

# JUNGE

## wissenschaft

JungforscherInnen publizieren  
online | **peer reviewed** | original

Verlag:  
Physikalisch-  
Technische  
Bundesanstalt



Arbeitswelt

## Dämmen mit Altpapier

RECYPAP – DIE ÖKOLOGISCHE  
WÄRMEDÄMMUNG AUF PAPIERBASIS

*Zur Wärmedämmung von Häusern wird heute meist Polystyrol verwendet. Ökologisch gesehen weist dies jedoch viele Nachteile auf. Es wurde daher ein Material auf Altpapierbasis (recypap) entwickelt, hergestellt und auf seine Eigenschaften wie zum Beispiel Wärmeleitfähigkeit und Brandschutz getestet. recypap brennt nicht, ist aus ökologischer Sicht sinnvoller als Polystyrol und lässt sich einfacher verarbeiten.*



DER JUNGFORSCHER



**Janno Schade (2000)**

Schülerforschungszentrum  
Nordhessen  
34119 Kassel

**Eingang der Arbeit:**  
4.7.2016

**Arbeit angenommen:**  
30.9.2016



# Dämmen mit Altpapier

## RECYPAP – DIE ÖKOLOGISCHE WÄRMEDÄMMUNG AUF PAPIERBASIS

### 1. Wärmedämmung

Bei aktuellen Diskussionen um die Einsparung von (Wärme-)Energie und die Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes spielen Wärmedämmstoffe an Gebäuden eine wichtige Rolle. Sie werden an Gebäuden angebracht, um den hohen Energieverbrauch zu senken und somit das sogenannte Niedrigenergiehaus oder Nullenergiehaus zum Standard zu machen. Den rechtlichen Hintergrund regelt die Energieeinsparverordnung, kurz EnEV, die zuletzt 2014 erneuert wurde. Jedoch sind viele Wärmedämmstoffe heutzutage nicht so umweltverträglich, wie viele denken.

Einer der heute gängigsten Dämmstoffe, Polystyrol, ist relativ günstig, hat jedoch schlechte Brandschutzeigenschaften und wird aus Erdöl hergestellt. Erdöl ist ein fossiler Rohstoff und nur in begrenzten Mengen vorhanden. Aufgrund dessen können die Gebäude nicht unendlich lange mit Polystyrolämmplatten

gedämmt werden. Zusätzlich muss Polystyrol, nachdem es von der Hauswand entfernt wurde, demnächst wahrscheinlich auf dem Sondermüll deponiert werden [1]. Dies verursacht nicht nur Kosten für die Abrissarbeiten, sondern auch für die spezielle Entsorgung und den Transport.

Ebenfalls gängige Wärmedämmstoffe sind Mineralfaserwollen, wie zum Beispiel Stein- und Glaswolle. Diese Wärmedämmstoffe werden aus den nahezu unendlichen (Roh-)Stoffen Stein und Glas hergestellt. Das Problem an diesen Wärmedämmstoffen ist ihr sehr hoher Preis von circa 26 Euro pro Quadratmeter und einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/m·K. Zudem werden beim Zuschneiden kleine, gesundheitsschädliche Fasern freigesetzt.

Weitere Wärmedämmstoffe sind Calciumsilicat und Blähglasgranulat oder Hanf, isofloc und ähnliche. Die zuletzt genannten sind zwar ökologisch sinn-

voll, da diese Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, sie sind aber meist sehr teuer.

Aus diesem Grund habe ich recypap entwickelt. recypap ist ein auf Basis von Altpapier hergestellter Wärmedämmstoff, der weder entflammbar, noch schwer zu entsorgen ist. recypap lässt sich recyceln. Außerdem ist recypap jetzt schon mit einem Preis von circa 16 Euro pro Quadratmeter günstiger als Polystyrolämmplatten und Mineralfaserwollen.

### 2. Allgemeine Grundlagen zur Wärmedämmung

Einer Wärmedämmung liegen viele physikalische und bauphysikalische Kenngrößen zugrunde. Diese werde ich in den folgenden Kapiteln behandeln, da der Wärmeschutz, neben der Verarbeitbarkeit sowie der Gesundheits- und Umweltverträglichkeit, einer der wichtigsten Aspekte des Projektes ist.

#### 2.1 Physikalische Grundlagen

##### 2.1.1 Wärme, Temperatur und Wärmekapazität

Die Energieform Wärme wird bei einer Temperaturdifferenz zwischen zwei Stoffen ausgetauscht [2]. Die Temperaturänderung gibt an, in welche Richtung die Wärmeenergie fließt. Wärme fließt von einem Stoff mit hoher Temperatur zu einem Stoff mit niedriger Temperatur [3].

Der Temperaturanstieg eines Stoffes  $\Delta T$  hängt von der Wärmemenge  $Q$ , die man ihm zuführt, der Masse  $m$  des Stoffes und seiner spezifischen Wärmekapazität  $c$  ab.  $Q$  ist proportional zu  $m$ ,  $c$  und  $\Delta T$ . Daraus ergibt sich die Formel:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Die spezifische Wärmekapazität lässt sich mithilfe eines Kalorimeters über folgende Formel bestimmen:

$$\theta_M = \frac{c_1 \cdot \theta_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot \theta_2 \cdot m_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2} \Leftrightarrow c_1 = \frac{(\theta_2 - \theta_M) \cdot c_2 \cdot m_2}{(\theta_M - \theta_2) \cdot m_1} \quad (2)$$

Dabei sind  $\theta_1$  und  $\theta_2$  die Ausgangstemperaturen der zwei Stoffe und  $\theta_M$  die Mischungstemperatur beider Stoffe,  $c$  und  $m$  wie oben. Diese Formel gilt nur, wenn kein Aggregatzustandswechsel stattgefunden hat [4]!

### 2.1.2 Wärmeübertragungsvorgänge

In einem System fließt Wärme solange von der wärmeren Seite zur kälteren Seite bis ein Temperatenausgleich hergestellt ist. Es gibt drei Arten, wie Wärme transportiert wird:

**Wärmestrahlung** ist der Transport der Wärme zwischen zwei Körpern durch elektromagnetische Wellen. Das bedeutet, dass für diese Art der Wärmeübertragung keine Materie benötigt wird, sie kann auch im Vakuum stattfinden. Jeder Körper reflektiert einen Teil (Reflexion), absorbiert einen Teil (Absorption) und lässt einen dritten Teil der Wärme hindurch (Transmission). Die Summe dieser drei Teile ist 100 Prozent.

Bei der **Konvektion** wird Wärme durch die Strömung von Gasen oder Flüssigkeiten weitergegeben. Ein Beispiel für die Konvektion ist das Erhitzen von Wasser. Hierbei steigt von der Heizplatte erwärmtes Wasser auf und kälteres sinkt ab. Auch die Wärmeversorgung durch den Blutkreislauf bei Menschen und Tieren resultiert aus der Wärmeübertragung durch Konvektion.

**Wärmeleitung** ist die Übertragung von Wärme durch die Bewegung von schnell schwingenden Molekülen, die an benachbarte, langsamer schwingende Moleküle anstoßen. Die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung hängt von der Temperatur und dem Material ab, durch das die Wärme hindurch geleitet wird. Ein gutes Beispiel für die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung ist ein Metallstab, der, wenn man ihn an einem

Ende erwärmt, am anderen Ende sehr schnell warm wird. Die Wärmeleitung eines Stoffes ist von der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ , von der Stoffdicke  $\Delta x$ , von der Temperaturdifferenz  $\theta_{s1} - \theta_{s2}$  und von der Größe der Querschnittsfläche  $A$  abhängig. Für einen an den Rändern adiabaten, also wärmeundurchlässigen, Baustoff kann man, um die Wärmemenge  $Q$  zu bestimmen, folgende Formel aufstellen.

$$Q = \lambda \cdot \frac{(\theta_{s1} - \theta_{s2})}{\Delta x} \cdot A \cdot \Delta t \quad (3)$$

### 2.1.3 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit ist eine temperaturabhängige Stoffeigenschaft, die beschreibt, wie gut beziehungsweise wie schlecht ein Stoff Wärme leitet. Aus der in Kapitel 2.1.2 genannten Formel 3 zur Wärmeleitung lässt sich eine Formel zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit herleiten:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \Delta x}{A \cdot \Delta t \cdot (\theta_{s1} - \theta_{s2})} = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta T} \quad (4)$$

Die dazugehörigen Einheiten lauten:

$$[\lambda] = \frac{W}{m \cdot K} = \frac{J \cdot m}{m^2 \cdot s \cdot K} \quad (5)$$

Da Gase aufgrund der großen Entfernung der Teilchen zueinander sehr schlechte Wärmeleiter sind, beruhen moderne Wärmedämmstoffe auf dem Prinzip des Gaseinschlusses. Jedoch kann man sein Haus nicht nur mit einer dicken Luftschicht dämmen, da sonst die Wärmeübertragung durch Konvektion eine größere Rolle spielen würde. Gute Wärmedämmstoffe verhindern diese unerwünschte Konvektion, enthalten aber trotzdem möglichst viel Luft.

