

FCI  
FONDS DER  
CHEMISCHEN  
INDUSTRIE

 **DEUTSCHE  
BAUCHEMIE**



Themengebiet: Schule, Ausbildung, Bildung

Unterrichtsmaterial Bauchemie

## Von der Höhle zum Hochhaus



Dieses Unterrichtsmaterial ist in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bauchemie (DBC) entstanden und steht auch unter [www.vci.de/fonds](http://www.vci.de/fonds) zum Download bereit.

Die CD-ROM enthält Vorschläge für Experimente und Arbeitsblätter. Zudem sind die Abbildungen des Textheftes hinterlegt.



| ARBEITSBLATT | THEMA  | NIVEAU      | KAPITEL |
|--------------|--|-------------|---------|
| 1            | BAUSTOFFKORROSION  | MITTELSTUFE | 2       |
| 2            | KALKKREISLAUF UND DER EINSATZ VON KALK IM HAUSBAU                  | MITTELSTUFE | 2       |
| 3            | AUSGANGSSTOFFE FÜR BETON<br>(HAUSBAUZEITUNG „NOVITAS CAEMENTITIA“) | MITTELSTUFE | 4.1     |
| 4            | WANDLUNGSFÄHIGER BETON DANK ZUSATZMITTELN                          | MITTELSTUFE | 4.1.1   |
| 5            | DER TRANSPORT DER EMMAUSKIRCHE                                     | MITTELSTUFE | 4.2     |
| 6            | BAUCHEMISCHER ALLZWECKKLEBER: DER MÖRTEL                           | MITTELSTUFE | 4.2.1   |
| 7            | POLYURETHAN  | OBERSTUFE   | 4.3.1   |
| 8            | KORROSION VON STAHLBETON DURCH<br>KARBONATISIERUNG                 | OBERSTUFE   | 4.1.1   |
| 9            | KORROSION VON BEWEHRUNGSSTAHL DURCH<br>CHLORIDIONEN                | OBERSTUFE   | 4.1.1   |
| 10           | SYNTHESE VON POLYSILOXANEN   | OBERSTUFE   | 4.4.    |
| 11           | GRAFFITI ALS KONFLIKTFELD  | MITTELSTUFE | 3.2     |
| 12           | SALZBELASTETE WÄNDE - SANIERPUTZ IN DER<br>ANWENDUNG               | MITTELSTUFE | 3.1.3   |

| EXPERIMENT | THEMA   | NIVEAU      | KAPITEL |
|------------|---|-------------|---------|
| I          | „KALK“ ALS BINDEMittel FÜR MÖRTEL - ABER WELCHER?     | MITTELSTUFE | 2       |
| II         | DIE WIRKUNG VON ZUSATZMITTELN AUF BETON               | MITTELSTUFE | 4.1.1   |
| III        | DARSTELLUNG VON POLYURETHAN                           | OBERSTUFE   | 4.3.    |
| IV         | MODELLHAUS  | MITTELSTUFE | 2       |
| V          | DER EXPERIMENTELLE NACHWEIS DER<br>KARBONATISIERUNG   | OBERSTUFE   | 4.1.1   |
| VI         | HYDROPHOBIERUNG VON BAUMATERIALIEN                    | MITTELSTUFE | 3.1.3   |
| VII        | LOTUSEFFEKT IM MODELLVERSUCH                          | MITTELSTUFE | 7       |
| VIII       | SELBSTREINIGENDE OBERFLÄCHEN DURCH<br>HYDROPHOBIERUNG | MITTELSTUFE | 3.1.3   |
| IX         | SANIERPUTZ IM MODELLEXPERIMENT                        | MITTELSTUFE | 3.1.3   |
| X          | DICHTUNGSSCHLÄMMEN                                    | MITTELSTUFE | 4.2.2   |
| XI         | DIE DÄMMENDE EIGENSCHAFT VON POLYSTYROL               | MITTELSTUFE | 4.2.5   |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>DIDAKTISCHE GRUNDLAGEN</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>HISTORISCHE BAUSTOFFE</b>   | <b>8</b>  |
| 2.1      | Holz: Das älteste Baumaterial  | 8         |
| 2.2      | Lehm: Baustoff der Wüsten  | 8         |
| 2.3      | Kalk: Von der Muschel zum Baukalk  | 9         |
| 2.4      | Gips: Dank Klöstern auf Erfolgskurs  | 10        |
| 2.5      | Zement und Beton: Klassiker mit besten Zukunftsaussichten                  | 10        |
| <b>3</b> | <b>DIE ANWENDUNG DER BAUCHEMIE</b>   | <b>12</b> |
| 3.1      | Ein Haus entsteht  | 14        |
| 3.1.1    | Rohbau   | 14        |
|          | ● Fundamente, Decken und Wände   | 14        |
|          | ● Abdichtung des Kellers   | 15        |
|          | ● Abdichtung des Dachs   | 15        |
| 3.1.2    | Ausbau   | 16        |
|          | ● Boden, Wand und Decken   | 16        |
|          | ● Küche und Bad  | 17        |
|          | ● Balkon und Terrasse  | 17        |
|          | ● Heizökeller  | 18        |
|          | ● Fassade  | 18        |
| 3.1.3    | Schutz und Instandsetzung  | 18        |
|          | ● Feuchte Bauteile   | 19        |
|          | ● Salzbelastete Wände  | 21        |
| 3.2      | Spezielle Anwendungen der Bauchemie: Fernsehtürme, Brücken, Tunnel und Co. | 22        |
|          | ● Stark beanspruchte Betonbauten: Ingenieurbauwerke                        | 22        |
|          | ● Schutz und Abdichtung von Ingenieurbauwerken                             | 23        |
|          | ● Ingenieurbauwerke verstärken   | 23        |
|          | ● Schließen von Rissen: Rissverpressung                                    | 24        |
|          | ● Bodenbeschichtungen  | 25        |
|          | ● Antigrffiti-Beschichtung   | 25        |
| <b>4</b> | <b>DIE BAUCHEMISCHEN PRODUKTE</b>  | <b>26</b> |
| 4.1      | Beton: Auf die Mischung kommt es an  | 26        |
|          | ● Zement – ein Klebstoff   | 28        |
| 4.1.1    | Wandlungsfähiger Beton – dank Zusatzmitteln                                | 28        |
|          | ● Immer im Fluss: Verflüssiger und Fließmittel                             | 29        |
|          | ● Schaum gegen Eis: Luftporenbildner                                       | 28        |
|          | ● Immer schön langsam: Verzögerer  | 29        |
|          | ● Wenn es schnell gehen muss: Beschleuniger                                | 30        |
|          | ● Für die saubere Trennung: Betontrennmittel                               | 30        |
|          | ● Damit es keine Risse gibt: Betonnachbehandlungsmittel                    | 30        |
|          | ● Risse und Schäden an Beton   | 32        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.2      | Kleiner feiner Betonbruder: Der Mörtel                              | 35        |
| 4.2.1    | Fliesenverlege- und Fugenmörtel: Sicherer Halt an jeder Wand        | 36        |
| 4.2.2    | Dichtungsschlämmen: Damit das Wasser draußen bleibt                 | 38        |
| 4.2.3    | Bodenausgleichsmassen: Immer schön glatt                            | 39        |
| 4.2.4    | Putze und Klebemörtel: Schöne Wände und mehr                        | 40        |
| 4.2.5    | Gebäudedämmung: Gut für den eigenen Geldbeutel und für das Klima    | 41        |
| 4.2.6    | Reparaturmörtel   | 42        |
| 4.3      | Kunststoffe in der Bauchemie: Für jeden Einsatz das richtige Rezept | 43        |
| 4.3.1    | Reaktionsharze  | 43        |
|          | ● Epoxidharz (EP)   | 45        |
|          | ● Polyurethan (PU)  | 45        |
|          | ● MMA-Harze (MMA)   | 46        |
|          | ● Ungesättigte Polyester (UP)                                       | 47        |
|          | ● Polyurea (PUA)  | 47        |
| 4.3.2    | Polymerdispersionen und Redispersionspulver                         | 48        |
| 4.4      | Silane, Siloxane und Silikon  | 49        |
| 4.5      | Polysulfide   | 51        |
| 4.6      | Bitumen   | 51        |
| <b>5</b> | <b>UMWELTSCHUTZ UND NACHHALTIGKEIT: AUCH AM BAU EIN THEMA</b>       | <b>52</b> |
|          | ● Gebäude erhalten  | 52        |
|          | ● Energie sparen  | 52        |
|          | ● Gesund wohnen: Von wegen dicke Luft!                              | 53        |
|          | ● Boden und Gewässer schützen                                       | 54        |
|          | ● Ressourcen schonen  | 54        |
|          | ● Sicherheit für Mensch und Umwelt: Responsible Care                | 55        |
| <b>6</b> | <b>DÜNNER, HÖHER, WEITER UND FESTER</b>                             | <b>56</b> |
|          | ● Bauen am Limit: Ein hölzerner Riese                               | 56        |
|          | ● Bauen am Limit: Hochleistungsbeton in der Höhe                    | 56        |
|          | ● Bauen am Limit: Die längste Betonplatte der Welt misst 280 Meter  | 57        |
|          | ● Bauen am Limit: Neue Baustoffe entwickeln                         | 57        |
| <b>7</b> | <b>VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG</b>                               | <b>58</b> |
|          | ● Masse mit Klasse  | 58        |
|          | ● Bauwerke erhalten: Vom Korrosionsschutz bis zum Kulturerbe        | 58        |
|          | ● Kreativ und fortschrittlich                                       | 59        |
| <b>8</b> | <b>GLOSSAR</b>  | <b>60</b> |
|          | <b>LITERATUR</b>  | <b>62</b> |
|          | <b>IMPRESSUM</b>  | <b>63</b> |

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im gesamten Textheft die männliche Sprachform gewählt. Im Glossar können die mit \* markierten Begriffe nachgeschlagen werden.



Wer denkt schon an Chemie, wenn er Baukunst bewundert? Wohl kaum jemand, doch ohne Chemie geht am Bau gar nichts: keine Straßen, Brücken oder Flughäfen, keine Wohn- und Geschäftshäuser, keine Gebäude für Freizeit und Sport, und schon gar keine zukunftsweisenden Bauprojekte, wie das höchste Gebäude der Welt, der über 800 Meter hohe Wolkenkratzer Burj Khalifa in Dubai. Dabei ist es mit den gängigen Baustoffen und -materialien, wie Kalk, Sand, Zement, Gips oder Holz nicht (mehr) getan; es kommt vor allem auf die richtigen Zusatzmittel an, um einem Baustoff besondere Fähigkeiten zu verleihen. Beispielsweise Betonverflüssiger und Fließmittel, die den Beton leicht verarbeitbar machen, oder Verzögerer, die seine Erhärtung hinauszögern. Das Gegenteil bewirken Beschleuniger, die das Aushärten des Betons im Extremfall sogar in wenigen Sekunden ermöglichen.

„Bedrohungsfaktoren“ (Umwelteinflüsse), wie beispielsweise Wasser, Salze oder stark schwankende Temperaturen setzen den Bauwerken zu. Es kommt also nicht nur auf die fachkundige Auswahl des jeweiligen Baumaterials an. Auch Wartungs- und Reparaturarbeiten sind wichtig, damit ein Haus lange intakt bleibt. So stellt sich auch die Frage nach „Prophylaxe“ bzw. „Therapie“.

Das didaktische Konzept dieser Informationsserie stellt die drei Bereiche „Baumaterial“, „Bedrohung“ und „Prophylaxe bzw. Therapie“ vor.

Hier begegnen sich Stoffchemie, physikalische Kenndaten, chemische Reaktion und Strategien der Erkenntnisgewinnung. Darüber hinaus werden zahlreiche Vorschläge für Experimente gemacht. Von besonderer didaktischer Bedeutung sind Modellexperimente, die die Funktions- oder Wirkungsweise in den Vordergrund stellen.

So kann zum Beispiel durch die experimentelle Untersuchung der Wirkung von Zusatzmitteln auf Beton gezeigt werden, dass es vor allem auf die richtigen Zutaten ankommt, um einem Baustoff besondere Fähigkeiten zu verleihen.

Als Beispiel für eine „Bedrohung“ eines Bauwerkes kann die Korrosion der Stahlbewehrung des Verbundwerkstoffs Stahlbeton durch Karbonatisierung im Unterricht behandelt werden.

Exemplarisch für den Bereich „Therapie“ ist das Modellexperiment, mit dem die Wirkung von Sanierputz bei feuchten Wänden modelliert wird. Der Aspekt „Salzspeichernder Sanierputz“ bietet eine Verknüpfung mit dem Themenfeld „Salze“ der Sekundarstufe I. Stehen die Strategie der Erkenntnisgewinnung und die phänomenologische Betrachtung des Ergebnisses im Vordergrund, so eignet sich das Beispiel auch für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht.

Insgesamt lassen sich viele Beispiele bereits in der Sekundarstufe I einbinden, so dass die „Bauchemie“ eben nicht nur der Sekundarstufe II vorbehalten bleibt (vgl. Übersicht zu Niveaustufen der Arbeitsmaterialien, S. 3).

Mit dem Thema „Bauchemie“ können also Basiskonzepte und Fachmethoden der Chemie eine originäre Kontextanbindung erfahren und zur Entwicklung eines funktionalen und naturwissenschaftlichen Wissens beitragen.





Wohnhäuser, Kirchen, Schlösser, Brücken – für uns etwas völlig Alltägliches. Unvorstellbar, dass die Menschen noch vor 20.000 Jahren in Höhlen, Erdgruben und unter Felsvorsprüngen gelebt haben. Doch der Wunsch nach Geborgenheit und Komfort wuchs im Lauf der Jahrhunderte. Es wurde gebaut: erst mit Holz, Natursteinen und Lehm, später mit Ziegeln und Beton. Schon vor mehr als 10.000 Jahren wurden Kalk und Gips als Bindemittel verwendet, und vor rund 2.000 Jahren stellten die Römer aus gebranntem Kalk und Tonmineralien, Sand und Bruchsteinen Beton her.

### 2.1 Holz: Das älteste Baumaterial

Holz ist untrennbar mit der Entwicklungsgeschichte der Menschheit verbunden. Bereits um 10.000 vor Chr. entstanden die ersten Holzhäuser. Holz war das wichtigste Bau- und Heizmaterial der Antike. Und nur dort, wo es viel Holz gab, entstanden Siedlungen. Seine Stabilität und Festigkeit machte Holz zum idealen und neben Stein zum tragenden Bau- und Werkstoff bis weit in das 19. Jahrhundert hinein (Fachwerkbau). Heute ist der Rohstoff gefragter denn je: als umweltfreundlicher Baustoff und als CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle. Holz altert aber durch Frost, Sonnenbestrahlung oder Feuchtigkeit, zudem wird es von Pilzen und Insekten befallen. Es muss geschützt werden. So haben sich die Menschen schon früh mit Schutzanstrichen wie etwa Kalkfarben beschäftigt. Heute stellt die Bauchemie solche Materialien und Schutzsysteme in großer Vielfalt zur Verfügung.



### 2.2 Lehm: Baustoff der Wüsten

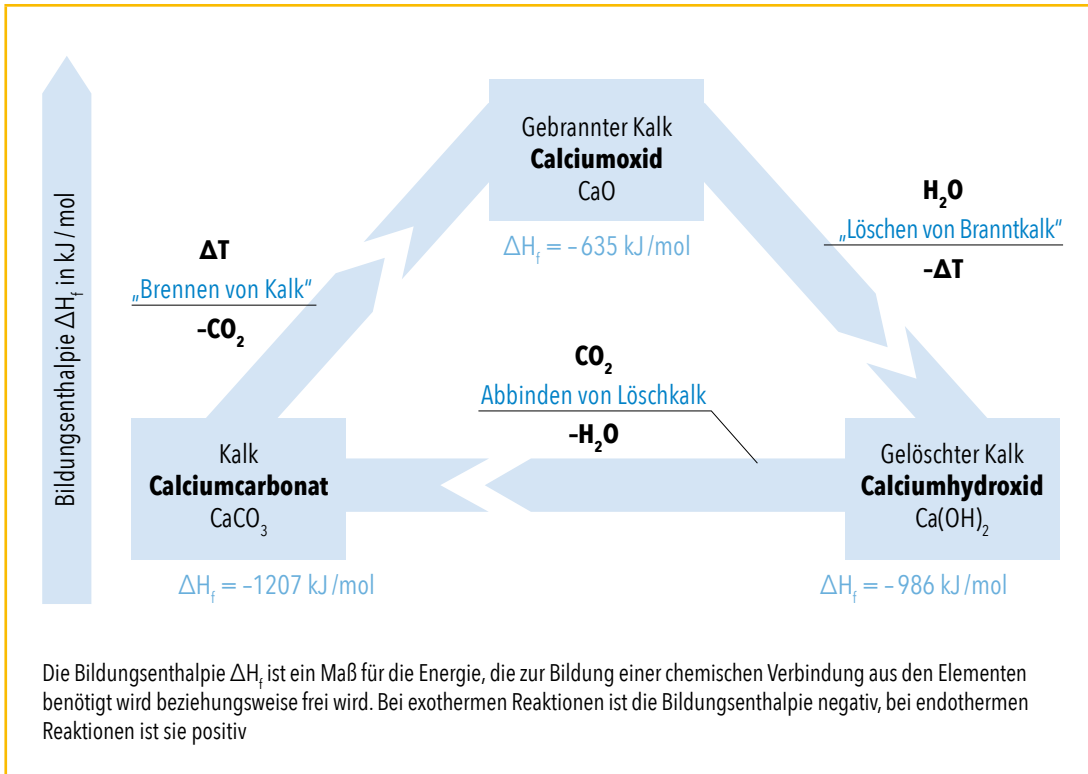
Neben Holz ist Lehm das älteste Baumaterial der Menschheit. Das Gemisch aus Ton, Feinsand (Schluff) und Sand wird seit Menschengedenken zum Bauen eingesetzt und war in beinahe allen alten Kulturen ein wichtiger Baustoff. Seine Wurzeln hat der Lehm in den trockenen Gebieten Vorderasiens und im Nahen Osten. Die ersten Städte der Menschheit wie Jericho wurden aus Lehm gebaut, und auch für den Babylonischen Turm, Teile der Chinesischen Mauer sowie große Gebäude wie die Moschee von Djenné in Mali wurde Lehm als Baustoff verwendet. Als Weltkulturerbe fasziniert Besucher noch heute die sagenhafte Altstadt von Sanaa im Jemen: Aus luftgetrockneten Lehmziegeln schufen die Baumeister vor mehreren Hundert Jahren Hochhäuser und Türme mit bis zu zehn Stockwerken. Schon früh hatten es die Menschen verstanden, Lehm (Ton) zu Ziegeln zu brennen und ihn damit wasserunempfindlicher zu machen. Dabei entstehen je nach Brenntemperatur sehr dichte und widerstandsfähige Bausteine. Wurde reiner Lehm als Mauermörtel oder Putz verwendet, wurde er schon in der Antike mit Tierhaaren versetzt, um Risse zu verhindern. Eine wasserabweisende Wirkung (Hydrophobierung) wurde durch den Anstrich mit Ölen und Fetten erreicht.



Altstadt von Sanaa im Jemen



Kalkkreislauf mit Bildungsenthalpie  $\Delta H_f$



### 2.3 Kalk: Von der Muschel zum Baukalk

Wann der Mensch entdeckte, dass natürlicher Kalkstein gebrannt und mit Wasser gelöscht werden kann, um danach an der Luft zu erhärten und damit als Bindemittel ideal zur Mörtelherstellung verwendet zu werden, weiß niemand genau. Kalkmörtelfunde in der Osttürkei zeigen aber, dass diese Kenntnisse schon vor rund 14.000 Jahren angewandt wurden. Kalk ist das älteste Bindemittel für Mauer- und Putzmörtel. Die Römer waren es schließlich, die ihn im großen Stil einsetzten, da der Ausgangsstoff Kalkstein im gesamten Römischen Reich zur Verfügung stand. Wie beim Lehm wurden schon in der Antike dem Kalk Eiweiße zur Verbesserung der Dichtigkeit oder Öle zur Hydrophobierung zugegeben. Schon diese Gemische hatten also Eigenschaften, die durchaus denen der modernen bauchemischen Produkte ähneln. Auch heute noch gehört Kalk zu den wichtigen Baumaterialien, besonders im Bereich der Putze. Aber auch für die Herstellung von Porenbetonsteinen\* und Kalksandsteinen ist Kalk unerlässlich.



