

## „Kalk“ als Bindemittel für Mörtel – aber welcher?

### Einführung

Zum Binden von Mörtel oder Beton lassen sich unterschiedliche Stoffe nutzen, wie zum Beispiel Zement oder „Kalk“. Unter „Kalk“ versteht man in diesem Kontext „gebrannten Kalk“ oder „gelöschten Kalk“. In 4 Gruppen untersuchen die Schülerinnen und Schüler, welche dieser Stoffe sich als Bindemittel eignen und prüfen dabei, ob sie auch in anderen Umgebungen (unter Wasser, unter Luftausschluss) ihre Funktion erfüllen.

### Material und Chemikalien

Spachtel, 4 Plastikschaalen, 4 Plastikbecher (200ml), Messzylinder, 4 Gläser mit Schraubverschluss, Folienstifte, Waage  
Löschkalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ), Branntkalk ( $\text{CaO}$ ), Zement, Wasser, Vogelsand, Ziegel- & Fliesenstücke (ca. 4cm<sup>2</sup>)

### Sicherheitshinweise

Branntkalk (C, ätzend), Löschkalk (Xi, reizend)

Für die verwendeten Chemikalien gilt eine Tätigkeitsbeschränkung für Schülerinnen und Schüler bis Jahrgangsstufe 4.



$\text{Ca}(\text{OH})_2$ : H318; P280-305+351+338-313



$\text{CaO}$ : H318; P260-280-305+351+338

### Versuchsdauer

60 Minuten

### Durchführung

- Gruppe A: 30g Vogelsand, 10g Zement, 15ml Wasser
- Gruppe B: 30g Vogelsand, 10g Löschkalk, 15ml Wasser
- Gruppe C: 30g Vogelsand, 10g Kalkstein, 15ml Wasser
- Gruppe D: 30g Vogelsand, 10g Branntkalk, 15ml Wasser

Es werden die jeweiligen Chemikalien in eine Plastikschaale eingewogen und mit einem Spachtel vermischt, bis ein gleichmäßig durchmischter, zähflüssiger Brei entsteht. Eine Probe des Mörtels wird benutzt, um zwei Ziegelstücke oder Fliesen zu verbinden. Dieser Vorgang wird noch zwei Mal wiederholt, so dass am Ende drei „zusammengeklebte“ Werkstücke vorliegen. Die erste Probe bleibt an der Luft liegen, die zweite Probe wird vorsichtig in ein Glas mit Schraubverschluss gelegt und verschlossen, und das dritte Stück wird in einen mit Wasser gefüllten Plastikbecher gelegt, bei dem der Wasserspiegel allerdings den Mörtel nicht erreicht. Anschließend werden alle Probengefäße beschriftet und mehrere Tage stehen gelassen.

## „Kalk“ als Bindemittel für Mörtel – aber welcher?

### Beobachtung

	An der Luft	Unter Luftausschluss	Unter Wasser
Gruppe A	+	+	+*
Gruppe B	+	-	-
Gruppe C	-*	-	-
Gruppe D	+**	-	-

+ härtet aus // - bleibt flüssig

\* Bei den Proben unter Wasser ist darauf zu achten, dass der Mörtel nicht von den Fliesenstücken gespült wird.

\*\* An der Luft trocknet der Mörtel mit Kalkstein zwar und wirkt hart, er ist jedoch wenig stabil und zerbröckelt bei geringster Einwirkung.

### Auswertung

- ⊞ An der Luft und unter Wasser finden unterschiedliche Aushärtungsprozesse (Abbinden vs. Hydratation) statt.
- ⊞ Der Zement härtet infolge von Hydratationsprozessen ohne Kohlenstoffdioxid aus, indem Wasser unter Bildung von Calciumsilicathydraten in Calciumsilicat eingelagert wird.
- ⊞ Zum Abbinden des Calciumhydroxids wird Kohlenstoffdioxid, ein Bestandteil der Luft, benötigt, der jedoch im Schraubglas nicht in ausreichender Menge (abhängig vom Volumen des Schraubglases) vorhanden ist.
- ⊞ Unter Bezugnahme auf den Kalkkreislauf kann gezeigt werden, weshalb Branntkalk bindet und Muschelkalk nicht: Muschelkalk (Calciumcarbonat) müsste erst bei 900°C zersetzt werden, Calciumoxid dagegen wird durch das Wasser sofort zu Löschkalk umgesetzt und führt daher zu den gleichen Ergebnissen wie in Gruppe B.

### Entsorgung

Die hergestellten Proben können in der Folgestunde nach dem Aushärten zusammen mit den Einwegplastikschalen über den Hausmüll entsorgt werden.

### Literatur

Keune, H.; Boeck, H. (Hrsg.): Chemische Schulexperimente Band 2. Organische Chemie. Berlin: Verlag Volk und Wissen, 1998, S. 134f

## Die Wirkung von Zusatzmitteln auf Beton

### Einführung

Beton kommt im Bauwesen in verschiedenen Anwendungen unter unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen zum Einsatz. Diese vielfältigen Einsatzmöglichkeiten können nur durch die Zugabe diverser Zusatzmittel zum Beton realisiert werden. Dieser Versuch zeigt modellhaft die Wirkungsweisen von vier unterschiedlichen Betonzusatzmitteln auf.

### Material und Chemikalien

Plastikbecher, Spatellöffel, Spachtel, Plastikschaale, Messzylinder, Waage, Bechergläser (50ml)  
Zement, Sand, Wasser, Saccharose (Kristallzucker), Aluminiumsulfat, Tenside (Spülmittel), Methylcellulose (Tapetenkleister)

### Sicherheitsvorschriften

Aluminiumsulfat (Xn, gesundheitsschädlich)

Für die verwendeten Chemikalien gilt eine Tätigkeitsbeschränkung für Schülerinnen und Schüler bis Jahrgangsstufe 4.



Aluminiumsulfat: H318; P280-305+351+338

### Versuchsdauer

60 Minuten

### Durchführung

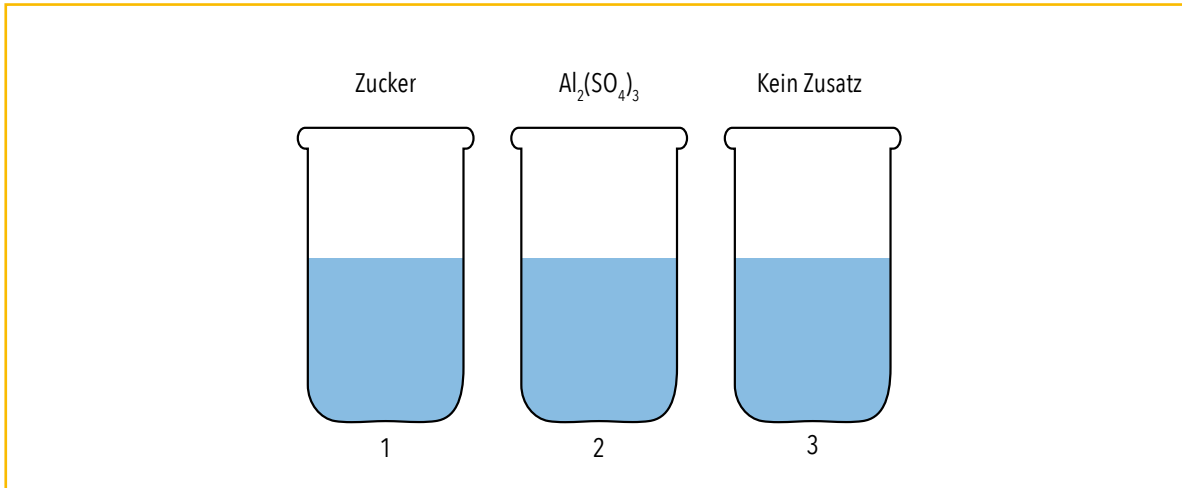
#### Herstellung des Betons

Es werden 45g Zement, 135g Sand und 50g Wasser in eine Plastikschaale gegeben und alle Bestandteile 3 Minuten lang mit einem Spachtel durchmengt. Der Ansatz wird auf 6 Plastikbecher verteilt.

## Die Wirkung von Zusatzmitteln auf Beton

### Gruppe A: Zugabe der Zusatzstoffe - Zucker und Aluminiumsulfat

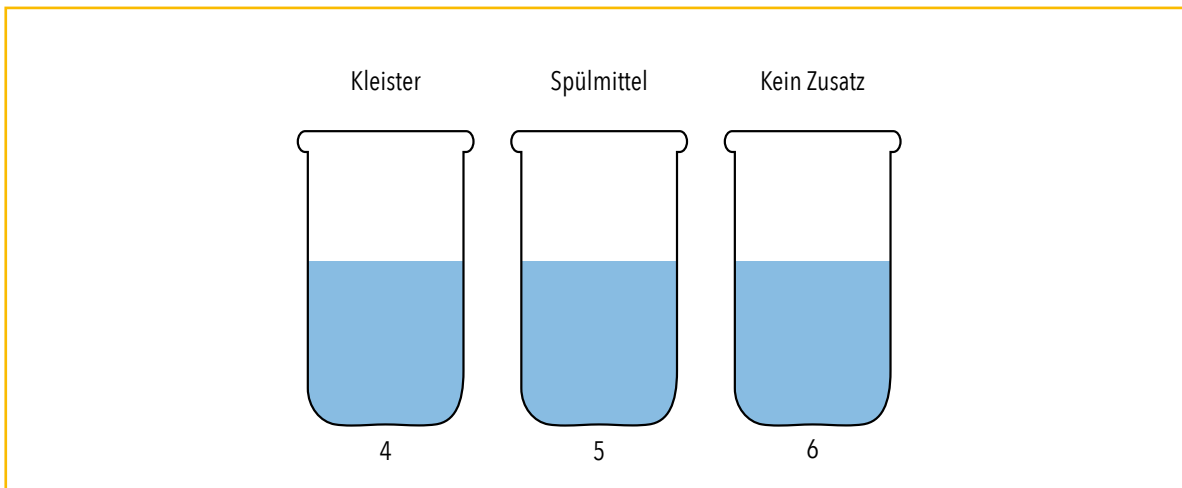
In den ersten Plastikbecher wird 1g Kristallzucker und in den zweiten Plastikbecher 1g Aluminiumsulfat gegeben; der Beton in Plastikbecher 3 dient als Vergleichsprobe.