Die Wärmeleitfähigkeit spielt für Wärmedämmstoffe die wichtigste Rolle, da diese zum Großteil die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung verhindern. Konvektion beispielsweise spielt kaum eine Rolle, da die Wände, das Mauerwerk und der Putz nahezu Luft undurchlässig sind.

## 2.2 Bauphysikalische Grundlagen [5]

In der Bauphysik werden die physikalischen Phänomene der Physik auf Gebäude und Baustoffe angewandt. Es gibt viele Kenngrößen, die vor allem zur Berechnung von Wärmeübertragungsvorgängen dienen.

### Wärmeübergangswiderstand

Der Wärmeübergangswiderstand  $R_s$  einer Bauteiloberfläche setzt sich aus dem Kehrwert der Summe der Wärmeübergangskoeffizienten  $h_k$  und  $h_s$  (Wärmeübergangskoeffizienten der Wärmetransportprozesse Konvektion und Strahlung) zusammen. Da diese Prozesse auf beiden Seiten eines Bauteils stattfinden, wird  $R_s$  zu  $R_{si}$  und  $R_{se}$  erweitert. In der DIN EN ISO 6946 werden die Bemessungswerte für diese Wärmeübergangswiderstände festgehalten.

$$R_s = \frac{1}{h_k + h_s} \quad (6)$$

Durch den Wärmeübergangswiderstand wird der Widerstand beschrieben, den die Transportprozesse Konvektion und Strahlung an einer Oberfläche (in diesem Fall an einer Bauteiloberfläche) haben. Je höher dieser Widerstand ist, desto weniger Wärme wird durch Konvektion und Strahlung an dieser Oberfläche übertragen.

### Wärmedurchlasswiderstand

Jeder Stoff besitzt einen Wärmedurchlasswiderstand  $R$ . Dieser Wärmedurchlasswiderstand bildet sich aus dem Quotienten der Stoffdicke  $d$  und der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ .

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (7)$$

Der Wärmedurchlasswiderstand beschreibt den Widerstand, den ein Baustoff mit der Dicke  $d$  der Wärme entgegensetzt. Je höher der Wärmedurchlasswiderstand ist, desto weniger Wärme lässt der Baustoff hindurch.

#### Wärmedurchgangswiderstand

Der Wärmedurchgangswiderstand beschreibt die Summe aller Wärmeübergangs- und Wärmedurchlasswiderstände.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (8) \text{ Es gilt:}$$

Mit

$$[R_T] = \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Da der Wärmedurchlasswiderstand die Summe der zuvor genannten Widerstände beschreibt, wirken sich auch hier hohe Werte positiv auf die Wärmedämmeigenschaften aus.

#### Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

Der Wärmedurchgangskoeffizient beziehungsweise U-Wert (früher k-Wert) ist in homogenen Schichten der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (9)$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient beschreibt, wie gut beziehungsweise wie schlecht die Wärme durch ein mehrschichtiges Bauteil, wie zum Beispiel eine Hauswand, hindurchgeht. Jedoch gilt diese Formel nur bei homogenen Bauteilen.

Bei inhomogenen Bauteilen kann der Gesamt-U-Wert nur durch die Bildung des arithmetischen Mittels der oberen und unteren Grenzwerte bestimmt werden.

In der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird festgelegt, welchen U-Wert unter anderem eine Hauswand maximal besitzen darf. Je geringer der U-Wert ist, desto weniger Wärme wird beispielsweise durch die Hauswand hindurch gelassen.

#### Wärmestromdichte

Die Wärmestromdichte  $q$  weist bei einem eindimensionalen Bauteil immer denselben Wert auf. Sie beschreibt den stationären Temperaturverlauf durch ein mehrschichtiges Bauteil und wird wie folgt bestimmt:

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (10)$$

$$q_i = q_1 = q_2 = \dots = q_n = q_e = q \quad (11)$$

### 2.3 Arten und Eigenschaften einer Wärmedämmung

Moderne Wärmedämmstoffe besitzen neben ihrer Haupteigenschaft, der Verhinderung von Wärmeübertragung, auch noch weitere praktische Eigenschaften.

Wärmedämmstoffe werden, wie andere Baustoffe üblicherweise auch, in Brandschutzklassen nach DIN 4102 beziehungsweise DIN EN 13501 eingeteilt. Diese Brandeigenschaften reichen von der Kategorie A (nicht brennbar) bis Kategorie F (leicht entflammbar).

Auch schalldämmende Eigenschaften sind bei modernen Wärmedämmstoffen weit verbreitet. Wetterfeste Eigenschaften erhalten Wärmedämmstoffe zum Beispiel durch das Montieren an der Hauswand und das spätere Verputzen, da sie so weitestgehend von der Umwelt abgeschirmt sind.

Auch lassen sich moderne Wärmedämmstoffe verschieden gut oder schlecht verarbeiten, denn bei vielen Faserdämmstoffen treten beim Zuschneiden gesundheits-schädliche Fasern aus.

Die Wärmekapazität wirkt sich auch auf die Eigenschaften verschiedener Wärmedämmstoffe aus. Besitzt ein Wärmedämmstoff beispielsweise eine geringe Wärmekapazität, so heizt sich die Fassade bei gedämmten Gebäuden im Sommer sehr schnell auf. Aus diesem Grund müssen Polystyrol gedämmte Gebäude in hellen Farben angestrichen werden, da sich ansonsten die Fassade zu stark erhitzen würde.

### 3. Anforderungen an den neuen Wärmedämmstoff

Mein Ziel ist, einen rundum guten Wärmedämmstoff herzustellen. Dazu setzte ich mich nicht nur mit den in Kapitel 2 beschriebenen Prinzipien auseinander, sondern auch mit nicht fossilen Rohstoffen. Diese Rohstoffe sollen möglichst schnell nachwachsen und am Besten schon heutzutage als Abfallprodukt in großen Mengen vorhanden sein. Dabei wollte ich die ökologischen Aspekte nicht aus dem Auge verlieren. Die Basis des neuen Wärmedämmstoffs muss eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, jedoch flexibel genug sein, um den noch schlechteren Wärmeleiter Luft in sich zu integrieren.

Der neue Wärmedämmstoff soll folgende Kriterien erfüllen:

- guter Wärmedämmstoff
- umweltfreundlich
- recyclebar
- nicht brennbar
- gut zu verarbeiten
- günstig

So stieß ich auf Papier. Papier ist nicht nur ein nachwachsender Rohstoff, Papier wird schon heutzutage wiederverwertet. Somit musste ich nur noch die Wärmedämmung ins Papier bringen. Ziel war es also, in das Papier viele kleine Lufteinschlüsse zu integrieren. Zu groß dürfen diese Lufteinschlüsse jedoch nicht sein, da ansonsten Wärmeübertragung durch Konvektion stattfindet.

## 4. Erste Prototypen und Untersuchung ihrer Eigenschaften

### 4.1 Herstellung

Um Lufteinschlüsse zu erhalten, vermengte ich, als eine erste Version von recypap, Altpapierschnipsel und Wasser und stellte das Gemisch für mehrere Tage zum Trocknen nach draußen. Der so erhaltene erste Prototyp (siehe [Abb. 1](#)) war sehr leicht und hatte viele Lufteinschlüsse, jedoch stellte es mich nicht zufrieden, da man diese dünne Platte sehr leicht durchbrechen konnte, was aus statischen Gründen nicht ausreichend war. Dieses Problem versuchte ich durch Pressen der Mischung zu beheben. Auch diese Idee führte zu einem nicht akzeptablen Ergebnis, da diese zweite Version meiner Platten nun nicht mehr die gewünschten Lufteinschlüsse besaß.

Aus diesem Grund überlegte ich mir ein neues Herstellungsverfahren. Ich gab den Altpapierschnitt und das Wasser in einen Mixer, sodass ein Papierbrei entstand. Trocknungsversuche an der Luft ergaben, dass der Papierbrei nach mehreren Tagen noch nicht getrocknet war und anfangs, übel zu riechen. Aus diesem Grund versuchte ich, den Papierbrei in einem Ofen zu trocknen. Die Platten wurden bei 100 °C getrocknet. Das Ergebnis war

sehr zufriedenstellend, da diese Version von recypap nicht nur bruchfester als zuvor war, sondern auch viele kleine Lufteninschlüsse besaß.

### 4.2 Aufbau eines Teststandes zur Bestimmung der Wärmeleitenden Eigenschaften von ausgewählten Dämmstoffen

Nach der Entwicklung eines ersten Prototyps sollte ein Test zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit folgen. Da mir jedoch keine professionellen Geräte zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit zur Verfügung standen, habe ich selbst ein Testverfahren zum Vergleich der Wärmeleitenden Eigenschaften entwickelt.