Muschelschalen bestehen aus Kalk



Stuckaturen aus Gips

## 2.4 Gips: Dank Klöstern auf Erfolgskurs

Ein weiteres mineralisches Bindemittel ist der Gips (Calciumsulfatdihydrat). Der älteste Nachweis geht bis in die Zeit um 9.000 v. Chr. zurück: In der Stadt Catal Huyuk in Kleinasien wurde mit Gipsputz ein Untergrund für dekorative Fresken geschaffen. Die alten Ägypter füllten mit einem Gemisch aus Gips und Kalk die Hohlräume beim Pyramidenbau. Von den Griechen über die Römer erreichte das Wissen um den Gips schließlich Mittel- und Nordeuropa, geriet allerdings mit dem Abzug der Römer zunächst in Vergessenheit. Die Klöster verhalfen dem Gips ab dem 11. Jahrhundert zu einer Renaissance: Strohfasern und Rosshaar wurden unter den Gips gemischt, der sich dann optimal eignete, um Fachwerkkinnenwände auszufüllen.

Gips wird aus Gipsstein (Calciumsulfatdihydrat) gebrannt, allerdings im Vergleich zum Kalk bei geringeren Temperaturen, so dass die Herstellung weniger aufwendig ist. Gips hat den Vorteil, dass er sehr schnell reagiert und hart wird. Damit macht er schnelles Bauen möglich. Gips war für die Baumeister der Renaissance, des Barocks, des Rokoko und des Jugendstils ein wichtiges Grundmaterial. Erst Gips machte den Formenreichtum dieser Baustile möglich.

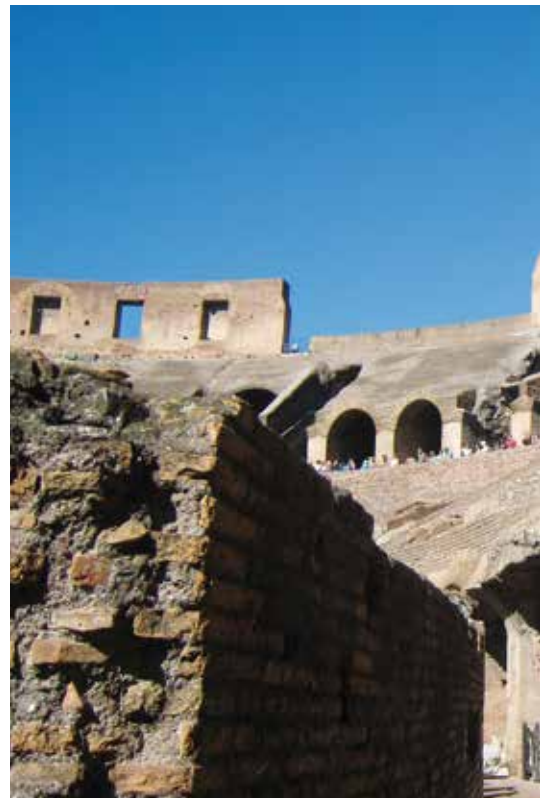
Allerdings ist Gips nicht wasserbeständig und daher nur im Innenbereich anwendbar.

## 2.5 Zement und Beton: Klassiker mit besten Zukunftsaussichten

Sie hielt fast 2000 Jahre lang den Rekord: die Kuppel des Pantheons (120 n. Chr.) in Rom. Ihre Spannweite von 43 Metern wurde erst viele Jahrhunderte später, nämlich 1911, mit dem Bau der Jahrhunderthalle in Breslau übertroffen. Der für das Pantheon verwendete Römische Beton, bekannt als Opus Caementitium, ist eine der bedeutendsten Erfindungen in der Baugeschichte. Der lateinische Fachbegriff setzt sich aus den Wörtern „opus“ (Werk/Bauwerk) und „caementitium“ (Mauerstein/Bruchstein) zusammen.

### HINWEIS

Schon früh hat der Mensch verstanden, dass es vor allem auf die richtigen Zutaten ankommt, um einem Baustoff besondere Fähigkeiten zu verleihen. Genau das macht heute die Bauchemie. Sie liefert Hightech-Chemikalien, die als Zusatzmittel und Zusatzstoffe moderne Baustoffe fester, härter und dauerhafter machen. Dabei genügen schon kleine Mengen, um die Eigenschaften von Betonen, Dichtstoffen oder Mörteln erheblich zu verändern.



Römischer Beton, Kolosseum



Bisweilen sprechen Experten sogar von einer „Revolution der Bautechnik“. Römischer Beton wurde aus Steinen, Sand, Wasser, gebranntem Kalk und Puzzolanen (Eruptionsstoffe aus Vulkanen, die mit Kalk zusammen zementähnlich reagieren) gemischt und erhärtete – wie der heutige Beton – zu einem künstlichen Stein. Welche Chemie in dem Werkstoff steckte, wussten die Römer freilich noch nicht. Die Leistung der Römer und ihrer Vorfahren bestand darin, diesen Beton allein durch Ausprobieren und Erfahrung entwickelt zu haben. Sie setzten dem Beton Milch, Eier, Ochsenblut oder auch Ziegelmehl zu, um ihn besser verarbeiten zu können, ihn wasserdichter zu machen oder um höhere Festigkeiten zu erreichen.

„Flüssiger Stein“ – so bezeichnete einst der große römische Baumeister Vitruv (ca. 70–10 v. Chr.) den Römischen Beton.

Treffender und kürzer lässt sich der Baustoff wohl kaum definieren. Werden Zement, Wasser und Gesteinskörnungen wie Kies und Sand gemischt, können mit diesem klassischen Beton „normale“ Häuser und Gebäude – Decken, Wände, Stützen, Hauseinfahrten oder Gartenteiche – gebaut werden.

Der Einsatz von „Bauchemie“ in Form von bestimmten Zusätzen, etwa ausgewählten Feinstoffen und Betonzusatzmitteln, macht schließlich schwindelerregende Wolkenkratzer, futuristische Brückenkonstruktionen und monumentale Gebäude, Betonstraßen, Tunnel, Kläranlagen oder Schleusenbauwerke möglich.

#### LEHRER-INFO

|                 |   |
|-----------------|---|
| Arbeitsblatt 1: | Baustoffkorrosion                                 |
| Arbeitsblatt 2: | Kalkkreislauf und der Einsatz von Kalk im Hausbau |
| Experiment I:   | „Kalk“ als Bindemittel für Mörtel – aber welcher? |
| Experiment IV:  | Der Bau eines Modellhauses und dessen Alterung    |



Römischer Beton in Vollendung: das Pantheon in Rom



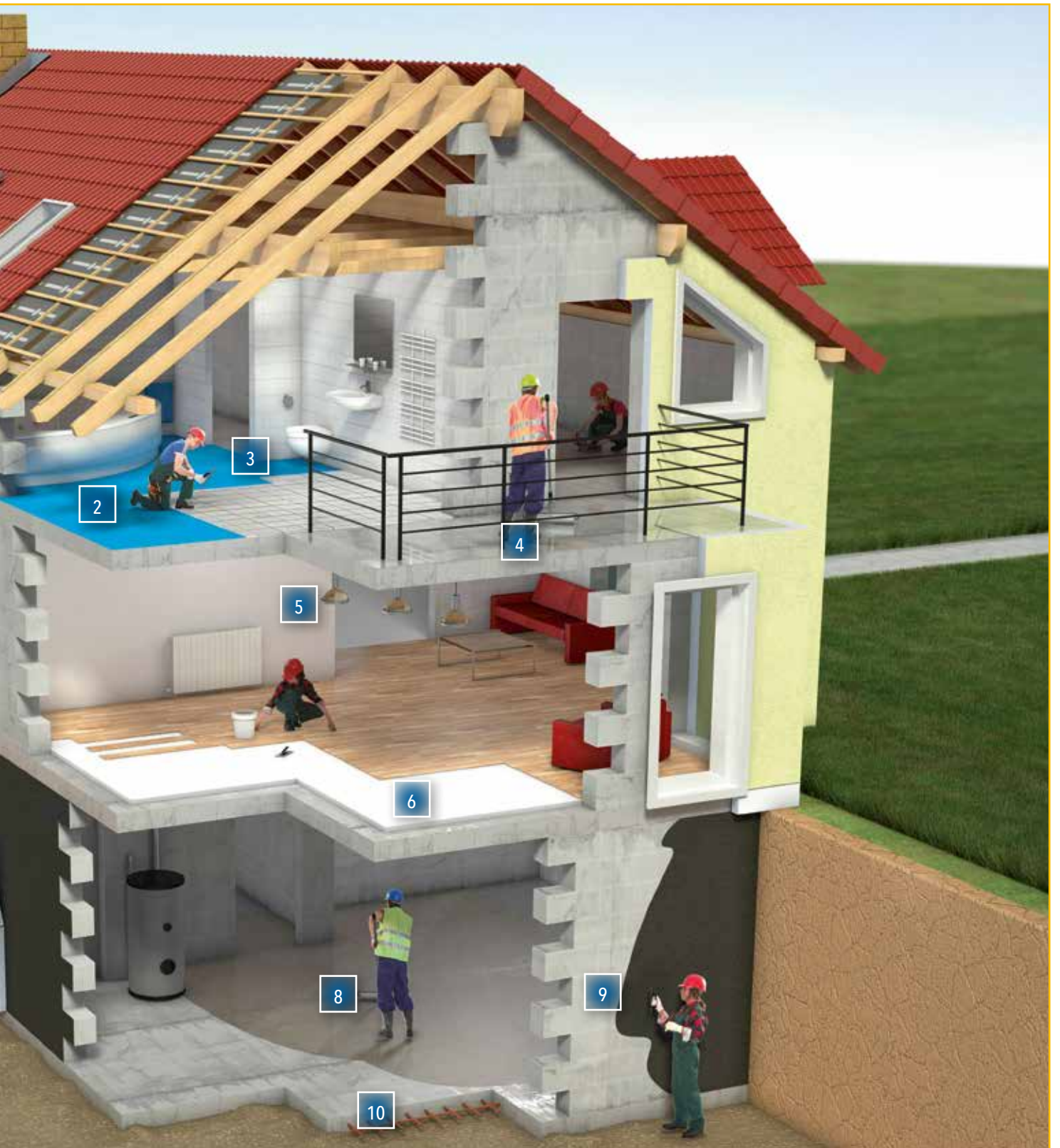
Bauchemie erkennt man auf der Baustelle zwar nicht immer gleich auf den ersten Blick, doch im Grunde ist sie allgegenwärtig. Kein Haus, keine Brücke, kein Fernsehturm, kein Staudamm kommt ohne sie aus. Hochkomplexe Bauwerke, immer mutigere Entwürfe und kürzere Bauzeiten; für all diese Anforderungen liefert die Bauchemie maßgeschneiderte Produkte – vom Antigrffiti-Anstrich bis zum maßgeschneiderten Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Klebstoffe.

Stellvertretend für große Gebäude, Hochhäuser, Brücken- und Tunnelbauwerke oder Schwimmbäder zeigt das folgende Kapitel Schritt für Schritt den Bau eines Wohnhauses. Exemplarisch wird erklärt, mit welchen Produkten in den einzelnen Bereichen gearbeitet wird. Bei den oben genannten Bauwerken werden darüber hinaus auch viele Spezialprodukte verwendet, die nur in diesen besonderen Fällen benötigt werden. Davon ist in Kapitel 3.2 die Rede. In Kapitel 4 werden bauchemische Produkte und ihre speziellen Eigenschaften im Einzelnen vorgestellt.

Einsatz bauchemischer Produkte in einem modernen Gebäude



|                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Wärmedämmung<br>S.18            | 2. Verbundabdichtung<br>S.16  |
| 3. Fliesenkleber<br>S.16           | 4. Grundierung<br>S.16        |
| 5. Putz<br>S. 40                   | 6. Trittschalldämmung<br>S.16 |
| 7. Perimeterdämmung<br>S.15        | 8. Verlaufmörtel<br>S.16      |
| 9. Bitumendickbeschichtung<br>S.15 | 10. Betonbodenplatte<br>S.14  |





### 3.1 Ein Haus entsteht

Ein Wohnhaus wird in vielen einzelnen Arbeitsschritten errichtet. Handwerker sprechen dabei von „Gewerken“ – beispielsweise den Mauerarbeiten, den Trockenbauarbeiten, den Beton- und Stahlbetonarbeiten oder den Zimmerer- und Holzbauarbeiten. Jedes der Gewerke verarbeitet andere Baustoffe, die auf den folgenden Seiten kurz vorgestellt werden.

#### 3.1.1 Rohbau

Nachdem die Baugrube ausgehoben ist, wird mit dem Verlegen der Kanalisation und der Entwässerungsleitungen begonnen, die aus Beton, Steinzeug oder Kunststoff bestehen.

##### • Fundamente, Decken und Wände

Dann werden die Fundamente erstellt, auf denen später die tragenden Hauswände ruhen. Die Fundamente bestehen heute ausnahmslos aus Beton – meist „unbewehrtem Beton“, bei höheren Belastungen aus bewehrtem Stahlbeton\*.

Zwischen bzw. auf die Fundamente wird die Bodenplatte aus Beton gebaut. Aus der Bodenplatte ragen bereits Versorgungs- und Abwasserrohre. Anschließend beginnen die Betonbauer oder Maurer, die Wände zu errichten. Diese bestehen entweder aus Beton oder werden Stein auf Stein mit Mauer Mörtel gemauert. Dann wird die Kellerdecke eingeschalt, die Stahlbewehrung verlegt und der Beton eingebaut. Nachdem der Beton erhärtet ist, werden die Wände des nächsten Geschosses erstellt. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zur Dachdecke. Den Abschluss bildet der Dachstuhl, den der Zimmermann aufstellt. Um das Holz haltbar zu machen, wird es mit Holzschutzmitteln imprägniert. Besonders repräsentative Bauwerke werden heute von den Architekten gerne mit Sichtbeton gestaltet. Dieser Beton muss nicht nur tragfähig und dauerhaft, zum Beispiel gegen Witterungseinflüsse, sein, sondern auch gut aussehen, weil er, wie der Name sagt, direkt zu sehen ist. So soll Sichtbeton eine möglichst glatte Oberfläche mit wenigen oder kleinen Poren aufweisen. Dem Beton können auch farbige Pigmente beigemischt werden, so dass der Bauherr das Haus ganz nach seinem Geschmack gestalten kann.

>> [Beton 4.1](#); [Betonzusatzmittel 4.1.1](#); [Mörtel 4.2](#)



ABBILDUNG 3

Spannbetonplatte, Stahlbeton, Beton





● **Abdichtung des Kellers**

Bauen ist Kampf gegen das Wasser! Diese alte Bauweisheit macht deutlich, dass Wasser der größte Feind aller Baustoffe und Hausbesitzer ist. Es greift die Baustoffe zum Beispiel durch Korrosion an und lässt die Bausubstanz verfallen. Die vorbeugende Abdichtung eines Hauses gegen Wasser ist deshalb äußerst wichtig und entscheidend für die Dauerhaftigkeit der gesamten Konstruktion. Wasser kann von den Seiten durch die Fundamente, die Bodenplatte, die Kellerwände und insbesondere die Anschlussstellen der einzelnen Bauteile ins Gebäude eindringen. Diese Bereiche müssen besonders vor dem Eindringen von Feuchtigkeit geschützt werden. Damit später bei einem Schadensfall wie zum Beispiel einem Wasserrohrbruch von unten her keine Feuchtigkeit in die Wände eindringen und aufsteigen kann, werden die Wände mit einer sogenannten Horizontalsperre abgedichtet. Die Handwerker verwenden dafür bei gemauerten Wänden eine spezielle Pappe oder eine durch Hydratation\* abbindende Dichtungsschicht aus Dichtungsschlämmen, die auf das Mauerwerk oder die Bodenplatte aufgetragen wird. Damit auch seitlich von außen keine Feuchtigkeit eindringt, werden die Außenwände abgedichtet. Dafür werden sie mit einem Dichtungsputz/Sperrputz verputzt, mit Dichtungsschlämmen oder, insbesondere wenn der Keller als Wohnraum genutzt wird, mit einer Bitumendickbeschichtung oder mit Flüssigkunststoffen abgedichtet.

>> [Dichtungsschlämmen 4.2.2](#); [Reaktionsharze 4.3.1](#); [Bitumen 4.6](#)



● **Abdichtung des Dachs**

Wo Kamine oder Entlüftungsrohre aus dem Dach ragen, müssen die Handwerker besonders auf Dichtigkeit achten, damit später kein Regenwasser eindringt. Abgedichtet wird hier zum Beispiel mit Flüssigkunststoffen oder mit dauerelastischen Fugenmassen und Klebern, die sich bei Hitze und Kälte dehnen und zusammenziehen können, ohne abzuplatzen. Die aus dem Dach herausragenden Schornsteinziegel werden mit Spezialmitteln hydrophobiert.



Auftrag einer Bitumendickbeschichtung

Einzelfundamente frosttief gründen  
 Brüstungshöhe wird örtlich unter Berücksichtigung des Grundwasserstandes festgelegt!  
 Einzelfundamente frosttief gründen

### 3.1.2 Ausbau

Das Haus wird individuell nach den Wünschen des Bauherrn fertiggestellt. Mit dem Ausbau nimmt es seine endgültige Gestalt an. Versorgungsleitungen werden installiert, Wände und Böden erhalten ihre eigentliche Oberfläche, Fenster werden eingebaut, Küche und Bad werden gefliest und die Fußböden verlegt.

#### ● Boden, Wand und Decken

Nachdem Heizung, Wasserleitungen und Elektrik installiert sind, werden die Durchbrüche für Stromkabel oder Heizungsrohre durch Decken und Wände mit Reparaturmörtel oder Trockenbeton verfüllt. Offene Schlitzlöcher werden verschlossen. Dafür verwenden Handwerker häufig Fertigschäume. Der Stuckateur, in einigen Regionen auch Verputzer oder Gipser genannt, verputzt die Wände und Decken mit Werk trockenmörtel auf Gips-, Kalk- oder in Feuchträumen mit Mörtel auf Zementbasis. Für unterschiedliche Untergründe und besondere Bauteile steht ihm eine große Palette an Mörtelarten zur Verfügung. Außerdem setzt er zusätzlich häufig Haftbrücken auf Kunststoff- oder Zementbasis ein. Das ist eine Art Zwischenschicht, die die Haftung des eigentlichen Putzes am Untergrund verbessert.

Bevor der Maler mit der Arbeit beginnt, werden Fehlstellen am Putz wie Abplatzungen, Rillen und Unebenheiten mit Spachtelmassen (Wand-/Deckenspachtel) ausgeglichen. Währenddessen wird auch an den Fußböden im Rohbau weitergearbeitet, die wie ein Sandwich aus mehreren

Schichten bestehen. Der Estrichleger verlegt zunächst die Trittschalldämmung, die später die Laufgeräusche dämmen wird. Darauf folgt eine Lage Dichtungsfolie oder Dichtungspapier. Anschließend wird der nasse Estrich auf Zement- oder Anhydrit-(Gips)-Basis\* verlegt.

Doch das ist noch nicht alles. Ist der Estrich ausgehärtet, wird die Oberfläche mit Fließspachtel überzogen und egalisiert. Diese Schicht sorgt für eine sehr glatte und ebene Oberfläche, auf der man später bequem laufen oder spielen kann. Estrich allein wäre viel zu rau, es sei denn, er wird nach dem Einbau mit speziellen Maschinen geglättet.

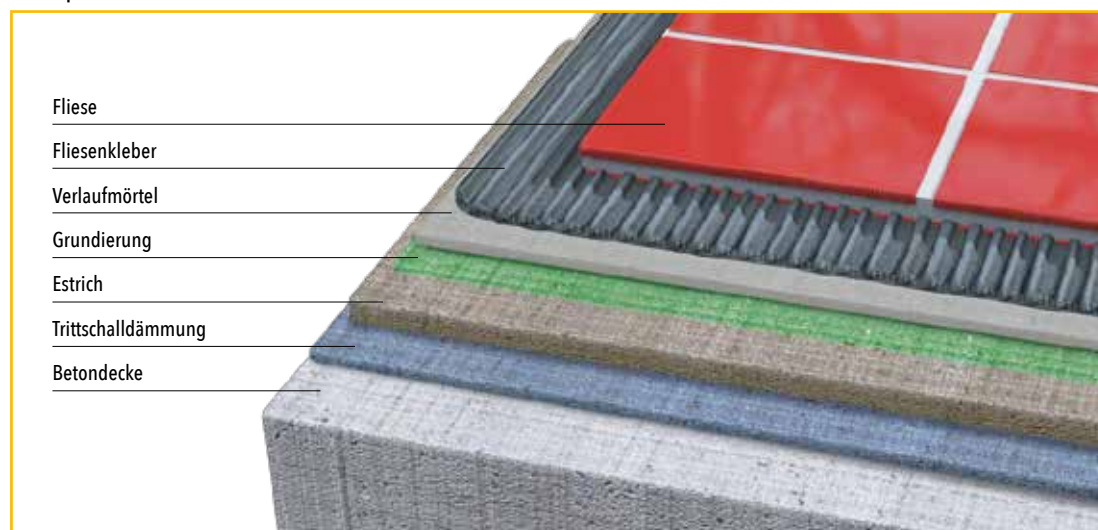
Auf die ausgehärtete Fließspachtelschicht klebt der Fußbodenleger dann den endgültigen Bodenbelag – zum Beispiel Teppich, Parkett oder Fliesen. Dazu verwendet er verschiedene (organische oder mineralische) Klebmassen oder -mörtel. Anschlüsse und Fugen werden, falls erforderlich, mit dauerelastischem Material oder mit speziellen Fugenbändern abgedichtet.

