabt, in der Pause herumgetobt usw.).

Was machst du, wenn dir kalt ist? Schreibe so viele Möglichkeiten auf, wie dir einfallen!

Wie hoch ist die aktuelle Raumtemperatur? Entspricht sie dem empfohlenen Wert?

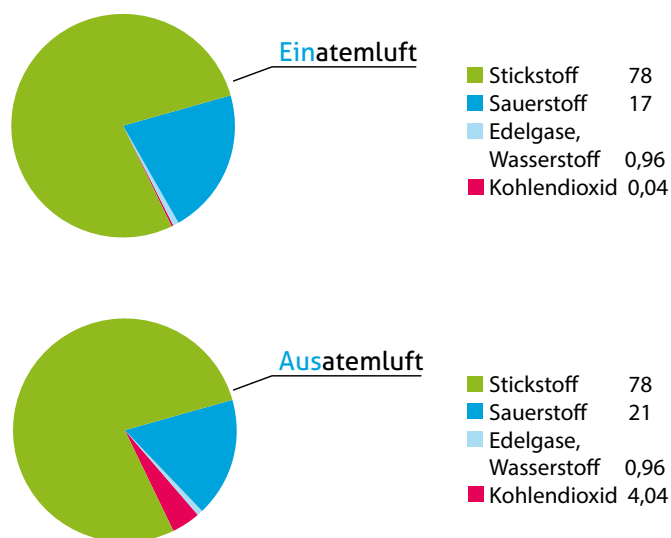
## 4.2 Lüftung

Ob wir uns in Räumen wohlfühlen und leistungsfähig sind, hängt natürlich nicht nur von einer angenehmen Temperatur ab. Für die Behaglichkeit und die Leistungsfähigkeit spielt „gute“ und „frische“ Luft eine große Rolle. Doch ähnlich wie bei der subjektiven Bewertung der Temperatur können die Einschätzungen zur Qualität der Raumluft schon innerhalb kleiner Gruppen stark voneinander abweichen. Dementsprechend gehen auch die Meinungen über den Zeitpunkt, an dem ein Luftaustausch stattfinden sollte, oft erheblich auseinander, nicht zuletzt, weil bei einer Fensterlüftung, wie sie in konventionellen Gebäuden üblich ist, mit der „verbrauchten“ Luft auch die Wärme nach draußen entweicht, bei Passivhäusern läuft der Austausch der Luft zwischen innen und außen deshalb nicht unkontrolliert ab, sondern wird mit „raumlufttechnischen Anlagen“ (sogenannten RLT-Anlagen) gesteuert.

### 4.2.1 Innenraumluftqualität, Hygiene und Behaglichkeit

Ein Passivhaus ist so gebaut, dass die äußere Gebäudehülle möglichst wenig Wärme durchlässt. Dies wird durch gut isolierende Baumaterialien und „dichte“ Fenster sowie die Vermeidung von Wärmebrücken erreicht. Interne Wärmequellen und die Energie der Sonne werden genutzt, um genügend Wärme im Gebäude zu haben. Um den NutzerInnen ein Höchstmaß an Luftqualität und Behaglichkeit zu bieten, ist außerdem eine regelmäßige Frischluftzufuhr unverzichtbar.

Halten sich viele Menschen über einen längeren Zeitraum in einem Raum auf, ist die Luft irgendwann „verbraucht“. „Verbrauchte Luft“ bedeutet jedoch nicht, wie häufig angenommen, dass nicht mehr genug Sauerstoff in der Luft ist. Der Sauerstoffanteil verringert sich zwischen eingatmeter und ausgeatmeter Luft nur um etwa 15%. Wesentlich deutlicher verändert sich der Kohlendioxidanteil, der in der ausgeatmeten Luft 100mal höher ist als in der Frischluft. Es ist unvermeidbar, dass nach einiger Zeit, in der sich viele Menschen in einem geschlossenen Raum aufhalten, der CO<sub>2</sub>-Gehalt stark ansteigt.



### CO<sub>2</sub>

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Raumluft wird in „Parts per Million“ (ppm) angegeben. Bei einem stark erhöhten CO<sub>2</sub>-Wert lässt die Konzentrationsfähigkeit nach, es treten Müdigkeitserscheinungen auf, Kinder werden teilweise unruhig und laut. Die sogenannte „Pettenkofer-Zahl“<sup>15</sup> liegt bei 1000 ppm und markiert die Grenze von sehr guter zu weniger guter Luftqualität. Die Praxiserfahrung hat gezeigt, dass eine CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum bis 1.500 ppm noch ganz in Ordnung ist. Ab 2000 ppm sollte auf jeden Fall gelüftet werden.

Die Zusammensetzung der Atemluft

<sup>15</sup> Benannt nach dem ersten deutschen Hygieniker und Naturwissenschaftler Max v. Pettenkofer (1818-1901)

In der unteren Darstellung sind die empfohlenen Werte noch einmal aufgeführt:

CO <sub>2</sub> Konzentration [ppm]	Hygienische Bewertung	Empfehlung
<1000	unbedenklich	keine
1000–2000	auffällig	Es sollte gelüftet werden
>2000	inakzeptabel	Es muss gelüftet werden

Außerdem gibt es noch andere Gründe, warum regelmäßig gelüftet werden muss, z. B. unangenehme Gerüche, die auf flüchtige organische Verbindungen (abgekürzt: „Volatile Organic Compounds“ VOC) zurückzuführen sind. Da bei hohen VOC-Anteilen in der Regel auch der relative CO<sub>2</sub>-Gehalt erhöht ist, ist CO<sub>2</sub> ein überaus guter Indikator für die Innenraumluftqualität.

#### HINWEIS



Unsere zahlreichen CO<sub>2</sub>-Messungen in Gebäuden mit funktionierender Lüftungsanlage haben ergeben, dass dort die Werte selten über den empfohlenen Werten liegen, außer wenn ein Raum mit wesentlich mehr Personen belegt ist als geplant. Sind die Temperaturunterschiede zwischen innen und außen gering, wie häufig in den Übergangszeiten, darf auch im Passivhausgebäude über die Fenster gelüftet werden. In der Heizperiode gilt wie auch in „normalen“ Gebäuden, dass allenfalls kurze Stoßlüftungen erfolgen, und niemals Fenster in Kippstellung offen bleiben dürfen. Gleiches gilt auch für heiße Sommertage, an denen möglichst wenig warme Luft ins Gebäude eindringen sollte (dazu folgen weiter unten noch ausführlichere Informationen).

#### Luftfeuchtigkeit

Neben der Temperatur und dem CO<sub>2</sub>-Gehalt beeinflusst auch noch die relative Luftfeuchte die Qualität der Innenraumluft und damit unser Wohlbefinden. In Unterrichtsräumen stellen die anwesenden Personen die Hauptquelle für die Feuchtigkeit dar, denn sie geben mit der Ausatemluft und über die Haut ständig Feuchtigkeit an die Raumluft ab. Aus gesundheitlichen Gründen sollte die relative Luftfeuchte in Innenräumen zwischen 40–60 % liegen. Niedrigere Werte können zu einer Austrocknung der Schleimhäute führen, die dann anfälliger für Krankheitserreger sind. Höhere Werte begünstigen in schlecht gedämmten Gebäuden die Schimmelbildung und werden auch als unangenehm („schwül“) empfunden.

Es muss also unbedingt ein Luftaustausch stattfinden, wenn sich viele Menschen über längere Zeit in einem geschlossenen Raum aufhalten, damit die 3 Indikatoren für die Luftqualität – Temperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt und Luftfeuchte – innerhalb der empfohlenen Werte bleiben. Pro Person müssen für eine gute Raumluftqualität rund 30 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde ausgetauscht werden, bei Kindern sind es 20–25 m<sup>3</sup>.

trocken	empfohlen	feucht
0–39 %	40–59 %	60–100 %

## AUFGABE



- Welche drei Faktoren spielen für die Qualität der Innenraumluft die größte Rolle?
- Wie kann sich eine zu niedrige relative Luftfeuchtigkeit auf die Gesundheit auswirken?
- Ab welchem CO<sub>2</sub>-Gehalt der Innenraumluft muss gelüftet werden?
- Berechnet, nach wie vielen Minuten in eurem Unterrichtsraum ein Luftwechsel stattfinden muss, damit die Luftqualität nicht zu schlecht wird!

### 4.2.2 Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Im Passivhaus ist insbesondere im Winter das Lüften ausschließlich über die Lüftungsanlage vorgesehen. Dies muss so sein, damit die wertvolle Wärme nicht verloren geht.

Bei den Lüftungsanlagen unterscheiden wir im Wesentlichen zwischen großen, zentral gesteuerten Lüftungsanlagen, die ein ganzes Haus oder Teilbereiche eines Hauses versorgen, und dezentralen Anlagen, die jeweils einen einzelnen Raum mit frischer Luft versorgen.



links: Zuluftdüse / Unterrichtsraum; Mitte: Zuluftdüse / Sporthalle; rechts: Weitwurfdüse / Mensa

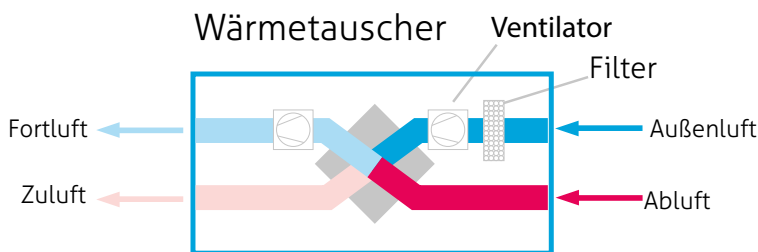
Das Ziel beim Betrieb einer Lüftungsanlage ist es, die verbrauchte Luft aus dem Raum herauszuholen und frische Luft zuzuführen. Damit die Wärme aus dem Raum dabei nicht verloren geht, gibt es in der Lüftungsanlage die sogenannte „Wärmerückgewinnung“. Dabei wird in der Lüftungsanlage die warme, verbrauchte Luft aus den Räumen in einem sogenannten „Wärmetauscher“ ganz dicht an der kalten, frischen Luft vorbeigeführt. Dadurch wird ein großer Teil der Wärme an die kühlere Frischluft übergeben.

Lüftungsschlitze für die Abluftabsaugung sind nicht immer auf ersten Blick so gut erkennbar wie auf dem rechten Foto. Oft sind die Schlitze auch gut versteckt, z. B. seitlich in einer abgehängten Decke eingebaut.



Die Abluft wird hier über Lüftungsschlitze in der Decke abgesaugt

(„RLT mit WRG“) einen Wärmerückgewinnungsgrad von 85% und mehr.



Der Wärmetauscher sitzt an der Schnittstelle, wo der warme Luftstrom aus dem Gebäudeinneren und der kühle Luftstrom von außen zusammentreffen. Frische Außenluft wird von der warmen Abluft erwärmt und kann so als vorgewärmte frische Zuluft in die Räume strömen. Die abgekühlte Abluft wird als Fortluft aus dem Gebäude geblasen. Im Idealfall erzielen diese raumluftechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung

### Gegenstromprinzip

In vielen Passivhäusern sind Lüftungsanlagen installiert, deren Wärmetauscher nach dem Gegenstromprinzip funktionieren, bei dem also der kalte und der warme Luftstrom aus entgegengesetzten Richtungen aneinander vorbeigeführt werden. Diese Luftführung wird auch als Kreuzstrom bezeichnet. Gleichstromwärmetauscher sind aufgrund ihres deutlich geringeren Wärmerückgewinnungsgrades sehr selten. Weit verbreitet sind hingegen nach dem Gegenstromprinzip funktionierende Rotationswärmetauscher, bei denen eine eng gewickelte Speichermasse aus Metall oder Kunststoff als Rotor dient, der die Luft in Bewegung hält.

### Luft-Volumenstrom

Die Menge der Luft, die eine Anlage durchläuft, wird als „Volumenstrom“ bezeichnet und in Kubikmetern pro Sekunde [ $m^3/s$ ] gemessen. Schon bei der Planung muss möglichst realistisch kalkuliert werden, welche Luftwechselraten und Luftmengen eine Anlage im Betrieb bereitstellen soll und wie die Steuerung erfolgen soll.

Ein Großteil der neueren Anlagen für Nichtwohngebäude wird bedarfsgesteuert, das heißt, dass sich die Luftwechselrate Veränderungen der Raumluftparameter (Temperatur,  $CO_2$ -Gehalt, Luftfeuchte) anpasst. Da alle RLT mit WRG nicht zu vernachlässigende Mengen Strom verbrauchen, sollten sie sehr sorgfältig geplant und auf den zu erwartenden Betrieb ausgelegt sein.

Konventionelle LüftungsplanerInnen neigen dazu, Luftmengen eher hoch zu dimensionieren, um



Blick in eine Lüftungsanlage mit Rotationswärmetauscher

die Raumluftfeuchtigkeit im Winter extra niedrig zu halten. Dies wird gemacht, um die Gefahr von Kondenswasserbildung vor allem an Außenwänden und Fenstern und die daraus resultierende Schimmelgefahr gering zu halten. Beide Risiken bestehen im Passivhaus aber ohnehin nicht, weil wegen der gut gedämmten Gebäudehülle alle Innenoberflächen von Außenbauteilen so warm sind, dass auch bei 60 % relativer Raumluftfeuchte noch keine Tauwasserbildung auftritt. Daher kann die Frischluftmenge im Passivhaus in kalten Perioden ruhig etwas niedriger eingestellt werden, insbesondere dann, wenn die Raumluft von den NutzerInnen sonst als zu trocken empfunden wird.