Meine Messvorrichtung besteht aus einem selbst entwickelten und selbst gefertigten Polystyrol-Quader (siehe [Abb. 2](#)), in dem ein kleiner Hohlraum eingelassen ist. In diesem nach oben offenen Hohlraum befindet sich eine Heizfolie, die an einen Schaltkreis angeschlossen ist, welche den Hohlraum bei jedem Messvorgang auf eine Temperatur zwischen 50 °C und 56 °C erwärmt. Um einen möglichst großen Temperaturunterschied zwischen der Innen- und Außentemperatur herzustellen, finden die Messungen in einem Kühlschrank mit einer Temperatur von circa 2 °C statt. Zudem sorgt der Kühlschrank für eine relativ konstante Außentempera-

tur. Bevor eine Messung startet, wird der zu untersuchende Wärmedämmstoff auf die Öffnung des Hohlraums gelegt.

Um die Messung zu starten, wird die Heizfolie mit einer Spannung von 12 V bei 1 A betrieben. Nun messen Temperatursensoren im Hohlraum und im Kühlschrank die Temperatur. Die Messwerte werden digital aufgezeichnet, damit sie später ausgewertet werden können. Nachdem sich der Hohlraum in der Messvorrichtung bis zum Maximum erhitzt hat, wird die Verbindung zum Stromkreis unterbrochen, damit die Temperatur im Hohlraum wieder sinkt. Aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen Kühlschrank und Hohlraum fließt die Wärme durch die zu messende Wärmedämmplatte und die restliche Messvorrichtung.

Auch wenn nicht die gesamte Wärme durch die zu messende Dämmplatte geleitet wird, kann man die gemessenen Wärmedämmplatten untereinander vergleichen. Zudem konnte ich eine Näherung für die Wärmemenge  $Q$ , bestimmen, indem ich die Gesamtoberfläche der Messvorrichtung  $A_{ges}$  und die Fläche im zu messenden Dämmstoff  $A_{Dämmstoff}$  durch die diese Wärmemenge fließt, ausgemessen und ihr Verhältnis zueinander berechnet habe.



Abb. 1: Erster Prototyp – eine getrocknete Mischung aus Altpapierschnipseln und Wasser



Abb. 2: Polystyrol-Kubus zur Bestimmung des wärmeleitenden Verhaltens

$$A_{\text{ges}} = 0,7234 \text{ cm}^2, A_{\text{Dämmstoff}} = 0,0729 \text{ cm}^2$$

$A_{\text{Dämmstoff}}$  besitzt circa 10 % der Größe von  $A_{\text{ges}}$ , was bedeutet, dass bei homogenem Material circa 10 % der Wärmemenge  $Q$  durch den Dämmstoff fließen. Da aber noch andere Faktoren wie zum Beispiel die Wärmekapazität der verschiedenen Stoffe eine Rolle spielen, fließen nicht genau 10% der Wärmemenge durch den zu messenden Wärmedämmstoff. Aus diesem Grund sind mit diesem Messverfahren nur Vergleichsmessungen möglich.

### 4.3 Qualitativer Vergleich ausgewählter Dämmstoffe

Mit der in Kapitel 4.2 beschriebenen Polystyrol-Box überprüfte ich ausgewählte Wärmedämmstoffe qualitativ auf ihre Wärmedämmeigenschaften. Dabei fiel auf, dass Polystyrol ein schlechteres Wärmeleitverhalten aufwies als jede meiner gemessenen recypap-Platten (rote Kurve in [Abb. 3](#)). Bei diesem Vergleich sah man deutlich, dass die Dicke der Platte maßgeblich für den Wärmedurchgang verant-

wortlich ist. Auch konnte man erkennen, dass bei gleich dicken recypap-Platten leicht verschiedene Kurven auftraten.

### 4.4 Untersuchung des Brandverhaltens von recypap

Nach der Wärmeleitfähigkeit habe ich mich nun mit den Brandschutzeigenschaften von recypap beschäftigt. Ich hatte schon mehrfach von großen Fassadenbränden gehört, bei denen die Wärmedämmung Polystyrol für das Ausmaß des Brandes mitverantwortlich gemacht wurde. Deswegen entwickelte ich einen Brandtest für die recypap-Platten. Ich befestigte eine recypap-Platte in einem Stativ und beflamte sie danach für mehrere Minuten mit einem Bunsenbrenner (siehe [Abb. 4](#)). Nach der Beflammung war recypap oberflächlich verkohlt, innen war nur ein leichtes Glimmen nachzuweisen.

## 5. Verbesserung der Brandschutzeigenschaften

### 5.1 Zugabe von Flammenschutzmitteln

Zur Verbesserung der Brandschutzeigenschaften von recypap beschäftigte ich mich mit herkömmlichen Flammenschutzmitteln, wie Borsalze oder Hexabromcyclododecan (HBCD).

Ich fand heraus, dass das Flammenschutzmittel HBCD nicht nur schädlich für die Umwelt, sondern sogar für den Menschen giftig ist. Deswegen ist HBCD seit August 2015 als Flammenschutzmittel in Europa nicht mehr zulässig. Als Alternative suchte ich nach einem Salz, da auch andere Wärmedämmstoffe auf Papierbasis mit Salzen brandresistenter gemacht werden. Dieses Salz sollte bei der Erhitzung Wasser freisetzen, damit der Flamme Energie entzogen wird. Jedoch soll dieses Salz auch ungiftig für den Menschen und in ökonomischer Hinsicht akzeptabel sein. Aus diesem Grund suchte ich nach Salzen, die auch als Mineral in der Natur vorhanden sind. Ich stieß auf das Mineral Brucit.

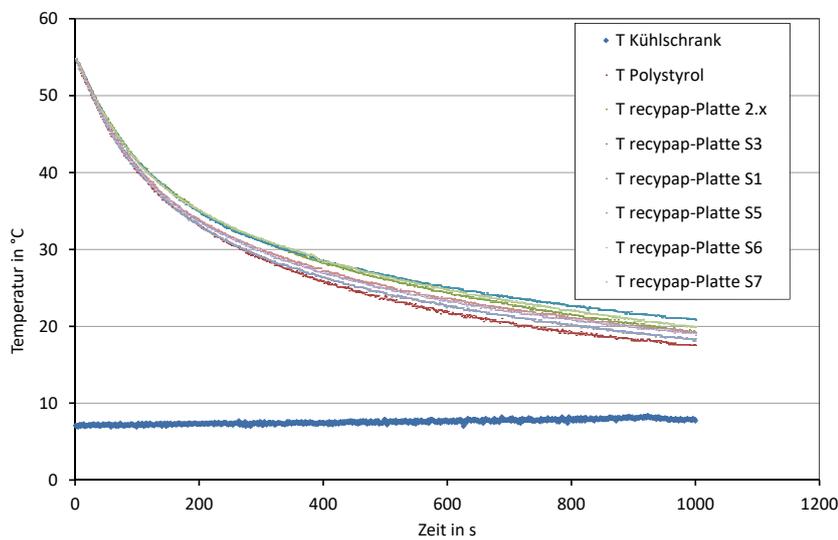


Abb. 3: Temperaturverlauf im Hohlraum der Polystyrol-Box bei Verwendung verschieden dicker recypap-Platten. Zum Vergleich zeigt die rote Kurve den Verlauf bei einer Verwendung einer 14 cm dicken Polystyrol-Platte.



Abb. 4: Erster Brandtest mit recypap

Das Mineral Brucit hat die chemische Zusammensetzung  $Mg(OH)_2$ , (Magnesiumhydroxid). Der Schmelzpunkt liegt bei 350 °C. Ist diese Temperatur erreicht, zersetzt es sich zu Magnesiumoxid und Wasser. Um es in den Wärmedämmstoff zu integrieren, habe ich verschiedene Varianten und Mischungsverhältnisse hergestellt und getestet.

Zuerst verstrich ich eine dickflüssige Magnesiumhydroxid-Wasser-Lösung auf meiner Dämmplatte, so dass eine Art Schutzschicht entstand. Diese erwies sich beim Brandtest jedoch als nicht so wirkungsvoll. Bei der Anwendung müsste diese Schicht auf beiden Seiten der Dämmplatte aufgetragen werden. Dadurch würde weder der Putz, noch der Klebe- und Armierungsmörtel gut an dieser Fläche halten, da diese sehr glatt ist. Daraufhin überlegte ich mir, ob ich das Magnesiumhydroxid nicht in recypap integrieren kann. Aus diesem Grund vermengte ich das Magnesiumhydroxid mit der recypap-Rohmasse (siehe [Abb. 5](#)), sodass es durch die Papierfasern aufgesogen wird und in den Papierfasern integriert ist.

Da der erste Brandtest mit den neuen recypap-Platten sehr gut verlief, entschloss ich mich, diese Methode beizubehalten.