Danach werden die Mischungen so lange gerührt, bis sich der jeweilige Zusatzstoff gleichmäßig im Beton verteilt hat. Nun werden die Betonproben fünf Minuten ausgehärtet. Über die reinen Beobachtungen hinaus ist es hilfreich, die Plastikbecher zu schwenken, einzudrücken oder mit einem Glasstab hineinzustechen, um Unterschiede in Konsistenz und Festigkeit festzustellen.

### Gruppe B: Zugabe der Zusatzstoffe - Tapetenkleister und Spülmittel

In den vierten Plastikbecher werden 10ml Tapetenkleister und in den fünften Plastikbecher 5ml Spülmittel hinzugefügt; der Beton in Plastikbecher 6 dient als Vergleichsprobe.



Danach werden die Mischungen so lange gerührt, bis sich der jeweilige Zusatzstoff gleichmäßig im Beton verteilt hat. Nun werden die Betonproben fünf Minuten ausgehärtet. Abseits von reinen Beobachtungen ist es hilfreich, die Plastikbecher zu schwenken, einzudrücken oder mit einem Glasstab hineinzustechen, um Unterschiede in Konsistenz und Festigkeit festzustellen.

## Die Wirkung von Zusatzmitteln auf Beton

### Beobachtung

Probe 1: An der Oberfläche der mit Kristallzucker versetzten Probe sammelt sich Wasser, und der Beton härtet langsamer aus.

Probe 2: Die Probe mit Aluminiumsulfat härtet deutlich schneller aus.

Probe 4: Tapetenkleister lässt den Beton zu einer zähen, gummiähnlichen Masse werden

Probe 5: Das Spülmittel „sorgt“ für kleine Luftbläschen im Beton.

### Auswertung

- ⬢ Verzögerer (Saccharose): Einsatz bei hohen Außentemperaturen, da hier die Hydratation des Zements beschleunigt abläuft und bei langen Fahrstrecken von Transportbeton, da hier die Verarbeitungszeit des Zements überschritten wird. Auch bei der Herstellung größerer massiger Bauteile ist es wichtig, die Verarbeitungszeiten von Beton zu verlängern und die Hydratation des Zements abzubremsen.
- ⬢ Beschleuniger (Aluminiumsulfat): Kommt zur Verwendung, wenn Beton extrem schnell erstarren und erhärten muss, z.B. Spritzbeton beim Tunnelbau.
- ⬢ Stabilisierer (Methylcellulose): Sie werden dem Beton vor allem zugegeben, um die Wasserabsonderung zu vermeiden, z.B. bei Leichtbeton, oder zur Vermeidung des Aufschwimmens der größeren Leichtzuschlagkörner. Je nach Modifizierung wirken die Stabilisierer auch etwas verflüssigend.
- ⬢ Luftporenbildner (Tenside): Erhöhte Frostbeständigkeit (Schaubild 1.4.3. Foliensatz). Luftporenbildner haben die Eigenschaft sich an den Grenzflächen zwischen Luft und Flüssigkeit anzulagern. Sie setzen die Oberflächenspannung herab, und so können sich, wie auch beim Seifenschaum, stabile Bläschen bilden.

### Entsorgung

Nach erneuter Beobachtung in der Folgestunde können die Plastikbecher mit dem Beton und die Plastikschaalen zum Anrühren des Betons über den Hausmüll entsorgt werden.

### Hinweis

Durchführung der Unterrichtsstunde als Partnerpuzzle

Es werden Gruppen mit je vier Schülern gebildet, je zwei in einer Gruppe erhalten die gleiche Aufgabe (dementsprechend Gruppe A oder B).

1. Jeder Schüler führt seine Experimente in Einzelarbeit durch.
2. Die beiden Schüler mit derselben Aufgabe vergleichen, erklären, korrigieren.
3. Je einer aus A&B erklärt, was durchgeführt wurde, erläutert die Ergebnisse und geht auf Rückfragen ein
4. A+A und B+B tauschen sich nochmal darüber aus, was ihnen in 3. erklärt wurde.

Das Arbeitsblatt 4 (Wandlungsfähiger Beton dank Zusatzmitteln) bietet sich als Hausaufgabe an.

### Literatur

Peter, R.: Herstellung von Gasbeton mit schulgemäßen Mitteln. In: PdN-Ch. 5 (1988) Nr. 37, S. 42f

## Darstellung von Polyurethan

### Einführung

Polyurethan entsteht, durch Reaktion eines Diols mit einem. Durch eine Polyaddition vernetzen sich die Moleküle innerhalb weniger Sekunden. Das Polyurethan härtet aus. Der Name rührt von der „Urethan-Gruppe“ (-NH-CO-O-) her, über die sich die Diol- und Diisocyanatmoleküle vernetzen.

### Material und Chemikalien

Pappbecher, Holzstab (zum Umrühren)

Desmophen (Diol), Desmodur 44V (Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat)

### Sicherheitsvorschriften

Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat (gesundheitsschädlich, reizend, krebserzeugend, sensibilisierend)

H351-332-373-319-335-315-334-317; P281-308+313-305+338+351-302+352-304+341

Desmophen (Diol): Desmophen wird in unterschiedlichen Produktzusammensetzungen angeboten.

Sicherheits- und Kennzeichnungshinweise entnehmen Sie bitte dem Sicherheitsdatenblatt des jeweiligen Herstellers.



### Versuchsdauer

20 Minuten

### Durchführung

Desmophen und Desmodur werden im abgeschätzten Volumenverhältnis 1:1 gemischt, indem zuerst Desmophen (ca. 1 cm hoch) in den Pappbecher gegeben wird und anschließend Desmodur 44V hinzugeführt und die Mischung mit dem Holzstab umgerührt wird, bis eine Gasentwicklung einsetzt.

## Darstellung von Polyurethan

### Beobachtung

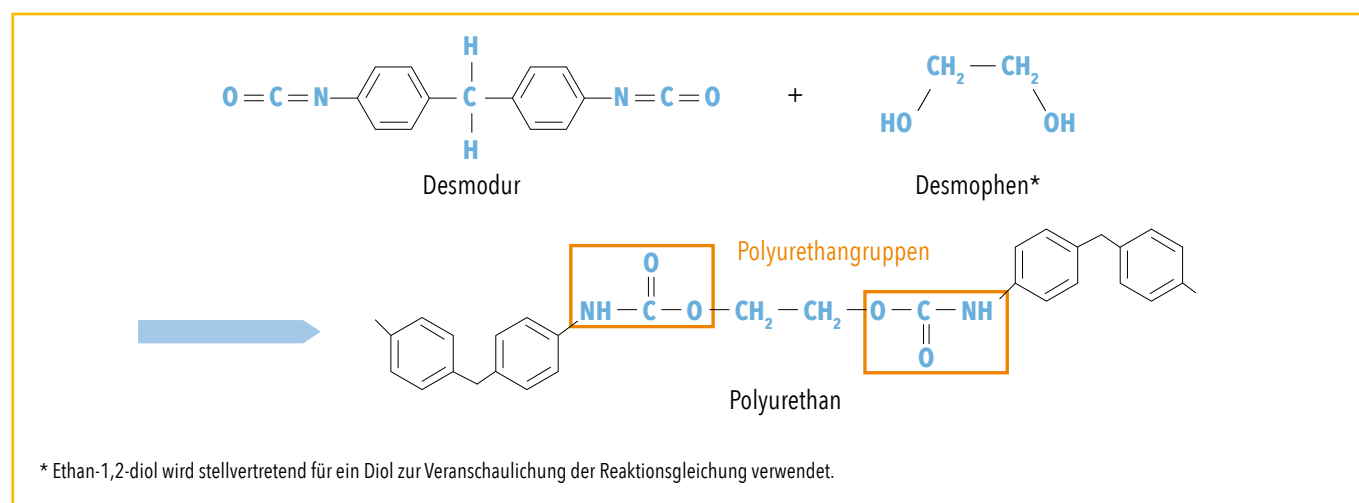
Das Reaktionsgemisch erwärmt sich unter Bildung eines gelblichen Schaumstoffs, der nach dem Abkühlen erhärtet. Ein Vergleich des Ausgangsvolumens der Flüssigkeiten mit dem Volumen des entstandenen Schaumstoffs, ergibt eine Volumenvergrößerung um das ca. 30-Fache.

### Auswertung

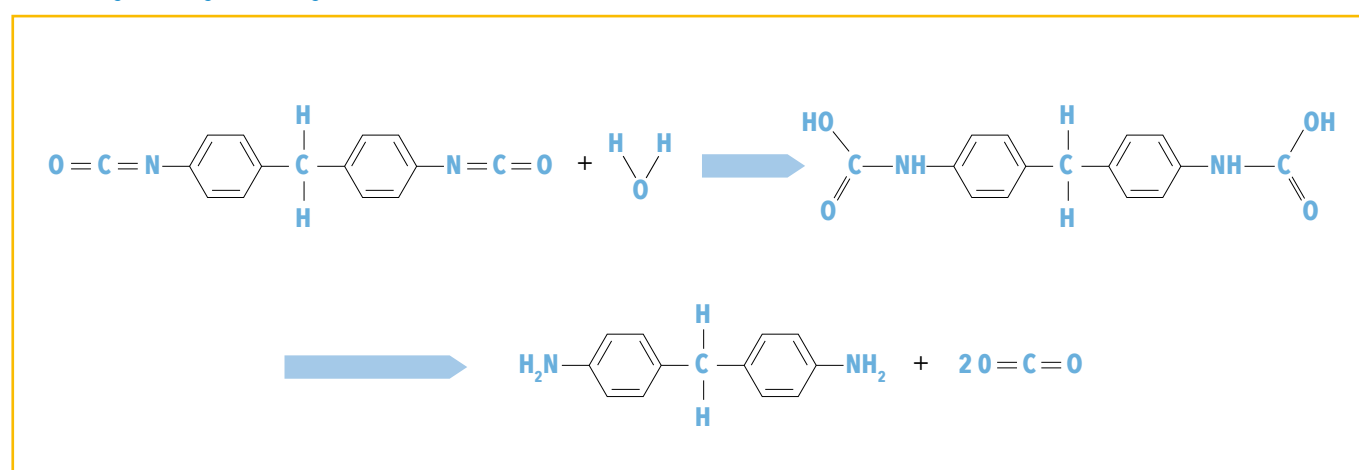
Das Diol Desmophen reagiert mit dem Diisocyanat Desmodur in einer Polyaddition zu einem Polyurethan, welches durch die „Urethan-Gruppe“ (-NH-CO-O-) charakterisiert ist.