Auch die Fenster müssen mit Sorgfalt eingesetzt werden. Damit das Fenster fest sitzt, schäumt der Fensterbauer den Hohlraum zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk aus. Die Fugen zwischen Fensterrahmen und Mauer werden mit dauerelastischem Fugenmaterial abgedichtet.

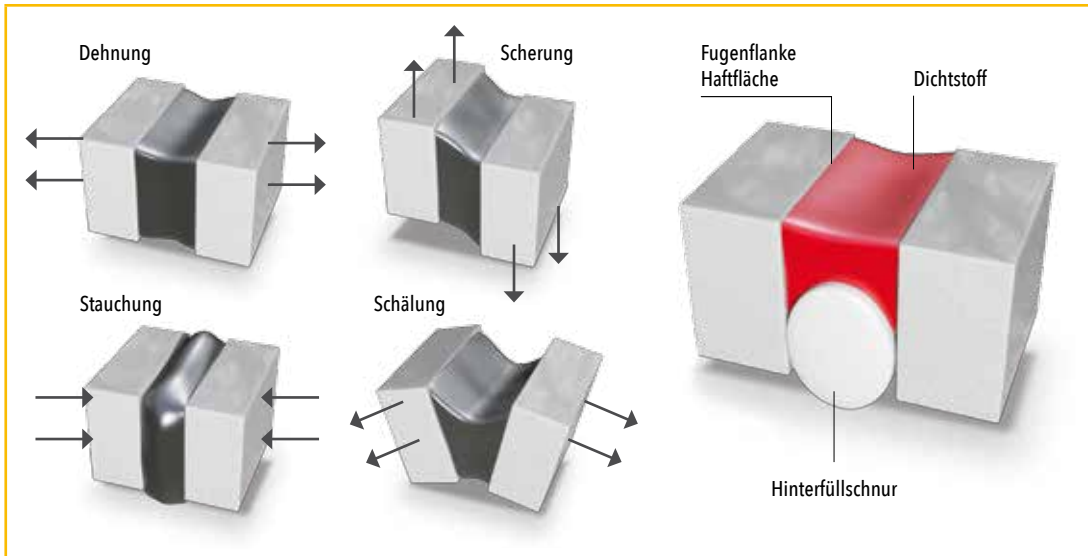
>> [Mörtel 4.2](#); [Fliesenverlege- und Fugenmörtel 4.2.1](#);  
[Bodenausgleichsmassen 4.2.3](#); [Putze und Klebemörtel 4.2.4](#);  
[Reaktionsharze 4.3.1](#)

## ABBILDUNG 4

### Prinzipische Skizze für Schichtenaufbau



Belastung von Fugendichtstoffen



Fugen werden je nach Bauteil und auf sie einwirkenden Kräften unterschiedlich deformiert (links). Der Dichtstoff muss dafür dauerhaft elastisch sein. In offene Fugen wird zunächst eine Hinterfüllschnur eingelegt (rechts), die verhindert, dass der eingespritzte Fugendichtstoff davonfließt. Anschließend wird der elastische Dichtstoff eingefüllt.

● Küche und Bad

Der Fliesenleger dichtet die Rohbauwände und den Boden im Bad und in anderen Nassbereichen zunächst ab. Dann klebt er die Fliesen an die Wand. Je nach Untergrund verwendet er starre oder elastische Mörtel.

Die Fugen zwischen den Fliesen werden mit nicht elastischen Fugenmörteln dicht verschlossen. Fugen zwischen Badewanne, Dusche und Wand aber werden mit dauerelastischen Materialien abgedichtet. Denn hier treffen verschiedene Materialien aufeinander, die sich bei Temperaturveränderungen unterschiedlich stark verformen. Eine Fuge, die nicht mit elastischen Materialien abgedichtet ist, würde dabei aufreißen.

Sowohl Fugenmörtel als auch dauerelastische Fugenmassen gibt es in unterschiedlichen Farben, die aufeinander und mit den Fliesen abgestimmt werden.

>> [Fugenmörtel 4.2.1](#); [Dichtungsschlämmen 4.2.2](#)

● Balkon und Terrasse

Der Fliesenleger führt auch Terrassen- und Balkonabdichtungen aus. Dies sind besonders heikle Stellen am Bau, denn zum einen müssen die Abdichtungen verschiedene Baustoffe miteinander verbinden und sehr gut an ihnen haften. Zum anderen sind die Abdichtungen und Beläge

auf Terrasse und Balkon extremen Umwelteinflüssen wie Hitze, UV-Strahlung oder Frost ausgesetzt. Verwendet werden für glatte und widerstandsfähige Balkonoberflächen neben Fliesen häufig auch Beschichtungen aus Kunstharz.

Fliesen und Platten im Außenbereich werden mit Mörteln verklebt, die eine elastische polymere Komponente enthalten. Damit wird verhindert, dass sie sich durch Temperaturschwankungen vom Untergrund ablösen oder reißen.

>> [Fliesenverlege- und Fugenmörtel 4.2.1](#); [Reaktionsharze 4.3.1](#)

HINWEIS

Immer schön dicht bleiben – Fugendichtstoffe

Da Bauteile aufgrund von mechanischen Belastungen und vor allem Temperaturschwankungen ihre Größe und relative Lage ändern können, variiert auch die Fugenbreite zwischen einzelnen Bauteilen oder Werkstoffen im Laufe der Zeit zum Teil erheblich. Fugendichtstoffe müssen deshalb eine ausreichende dauerelastische Verformbarkeit aufweisen, damit sie dauerhaft dicht halten. Fugendichtstoffe sind spritzbare Werkstoffe, die sich leicht verarbeiten lassen. Der Handel bietet sie in Kartuschen an (Silikone, Acrylate und Polysulfide).





#### ● Heizkeller

Der Boden und die Wände im Heizkeller werden nach vorheriger Egalisierung zum Beispiel mit einem Wandputz oder mit einer ölbeständigen und ölundurchlässigen Kunststoffbeschichtung versehen. Sollte beim Befüllen des Tanks Öl austreten oder der Tank eines Tages Leck schlagen, dann kann kein Öl durch den Boden ins Erdreich und ins Grundwasser gelangen.

>> [Reaktionsharze 4.3.1](#)

#### ● Fassade

Es ist vor allem die Fassade, die einem Gebäude Charakter verleiht. Zudem soll diese Außenhaut das Bauwerk schützen. Die Fassade lässt sich vielfältig gestalten. Üblicherweise wird ein Außenputz in zwei Lagen (Grundputz und Oberputz) direkt auf das Mauerwerk aufgebracht. Um die Wände eines Hauses zu dämmen und um Heizkosten zu sparen, versieht man die Außenwand, besonders bei Betonwänden, häufig mit einem „Wärmedämmverbundsystem“ (WDVS).

Dazu werden Dämmplatten mit Haftklebern auf den Untergrund aufgeklebt und mit Kunststoffdübeln verankert, dann wird die gesamte Fläche mit einem Putzmörtel überzogen, in den ein Textilgewebe als „Armierung“ eingelegt wird. Diese stabilisierte Mörtelschicht (Armierungsmörtel) verhindert, dass Risse entstehen und dass der Putz abplatzt. Auf diesen Unterputz wird nach Erhärtung der Oberputz aufgetragen.

Stets müssen die Anschlüsse an Fenstern, Türen oder Durchdringungen wie etwa Lüftungsrohren besonders sorgfältig abgedichtet werden. Dafür lassen sich fertige Einbauteile aus Kunststoff, aber auch die schon erwähnten Spezialmörtel und Fugendichtmassen einsetzen.

>> [Putze und Klebemörtel 4.2.4](#); [Gebäudedämmung 4.2.5](#)

#### 3.1.3 Schutz und Instandsetzung

Jedes Haus altert im Laufe der Jahre. Dabei hat jeder Baustoff – Holz, Mauerwerk oder Beton – eine andere Lebensdauer. Die Dauerhaftigkeit eines Baustoffs oder der Zustand eines Gebäudes hängt außerdem von der Art der Nutzung ab. So werden Bürogebäude und Industriebauten natürlich stärker beansprucht als ein Wochenendhaus. Und auch der Standort spielt bei der Alterung von Gebäuden eine Rolle – ob Gebirgslage mit intensiver Sonnenstrahlung, die salzhaltige Luft am Meer oder Erschütterungen durch Erdbeben.

Wartungs- und Reparaturarbeiten sind also wichtig, damit ein Haus lange intakt bleibt. Das ist nicht anders als beim Auto.

#### HINWEIS

Reparaturen und Instandsetzungen machen etwa die Hälfte der Bauarbeiten in Europa aus.  
(Quelle: Deutsche Bauchemie e.V.)



Wohnkontraste

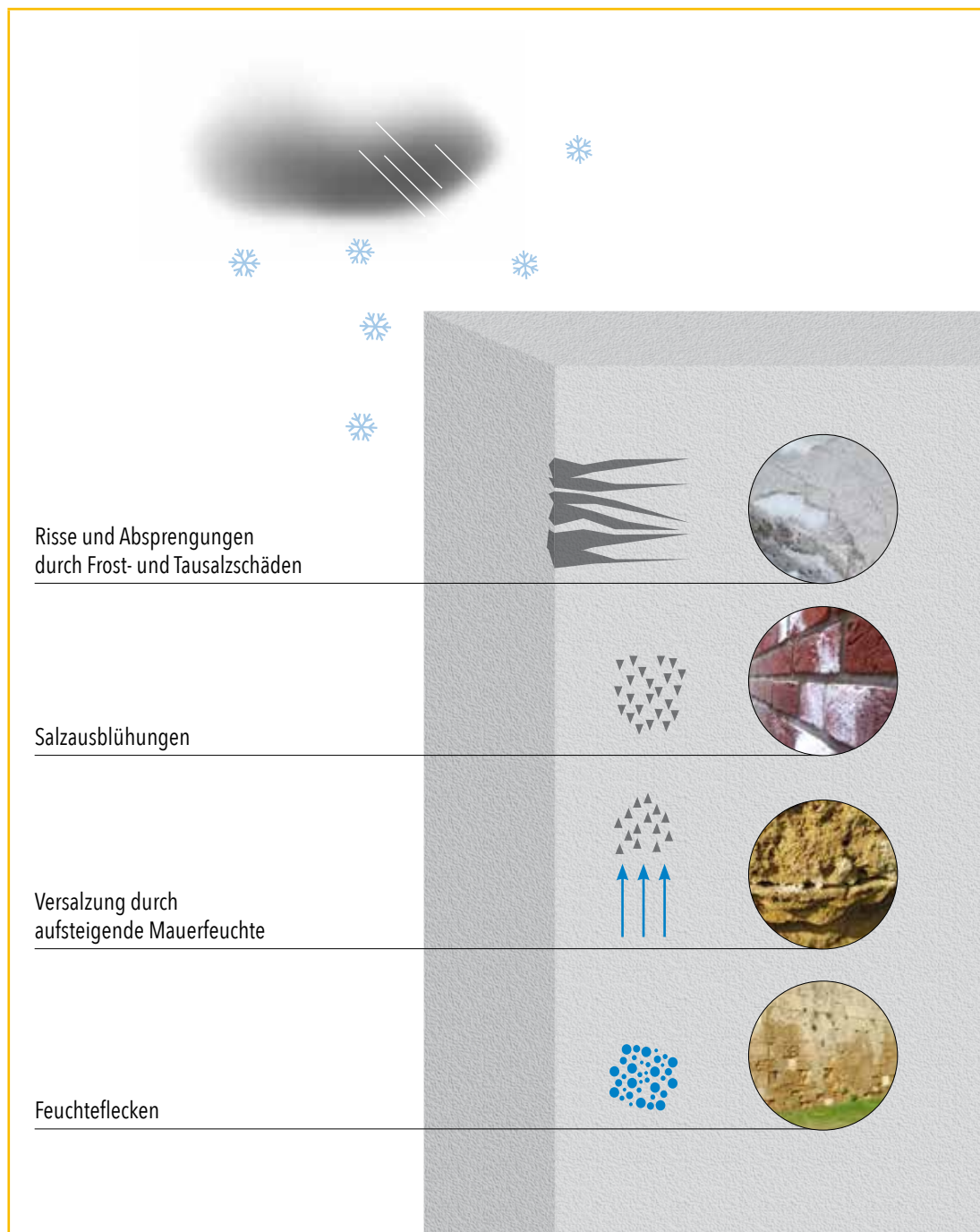
● **Feuchte Bauteile**

Aller Anfang ist nass: Bauschäden beginnen ganz einfach mit Wasser. Es dringt in die Bauwerke ein und trägt gelöste Schadstoffe in das Kapillarsystem von mineralischen, porösen Baustoffen. Der Zahn der Zeit nagt an allen der Witte-

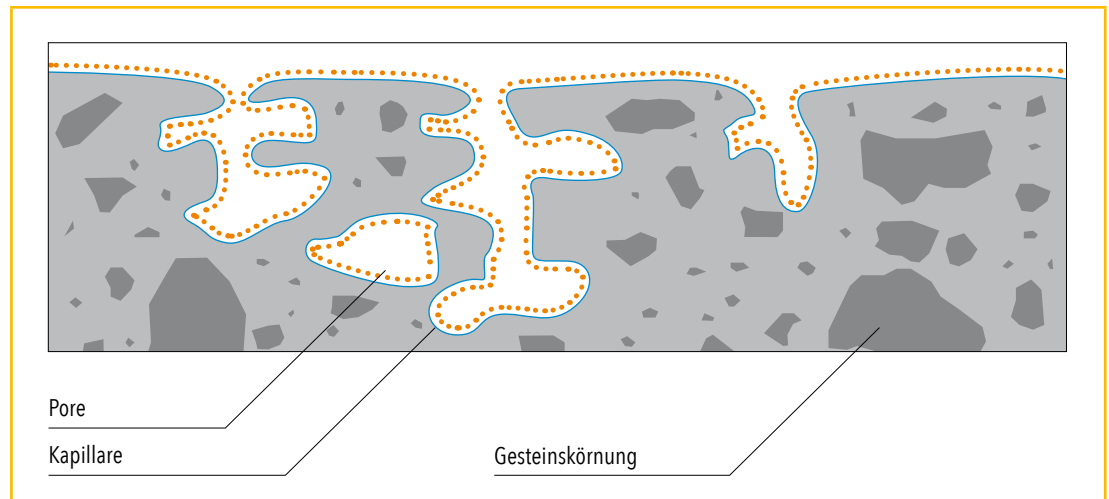
rung ausgesetzten Bauwerken. Das Wasser durchfeuchtet Wände, steigt in Mauern auf, lässt Risse entstehen und laugt Baustoffe aus. Es dringt in Betonstraßen ein, die von Frost und Tausalzen geschädigt werden, oder zerstört Beton durch Korrosion des in den Beton eingebetteten Stahls.

○ **ABBILDUNG 6**

**Feuchteschäden**



Hydrophobierung (schematisch)



Damit das Wasser einem Baustoff über einen langen Zeitraum hinweg nichts anhaben kann, kann er wasserabweisend (hydrophob) gemacht werden. Der hydrophobierende Wirkstoff lässt den Regen von Mauerwerk, Mörtel oder Beton einfach abperlen.

Hydrophobierungsmittel kleiden die inneren Poren- und Kapillarwänden eines Baustoffs aus. Feuchtigkeit kann nicht eindringen. Frost- und Korrosionsschäden lassen sich auf diese Weise genauso vermeiden wie Salzausblühungen und Kalkauswaschungen. Und wo keine Feuchtigkeit ist, finden auch Algen, Schimmel und Moose keinen Nährboden. Da Poren und Kapillaren des jeweiligen Baustoffs durch die hydrophobierenden Wirkstoffe nicht

verstopfen, bleiben Mörtel und Mauerwerk weiterhin atmungsaktiv, die Diffusionsfähigkeit des Baustoffs bleibt also erhalten.

Im Laufe der Zeit nimmt aber die hydrophobierende Wirkung ab. Feuchtigkeit kann in die Außenhaut des Gebäudes eindringen. Um die Hydrophobierung wieder zu verbessern, werden entweder Auffrischungsfarbanstriche mit hydrophobierender Wirkung oder direkt Hydrophobierungsmittel aufgetragen. Heute werden für wasserabweisende Imprägnierungen von mineralischen Baustoffen vorwiegend Silikone und silikonverwandte Produkte auf Siliziumbasis wie etwa Silane\* und Siloxane\* eingesetzt.

>> [Silane, Siloxane, Silikone 4.4](#)



Hydrophobierte Betonoberfläche

LEHRER-INFO

- Experiment VI: Hydrophobierung von Baumaterialien
- Experiment VIII: Selbstreinigende Oberflächen
- Experiment IX: Sanierputz im Modellexperiment
- Arbeitsblatt 12: Salzbelastete Wände – Sanierputz in der Anwendung



### ● Salzbelastete Wände

Ein Problem, das die Feuchtigkeit mit sich bringt, ist die Versalzung des Mauerwerks. Bei schlecht abgedichteten Altbauten dringt die Feuchtigkeit von außen in die Wände ein und transportiert Salze durch die Mauer bis an die Oberfläche der Innenwände. Kristallisieren die Salze aus, platzt der Putz großflächig ab. Tatsächlich gibt es für derartige massive Probleme eine relativ einfache Lösung: den Sanierputz. Die Wirkung des Sanierputzes beruht auf seiner eingeschränkten Feuchtigkeitsleitfähigkeit. Das salztragende Wasser aus dem Mauerwerk kann durch die eingeschränkte 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. Je nach Versalzungsgrad der Mauer und Wirksamkeit der Abdampfung füllen sich die Poren mehr oder weniger schnell mit Salzen, bis eine Erneuerung des Putzes nötig wird. Ein herkömmlicher Sanierputz ist also im Grunde ein Salzspeicherputz, der aufgrund seiner Poren-

geometrie die Fähigkeit besitzt, Salze einzulagern, aber nicht an die Oberfläche dringen zu lassen. Die Aufgabe der Sanierputze, spezieller Werk trockenmörtel, besteht letztlich darin, auf einem feuchten und versalzten Mauerwerk für eine trockene und schadensfreie Putzoberfläche zu sorgen. Mauern trocken legen können sie aber nicht.

>> [Reparaturmörtel 4.2.6](#)

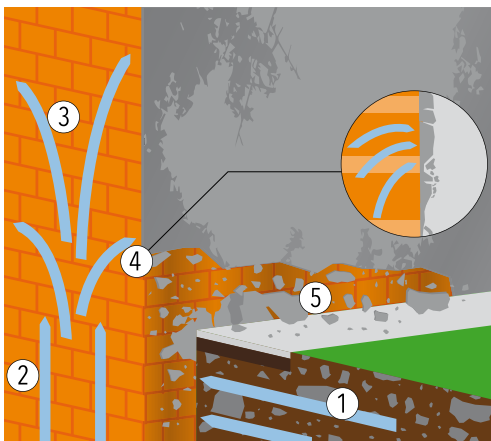


Salzschäden an der Wand

### ABBILDUNG 8

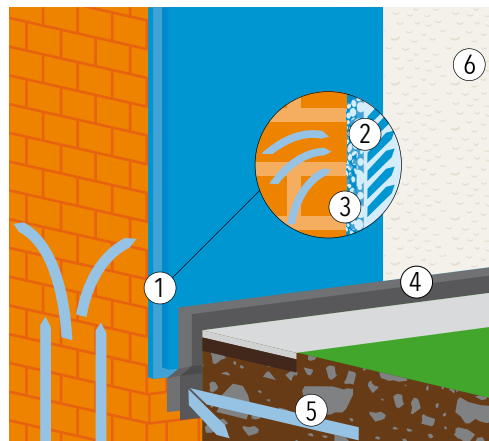
#### Wasser und Salz im Mauerwerk – Chronologie des Verfalls

##### Schadensmechanismus



1. Wasser dringt ins Mauerwerk ein
2. Horizontalsperre fehlt oder ist schadhaft
3. Wasser und Salze steigen im Mauerwerk auf
4. Putz und Anstrich werden geschädigt und bröckeln ab
5. Mauerwerk wird zerstört

##### Sanierung des Schadens



1. Sanierputz wird aufgetragen
2. Leichte und schnelle Verdunstung durch Porenstruktur
3. Salze kristallisieren in den Poren aus, ohne Schaden anzurichten
4. Nachträgliche Abdichtung
5. Feuchtzone wird abgesenkt
6. Putz und Anstrich bleiben trocken und schön

### 3.2 Spezielle Anwendungen der Bauchemie: Fernsehtürme, Brücken, Tunnel und Co.

Eine der wichtigsten Aufgaben bauchemischer Produkte ist, den verschiedenen Baustoffen ganz neue oder verbesserte Eigenschaften zu verleihen: Industrieböden zum Beispiel werden strapazierfähiger, Hauswände lassen sich leichter von Graffiti reinigen, und Beton bleibt länger verarbeitbar oder erhärtet schneller.

