

Wärmebedarf und Dämmung als Thema im Physikunterricht

DOMINIC HUBER
DOMINICHUBER93@YAHOO.DE

Zusammenfassung

Dieses Paper behandelt den Themenkomplex Wärmebedarf und Dämmung von Gebäuden als Thema im Physikunterricht. Dafür wird zunächst die Bedeutung des Themas anhand einiger Statistiken zum Energieverbrauch und den Einsparpotentialen der Raumheizung diskutiert. Danach werden einige Grundlagen vorgestellt, die bei der Berechnung des Wärmebedarfs zum Einsatz kommen. Aufbauend auf diese Grundlagen wird ein Unterrichtsbeispiel entwickelt, anhand dessen das Thema im Unterricht behandelt werden kann. Ziel ist es im Rahmen einer Lernaufgabe den Wärmebedarf des Klassenraumes an einem Wintertag abzuschätzen. Dafür werden die nötigen Materialien und Anleitungen für eine selbstständige Bearbeitung durch die Schülerinnen und Schüler bereitgestellt. Das Vorgehen zur Berechnung des Wärmebedarfs ähnelt der gängigen Praxis zur Berechnung der Heizlast von Gebäuden und soll sowohl zu einer Sensibilisierung der Lernenden in Bezug auf den Energieverbrauch von Gebäuden führen, als auch eine lebensnahe und praktische Anwendung von Physik darstellen.

1 Relevanz des Themas

Energie und deren Nutzung ist besonders in den letzten Jahren immer stärker thematisiert worden. Besonders der menschliche Einfluss auf das Erdklima durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen zur Energiegewinnung ist Gegenstand einer hitzigen öffentlichen Debatte. Oftmals konzentriert sich die Diskussion im Alltag auf das Thema Mobilität und den Verbrauch von elektrischen Haushaltgeräten. Einen weit weniger stark diskutierten und beachteten Punkt stellt die Raumheizung und die damit verbundene Wärmedämmung von Gebäuden dar. Betrachtet man den jährlichen energetischen Endverbrauch in Österreich (siehe Abb. 1) fällt auf, dass die Raumheizung den zweitgrößten Posten darstellt. 27,3% der gesamten Energie von 112,104 Petajoule (also $1,12 \cdot 10^{17} \text{J}$), die in Österreich im Jahr 2016 von Endnutzern verbraucht wurden, sind dem Bereich Raumheizung zuzuordnen (vgl. Statistik Austria 2017a). Übertroffen wird der Energieverbrauch der Raumheizung nur durch den Posten der Traktion mit 35,2%. Hier wird der Energieverbrauch von Fahrzeugen im weitesten Sinne summiert. Der energetische Endverbrauch bezeichnet dabei den Energieverbrauch der Endnutzer, wie private Haushalte, Industrie und Landwirtschaft usw. Der Verbrauch bei der Energieerzeugung wird hier nicht beachtet. Im privaten Bereich stellt die Raumheizung sogar den größten Posten beim Energieverbrauch dar.

Aus dem hohen Verbrauch von Raumheizung resultieren große Einsparungspotentiale, die man

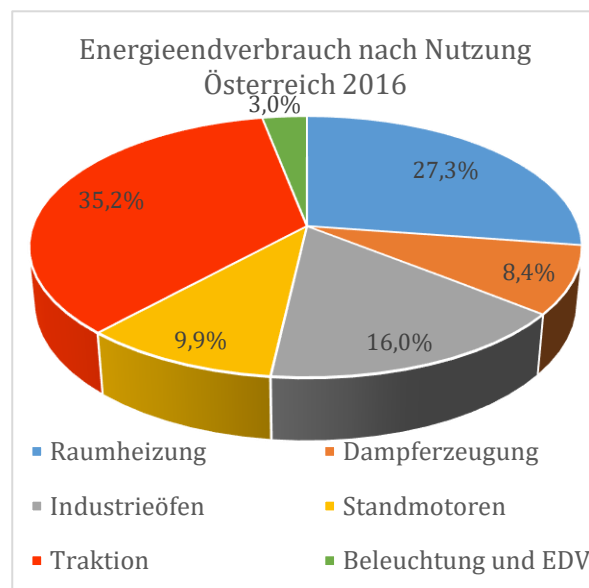


Abb. 1 Energieendverbrauch.