Die Regulierung der Belüftung kann sowohl automatisch als auch manuell erfolgen:



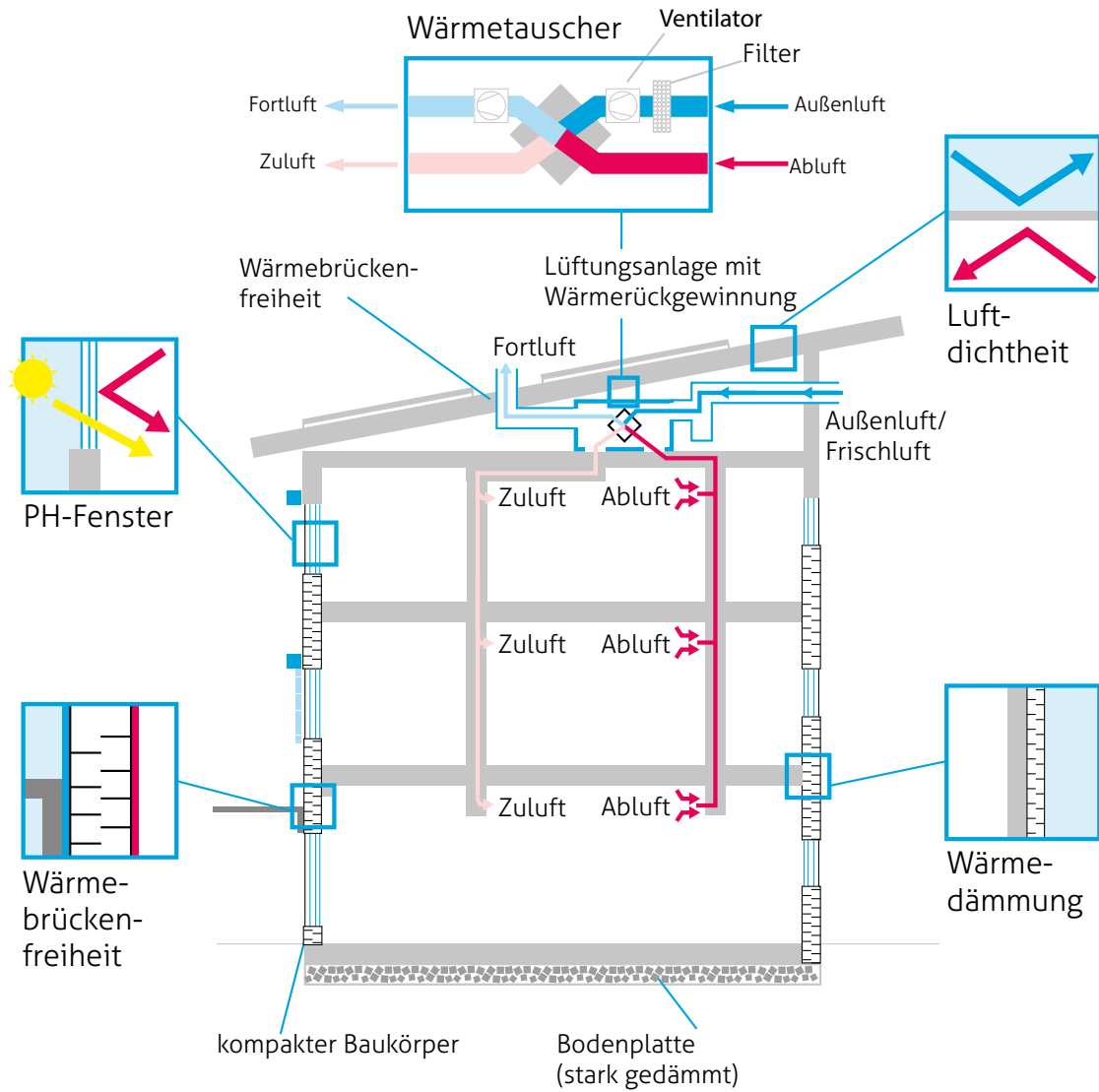
links: Schaltplan am PC; Mitte: Schalter für einen Raum; rechts: Bedientableau

Damit Luftschadstoffe, Pollen und Keime nicht ungehindert ins Gebäude eindringen und dort über die Lüftungsanlage verteilt werden können, sind RLTs mit leistungsstarken Filtern ausgestattet, die regelmäßig ausgewechselt werden müssen. Denn auch verschmutzte Filter in der Anlage können dazu führen, dass die angestrebte Qualität der Innenraumluft nicht erreicht wird und auch die energetischen Ziele verfehlt werden, weil zusätzlich über die Fenster gelüftet oder geheizt werden muss.



links: Verschmutzter Filter; rechts: Luftfilter stark verstaubt

# Die thermische Hülle und Technik eines Passivhauses





#### 4.2.4 Lüftungsanlagen im Sommerbetrieb

In den bisherigen Ausführungen ging es fast ausschließlich darum, so viel Wärme im Gebäude zu halten wie möglich, was bei den klimatischen Bedingungen in unseren Breiten auch für die meiste Zeit im Jahr Priorität hat. Allerdings kann es im Sommer – vor allem während längerer Hitzeperioden – in Passivhäusern phasenweise unangenehm warm werden, denn Lüftungsanlagen sind keine Klimaanlage.

Ein "Wärmetausch" kann nur sehr eingeschränkt in umgekehrter Form erfolgen und damit maximal die bestehende Temperatur im Gebäude aufrecht erhalten. Deshalb gilt für Passivhaus-Gebäude: die warme Luft möglichst aus dem Gebäude draußen halten!

Eine Abkühlung des Gebäudes in Hitzeperioden muss vor allem über die Frischluftzufuhr während der Nacht oder in den frühen Morgenstunden gewährleistet werden. Der Wärmetauscher muss dabei umgangen werden („Bypass-Klappe“) bzw. ausgeschaltet bleiben, damit die frische Außenluft nicht wieder von der warmen Abluft aufgewärmt wird. Tagsüber kann häufig ein Abschalten der Lüftungsanlage sinnvoll sein, dafür darf vor dem Ansteigen der Außentemperatur in den Morgenstunden ausgiebig über die Fenster gelüftet werden. An den sonnenabgewandten Gebäudeseiten oder in gut verschatteten Gebäudeteilen (z. B. durch Laubbäume oder Schatten angrenzender Gebäude) kann teilweise auch tagsüber Fensterlüftung erfolgen. Auch nachts kann natürlich kühle Luft über geöffnete Fenster in das Gebäude strömen, hierbei müssen jedoch bestimmte Sicherheitsvorkehrungen berücksichtigt werden.

Tagsüber muss insbesondere darauf geachtet werden, dass keine zusätzliche Wärme durch die Sonneneinstrahlung in das Gebäude eindringt. Deshalb müssen Außentüren, Fenster und Außenjalousien möglichst geschlossen gehalten werden.

#### FRAGEN



- Was für eine Art von Lüftungsanlage hat eure Schule?
- Wo befindet sich ggf. die zentrale Anlage?
- Wo wird die Außenluft in das Gebäude eingesaugt?
- Wo wird in eurem Raum Zuluft eingebracht?
- Wo wird Abluft aus dem Raum abgesaugt?
- Macht die Lüftungsanlage Geräusche?
- Bei welchen Bedingungen sollte die Lüftungsanlage ausgeschaltet werden?
- Welche Werte werden erfasst, um die Lüftung bedarfsgerecht zu regulieren?

#### AUFGABE



1. Für die Qualität der Innenraumluft und unser Wohlbefinden spielen drei Faktoren die Hauptrolle. Zeichnet ein magisches Dreieck und verwendet die gesuchten Begriffe.
2. Stellt Entwürfe für eine „Lüftungsanleitung“ in Form eines Hinweisschildes her.

3. Mit einem langen Stab, an dessen Spitze eine Feder oder einige Haare befestigt werden, könnt ihr herausfinden, ob die Lüftungsanlage gerade läuft und wo Luft eingeblasen bzw. abgesaugt wird.
4. Versucht mit Seifenblasen Luftströme nachzuweisen.
5. Wird an eurer Schule auch bei laufender Lüftungsanlage über Fenster und Außentüren gelüftet? Denkt euch Maßnahmen aus, um dieses Fehlverhalten zukünftig zu unterbinden, und setzt einfache Maßnahmen am besten gleich in die Tat um.
6. Schreibt jeweils zwei Vor- und Nachteile auf:

Status	Vorteile	Nachteile
keine Lüftungsanlage		
Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung		
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung		

#### HINWEIS



Probleme mit der Lüftungsanlage sind vor allem während der Einregulierungszeit nicht selten. Zögern Sie nicht, sich an den oder die HausmeisterIn zu wenden, wenn Sie oder Ihre SuS den Eindruck haben, dass die Lüftungsanlage nicht so funktioniert, wie sie sollte.



Am Lüftungsauslass wird mit einer Feder geprüft, ob Luft ausströmt.

## 4.3 Beleuchtung

Generell gilt, dass Tageslicht gegenüber künstlicher Beleuchtung wann immer möglich bevorzugt werden sollte. Tageslicht weist auch noch an trüben Wintertagen eine Helligkeit von bis zu 5000 lx<sup>16</sup> auf, bei klarem Himmel im Hochsommer sind es sogar bis zu 100.000 lx! Die besondere Qualität von Tageslicht stimuliert viele Körperfunktionen und wirkt sich positiv auf unsere Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden aus. Bei der Planung von Passivhausschulen spielt daher die optimale Ausnutzung von Tageslicht eine große Rolle, wobei berücksichtigt werden muss, dass mit dem Licht auch Strahlungswärme ins Gebäude gelangt, die nicht immer gleichermaßen willkommen ist.

In den vergangenen Jahren wurden an den meisten Schulen Glühlampen, Halogenstrahler und Leuchtstoffröhren von der wesentlich energieeffizienteren LED-Beleuchtung abgelöst. Da die große Mehrheit der Passivhaus-Schulen erst wenige Jahre alt ist, sind in ihnen fast ausschließlich Lampen mit einem geringen Energiebedarf und einer minimalen Wärmeabgabe installiert. Dennoch hat die Beleuchtung, selbst wenn sie überwiegend aus energieeffizienten LED besteht, einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Energiebedarf einer Schule. Einmal eingeschaltete Lampen bleiben nicht selten den ganzen Tag bedarfsunabhängig an. In Räumen, wo die NutzerInnen für die Schaltung der Beleuchtung selbst verantwortlich sind, sollte deshalb darauf geachtet werden, dass Licht nur dort und dann geschaltet wird, wo und wann es wirklich benötigt wird. In Unterrichtsräumen ermöglichen voneinander unabhängig einschaltbare Lampenreihen mit einzelnen Lichtschaltern eine zielgerichtete und dadurch effiziente Beleuchtung.

Leuchtstoffröhren benötigen nach dem Einschalten eine Aufwärmphase von teilweise einigen Minuten, bis sie ihre volle Leuchtkraft erreichen, was man gut mit einem Luxmeter nachweisen kann. LED gehen entgegen anderslautender Einschätzungen nicht schneller kaputt und verbrauchen auch nicht viel mehr Strom, wenn sie häufig an- und ausgeschaltet werden!

### HINWEIS



In Räumen, die über mehrere Lampenreihen verfügen, gibt es meistens für jede Reihe einen Schalter, wobei aber im Normalfall nicht auf den ersten Blick zu erkennen ist, welcher Schalter zu welcher Lampenreihe oder Rasterleuchte gehört. Um auf Anhieb den richtigen Schalter zu finden, hat es sich bewährt, die Schalter mit Klebepunkten zu versehen, wobei ein roter Punkt für die fensterseitige Lampenreihe, grün für die fensterabgewandte Seite und gelb für den Mittelbereich steht. Die Idee dahinter ist, den roten Punkt als „Warnung“ wahrzunehmen, den Lichtschalter für die Fensterseite nur dann zu betätigen, wenn es wirklich nötig ist. Starten Sie mit der Klebeaktion in Ihrem Unterrichtsraum und probieren Sie aus, ob der Griff zum richtigen Schalter mithilfe der Farbpunkte leichter fällt.



Lichtschalter mit Farbpunkten: rot steht für die Fensterreihe, gelb Mittelreihe, grün Wandseite

<sup>16</sup> Die Einheit für die Beleuchtungsstärke ist Lux [lx]

Auch für die Beleuchtungsstärke gibt es Richtwerte für unterschiedlich genutzte Räume:

Raum / Bereich	empfohlene Beleuchtungsstärke
Klassenräume	300 lx
Fachräume (Kunst, Physik, NaWi, Werken ...)	500 lx
Aula, Mensa, Nebenräume	200 lx
Flure, Treppenhaus, Gänge, WC	100 lx
Sporthalle (Übungsbetrieb / Wettkampf)	300 lx / 750 lx

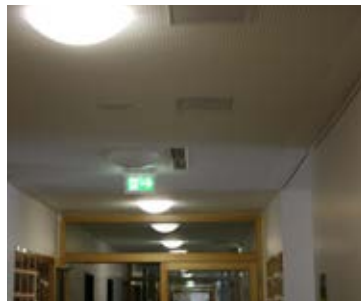
Um die NutzerInnen von der Entscheidung für mehr oder weniger Beleuchtung zu entlasten und zu vermeiden, dass Licht noch lange weiterbrennt, obwohl es keiner mehr braucht, sind moderne Schulgebäude häufig mit Bewegungs- und/oder Präsenzmeldern ausgestattet, die eine dem Bedarf angepasste Beleuchtung ermöglichen.

### **Bewegungs- und Präsenzmelder**

Ein Bewegungsmelder ist ein Sensor, der Bewegungen in seiner näheren Umgebung erkennt und dadurch als elektrischer Schalter arbeiten kann. Hauptsächlich wird er zum Einschalten einer Beleuchtung oder zum Auslösen eines Alarms eingesetzt.