Die Gasentwicklung ist auf eine Reaktion des im Desmophen enthaltenen Wassers mit Desmodur zurückzuführen. Bei dieser Reaktion wird Kohlenstoffdioxid als Treibmittel freigesetzt und damit das Volumen des Polyurethans vergrößert.

### Allgemeine Reaktionsgleichung



### Reaktionsgleichung der Treibgasreaktion



### Entsorgung

Bei der Entsorgung ist das Sicherheitsdatenblatt des Herstellers zu beachten.

### Literatur

Keune, H.; Just, M.: Chemische Schulexperimente. Band 2. Volk & Wissen, Berlin 1999, S.294f.

Bader, H.J. (Hrsg.): Handbuch der experimentellen Schulchemie – Band 12: Kunststoffe, Recycling, Alltagschemie.

Aulis Verlag, Köln 1997, S.14ff; 71f.

## Der Bau eines Modellhauses und dessen Alterung

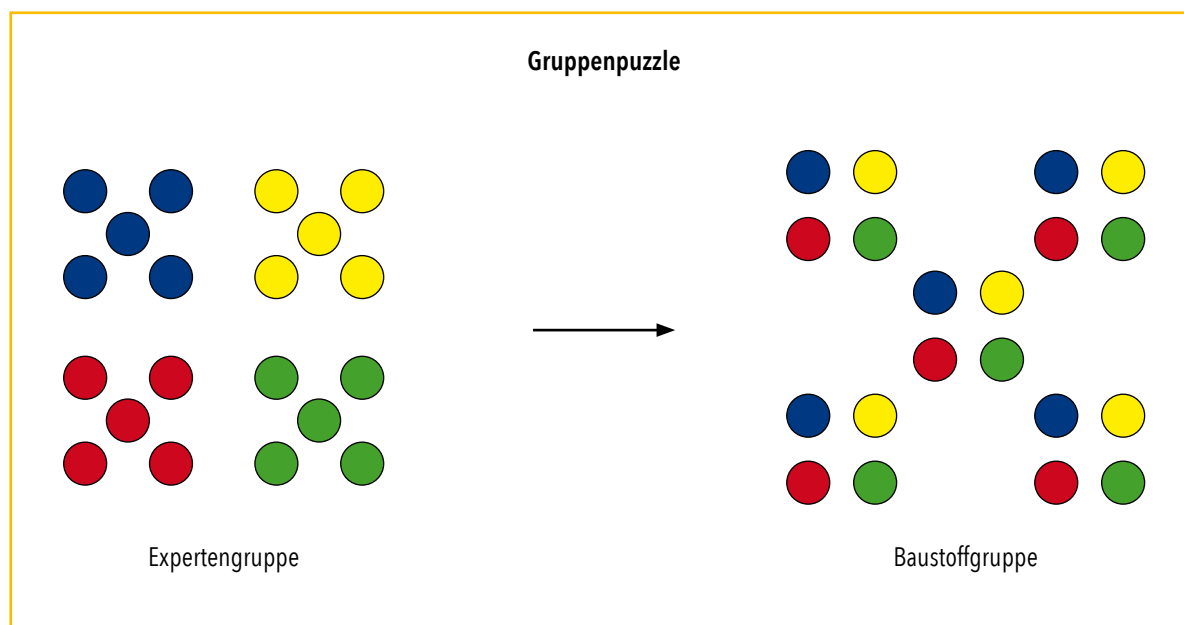
### Einführung

Jedes Haus altert im Laufe der Jahre. Dabei hat jeder Baustoff eine andere Lebensdauer. Die Dauerhaftigkeit eines Baustoffs oder der Zustand eines Gebäudes hängen aber auch davon ab, wie stark sie genutzt werden. So werden Bürogebäude und Industriebauten natürlich stärker beansprucht als ein Wochenendhaus. Und auch der Standort spielt bei der Alterung von Gebäuden eine Rolle, da sich unterschiedliche Umwelteinflüsse, wie beispielsweise eine intensive Sonnenstrahlung oder die salzige Luft am Meer auf die Beständigkeit der Baustoffe auswirken.

In diesem Versuch wird ein Modellexperiment durchgeführt, bei dem insbesondere der Umgang mit den Baustoffen Kalk, Holz, Beton, Lehm und Gips und deren Verarbeitung im Vordergrund stehen und darüber hinaus negative Umwelteinflüsse auf die jeweiligen Baustoffe untersucht werden.

### Methodischer Hinweis

Es wird zwischen der Experimentalsequenz und der Auswertungssequenz unterschieden. Während der Experimentalsequenz wird die Klasse in vier Expertengruppen entsprechend den zu untersuchenden Umwelteinflüssen (Kältegruppe, Wärmegruppe, Feuchtigkeitsgruppe, Säuregruppe) unterteilt. Dabei ist jede der vier Gruppen für die Herstellung der Normquader aus den unterschiedlichen Baustoffen und den Bau ihres Modellhauses selbst verantwortlich, so dass von der gesamten Klasse vier Modellhäuser gebaut werden. In der Auswertungssequenz finden sich die Schülerinnen und Schüler entsprechend der Baustoffgruppe (Kalk, Gips, Beton, Holz und Lehm – vgl. Arbeitsblatt 1) zusammen.



### Material und Chemikalien

Bechergläser (500 ml), Gussformen für Normquader (ca. 6x10x2cm), Heißklebepistole, Trockenschrank, Gasbrenner, Gefrierschrank, Wasserbad, feuerfeste Unterlage  
Kalk, Holz, Beton, Lehm und Gips (Sämtliche Baustoffe sind im Baumarkt erhältlich), Salzsäure (c=1 mol/l; Xi, reizend), Wasser.

### Sicherheitsvorschriften

Die Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Bindemittel sind zu beachten. Schüler- und Lehrerexperimente sind mit den zu verwendenden Stoffen ohne Einschränkung erlaubt.

### Versuchsdauer

90 Minuten/24 Stunden Trocknung



## Der Bau eines Modellhauses und dessen Alterung

### Durchführung

Ein Modellhaus wird aus den fünf unterschiedlichen Baustoffen Holz, Lehm, Kalk, Gips und Beton gemäß der Abb. 1 und 2 gebaut. Dabei verwendet man für jede Seite einen anderen der fünf Baustoffe.

Der Kalk, Beton und Gips werden entsprechend den Produkthinweisen angerührt und jeweils in eine der Gussformen gegeben, sie er härten bei Raumtemperatur. Aus Echtholzplatten werden Normquader (ca. 6x10x2cm) geschnitten, und aus Lehm werden Normquader geformt und getrocknet. Die einzelnen Normquader werden mit einer Heißklebepistole zu einem Pentagon, dem eigentlichen Modellhaus verbunden.

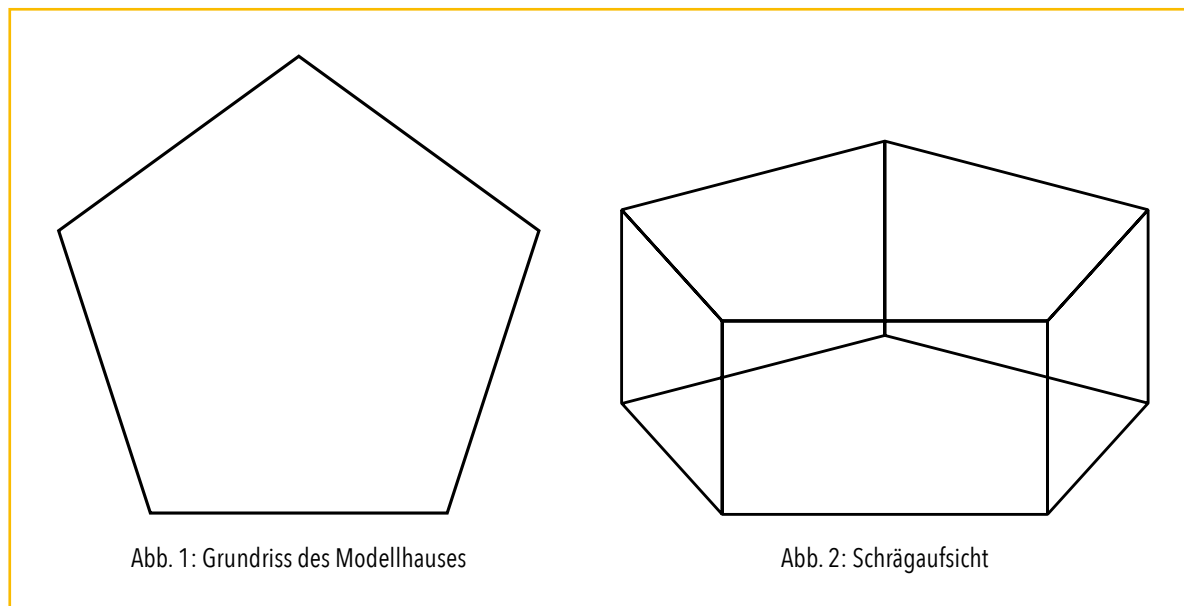


Abb. 1: Grundriss des Modellhauses

Abb. 2: Schrägaufsicht

Die Modellhäuser werden nun im Experiment jeweils einem Umwelteinfluss ausgesetzt. Bei allen simulierten Umwelteinflüssen (mit Ausnahme des Feuers) handelt es sich um Langzeitversuche, so dass die Modellhäuser dem jeweiligen Umwelteinfluss mehrere Tage bzw. Wochen lang ausgesetzt werden müssen, um gute Ergebnisse zu erzielen. Folgende Umwelteinflüsse können auf schulischer Ebene simuliert werden:

### Temperatur

a) Wärme, z.B. Sonne, Feuer

Das Modellhaus wird in einen Trockenschrank gestellt, so dass Wärme intensiv einwirkt.