Eigene Darstellung (vgl. Statistik Austria 2017a)

durch eine verbesserte Wärmedämmung erreichen kann. Es besteht ein sehr großer Unterschied im Wärmebedarf zwischen einem schlecht gedämmten Altbau und einem modernen Neubau. In Abbildung 2 sieht man den Primärenergiebedarf von Einfamilienhäusern pro m^2 und Jahr in kWh. Die verschiedenen Gebäudetypen entsprechen den Vorgaben der deutschen Wärmeschutzverordnung 1995 und den Energieeinsparverordnungen von 2007, 2009 und 2012. Im Vergleich dazu wird auch ein Passivhaus gezeigt, das so stark gedämmt ist, dass es keine eigene Raumheizung benötigt.

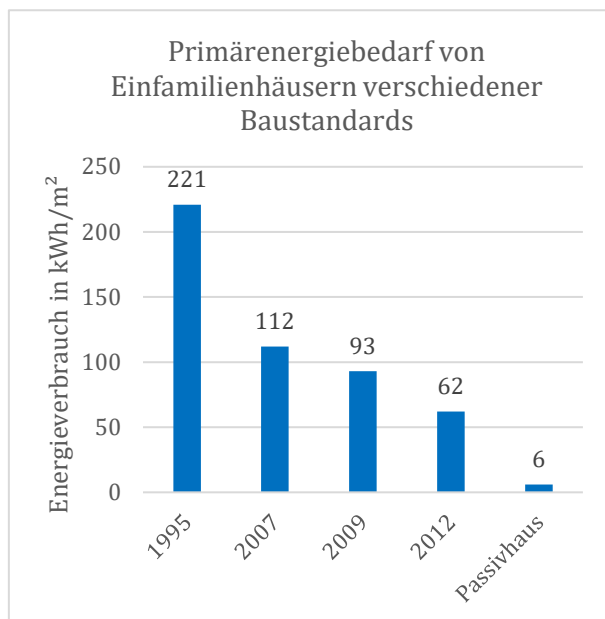


Abb.2 Energiebedarf von Einfamilienhäusern
Eigene Darstellung (vgl. Vogt et al. 2010)

Man sieht, dass in den vergangenen 20 Jahren eine starke Entwicklung hin zu besserer Wärmedämmung stattgefunden hat. Der Vergleich zwischen einem nicht gedämmten Altbau, dessen Energiebedarf bei über 200kWh/m² im Jahr liegen kann, und einem Passivhaus, das lediglich 6kWh/m² Energie im Jahr verbraucht, zeigt wie groß Einsparungen durch Wärmedämmung ausfallen können. Neben einer Einsparung von Energie und Treibhausgasen kommt es hier auch zu einer finanziellen Erleichterung für Haushalte. So berechnen Vogt et al. (2010), dass sich die Heiz- und Belüftungskosten für ein Haus, welches nach der Vorschrift von 1995 erbaut wurde auf 10,44€/m² im Jahr belaufen, während ein Passivhaus nur mit 1,86€/m² berechnet wurde. Kosten können hier also auf unter ein Fünftel sinken. Bei all diesen Betrachtungen könnte man allerdings argumentieren, dass der Energiebedarf von Häusern für die Umwelt relativ unbedeutend ist, wenn dieser großteils durch erneuerbare Energieträger abgedeckt wird. Ein Blick in die Statistik (siehe Abb. 3) zeigt aber sehr schnell, dass in Österreich immer noch ein großer Teil der Raumheizung mit fossilen Energieträgern betrieben wird. Erdgas, Kohle und Heizöl nehmen zusammen immer noch einen Anteil von ca. 40 Prozent ein. Auch der hohe Anteil an Fernwärme mit ca. 28% muss differenziert betrachtet werden, da Fernwärme sowohl aus erneuerbaren, als auch aus fossilen Quellen gewonnen wird. Für den Einsatz von elektrischem Strom gilt dies ebenso.

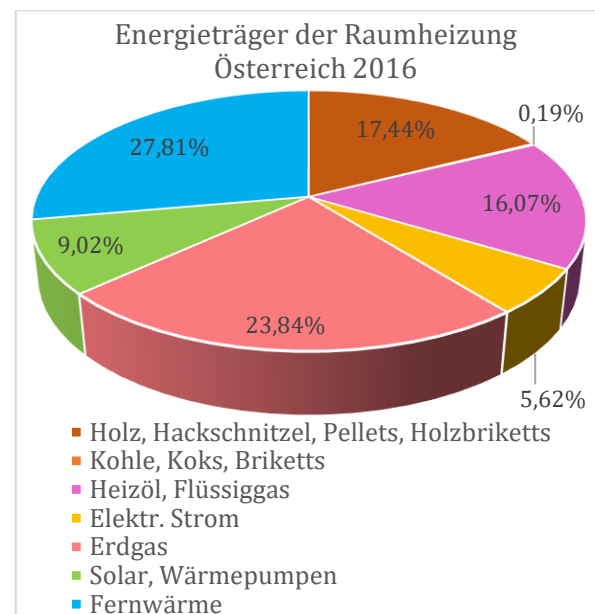


Abb.3 Energieträger der Raumheizung
Eigene Darstellung (vgl. Statistik Austria 2017b)