Ein Bewegungsmelder kann entweder aktiv (z. B. mit elektromagnetischen Wellen oder Ultraschall) oder passiv anhand von Infrarotstrahlung der Umgebung arbeiten. Meist wird der passive Infrarot-Sensor eingesetzt. Er reagiert optimal, wenn eine Person am Sensor vorbeigeht.

Ein Infrarot-Bewegungsmelder hat in der Regel einen eingebauten Dämmerungsschalter, der dafür sorgt, dass die Beleuchtung sich nur bei Dunkelheit einschaltet. Bewegt sich eine Wärmequelle vor dem Melder, so schaltet sich die Beleuchtung für eine einstellbare Zeitspanne ein und nach Ablauf der eingestellten Leuchtzeit wieder aus.



Ein Präsenzmelder soll auch die Anwesenheit von Personen bei sitzenden und anderen ruhigen Tätigkeiten erkennen. Hierzu werden hochwertige Sensoren verwendet, die bereits auf geringste Bewegungen reagieren. Präsenzmelder werden normalerweise an die Decke montiert und sind oft in Gruppen angeordnet, um einen ganzen Raum zu erfassen.

*links: Präsenzmelder an der Decke eines WCs; rechts: Bedarfsgerechte Beleuchtung von Fluren mithilfe von Bewegungsmeldern*

## HINWEIS



Gibt es in Ihrer Schule eine automatische Beleuchtungssteuerung? Wenn ja, erforschen Sie mit Ihren SuS, ob es sich um Präsenz- oder Bewegungsmelder handelt, wo sich die Sensoren befinden und wie lange die Lichtphasen bei Bewegungsmeldern dauern. Falls nein, können Sie gemeinsam mit Ihren SuS überlegen, an welchen Orten im Gebäude Bewegungs- oder Präsenzmelder sinnvoll wären und sich mit Ihren Vorschlägen an die Schulleitung und den Hausmeister wenden.

## AUFGABE



Mit einem Luxmeter können Ihre SuS ganz problemlos die Beleuchtungsstärke in Räumen und anderen Gebäudeteilen messen und die Werte in einer Tabelle erfassen, während die Rahmenbedingungen (Sonnen- und Blendschutz auf und zu, verschiedene Lampen an und aus) verändert werden. Zum Vergleich sollte mit dem Luxmeter unbedingt auch die Stärke des Tageslichts an mehreren Stellen ermittelt werden. In Unterrichtsräumen ist die Lichtmenge entscheidend, die dort vorhanden ist, wo gearbeitet wird, also auf den Tischen!

## 4.4 Sonstige Stromverbraucher

Im Passivhaus ist es besonders wichtig, neben der Beleuchtung auch die weiteren Stromverbraucher im Blick zu behalten und auf einen sparsamen bzw. zielgerichteten Einsatz zu achten. Ein typisches Beispiel stellen die interaktiven Whiteboards dar. Diese werden in modernen Gebäuden gerne flächendeckend installiert, weil sie für eine zeitgemäße Art des Unterrichtens stehen und vielseitig einsetzbar sind, z. B. um Filme zu zeigen, Animationen darzustellen oder um Arbeitsergebnisse für eine spätere Nutzung zu speichern. Seit der Einführung der ersten elektronischen Tafeln hat sich die Technik stetig weiterentwickelt, sodass es mittlerweile verschiedenste Systeme mit sehr unterschiedlichen Energiebedarfen gibt. Leider werden diese „Tafeln“ in vielen Schulen morgens eingeschaltet und erst nach Unterrichtsschluss wieder ausgeschaltet bzw. oft auch nur in den Stand-By-Modus versetzt, obwohl sie nur für einen Bruchteil dieser Zeitspanne aktiv genutzt werden. Das liegt teilweise an den langen „Aufwärmphasen“ einiger Modelle, kann aber auch einer gewissen Bequemlichkeit oder Unsicherheit im Umgang mit dem Gerät geschuldet sein. Dass die Geräte laufen, fällt allerdings oft nicht einmal auf, wenn im Stand-by-Modus nur ein kleines Lämpchen leuchtet.

Neben dem Stromverbrauch ist auch der Wärmeeintrag von Beamern, Kopierern und PCs nicht zu vernachlässigen. Wasserkocher, Kühlschränke und Keramikbrennöfen gehören auch in vielen Schulen zum Inventar und können hinsichtlich ihrer Energieeffizienz große Unterschiede aufweisen.



*Das interaktive Whiteboard läuft noch, obwohl die Klasse den Raum längst verlassen hat.*

## HINWEIS



- Achten Sie auf einen zielgerichteten Einsatz der Technik und schalten Sie – sofern es geht – nach Unterrichtsschluss die komplette Stromzufuhr aus (z. B. mit schaltbaren Steckdosenleisten).
- Wasserkocher benötigen viel Strom, deshalb sollten Sie immer nur so viel Wasser erhitzen, wie Sie tatsächlich brauchen.
- Kühlschränke können nur einwandfrei und sparsam laufen, wenn sie nicht vereist sind. Wichtig ist es, die Tür immer nur so kurz wie möglich zu öffnen und niemals Warmes in den Kühlschrank zu stellen. Oft ist eine Einstellung auf Stufe 1 bis 2 völlig ausreichend. In den Lehrerzimmern vieler Schulen stehen manchmal sehr große Geräte – oft kaum befüllt...
- Mit einem Stromverbrauch-Messgerät kann der Energiebedarf einzelner Geräte genau ermittelt werden. Spannend für SuS ist auch die Erfassung des Energiebedarfes „abgeschalteter“ Geräte (Stand-by-Modus)

## AUFGABE



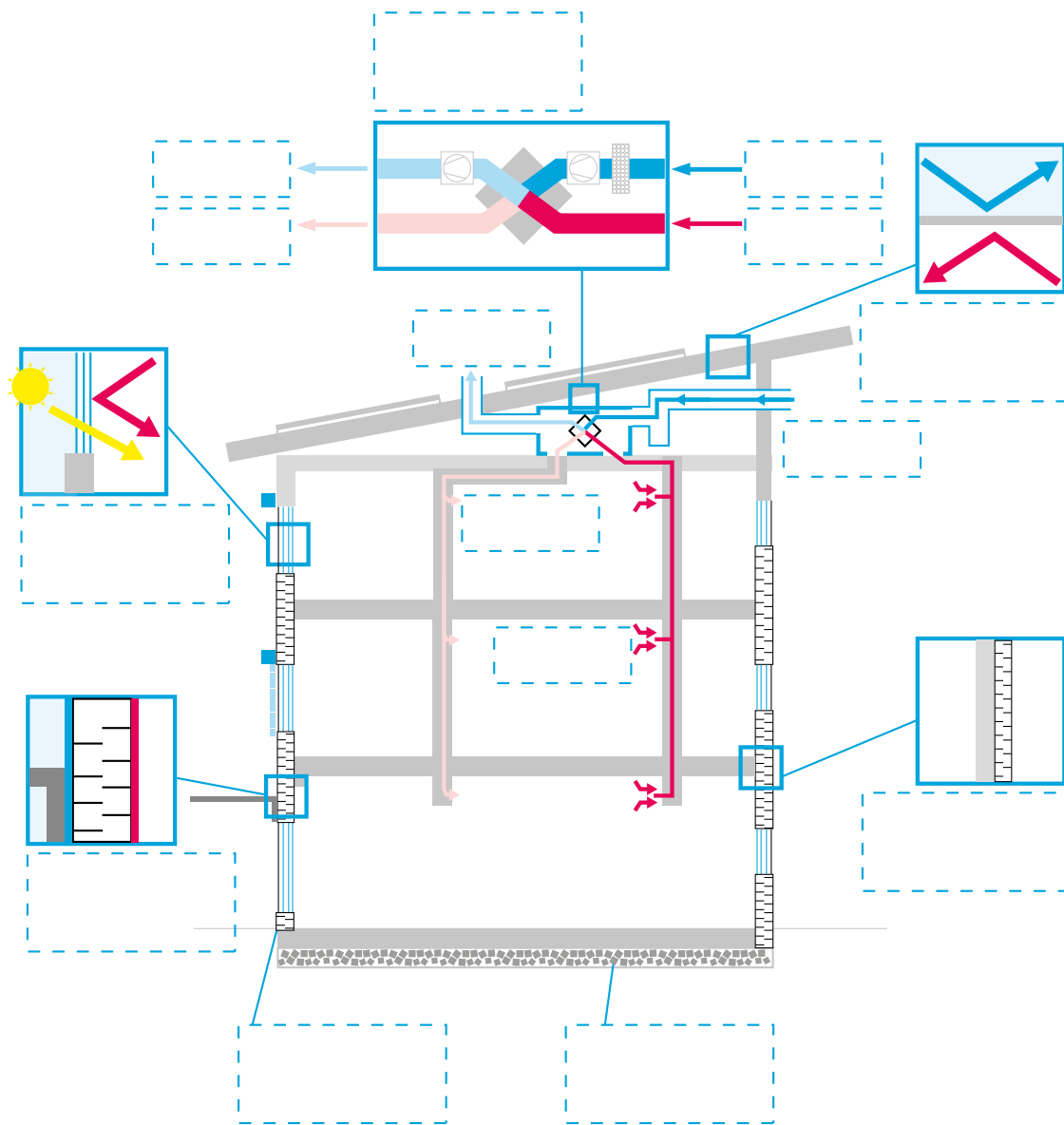
- Welche elektrischen Geräte sind im Unterrichtsraum vorhanden?
- Wie viele davon sind in Benutzung, im Stand-by-Betrieb oder komplett von der Stromzufuhr getrennt?
- Was könnt ihr über den Energieverbrauch dieser Geräte in Erfahrung bringen? Recherchiert im Internet (Homepages der Hersteller), auf den Geräten selbst oder in ihren Bedienungsanleitungen/Produktinformationsblättern.
- Wie hoch ist der gesamte Stromverbrauch eurer Schule und welchen Anteil daran haben die elektrischen Geräte? Versucht, so viele und so genaue Informationen wie möglich zu bekommen.
- Berechnet, wie viel Strom die Schule an einem Tag / in einem Monat / im Schuljahr einsparen kann, wenn konsequent darauf geachtet werden würde, kein Gerät im Stand-by-Modus zu belassen. Ganz Fleißige können auch noch die finanziellen Einsparpotenziale ermitteln.

# Arbeitsblatt: Die thermische Hülle und die Technik eines Passivhauses

Auf der Zeichnung siehst du das Modell eines Passivhausgebäudes mit seinen wichtigsten Merkmalen. **Trage die folgenden Begriffe in die passenden Sprechblasen ein:**

Passivhaus-Fenster – Wärmebrückenfreiheit – Luftdichtheit – gedämmte Bodenplatte – Wärmedämmung – Lüftungsanlage mit Wärmetauscher – kompakter Baukörper – Abluft – Außenluft – Fortluft – Zuluft

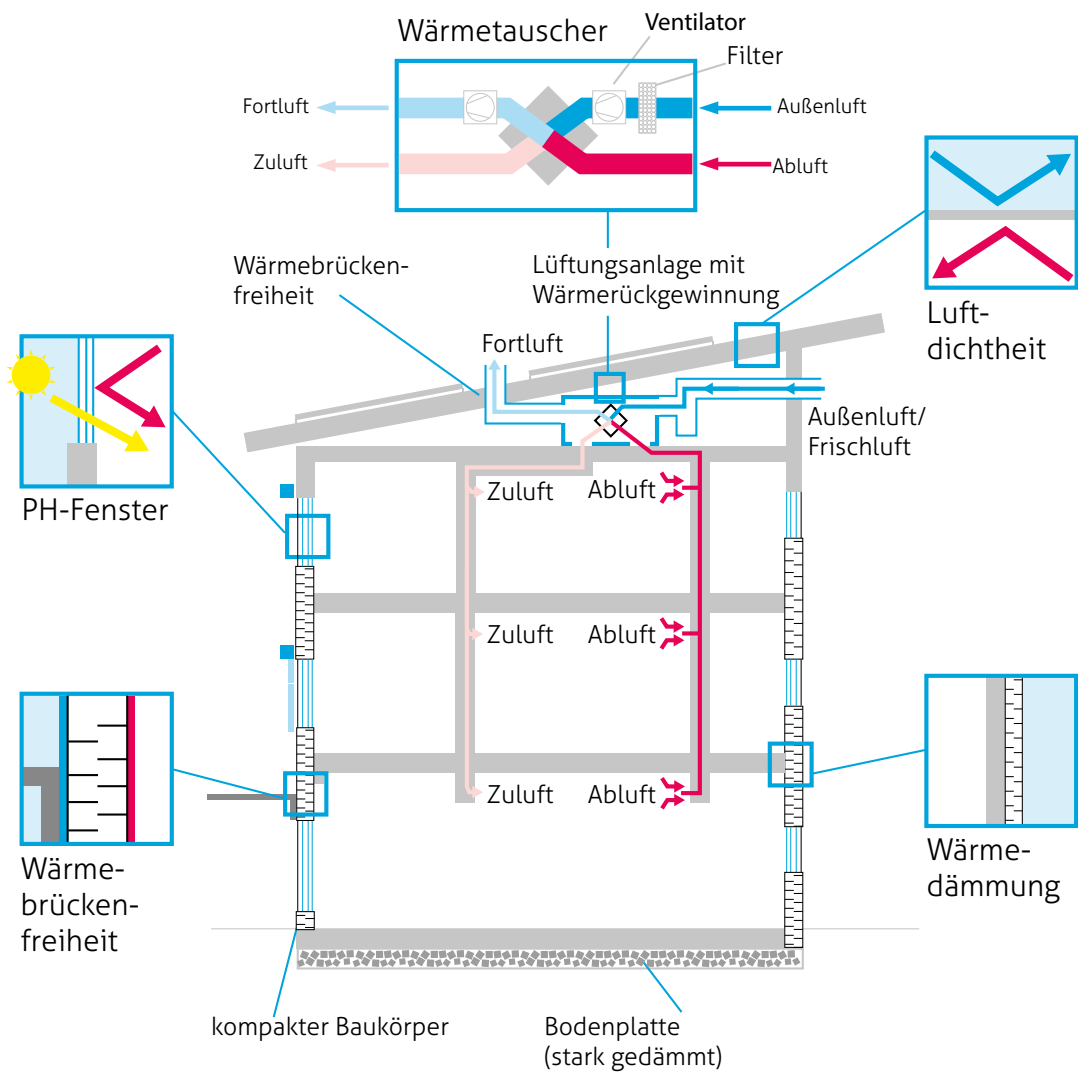
## Passivhaus-Gebäude - Grundlagen und Funktionen



**Vervollständige den Lückentext mit den folgenden Wörtern!**

Sonnenschutz – gedämmt – beheizt – Fenster – wärmebrückenfrei – Körper – elektrischen – Wärme – Lüftungsanlage – Winter – Türen – heiß – Scheiben – Wärmerückgewinnung – Raumklima – draußen

Das Passivhaus heißt so, weil es fast nicht aktiv ..... wird. Es ist sehr gut ..... und ..... Die ..... der Menschen und die ..... Geräte geben genug ..... ab. Eine ..... mit ..... sorgt für ein gleichbleibend gutes ..... Damit Kälte und Hitze ..... bleiben, sollen ..... und ..... zu bleiben. Die 3-fach verglasten ..... sollen im ..... Wärme aufnehmen. Im Sommer muss bei Sonnenschein der ..... geschlossen werden, damit es nicht zu ..... wird.