#### ● Stark beanspruchte Ingenieurbauwerke

Stützmauern und Bauwerke im Straßenbau oder im Wasserbau müssen in der Regel größere Belastungen aushalten als das klassische Einfamilienhaus. Hier helfen bauchemische Betonzusatzmittel weiter. Beton für den Tunnelbau zum Beispiel muss besonders schnell reagieren und zügig erhitzen, damit der Tunnel nicht einstürzt und die Baumannschaft beim Vortrieb gegen herabfallendes Gestein geschützt wird. Hier werden dem Beton, der mit entsprechenden Maschinen gegen den Fels gespritzt wird (Spritzbeton), Beschleuniger zugegeben. Er verfestigt in Sekundenschnelle.

Beton im Straßenbau muss gegen Frost und Taumittel beständig sein. Er muss außerdem dem Eis trotzen, denn bildet es sich im Beton, führt der enorme Druck zur Zerstörung des Betongefüges, und die Betonoberfläche platzt ab. Durch Luftporenbildner werden im Betongefüge Expansionsräume für das gefrierende und sich ausdehnende Wasser geschaffen, so dass heutige Betonstraßen eine Nutzungsdauer von mehr als 30 Jahren haben.

Betone für Brücken, Fernsehtürme und andere Ingenieurbauwerke werden durch extrem schwere Lasten beansprucht. Hier helfen nur Spezialbetone mit hohen Festigkeiten. Da diese Betone gut verarbeitbar sein müssen, weil sie beispielsweise in große Höhen gepumpt werden (Fernsehtürme, Kühltürme in Kraftwerken), setzt man Betonverflüssiger und Fließmittel ein. So lassen sich Fließbetone und selbstverdichtende Betone (SVB) erzeugen. Es können hochfeste Betone hergestellt werden, die in ihren Festigkeiten an die von Stahl heranreichen.

>> [Beton 4.1](#); [Betonzusatzmittel: 4.1.1](#)

#### HINWEIS

Etwa 90 Prozent der in Deutschland hergestellten Betone enthalten Betonzusatzmittel.



Salginatobelbrücke



Sunnibergbrücke



Artes, Valencia

#### ● Schutz und Abdichtung von Ingenieurbauwerken

Große Infrastrukturbauwerke wie Brücken, Hochhäuser oder auch Kläranlagen müssen Jahrzehnte halten. Eine Voraussetzung dafür ist, dass sie vor dem Eindringen von Flüssigkeiten, vor Abrieb durch Verkehr oder vor chemischen Angriffen durch aggressive Flüssigkeiten geschützt werden. Häufig kommen hierfür Kunststoffe zum Einsatz.

Autobahnbrücken aus Beton etwa werden mit mehreren Lagen verschiedener Beschichtungsmaterialien belegt, deren Abschluss die Asphaltdecke bildet. Um zu verhindern, dass Chloride aus Streusalzen bis zum Stahl im Beton vordringen und zur Korrosion führen, wird der Beton mit einer Schicht aus widerstandsfähigem Reaktionsharz\* wie etwa Polyurethan und zusätzlich mit Bitumendichtungsbahnen beschichtet. Auch für die chemikalienbeständige Beschichtung von Kläranlagen, Chemikalienbehältern oder Öltanks eignen sich Reaktionsharze. Hier kommt es vor allem darauf an, dass die umweltgefährdenden Flüssigkeiten nicht aus den Behältern in den Erdboden und ins Grundwasser sickern. Zudem darf der Beton selbst auf keinen Fall von den Chemikalien angegriffen werden.

Auch Schwimmbadbeschichtungen müssen viele Jahre dicht halten. Hier kommen Harze zum Einsatz, die sich beim Beschichten exakt an die Geometrie des Beckens anpassen. Diese widerstehen auch dem im Wasser enthaltenen Chlor, Desinfektionsmitteln und Sonnenölen sowie intensiver UV-Strahlung im Sommer.

>> [Reaktionsharze 4.3.1](#)

#### ● Ingenieurbauwerke verstärken

Wenn eine Brücke in die Jahre kommt, Risse im Beton sichtbar werden und täglich mehr Autos und Lastwagen



Fernsehturm Stuttgart

über sie hinwegdonnern, als man jemals erwartet hätte, wenn damit die Brücke an die Grenzen ihrer geplanten Belastbarkeit kommt, dann muss die Tragfähigkeit verstärkt werden. CFK-Lamellen (CFK = kohlefaserverstärkter Kunststoff) können hier die Therapie der Wahl sein. Sie werden als flaches Kunststofffaserband oder großflächig als CFK-Gewebematte von außen auf den Beton geklebt und wirken wie ein Stützkorsett. Der stark beanspruchte Beton wird entlastet. Mit ähnlichem Effekt werden CFK-Lamellen auch in anderen Betonbauwerken wie etwa Türmen eingesetzt.

Solche nachträglichen Verstärkungen mit CFK-Lamellen werden aber nicht nur dann ausgeführt, wenn Belastungen gewachsen sind, sondern auch, wenn die Tragfähigkeit eines Bauwerkes in Mitleidenschaft gezogen wurde, zum Beispiel durch einen Brand.



Schwimmbadabdichtung



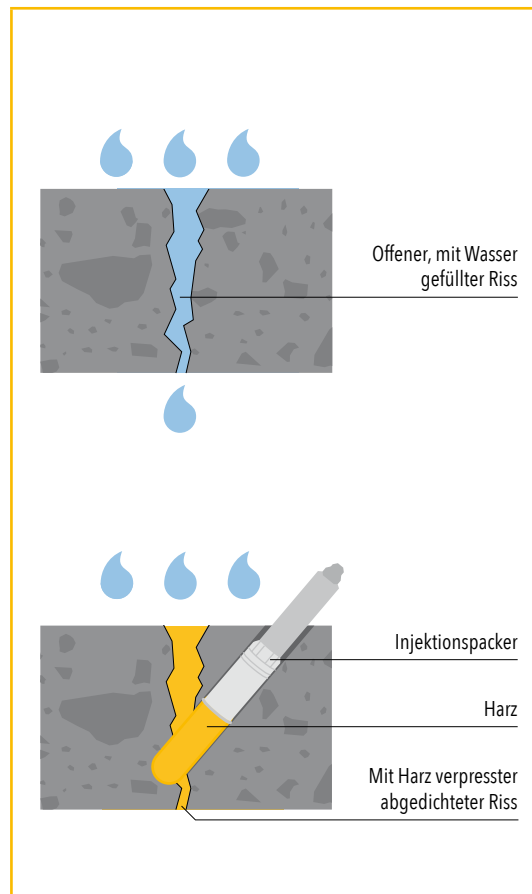
### ● Schließen von Rissen: Rissverpressung

Risse in Bauwerken sind unvermeidbar. Beim Stahlbeton wird sogar von einer „gerissenen Bauweise“ gesprochen. Risse tauchen aber in unterschiedlichen Breiten auf. Manche, vor allem kleine Risse, können sich von allein wieder schließen. Fachleute sprechen von „Selbsteheilung des Betons“. Das geschieht beispielsweise durch Nachhydratation noch nicht reagierten Zements, durch Kalkbildung (Carbonatisierung) oder dadurch, dass der Zementstein im Beton quillt. Größere Risse hingegen sind häufig eine Gefahr für die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Bauwerkes. Sie müssen entsprechend geschlossen werden. Dies geschieht durch Injektionen von Zementleim oder Zementsuspensionen\*, in den meisten Fällen jedoch mit Reaktionsharzen.

>> [Reaktionsharze 4.3.1](#)

### 🔗 ABBILDUNG 9

#### Rissverpressung



### KAMPF DEM RISS – MIT RISSFÜLLSTOFFEN

Selbst in einem Bauwerk, das nach allen Regeln der Kunst, den sogenannten „Allgemein anerkannten Regeln der Technik“, errichtet wurde, können sich Risse bilden – beispielsweise durch Bewegungen und Setzungen des Erdbodens. Doch auch das ist kein Problem, denn neben mineralischen, relativ spröden Zementleimen und Zementsuspensionen eignen sich polymere, dauerelastische Systeme wie Polyurethan oder Epoxidharze sehr gut, um Risse in älteren Bauwerken zu füllen. Fachleute sprechen von Füllgütern. Harze sind geradezu ideale Lückenfüller. Sie sind so flüssig, dass sie selbst in die kleinsten, fast unsichtbaren Ritzen von nur etwa 0,1 Millimeter dringen. Das kleinste Maß auf einem Geodreieck beträgt einen Millimeter. Harze füllen Risse, die zehn Mal kleiner sind!

Die Zementprodukte sind ein wenig dickflüssiger und eignen sich erst ab einer Rissbreite von 0,8 mm – immerhin. Wer schon einmal versucht hat, eine große Menge Flüssigkeit in eine kleine Öffnung zu füllen – Wasser in das Loch einer Wasserpistole zum Beispiel – weiß, wie viel danebengeht. Das darf bei der professionellen Betonreparatur natürlich nicht passieren. Profis setzen deshalb sogenannte Packer ein – daumendicke Einfüllstutzen, die in die rissige Wand eingeschraubt (Bohrpacker) oder auf den Riss geklebt werden (Klebpacker). Durch die Packer wird mit elektrischen Injektionspumpen das Füllgut in die Wand gepresst. Zementsuspensionen drückt man mit einem Druck von etwa 10 bar in die Wände – drei Mal mehr Druck als im Fahrradschlauch. Das Problem: Erhöht man den Druck, trennt sich das Füllgut auf Zementbasis in seine Korngruppen auf – die großen Körner klemmen fest, und es kommt zu Verstopfungen. Harze hingegen können mit bis zu 100 bar eingepresst werden. So viel Druck herrscht in 1.000 Meter Wassertiefe! Dabei wird jeder noch so kleine Hohlraum ausgefüllt.

### 🔗 HINWEIS:

Intensive Forschung und Entwicklung führten dazu, dass es heute rund 40.000 unterschiedliche bauchemische Produkte gibt, und jährlich kommen über 100 Neuentwicklungen hinzu. Dank dieser Fortentwicklung lassen sich heute immer ausgefallenerere Spezialbauwerke errichten und dauerhaft schützen.

Innovative bauchemische Produkte tragen außerdem dazu bei, die Lebensdauer von Bauwerken erheblich zu verlängern. Oberflächenschutzsysteme sowie Abdichtungs- und Beschichtungsmaterialien schützen die Bauwerke vor Umwelteinflüssen und Verfall. Reparatursysteme wiederum erleichtern die Instandsetzung und machen Gebäude für Jahrzehnte widerstandsfähig.



Polyurethan-Harz Sportboden

#### • Bodenbeschichtungen

Zu den stark beanspruchten Oberflächen zählen zweifellos Fußböden – vor allem Industriefußböden oder auch Böden in Sporthallen. Industrieböden müssen abriebfest sein, selbst wenn unentwegt schwere Gabelstapler über sie hinwegrollen. Sie müssen scharfe Reinigungsmittel oder aggressive Chemikalien vertragen. Und Böden von Sporthallen sollten für viele Jahre selbst unter dem Dauerabrieb von Gummisohlen schön bleiben. Schwere Sportgeräte werden über den Boden gerollt, bei Schulfesten werden Tische und Bänke hin und her geschoben. Nur ein extrem dauerhafter Belag hält das aus. Ideale Beschichtungen sind verschiedene Reaktionsharze. Je nach Anwendung können die Böden wie ein Sandwich aufgebaut und so mit unterschiedlichen Eigenschaften versehen werden. In der Industrie verlegt man unter dem Epoxidharz sogar Drähte, die elektrostatische Aufladungen ableiten. Wichtig ist das zum Beispiel bei der Herstellung von empfindlichen Computerchips und anderen Elektronikkomponenten, die schon durch winzige Entladungen zerstört werden können, oder bei der Arbeit in explosionsgefährdeter Umgebung.

>> [Reaktionsharze: 4.3.1.](#)

#### 📌 LEHRER-INFO

Arbeitsblatt 11: Graffiti als Konfliktfeld



#### • Antigrffiti-Beschichtung

Graffiti: Für manche Kunst, für die meisten Hausbesitzer aber ein echtes Ärgernis, denn der Lack lässt sich für gewöhnlich kaum vom Putz oder der Wandfarbe lösen. Er muss mechanisch durch Schrubben, Hochdruckreinigen oder chemisch mit Lösungsmitteln entfernt werden. Die Kosten für die Reinigung sind immens. Doch inzwischen gibt es ein bauchemisches Mittel dagegen – Antigrffiti-Beschichtungen auf Siloxan-/Silan\*-Basis. Um die Wand zu schützen, muss man sie nur mit dem unsichtbaren Antigrffiti-Anstrich beschichten. Aus der Beschichtung ragen sowohl wasser- als auch ölabweisende Moleküle. Auf ihnen kann kaum ein Lack haften, weder Wasserlack noch lösemittelhaltiger Lack. Meist genügt ein kräftiger Wasserstrahl, und schon ist das ungeliebte Gemälde verschwunden. Ein solcher Antigrffiti-Anstrich kann zwar eine erneute Schmiererei nicht verhindern, macht sie aber leicht und mühelos entfernbar, weil der Graffiti-Lack nicht mehr fest haftet.

>> [Silane, Siloxane, Silikon 4.4](#)



Graffitis – Kunst oder Ärgernis?

#### 4.1 Beton: Auf die Mischung kommt es an

Beton hatte einen schlechten Ruf: Billig, trist und am Ende bröselig, so lauteten die Vorurteile. Doch längst hat sich die graue Masse dank moderner bauchemischer Zusatzmittel zu einem extrem variablen Hochleistungsbaustoff gemausert. Beton kann starr oder elastisch sein. Er kann grau, weiß und farbig sowie glatt oder strukturiert sein. Er kann sogar schwimmen und das Licht durchlassen. Wer sein eigenes Haus baut, weiß: An Beton kommt man kaum vorbei. Experten sprechen längst von einem Jahrhundertbaustoff.

Nach dem Mischen wird der Frischbeton in eine Form (Schalung) gefüllt. Durch die Reaktion des Zements mit dem Wasser erhärtet der Frischbeton zu Festbeton. Die Schalung wird nach dem Erhärten abgenommen und kann wiederverwendet werden. Der erhärtete Festbeton hat eine hohe Druck- und eine etwa 20-fach geringere Zugfestigkeit. Zur Aufnahme der Zugkräfte im Bauwerk wird der Beton mit Stahl bewehrt, da Stahl eine hohe Zugfestigkeit hat und darüber hinaus im Beton dauerhaft vor Korrosion geschützt ist. Stahlbeton oder „bewehrter Beton“ ist ein Verbundwerkstoff aus Stahl und Beton.

Betoneigenschaften wie zum Beispiel Konsistenz, Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit werden maßgeblich durch das Verhältnis von Wasser zu Zement gesteuert, den Wasserzementwert (w/z-Wert). Die Eigenschaft des Betons lässt sich durch Erniedrigung des Wasserzementwertes optimieren. Doch diese Erniedrigung hat ihre Grenzen. Denn gibt man immer weniger Wasser hinzu, wird die Betonmischung immer steifer bis sie sich schließlich gar nicht mehr verarbeiten lässt.

Bei gleichzeitiger Erhöhung des Wasser- und Zementgehalts ohne Veränderung des w/z-Werts würde der Zementgehalt bezogen auf ein vorgegebenes Volumen Beton (zum Beispiel ein Kubikmeter) irgendwann so hoch steigen, dass unerwünschte Eigenschaften auftreten, wie beispielsweise ein starkes Schwinden, also die Längenverkürzung beim Austrocknen und damit eine deutliche Zunahme der Rissbildung. Hier helfen Betonzusatzmittel wie Verflüssiger und Fließmittel. Diese machen Betone mit niedrigen w/z-Werten, d.h. mit wenig Zugabewasser, hervorragend verarbeitbar. Ohne diese Spezialbetone wäre der Bau von Hochhäusern wie dem Burj Khalifa, bei denen der Beton mehrere Hundert Meter in die Höhe gepumpt werden muss, nicht möglich.

#### HINWEIS

##### Wasserzementwert

Der Wasserzementwert ist die maßgebliche Größe für die Eigenschaften sowohl des Frischbetons als auch des späteren Festbetons, etwa Verarbeitbarkeit, Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit.

$$w/z = (\text{Masse des Wassers}) / (\text{Masse des Zements})$$

Bei 140 l = 140 kg Wasser und 280 kg Zement ergibt sich ein Wasserzementwert von 0,5 entsprechend 140/280. Bei gleicher Wassermenge und 350 kg Zement verringert sich der Wasserzementwert auf 0,4 entsprechend 140/350.

Obwohl beide Betone eine vergleichbare Konsistenz bzw. Verarbeitbarkeit besitzen, unterscheiden sie sich hinsichtlich ihrer Festbetoneigenschaften wie Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit. Bei einem Wasserzementwert von etwa 0,4 wird das gesamte zugegebene Wasser chemisch und physikalisch von Zement gebunden. Darüber hinaus zugegebenes Wasser verdunstet während und nach der Erhärtung und hinterlässt Poren im Gefüge. Diese Poren verringern die Festigkeit des Betons, da eine Pore keine Kräfte übertragen kann. Darüber hinaus verringern die Poren die Dauerhaftigkeit des Betons drastisch. Durch diese Schwachstellen im Gefüge dringen für den Beton schädliche Stoffe wie zum Beispiel Gase und gelöste Salze ein.

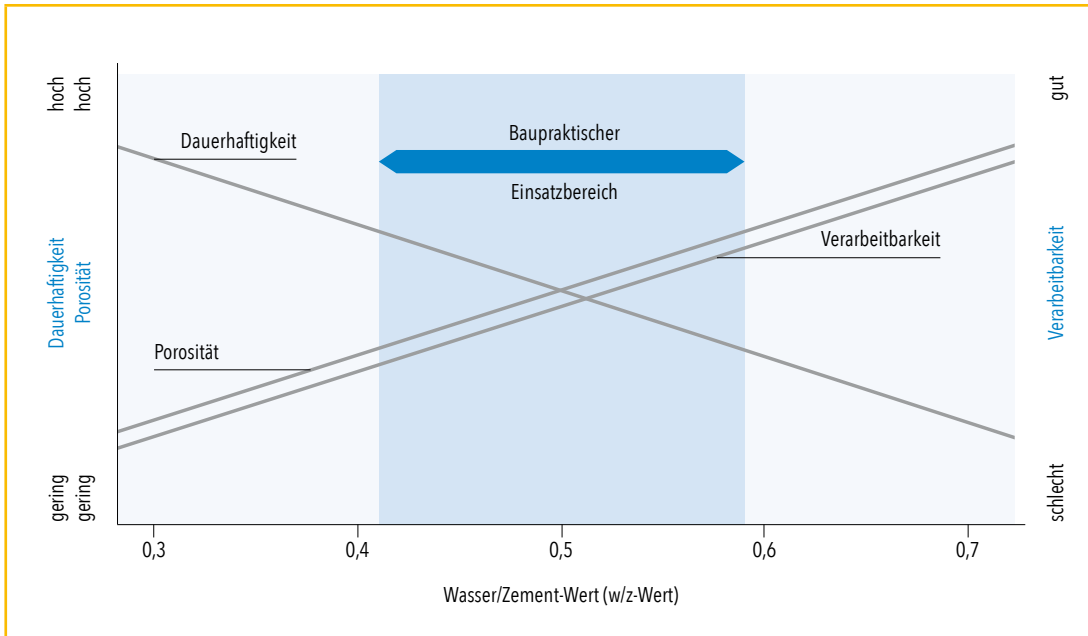
Mit sinkendem Wasserzementwert wird die Konsistenz des Frischbetons immer steifer, und er wird schwerer verarbeitbar. Um den Beton ohne die zusätzliche Zugabe von Wasser dennoch besser verarbeiten zu können, kommen spezielle Betonzusatzmittel, die Fließmittel, zum Einsatz. So ist beispielsweise zur Sicherstellung der geforderten Qualität bei Transportbeton die nachträgliche Zugabe von Wasser zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit strikt untersagt.