Aufgrund der hohen Relevanz und der vergleichsweise geringen öffentlichen Aufmerksamkeit schlage ich vor, dieses Thema im Physikunterricht zu behandeln. Es soll zu einer Sensibilisierung von Schülerinnen und Schülern betreffend der Energieproblematik und zu einer Abschätzung der Größenordnung des Energieverbrauches und der Einsparungspotentiale kommen.

2 Berechnung von Wärmeverlusten

Die physikalische Betrachtung von Wärmedämmung, wie sie hier angestellt wird, kommt vor allem in der Gebäudetechnik, zur Dimensionierung von Heizanlagen und zur Berechnung des Energiebedarfs vor. Die Berechnungen und Formeln sind dabei recht einfach und können auch in der Schule (vor allem Oberstufe) gut eingesetzt werden. Der Begriff Wärme im Kontext der Dämmung bezeichnet den Übergang von Energie zwischen zwei thermodynamischen Systemen. Dieser Energieübertrag kann auf verschiedene Arten erfolgen, nämlich über Strahlung, Konvektion und durch Wärmeleitung in Materie (vgl. Gerthsen/Vogel 1993).

Betrachtet man nun Wärmedämmung von Gebäuden, so spielt vor allem die Wärmeleitung und in geringerem Maße die Konvektion eine Rolle. Die Wärmestrahlung wird bei den meisten Berechnungen von herkömmlichen Häusern wegen des geringen Einflusses weggelassen. Es sei aber erwähnt, dass besonders Passivhäuser die Wärmestrahlung der Sonne durch große Fenster und strahlungsdurchlässige Baumaterialien in der Fassade zur Erwärmung der Räume nützen.

In der Praxis findet vor allem das Fouriersche Gesetz bei der Berechnung von Wärmeleitung Anwendung. Geht man von zwei parallelen Wänden und einer homogenen Temperatur auf beiden Seiten aus, lautet dieses:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{d}$$

\dot{Q} = Wärmestrom (W)

λ = Wärmeleitfähigkeit ($\frac{W}{mK}$)

A = Wandfläche (m^2)

$T_1 - T_2$ = Temperaturunterschied (K)

d = Wanddicke (m)

Mit diesem Gesetz ist es sehr einfach möglich, den Wärmestrom \dot{Q} in W von einem beheizten Raum zur Außenwelt zu berechnen (vgl. Grassmann 1970). Wie man sieht, ist der Wärmestrom direkt proportional zur betrachteten Fläche, dem Temperaturunterschied und der Wärmeleitfähigkeit des Materials, sowie indirekt proportional zur Dicke. Will man den Wärmestrom also minimieren, so ist es ratsam, die Oberfläche des Gebäudes möglichst klein und ein Dämmmaterial mit niedriger Wärmeleitfähigkeit möglichst dick aufzutragen. In der Praxis hat sich für die Berechnung ganzer Wände, die nur selten aus einem homogenen Material bestehen und somit auch verschiedene Wärmeleitfähigkeiten vereinen, der sogenannte U-Wert etabliert. Der U-Wert ist der Kehrwert des Wärmewiderstandes R und wird wie folgt berechnet:

$$R_{ges} = \sum \frac{d_i}{\lambda_i}$$

$$U = \frac{1}{R_{ges}}$$

Der U-Wert hat somit die Einheit $W/(m^2K)$ und ist von der Zusammensetzung des betrachteten Bauteils abhängig. Aus dem U-Wert lässt sich nun der Wärmestrom gemäß der Formel:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

berechnen. Der U-Wert wird für die meisten Bauteile, wie zum Beispiel Fenster und Türen, vom Hersteller angegeben (vgl. Wagner/ Schlagnitweit 2015). Mit dem U-Wert kann auch die Verminderung des Wärmeverlustes durch Dämmung quantifiziert werden. Betrachten wir beispielsweise die Außenwand eines nicht isolierten Altbaus, die nachträglich mit einer 15cm dicken Schicht Kork isoliert werden soll. Kork besteht aus der Rinde der Korkeiche und besitzt eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit.