Der Einfluss von Feuer wird durch den Gasbrenner simuliert, indem das Modellhaus auf einer feuerfesten Unterlage einige Zeit mit der Flamme in direkten Kontakt kommt. Das sollte aber nur als Lehrerdemonstrationsexperiment erfolgen.

b) Kälte, z.B. Frost

Ein Kälteeinfluss kann durch einen Gefrierschrank simuliert werden. Um Spannungsrisse zu erzeugen, wird das Modellhaus zuvor einige Minuten in ein Wasserbad gestellt, bevor es bei Minustemperaturen im Gefrierschrank verbleibt.

c) Feuchtigkeit: z.B. Regen, Luftfeuchtigkeit

Das Modellhaus wird in ein Wasserbad gestellt, um den direkten Einfluss von Feuchtigkeit zu zeigen. Optional können auch feuchte Lappen oder Sprühflaschen verwendet werden.

d) „Säure“: z.B. Saurer Regen

Zur Untersuchung der Auswirkungen von Säuren auf das Modellhaus wird Salzsäure in eine pneumatische Wanne gegeben und mit dem Modellhaus in Kontakt gebracht.

## Der Bau eines Modellhauses und dessen Alterung

### Beobachtung

Die Veränderungen der Baustoffe werden über den Prüfzeitraum durch die Schülerinnen und Schüler protokolliert. Die dargestellte Tabelle zeigt, welche Umwelteinflüsse eine negative Auswirkung auf die Baustoffe besitzen.

	Kalk	Holz	Stahlbeton	Lehm	Gips
Kälte	x			x	x
Wärme	x	x		x	x
Feuchtigkeit	x	x		x	x
Säure	x	x	x	x	x

x = Stoffliche Veränderung

### Auswertung

Eine Auswertung der Modellversuche kann durch Poster innerhalb der Gruppen erfolgen. Jede Gruppe fasst die experimentellen Ergebnisse ihres Baustoffs zusammen und recherchiert zusätzlich, in welchen Bereichen ihr Baustoff bevorzugt verwendet wird, und welche Gründe es dafür gibt.

### Entsorgung

Die Entsorgung der verwendeten Geräte und Chemikalien erfolgt über den Hausmüll.

### Literatur

[www.kalksandstein.de](http://www.kalksandstein.de)  
[www.betonverein.de](http://www.betonverein.de)  
[www.gips.de](http://www.gips.de)  
[www.holzbau-online.de](http://www.holzbau-online.de)  
[www.dachverband-lehm.de](http://www.dachverband-lehm.de)

## Sanierputz im Modellexperiment

### Einführung

Bei schlecht abgedichteten Altbauten dringt die Feuchtigkeit von außen in die Wände ein und transportiert gelöste Salze durch die Mauer bis an die Oberfläche der Wand (Versalzung des Mauerwerks). Kristallisieren die Salze aus, platzt der Putz großflächig ab. Für derartige Probleme gibt es eine gute Lösung: den Sanierputz. Die Wirkung des Sanierputzes beruht auf seiner mangelnden kapillaren Feuchtigkeitsleitfähigkeit. Das salztragende Wasser aus dem Mauerwerk kann durch die mangelnde kapillare Leitfähigkeit des Putzes nicht an die Oberfläche der Wand gelangen. Es verdunstet am Putzgrund und dampft durch die Poren ab. Die gelösten Salze kristallisieren aus und bleiben im Porenraum der Putzschicht zurück. Die hier beschriebenen Effekte werden durch folgendes Modellexperiment verdeutlicht.

### Material und Chemikalien

3 Blumentöpfe aus Ton (Innendurchmesser 15-25 cm), 3 Bechergläser (1000 ml), Spatel, Gummistopfen, 3 große Kristallisierschalen Natriumchlorid, Wasser, Sanierputz, herkömmlicher Putz

### Sicherheitsvorschriften

Schüler- und Lehrerexperimente sind mit den zu verwendenden Stoffen ohne Einschränkung erlaubt.

### Versuchsdauer

45 Minuten/1 Woche Einwirkzeit

### Durchführung

Zunächst wird im ersten Becherglas der Sanierputz mit Wasser angerührt. Dazu werden 500 g Sanierputz in ein Becherglas gegeben und die laut Hersteller empfohlene Menge Wasser hinzugefügt. Der Sanierputz wird so lange gerührt, bis sich ein gleichmäßig streichfähiges Gemisch gebildet hat. Die Viskosität des Gemischs kann durch Zugabe von Wasser oder Sanierputz variiert werden. Der herkömmliche Putz wird auf identische Weise angerührt.

Sollten sich im Boden der Blumentöpfe Löcher befinden, verschließt man diese mit Gummistopfen, um eine Undichtigkeit zu vermeiden. Der vorbereitete Sanierputz und der herkömmliche Putz werden nun jeweils auf Innenwand und Boden eines Blumentopfes aufgetragen und getrocknet (Trocknungszeit abhängig vom Hersteller).

Nachdem die Putze erhärtet sind, wird eine gesättigte Natriumchloridlösung hergestellt. Dazu werden 600 ml Wasser in ein Becherglas gegeben und so lange Natriumchlorid hinzugefügt, bis die Sättigungskonzentration erreicht ist. Die Natriumchloridlösung wird nun gleichmäßig auf die drei Kristallisierschalen verteilt. Die beiden präparierten Blumentöpfe und der unbehandelte Blumentopf werden jeweils in eine der drei Kristallisierschalen gestellt.

## Sanierputz im Modellexperiment

### Beobachtung

Abb. 1: Blumentöpfe in Seitenansicht



Ohne Putz

Herkömmlicher Putz

Sanierputz

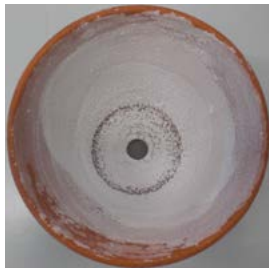


Abb. 2: Ohne Putz

Abb. 3: Herkömmlicher Putz

Abb. 4: Sanierputz

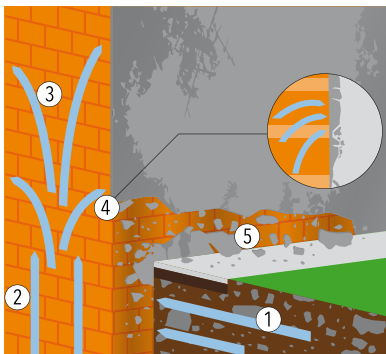
Alle Blumentöpfe zeigen die Kristallisation von Natriumchlorid an ihren Außenwänden (Abb. 1). Weiterhin erkennt man das Auskristallisieren von Natriumchlorid innerhalb der Blumentöpfe ohne Putzbehandlung und mit Behandlung durch herkömmlichen Putz (Abb. 2 und 3). Innerhalb des Blumentopfes mit Behandlung durch Sanierputz sind keinerlei Natriumchloridkristalle zu erkennen (Abb. 4). Die Vergrößerungen verdeutlichen diesen Effekt.

## Sanierputz im Modellexperiment

### Auswertung

Das Problem von feuchten Mauerwerken und die damit verbundene Instandsetzung durch Sanierputz werden durch folgende Abbildungen verdeutlicht. Dabei werden das reale Problem und dessen Lösung der modellhaften Vorstellung jeweils gegenübergestellt. Bei diesem Experiment simuliert der Blumentopf modellhaft das Mauerwerk und die Natriumchlorid-Lösung wird stellvertretend für die im Wasser gelösten Salze eingesetzt.

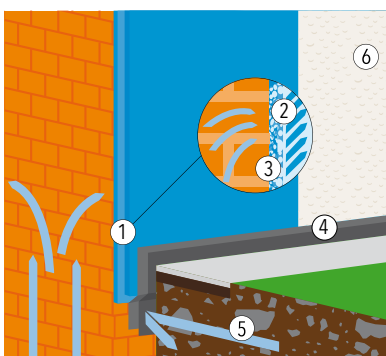
### Realität



Feuchte Wände entstehen unter anderem durch eine fehlende Horizontalsperre (2). Dadurch kann Wasser inklusive gelöster Salze in das Mauerwerk eindringen (1) und darin aufsteigen (3). Die Folge ist die Kristallisation der Salze an der Mauerwerksoberfläche, was zum Abbröckeln von Anstrich und Putz führt, (4) sowie zur Zerstörung der Mauerwerksoberfläche bis hin zum gesamten Mauerwerk (5).

Modell: Durch die Permeabilität des Blumentopfes ist eine Horizontalsperre nicht gegeben (2). Die Natriumchloridlösung kann in den Blumentopf eindringen (1) und darin aufsteigen (3). Die Folge ist das Abbröckeln des Putzes (4). Eine Zerstörung des Blumentopfes ist auf Grund der zeitlich begrenzten Einwirkzeit nicht zu simulieren.

### Realität



Die Lösung des Problems stellt die Verwendung von Sanierputz dar. Das Auftragen des Sanierputzes (1) führt zur Bildung einer Porenstruktur, durch die das Wasser leichter und schneller verdunsten kann (2). Die im Wasser gelösten Salze kristallisieren im Sanierputz aus (3). Die Feuchtzone wird herabgesenkt (4). Putz und Anstrich bleiben trocken und schön (5).