## 5.2 Entwicklung eines kontrollierten Testverfahrens zur Bestimmung des Brandverhaltens

Aus dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Verfahren habe ich ein einheitliches Testverfahren zur Bestimmung des Brandverhaltens entwickelt. Um dieses Ziel zu erreichen, habe ich mich mit der diesbezüglich anzuwendenden Norm DIN 4102 vertraut gemacht.

Der in DIN 4102 beschriebene Versuchsaufbau war für mich nicht realisierbar. Aus diesem Grund musste ich einen eigenen Brandtest planen und konstruieren. Meine Wahl fiel auf den Bunsenbrenner, der in [Abbildung 6](#) zu sehen ist, da die Flamme nur leicht nach oben gerichtet ist. Damit die Flamme immer am selben Punkt an der Platte angreift, musste ich entweder den Bunsenbrenner oder die Konstruktion, in der die Platte befestigt wird, schräg anbringen. Diese Version eines Brandtestes ist relativ simpel aber trotzdem aussagekräftig genug für mein Vorhaben gewesen.

## 5.3 Systematische Versuche zur Zusammensetzung

Um eine optimale Mischung als Altpapierschnitt, Wasser und Magnesiumhydroxid zu finden, führte ich zwei Versuchsreihen durch. In der Versuchsreihe 1 wurden jeweils 400 g Altpapier 3500 g Wasser und eine steigende Menge Magnesiumhydroxid hinzugegeben. In der Ver-

suchsreihe 2 wurden zu 400 g Altpapier 4000 g Wasser gegeben und wieder eine steigende Menge Magnesiumhydroxid [6]. Die Trocknungszeit betrug jeweils 16 Stunden bei 100 °C.



Abb. 5: Die Rohmasse von recypap, der Altpapierschnitt, wird mit Magnesiumhydroxid vermengt



Abb. 6: Aufbau des Testes

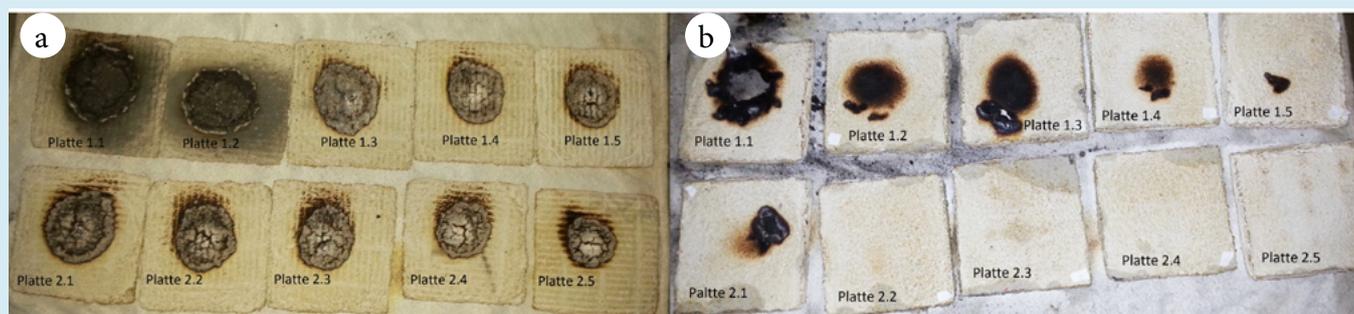


Abb. 7: Ergebnisse des Brandtests. In der obere Reihe die Platten aus Versuchsreihe 1, in der unteren Reihe die Platten aus Versuchsreihe 2. a) beflamte Seite b) nicht beflamte Seite

Mit diesen Versuchsreihen wollte ich herausfinden, wie viel Magnesiumhydroxid die recypap-Platten mindestens benötigen, um ein gutes Brandschutzverhalten zu zeigen. Auch wenn der Preis von Magnesiumhydroxid mit 8 Cent pro 100 Gramm sehr gering ist, so muss doch nicht mehr als nötig in den Dämmstoff gegeben werden. Zudem überprüfte ich, ob die Menge des zugegebenen Wassers in der Herstellung Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Endprodukts hat (siehe Kapitel 4.3).

In [Abb. 7](#) sieht man die Ergebnisse der Brandtests nach einer halben Stunde auf der beflamnten und auf der nicht beflamnten Seite. Keine der recypap-Platten hat sich entflammt, während die Polystyrol-Platte zum Vergleich schon nach 5 Sekunden durchbrannte. Man sieht eindeutig, dass je mehr Magnesiumhydroxid (steigende Versuchsnummer bedeutet mehr Magnesiumhydroxid) eine Platte enthält, desto weniger dringt die Glut bis auf die nicht beflamnte Seite durch. Auch die Menge des Wassers bei der Herstellung spielt scheinbar eine entscheidende Rolle, da es bei allen Mischungsverhältnissen in-

nerhalb der Trocknungszeit vollkommen verdampft. Wäre dies nicht der Fall, könnte das Wasser die Wärmeleitfähigkeit für einen Wärmedämmstoff negativ beeinflussen.

## 6. Versuche mit Modellhäusern

recypap soll viele Jahre an der Hauswand als Wärmedämmstoff wirken. Aus diesem Grund wollte ich mithilfe von Modellhäusern herausfinden, wie sich recypap verarbeiten lässt, wie sich die Verarbeitung an einer großen Fläche auf die Dämmeigenschaften auswirkt und wie sich recypap unter Umwelteinflüssen verhält.

### 6.1 Bau der Modellhäuser

Die Modellhäuser besitzen vier Wände, ein schräges Dach und einen Boden jeweils aus 1,6 cm dickem MDF (Mitteldichte Faserplatte). Sie wurden mit 2 cm dicken Wärmedämmplatten, bei Haus 1 mit Polystyrol, bei Haus 2 mit recypap (siehe [Abb. 8](#)), gedämmt. Bei beiden Häusern wurden die Wärmedämmplatten

mit handelsüblichem Klebe- und Armierungsmörtel mit der Hauswand verklebt (1,5 mm dick) und mit handelsüblichem Münchner Rauhputz (6 mm dick) verputzt. Beide Häuser wurden mit Temperatursensoren ausgestattet.

Die recypap-Platten sind mit einer Säge leicht zuzuschneiden, der entstandene Abfall kann aufgelegt oder weggespült werden. Weiterhin entstehen keine umweltgefährdenden Reste, den Abfall kann man wiederverwenden. Beim Zuschneiden von recypap benötigt man, im Gegensatz zu anderen Faserdämmstoffen, keinen Atemschutz, da keine gefährlichen Stäube entstehen.

Die Polystyrol-Platten hingegen kann man nicht mit einer einfachen Säge zuschneiden, da dabei kleine Polystyrol Kügelchen abfallen und an den Händen haften. Aus diesem Grund musste ich, um die Polystyrol Platten zuschneiden zu können, einen heißen Draht benutzen. Dieser ist jedoch sehr sperrig, was beim Einsatz auf Baustellen zu Problemen führen kann. Zudem entstehen giftige Dämpfe.



Abb. 8: recypap-Haus in der Entstehung



Auch das Verkleben mit der Außenwand und das Verputzen ist bei recypap-Platten nicht schwieriger als bei Polystyrol. Insgesamt war der Arbeitsaufwand und die Umweltbelastung bei der Verarbeitung der recypap-Platten deutlich geringer als bei Polystyrol.

## 6.2 Untersuchung der Dämmeigenschaften mithilfe der Modellhäuser

Mit den Modellhäusern konnte ich nun Realtests durchführen. In den Modellhäusern befindet sich jeweils ein kontinuierlich heizendes Heizelement und Temperaturfühler, die an der Innenseite der Vorderwand, zwischen Wärmedämmstoff und Mörtel, und an der Außenseite der Vorderwand die Temperatur messen. Über ein digitales Messwerterfassungssystem wird, zusätzlich zu den Temperaturen der einzelnen Häuser, die Außentemperatur aufgezeichnet und an einen Computer übermittelt. Dieser zeichnet den Temperaturverlauf auf (siehe [Abb. 9](#)).

Die Temperaturschwankungen stellen hauptsächlich die Temperaturschwankungen im Verlaufe des Tages dar. Aus diesen Temperaturschwankungen resultieren auch die Schwankungen innerhalb der Modellhäuser. Die Temperatur im recypap-Haus ist gleichbleibend geringer als im Polystyrol-Haus, was wahrscheinlich an einer geringeren Heizleistung des Heizelementes im recypap-Haus liegt.

In meinen bisherigen Vergleichsmessungen schnitt recypap besser ab als Polystyrol. Dass dies dieses mal nicht so ist, könnte an Wärmebrücken liegen (siehe Grafik). Diese entstehen, weil die recypap-Platten eine kleinere Fläche besitzen als die Polystyrol-Platten. Deswegen sind Fugen zwischen den einzelnen Platten vorhanden. Durch diese Fugen entstehen Wärmebrücken, durch welche die Wärme schneller entweicht als durch die recypap-Platten. Dies kann man in [Abbildung 10](#) daran erkennen, dass die Innentemperatur im recypap-Haus immer geringer ist als im Polystyrol-Haus.