## Arbeitsblatt: „Schnitzeljagd“

Schaut euch ganz genau in eurem Unterrichtsraum um und findet die typischen Bestandteile eines Passivhauses, deren Bezeichnung ihr in der linken Tabellenspalte lesen könnt. In die rechte Spalte schreibt ihr rein, wo sie sich befinden. Das Team, das am schnellsten fertig ist, hat gewonnen!

Name des Bauteils oder der Gebäudetechnik	Fundort und Beschreibung
Abluftabzug der Lüftungsanlage	
Wärmeschutz (Jalousie)	
Präsenzmelder	
Blendschutz	
Steuerung für Wärmeschutz (Jalousien)	
Wärmequelle	
stark gedämmte Gebäudehülle	
Heizkörper	
3-fach verglaste Fenster	
Zuluftdüse der Lüftungsanlage	
Sensoren für Raumklima	

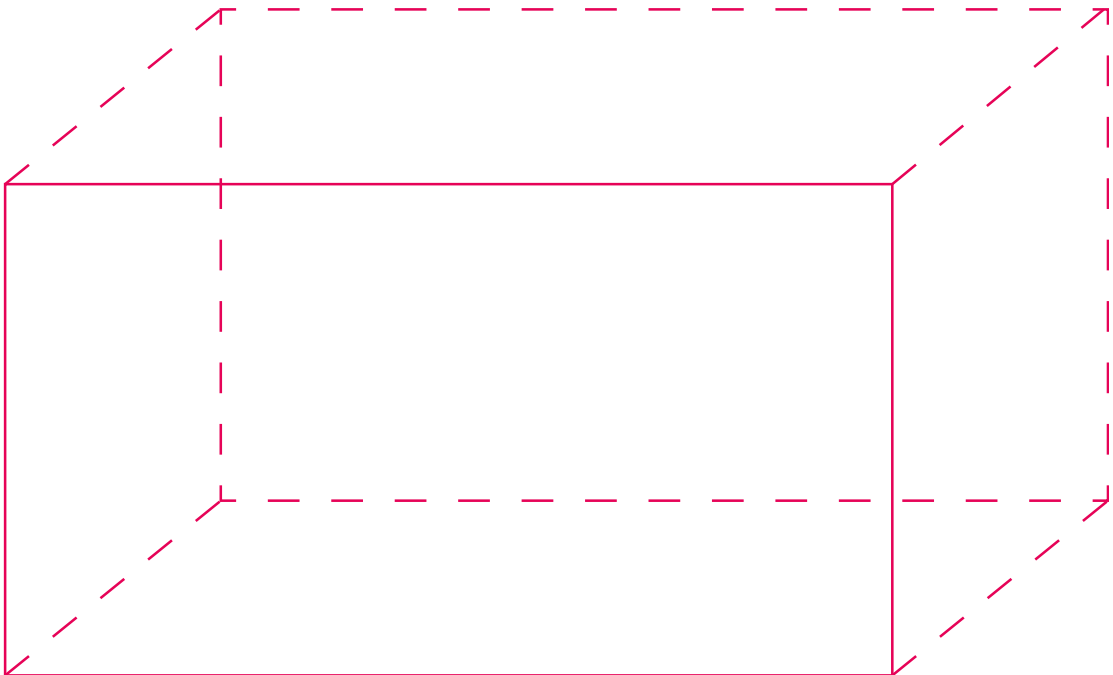
## Arbeitsblatt: Passivhauskomponenten im eigenen Raum finden und skizzieren

---

Die Zeichnung stellt die Umrisse des Raumes dar, wo du dich gerade aufhältst. Stell dir vor, du schaust durch eine durchsichtige Wand in diesen Raum hinein und siehst auf der gegenüberliegenden Seite durch die Fenster nach draußen.

1. Zeichne Fenster und Türen an den richtigen Stellen ein.
2. Jetzt kannst du alle sichtbaren Bestandteile der Lüftungsanlage, der Heizung und des Wärmeschutzes einzeichnen.
3. Zeichne nun alle Wärmequellen (z. B. Personen, elektr. Geräte) ein und rote Pfeile für Wärmetransporte.
4. Nach welcher Himmelsrichtung sind die Fenster ausgerichtet? Schreibe N – S – O – W an die passenden Seiten des Raumes und lass Sonnenstrahlen als gelbe Pfeile durch die Fenster scheinen.

Wenn du mehr Platz brauchst, verwende ein größeres Blatt Papier.



## Kopiervorlage: „Richtig oder Falsch“ Passivhaus

Kopieren Sie diese Seite, schneiden Sie die einzelnen Kästchen aus. Jeder Schüler bekommt eine Karte. Die Frage ist, ob die Aussage darauf richtig oder falsch ist. Genauere Beschreibung siehe „Methoden“ im Anhang.

Wenn uns die Luft schlecht vorkommt, öffnen wir auch im Winter ein paar Fenster auf Kippstellung.	Im Sommer bläst die Lüftungsanlage kalte Luft in das Gebäude.
Passivhäuser haben eine möglichst luftdichte Gebäudehülle.	Es ist egal für die Temperaturentwicklung, ob 3 oder 20 Kinder in einem Raum sind.
Luft ist ein schlechter Wärmeleiter.	Wasser ist ein guter Wärmeleiter.
Eine Wärmebrücke ist ein Bauteil, das Wärme von drinnen nach draußen leitet.	Passivhausfenster haben eine Einfach- oder Doppelverglasung an den Fenstern.
Präsenzmelder tragen dazu bei, dass die Beleuchtung nicht unnötig lange in Betrieb ist und Strom verbraucht.	An heißen Tagen darf im Passivhaus nur nachts und frühmorgens gelüftet werden.
Wenn die Luft während der kalten Jahreszeit zu trocken wird, stellen wir Tonschalen mit Wasser auf.	In der Sporthalle muss es genauso warm sein wie in den Klassenräumen.
Den größten Anteil am Energieverbrauch von Privathaushalten haben die Kühlschränke.	Für die Beheizung energetisch unsaniertter Schulgebäude werden an einem einzigen Wintertag bis zu 2000 € für Öl ausgegeben.
Die verbrauchte Luft, die in unserem Klassenzimmer abgesaugt wird, nennt man Abluft.	Bevor die schlechte Luft aus der Schule nach draußen strömt, wird sie gefiltert.
Die kalte Frischluft wird im Wärmetauscher von warmer Innenluft erwärmt.	Styropor ist ein sehr umweltfreundliches Dämmmaterial.
Wenn wir den Klimawandel stoppen wollen, müssen wir noch sehr viel mehr Heizenergie einsparen.	Mithilfe von Wind- und Solaranlagen können Passivhausschulen sogar mehr Energie erzeugen, als sie verbrauchen.

Passivhausfenster lassen die Sonneneinstrahlung durch, sodass ihre Wärme genutzt werden kann.

Metalle fühlen sich oberflächlich kalt an, weil sie gute Wärmeleiter sind.

Filter in der Lüftungsanlage sorgen dafür, dass Pollen, Feinstaub und anderer Schmutz draußen bleiben.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung verbrauchen genau so viel Energie wie Elektroheizungen.

Damit die Luft in der Schule sauber bleibt, werden regelmäßig die Filter in der Lüftungsanlage gewechselt.






Die Lüftungsanlage verteilt gefährliche Krankheitserreger im ganzen Schulgebäude.

Das Passivhaus heißt so, weil es fast keine aktive Heizung mehr braucht.

In Passivhausschulen müssen sich Schülerinnen und Schüler weniger bewegen als in normalen Schulen.

## Arbeitsblatt: Gebäudecheck Sinneseindrücke

**Aufgabe:** Du besuchst mit deinem Team verschiedene Orte im Gebäude. Schreibe in die linke Spalte der Tabelle, wann du welchen Bereich erforscht hast. Unter die Symbole trägst du ein, was du dort mit den verschiedenen Sinnesorganen wahrnimmst. Lass dir genügend Zeit, alles so genau wie möglich wahrzunehmen. Am Schluss bewertest du den Ort mit einem lachenden oder einem traurigen Smiley.

Raum + Zeit					

# Arbeitsblatt: Gebäudecheck – Nutzerbefragung und Messung in einem Raum

**Klasse:** ..... **Team:** ..... **Raum:** .....

**Datum / Zeit:** ..... **Wetter:** ..... **Außentemperatur:** .....

Klopft an, bevor ihr einen Raum betretet, und bittet die Lehrkraft darum, den Unterricht für 3 Minuten zu unterbrechen, um eine kurze Umfrage und Messungen durchzuführen.

**1. Aufgabe:** Fordert die Anwesenden freundlich auf: „Bitte hebt die Hand, wenn ihr den folgenden Aussagen zustimmt.“ Tragt dann die entsprechenden Zahlen für „Ja“ und „Nein“ ein.

Ich weiß, dass unsere Schule besonders wenig Heizenergie verbraucht. ja: ..... nein: .....

Ich finde es hier zu kalt. ja: ..... nein: .....

Ich finde es hier zu warm. ja: ..... nein: .....

Ich finde es hier zu stickig. ja: ..... nein: .....

Ich finde, die Luft ist zu trocken. ja: ..... nein: .....

Ich finde es hier zu dunkel. ja: ..... nein: .....

Ich fühle mich hier wohl. ja: ..... nein: .....

Ich habe gerade gute Laune. ja: ..... nein: .....

**2. Aufgabe:** Führt im gleichen Raum Messungen durch und notiert die Ergebnisse in der Tabelle

Temperatur [°C]	CO <sub>2</sub> -Gehalt [ppm]	Relative Luftfeuchte [%]	Helligkeit [lux]

**Sonstige Beobachtungen und Bemerkungen:**

.....

.....

.....

.....

# Arbeitsblatt: Gebäudecheck in mehreren Räumen

Klasse: ..... Teammitglieder: .....

Datum: ..... Uhrzeit: ..... Außentemperatur: .....

sonnig  bewölkt  bedeckt  neblig  windig  Regen  Schnee

**Aufgabe:** Tragt die gemessenen Werte in die Tabelle ein. Gemessen wird in der Raummitte.

Raum / Bereich	Personen Anzahl	Temperatur °C	Luftfeuchte %	CO <sub>2</sub> ppm	Helligkeit Lux	Offene / gekippte Fenster Anzahl

Raum / Bereich	Geräusche ja / nein	Gerüche ja / nein	Sonnenschutz auf / zu	Lüftung an / aus	Blendenschutz auf / zu	Beleuchtung an / aus

Am besten bewerten wir Raum / Bereich ....., weil .....

## Arbeitsblatt: Gute Luft in Passivhäusern

---

### Beantworte die folgenden Fragen:

1. Welche technische Anlage übernimmt in einem Passivhaus oft die Funktion der Heizung?

.....

.....

2. Wie werden die Räume in Passivhäusern auch ohne Heizung warm?

.....

.....

3. Warum ist es wichtig, bei Hitze Fenster und Türen von Passivhäusern geschlossen zu halten?

.....

.....

4. Wozu dienen die Jalousien? Wann sollten sie geschlossen werden?

.....