Modell: Der auf der Innenseite des Blumentopfes aufgetragene Sanierputz (1) bildet eine Porenstruktur aus, durch die das Wasser leichter und schneller verdunsten kann (2). Die Feuchtigkeitszone wird so herabgesenkt (3). Das im Wasser gelöste Natriumchlorid kristallisiert im Sanierputz aus (4), ohne einen Schaden am Putz zu verursachen (5).

### Entsorgung

Die Entsorgung der verwendeten Geräte und Chemikalien erfolgt über den Hausmüll.

### Hinweis

Vgl. Arbeitsblatt 12

## Der experimentelle Nachweis der Karbonatisierung

### Einführung

Bei der Hydratation von Zement, der chemischen Reaktion von Zement mit Wasser, entsteht neben anderen Reaktionsprodukten Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Durch Kontakt mit dem Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) in der Luft kommt es unter Freisetzung von Wasser zur Bildung von Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Diese Reaktion wird als Karbonatisierung bezeichnet:



Das Calciumhydroxid verleiht dem Beton sein natürliches alkalisches Milieu mit einem pH-Wert von mindestens 12,65, entsprechend einer gesättigten Calciumhydroxidlösung. Die Bildung von Calciumcarbonat führt zu einem langsamen Absinken des pH-Werts und einer damit verbundenen „Versauerung“ des Betons. Das alkalische Milieu, das die Stahlbewehrung im intakten Stahlbeton normalerweise vor Korrosion (Passivschutz) schützt, geht langsam verloren.

Die Folge der Karbonatisierung des Betons ist die Korrosion der Stahlbewehrung des Verbundwerkstoffs Stahlbeton.

### Material und Chemikalien

Beton, Kohlenstoffdioxid, Thymolphthalein-Lösung  
Exsikkator, Kunststoffbecher, Metallsäge, Sprühflasche

### Sicherheitsvorschriften

Schüler- und Lehrerexperimente sind mit den zu verwendenden Stoffen ohne Einschränkung erlaubt. Das Sicherheitsdatenblatt des verwendeten Betons ist zu beachten.

### Versuchsdauer

30 Minuten/3 Wochen Einwirkzeit

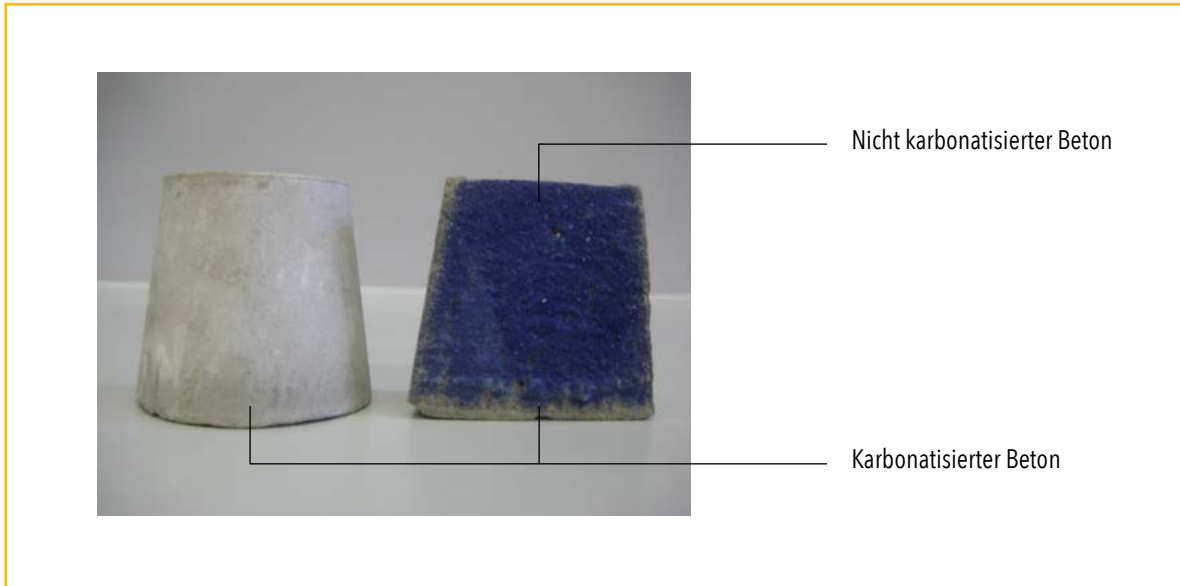
### Durchführung

Der Beton wird gemäß den Produkthinweisen angerührt, in einen Kunststoffbecher gegeben und bei Raumtemperatur getrocknet. Nach der Trocknung wird die Betonprobe aus dem Kunststoffbecher herausgenommen und für 3 Wochen in einen mit Kohlenstoffdioxid gefluteten Exsikkator gestellt.

Nach der Einwirkzeit durchtrennt man die Betonprobe mittels Metallsäge und besprüht die beiden Hälften von innen und von außen mit einer Thymolphthalein-Lösung.

## Der experimentelle Nachweis der Carbonatisierung

### Beobachtung



### Auswertung

Der Karbonatisierungsprozess ist anhand des dargestellten Bildes zu erkennen. Der Übergang zum karbonatisierten Beton ist durch den Farbumschlag offensichtlich. Der farblose Bereich zeigt den carbonatisierten Bereich der Betonprobe. Der blaue Bereich zeigt das alkalische Milieu des nicht karbonatisierten Betons an.

Der Umschlagsbereich von Thymolphthalein liegt zwischen pH 9.0 und pH 10.5.

### Entsorgung

Die Entsorgung der verwendeten Geräte und Chemikalien erfolgt über den Hausmüll.

### Hinweis

Zur Vertiefung des Themas eignet sich Arbeitsblatt 8: Korrosion von Stahlbeton durch Carbonatisierung.

## Hydrophobierung von Baumaterialien

### Einführung

Feuchtigkeit ist eines der gravierendsten Probleme für Planer, Baubeauftragte und Hausbesitzer beim wirksamen Schutz von Gebäuden. Zur Hydrophobierung von Baumaterialien werden u.a. Siliconöle verwendet. Ihre Grundbestandteile sind Polysiloxane, deren unverzweigte Ketten sich wechselweise aus aufeinanderfolgenden Silicium- und Sauerstoffatomen aufbauen und deren freie Valenzen mit organischen Resten abgesättigt sind.

Dieser Versuch zeigt die Hydrophobierung von Baumaterialien durch ein Siliconbautenschutzmittel.

### Material und Chemikalien

Bechergläser (100 ml), Glasstab, Pinsel, Spritzflasche (Wasser)

Siliconbautenschutzmittel (im Baumarkt erhältlich), Ziegelstein (optional: Gasbetonstein, Kalksandstein usw.)

### Sicherheitsvorschriften

Das Sicherheitsdatenblatt des verwendeten Siliconbautenschutzmittels ist zu beachten.

### Versuchsdauer

45 Minuten/2-3 Tage Trocknung

### Durchführung

In das Becherglas werden 50 ml Wasser gefüllt. Unter ständigem Rühren werden 5 g des Siliconbautenschutzmittels zugegeben, bis sich eine homogene Lösung gebildet hat. Die Lösung wird mittels Pinsel auf eine Hälfte des Ziegelsteins aufgetragen.

Die Trocknungszeit beträgt 2-3 Tage.

Nach dem Trocknungsprozess wird mit der Spritzflasche Wasser auf den Stein aufgebracht und das Abperlverhalten der Wassertropfen sowohl auf behandelte als auch auf unbehandelte Oberfläche untersucht.



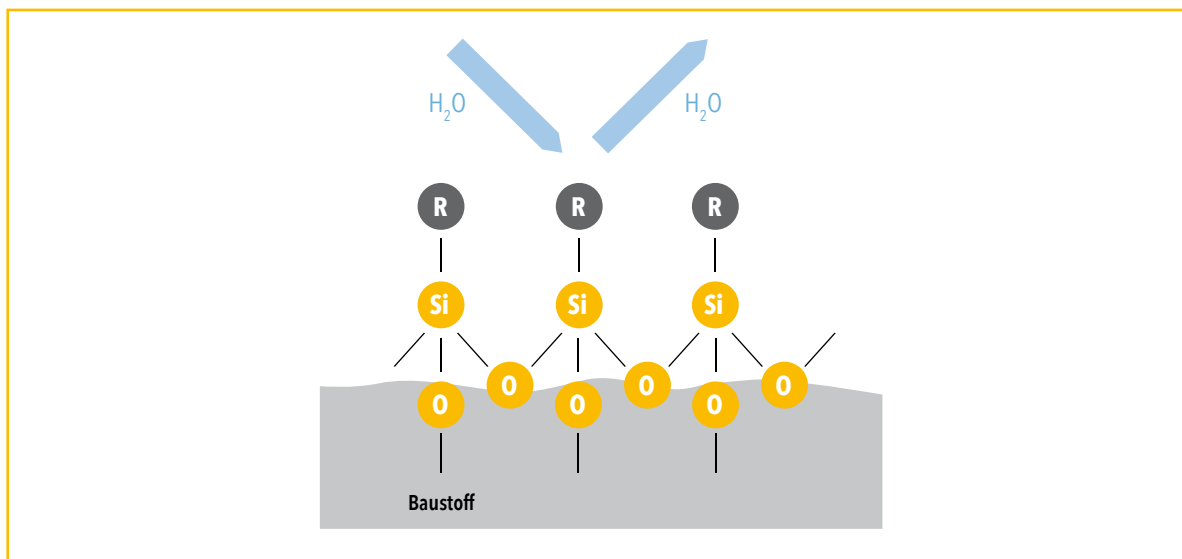
## Hydrophobierung von Baumaterialien

### Beobachtung

Die behandelte Oberfläche des Ziegelsteins zeigt einen schönen Abperleffekt, während die unbehandelten Oberflächen von dem aufgetragenen Wasser benetzt werden.