Auch sind die Lücken in [Abbildung 8](#) sehr gut zu erkennen.

## 6.3 Berechnungen für das Polystyrol-Haus

Um zu überprüfen, wie gut der Wärmedämmstoff Polystyrol Wärme leitet, berechne ich, welche Außentemperatur bei den von mir verwendeten Bauteilen und den von mir gemessenen Werten herrschen müsste. Um diese Temperatur berechnen zu können, muss man zuerst berechnen, welchen Wärmedurchgangswiderstand die Wände meiner gedämmten Häuser besitzen.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, bildet sich der Wärmedurchgangswiderstand  $R_T$  aus der Summe aller Wärmedurchlasswiderstände.

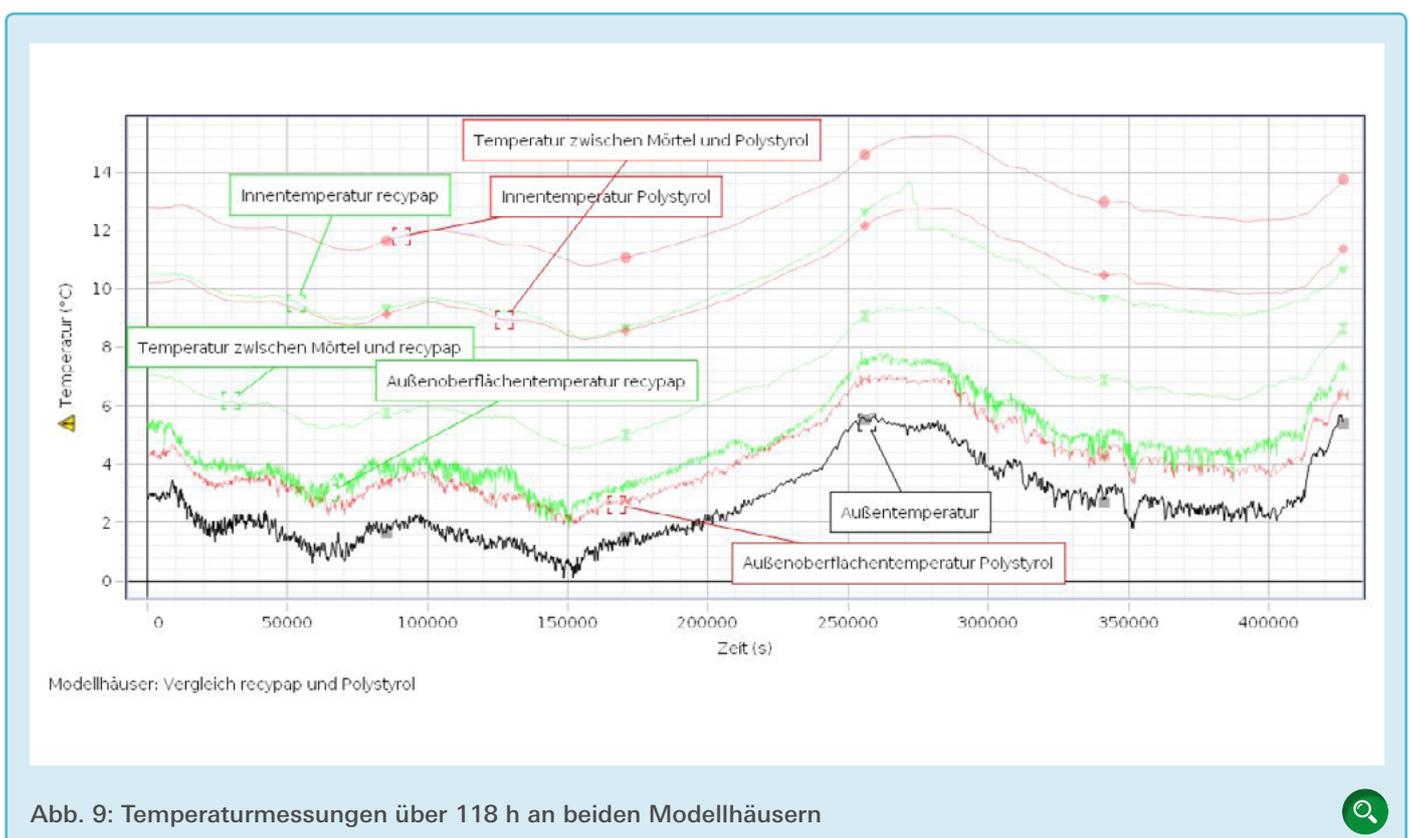


Abb. 9: Temperaturmessungen über 118 h an beiden Modellhäusern

Berechnung der Wärmedurchgangswiderstände ([5]):

5 mm dicke Luftschicht innen

$$R_{si} = 0,17 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

1,6 cm dicke MDF Platte mit

$$\lambda = 0,1 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$R_1 = \frac{0,016m}{0,1 \frac{W}{m \cdot K}} \approx 0,16 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

1,5 cm dicke Mörtelschicht mit

$$\lambda = 0,83 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$R_2 = \frac{0,015m}{0,83 \frac{W}{m \cdot K}} \approx 0,001807 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

2 cm dicker Wärmedämmstoff mit

$$\lambda = 0,035 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$R_3 = \frac{0,02m}{0,035 \frac{W}{m \cdot K}} \approx 0,57 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

6 mm dicke Putzschicht mit

$$\lambda = 0,87 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$R_4 = \frac{0,006m}{0,87 \frac{W}{m \cdot K}} \approx 0,006897 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

5 mm dicke Luftschicht innen

$$R_{se} = 0,11 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Daraus ergibt sich ein Wärmedurchgangswiderstand nach Formel 8 von

$$R_T \approx 0,958704 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Daraus folgt nach Formel 9:

$$U = \frac{1}{R_T} \approx 1,04307 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Daraus lässt sich die Wärmestromdichte  $q$  berechnen (Formel 10).

Die Temperaturen  $\theta_1$  und  $\theta_3$  werden den Messungen entnommen.

$$q = U \cdot (\theta_1 - \theta_3) = 1,04307 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (17,00 \text{ °C} - 9,14 \text{ °C}) = 8,19853 \frac{W}{m^2}$$

Um nun zu bestimmen, an welcher Stelle der Wand, welche Temperatur herrschen müsste, habe ich bei jeder Schicht in der Wand, bei der zwei verschiedene Materialien aneinander anliegen, die Temperatur  $\theta_{\text{Schicht a/Schicht b}}$  bestimmt, indem ich den Quotienten des U-Wertes von *Schicht a* mit der Wärmestromdichte  $q$  multiplizierte und dieses Produkt von der Außentemperatur von *Schicht a* subtrahierte.

Rechnerische Temperaturen an verschiedenen Stellen in der Wand:

$$\theta_{1/2} = \theta_{si} - \left( \frac{d_1}{\lambda_1} \right) \cdot q = 17,00 \text{ °C} - \left( \frac{0,016 \text{ m}}{0,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right) \cdot 8,19853 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\theta_{1/2} \approx 15,69 \text{ °C}$$

$$\theta_{2/3} = \theta_{1/2} - \left( \frac{d_2}{\lambda_2} \right) \cdot q = 15,69 \text{ °C} - \left( \frac{0,015 \text{ m}}{0,83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right) \cdot 8,19853 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\theta_{2/3} \approx 15,67 \text{ °C}$$

$$\theta_{3/4} = \theta_{2/3} - \left( \frac{d_2}{\lambda_2} \right) \cdot q = 15,67 \text{ °C} - \left( \frac{0,02 \text{ m}}{0,035 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right) \cdot 8,19853 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\theta_{3/4} \approx 10,99 \text{ °C}$$

$$\theta_{se} = \theta_{3/4} - \left( \frac{d_2}{\lambda_2} \right) \cdot q = 10,99 \text{ °C} - \left( \frac{0,006 \text{ m}}{0,87 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right) \cdot 8,19853 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\theta_{se} \approx 10,93 \text{ °C}$$

Somit müsste die Außentemperatur circa 10,93 °C betragen. Die tatsächliche Temperatur lag bei 9,14 °C. Da  $\theta_2$  in der Messung 15,81 °C beträgt, bedeutet das, dass die Wärmeleitfähigkeit von Polystyrol nicht 0,035  $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$  beträgt, sondern einen höheren, also schlechteren Wert aufweist.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das von mir gebaute Polystyrol-Haus die von mir erwartete Wärmestromdichte besitzt. Zwar liegen die errechnete und die gemessene Temperatur etwas auseinander, jedoch wird sich dieser Temperaturunterschied wahrscheinlich durch leicht abweichende Wärmeleitfähigkeitswerte der verschiedenen Baumaterialien ergeben haben.