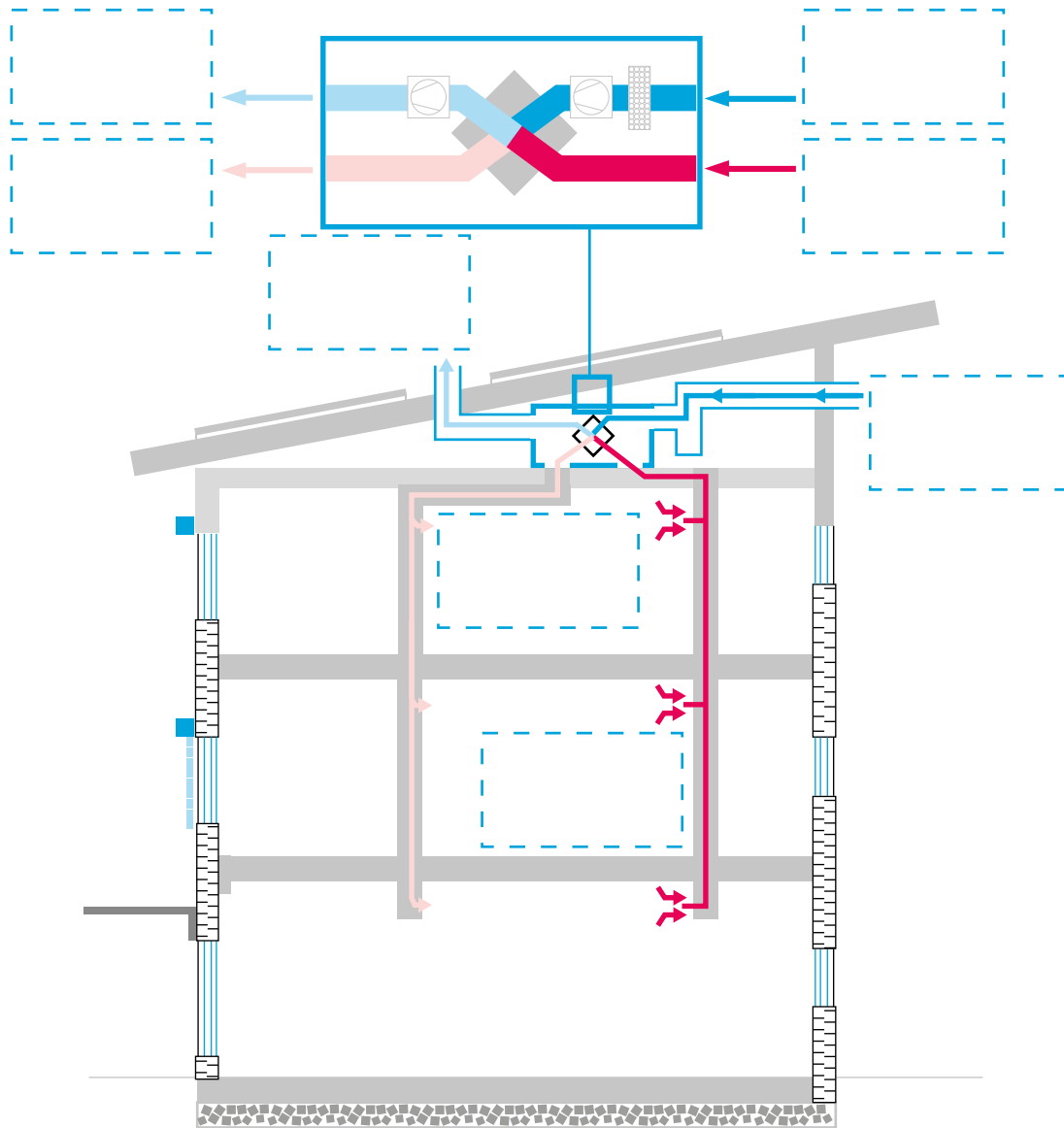
.....

5. Wie sollen wir im Passivhaus lüften, um beste Ergebnisse bei Energieeffizienz und Behaglichkeit zu erzielen? Ergänze die Tabelle.

Außentemperatur	Lüftungsanlage	Fenster
< 10 °C		
= 15 °C		
> 25 °C		



6. Beschrifte die roten und blauen Pfeile in der unteren Zeichnung mit den Wörtern:  
Außenluft – Zuluft – Abluft – Fortluft (Jedes Wort kommt doppelt vor).

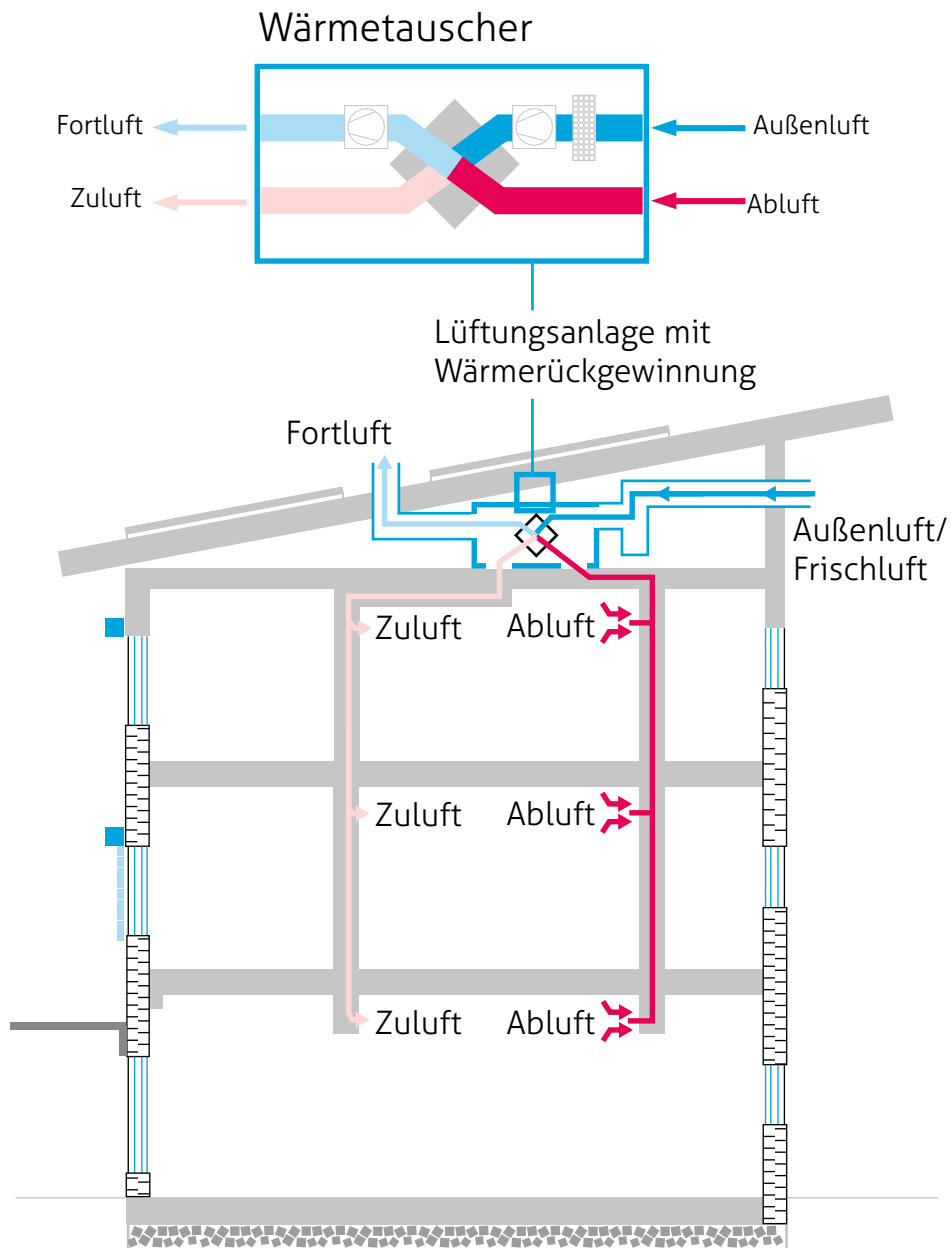


## Lösungsvorschlag: Gute Luft in Passivhäusern

1. Welche technische Anlage übernimmt in einem Passivhaus oft die Funktion der Heizung?  
**Antwort:** Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.
2. Wie werden die Räume in Passivhäusern auch ohne Heizung warm?  
**Antwort:** Durch die Sonneneinstrahlung, die Wärmeabgabe von elektrischen Geräten und der Beleuchtung sowie durch die Wärmeeinträge der Personen, die sich im Gebäude aufhalten.
3. Warum ist es wichtig, bei Hitze Fenster und Türen von Passivhäusern geschlossen zu halten?  
**Antwort:** Durch geöffnete Fenster und Türen kann zu viel Wärme ins Gebäude gelangen, die dort gespeichert wird. Nur morgens und nachts kann bei offenen Fenstern die Wärme wieder entweichen.
4. Wozu dienen die Jalousien? Wann sollten sie geschlossen werden?  
**Antwort:** Die Jalousien dienen dem Wärmeschutz. Bei hohen Außentemperaturen müssen sie geschlossen bleiben, solange die Sonne auf die Fenster scheint.
5. Wie sollen wir im Passivhaus lüften, um beste Ergebnisse bei Energieeffizienz und Behaglichkeit zu erzielen? Ergänze die Tabelle.

Außentemperatur	Lüftungsanlage	Fenster
< 10 ° C	in vollem Betrieb; sorgt tagsüber für Luftaustausch und Heizung	bleiben dauernd geschlossen; ausnahmsweise ist kurzes Stoßlüften erlaubt
= 15 ° C	läuft bei Bedarf, wenn Raumtemperatur ohne Wärmerückgewinnung zu niedrig wäre	wenn Lüftungsanlage ausgeschaltet ist, dürfen Fenster geöffnet werden, auch längere Zeit auf Kippstellung
> 25 ° C	sollte tagsüber ausgeschaltet werden	Fenster müssen zu bleiben, bei Sonneneinstrahlung Wärmeschutz (Jalousien) aktivieren. Nur nachts und früh morgens lüften

6. Beschrifte die roten und blauen Pfeile in der unteren Zeichnung mit den Wörtern:  
 Außenluft – Zuluft – Abluft – Fortluft (Jedes Wort kommt doppelt vor).



## Arbeitsblatt: Richtwerte für die Innenraumluftqualität

WissenschaftlerInnen wissen schon lange, dass wir besser arbeiten und lernen können, wenn wir uns in einem Raum wohlfühlen. Da uns aber auch bewusst ist, dass jeder Mensch anders empfindet und urteilt, hat der Naturforscher Max von Pettenkofer schon vor mehr als 100 Jahren versucht, verbindliche Richtwerte für eine gute Qualität von Innenraumluft festzulegen. Die CO<sub>2</sub>-Werte in der unteren Tabelle werden für eine gute Raumluftqualität empfohlen.

CO <sub>2</sub> Konzentration [ppm]	Hygienische Bewertung	Empfehlung
< 1000	unbedenklich	keine
1000–2000	auffällig	Es sollte gelüftet werden.
> 2000	inakzeptabel	Es muss gelüftet werden

Außerdem gelten folgende gesetzliche Richtwerte für die Raumtemperaturen an Arbeitsplätzen:

Aktivität	körperliche Arbeitsbelastung		
	leicht	mittel	schwer
Sitzen	+20 °C	+19 °C	-
Stehen, Gehen	+19 °C	+17 °C	+12 °C

Da auch die Schule ein Arbeitsplatz ist, gelten diese Vorschriften auch hier. Ergänze in der Tabelle Aktivitäten und überlege, welche Temperaturen empfehlenswert sind:

Raum / Bereich	Aktivitäten	Temperaturempfehlung
Klassenraum		
Flur		
Sporthalle		

Welche Maßnahmen (jeweils mind. 2 Beispiele) kannst du ergreifen, wenn

**a)** die Temperatur nicht den Anforderungen entspricht

.....

.....

.....

**b)** der CO<sub>2</sub>-Wert zu hoch liegt?

.....

.....

.....

## Arbeitsblatt: Prima Klima in der Schule?

---

1. Fiktive Messungen in einer Schule haben die unteren Werte ergeben, die nicht den Vorschriften der Arbeitsstättenverordnung entsprechen. Schreibe die richtigen Werte an das Ende der jeweiligen Zeile.

a) Die Temperatur in der (leeren) Turnhalle liegt bei 23 °C .....

b) Im Eingangsbereich werden 9 °C gemessen .....

c) Im Kunstraum wird ein CO<sub>2</sub>-Wert von 2100 ppm gemessen .....

d) Im Klassenraum zeigt das Hygrometer eine relative Luftfeuchtigkeit von 68 % an .....

2. Woran könnte es liegen, dass die Werte außerhalb der Norm liegen? Nenne für alle vier „Fehler“ mögliche Ursachen und unterscheide zwischen baulichen/technischen Mängeln und Nutzungs-/Verhaltensfehlern.

a) .....

.....

b) .....

.....

c) .....

.....

d) .....

.....

3. Interviews haben ergeben, dass das Raumklima in der Cafeteria von sehr vielen SchülerInnen als besonders schlecht wahrgenommen wird.

a) Überlege, woran das liegen könnte und schreibe 3 Vermutungen in Stichpunkten auf.

.....

.....

b) Wie findest du mögliche Ursachen heraus?

.....

.....

.....

## Arbeitsblatt: Luft und Lüftung

Eine erwachsene Person benötigt durchschnittlich  $30 \text{ m}^3$  Frischluft pro Stunde. Kinder brauchen weniger (ca.  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Und natürlich hängt der Luftbedarf auch von der Aktivität ab.

1. Berechne den ungefähren Rauminhalt (Volumen) eures Klassenraums. Nutze dazu Zollstock, Meterstab oder Maßband. Zur Not kannst du die Raumlänge und –Breite auch mit Schritten abmessen und die Höhe schätzen. Trage den Wert in die Tabelle ein.
2. Berechne anhand des Rauminhaltes und der Anzahl der SchülerInnen den Frischluftbedarf eurer Klasse für eine Zeitstunde (60 Min.) und für eine Schulstunde (45 Min.).
3. Rechne aus, wie oft gelüftet werden muss, damit die notwendige Frischluft in den Raum gelangt, und ermittle anhand dieser Werte, nach wie vielen Minuten ein Luftaustausch stattfinden muss.

**Tabelle:** Frischluftbedarf im Klassenraum

Raum- inhalt / $\text{m}^3$	Anzahl der Personen	Frischluft- bedarf der Klasse / 60 Min./ $\text{m}^3$	Frischluft- bedarf der Klasse / 45 Min./ $\text{m}^3$	Anzahl der Lüftungen pro Stunde / Schulstunde	

Natürlich ist der Frischluftbedarf von SchülerInnen, die in einem Passivhaus-Schulgebäude lernen, genauso groß wie der von anderen SchülerInnen. Da das unkontrollierte Ein- und Ausströmen von Luft aber unerwünscht ist, weil mit ihr auch Kälte, Wärme und Feuchtigkeit transportiert werden, steuern Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung den Luftaustausch.