Betonkanu



Qualitative Abhängigkeit der Porosität, Dauerhaftigkeit und Verarbeitbarkeit von Beton vom Wasser/Zement-Wert



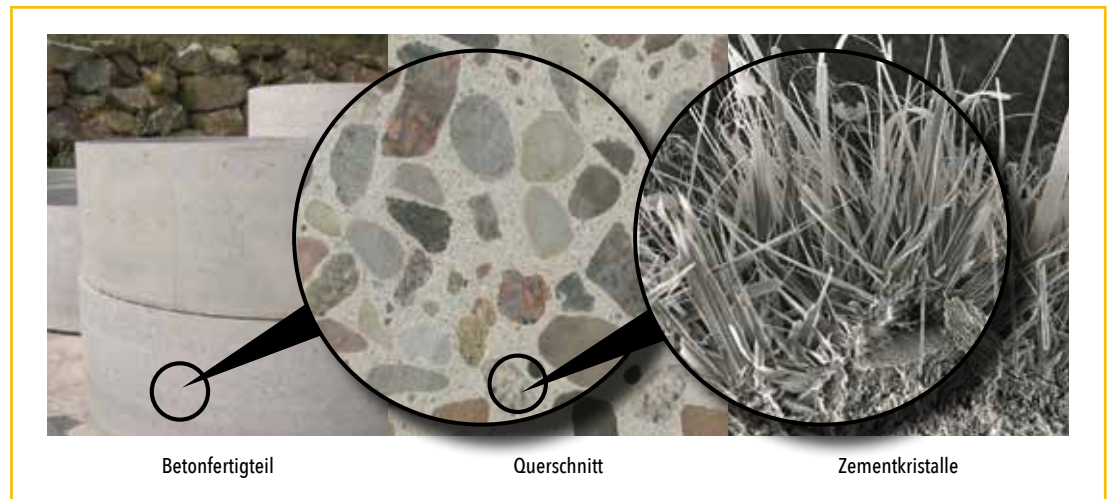
Zement beginnt nach einer bestimmten Zeit (~2 Stunden) – bei hohen Temperaturen auch früher – steif zu werden und zu erhärten. Das muss vor allem beim Transportbeton bedacht werden, der im Fahrmischer an die Baustelle geliefert wird. Da die Qualität des Betons, wenn er in einem Betonwerk gemischt wird, gleichmäßiger und damit besser ist, als wenn er auf der Baustelle hergestellt wird, gibt man heute bei längeren Fahrzeiten, bei Wartezeiten auf der Baustelle oder langen Verarbeitungszeiten dem frischen Beton bereits im Transportbetonwerk Verzögerer hinzu, wodurch der Beton länger verarbeitbar bleibt.

Beton ist also nicht gleich Beton: Die Bauchemie macht aus dem klassischen Dreikomponentensystem aus Zement, Wasser und Gesteinskörnung ein hochflexibles Sechskomponentensystem. Die Rede ist hier von Zusatzstoffen (flüssige oder pulverförmige Stoffe wie Gesteinsmehle, Hüttensande oder Flugaschen), die dem Beton in größeren Mengen zugegeben werden können und Zusatzmitteln (organische und anorganische Stoffe wie Fließmittel, Beschleuniger, Verzögerer oder Luftporenbildner), die dem Beton meistens in flüssiger Form in geringen Mengen zugegeben werden. Die sechste Komponente ist Luft. Durch die gezielte Steuerung der Luftporen werden Betone entweder frostsicher oder extrem dicht gegenüber dem Eindringen von betonaggressiven Stoffen gemacht (vgl. Abbildung 13).



Betonmischfahrzeug beim Entladen von Beton

Reise ins Betoninnere



● Zement – ein Klebstoff

Ohne Zement gibt es keinen Beton. Zement ist das wichtigste Bindemittel für den Baustoff. Um Zement herzustellen, werden die Rohstoffe Kalkstein, Ton und Sand in Steinbrüchen und Gruben abgebaut, zerkleinert und in die Zementwerke befördert. Dort werden sie fein gemahlen und in riesigen bis zu über 100 Meter langen Drehrohröfen auf 1.400 bis 1.500 Grad Celsius erhitzt. Das Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) wird dabei zum Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ) gebrannt, das sich nun mit dem Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) des Sandes und dem Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) des Tons zum sogenannten Zementklinker verbindet. Zudem enthalten die gebrannten Rohstoffe meistens auch Eisenoxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), die ebenfalls mit in die Verbindung eingehen. Der Zementklinker ist ein Zwischenprodukt und bindet selbst noch nicht ab. Zermahlt man ihn aber zu Pulver, ist seine reaktive Oberfläche so groß, dass er sehr schnell mit Wasser reagiert – zu schnell für Mörtel und Betone. Die Verarbeitungszeit wäre zu kurz. Deshalb versetzt man den pulverisierten Klinker mit Gips oder Naturgips in Form von Anhydriten\*. Damit wird die Reaktionsgeschwindigkeit herabgesetzt. Das Mineralgemisch nimmt das Wasser auf und verfilzt durch die Bildung von langen, faserigen Kristallen zu einer festen Masse. Diesen Einbau von Wassermolekülen in Kristalle nennen Mineralogen Hydratation. Bindemittel, die auf diese Weise abbinden, werden als hydraulisch bezeichnet. Zemente sind also hydraulische Bindemittel\*. Das entstandene Geflecht, der sogenannte Zementstein, ist in Wasser nicht mehr löslich und kittet alle Bestandteile bis hin zu den größten Kieseln der Gesteinskörnung zusammen – so entsteht fester Beton.

4.1.1 Wandlungsfähiger Beton – dank Zusatzmitteln

Über 90 Prozent aller Betone enthalten heute bauchemische Zusätze, die dem Ausgangsprodukt aus dem Bindemittel Zement, Wasser und Gesteinskörnung beigemischt werden.

Doch was genau verbirgt sich hinter diesen Produkten, die Beton dauerhaft, sparsam und vielseitig machen? Und wie wirken sie? Beim Beton und Transportbeton kommen meist flüssige Substanzen zum Einsatz, die aus organischen und anorganischen Stoffen bestehen. Sie werden dem Zement in so geringen Mengen untergemischt, dass sich für den Beton keine Gewichtsveränderung ergibt. Ihre Wirkungen sind dafür umso beeindruckender. Die Zusatzmittel beeinflussen die Eigenschaften des Frischbetons und des Festbetons sowohl auf chemischem als auch auf physikalischem Wege.



- **Immer im Fluss: Verflüssiger und Fließmittel**

Betonverflüssiger sind in fast jedem Beton zu finden. Zum einen sorgen sie dafür, dass sich der Beton besser und länger verarbeiten lässt, ohne dass man noch zusätzliches Wasser dazugibt. Zum anderen können sie den Wasserbedarf der Betonmischung vermindern – immerhin 5 bis 10 Prozent und mehr. Damit erhöhen sie die Festigkeit des Betons: Bei gleicher Verarbeitbarkeit wird er dichter und widerstandsfähiger.

Verflüssiger können beispielsweise die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen, wodurch sich die Feststoffe im Beton besser benetzen lassen. Zudem bewirken die Verflüssiger eine vollkommene Feinverteilung (Dispergierung) des Zements und dadurch eine Verminderung der Reibung zwischen den Festteilen, aus der wiederum eine größere Beweglichkeit, also eine bessere Verarbeitbarkeit des Betons folgt. Der Beton fließt mit Hilfe dieser Fließmittel, insbesondere der Polycarboxylatether\*, von allein und lagert sich so dicht, dass er nicht mehr durch Rütteln verdichtet werden muss (selbstverdichtender Beton).

- **Schaum gegen Eis: Luftporenbildner**

Luftporenbildner sind unerlässlich, wenn es zum Beispiel darum geht, Straßen frostbeständiger zu machen. Luftporenbildner sind Tenside und gehören damit derselben Stoffklasse wie Reinigungsmittel an. Sie setzen die Oberflächenspannung des Wassers herab, und so können sich, wie beim Seifenschaum, stabile Bläschen bilden. Luftporenbildner führen damit zu einer verstärkten Bildung von Luftblasen während des Betonmischens, die im ausgehärteten Straßenbeton Poren bilden. Dieser zusätzliche Porenraum liefert genug Platz für das gefrierende Wasser, da sonst durch den Expansionsdruck der entstehenden Eiskristalle das Gefüge gesprengt und die Betonoberfläche abplatzen würde.

Man unterscheidet zwischen Luftporenbildner-Tensiden aus natürlichen Harzen und synthetischen Tensiden.

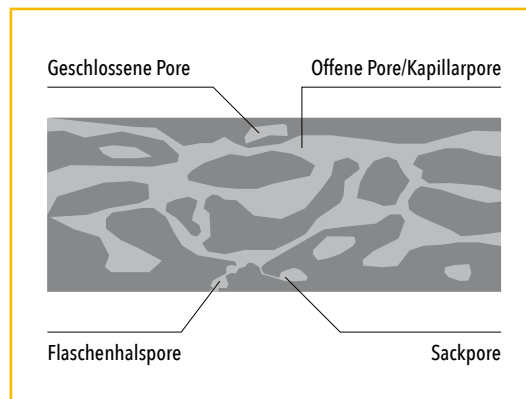
- **Immer schön langsam: Verzögerer**

Bei hohen Außentemperaturen, bei denen die Hydratation des Zements beschleunigt abläuft, und bei langen Fahrstrecken von Transportbeton, bei denen dann die Verarbeitungszeiten der Zemente nicht mehr ausreichen, ist es wichtig, die Verarbeitungszeiten von Beton zu verlängern und die Hydratation der Zemente abzubremsen. Das gelingt durch sogenannte Verzögerer. Tatsächlich können

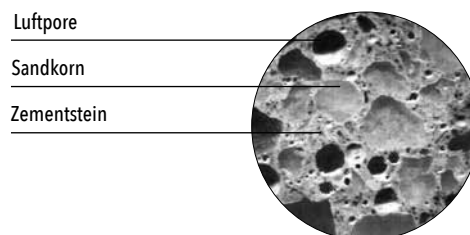
Verzögerungszeiten von einigen Stunden bis zu mehreren Tagen eingestellt werden. Chemisch gesehen verhindern diese Zusatzmittel vorübergehend, dass die zuerst reagierenden Zementteile schnell in Lösung gehen. Sie verzögern somit den Hydratationsbeginn.

ABBILDUNG 12

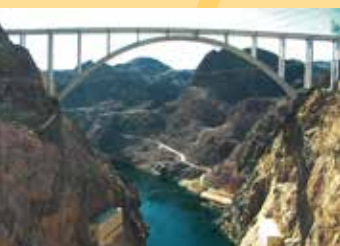
### Porenarten im Beton



Sobald die Hydratation einsetzt, entsteht durch die chemische Reaktion sehr viel Wärme. Dadurch kann sich ein Betonbauteil stark aufheizen. Auch hier helfen Verzögerer, indem sie die Reaktion in die Länge ziehen und so die starke Wärmeentwicklung dämpfen. Wichtig ist das vor allem für massige Bauwerke, beispielsweise beim Betonieren von Talsperren, von Schleusenanlagen oder dicken Fundamenten und Bodenplatten von Hochhäusern. Hier wird versucht, durch Zugabe der Verzögerer, durch Kühlung des frischen Betons im Mischer mit Eis und Kühlung des eingebauten Betons mit Hilfe von Kühlrohren, durch die kaltes Wasser geleitet wird, die Temperaturspitzen bei der Zementreaktion zu reduzieren und die Hydratationstemperaturen niedrig zu halten. Ansonsten würden wegen der hohen Temperaturspannungen bei der Abkühlung zwischen Außenseite und Kern Risse entstehen. Die geforderte Dichtigkeit des Bauwerks wäre nicht garantiert.







Hoover Damm, USA

Beim Bau des Hoover Staudamms in den USA zum Beispiel hätte es ohne Kühlrohre 100 Jahre gedauert bis der Beton im Kern endgültig erkaltet wäre. Dank der Kühlrohre erreichte man das in zwei Jahren. Bei heutigen Staudämmen liegen die Zeiten unter anderem aufgrund der bauchemischen Zusatzmittel und spezieller Zemente mit niedrigen Hydratationswärmern bei einem halben bis einem Jahr.

Die gängigsten und wirksamsten Verzögerer sind auf Gluconat- und Saccharosebasis aufgebaut – und damit Zuckerderivate. Noch besser arbeiten Verzögerer auf Phosphatbasis, die bei Transportbeton heute meist zum Einsatz kommen.

- **Wenn es schnell gehen muss: Beschleuniger**

Wenn es am Bau schnell gehen muss, kommen Beschleuniger zum Einsatz. Das ist etwa im Tunnelbau der Fall, bei dem der Beton sich extrem schnell verfestigen soll. Auch bei einem plötzlichen Wassereintrich im Tunnel oder beim Kanalbau sind die Beschleuniger die Zusatzmittel der Wahl. Die Beschleuniger bewirken – ganz im Gegensatz zu den Verzögerern – ein schnelleres „In-Lösung-Gehen“ der Zementkomponenten. Der Zement reagiert in Sekundenschnelle und entwickelt Festigkeit.

- **Für die saubere Trennung: Betontrennmittel**

Der Beton wird auf der Baustelle in eine Form, die Schalung, gegossen. Dabei handelt es sich um Holz- oder Kunststoffplatten, die so zusammengesetzt werden, wie das Betonbauteil später aussehen soll – zu einer Stütze, Wand oder Decke beispielsweise. Vor allem wenn der Beton später am fertigen Gebäude zu sehen sein soll (Sichtbeton), muss die Betonoberfläche besonderen optischen Anforderungen entsprechen. Voraussetzung dafür

ist, dass sich der Beton nach dem Erhärten sauber von der Schalung trennen lässt. Deshalb werden die Schalungen mit unterschiedlichen an das jeweilige Material der Schalung angepassten Betontrennmitteln vorbehandelt. Diese Substanzen verhindern, dass der Beton am Schalbrett haftet oder bei saugenden Schalungen sogar in die Oberfläche eindringt. In manchen Fällen dienen Schalungen als eine Art Negativform, die dem ausgehärteten Sichtbeton zum Beispiel Astlochstrukturen oder eine Holzmaserung verleihen. Derartige Effekte und gemusterte Oberflächen sind nur mit leistungsfähigen Betontrennmitteln möglich. In der Regel kommen bei saugenden Schalungen wässrige Emulsionen zum Einsatz, etwa auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen wie Palmfetten und -ölen. Bei nicht saugenden Schalungen setzt man lösemittelfreie Trennmittel auf Mineralölbasis ein.

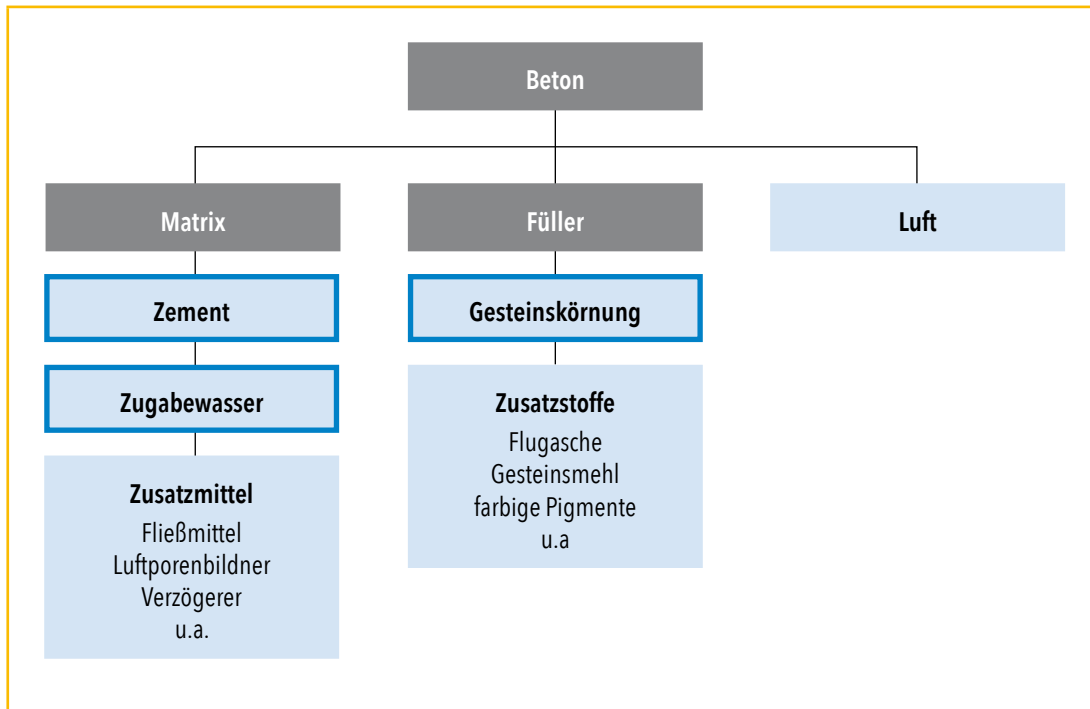
- **Damit es keine Risse gibt: Betonnachbehandlungsmittel**

Beim Bau von großflächigen Bauwerken wie zum Beispiel Betonstraßen oder großen Geschossdecken besteht ein Problem darin, dass über die große Fläche leicht Wasser aus dem Beton verdunsten kann, noch ehe der Beton richtig abgebunden hat. Der Beton trocknet aus, und Risse, in die später Wasser leicht eindringen kann, sind die Folge. Um die Verdunstung einzuschränken, wird die frische Betonoberfläche nachbehandelt. Bei diesem Verfahren sprüht man eine Paraffinwachs-Dispersion auf den frischen Beton. In dieser wässrigen Dispersion sind die Paraffinpartikel fein verteilt. Die Paraffinpartikel bilden nach dem Trocknen einen gleichmäßigen Film auf der Betonoberfläche, der ein weiteres Verdunsten von Wasser und damit das Austrocknen des Betons verhindert. Dadurch wird die Betonoberflächenqualität entscheidend verbessert.

Pantano del Montoro, Spanien



Klassische und moderne Betonzusammensetzung



Beton setzt sich ganz allgemein aus einer Matrix und einem darin eingeschlossenen Füller zusammen. Klassische Betone sind Dreikomponentensysteme (dunkelblau umrandete Kästchen), moderne Betone bestehen aus sechs Komponenten (hellblau unterlegt).

Betone bestehen aus einer Bindemittelmatrix und einem Füller

| BETONART                  | BINDEMITTELMATRIX | FÜLLER                 |
|---------------------------|-------------------|------------------------|
| Normalbeton               | Zementstein       | Gesteinskörnung        |
| Leichtbeton               | Zementstein       | Blähton/Tuff           |
| Antiker „Römischer“ Beton | Kalkstein         | Gebrochene Mauersteine |
| Schwerbeton               | Zementstein       | Stahlgranalien         |
| Asphaltbeton              | Bitumen           | Gesteinskörnung        |
| Dämmbeton                 | Zementstein       | Styroporkugeln         |

**Rohstoffe für Betonzusatzmittel und Bauhilfsstoffe**

| Wirkungsgruppe             | Rohstoffe   |
|----------------------------|---|
| Betonverflüssiger          | Ligninsulfonate sowie gegebenenfalls Beimischungen von Melaminsulfonaten und Naphthalinsulfonaten und/oder Polycarboxylaten |
| Fließmittel                | Melaminsulfonate und Naphthalinsulfonate und/oder Polycarboxylate, ggf. Beimischungen von Ligninsulfonaten                  |
| Luftporenbildner           | Seifen aus natürlichen Harzen sowie synthetische ionische und nichtionische Tenside   |
| Verzögerer                 | Saccharose, Gluconate, Phosphate, Ligninsulfonate, Zinkate  |
| Beschleuniger              | Silicate, Aluminate, Carbonate, Formiate (Salze der Ameisensäure), Aluminiumsulfat, Chloride                                |
| Betontrennmittel           | Wässrige Emulsionen, lösemittelfreie Trennmittel auf Mineralölbasis   |
| Betonnachbehandlungsmittel | Wässrige Paraffin-Dispersion  |

● **Risse und Schäden an Beton**

In der Regel kann Wasser einem intakten Betonbauwerk kaum etwas anhaben. Vor allem wenn es aus wasserundurchlässigem Beton (WU-Beton) gefertigt ist. Doch trotz aller sorgfältigen Planung von Bauarbeiten und erstklassiger handwerklicher Arbeit kann es geschehen, dass Betonbauwerke nach einiger Zeit Risse zeigen – zum Beispiel weil sich der Boden unter dem Bauwerk gesetzt hat (Setzungsrisse), weil das Bauwerk durch Verkehr oder Erdbeben erschüttert wird (Bewegungsrisse), weil immer mehr schwere Lastwagen über Brücken fahren (Belastungsrisse) oder weil chloridhaltiges Wasser, etwa mit Streusalz versetztes Wasser oder Meerwasser, eindringt. Wasser kann die Bewehrung auch mehrere Zentimeter hinter der Oberfläche durch Korrosion gefährden, da Chloridionen tief in den Baustoff wandern können. Die Risse sind manchmal so klein, dass man sie kaum mit bloßem Auge erkennen kann. Man bemerkt sie erst, wenn dunkle Flecken oder rostrote Sickerstellen auf der Tunnelwand, der Parkhausmauer oder an Balkonunterseiten sichtbar werden. Dann wird klar: Hier stimmt etwas nicht.