### Auswertung

Die hydrophilen Molekülbestandteile der Polysiloxane richten sich an der Oberfläche des Baustoffes so aus, dass sich die anorganischen Teile der Silicone an den strukturähnlichen Baustoff anlagern. Die wasserabweisende Wirkung tritt durch die organischen Reste auf, welche hydrophob sind und eine Sperre gegen das eindringende Wasser bilden.



### Entsorgung

Die Entsorgung der verwendeten Geräte und Chemikalien erfolgt in den Hausmüll.

### Hinweis

Der behandelte Ziegelstein kann für Demonstrationszwecke mehrere Jahre aufbewahrt werden. Allerdings ist die Emulsionslösung nur für etwa 24 Stunden stabil, danach treten Wirksamkeitsverluste auf.

### Literatur

Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule. Themenheft Silicone. Heft 7/2002.

## Lotuseffekt im Modellversuch

### Einführung

Der Lotuseffekt ist maßgeblich von zwei Faktoren abhängig. Zum einen bildet die Lotuspflanze eine wachshaltige Kutikula aus, die eine Hydrophobierung der Blattoberfläche bewirkt. Zum anderen weist die Blattoberfläche 10 bis 20 Mikrometer hohe Papillen auf, die 10 bis 15 Mikrometer voneinander entfernt sind. Sie verringern die Kontaktfläche und damit die Haftoberfläche des Wassertropfens. Die Synergie aus beiden Effekten, der Hydrophobierung und der Mikrorauigkeit führt zur sogenannten Superhydrophobie, die durch das Modellexperiment verdeutlicht wird.

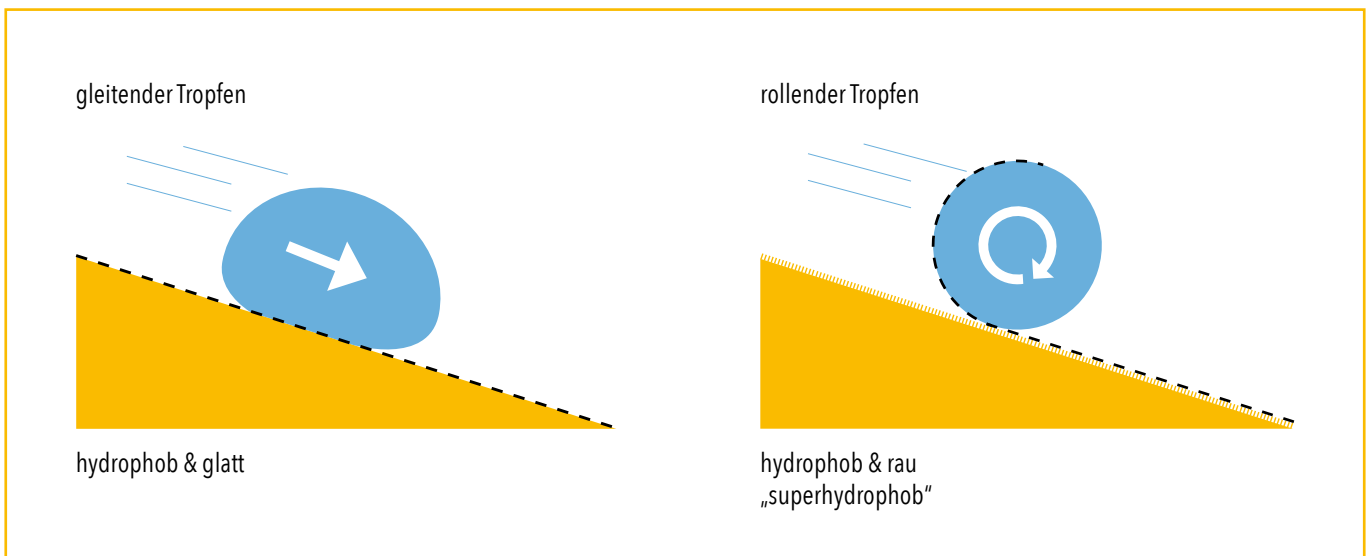


Abbildung. 1: Modell einer superhydrophoben Oberfläche

Zur Einführung kann der Lotuseffekt anhand folgender ausgewählter Pflanzen demonstriert werden: z.B. Kapuzinerkresse (*Tropaeolum*), Schilfrohr (*Phragmites*), Weißkohl (*Brassica*), Wassersalat (*Pistia stratiotes*), Frauenmantel (*Alchemilla*) oder die Akelei (*Aquilegia*).

### Material

Newtonscher Kraftmesser (2 N), Becherglas 500 ml, Kordel, mitteldichte Faserplatte (MDF-Platte) mit Bohrlöchern, Holzriffeldübel

### Sicherheitsvorschriften

Schüler- und Lehrerexperimente sind mit den zu verwendenden Stoffen ohne Einschränkung erlaubt.

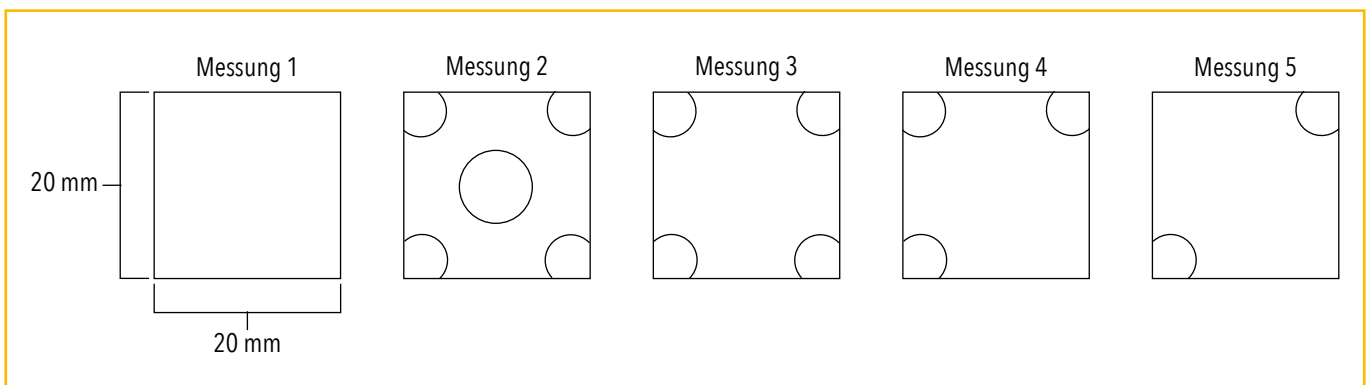
### Versuchsdauer

20 Minuten

## Lotuseffekt im Modellversuch

### Durchführung

Der Newtonsche Kraftmesser wird mit dem Becherglas mittels Kordel verbunden. Das Becherglas wird mit Wasser aufgefüllt, so dass es eine Gesamtmasse von 500g hat. Es werden insgesamt 5 Messungen durchgeführt. Die Skizze zeigt einen 20 x 20 mm großen Ausschnitt der präparierten MDF-Platte. Zunächst wird die Kraft gemessen, die benötigt wird, um das Becherglas über die glatte Holzoberfläche zu ziehen (Messung 1). Danach werden alle Bohrlöcher der MDF-Platte mit den passenden Holzdübeln besetzt, und es wird erneut verfahren, wie beschrieben (Messung 2). Nun werden sukzessive die einzelnen Holzdübel entfernt und erneut die benötigte Kraft gemessen (Messungen 3-5). Sämtliche Werte der Kraftmessung und der Kontaktoberfläche des Becherglases werden notiert.



## Lotuseffekt im Modellversuch

### Beobachtung

Die abgebildete Tabelle zeigt die Ergebnisse der Durchführung des Modellexperiments mit einem mit Wasser gefüllten Becherglas ( $m=500\text{ g}$ ). Dabei bezieht sich die theoretische Kontaktoberfläche auf einen  $2 \times 2\text{ cm}$  großen Ausschnitt der MDF-Platte.

Messung	Kraft (in N)	Kontaktoberfläche (in $\text{cm}^2$ )
1	1,00	4,00
2	0,70	0,40
3	0,65	0,20
4	0,60	0,15
5	0,50	0,10

### Auswertung

Die Werte der Kraftmessung werden gegen die Werte der Kontaktoberfläche aufgetragen. Generell sollte das Ergebnis eine proportionale Zuordnung ergeben, da die Kraft, die benötigt wird, um einen Gegenstand zu bewegen proportional zu dessen Kontaktoberfläche ist. Da das Becherglas jedoch aufgrund von Unebenheiten keine 100 Prozent Kontaktoberfläche besitzt, kann dieser Zusammenhang hier nur qualitativ beschrieben werden. So zeigt sich eine generelle Abnahme der Kraft in Korrelation mit der Verringerung der Kontaktoberfläche.

An dieser Stelle kann die Verbindung zwischen Pflanzenreich und Bauchemie gezogen werden. Der Aufbau des Modellexperiments zeigt ähnliche strukturelle Eigenschaften wie die Blattoberfläche von Lotuspflanzen. Durch die Verringerung der Kontaktoberfläche kann Schmutz weniger gut an der Blatt- oder Ziegeloberfläche haften bleiben und wird so leichter entfernt.

### Hinweise

Die für dieses Experiment benötigten Geräte können mit folgender Bauanleitung auf einfache Weise selbst hergestellt werden. Die Bilder zeigen den fertigen Versuchsaufbau.

1. Es werden horizontale und vertikale Linien in einem Abstand von  $20\text{ mm}$  auf die MDF-Platte gezeichnet (Stärke der MDF-Platte  $20\text{--}40\text{ mm}$ ).
2. Die Eck- und Mittelpunkte der so entstandenen Quadrate ( $20 \times 20\text{ mm}$ ) dienen dabei als Bohrpunkte.
3. Der Durchmesser des Holzbohrers muss dem Durchmesser eines Holzriffeldübel ( $\varnothing 6\text{ mm}$ , Länge  $35\text{--}40\text{ mm}$ ) entsprechen.
4. Die Bohrung der Löcher erfolgt mit einer Standbohrmaschine, da alle Löcher gleich tief und lotrecht sein sollten (Bohrtiefe  $10\text{--}15\text{ mm}$ ).
5. Nun können die Holzriffeldübel in die Bohrlöcher integriert werden.