Bestandteile der Wand

Kalkzementputz 2,5cm	$\lambda_{Zem.Putz} = 0,90 \frac{W}{mK}$
Vollziegel 36,5cm	$\lambda_{Vollziegel} = 0,76 \frac{W}{mK}$
Kalkgipsputz 2m	$\lambda_{Gipsputz} = 0,60 \frac{W}{mK}$

Nachträgliche Isolierung

Korkplatten 15cm	$\lambda_{Kork} = 0,041 \frac{W}{mK}$
------------------	---------------------------------------

Vor der Isolierung

$$R_{ges} = \frac{0,025m}{0,90 \frac{W}{mK}} + \frac{0,36m}{0,76 \frac{W}{mK}} + \frac{0,02m}{0,60 \frac{W}{mK}} = 0,78 \frac{m^2K}{W}$$

$$U = \frac{1}{R} = 1,28 \frac{W}{m^2K}$$

Nach der Isolierung mit Kork

$$R_{neu} = 0,78 \frac{m^2K}{W} + \frac{0,15m}{0,041 \frac{W}{mK}} = 4,44 \frac{m^2K}{W}$$

$$U_{neu} = \frac{1}{4,44 \frac{m^2K}{W}} = 0,23 \frac{W}{m^2K}$$

$$\frac{U_{neu}}{U_{alt}} \approx 18\%$$

(Wärmeleitkoeffizienten von Krischan (o.J.))

An dieser Modellrechnung sieht man zum einen, dass herkömmliche Baumaterialien, wie Ziegel und klassische Kalkputze, vergleichsweise schlecht isolieren und dass schon durch eine vergleichsweise dünne Isolierschicht eine starke Reduktion des Wärmeverlustes über die Außenwand im Beispiel um 82% auftritt.

Wie bereits eingangs erwähnt, kommen bei einem Gebäude auch noch der Wärmeverlust durch Konvektion hinzu. Dies geschieht durch Luftaustausch des Gebäudes mit der Außenwelt. Strömt warme Luft aus dem Gebäude (zum Beispiel beim Lüften oder durch Exfiltration), so muss die nachströmende kalte Luft wieder durch die Raumheizung erwärmt werden. Eine Ausnahme bilden auch hier wieder die Passivhäuser, da diese über ein eigenes Lüftungssystem mit Wärmetauscher verfügen. Dies bewirkt, dass die warme Innenluft einen Teil ihrer Wärmeenergie an die hineinströmende kalte Außenluft abgibt. Außerdem verfügen Passivhäuser über eine stark abgedichtete Gebäudehülle, womit auch Infiltration und Exfiltration nur in sehr geringem Maße auftreten (Vogt et al. 2010). Wie viel Energie zum Ausgleich dieser Verluste aufgewendet werden muss, hängt von der Temperatur der einströmenden Luft, der gewünschten Raumtemperatur und dem einströmenden Luftvolumen ab und wird wie folgt berechnet:

$$\Phi_V = \rho \cdot c \cdot V(T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}})$$

$$\Phi_V = \text{Lüftungswärmeverlust (J)}$$

$$\rho = \text{Luftdichte } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$c = \text{spezifische Wärmekapazität } \left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right)$$

$$V = \text{augetausches Luftvolumen (m}^3\text{)}$$

Wie viel Luft mindestens ausgetauscht wird, hängt von verschiedenen Faktoren, wie der Art des Raumes, der Belegung, der Luftfeuchtigkeit usw. ab. Um aber einen Eindruck von der Größenordnung zu bekommen, spricht zum Beispiel die ÖNORM H6038 (2014) von ca. 30m³/h Luftaustausch pro Person, damit ein angenehmes Raumklima aufrechterhalten werden kann. Für Wohn- und Arbeitsräume wird darüber hinaus meist ein Mindest-Luftwechsel von 50% des Raumvolumens pro Stunde angenommen. Liegt der Luftwechsel unter 30% des Raumvolumens pro Stunde, ist die Lüftthygiene gefährdet.