## 7. Vergleich des Wärmeleitverhaltens mithilfe von Quadern

Wie beschrieben hatten die Modellhäuser einige Nachteile. Um die Berechnung zu idealisieren, habe ich jeweils einen Quader aus recypap und einen aus Polystyrol gebaut (siehe [Abb. 10](#)). Sie sind ähnlich aufgebaut wie die Modellhäuser, denn auch sie besitzen im Inneren Heizfolien zum Heizen und Thermosensoren an der Innen- und Außenseite der Wand. Diese Quader sollen mir einen Vergleich unter realen Bedingungen liefern, ohne dass Faktoren wie zum Beispiel Wärmebrücken oder Fugenstöße eine Rolle spielen.

Wie auch die Hausmessungen fanden die Quader-Messungen draußen statt. Das Heizelement hier war jedoch ein Gefäß mit heißem Wasser

In [Abbildung 11](#) sieht man den Temperaturabfall der beiden Quader bei gleichen Außenbedingungen. Man erkennt, dass die Innentemperatur im Polystyrol-Quader deutlich schneller abnimmt als beim recypap-Quader. Die Außenoberflächentemperatur des recypap-Quaders war höher als die des Polystyrol-Quaders. Dies kann ich mir nur mit unterschiedlichen Wärmekapazitäten

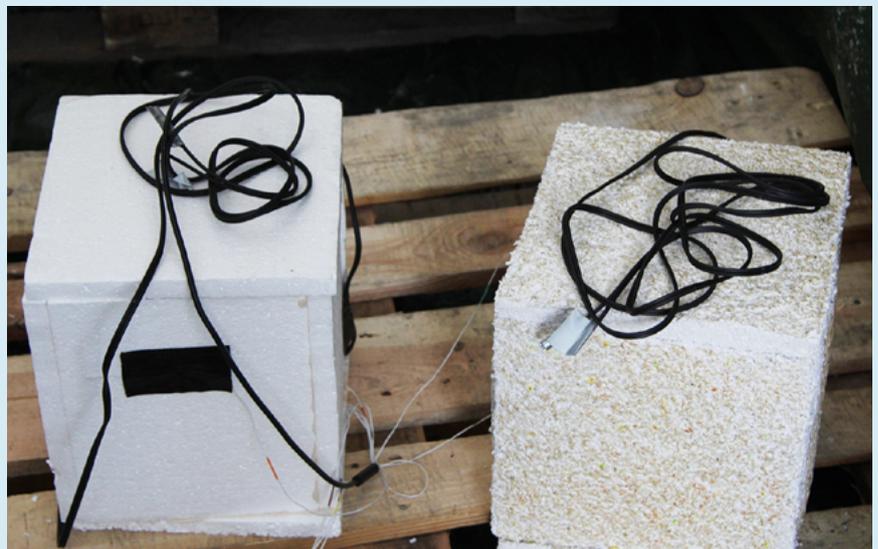


Abb. 10: Quader Polystyrol (links) und aus recypap (rechts)



ten erklären. Aus diesem Grund habe ich die Messungen mit einem erhitzten Wassergefäß als Wärmequelle wiederholt.

Das Wassergefäß diente als Wärmespeicher, da das Wasser eine sehr hohe Wärmekapazität besitzt ( $4181 \frac{J}{kg \cdot K}$ ). Somit erhitzt es die Luft.

Dabei sieht man in [Abbildung 12](#), dass sich die Luft (Wärmekapazität:  $1005,4 \frac{J}{kg \cdot K}$ ) im Polystyrol-Quader deutlich stärker erhitzt als die vom recypap-Quader. Daraus lässt sich schließen, dass recypap eine deutlich höhere Wärmekapazität besitzt als Polystyrol, da ein Teil der Wärmeenergie, die das Wasser abgibt, vom recypap gespeichert wird. Bei den bisherigen Messungen wurde der Einfluss der Wärmekapazität nicht berücksichtigt. Dieser Einfluss würde den Unterschied in den Messergebnissen der Quader-Vergleichsmessungen und den Modellhausmessungen erklären. In diesen Messungen wird nur der Wärmedämmstoff und die Luft erwärmt, jedoch ist der Wärmedämmstoff ein wichtiger Energiespeicher.

## 8. Bestimmung der Wärmekapazität von recypap

Um die spezifische Wärmekapazität von recypap zu berechnen, musste ich zuerst die Dichte von recypap bestimmen

$$\rho_{\text{recypap}} = 0,228 \frac{g}{cm^3} = 228 \frac{kg}{m^3}$$

Da die Dichte von Papier ( $\approx 800 \frac{kg}{m^3}$ ) und Luft ( $\approx 1,2 \frac{kg}{m^3}$ ) bekannt ist, lässt sich daraus der prozentuale Anteil der beiden enthaltenen Stoffe, Luft und Papier, berechnen: Der Anteil an Papier im recypap liegt bei circa 28 Prozent und der Anteil der Luft bei circa 72 Prozent. Da von Papier und Luft die spezifischen Wärmekapazitäten bekannt sind, lässt sich die ungefähre spezifische Wärmekapazität mit einer einfachen Addition berechnen.

$$\rho_{\text{recypap}} = c_{\text{Papier}} \cdot P_{\text{Papier}} + c_{\text{Luft}} \cdot P_{\text{Luft}}$$

$$c_{\text{recypap}} \approx 0,28 \cdot 1200 \frac{J}{kg \cdot K} + 0,72 \cdot 1005,4 \frac{J}{kg \cdot K} \approx 1059,89 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Um zu überprüfen, ob die Auffälligkeiten der Messung mit den Quadern wirklich mit der Wärmekapazität in Verbindung gebracht werden können, muss zunächst die absolute Wärmekapazität der beiden Quader berechnet werden.

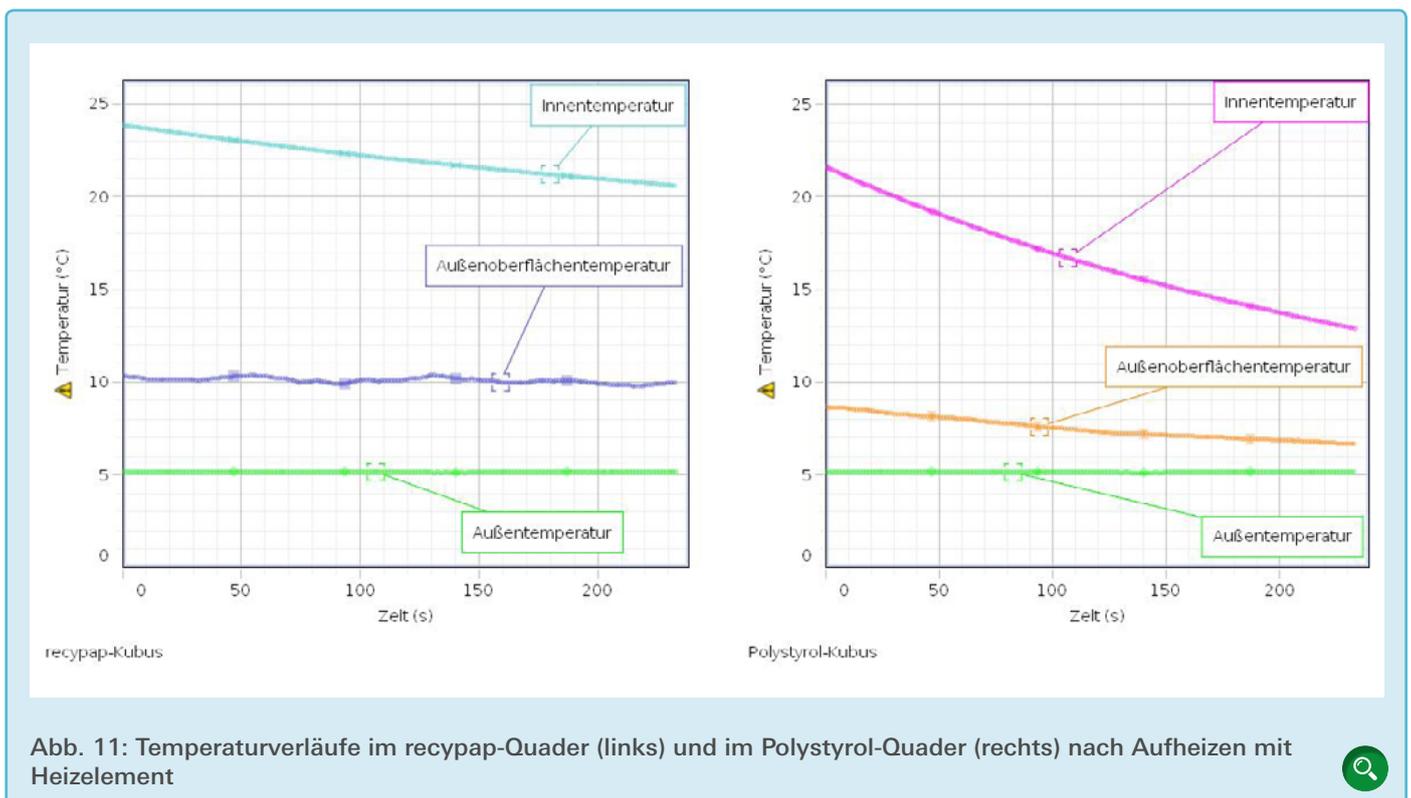


Abb. 11: Temperaturverläufe im recypap-Quader (links) und im Polystyrol-Quader (rechts) nach Aufheizen mit Heizelement