### Aufgaben:

1. Woher kommt die frische Luft in eurem Raum?

.....

.....

2. Wie wird die Luftzufuhr geregelt?

.....

.....

3. Wann wird zusätzlich oder ausschließlich über die Fenster gelüftet, wann keinesfalls?

.....

.....

# 5. Anhang

## 5.1 Integration in den Unterricht

Im Folgenden zeigen wir Ihnen, wie Sie das Thema Passivhaus-Schulgebäude in den Unterricht integrieren können. Die Möglichkeiten sind vielfältig und reichen von einem „Crash-Kurs“ (einmalige Doppelstunde) bis zu einem Wahlpflichtfach (wöchentlich 90 Min. über ein Schulhalbjahr). Aufgrund der Erfahrungen, die wir während der Testphase an mehreren Schulen gemacht haben, und der Beiträge von Schulen, die sich am Wettbewerb „Passivhaus-Schulen werden aktiv“ beteiligt haben, halten wir einen Projekttag für die ideale Form, das eigene Schulgebäude forschend zu entdecken. Aber selbst wenn dem Thema kein gesondertes Zeitbudget eingeräumt werden kann, gibt es im regulären (Fach-)Unterrichtsgeschehen immer wieder positive wie negative Anlässe, die das Interesse der SuS an ihrem Gebäude und der Funktionsweise seiner Komponenten wecken.

Auch die Vermittlung des ganz „normalen“ Lehrstoffes entsprechend der Rahmenlehrpläne<sup>17</sup> bietet unzählige Anknüpfungspunkte – und das nicht nur in naturwissenschaftlichen Fächern.

## 5.2 Beispiele

### Alltagssituationen in PH-Schulen bieten Anlass für die Behandlung des Themas im Unterricht

Die situative Beschäftigung mit dem Gebäude erfolgt typischerweise, weil es einen unvorhergesehenen Anlass dafür gibt. Auch wenn diese Situationen oftmals als Störungen wahrgenommen werden, bergen sie durch ihren unmittelbaren Bezug zur Alltagswelt ein nicht zu unterschätzendes Potenzial für Wissenstransfer und Kompetenzerwerb und stellen deshalb einen idealen Einstieg ins Thema dar.

Anlass	Aufgreifen des Themas / Inhaltliche Anknüpfung / Aktivitäten
Viele SuS finden die Luft „schlecht“.	Vorstellung der Richtwerte und Indikatoren für Raumluftqualität. Nachweis mit CO <sub>2</sub> -Messgerät. Erforschen, ob Lüftung (richtig) läuft mit „Federstab“. Erklären, wie Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung funktionieren und warum sie in Passivhäusern so wichtig sind. Stoßlüftung über Fenster (nicht bei großer Kälte oder Hitze draußen). Erläutern, welche bedeutende Rolle die luftdichte, stark gedämmte Gebäudehülle für Passivhäuser spielt.

<sup>17</sup> Da diese Broschüre für alle Bundesländer, Schultypen und Jahrgangsstufen ab Klasse 4 konzipiert wurde, verzichten wir auf eine Darstellung der Bezüge zu den Rahmenlehrplänen, weil dies den Umfang sprengen würde.



Anlass	Aufgreifen des Themas / Inhaltliche Anknüpfung / Aktivitäten
Der Wärmeschutz bleibt geschlossen, obwohl es draußen kühl und wolkig ist.	Herausfinden, wie der Wärmeschutz gesteuert wird und wo ggf. Sensoren/Wetterstation installiert sind. Recherchieren, welche Parameter die Steuerung beeinflussen. Erläutern, warum Wärmeschutz in Passivhäusern unverzichtbar ist. Bezug nehmen auf Bedeutung von Wärmeeinträgen durch Sonneneinstrahlung und Nutzung.
Vielen SuS ist es „zu warm“.	Vorstellung der Richtwerte und Indikatoren der Raumluftqualität. Temperaturmessung. Erklärung der vorhandenen baulichen PH-Komponenten und der Funktionsweise eines Passivhauses. Anleitung für „richtiges Lüften“ im Passivhaus.

### Herstellung von Bezügen zur Alltagspraxis bereichern den regulären Fachunterricht

Auch im regulären Unterrichtsgeschehen bieten sich immer wieder Gelegenheiten, ganz zwanglos eine Auseinandersetzung mit dem Schulgebäude einfließen zu lassen. Die Aneignung von Lehrstoff wird erleichtert, wenn praktische Bezüge zur Alltagswelt hergestellt werden können und auch „trockene“ Inhalte im wahrsten Sinne des Wortes anschaulich und greifbar gemacht werden. In der folgenden Tabelle sehen Sie einige wenige Beispiele aus der Vielzahl der Möglichkeiten zur Anregung.

Unterrichtsfach	Unterrichtsinhalte mit Bezug zu Passivhaus-Schulgebäuden	Aktivitäten
Mathematik	Geometrie: Ideale Baukörperform mit günstigem Verhältnis von Inhalt zu Oberfläche finden (Kugel/Würfel)  Algebra: Auslegung der Heizung und Lüftung entsprechend der Nutzung/Belegung.	Berechnung des Verhältnisses von Oberflächen und Volumen des eigenen Schulgebäudes; Modell(e) basteln; Wärmeeinträge der SuS, Luftwechselraten ausrechnen; Energiebedarfe und -einsparungen berechnen.
WAT/Wirtschaftslehre/SoWi	Klimawandel, Energiewende, energetische Sanierung,	sozio-ökonomische Aspekte hoch energieeffizienten Bauens erörtern; neue Berufsbilder kennenlernen
NaWi	Wetter und Klima; Sonne, Strahlung, Wärme, Licht. Emissionen und Immissionen; Atmung und Luft	Messungen vornehmen; Bedeutung der Sonne für PH erforschen

Unterrichtsfach	Unterrichtsinhalte mit Bezug zu Passivhaus-Schulgebäuden	Aktivitäten
Physik	Energie; Thermodynamik; Geophysik; Eigenschaften von (Dämm-)Stoffen bzgl. der Wärmeleitfähigkeit.	Experimente; Funktion und Bedeutung der Gebäudetechnik (speziell Lüftungsanlage/ Wärmetauscher)
Geografie	Klimawandel und -Folgen; Dekarbonisierung; Bau- und Siedlungsformen;	Aspekte energieeffizienten Bauens als wichtigen Beitrag zum Klimaschutz wahrnehmen
Bildende Kunst/ Werken	Architekturgeschichte; technisches Zeichnen; Skizzieren von Entwürfen; Farb- und Lichtgestaltung	Schulgebäude entwerfen, Modell bauen; eigenes Schulgebäude mit Farbe und Licht gestalten; Blendschutz anfertigen
Biologie	Atmung, Wärmehaushalt von Lebewesen und Schutzmechanismen, Photosynthese; CO <sub>2</sub>	Raumlufthygiene; Messungen; Bionik; Laubbäume zum Wärmeschutz pflanzen
Chemie	Bestandteile der Atmosphäre, Zusammensetzung der Atemluft, Treibhausgase	Eigenschaften von verschiedenen Dämmstoffen; Aufbau von PH-Fenstern
Ethik/Religion/ Philosophie	Klimawandel und Folgen, soziale Gerechtigkeit, Nachhaltigkeit	Beschäftigung mit sozialer und emotionaler Wirkung von Lernorten. Nutzerbefragung

### Unterrichtseinheiten

Neben der Option, energetisch hocheffizientes Bauen unregelmäßig an passenden Stellen im Unterricht zu behandeln, ist natürlich auch eine wesentlich intensivere Beschäftigung mit dem Thema in Form von eigens dafür konzipierten Unterrichtseinheiten unterschiedlichen zeitlichen Umfangs möglich. Im Folgenden werden einige Abläufe exemplarisch vorgestellt.

## „Crashkurs“ / 1 Doppelstunde

Phase / Dauer	Thema / Inhalt	Sozialform / Methode	Materialien
Einstieg 10 Min.	Klimawandel und Folgen. Eisbären: Überlebenskünstler in der Arktis und Verlierer des Klimawandels; daraus abgeleitet: Notwendigkeit, Energieverbrauch zu drosseln und Wärmewende durch energieeffizientes Bauen zu befördern	Bildbetrachtung, Unterrichtsgespräch	Bild von unterernährtem bzw. herumirrendem irrendem Eisbär
Erarbeitung I 10 Min.	Lebenswichtige Aufrechterhaltung der Körpertemperatur bei Säugetieren – wie geht das? Wie haltet ihr euch warm? Was passiert, wenn ihr etwas esst, euch etwas Dickes anzieht, zittert und zappelt, die Hände aneinander reibt, kuschelt?	Brainstorming ggf. unterstützt/inspiriert durch Abbildungen von Tieren und deren „Wohnungen“  Unterrichtsgespräch	ggf. Fotos (Internet) von tierischen und menschlichen „Behausungen“ aus verschiedenen Weltregionen und Epochen zur Veranschaulichung  (siehe Medientipps/ Linkliste)
Erarbeitung II 20 Min.	Wärmetransport: Leitung, Strahlung, Strömung – Beispiele finden. Wärmekapazität vs. Wärmeleitung. Luft als Isolator. Wärmeabgabe von Personen und Geräten. Wärmeeinträge durch Sonneneinstrahlung	Vortrag der Lehrkraft zur Einführung; Temperaturmessung an verschiedenen Stellen im Unterrichtsraum. Evaluation und Konklusion	Sekunden- und/ oder Infrarotthermometer; Wärmebildkamera, falls vorhanden.  Siehe Experimente im 3. Kapitel (z. B. S. 33)
Siehe Skizze und Arbeitsblatt im 4. Kapitel, S. 56 ff			
Erarbeitung III 15 Min.	Prima Klima im ganzen Jahr: Unser PH-Schulgebäude – Idee, bauliche Komponenten und ihre Funktionen. Grundprinzipien: Standortwahl, Baukörperform, Raumplanung/ Ausrichtung, Außenhülle, Gebäudetechnik.	Vortrag der Lehrkraft anhand der grafischen Darstellung eines idealtypischen Schulgebäudes und Betrachtung des eigenen Gebäudes.	Skizze und Arbeitsblatt „Die thermische Hülle und Technik eines Passivhauses“  Siehe im 3. Kapitel (z. B. S. 33) und 4. Kapitel (ab S. 56)

Phase / Dauer	Thema / Inhalt	Sozialform / Methode	Materialien
Erarbeitung IV 10 Min.	Wärmetransporte und PH-Komponenten im eigenen Raum entdecken. Luftströme und Wärmetransporte nachvollziehen	Einzelarbeit: SuS fertigen schematische Skizze des Raums an, zeichnen PH-Komponenten, Luft- und Wärmebewegung ein	Arbeitsblatt „PH-Komponenten im Raum“ od. „Schnitzeljagd“
Erarbeitung V 10 Min	Festigung des Lernstoffs der UE durch „einfache Soziometrie“.	Gruppen- Bewegungsspiel „richtig-falsch“: Positionieren entlang eines Seils. Jeder SuS bekommt ein Kärtchen mit einer richtigen oder falschen Aussage zum Stundenthema, liest sie vor, und der Rest muss sofort Stellung links oder rechts des Seiles beziehen. SuS begründen ihre Entscheidung. Lehrkraft berichtigt und erklärt.	ausgedruckte und laminierte Kärtchen AB „Richtig oder Falsch“ mit falschen und richtigen Aussagen zum Lernstoff dieser UE; langes Seil, Schnur od. Klebestreifen
Abschluss 5 Min.	Zusammenfassung der Ergebnisse, ggf. Ausblick; Feedback und Verabschiedung		



links: Passivhausmodell; Mitte: mit Wärmequelle; rechts: mit Wärmeschutz

## Unterrichtsprojekt oder Projekttag / Dauer: 3 Doppelstunden

	Thema / Inhalt	Sozialform / Methode	Materialien
UE 1 Einstieg	Klimawandel und -folgen	Bilddbetrachtung od. Videovorführung	Videos, Bilderserien (siehe Medientipps)
UE 1 Erarbeitung	Energie, Wärme	Experimente mit Wärmetransporten	Behälter, Heißwasser, verschiedene Dämmstoffe, Thermometer, Messprotokolle
UE 1 Abschluss	Festigung des erworbenen Wissens	Spiel/Quiz	Seil, laminierte Kärtchen mit Behauptungen zum Klimawandel oder Quizfragen
UE 2 Einstieg	Grundprinzipien des Passivhauses kennenlernen	Vortrag der Lehrkraft	Grafik Passivhaus, Bilder/Videos
UE 2 Erarbeitung	PH-Komponenten im Raum und im Gebäude finden und erforschen	Teamarbeit: Messungen, Befragungen, Beobachtungen/ Dokumentation	ABs Schnitzeljagd, PH-Komponenten im Klassenraum, Gebäudecheck, Messprotokolle, Messgeräte (soweit vorhanden)
UE 2 Abschluss	Auswertung der Ergebnisse des Gebäudechecks	Präsentation im Plenum	
UE 3 Einstieg	Gebäudetechnik und ihre Steuerung; Lüftungsanlage, Heizung, Energieausweis	Gespräch mit HausmeisterIn, wenn möglich mit Besichtigung und Erklärung der techn. Anlagen; Bearbeitung des AB	auskunftsfreudiger HausmeisterIn Arbeitsblatt „Gute Luft in Passivhäusern“; Energieausweis der Schule