3 Unterrichtsbeispiel: Der Wärmebedarf des Klassenzimmers

In der Lernaufgabe soll nun der Wärmebedarf eines Klassenzimmers an einem Wintertag von den Schülerinnen und Schülern abgeschätzt werden. Dafür werden zwei Arbeitsblätter mit einer Beschreibung der Aufgabe und den nötigen Formeln zur Verfügung gestellt, die im Unterricht verwendet werden können. Die Berechnungsmethode, wie sie hier für den Schulunterricht vorgestellt wird, ist an ein gängiges Schema der ÖNORM H7500-1 (2015) angelehnt, welches vor allem in der Gebäudetechnik zur Berechnung der Heizlast verwendet wird. Diese Berechnungen sind nötig, um festzustellen, welche Leistung Heizelemente in einem Raum mindestens haben müssen, damit auch an kalten Tagen die gewünschte Raumtemperatur gehalten werden kann. Das Schema, das ich hier für den Schulunterricht vorstelle, ist aber vereinfacht, da die Normberechnung einige Dinge enthält, die zwar für eine exakte Berechnung der Heizlast notwendig sind, hier aber weggelassen werden können, da eine Näherung berechnet werden soll. Des Weiteren soll nicht die maximale Heizlast sondern der durchschnittliche Wärmebedarf des Klassenzimmers im Monat Jänner berechnet werden. Dinge, die in der Normberechnung vorkommen, aber hier weggelassen werden sind: Wärmebrücken, Absenk- und Wiederaufheizzeiten, sowie einige spezielle Korrekturfaktoren. Auch der Lüftungswärmeverlust wird nur in gu-

ter Näherung berechnet, da für eine genaue Bestimmung Daten unter anderem zur Abgeschlossenheit der Gebäudehülle und zu Lüftungsanlagen benötigt werden. Es wird ebenfalls davon ausgegangen, dass keine Wärmetauscher zur Rückgewinnung von Wärme aus der Abluft eingesetzt und somit die einströmende Frischluft nur durch die Raumheizung auf Raumtemperatur erhitzt werden muss. Ist eine Lüftung mit Wärmetauscher vorhanden und wird deshalb nicht mit Fenstern gelüftet, dann bietet es sich an, die Temperatur der einströmenden Luft direkt am Schacht zu messen und diese dann als Außentemperatur bei der Berechnung des Lüftungswärmeverlustes zu verwenden. Die benötigten U-Werte sollten idealerweise von den Schülerinnen und Schülern selbst für Wände aus den eingesetzten Baumaterialien berechnet und für andere Bauteile, wie Fenster und Türen aus den Angaben des Herstellers ermittelt werden. Eingesetzte Baumaterialien sind den Bauplänen der Schule zu entnehmen. Die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien, lässt sich leicht durch die Lernenden online recherchieren. Sind Baupläne nicht verfügbar, so kann für die Außenwände der Energieausweis der Schule herangezogen werden. Dieser enthält den mittleren U-Wert der Gebäudehülle, der dann für die Außenwände verwendet werden kann (Österreichisches Institut für Bautechnik 2015).

3.1 Didaktische Überlegungen

Die Übung dient zum einen der alltagsnahen Anwendung der Thermodynamik und zum anderen zur Schaffung eines Bewusstseins für den nachhaltigen Umgang mit Energie. Eine solche Übung bietet den Vorteil, dass sie an einem realen Objekt stattfindet und auch sehr nahe an den Berechnungsmethoden liegt, wie sie in der Praxis der Gebäudetechnik eingesetzt werden. Somit unterscheidet sich diese Aufgabe von den stark vereinfachten und modellhaften Aufgaben, wie sie meist im naturwissenschaftlichen Unterricht verwendet werden (vgl. Leisen 2006). Durch die Einteilung der Klasse in mehrere Gruppen mit teils stark unterschiedlichen Aufgaben, von praktischen Messungen über Recherche bis hin zu Rechenaufgaben, soll auch eine innere Differenzierung erreicht werden. So sollen Schülerinnen und Schüler jene Aufgaben bearbeiten, für die sie sich besonders interessieren oder eignen (Grell/Grell 2010). Schließlich sollen mit der Übung neben den fachlichen Aspekten, auch noch soziale Kompetenzen angesprochen wer-

den, da zwischen den Gruppen eine Zusammenarbeit von Nöten ist. Man ist auf den Austausch von Daten angewiesen und obwohl jede Gruppe eigene Aufgaben zu bewältigen hat, ist das Ziel am Ende eine gemeinsame Berechnung.