$$C = c \cdot m$$

$$C_{\text{Recypap-Quader}} = 1059,89 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,665 \text{ kg} \approx 1764,72 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$C_{\text{Polystyrol-Quader}} = 1500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,130 \text{ kg} \approx 195 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Da die absolute Wärmekapazität des recypap-Quader fast zehn mal höher ist als die des Polystyrol-Quader ist, liegen die Unterschiede in den Graphen in [Abbildung 12](#) höchstwahrscheinlich an der Wärmekapazität, da das recypap viel mehr Wärme speichert als Polystyrol.

Aber die höhere absolute Wärmekapazität hat nicht nur Nachteile. Wenn sich beispielsweise die Fassade im Sommer stark erhitzt, kühlt eine mit Polystyrol gedämmte Fassade deutlich schneller ab als eine mit recypap gedämmte. Diese schnelle Abkühlung fördert unter anderem den Algenwuchs.

### 9. Messung der Wärmeleitfähigkeit von recypap

Ich ließ die Wärmeleitfähigkeit von recypap mithilfe einer Transient-Heat-Bridge der Firma Linseis bestimmen. Das Gerät besteht aus einem 3 x 3 mm großen Sensor, der zwischen zwei Proben platziert wird. An dieser Stelle wird dann die Probe erwärmt und die Temperatur kontinuierlich gemessen.

Mithilfe der Messwerte wird dann automatisch die Wärmeleitfähigkeit des Stoffes errechnet. Um die Wärmeleitfähigkeit von recypap zu bestimmen, schnitt ich eine recypap-Platte vom Typ 2.0 (siehe Tabelle 1) auf eine Größe von 3 x 3 cm zu, die

raue Ober- und Unterseite wurde abgeschnitten und die Platte in der Mitte geteilt. Zwischen diesen beiden Plattenteilen wurde der Sensor eingespannt. Dabei wurde für recypap ein Wärmeleitfähigkeitswert von  $\lambda = 0,09 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$  ermittelt. Das bedeutet, dass recypap eine höhere Wärmeleitfähigkeit hat als Polystyrol und damit weniger gut dämmt. Jedoch besitzt recypap gegenüber Polystyrol einige andere Vorteile, wie zum Beispiel die bessere Verarbeitbarkeit, den Brandschutz und die Diffusionsoffenheit.

### 10. Zusammenfassung der Ergebnisse

Eine 400 Gramm recypap-Platte benötigt zur Herstellung mindestens 3500 ml Wasser, da sonst zu wenig Wasser zum Mixen vorhanden ist. Vergleiche von Versuchsreihe 1 und 2 (siehe Tab. 1) zeigen, dass eine Menge von 500 ml Wasser mehr oder weniger in der Herstellung bei dem Wärmeleitfähigkeitstest aus Kapitel 4.2 keinen Unterschied macht.

Je mehr Magnesiumhydroxid man den recypap-Platten beimischt, desto besser

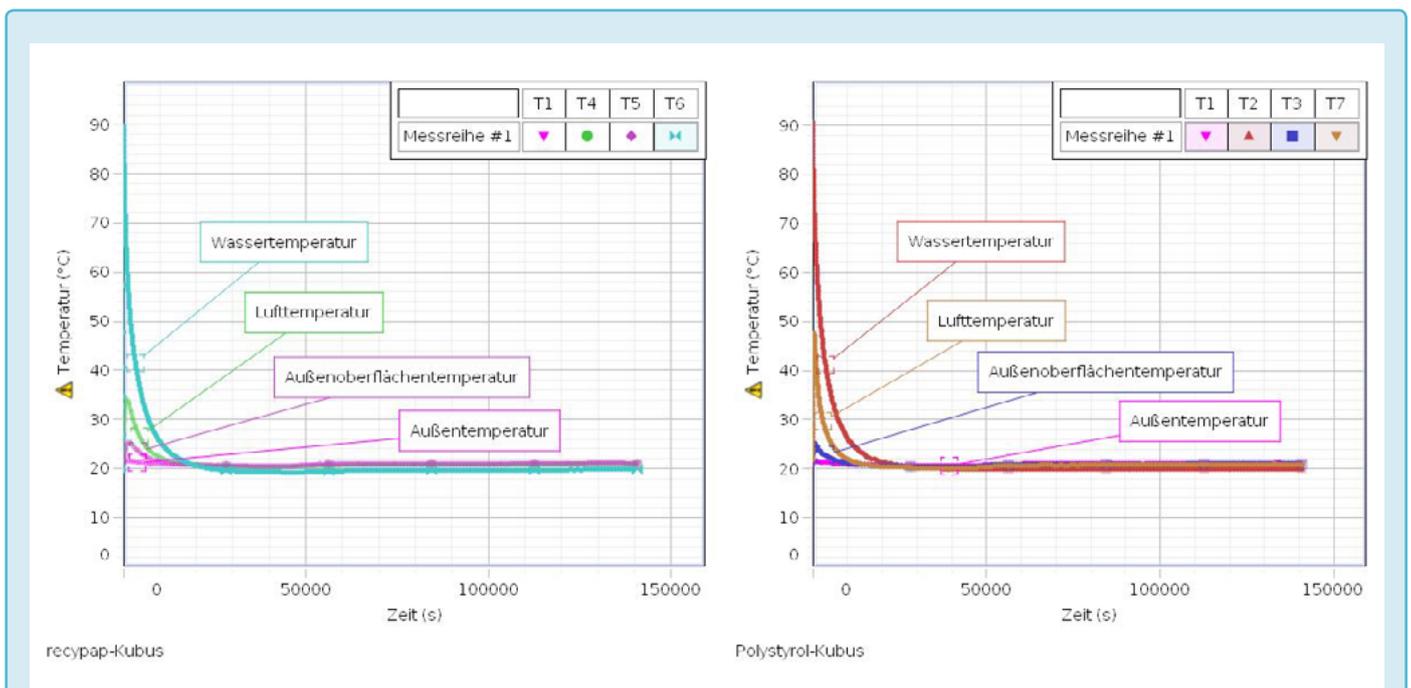


Abb. 12: Temperaturverläufe im recypap-Quader (links) und im Polystyrol-Quader (rechts) nach Hineinstellen eines Gefäßes mit heißem Wasser



werden die Brandschutzeigenschaften von recypap.

Polystyrol besitzt in meinem Modellversuch wie erwartet eine scheinbar geringere Wärmeleitfähigkeit als recypap. Eine Erklärung hierfür liefert die Beobachtung, dass im recypap-Haus deutlich mehr Wärmebrücken vorhanden sind als im Polystyrol-Haus.

Der recypap-Quader heizt sich mehr auf als der Polystyrol-Quader. Somit geht aus dem Inneren Wärme verloren, die jedoch im recypap zum Teil gespeichert wird und deswegen bei einer Abkühlung an das Haus zurückgegeben wird.

## 11. Fazit

Es wurde ein Wärmedämmstoff entwickelt, der, obwohl er auf Papier basiert, nicht entflammbar ist und auch sehr einfach zu verarbeiten ist. Dabei ist es gelungen, das Mischungsverhältnis zu optimieren. Recypap besitzt sehr gute Wärmedämmeigenschaften und ist zudem ökonomisch und ökologisch sinnvoll.

## Danksagung

Ich möchte mich bei allen Menschen bedanken, die es mir ermöglicht haben, dieses Projekt zu entwickeln und professionell daran zu arbeiten. Das betrifft vor allem das Team des Schülerforschungszentrums Nordhessen und alle Betreuer, die nicht nur mir, sondern auch anderen Schülern fast täglich zur Seite gestanden haben, auch in den Ferien. Insbesondere möchte ich mich bei Tobias Hofmann und Jörg Steiper bedanken, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben. Ohne das Schülerforschungszentrum Nordhessen wäre all das nicht möglich gewesen. Aber auch meinen Eltern sei hier Dank gesagt. Sie haben mich immer bei meinen Vorhaben unterstützt, egal wie spät es wurde.