○ **HINWEIS**

**Korrosion des Bewehrungsstahls**

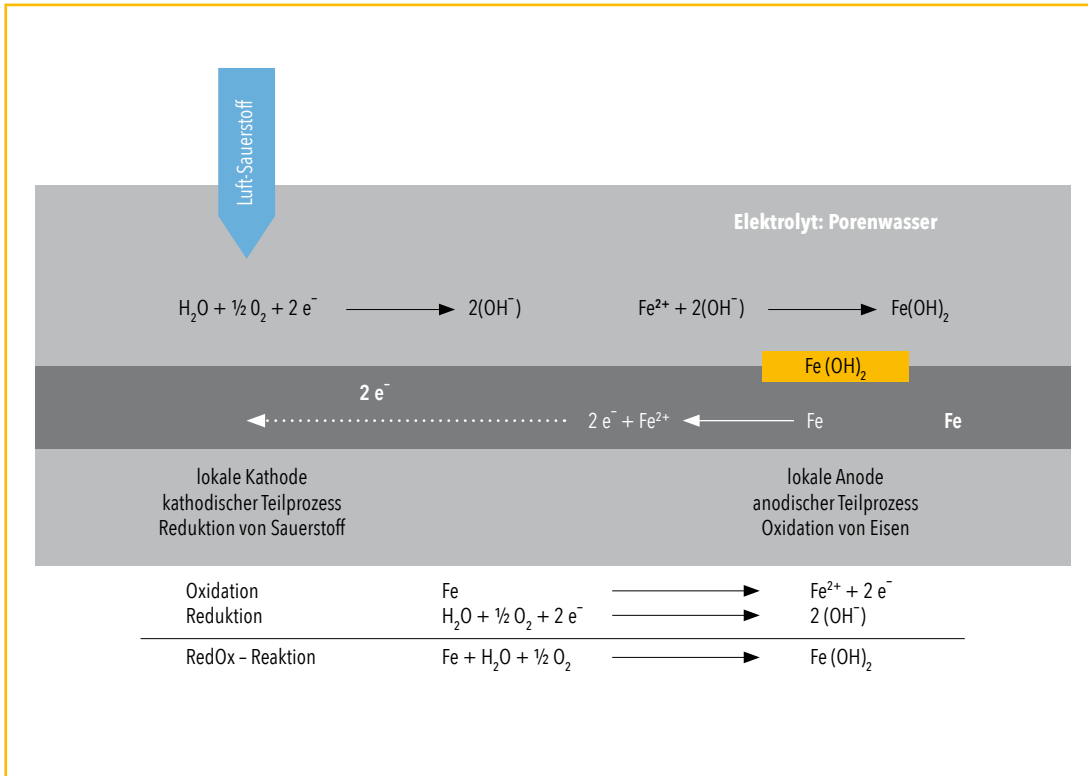
Im intakten Bauwerk schützt das alkalische Milieu des umgebenden Betons die Bewehrung vor Korrosion. Doch Umwelteinflüsse und Risse im Beton können diesen Schutz aufheben. Wird das Diol\* des Zementsteins durch Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre karbonatisiert\*, sinkt der pH-Wert, der Schutz des Bewehrungsstahls ist nicht mehr gewährleistet, und es kommt zur Korrosion.



*Korrodierte Stahlbewehrung*



Bewehrungskorrosion



INSTANDSETZEN VON BRÜCKEN

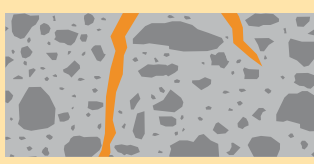
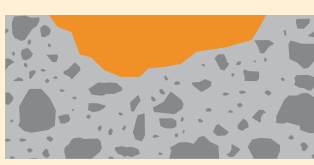

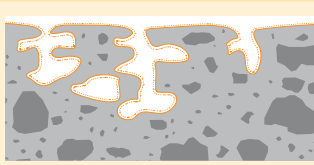
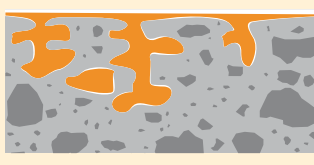

Im Netz der Bundesfernstraßen (Autobahnen und Bundesstraßen) befinden sich rund 38.000 Brücken mit einer Fläche von etwa 28 Millionen Quadratmetern. Ihre Gesamtlänge beträgt 1.913 Kilometer. Das ist zwei Mal die Strecke von Flensburg bis nach München. Insgesamt schätzt man den Bestand der Straßenbrücken in Deutschland sogar auf 120.000 (Straßenbaubericht NRW). Sie entsprechen einem volkswirtschaftlichen Vermögen von rund 80 Milliarden Euro. Um diese Bauwerke zu erhalten, müssen sie gepflegt und gewartet werden. Da der Verkehr weiterhin zunimmt, wer-

den die Brücken immer stärker belastet. Als Außenbauteile unterliegen sie darüber hinaus starken Witterungseinflüssen. Damit die Brücken weiterhin Personen- und Güterverkehr sicher tragen können, wird häufig ihre Tragfähigkeit mit Hilfe von zusätzlich angebrachter Bewehrung (Stahl oder Kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe) und einer umhüllenden Betonschicht aus Spritzbeton verbessert. Auch Betonfahrbahnen werden häufig mit hochfestem Beton erneuert – wodurch die Nutzungsdauer solcher Bauwerke deutlich gesteigert und die Lebensdauer verlängert wird.



Brückenbauarbeiten

Die Betonsanierung ist vielfältig. Experten unterscheiden folgende Wege zum „gesunden Beton“

|    |  |  |
|----|--|--|
| 1. | Füllen von Rissen und Hohlräumen mit Reaktionsharz, Zementleim, Zementsuspension   |   |
| 2. | Ausfüllen kleiner Stellen mit Reparaturmörtel und Beton  |   |
| 3. | Großflächiges Auftragen von Mörtel oder Beton  |   |
| 4. | <p>Auftragen von:</p> <p>a) Hydrophobierung: Imprägnierende Behandlung des Betons zur Herstellung einer wasserabweisenden Oberfläche. Die Poren und Kapillaren sind nicht gefüllt, sondern nur ausgekleidet. Es bildet sich kein Film. Die Betonoberfläche wird optisch nicht verändert</p> <p>b) Imprägnierung: Versiegelnde Behandlung des Betons zur Reduzierung der Oberflächenporosität. Die Poren und Kapillaren sind weitgehend gefüllt. Auf der Betonoberfläche entsteht ein ungleichmäßiger dünner Film</p> <p>c) Beschichtung: Schichtbildende Behandlung des Betons zur Herstellung einer geschlossenen Schutzschicht auf der Betonoberfläche</p> | <br><br> |
| 5. | <p>Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Stahlbewehrung durch</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flächigen Auftrag von Mörtel oder Beton</li> <li>- Örtliche Ausbesserung mit Beton oder Mörtel</li> <li>- Begrenzung des Wassergehalts im Beton</li> <li>- Beschichten der Bewehrung</li> </ul>  |  |

☐ LEHRER-INFO

- Arbeitsblatt 3: Ausgangsstoffe für Beton
- Arbeitsblatt 4: Wandlungsfähiger Beton dank Zusatzmitteln
- Arbeitsblatt 8: Korrosion von Stahlbeton durch Karbonatisierung
- Arbeitsblatt 9: Korrosion von Bewehrungsstahl durch Chloridionen
- Experiment II: Die Wirkung von Zusatzmitteln auf Beton
- Experiment V: Der experimentelle Nachweis der Karbonatisierung

## 4.2 Kleiner feiner Betonbruder: Der Mörtel

Er verbindet Mauersteine jeder Art untereinander (Mauermörtel), schützt gegen äußere Einflüsse (Putzmörtel) oder dient als Nutzschiicht (Estrich) und ist eigentlich nichts anderes als Beton: Mörtel. Das Gemisch besteht aus den gleichen Ausgangsstoffen wie Beton: einem Bindemittel (Zement, Kalk oder andere), Wasser und Gesteinskörnung (Sand). Die Bestandteile der Gesteinskörnung sind aber deutlich kleiner als beim Beton und in Deutschland in der Regel auf vier Millimeter begrenzt. Fachleute unterscheiden zwischen Luftmörtel (bestehend aus Kalk oder Gips, Gesteinskörnung, Wasser), der nur an der Luft erhärtet, und hydraulischem Mörtel (bestehend aus Zement oder hochhydraulischem Kalk, Gesteinskörnung, Wasser), der auch unter Wasser hart wird. Bis in die 1950er-Jahre blieb die Mörtelherstellung gleich: Zement, Kalk oder Gips als Bindemittel, Sand und eventuell weitere Zusätze wurden auf der Baustelle vom Bauarbeiter gemischt und mit Wasser versetzt. Mit den Werk trockenmörteln wurde nach dem 2. Weltkrieg dann ein Meilenstein gesetzt: Die Rohstoffe und bauchemischen Zusatzmittel sind bereits fix und fertig abgewogen und vorgemischt und müssen an der Baustelle nur noch mit Wasser angemischt werden – ein erheblicher logistischer, zeitlicher und kostensparender Vorteil. Außerdem bleiben die Mischungsverhältnisse immer gleich und sind nicht von der Tagesform eines Handwerkers abhängig. Erst diese Trockenmörteltechnologie ermöglichte den Einsatz von sogenannten Hochleistungsmörteln wie Fliesenklebern, Fugenmörteln, Dichtschlämmen, Putzen und Estrichen.



Übrigens: Reduziert man die Korngröße der Gesteinskörnung noch weiter auf unter einen Millimeter, dann spricht man nicht mehr von Mörtel, sondern von hydraulischen Spachtelmassen und Schlämmen.

### HINWEIS

Beton, Mörtel, Spachtelmassen und Schlämmen gehören alle zu einer Gruppe von Baustoffen und unterscheiden sich nur durch die Größe der Gesteinskörnung.



Transport der Emmauskirche

## SCHAUMMÖRTEL

### Eine Kirche auf Reisen

Ein Spezialfall des Mörtels ist der Injektionsschaummörtel, der zum Schließen von Rissen und Fugen verwendet wird. Mit diesem besonders leichten und fließfähigen Mörtel lassen sich Bauwerke sanieren und stabilisieren, Hohlräume und Risse verfüllen sowie das gesamte Verbundverhalten aller Mauerwerkskomponenten verbessern. Im September 2007 ging dank Injektionsschaummörtel eine ganze Kirche auf Reisen: In sechs Tagen wurde die fast 20 Meter hohe, 14,5 Meter lange, knapp neun Meter breite und rund 800 Tonnen schwere Emmauskirche aus Heuersdorf an ihren neuen Standort, im zwölf Kilometer entfernten Borna, umgesetzt. Der Transport der 750 Jahre alten Kirche war nur mit Hilfe eines Spezialmörtels, des sogenannten Injektionsschaummörtels möglich. Im Injektionsschaummörtel ersetzen Luftporen den Anteil der Gesteinskörnung im herkömmlichen Mörtel. Wichtige Bestandteile sind bauchemische Zusatzmittel: ein Schaumbildner auf Tensid- oder Proteinhydrolysatbasis (Eiweißschaum) und ein sogenannter Stabilisierer, der die Stabilität des erzeugten Schaums erhöht. Mit diesem Mörtel wurden alle Hohlräume im Mauerwerk kraftschlüssig verfüllt und die Kirche zu einem insgesamt so standfesten Bauwerk zusammengefügt, dass das Gebäude den erschütterungsreichen Transport auf einem Spezialfahrzeug gut überstand. Ostern 2008 wurde das Gotteshaus wieder eingeweiht. Mehr als 200 Objekte – vor allem historische Bauwerke – wurden in Deutschland bereits mit diesem speziellen Schaummörtel stabilisiert.



Heute bietet der Markt eine Fülle spezieller Mörtel: Manche enthalten bis zu 20 verschiedene Zusatzmittel und werden damit auf unterschiedlichste Anforderungen ge-

trimmt. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Inhaltsstoffe der Werk trockenmörtel.

TABELLE 3

**Inhaltsstoffe von Werk trockenmörteln**

| Inhaltstoff | Mineralische Bindemittel  | Polymere Bindemittel   | Zuschlagstoffe   | Additive  |
|-------------|---|--|--|---|
| Wirkung     | Sie verkleben Zuschlagstoffe und andere in der Mörtelmischung vorliegende Feststoffe und sorgen für gute Haftung. | Sie verbessern die Flexibilität, die wasserabweisenden Eigenschaften und die Haftung auf modernen oft glatten Baustoffen wie etwa Polystyrol- oder Faserplatten. | Zuschlagstoffe sind vor allem Sande. Teilweise werden optisch ansprechende Zusatzstoffe wie Farbpigmente verwendet, etwa bei gut sichtbaren Fugen. | Sie verbessern die Verarbeitbarkeit des Mörtels, etwa das Wasserrückhaltevermögen. Der Mörtel trocknet langsamer. |

Ihre verblüffenden Eigenschaften erhalten moderne Mörtel vor allem durch spezielle bauchemische Zusatzmittel und Zusatzstoffe. Dazu zählen insbesondere polymere Komponenten, durch die sich Mörtel deutlich besser verarbeiten lässt und sich außerdem besser mit verschiedenen Untergründen verbindet. Diese Polymere werden dem Mörtel bereits in der Fabrik in Pulverform beigemischt, anders als bei den flüssigen Zusatzmitteln für Beton. Entscheidend dafür war eine deutsche Erfindung aus den 1950er Jahren, die Sprühtrocknung. Damit ließen sich erstmals die eigentlich flüssigen Polymere (Kunststoffe), vor allem Latexlösungen, in ein Pulver verwandeln, das sich mit den übrigen Mörtelzutaten bequem mischen und in Säcke abfüllen lässt. Beim Anrühren des Mörtels mit Wasser verteilt sich das Pulver dann wieder gleichmäßig in dem ursprünglichen Latex – es redispersiert. „Redispersieren“ bedeutet „wieder verteilen“. Die Pulver heißen entsprechend Dispersionspulver.

Die folgenden Abschnitte stellen verschiedene Mörteltypen im Detail vor.

**4.2.1 Fliesenverlege- und Fugenmörtel: Sicherer Halt an jeder Wand**

Geflieste Wände und Böden sind allgegenwärtig, praktisch und ästhetisch. Fliesen sollen möglichst lange halten und nicht von der Wand fallen, selbst unter härtesten Bedingungen nicht. Auf Schwimmbadfliesen trampeln Tausende von Füßen. Täglich werden sie mit scharfen Reinigungsmitteln abgeseift, und häufig stehen sie dauerhaft unter Wasser. Bei den Terrassenfliesen sieht es nicht viel

besser aus: Im Sonnenschein heizen sie sich auf mehr als 50 Grad Celsius auf, im Winter sind sie mitunter Temperaturen von unter -20 Grad Celsius ausgesetzt. Die Fliesen können dabei ihre Längsabmessungen um mehrere Millimeter ändern. Starre Fliesenklebermörtel auf rein mineralischer Zementbasis mit ihrem spröden Kristallgefüge würden solche Belastungen (Dehnungen) kaum aushalten und schon nach kurzer Zeit würden die Fliesen abplatzen. Auch heute noch enthalten fast 90 Prozent aller Fliesenkleber Zement. Dass trotzdem nichts abplatzt, liegt an den bauchemischen Zusatzmitteln, den Dispersionspulvern und den darin enthaltenen Polymeren oder Harzen. Denn härtet der Mörtel aus, bilden die Polymere zwischen den spröden mineralischen Bestandteilen des Mörtels dauerelastische Kunststoffbrücken aus, wodurch sich die Haftungseigenschaften auf den verschiedenen Untergründen entscheidend verbessern. Für Fliesenleger war es früher ungemein schwierig, Fliesen auf andere Untergründe als Stein oder Beton zu kleben – beispielsweise Fliesen auf Fliesen oder Fliesen auf Holz, PVC oder Gipsfaserplatten. Mit modernen Dispersionspulvern ist dies jedoch kein Problem mehr. Darüber hinaus erhöhen die Kunststoffbrücken die Elastizität des erhärteten Fliesenklebermörtels. Das macht ihn unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen und die damit verbundenen Längenänderungen, sogenannte Dehnungen.

Auch die wasserabweisende Eigenschaft, die Hydrophobie, des Mörtels verbessert sich durch den Kunststoffanteil. Nicht einmal im Schwimmbad dringt Wasser in den Fliesenkleber ein, das den Mörtel sonst – zumindest im Au-



Wandbild „Hornet“ von Sarah Morris

Benbereich im Lauf der Zeit zum Beispiel durch Frost zerstören könnte. Und noch einen Vorteil bieten die modernen Mörtel: Sie lassen sich schnell und einfach verarbeiten, was die Bauzeiten und die Kosten deutlich verringert.

Und damit der Fugenmörtel farblich zur Fliese passt, gibt es Mörtel längst mit diversen Farbpigmenten. Selbst für die ganz schweren Fälle gibt es den passenden Fugenmörtel: für das Verfugen von Natursteinauffahrten oder Parkplätzen, über die täglich Hunderte von Autos, Lieferwagen oder sogar 36-Tonnern donnern.

Mörtel muss aber mehr als nur strapazierfähig sein. In manchen Fällen zählen ganz andere Eigenschaften. So gibt es Gesteine, die sich verformen, wenn sie Wasser aufnehmen – Sandsteine zum Beispiel. Verfugt oder verklebt man solche Steine, wird ein spezieller Mörtel benötigt, der kaum Wasser abgibt und der ein hohes Wasserrückhaltevermögen (WRV) besitzt. Dazu mischt man Celluloseether bei, die zu den wirkungsvollsten bauchemischen Zusatzmitteln – den Additiven – in Trockenmörteln gehören. Ein Anteil von nur 0,02 bis 0,7 Prozent im Mörtel reicht aus, um das Wasserrückhaltevermögen erheblich zu steigern. Inzwischen gibt es sogar Mörtel mit antibakteriellen Additiven, die verhindern, dass sich Bakterien- oder Algenbeläge auf den Fugen im Badezimmer oder in der Küche bilden.

#### TABELLE 4

Kriterien, die verschiedene moderne Fugenmörtel erfüllen müssen

Verkehrsbelastungen – Gabelstapler, Fußgänger

Chemische Belastung – Säuren, Laugen

Spannungen durch Wärmeausdehnung

Reinigung – insbesondere Scheuern und Hochdruckreiner

Benetzung mit Wasser – insbesondere bei Wasserbehältern

Eignung für verschiedene Baustoffe – zum Beispiel verschiedene Natursteine

Haftung bei verschiedenen Fugentiefen und -breiten

Farben nach Wunsch

#### LEHRER-INFO

Arbeitsblatt 5: Der Transport der Emmauskirche

Arbeitsblatt 6: Bauchemischer Allzweckkleber:  
Der Mörtel



Gefliestes Schwimmbecken

#### 4.2.2 Dichtungsschlämmen: Damit das Wasser draußen bleibt

Dichtungsschlämmen sind eine effektive Sperrschicht für Wasser. Zu den typischen Anwendungsgebieten gehören Kellerwände, Feuchträume, Schwimmbäder, Balkone oder Terrassen. Dort werden Dichtungsschlämmen als wassersperrende Schicht unter Fliesen eingesetzt. Und manchmal werden sie auch in Zoogehegen benötigt.

Dichtungsschlämmen gehören zu den wohl ungewöhnlichsten Mörtelarten, denn dank ihres mitunter sehr hohen Polymeranteils von bis zu 40 Prozent ähneln sie im ausgehärteten Zustand eher einer dauerelastischen Gummischicht als einem klassischen Mörtel. Experten sprechen von „flexiblen“ oder „hochflexiblen Dichtungsschlämmen“. Sie sind so elastisch und zugleich haltbar, dass sie sogar bis zu mehrere Millimeter breite Risse überbrücken, ohne einzureißen. Eine andere Variante der Dichtungsschlämmen, die „starr mineralischen Dichtungsschlämmen“ mit einem höheren Zementgehalt und sehr viel geringerem Polymeranteil, setzt man hingegen bei festen, harten Untergründen ein, die nicht zur Rissbildung neigen (beispielsweise Kelleraußenwänden).