	Thema / Inhalt	Sozialform / Methode	Materialien
UE 3 Erarbeitung	Erstellung von Hinweisen für ein verbessertes Nutzerverhalten (z. B. bzgl. Fensterlüftung und Wärmeschutz). Verfassen einer „Bedienungsanleitung“ für das eigene Passivhaus-Schulgebäude. Weitere öffentlichkeitswirksame Maßnahmen: Sketch, Rap, Plakat, Veranstaltung, Video, Beitrag fürs Schulradio, die Webseite oder Soziale Medien	Einzel- oder Gruppenarbeit	Zeichen- und Bastelmaterial, Computer, Videokamera, Musikinstrumente
UE 3 Abschluss	Gesamtauswertung, Feedback, Ausblick od. Test/Quiz	Plenum	Quiz bzw. „richtig/falsch“ – Kartensatz zum Passivhaus

### Ergänzung und Vertiefung

Unterrichtsfach / Dauer	Thema / Inhalt	Materialien
Bildende Kunst/Werken	Schulgebäude planen, entwerfen und Modelle bauen	Zeichen- und Bastelmaterial; Schachteln; Nachwachsende Rohstoffe (NaWaRos) wie Holz, Hanf, Schilf
Geschichte	Architekturgeschichte; Schule früher und heute; Gebäude als Ausdruck gesellschaftlicher Verhältnisse	Architekturbeispiele aus verschiedenen Epochen, Kulturkreisen und Weltregionen
Gesellschaftswissenschaft	Schule als Sozial- und Begegnungsraum. Gesellschaftliche Bedeutung von Raumplanung und -gestaltung. Partizipation in Planungsprozessen	Arbeit mit Texten und Bildern; Interviews mit SchülerInnen, LehrerInnen, RaumplanerInnen, Verwaltung
übergreifend	Maßnahmen zur Erhöhung des Wohlbefindens und Lernkomforts jenseits technischer Optimierungen entwickeln und umsetzen	Farben, Pinsel, Stoffe, Nähmaschinen, Mobiliar, Pflanzen, Dekoration

## 5.3 Methoden

---

### Einfache Soziometrie „richtig oder falsch?“

**Dauer:** ca. 10–20 Minuten

Das Spiel kann in Klassenstärke durchgeführt werden. Der Schwierigkeitsgrad variiert in Abhängigkeit von den auf den Kärtchen formulierten Aussagen.

**Materialien:** Entsprechend der Schülerzahl am besten laminierte Kärtchen mit richtigen und falschen Aussagen zu einem Thema (z. B. Kärtchen vom Arbeitsblatt „Richtig oder Falsch“). Falls zur Hand: Seil(e), Schnur, Klebeband oder Kreide zum Markieren einer Linie.

**Vorbereitung:** Das Spiel kann im Gebäude aber auch draußen durchgeführt werden. Das ausreichend lange Seil wird so auf den Boden gelegt, dass alle SuS links und rechts vom Seil stehend Platz finden. Aussage-Kärtchen drucken, laminieren und ausschneiden.

**Durchführung:** SuS stehen hintereinander links und rechts von der Markierung in jeweils einer Reihe und schauen alle in Richtung des Endes, wo die L steht. Die L definiert eine Seite der Markierung als „richtig“ und die andere als „falsch“. Der Kartenstapel wird verdeckt durchgereicht und jedeR SuS nimmt sich ein Exemplar.

**Die Lehrkraft erklärt die Spielregel:** Nacheinander werden die Behauptungen auf den Kärtchen vorgelesen. Nach der Nennung einer Behauptung müssen sich alle sofort entscheiden, ob die Aussage richtig oder falsch ist, und sich entsprechend auf einer Seite der Markierung positionieren. Die SuS sollen auf Nachfrage ihre Wahl begründen, die Lehrkraft berichtigt und liefert ergänzende Informationen. Das Spiel sollte möglichst flott vonstattengehen.

**Ergänzung:** Ältere SuS können auch ihre eigenen Kartensets mit Aussagen entwerfen und herstellen. Dazu beschriftet jedeR jeweils ein Kärtchen mit einer richtigen und eines mit einer falschen Aussage zu einem vorgegebenen Thema. Die Karten werden eingesammelt, gemischt und ausgeteilt.

Bei jüngeren oder sprachlich nicht so fitten SuS kann das Spiel ins Stocken geraten, weshalb es unter diesen Umständen besser ist, wenn die Karten nicht ausgeteilt werden, sondern die Lehrkraft die Aussagen langsam und deutlich vorliest und bei Bedarf auch noch einmal wiederholt.

### Stille Diskussion

**Dauer:** ca. 25 Minuten

**Materialien:** A3-Papierbögen (oder auch größer), Filzstifte, Kreppband, Magneten oder Pins zum Aufhängen

**Vorbereitung:** Die Anzahl der Papierbögen ist variabel und hängt von der Teilnehmerzahl, vom verfügbaren Platz zum Aufhängen, der Komplexität der Fragestellung und dem Zeitbudget ab. Die Papierbögen an verschiedenen Stellen auf Tischen oder auf dem Boden ausbreiten.

**Durchführung:** Auf die Papierbögen wird ganz oben jeweils eine Frage oder Aussage (z. B. „Wie schafft man es, dass es im Gebäude nicht zu warm wird?“, „Warum muss die Gebäudehülle luftdicht sein?“, „Ein Passivhaus ist das beste Gebäude!“) geschrieben. JedeR SuS erhält einen Stift und kann entscheiden, wo er oder sie eine Bemerkung notieren will. Die SuS bewegen sich schweigend im Raum und „diskutieren“ im Stillen, indem sie die Statements der anderen ergänzen und kommentieren. Die Lehrkraft achtet darauf, dass es nicht zu unruhig wird, und beendet den Prozess, wenn seitens der SuS kein weiterer Bedarf besteht sich zu äußern.

Abschließend werden die Kernaussagen extrahiert und im Plenum besprochen. Die Papierbögen können aber auch aufgehängt werden, um in den Folgestunden daran anknüpfen zu können oder die vorhandenen Standpunkte oder Antworten um weitere Aspekte zu ergänzen.

### Themenspeicher

Für Projektunterricht, der sich mit Unterbrechungen über mehrere Wochen erstreckt, kann ein Flipchartpapier als „Themenspeicher“ das Projekt begleiten, in dem Fragen, Themen und Standpunkte festgehalten werden, wenn sie nicht unmittelbar behandelt werden können. Sobald ein Punkt im Unterricht ausreichend thematisiert worden ist, wird er im Themenspeicher als erledigt abgehakt.

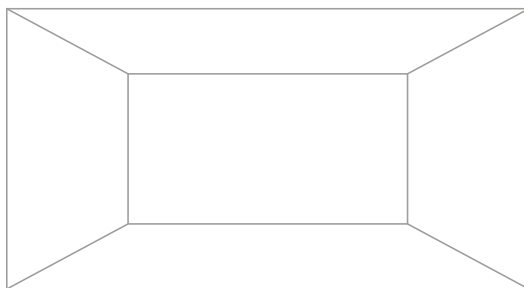
Alternativ können zu Beginn des Projektes Moderationskarten mit Fragen/Themen beschriftet und aufgehängt werden, die nacheinander „abgearbeitet“ werden. Wichtig ist, dass jede Karte nur mit einer Frage/einem Thema/einer Aussage beschriftet ist.

### Platzdeckchen/Placemat

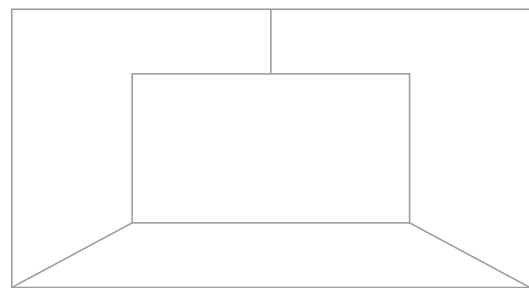
**Dauer:** 20–30 Minuten

**Materialien:** Stifte; entsprechend der Schülerzahl jeweils ein Papierbogen Größe DIN A3 für eine Gruppe von 3 oder 4 SuS. Uhr (bestenfalls Stopp-, Eier- oder Sanduhr; Wecker geht auch)  
Vorbereitung: SuS sitzen in 3-er oder 4-er-Gruppen um jeweils einen Tisch herum (auf jeder Seite eine Person).

Auf das Blatt Papier wird mittig ein ausreichend großes Viereck gezeichnet, von dessen Ecken Striche bis zu den äußeren Ecken des Blattes gezogen werden, sodass 3 oder 4 trapezförmige Felder das mittige Viereck umgeben.



*Aufteilung des Blattes bei 4 Personen*



*Aufteilung des Blattes bei 3 Personen*



**Durchführung:** Die Lehrkraft formuliert eine zentrale Frage oder gibt ein Thema vor, zu dem sich die SuS in einer vorher festgelegten Zeit auf einen Gruppenstandpunkt verständigen sollen, indem sie zunächst ohne zu sprechen (!) ihre persönlichen Gedanken in dem genau vor ihnen liegenden Feld stichpunktartig festhalten. Nach 3 Minuten fordert die Lehrkraft dazu auf, das Papier im Uhrzeigersinn um 90 ° zu drehen und den schon im Feld vorhandenen Inhalt zu kommentieren.

Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis nacheinander jede Person die Aufzeichnungen aller anderen Gruppenmitglieder lesen und ergänzen konnte. Wichtig ist, dass dabei nicht gesprochen wird!

Es folgt eine fünfminütige Gesprächszeit, in der jede Gruppe die Quintessenz der Einzelstandpunkte zu einem Gruppenergebnis zusammenfasst, das in dem mittigen Feld festgehalten wird. Es werden dort nur die Aussagen notiert, mit denen alle einverstanden sind.

Abschließend werden die Resultate der Gruppen im Plenum vorgestellt und bei Bedarf diskutiert. Themenvorschläge: „Klimawandel“, „Treibhauseffekt“, „Wärmewende“, „thermische Gebäudehülle“ Leitfragen sind dabei: „Warum braucht ein Passivhaus so gut wie keine Heizung?“ „Wie funktioniert eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung?“ „Wie schaffen es Tiere und Menschen, eiskalte Temperaturen zu überstehen?“

## **Ablauf des Gebäudechecks**

**Dauer:** ca. 1 Doppelstunde

**Ziel:** Die SuS erstellen eine Bestandsaufnahme ihres Schulgebäudes hinsichtlich Innenraumluftgüte, Lernkomfort und Nutzerzufriedenheit durch Messreihen und Befragungen.

Die SuS sollen ihre theoretischen Kenntnisse über die baulich-technischen Besonderheiten und deren Funktionsweise am eigenen Gebäude praktisch erfahren und dadurch festigen. Sie erweitern ihre Kompetenzen im Umgang mit verschiedenen Messgeräten und bezüglich der Erfassung von Ergebnissen in Tabellenform, sowie im Bereich Interviewführung/Fragetechniken und Dokumentation. Bestenfalls entdecken die SuS sogar technische Probleme oder unsachgemäßes Nutzerverhalten und können in der folgenden Doppelstunde (Modul 4) praktikable Problemlösungen entwickeln und Maßnahmen anschieben.

### **Materialien:**

#### **I. Für die Messungen, jeweils 1 pro Team:**

- Sekundenthermometer (unverzichtbar)
- falls vorhanden: Infrarotthermometer
- Hygrometer
- CO<sub>2</sub>-Messgerät
- Luxmeter
- Kompass

## II. Für die Dokumentation:

- 1 Digitalkamera, Tablet oder Smartphone pro Team
- Klemmbretter
- Stifte
- Kopiervorlagen zum Gebäudecheck
- Raumplan des Gebäudes

**Vorbereitung:** Im Vorfeld der Doppelstunde empfiehlt es sich, den/die HausmeisterIn anzusprechen und um eine temporäre Begleitung der Klasse zu bitten, um entsprechend der örtlichen Gegebenheiten den Raum mit der Lüftungsanlage und/oder den Heizungsraum gemeinsam besichtigen zu können. Alle Lehrkräfte sollten rechtzeitig von der geplanten Aktion informiert und auf den Besuch (Dauer ca. 5 Minuten) eines Teams während des Unterrichts vorbereitet sein. Lehrkräfte, die wegen einer Klassenarbeit ungestört bleiben wollen, werden gebeten, einen entsprechenden Hinweiszettel an der Klassenraumtür zu befestigen.

**Durchführung:** Die Zahl der Teams ist abhängig von der Anzahl der vorhandenen Messgeräte, die zur Durchführung der Messungen unverzichtbar sind. Die Teams sollten mindestens aus 3 und maximal aus 6 SuS bestehen, sodass 2 SuS messen und die Werte notieren können, während mindestens eine SchülerIn währenddessen die Befragung durchführt. Welche Werte erfasst werden können und was fotografisch dokumentiert wird, ist abhängig von der Ausstattung mit den entsprechenden Geräten.

Die Lehrkraft teilt die Teams ein, die sich gleich gruppenweise zusammensetzen und die Kopien, Klemmbretter und den Grundriss des Bereiches, den sie „checken“ sollen, erhalten.

Die richtige Bedienung der Messgeräte wird erläutert und ausprobiert. Wichtig bei den Messungen ist, dass die Temperatur möglichst in der Mitte des Raums gemessen wird. Die Teams einigen sich möglichst intern auf die anfängliche Verteilung der Rollen (1–2 SuS nehmen Messungen vor, 1–2 halten die Ergebnisse fest, 1 führt die Befragung durch, 1 macht sonstige Beobachtungen und Fotos und stellt mit dem Kompass die Ausrichtung der Fenster fest).

Nach einer Generalprobe (ein Team „spielt“ den ganzen Ablauf vom Anklopfen bis zum Verlassen des Raums durch) werden die Gruppen losgeschickt. Wichtig ist es, einen Zeitpunkt für die Rückkehr in das Klassenzimmer zu vereinbaren.