3.2 Lernziele

Lernziele die durch die hier vorgestellte Übung erreicht werden sollen sind:

- Den U-Wert sowie den Wärmedurchgang eines Bauteils berechnen können.
- Einflussgrößen auf den Wärmebedarf verschiedener Gebäude und Räume identifizieren und Handlungsmaßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauches analysieren können.
- Größenordnungen des Wärmebedarfs von Gebäuden grob abschätzen und sowohl in Bezug auf Heizkosten und ökologische Auswirkungen interpretieren können.
- Die Wärmedämmung eines Gebäudes als entscheidenden Faktor für Energieverbrauch, sowohl im privaten als auch öffentlichen Bereich erkennen.

3.3 Voraussetzungen

Diese Übung ist für Schülerinnen und Schüler der 5. Klasse AHS Oberstufe konzipiert, da hier die Thermodynamik und der nachhaltige Umgang mit Energie im Lehrplan vorgesehen sind (vgl. Bundesministerium für Bildung 2017). Die thermodynamischen Hauptsätze sollten bereits bekannt sein und die Gleichungen und Größen, die im vorangegangenen Kapitel besprochen wurden, sollten bereits im Vorfeld kurz besprochen worden sein. Außerdem müssen Schülerinnen und Schüler im Messen von Längen und Temperaturen, sowie eventuell im Lesen von Plänen und der Recherche von Daten geübt sein. Die nötigen mathematischen Kompetenzen für den Einsatz der Formeln sollten in einer 5. Klasse AHS bereits vorhanden sein. Es ist ebenfalls anzuraten das Rechenbeispiel aus dem letzten Kapitel zur Wärmedämmung mit den Schülerinnen und Schülern zuvor durchzuführen.

3.4 Durchführung

Bei der Durchführung, sollte auf einige Dinge geachtet werden. Zuerst sollten die benötigten Materialien vorhanden sein. Diese sind: Maßbänder und Zollstöcke, mehrere PCs mit Internetzugang,

Thermometer und Taschenrechner. Außerdem sollte genug Zeit veranschlagt werden (mindestens eine Schulstunde). Bei der Einteilung der Gruppen ist zu beachten, dass nicht alle alles machen müssen. Es bietet sich an, Schülerinnen und Schüler anhand ihrer Interessen und Fähigkeiten in die Gruppen einzuteilen. Außerdem sollten nicht alle Gruppen gleich groß sein. Das Messen von Temperaturen ist zum Beispiel eine Aufgabe, die nicht viele Personen erfordert. Das Feststellen aller U-Werte und die Vermessung des Klassenzimmers ist dagegen eine Aufgabe, die je nach Ausstattung des Raumes relativ aufwendig sein kann. Wichtig ist, dass die Lehrperson darauf achtet, dass eine gute Kommunikation gewährleistet ist, da die Gruppen, Daten austauschen müssen. Sind alle Daten erhoben, kann die Übung mit der Berechnung des Wärmebedarfs abgeschlossen werden.

3.5 Nachbereitung

Eine Watt Zahl als Ergebnis einer so langen und arbeitsintensiven Übung ist für sich alleine nicht ausreichend. Es sollte also eine umfangreiche Nachbereitung erfolgen. Zum einen bietet es sich an, aus dem Wärmebedarf monatliche Kosten abzuschätzen, die durch das Heizen der Klasse entstehen. Ebenfalls sollten die Werte der Schule mit Normwerten verglichen und Erklärungen für einen sehr hohen oder niedrigen Energieverbrauch gesucht werden. Für den Vergleich bieten sich zum Beispiel die Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik (2015) an. Diese gelten zwar nur für Neubauten, sollten aber auch von älteren renovierten Gebäuden nicht zu stark überschritten werden. Falls ein überdurchschnittlich hoher Energieverbrauch festgestellt wird, könnten auch Handlungsmaßnahmen besprochen werden. Hier ist aber zu beachten, dass eine Reduktion des Wärmebedarfes durch verbesserte Dämmung oder bessere Lüftungsanlagen meist mit hohen Kosten verbunden ist. Kurzfristige Maßnahmen, wie weniger zu lüften sind nicht zu empfehlen, da die Luftqualität im Raum sich so massiv verschlechtert. Ebenfalls sollten Vor- und Nachteile verschiedener Heizsysteme vor allem deren Umweltbelastung betreffend besprochen werden. Es würde sich hier auch ein kurzer Besuch des Heizraumes der Schule anbieten. Es können auch die Statistiken des ersten Kapitels mit den Lernenden besprochen werden.