Lotus-Effekt im Modellversuch

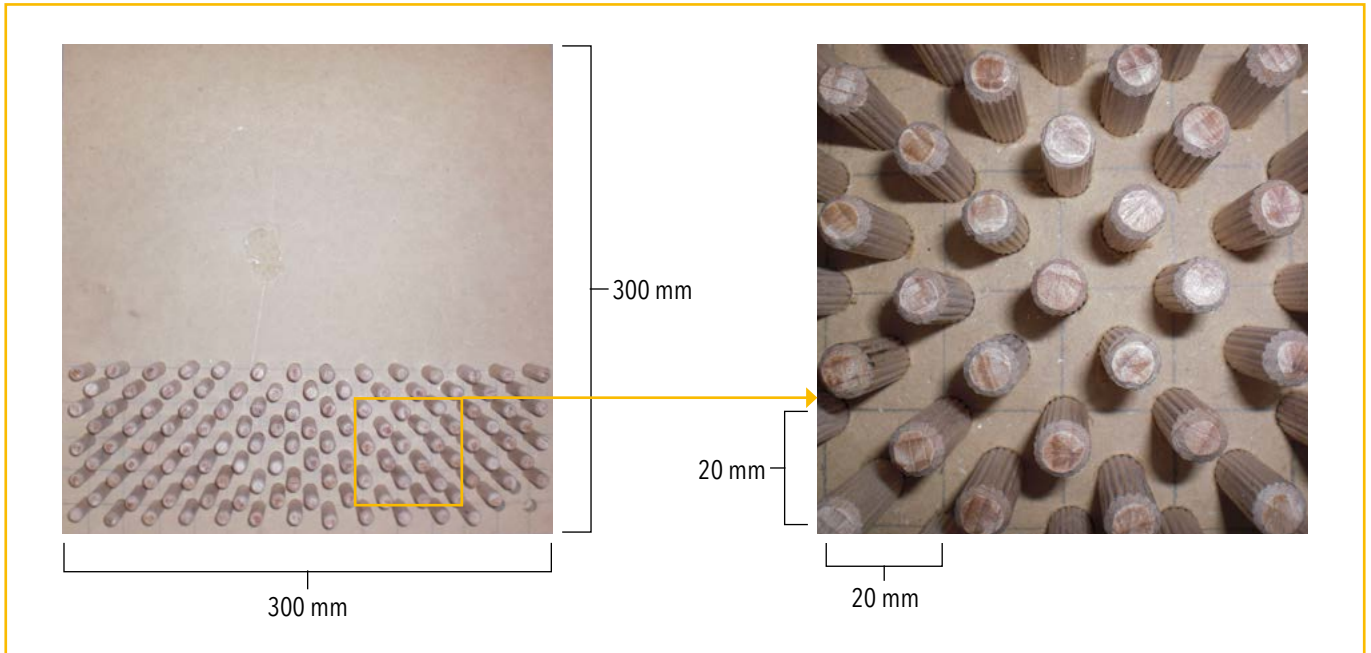


Abbildung 2: Schaffung einer strukturierten Oberfläche in Analogie zum Lotuseffekt - Modellversuch

## Selbstreinigende Oberflächen durch Hydrophobierung

### Einführung

Mineralische Bauwerksoberflächen sind in der Regel hydrophil, d.h. wasseranziehend. Ihre Struktur besteht aus verschiedenen Tonmineralien, die als Struktur hauptsächlich Tetraederschichten mit  $\text{SiO}_2$ -Tetraedern oder Oktaederschichten mit  $\text{AlO}_6$ -Oktaedern ausbilden. Mittlerweile ist es gelungen diese hydrophilen Gruppen zu maskieren und so die Bauwerksoberflächen zu hydrophobieren.

Der nachfolgende Versuch zeigt eine einfache Methode zur Hydrophobierung einer Oberfläche.

### Material und Chemikalien

2 Stücke eines Tondachziegels (10x10 cm), Sprühflasche,  
Wasser, Paraffin-Kerze

### Sicherheitsvorschriften

Schüler- und Lehrerexperimente sind mit den zu verwendenden Stoffen ohne Einschränkung erlaubt.

### Versuchsdauer

20 Minuten

### Durchführung

Ein Stück eines unbehandelten Tondachziegels wird über eine brennende Kerze gehalten, bis es von einer schwarzen Rußschicht bedeckt wird. Nachdem der Tondachziegel abgekühlt ist, wird sowohl der behandelte, als auch der unbehandelte Tondachziegel mit Wasser besprüht.

## Selbstreinigende Oberflächen durch Hydrophobierung

---

### Beobachtung

Auf dem mit Ruß überzogenen Tondachziegel bilden sich Wassertropfen, die sofort von diesem abperlen, ohne den Tondachziegel zu befeuchten. Auf dem unbehandelten Tondachziegel bildet sich ein gleichmäßiger Wasserfilm.

### Auswertung

Die unvollständige Verbrennung der Kerze sorgt dafür, dass sich Kohlenstoff (Ruß) und unverbranntes Paraffin als hauchdünne Schicht auf dem Tondachziegel absetzen. Durch die hydrophobe Eigenschaft des Paraffins kann das Wasser den Tondachziegel nicht benetzen und perlt als Wassertropfen sofort ab.

Ton besteht aus verschiedenen Tonmineralien, die als Strukturelemente hauptsächlich Tetraederschichten mit  $\text{SiO}_4$ -Tetraedern oder Oktaederschichten mit  $\text{AlO}_6$ -Oktaedern ausbilden. Diese Struktur führt dazu dass das Wasser den unbehandelten Tondachziegel benetzen kann.

### Entsorgung

Die Entsorgung der verwendeten Geräte und Chemikalien erfolgt über den Hausmüll.

## Dichtungsschlämmen – damit das Wasser draußen bleibt

### Einführung

„Bauen ist der stete Kampf gegen das Wasser!“ So lautet einer der wichtigsten Grundsätze der Baufachleute.

Eine der effektivsten „Waffen“, die den Bauingenieuren bei ihrem „Kampf“ gegen das Wasser zu Verfügung stehen sind die Dichtungsschlämmen.

Diese gehören zu den wohl ungewöhnlichsten Mörtelarten, denn dank ihres mitunter sehr hohen Polymeranteils von bis zu 40 Prozent ähneln sie im eingebauten Zustand eher einer Kunststoffbeschichtung, als einem klassischen mineralischen Mörtel. Fachleute sprechen dabei von „flexiblen“ oder „hochflexiblen Dichtungsschlämmen“. Diese sind so elastisch und zugleich haltbar, dass sie sogar bis zu mehrere Millimeter breite Risse überbrücken können ohne zu reißen. Bei massiven, festen Untergründen, die selbst nicht zur Rissbildung neigen (beispielsweise Kelleraußenwände) setzt man die „starren mineralischen Dichtungsschlämmen“ mit höherem Zementgehalt und sehr viel geringerem Polymeranteil ein.

In diesem Experiment soll die wassersperrende Wirkung von Dichtungsschlämmen an einem Modellkeller verdeutlicht werden.

### Material und Chemikalien

2 Blumentöpfe aus Ton (Innendurchmesser 16-18 cm), 1 Becherglas (1000 ml), Spatel, Heißklebepistole, 2 große Metallschalen, Dichtungsschlämmen (in jedem Baumarkt erhältlich)

### Sicherheitsvorschriften

Schüler- und Lehrerexperimente sind mit den zu verwendenden Stoffen ohne Einschränkung erlaubt.

### Versuchsdauer

45 Minuten/3 Tage Trockenzeit/1-2 Tage Einwirkzeit

### Durchführung

Zunächst werden im Becherglas die Dichtungsschlämmen mit Wasser angerührt. Dazu gibt man 500 g der Dichtungsschlämmen in ein Becherglas und füllt die laut Hersteller empfohlene Menge Wasser hinzu. Die Dichtungsschlämmen werden so lange gerührt bis sich eine streichfähige Mischung bildet. Die Viskosität der Mischung kann durch Zugabe von Wasser oder von Dichtungsschlämmen variiert werden.

Sollten sich im Boden der Blumentöpfe Löcher befinden, werden diese mit dem Klebstoff einer Heißklebepistole verschlossen, so dass kein Wasser mehr eindringen kann.

Die vorbereiteten Dichtungsschlämmen werden nun auf die Außenwand und den Boden eines Blumentopfes aufgetragen.

Nachdem die Dichtungsschlämmen getrocknet sind (Trocknungszeit abhängig vom Hersteller), wird der so präparierte Blumentopf in eine mit Wasser gefüllte Kristallisierschale gestellt. Mit dem unhandelten zweiten Blumentopf verfährt man auf identische Weise. Dieser wird in der Auswertung als Vergleich herangezogen.



## Dichtungsschlämmen - damit das Wasser draußen bleibt

### Beobachtung



Abbildung 1: Blumentöpfe in Seitenansicht (links: Unbehandelter Blumentopf, rechts: Behandelter Blumentopf)



Abbildung 2: Unbehandelter Blumentopf



Abbildung 3: Behandelter Blumentopf

Die Bilder zeigen das Ergebnis des Modellkellerexperiments. Während bei dem unbeschädigten Blumentopf das Wasser in das Innere des Blumentopfes eindringen konnte, bleibt das Innere des mit Dichtungsschlämmen versiegelten Blumentopfes trocken. Nach 24 Stunden konnte ein Anstieg des Wasserpegels im Inneren des unbeschädigten Blumentopfes auf 1 cm nachgewiesen werden.

### Auswertung

Dichtungsschlämmen bilden eine effektive Sperrschicht für Wasser. Zu den typischen Anwendungsgebieten gehören Kellerwände, Feuchträume, Schwimmbäder, Balkone oder Terrassen, bei denen Dichtungsschlämmen als wassersperrende Schicht eingesetzt werden.