Jedes Team erforscht die für sie festgelegten Räume/Bereiche. Nicht überall werden andere SuS anzutreffen sein, die befragt werden können. In diesem Fall (z. B. in einer Toilette) beantworten die Teammitglieder die Nutzerfragen.

Bei Werten, die nicht ermittelt werden können, oder Fragen, die unbeantwortet bleiben, bleiben die entsprechenden Felder auf den Kopien leer. Ziel ist es natürlich, möglichst viele Daten zu erfassen.

Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse erfolgt anschließend gemeinsam im Klassenraum.

## 5.4 Verhaltensregeln und Kommunikation im Passiv-Schulgebäude

---

Damit die Grundregeln für die Nutzung des Passivhauses im stressigen Schulalltag auch gelebt werden, ist es nötig, sie regelmäßig ins Gedächtnis zu rufen bzw. neuen Lehrkräften und SuS mitzuteilen – am besten zum jeweils passenden Zeitpunkt und durch dafür explizit zuständige Personen.

Die „Goldenen Regeln“ für optimales Nutzerverhalten im Passivhaus:

- Fenster und Außentüren müssen möglichst immer geschlossen bleiben, wenn die Lüftungsanlage in Betrieb ist
- Wenn doch einmal gelüftet werden muss: Stoßlüftung statt Kippstellung
- Unerwünschte Wärmeeinträge durch die Sonne rechtzeitig stoppen – Wärmeschutz (außen liegende Jalousien) schließen, sobald Sonnenstrahlen auf die Fenster treffen
- Heruntergelassene Jalousien nicht ganz schließen bzw. Neigung passend einstellen – so, dass keine direkten Sonnenstrahlen in den Raum fallen, aber Lichteintrag erfolgt
- In der Heizperiode die Strahlungswärme und das Licht der Sonne optimal nutzen: Wärmeschutz (außenliegend) deaktivieren und Blendschutz (innenliegend) nur bei Bedarf schließen.
- Überflüssige Wärmeeinträge durch elektrische Geräte und Beleuchtung vermeiden – Licht ausschalten, kein Standby
- Trockener Luft mit Zimmerpflanzen begegnen
- Sichtbare Teile der Lüftungsanlage nicht verhängen oder zustellen

Folgende Kommunikationskanäle können dafür genutzt werden:

- Auf der ersten Dienstbesprechung/Gesamtkonferenz im Schuljahr - erklärt der/die SchulleiterIn die Grundregeln im Umgang mit dem Gebäude und thematisiert eventuell auftretende Probleme und mögliche Lösungen. Hierbei sollte, sofern bekannt, auch genannt werden, wie viel Energie, wie viel Geld und wie viel CO<sub>2</sub> im Vergleich zu einer herkömmlichen Schule im Verlauf des letzten Jahres eingespart werden konnte.
- Auf dem ersten Elternabend im Schuljahr informiert die Lehrkraft die Eltern über die Besonderheiten der Passivhausschule und das angemessene Verhalten.
- Auf der ersten Sitzung der Elternvertretung (Elternrat, Gesamtelternvertretung) erläutert die Schulleitung den Passivhausstandard.
- Zu Beginn jeder Heizperiode und zum Anfang der warmen Jahreszeit (z. B. nach den Herbst- bzw. den Osterferien) wird schriftlich kurz die Funktionsweise des Passivhauses und die entsprechenden Grundregeln im Schulalltag für den Winter- bzw. Sommerfall erklärt (E-Mail, Aushang, Informationsblätter in die Postfächer der Lehrkräfte und ErzieherInnen).
- Zu Beginn der Heizsaison und an besonders heißen Tagen gibt der/die SchulhausmeisterIn mithilfe von Schildern, einer Hinweistafel o. ä. gut sichtbarem Aushang in der Eingangshalle bekannt, dass Fenster und Außentüren unbedingt geschlossen zu halten sind, um die Wärme bzw. Kühle im Haus zu halten.
- Aktives Einbinden der SuS: Ihr Schulgebäude bietet die besondere Chance, die Unterschiede zwischen dem Passivschulhaus und „normalen“ Gebäuden zu erfahren. Zu diesem Zweck wurden diese Unterrichtsmaterialien entwickelt, die entsprechend der Gegebenheiten an Ihrer Schule angepasst und nach Bedarf und Interesse angepasst werden können.

## 5.5 Medientipps

---

### Allgemein

Homepage des Passivhaus-Instituts: [www.passiv.de](http://www.passiv.de)

Wissensdatenbank Passivhaus: <https://passipedia.de>

Unterrichtsmaterialien zu Umweltthemen: [www.umwelt-im-unterricht.de](http://www.umwelt-im-unterricht.de)

Materialien und Methoden / Klimawandel: <https://klasse-klima.de/multiplikatorinnen/toolbox>

Bildungsmaterialien zu vielen Themen: <http://webshop.ufu.de>

Online-Praxismaterialien: [www.umweltbildung.at](http://www.umweltbildung.at)

Ökologischer Fußabdruck: [www.fussabdruck.de](http://www.fussabdruck.de)

CO<sub>2</sub>-Schulrechner: [www.klimaschutzschulenatlas.de/co2-rechner](http://www.klimaschutzschulenatlas.de/co2-rechner)

### Thema Energie – Wärme

Energieumwandlung Simulation

[www.planet-schule.de/sf/multimedia-simulationen-detail.php?projekt=energieformen\\_umwandeln](http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-simulationen-detail.php?projekt=energieformen_umwandeln)

Grundlagen Physik mit vielen Aufgaben [www.leifiphysik.de/warmelehre/warmetransport](http://www.leifiphysik.de/warmelehre/warmetransport)

Leistung – Energie mit Aufgaben [www.umweltschulen.de/energie/powermensch.html](http://www.umweltschulen.de/energie/powermensch.html)

Teilchenmodell <https://de.wikipedia.org/wiki/Aggregatzustand>

Wärmetransport <http://learningapps.org/2615259>

umfangreiches E-Book zum Thema Energie

[www.energie-macht-schule.de/sites/default/files/image/LQ\\_1\\_eBook/flash.html#/7/](http://www.energie-macht-schule.de/sites/default/files/image/LQ_1_eBook/flash.html#/7/)

### weiteres

[www.schulbaustelleklima.de/materialien/simulationsspiel.html](http://www.schulbaustelleklima.de/materialien/simulationsspiel.html)

[www.raschweb.de/Ph8b-Leistung-Mensch-Maschine.pdf](http://www.raschweb.de/Ph8b-Leistung-Mensch-Maschine.pdf)

[www.thestorff.de/energievergleich.php](http://www.thestorff.de/energievergleich.php)

### Thema Klimawandel

WissensWerte Klimawandel (7 Min.) [www.youtube.com/watch?v=dMDQzXvEBTE](http://www.youtube.com/watch?v=dMDQzXvEBTE)

E-Mission CO<sub>2</sub> (7:58 Min.) <https://vimeo.com/71004199>

Klimawandel für GS (3 Min.) [www.youtube.com/watch?v=UmrL7X8GUFQ](http://www.youtube.com/watch?v=UmrL7X8GUFQ)

Animation Treibhauseffekt [www.tagesschau.de/multimedia/animation/klima-159.html](http://www.tagesschau.de/multimedia/animation/klima-159.html)

Fragen und Expertenantworten [www.co2online.de/service/klima-orakel-uebersicht](http://www.co2online.de/service/klima-orakel-uebersicht)

### Thema Energieeffizient Bauen

Kritischer Artikel zu Polystyrol [www.greenpeace-magazin.de/hinter-der-fassade](http://www.greenpeace-magazin.de/hinter-der-fassade)

Luftdichtung und Dampfsperre [http://naturbauhof.de/lad\\_daemm\\_dicht.php](http://naturbauhof.de/lad_daemm_dicht.php)

Energieausweis [www.verbraucherzentrale.nrw/grafik-energieausweis](http://www.verbraucherzentrale.nrw/grafik-energieausweis)

Klasse(n)räume <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/si-8094.pdf>

verschiedene kurze Zeichentrickfilme <https://vimeopro.com/smartwin/smartwin-familie-de>

### Thema Lüftung

Wärmerückgewinnung

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waermerueckgewinnung.svg>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wrg.jpg>

Nachtkühlung [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nachtk%C3%BChlung\\_MultifunktionaleWRG.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nachtk%C3%BChlung_MultifunktionaleWRG.JPG)

## **Thema Fenster**

Passivhaus-Fenster <https://vimeopro.com/smartwin/smartwin-familie-de/video/178593733>

## **Thema Architektur**

### **Bilder**

<https://passipedia.de/beispiele/nichtwohngebaeude/passivhaus-schulen>

[http://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#k\\_School](http://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#k_School)

Internationale Architekturdatenbank <https://deu.archinform.net/index.htm>

Fotos von Klassikern der Moderne [www.iconichouses.org](http://www.iconichouses.org)

### **weiteres**

[www.hessischeenergiesparaktion.de/downloads/Energieberater/Steaves\\_Waermedaemmung\\_Bronzezeit.pdf](http://www.hessischeenergiesparaktion.de/downloads/Energieberater/Steaves_Waermedaemmung_Bronzezeit.pdf)

## **Selber planen und entwerfen**

simples CAD-Programm mit legoartigen Bauteilen <http://blockcad.net>

3D-programm GNU [www.blender.org](http://www.blender.org)

methodisches Entwerfen /Arbeitsmaterialien [www.made-me.de/voelker.htm](http://www.made-me.de/voelker.htm)

Unterrichtsmaterialien zum Download [www.was-schafft-raum.at/projekte.htm](http://www.was-schafft-raum.at/projekte.htm)

### **weiteres**

[www.architektur-macht-schule.de](http://www.architektur-macht-schule.de)

[www.montag-stiftungen.de/jugend-und-gesellschaft/projekte-jugend-gesellschaft/paedagogische-architektur.html](http://www.montag-stiftungen.de/jugend-und-gesellschaft/projekte-jugend-gesellschaft/paedagogische-architektur.html)

## 5.6 Abbildungsverzeichnis

---

**Seite 06:** Neubau Mensa Grundschule Am Stöckener Bach, WsS e.V.; **Seite 07:** Hungriger Eisbär, Arctic Dreams /Kerstin Langenberg; **Seite 09:** Skizze Atmosphäre mit und ohne THG, UfU e.V.; **Seite 12:** CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschland 2014, eigene Skizze auf Basis der Daten vom UBA (2014); Energieverbrauch in Privathaushalten 2012, eigene Skizze nach Daten vom UBA (2012); **Seite 13:** Energieausweis / Muster, public domain; Energielabel eines Geschirrspülers, public domain; **Seite 14:** Thermografie, Passivhaus-Institut / public domain; **Seite 16:** Wirkungskette Klimawandel, UfU e.V.; Krylovochka/ Shutterstock.com, majson/Shutterstock.com, Kapreski/Shutterstock.com, SoleilC/Shutterstock.com, Yusak\_P/Shutterstock.com; **Seite 23:** Iglu wikimedia commons / public domain; Kugelmugel Wien, wikimedia commons /public domain; Kugelförmiges Gebäude in Ökosiedlung Dysskilde, wikimedia commons /public domain; Kugelhaus Dresden, wikimedia commons /public domain; **Seite 25:** Die thermische Außenhülle, Jules Weigel, Karo3; **Seite 29:** Wärmedämmung mit Holz, Schilf, Hanf und Lehm, UfU e.V.; Wärmedämmung mit Polystyrol und Bauschaum, UfU e.V.; **Seite 32:** Passivhausfenster SMARTWIN, pro Passivhaus GmbH; "Earths-hips" nutzen lokale Standortbedingungen / Public domain wikimedia; **Seite 34:** Jalousien, WsS e.V.; Markisette, WsS e.V.; Wetterstation, WsS e.V.; Jalousie geschlossen, WsS e.V.; **Seite 40/41:** Dämmstoffe, UfU e.V.; **Seite 42:** Fotos Dämmstoff-Memory, UfU e.V. und Public Domain; **Seite 45:** Sporthalle, WsS e.V.; **Seite 46:** Durchlauferhitzer, WsS e.V.; **Seite 49:** Zusammensetzung der Atemluft, UfU e.V.; **Seite 51:** Zuluftdüse I, WsS e.V.; Zuluftdüse II, WsS e.V.; Weitwurfdüse, WsS e.V.; **Seite 52:** Lüftungsschlitze, WsS e.V.; Wärmetauscher, UfU e.V., Jules Weigel, Karo3; Rotationswärmetauscher, WsS e.V.; **Seite 53 oben:** alle Fotos von WsS e.V.; **Seite 53 unten:** Verschmutzter Filter I, WsS e.V.; Verschmutzter Filter II, WsS e.V.; **Seite 54:** thermische Hülle und Technik eines Passivhauses, Jules Weigel, Karo3; **Seite 56:** Federstab, WsS e.V.; **Seite 57** markierte Lichtschalter, WsS e.V.; **Seite 58:** Präsenzmelder, WsS e.V.; Flur mit Beleuchtung, WsS e.V.; **Seite 59** Whiteboard, WsS e.V.; **Seite 61/62:** Passivhaus-Gebäude, Jules Weigel, Karo3; **Seite 67:** Danilo Demarco/ Iconfinder, Design Science/Iconfinder, Yannick Lung/ Iconfinder, Jules Weigel; **Seite 71/73:** Passivhaus-Gebäude, Jules Weigel, Karo3; **Seite 82:** Passivhausmodell Komplettansicht, Energie-Lab Hannover; Passivhausmodell mit Wärmequelle, Energie-Lab Hannover; Passivhausmodell mit Wärmeschutz, Energie-Lab Hannover