4 Arbeitsblätter

Der Wärmebedarf des Klassenzimmers

Aufgabenstellung

Ziel ist es zu berechnen, wie groß der Wärmebedarf des Klassenzimmers an einem durchschnittlichen Wintertag (Monat Jänner) ist. Dazu wird die Klasse in vier Teams eingeteilt. Jedes Team hat eine spezielle Aufgabe und soll Daten liefern, die in die Tabelle zur gemeinsamen Berechnung eingetragen werden. Für eure Aufgaben, werdet ihr die Daten von anderen Teams benötigen, absprechen unter den Teams sind daher notwendig. Am Ende soll mit der Tabelle und den zur Verfügung gestellten Formeln, der gesamte Wärmebedarf in Watt gemeinsam berechnet werden.

Team 1 Vermessung

Eure Aufgabe ist es alle Bauteile (Böden, Fenster, Türen, Wände) des Klassenzimmers zu identifizieren und zu vermessen, die entweder an die Außenwelt oder an andere unbeheizte Gebäudeteile grenzen. Es müssen nur jene angrenzenden Gebäudeteile berücksichtigt werden, deren Temperatur um mehr als 2K unter jener des Klassenzimmers liegt. Tragt alle ermittelten Bauteile samt der Fläche in die Tabelle ein. Ebenfalls ist es nötig das Raumvolumen des Klassenzimmers zu berechnen.

Team 2 Temperaturen

Eure Aufgabe ist es, alle für die Berechnung relevanten Temperaturen durch Messungen und Recherchen zu ermitteln. Wichtige Temperaturen sind: Innentemperatur, die mittlere Außentemperatur im Monat Jänner am Schulstandort, Temperaturen angrenzender nicht beheizter Gebäudeteile und eventuell Bodentemperaturen (wenn das Klassenzimmer Kontakt zum Erdboden hat). Bei Messungen von Raumtemperaturen sollten mehrere Messungen an verschiedenen Stellen vorgenommen und ein Mittelwert errechnet werden, da besonders in größeren Räumen teils starke Temperaturschwankungen auftreten.

Team 3 U-Werte

Eure Aufgabe ist die Ermittlung von U-Werten der Bauteile im Klassenraum. U-Werte von Bauteilen, wie Fenstern und Türen, lassen sich meist auf den Webseiten der Hersteller ablesen. Die Werte für die Außenwände, müssen selbst aus den verwendeten Materialien und den Dicken (siehe Bauplan) errechnet werden. Falls kein Bauplan vorhanden ist, kann auch der mittlere U-Wert der Gebäudehülle für die Außenwände verwendet werden. Diesen findet man auf dem Energieausweis der Schule, der meist im Eingangsbereich des Gebäudes ausgestellt ist. Für Innenwände, Böden und Decken, gibt das Österreichische Bauinstitut (2015) (OIB-330.6-009/15) Standards vor, die verwendet werden können.

Team 4 Lüftungswärmeverluste und Körperwärme

Eure Aufgabe ist die Berechnung von Lüftungswärmeverlusten. Der Lüftungswärmeverlust ist abhängig davon, wie viele Personen sich in einem Raum aufhalten, da bei vielen Menschen auch mehr Frischluft zugeführt werden muss. Berechnet den Wärmeverlust also einmal für eine volle und einmal für eine leere Klasse! Pro Schülerin und Schüler kann von einem Luftvolumen von ca. $30\text{m}^3/\text{h}$ Frischluft ausgegangen werden, die dem Klassenraum zugeführt werden muss, damit die Konzentration an CO_2 niedrig und das Raumklima angenehm bleibt (Greml et al. 2010). Sind keine Personen im Raum und wird somit nicht gelüftet bzw. die Raumlüftung ausgeschaltet, kann man davon ausgehen, dass in einem Raum pro Stunde das ca. 0,5-fache des Raumvolumens an Luft ausgetauscht wird. Menschen geben auch selbst Wärme an ihre Umgebung ab. Berücksichtigt also auch, dass ein sitzender Mensch mit 75kg bei Raumtemperatur ca. 120W an Wärmeenergie abgibt (Specht 2005).