Außerdem möchte ich der Firma Technoform, deren Vize Präsident Dr. Thorsten Siodla, Ferdinand Bebbler, Boris Bosshammer, Bernd Dürringer für die Möglichkeit danken, professionelle Messungen durchführen zu können. Zusätzlich gilt mein Dank Dr. Gerrit Sprenger, der es mir ermöglicht hat, meine Erfindung zum Patent anzumelden.

## Literaturverzeichnis

- [1] *Alfons Oebbeke*, Polystyrol-Dämmstoff künftig Sondermüll?  
<http://www.baulinks.de/webplugin/2015/1804.php4>, November 2015
- [2] *G. Mosca, P. Tipler*, Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 6. Auflage. Springer Spektrum, 2012
- [3] *J. de Paula, P. Atkins*. Physikalische Chemie, 4. Auflage, WILEY-VCH, 2012
- [4] Gerthsen Physik, 21. Auflage, Dieter Meschede, 1995
- [5] *P. Häupl, M. Homann, C. Kölzow, O. Riese, A. Maas, G. Höfker, C. Nocke, W. Willems*, Lehrbuch der Bauphysik. 7. Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden, Juli 2012
- [6] *J. Schade*, 2017. Verfahren zum Herstellen eines Ausgangsstoffes für die Herstellung eines Wärmedämmelementes, Verfahren zur Herstellung eines Wärmedämmelementes. Anmeldung: 19.02.2016. DE, Patentschrift DE 10 2016 102 910.6. 24.08.2017

# Publiziere auch Du hier!

FORSCHUNGSARBEITEN VON SCHÜLER/INNE/N UND STUDENT/INN/EN

In der Jungen Wissenschaft werden Forschungsarbeiten von SchülerInnen, die selbstständig, z. B. in einer Schule oder einem Schülerforschungszentrum, durchgeführt wurden, veröffentlicht. Die Arbeiten können auf Deutsch oder Englisch geschrieben sein.

## Wer kann einreichen?

SchülerInnen, AbiturientInnen und Studierende ohne Abschluss, die nicht älter als 23 Jahre sind.

## Was musst Du beim Einreichen beachten?

Lies die [Richtlinien für Beiträge](#). Sie enthalten Hinweise, wie Deine Arbeit aufgebaut sein soll, wie lang sie sein darf, wie die Bilder einzureichen sind und welche weiteren Informationen wir benötigen. Solltest Du Fragen haben, dann wende Dich gern schon vor dem Einreichen an die Chefredakteurin Sabine Walter.

Lade die [Erstveröffentlichungserklärung](#) herunter, drucke und fülle sie aus und unterschreibe sie.

Dann sende Deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung per Post an:

### Chefredaktion Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter  
Paul-Ducros-Straße 7  
30952 Ronnenberg  
Tel: 05109 / 561508  
Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)

## Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter, der die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird den Euch, den AutorInnen zugeschickt und Du erhältst gegebenenfalls die Möglichkeit, Hinweise des Fachgutachters einzuarbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie **Jugend forscht** die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und als Open-Access-Beitrag veröffentlicht.

## Was ist Dein Benefit?

Deine Forschungsarbeit ist nun in einer Gutachterzeitschrift (Peer-Review-Journal) veröffentlicht worden, d. h. Du kannst die Veröffentlichung in Deine wissenschaftliche Literaturliste aufnehmen. Deine Arbeit erhält als Open-Access-Veröffentlichung einen DOI (Data Object Identifier) und kann von entsprechenden Suchmaschinen (z. B. BASE) gefunden werden.

Die Junge Wissenschaft wird zusätzlich in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet, d. h. Deine Arbeit kann von Experten gefunden und sogar zitiert werden. Die Junge Wissenschaft wird Dich durch den Gesamtprozess des Erstellens einer wissenschaftlichen Arbeit begleiten – als gute Vorbereitung auf das, was Du im Studium benötigst.

# Richtlinien für Beiträge

FÜR DIE MEISTEN AUTOR/INN/EN IST DIES DIE ERSTE WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNG. DIE EINHALTUNG DER FOLGENDEN RICHTLINIEN HILFT ALLEN – DEN AUTOR/INNEN/EN UND DEM REDAKTIONSTEAM

Die Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger AutorInnen bis zum Alter von 23 Jahren.

- Die Beiträge können auf Deutsch oder Englisch verfasst sein und sollten nicht länger als 15 Seiten mit je 35 Zeilen sein. Hierbei sind Bilder, Grafiken und Tabellen mitgezählt. Anhänge werden nicht veröffentlicht. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis zählen nicht mit.
- Formulieren Sie eine eingängige Überschrift, um bei der Leserschaft Interesse für Ihre Arbeit zu wecken, sowie eine wissenschaftliche Überschrift.
- Formulieren Sie eine kurze, leicht verständliche Zusammenfassung (maximal 400 Zeichen).
- Die Beiträge sollen in der üblichen Form gegliedert sein, d. h. Einleitung, Erläuterungen zur Durchführung der Arbeit sowie evtl. Überwindung von Schwierigkeiten, Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Diskussion, Liste der zitierten Literatur. In der Einleitung sollte die Idee zu der Arbeit beschrieben und die Aufgabenstellung definiert werden. Außerdem sollte sie eine kurze Darstellung schon bekannter, ähnlicher Lösungsversuche enthalten (Stand der Literatur). Am Schluss des Beitrages kann ein Dank an Förderer der Arbeit, z. B. Lehrer und

Sponsoren, mit vollständigem Namen angefügt werden. Für die Leser kann ein Glossar mit den wichtigsten Fachausdrücken hilfreich sein.

- Bitte reichen Sie alle Bilder, Grafiken und Tabellen nummeriert und zusätzlich als eigene Dateien ein. Bitte geben Sie bei nicht selbst erstellten Bildern, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. die genauen und korrekten Quellenangaben an (siehe auch [Erstveröffentlichungserklärung](#)). Senden Sie Ihre Bilder als Originaldateien oder mit einer Auflösung von mindestens 300 dpi bei einer Größe von 10 · 15 cm! Bei Grafiken, die mit Excel erstellt wurden, reichen Sie bitte ebenfalls die Originaldatei mit ein.
- Vermeiden Sie aufwendige und lange Zahlentabellen.
- Formelzeichen nach DIN, ggf. IUPAC oder IUPAP verwenden. Gleichungen sind stets als Größengleichungen zu schreiben.
- Die Literaturliste steht am Ende der Arbeit. Alle Stellen erhalten eine Nummer und werden in eckigen Klammern zitiert (Beispiel: Wie in [12] dargestellt ...). Fußnoten sieht das Layout nicht vor.

- Reichen Sie Ihren Beitrag sowohl in gedruckter Form als auch als PDF ein. Für die weitere Bearbeitung und die Umsetzung in das Layout der Jungen Wissenschaft ist ein Word-Dokument mit möglichst wenig Formatierung erforderlich. (Sollte dies Schwierigkeiten bereiten, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, damit wir gemeinsam eine Lösung finden können.)
- Senden Sie mit dem Beitrag die [Erstveröffentlichungserklärung](#) ein. Diese beinhaltet im Wesentlichen, dass der Beitrag von dem/der angegebenen AutorIn stammt, keine Rechte Dritter verletzt werden und noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht wurde (außer im Zusammenhang mit **Jugend forscht** oder einem vergleichbaren Wettbewerb). Ebenfalls ist zu versichern, dass alle von Ihnen verwendeten Bilder, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. von Ihnen veröffentlicht werden dürfen, also keine Rechte Dritter durch die Verwendung und Veröffentlichung verletzt werden. Entsprechendes [Formular](#) ist von der Homepage [#herunterzuladen](#), auszudrucken, auszufüllen und dem gedruckten Beitrag unterschrieben beizulegen.
- Schließlich sind die genauen Anschriften der AutorInnen mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse sowie Geburtsdaten und Fotografien (Auflösung 300 dpi bei einer Bildgröße von mindestens 10 · 15 cm) erforderlich.
- Neulingen im Publizieren werden als Vorbilder andere Publikationen, z. B. hier in der Jungen Wissenschaft, empfohlen.

# Impressum

[ JUNGE ]  
wissenschaft



## **Junge Wissenschaft**

c/o Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt (PTB)  
[www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de)

## **Redaktion**

Dr. Sabine Walter, Chefredaktion  
Junge Wissenschaft  
Paul-Ducros-Str. 7  
30952 Ronnenberg  
E-Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)  
Tel.: 05109 / 561 508

## **Verlag**

Dr. Dr. Jens Simon,  
Pressesprecher der PTB  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
E-Mail: [jens.simon@ptb.de](mailto:jens.simon@ptb.de)  
Tel.: 0531 / 592 3006  
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

## **Design & Satz**

Sabine Siems  
Agentur „provieler werbung“  
E-Mail: [info@provieler-werbung.de](mailto:info@provieler-werbung.de)  
Tel.: 05307 / 939 3350



**PTB**

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Bundesallee 100