#### HINWEIS:

##### Warum ist Abdichten so wichtig?

Ganz gleich, ob als Dampf, in flüssiger Form oder als Eis: Wasser ist für Baustoffe wie Beton, Mauerwerk und Naturstein das wohl zerstörerischste Element. Fachleute unterscheiden verschiedene Wege, auf denen Wasser in ein Gebäude eindringen kann:

- Kondenswasser: Atemfeuchte, Wasserdampf
- Undichte Badezimmer, Duschwannen
- Spritzwasser durch Regen am Gebäudesockel
- Bodenfeuchte im umgebenden lockeren Boden
- Nicht drückendes Wasser, also jenes Wasser, das sich im tiefer gelegenen dichteren Boden anreichert. Es übt auf das Gebäude nur einen geringen hydrostatischen Druck aus. Auch bei Wassertropfen im Badezimmer oder Regen auf der Terrasse spricht man von nichtdrückendem Wasser.

#### LEHRER-INFO

Experiment X: Dichtungsschlämmen

#### ABBILDUNG 16

##### Flexible Dichtungsschlämmen



Flexible Dichtungsschlämmen bestehen im Wesentlichen aus Zement, Zuschlägen und einem Kunststoffanteil.

#### ABBILDUNG 17

##### Dichtungsschlämmen mit und ohne Polymerbeimischung



Die Abbildung zeigt zwei Pappschachteln. Die linke wurde innen mit einer wasserabweisenden Polymer-Dichtungsschlämme beschichtet und hält das Wasser. Die rechte wurde mit einer herkömmlichen Dichtungsschlämme ohne Polymeranteil beschichtet. Sie kann Wasser nicht zurückhalten. Nach kurzer Zeit hat das Wasser die Pappe durchweicht und tritt aus.



#### 4.2.3 Bodenausgleichsmassen: Immer schön glatt

Selbstverlaufende Bodenausgleichsmassen – was für ein Wortmonster! Während jeder die Begriffe Beton, Mörtel oder Putz kennt, ist dieser Fachausdruck wohl eher unbekannt. Aber: Ohne selbstverlaufende Bodenausgleichsmassen gäbe es kaum großflächige glatte Böden. Sie machen die Schulaula so perfekt glatt, dass kein Stuhl wackelt und bei der Schuldisco niemand ins Straucheln gerät. Sporthallenböden werden durch sie zum ebenen Spielfeld. Und in großen Fabrikhallen sorgen sie dafür, dass die flinken Elektrogabelstapler sanft und ohne zu holpern dahingleiten können. Wenn der Rohbau eines neuen Gebäudes steht, kommen die Bodenausgleichsmassen zum Einsatz. Auch sie sind eine spezielle Variante des Trockenmörtels. Sie werden in relativ dünner Schicht per Pumpe und Schlauch aufgetragen oder einfach aus dem Eimer auf den groben und meist rauen Beton- oder Estrichboden gegossen. Das Faszinierende: Dank ihrer speziellen Rezeptur verteilt sich die Masse gleichmäßig auf dem Boden wie die Lavalawine eines Vulkans über die Landschaft. Sie füllt Unebenheiten im Boden, Risse, Löcher. Wer schon einmal einen Eimer Schlamm ausgeleert hat, weiß, dass diese Eigenschaft etwas Besonderes ist. Meist bleibt der schwere Matsch in einem Häuflein liegen, während das Wasser davonrinnt. Nicht so die Bodenausgleichsmasse: Der Handwerker muss den honigartigen Spezialmörtel nur mit einer Art Gummiwischer ein wenig auf der großen Fläche verteilen, schon verläuft die Masse gleichmäßig und bildet je nach Menge und Anwendung Schichtdicken von bis zu 35 Millimeter.



Konsistenztest

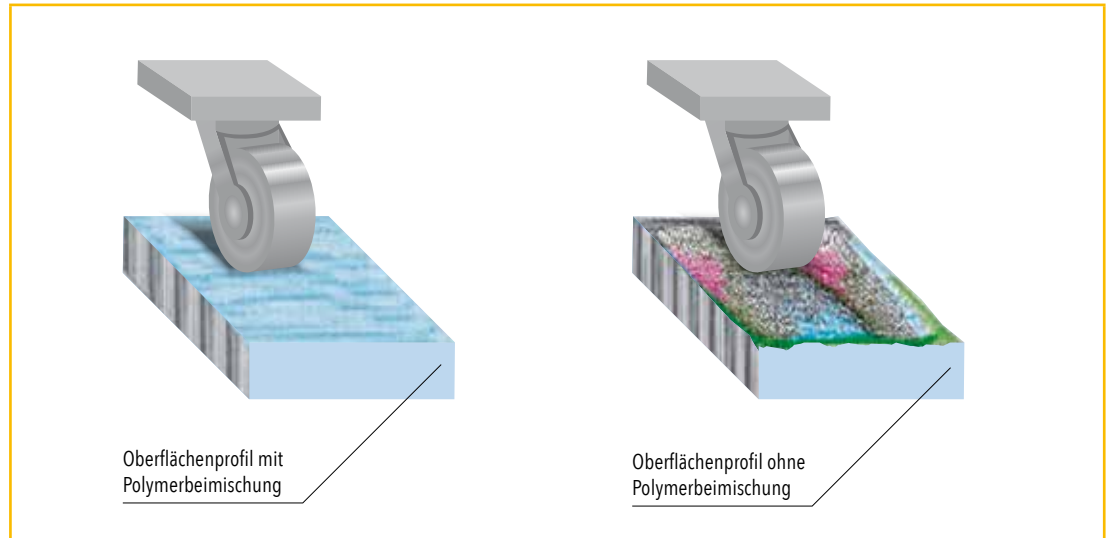
Wie bei den anderen Mörtelarten auch sind es vor allem Dispersionspulver, mit denen sich die Eigenschaften der Bodenausgleichsmassen anwendungsgerecht einstellen lassen. So verlaufen die Ausgleichsmassen vor allem deshalb so gut, weil sich die Polymere zu einem molekularen Netzwerk ordnen und dabei gleichmäßig verteilen. Auch zur Festigkeit tragen die Polymere bei. Wie haltbar und „abriebbeständig“ Bodenausgleichsmassen mit Dispersionspulveranteil sind, weisen die Hersteller mit der sogenannten „Verschleißprüfung“ nach: Ein kleines Stahlrad wird dabei auf die ausgehärtete Masse gepresst und 10.000-mal in verschiedenen Richtungen über die Fläche gerollt. Abbildung 18 zeigt, dass sich eine Bodenausgleichsmasse mit Polymerbeimischung deutlich weniger abnutzt.



Verarbeitung von Bodenausgleichsmasse



Verschleißprüfung verschiedener selbstverlaufender Spachtelmassen



4.2.4 Putze und Klebemörtel: Schöne Wände und mehr

„Raufaser, weiß“ das war noch vor wenigen Jahren in vielen Wohnungen und Häusern der Wandschmuck der Wahl. Inzwischen gestalten viele ihre Zimmer nicht mehr mit der klassischen Tapete, sondern mit hochwertigen Putzen – einer weiteren Spielart der Werk trockenmörtel. Die Putz-Palette ist riesig, nicht zuletzt dank bauchemischer Zusatzmittel. Wer es schlicht und elegant mag, greift zum glatten Gipsputz. Wer eher den rustikalen, gemütlichen Charme eines italienischen Restaurants bevorzugt, kann seine Wände mit rauem Putz schmücken. Experten unterteilen Putze nach ihren Bindemitteln in folgende fünf Gruppen: Kalkmörtel-, Kalkzementmörtel-, Zementmörtel-, Gipsmörtel- und Anhydritmörtelputze. Je nach Bindemittel werden Putze nur in Innenräumen oder auch an Außenwänden verwendet. Der Putz soll vor allem zwei Aufgaben erfüllen. Er soll ein Gebäude dauerhaft vor Witterungseinflüssen schützen und gut aussehen. Alle modernen Putze werden heute zentral in Werken hergestellt und brauchen auf der Baustelle nur noch mit Wasser angemischt zu werden.

Putze sollen wasserdampfdurchlässig – diffusionsoffen – sein. Das gilt vor allem für Innenräume, denn die Wände müssen Raumfeuchte und Dämpfe aus Küche und Bad aufnehmen und so für ein angenehmes Raumklima sorgen. Ansonsten bildet sich schnell Schwitzwasser.



Verputzte Hausfassade mit Wärmedämmung

#### 4.2.5 Gebäudedämmung: Gut für den eigenen Geldbeutel und für das Klima

Eine der effektivsten Methoden zur Senkung des Energieverbrauchs von Gebäuden ist die Wärmedämmung der Fassade. Dadurch wird verhindert, dass die Wärme aus den Innenräumen direkt über die Wände nach außen abgegeben wird, was den Energieverbrauch spürbar senkt. Somit wird zum Heizen deutlich weniger Öl oder Erdgas benötigt. Die möglichen Einsparungen sind beträchtlich, denn in Deutschland wird heute fast ein Drittel der verwendeten Primärenergie\* allein für das Heizen von Privathaushalten benötigt. Gleichzeitig gelten in Deutschland mehr als 50 Prozent aller Wohneinheiten als unzureichend gedämmt. Würden diese Wohnungen zum Beispiel mit Hartschaumplatten aus Polystyrol gedämmt, könnte der Heizölverbrauch pro Quadratmeter um bis zu zwei Drittel gesenkt werden. Der Ausstoß an Kohlendioxid würde sich um rund 70 Millionen Tonnen jährlich verringern. Ein deutlicher Beitrag zum Klimaschutz! Eine moderne Wärmedämmung kann bei einer Lebensdauer von 50 Jahren rund 5.500 Liter Heizöl pro Kubikmeter Dämmmaterial oder 19 Tonnen Kohlendioxid einsparen.

##### ● Wärmedämmverbundsystem

Die Dämmung der Fassade wird als sogenanntes Wärmedämmverbundsystem (WDVS) montiert. Dabei handelt es sich um einen mehrschichtigen Sandwichaufbau. Dieser besteht aus wärmedämmenden Materialien wie Styropor, Polyurethanschaum, Steinwolle, Holzwolle-Leichtbauplatten oder Kork, die auf die Außenwände von Gebäuden aufgeklebt werden. Befestigt werden die Dämmstoffe mit speziellen Klebemörteln, Dübeln oder Halteleisten. Die Dämmung wird anschließend an der Außenseite mit einer Beschichtung versehen. Diese Beschichtung besteht aus einem Unterputz (Armierungsschicht) und einer Schlussbeschichtung (Putz, keramische Verkleidung wie Klinkerriemchen oder Fliesen), die wasserabweisend und dennoch wasserdampfdurchlässig (diffusionsoffen) sein sollte.

##### ○ LEHRER-INFO

Experiment XI: Die dämmenden Eigenschaften von Polystyrol

Doch was so einfach klingt, ist eine echte Herausforderung, denn eigentlich haften Mörtel schlecht auf glatten Kunststoffoberflächen. Wie also ist es möglich, dass Putz und Dämmplatte so gut aneinander kleben, dass ein Wärmedämmverbundsystem sogar einen gepfefferten Schuss mit dem Fußball übersteht?

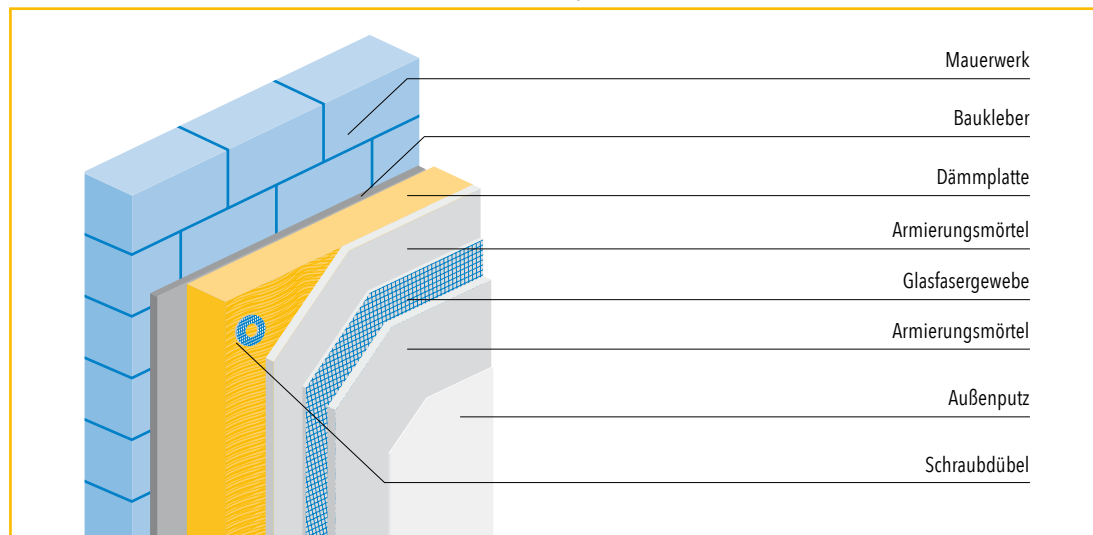
Besonders wichtig ist der Armierungsputz (das Wort „armieren“ bedeutet ursprünglich „mit Waffen ausrüsten“). Beim Armierungsputz wird in einen zementhaltigen Trockenmörtel ein dünnes und flexibles Glasfasergewebe eingelegt. Diese Armierungsschicht trägt entscheidend zur Stabilität der ganzen Konstruktion bei. Der Armierungsmörtel muss besonders elastisch sein und Stöße abfangen können. Zu diesem Zweck wird der Mörtel mit einem polymerhaltigen Dispersionspulver vermischt. Die Herausforderung: Der Putz muss so elastisch sein, dass er Stöße zwar abfedert, aber zugleich so fest, dass die darunterliegende Dämmplatte nicht eingedellt wird. Durch Fußbälle oder Hagelschlag verursachte Dellen in der Hauswand, wären für Besitzer ein Ärgernis. Letztlich kommt es auf die richtige Mischung der Ausgangsstoffe an: Zement erhöht die Druckfestigkeit, Härte und Wasserbeständigkeit des Putzes. Zu viel Zement macht den Putz spröde und anfällig für Risse. Zur nötigen Flexibilität und Haftung auf den Kunststoffuntergründen tragen deshalb die Polymere bei.



Fassadendämmung



Schematischer Schichtaufbau eines Wärmedämmverbundsystems



Die Schlussbeschichtung der Außenfassade kann je nach Wunsch aus Putzen, Holz, Keramik, Klinker, Fliesen oder Metallverkleidungen bestehen. Fällt die Wahl auf eine verputzte Wand, kommen häufig Silikatputze auf Basis von Zement oder hydraulischem Kalk zum Einsatz. Diese sollten eine geringe Wasseraufnahme aufweisen, ein hohes Wasserdampfdiffusionsvermögen besitzen, gut zu verarbeiten, unempfindlich gegen Rissbildung, langlebig und widerstandsfähig gegen Pilze, Algen und Schädlinge sein. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden Putzsysteme für WDVS meist zweischichtig aus Unterputz (Armierungsschicht) und Oberputz (Schlussbeschichtung) hergestellt. Farbpigmente sorgen für abwechslungsreiche Fassaden.

#### 4.2.6 Reparaturmörtel

Wenn es darum geht, kleine oberflächliche Schäden oder Abplatzungen an Wänden auszubessern oder Löcher im Gebäude wie etwa Hohlräume an Heizungsrohren oder Versorgungsleitungen zu füllen, dann kommen meist Reparaturmörtel zum Einsatz. Reparaturmörtel sind Mörtel auf Zementbasis mit einem Zusatz von Polymeren. Dank der Polymere haftet der Mörtel besser am Untergrund als reine Zementmörtel. Je nach Verwendungszweck gibt es Reparaturmörtel mit unterschiedlichen Polymerbeimischungen, die gut an den unterschiedlichen Untergründen haften. So werden unter anderem Reparaturmörtel für waagerechte und schwach geneigte Flächen und sogar Mörtel für Über-Kopf-Arbeit an der Zimmerdecke angeboten.

Auch bei den sogenannten Haftbrücken handelt es sich um Mörtel auf Zementbasis mit Polymerbeimischung. Sie verbessern die Haftung des eigentlichen Putzes auf dem Untergrund. Bei der Betonreparatur werden sie eingesetzt, um dem Instandsetzungsбетон Halt auf der zu reparierenden Fläche zu geben. Haftbrücken können auch als Feuchtigkeitsbarriere zwischen Untergrund und Außenhaut dienen. In manchen Fällen sind sie zugleich Korrosionsschutz und verhindern, dass von außen Feuchte bis zur Bewehrung vordringt.



Reparaturmörtelauftrag

### 4.3 Kunststoffe in der Bauchemie: Für jeden Einsatz das richtige Rezept

Kunststoffe, organische Polymere, wurden auf den vorangegangenen Seiten schon intensiv behandelt – doch zu meist nur als Zusatzmittel in Beton oder Mörtel. In der Bauchemie sind die Kunststoffe aber mehr als ein Mittel zur Verbesserung der Eigenschaften anderer Materialien. Auch in ihrer reinen Form sind sie unerlässliche Werkstoffe und Baumaterialien. Auf den folgenden Seiten werden einige wichtige Kunststoffgruppen etwas ausführlicher vorgestellt. Die meisten der für die Bauchemie erforderlichen Grundchemikalien werden in den Werken der großen Chemieunternehmen produziert. Die Leistung der Bauchemie besteht darin, diese Grundstoffe für den jeweiligen Verwendungszweck optimal miteinander zu kombinieren und damit neue Produkte mit gezielt einstellbaren neuen Eigenschaften maßzuschneidern.

#### 4.3.1 Reaktionsharze

Reaktionsharze sind flüssige oder verflüssigbare Harze, die für sich allein (Einkomponentensysteme) oder zusammen mit Reaktionsmitteln (Mehrkomponentensysteme) wie Härtern oder Beschleunigern reagieren. Diese Reakti-

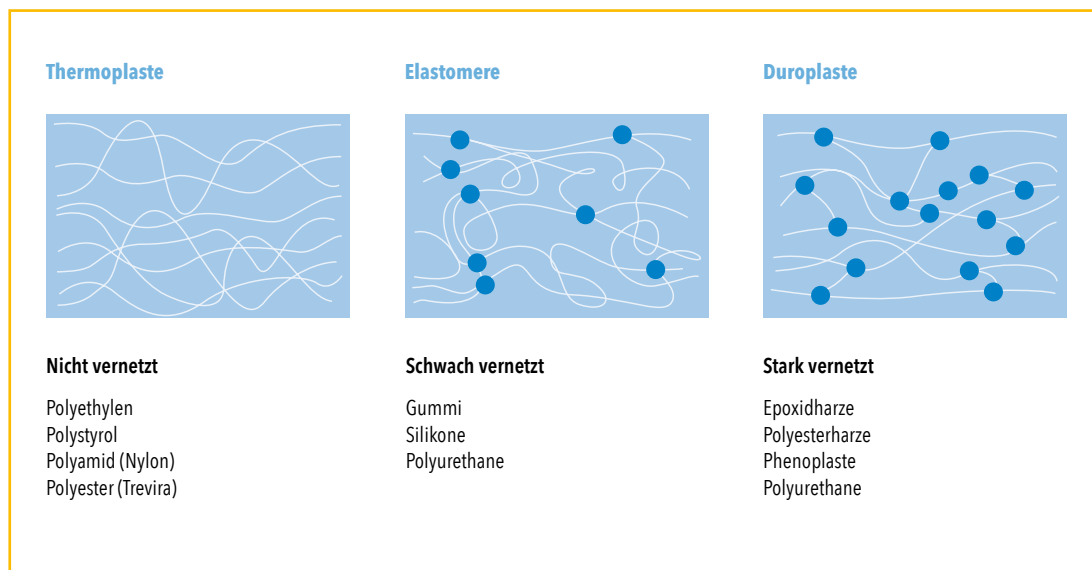
on vollzieht sich durch Polymerisations- oder Polyadditionsreaktionen\*, bei denen keine flüchtigen Komponenten abgespalten werden.

#### • Epoxidharz (EP)

Eine wichtige Kunststoffklasse sind die Epoxidharze. Sie gehören zu den Polyethern, die durch katalytische Polymerisation von Epoxiden entstehen. Epoxide sind reaktionsfähige zyklische organische Verbindungen. Epoxidharze entstehen durch die Reaktion von Epoxiden mit einem Dialkohol, einem sogenannten Diol\* (Polyaddition\*). Diese Polymerisationsreaktion läuft meist so langsam ab, dass man Epoxidharze sehr gut als hochviskose Flüssigkeit verarbeiten kann. Das Ergebnis ist ein stabiler und vor allem chemikalienbeständiger Kunststoff, der im Bauwesen insbesondere als Bodenbelag genutzt wird. Epoxidharze und die weiter unten behandelten Polyurethane sind zudem abriebfest und eignen sich deshalb auch für stark beanspruchte Industriefußböden, zudem als Dichtungsmassen für Wannen und Tanks, in denen zum Beispiel an Tankstellen oder in Chemieanlagen verschmutztes Wasser aufgefangen wird. Darüber hinaus können mit Epoxidharzen elektrisch leitfähige Böden hergestellt werden.