Der Wärmebedarf des Klassenzimmers

Tabelle und Formeln

Berechnung des U-Wertes $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$:

$$R_{ges} = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \quad U = \frac{1}{R_{ges}} \quad \lambda = \text{Wärmeleitfähigkeit} \left(\frac{W}{mK}\right)$$

$$R = \text{Wärmewiderstand} \left(\frac{m^2K}{W}\right)$$

Berechnung des Lüftungswärmeverlustes Φ_V (J):

$$\Phi_V = \rho \cdot c \cdot V(T_{innen} - T_{außen}) \quad \rho = \text{Luftdichte} \left(\frac{kg}{m^3}\right) \approx 1,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$c = \text{Wärmekapazität Luft} \left(\frac{J}{kgK}\right) \approx 1005 \left(\frac{J}{kgK}\right)$$

$$V = \text{Einströmendes Luftvolumen (m}^3\text{)}$$

Berechnung des Transmissionswärmeverlustes \dot{Q} (W):

$$\dot{Q} = U * A * (T_{innen} - T_{außen})$$

T _{innen} =					
Bauteil	Fläche	U-Wert	T _{außen}	ΔT	$\dot{Q}_{Transmission}$

Lüftungswärmeverlust:	
Gesamter Wärmebedarf = _____	

5 Zusammenfassung

Abschließend möchte ich festhalten, dass eine Übung zum Thema Wärmebedarf und Dämmung, wie sie in diesem Paper besprochen wurde, zu Beginn zwar aufwendig erscheinen mag, es aber durchaus lohnenswert sein kann, Schülerinnen und Schüler auf diese Weise mit dem Thema zu konfrontieren. Zum einen bietet es die Möglichkeit, Physik als Grundlage der Technik im Einsatz zu erleben und zum anderen, rückt eine oft vergessene Umweltproblematik in den Vordergrund. Die Berechnung, kann deshalb eindrucksvoll ausfallen, weil der Energiebedarf von Klassenräumen durch ihre Größe und dem hohen Luftaustausch relativ hoch, teilweise sogar über 10kW, liegen sollte. Vergleicht man diese Zahl mit dem Verbrauch, zum Beispiel von üblichen Elektrogeräten, sollte die Größenordnung des Energieverbrauches klar hervortreten. Ebenso beeindruckend lässt sich zeigen, dass Investitionen in Dämmung und Wärmeschutz den Verbrauch sehr stark verringern können. Idealerweise können Lernende, wenn es später einmal um Renovierung oder den Bau eines eigenen Zuhauses geht, auf Erkenntnisse aus dieser Unterrichtseinheit zurückgreifen und so den eigenen Energieverbrauch verringern.

6 Literatur

- Austrian Standards (2014): Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen mit Wärmerückgewinnung - Planung, Ausführung, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung. ÖNORM H6038.
- Austrian Standards (2015): Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast für Gebäude mit einem mittleren U-Wert $\geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. ÖNORM H7500-1.
- Bundesministerium für Bildung (2017): Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne- allgemeinbildende höhere Schule, Fassung vom 01.09.2017.
- Gerthsen, C. Vogel, H. (1993): Physik. Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen. Band 1. Berlin/ Heidelberg, Springer, 17. Auflage.
- Grassmann, P. (1970): Physikalische Grundlagen der Verfahrenstechnik. Frankfurt am Main/ Berlin/ München, Otto Salle.
- Grell, Jochen/ Grell, Monika (2010): Unterrichtsrezepte. Weinheim/ Basel, Beltz, 12. Auflage.
- Greml A./ Kapferer R./ Leitzinger, W., Gössler, A. (2010): Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen. FH Kufstein/ Arsenal Research/ Energie Tirol/ AEE Intec.
- Krischan, H. (o.J.): Wärmeleitfähigkeit. Aufgerufen unter http://www.ifea.tugraz.at/hp_old/heizlast/wlf.htm am 20.02.2018.
- Leisen, Josef (2006): Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (59/5), S. 260-266.

- Österreichisches Institut für Bautechnik (2015): Energieeinsparung und Wärmeschutz. In: OIB Richtlinien (6).
- Specht, E. (2005): Der Mensch als wärmetechnisches System. Mess- und Regelungsmechanismus der Betriebstemperatur, Wärmeabgabe, Energieerhaltung, Gewichtsänderung, Behaglichkeit. Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.
- Statistik Austria (2017a): EEV 2016 nach ET und Nutzenergiekategorien für Österreich.
- Statistik Austria (2017b): Heizungen 2003 bis 2016 nach Bundesländern, verwendetem Energieträger und Art der Heizung.
- Vogt, F./ Köchendorfer, B./ Dittmar, A. (2010): Analyse und Vergleich energetischer Standards anhand eines exemplarischen Einfamilienhauses bzgl. Energiebedarf und Kosten über den Lebenszyklus. In: Bauphysik (32/5).
- Wagner, H./ Schlagnitweit, H. (2015): Installations- und Gebäudetechnik- Heizungs- und Lüftungstechnik. Jugend & Volk.