### Entsorgung

Die Entsorgung der verwendeten Geräte und Chemikalien erfolgt über den Hausmüll.

## Die dämmende Eigenschaft von Polystyrol

### Einführung

In Deutschland gelten mehr als 50 Prozent aller Wohneinheiten als zu wenig gedämmt. Würden diese Wohnungen zum Beispiel mit Hartschaumplatten aus Polystyrol (Styropor) wärmegeklämt, könnte so der Heizölverbrauch pro Quadratmeter um bis zu zwei Drittel gesenkt werden.

In der Chemie werden häufig Kalorimeter verwendet, um die freigesetzte Wärmemenge von chemischen, biologischen oder physikalischen Prozessen zu bestimmen. Auch dabei ist eine gute thermische Isolierung entscheidend, um ein exaktes experimentelles Ergebnis zu gewährleisten.

In diesem Schülerexperiment erbauen die Schülerinnen und Schüler Modellhäuser aus Polystyrolplatten und bestimmen ähnlich wie mit einem Kalorimeter die Temperaturänderung mittels Thermometer.

Ziel dieses Experiments ist es, ein möglichst gut gedämmtes Modellhaus zu bauen und Wärmebrücken zu charakterisieren.

### Material und Chemikalien

Polystyrolklebstoff, Heißklebepistole, Thermometer, Infrarotthermometer, Becherglas (500 ml), Messer, unterschiedliche Holzplatten\*, Kunststoffrohr\*\* ( $\varnothing = 20$  mm), Polystyrolplatten\*\*\* (20 mm Stärke), Objektträger, Holzstäbe (Querschnitt 10 x 10 mm)\*\*\*\*, Aluminiumbleche (2– 4 mm Stärke)\*\*\*\*\*

\* Holzplatten:

1 Grundplatte (50 x 50 cm)

Dachkonstruktion: 2 Platten (30 x 15 cm);

In die eine Holzplatte der Dachkonstruktion wird ein Loch von 10 mm Durchmesser, in die andere wird ein Loch von 25 mm Durchmesser gebohrt.

\*\* Kunststoffrohr:

Das Kunststoffrohr kann zum Bau eines Kamins verwendet werden.

\*\*\* Polystyrolplatten:

2 Platten (25 x 30 cm), 2 Platten (25 x 20 cm), 1 Platte (18 x 18 cm)

Die Polystyrolplatten werden verwendet um die Mauern des Modellhauses zu bauen.

Folgende Größen werden benötigt: 0,5 m<sup>2</sup> Polystyrolplatte

\*\*\*\* Fenster:

Die Holzstäbe und Objektträger dienen zum Bau von Fenstern.

Es kann sowohl eine Einfach- als auch Doppelverglasung simuliert werden.

\*\*\*\*\* Türen:

Für den Bau der Türen verwendet man 2 Aluminiumbleche (10 x 5 cm).

### Sicherheitsvorschriften

Das Sicherheitsdatenblatt des verwendeten Polystyrolklebstoffs ist zu beachten.

### Versuchsdauer

90 Minuten

### Durchführung

Generell wird zum Verbinden zweier Polystyrolplatten ein Polystyrolklebstoff verwendet. Die anderen Elemente des Modellhauses (Holz-, Glas- und Aluminiumkonstruktionen) werden mit dem Klebstoff der Heißklebepistole an den Polystyrolplatten fixiert.

Die Modellhausskizze zeigt einen möglichen Aufbau des Hauses in der Frontalansicht (Rückseite gespiegelt).

Die Polystyrolplatten werden von den Schülerinnen und Schülern zurechtgeschnitten. Dabei werden Ausschnitte für die Fenster und Türen geschaffen. Die Verklebung der Hauselemente erfolgt gemäß Modellhausskizze. Die Bodenplatte wird nicht mit den Polystyrolplatten verklebt, sie dient als Unterlage. Durch die Bohrungen in den Holzplatten der Dachkonstruktion werden ein Thermometer (10 mm Bohrung) und der Kamin (25mm Bohrung) in das Modellhaus integriert. In einem 500 ml Becherglas werden 300 ml Wasser zum Sieden erhitzt und in das Modellhaus gestellt. Das Thermometer ragt dabei in das Wasser des Becherglases. Der Temperaturverlauf wird nun 15 Minuten lang protokolliert. Mit einem Infrarotthermometer können Wärmebrücken an Fenstern, Türen, Dach und Kamin identifiziert werden.

Die dämmende Eigenschaft von Polystyrol

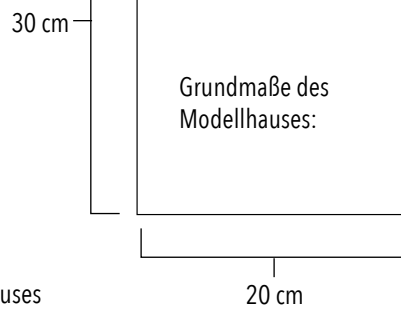
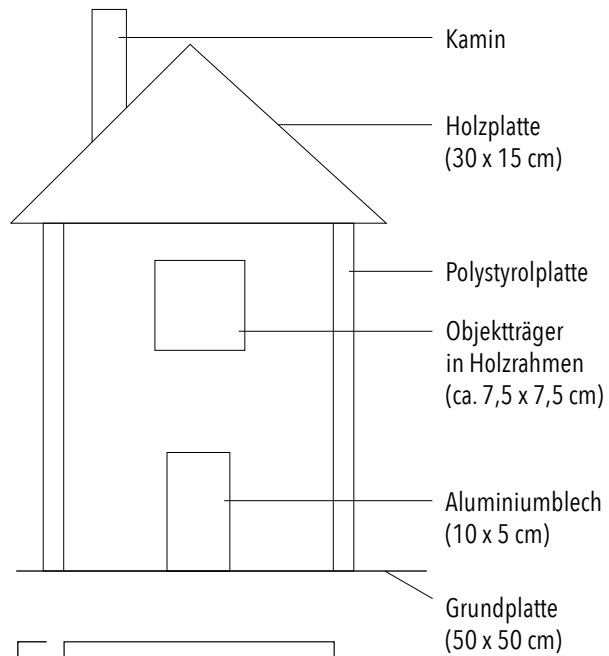


Abbildung: Anleitung zum Bau eines Modellhauses

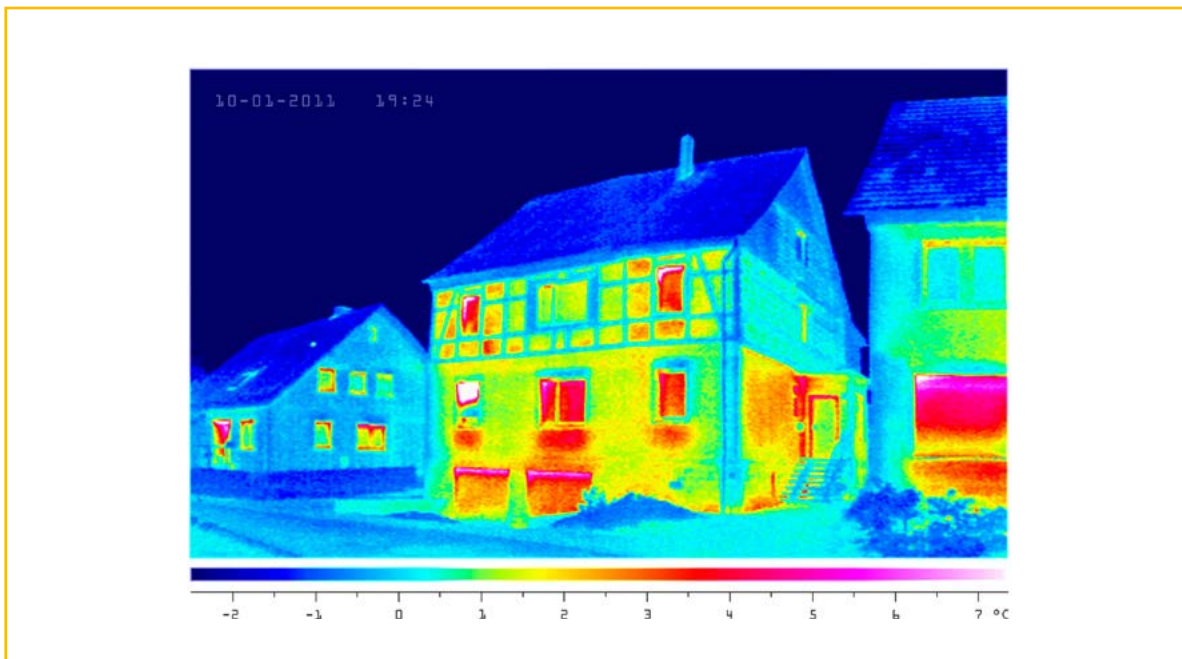
## Die dämmende Eigenschaft von Polystyrol

### Beobachtungen

Je nach Bauart der Modellhäuser nimmt die Temperatur schneller oder langsamer ab. Die Wärmebrücken zeigen sich insbesondere an Dach, Türen, Fenstern und Kamin.

### Auswertung

Eine der effektivsten Methoden zur Senkung des Energieverbrauchs von Gebäuden ist die Fassadendämmung. Dadurch wird verhindert, dass die Wärme aus den Innenräumen direkt über die Wände nach außen abgegeben wird. Die Schülerinnen und Schüler können mit dem Infrarotthermometer ermitteln, an welchen Stellen sich im Haus Wärmebrücken bilden. Dabei spielt auch die Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Materialien eine entscheidende Rolle ( $\lambda$ : Aluminium > Glas > Holz > Polystyrol). Zur Veranschaulichung können auch Wärmebildkameraaufnahmen von Hausfassaden herangezogen werden, die diesen Effekt eindringlich veranschaulichen.



### Entsorgung

Das Haus wird für nachfolgende Lerngruppen aufbewahrt.

### Hinweis

Die Schülerinnen und Schüler können in mehrere Gruppen eingeteilt werden und bauen jeweils ein Modellhaus in Gemeinschaftsarbeit.