ABBILDUNG 20

#### Kunststoffe

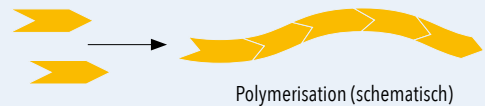


Ohne Epoxidharze wären auch die robusten CFK (Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, kurz CFK; C steht für Carbon = Kohlenstoff) für die Instandhaltung von Brücken oder Türmen undenkbar. CFK werden schon lange in verschiedenen Industriebranchen wie dem Auto- und Flugzeugbau sowie der Sportindustrie eingesetzt, denn sie sind zugleich leicht und sehr belastbar. Sie eignen sich auch, um die Tragfähigkeit von Bauwerken zu erhöhen oder wiederherzustellen. CFK bestehen aus einzelnen quasi unendlich langen, sehr dünnen, hochfesten Carbonfasern (Filamenten), die zuerst zu einem Faserbündel (Roving) zusammengefasst und abschließend mit flüssigem Epoxidharz dauerhaft verbunden werden. Härtet das Epoxidharz aus, entsteht ein hochfester Werkstoff, zum Beispiel eine Lamelle zur Verstärkung einer Brücke.

#### HINWEIS

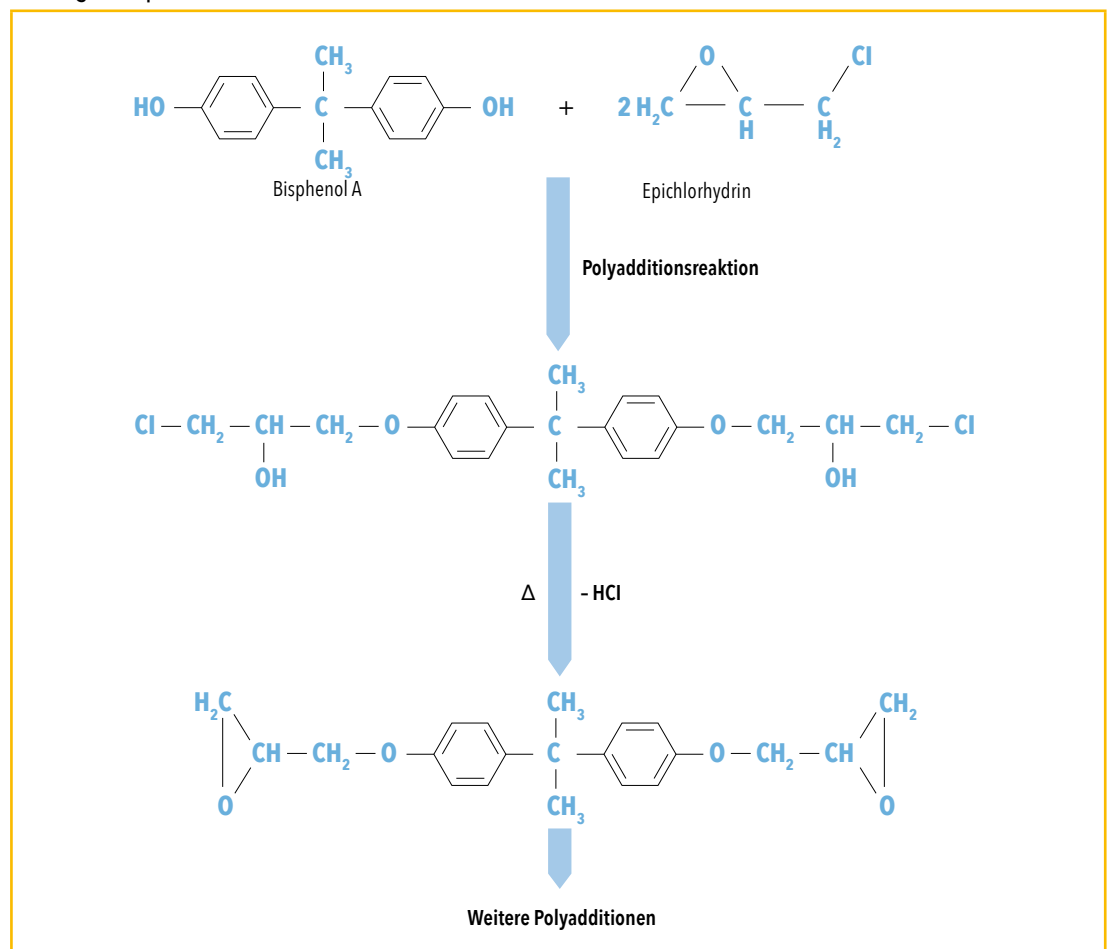
#### Polymere – ein starkes Netzwerk

Polymere sind das, was der Volksmund schlicht Plastik, Gummi oder „Plaste und Elaste“ nennt. Doch hinter diesen allgemeinen Begriffen verbergen sich Tausende von Produkten für Tausende von Anwendungen, die sich mitunter deutlich voneinander unterscheiden. Polymere können durchscheinend und hart wie eine CD sein oder weich und elastisch wie der Schaum in einem Autositz. Eines aber ist allen Polymeren gemein: Sie entstehen aus kleinen Einzelbausteinen, den Monomeren, die sich in einer chemischen Reaktion zum großen Polymer-Netzwerk verknüpfen.



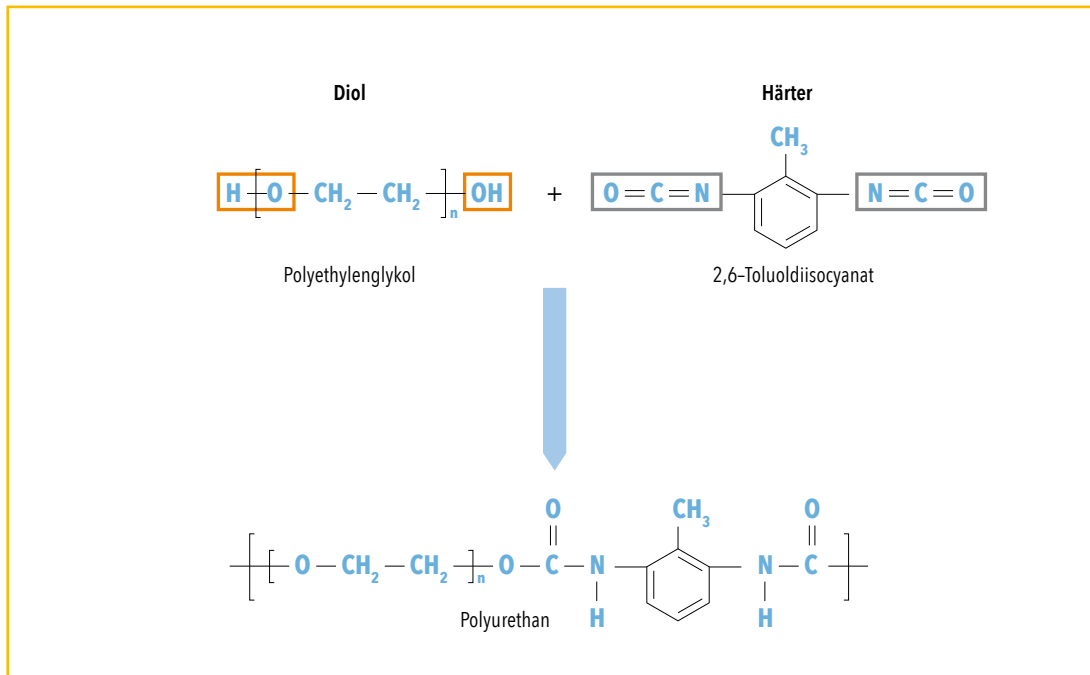
#### ABBILDUNG 21

#### Bildung von Epoxidharzen





Bildung von Polyurethan



● Polyurethan (PU)

Mit Polyurethanen (PU) lassen sich Fußböden versiegeln und Brücken abdichten, über die täglich Tausende Autos und Lastwagen brausen.

PU entsteht, wenn ein Diol (siehe Abbildung 22) mit einem Isocyanat reagiert. Innerhalb weniger Sekunden vernetzen sich die Monomere zu neuen Makromolekülen. Das Polyurethan härtet aus. Der Name rührt übrigens von der zentralen „Urethan-Gruppe“- ( $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$ ) her, die aus der Vernetzung der Diole und Isocyanate gebildet wird. Die Vernetzung erfolgt durch chemische Reaktion zwischen der Isocyanatgruppe des Härter (graus Molekülfragment) und der Hydroxylfunktion der Basiskomponente (oranges Molekülfragment) unter Ausbildung einer Urethan-Funktion. Da sowohl das Härter- als auch das Basismolekül jeweils zwei reaktive Molekülenden aufweist, bilden sich schrittweise lange Polyurethanmoleküle aus.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Einkomponenten-Polyurethanen, die ohne Mischung mit einer zweiten (Härter-) Komponente, nur mit Luftfeuchtigkeit unter Abspaltung von Kohlenstoffdioxid vernetzen, und den Zweikomponenten-Polyurethanen, die wie beschrieben aus Isocyanat, der sogenannten Härterkomponente,

und dem Polyol, der Basiskomponente, bestehen. Basis und Härter werden erst am Bau, etwa vor dem Auftragen auf den Fußboden, miteinander vermischt und härten durch Additionsreaktion (Polyaddition\*) aus.



Boden versiegelt mit Polyurethanharzen

PU-Dichtstoffe werden heute sehr vielseitig eingesetzt: als Kühlschranksdämmung, als Wärmedämmplatten für Dächer oder als Verpackungsmaterial. Im Bauwesen wird PU vor allem auch als Fugendichtstoff verwendet. Im Hausbau nutzt man PU-Schaum, um Fugen zwischen einzelnen Bauteilen abzudichten oder um Türzargen und Fensterrahmen zu fixieren. PU wird auch als witterungsbeständiger Bodenbelag für Terrassen oder Balkone genutzt, der zugleich elastisch und rutschfest ist.

Der Schaumstoff wird erst kurz vor der Anwendung direkt in der Sprühdose gemischt und per Knopfdruck wohl dosiert abgegeben. Es ist erstaunlich, wie viel Schaum aus einem Behälter von Bierdosengröße quillt!

#### LEHRER-INFO

Arbeitsblatt 7: Polyurethan  
Experiment III: Darstellung von Polyurethan



MMA-Bodenbeschichtung in einem Supermarkt

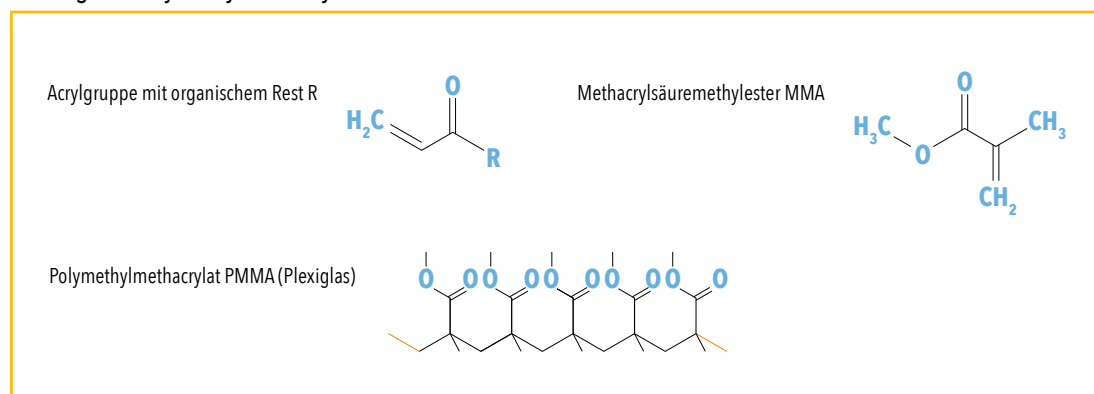
#### ● Methacrylsäuremethylester-Harze (MMA)

MMA, Methacrylsäuremethylester, ist vor allem als Acryl- oder Plexiglas bekannt, das seit Langem für stabile Kunststofffenster oder durchsichtige Dachabdeckungen eingesetzt wird. Zudem ist MMA ein Hauptbestandteil moderner Zahnprothesen aus Kunststoff. Im Bauwesen aber verwendet man MMA vor allem als Harz für die Beschichtung von Oberflächen oder Fußböden, denn es ist chemikalienbeständig, robust und abriebfest.

MMA eignet sich insbesondere für die schnelle Beschichtung von Fußböden – beispielsweise in Supermärkten. Es kann abends aufgetragen werden und ist bereits am Morgen ausgehärtet und belastbar. Der Verkauf kann ohne Unterbrechung weitergehen. Selbst bei extrem niedrigen Temperaturen in Kühlhäusern härtet MMA schnell aus. So lässt sich durch den Einsatz von MMA eine teure Unterbrechung der Produktion vermeiden. MMA entsteht ebenfalls durch eine Polymerisationsreaktion.

#### ABBILDUNG 23

#### Bildung von Polymethylmethacrylat



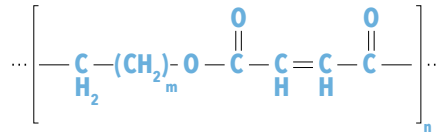
● **Ungesättigte Polyester (UP)**

Die ungesättigten Polyester (UP) entstehen durch Polykondensation\* aus mehrwertigen Alkoholen (Glykole, Glycerin) und Dicarbonsäuren. In der Regel werden die noch flüssigen Kunststoffe mit einer tragenden Gewebbahn kombiniert, der Armierung. Beides zusammen ergibt eine Abdichtung, die exakt an den Untergrund ange-

passt werden kann. Damit lassen sich Flachdächer, Balkone oder auch Parkdecks abdichten. UP sind resistent gegen Benzin und Öl sowie schwache Basen und Säuren. Das macht sie unter anderem als Schutz für Stahlbeton interessant. Sie schützen vor dem Eindringen von Lösungsmitteln und vor Korrosion des Betons oder der Stahlbewehrung.

ABBILDUNG 24

**Unvernetzter Polyesterstrang**



● **Polyurea (PUA)**

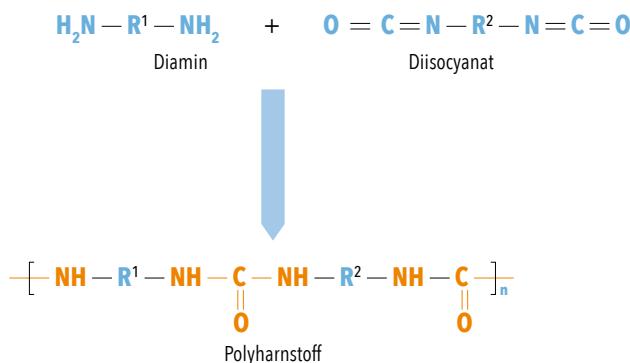
Polyurea, auch Polyharnstoff genannt, ist ein vergleichsweise junges bauchemisches Produkt und wird erst seit relativ kurzer Zeit in großem Stil im Bau eingesetzt. Seine Eigenschaften machen es allerdings zu einem gefragten Beschichtungsprodukt.

Polyurea entsteht durch die Polymerisationsreaktion von Isocyanat mit Aminen oder Amingemischen. Dabei entsteht ein langkettiges und vernetztes Polyharnstoffmolekül.

Da die Chemikalien innerhalb sehr kurzer Zeit miteinander reagieren und erhärten, lässt es sich selbst an steilen Wänden bequem im Spritzverfahren auftragen. 1990 wurden weltweit gerade einmal fünf Tonnen Polyurea-Verbindungen hergestellt. 2006 waren es schon 35.000 Tonnen. Polyurea-Beschichtungen sind mechanisch und chemisch beständig und wasserunempfindlich und bilden flexible, nahtlose und elastische Filme.

ABBILDUNG 25

**Bildung von Polyurea**





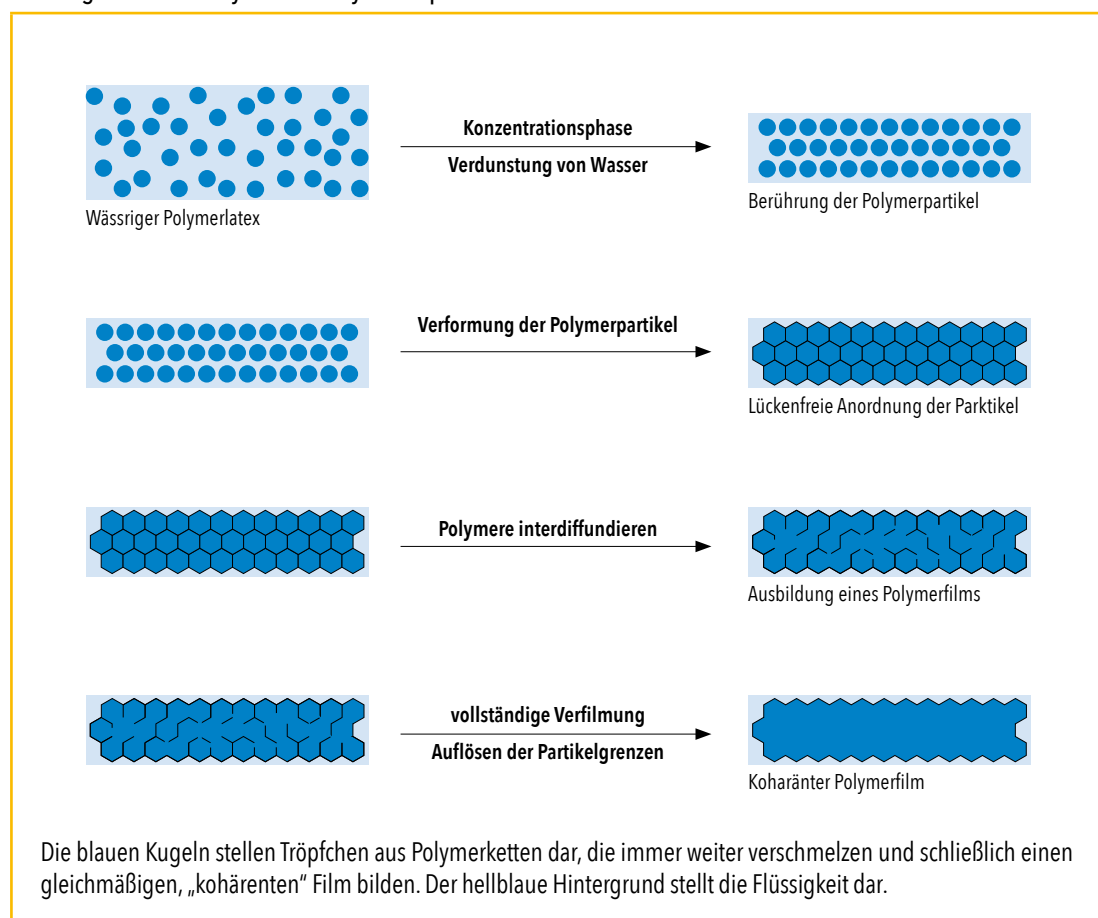
### 4.3.2 Polymerdispersionen und Redispersionspulver

Polymerdispersionen sind im Grunde nichts anderes als in einer Flüssigkeit fein verteilte Polymerpartikel, deren Durchmesser zwischen zehn Nanometern und einigen Mikrometern liegen kann. Für ein bauchemisches Produkt genügt das natürlich nicht. Deshalb werden die Polymere durch reaktive Zusätze weiter vernetzt. So entstehen pastöse Polymerdispersionen, die sich hervorragend als Dichtstoff oder Kleber für Wärmedämmverbundsystem-Platten oder Fliesen eignen. Häufig kommen Dichtstoffe oder Kleber auf Polyacrylat-Basis zum Einsatz – vor allem im Innenausbau und insbesondere im Trockenbau. Ihr Vorteil: Acrylat-Dichtstoffe haften auf den meisten Untergründen, auch ohne dass die Wand mit einer Haft

brücke, dem Primer, vorbehandelt werden muss. Sie sind vielseitig einsetzbar, unproblematisch zu verarbeiten und können sich dauerelastisch verformen. Zudem lassen sie sich gut überstreichen. Allerdings sind Acrylat-Dichtstoffe nicht für Bodenfugen und den Nassbereich geeignet, da sie selbst nach dem Aushärten noch Wasser aufnehmen. Polyacrylat-Dichtstoffe sind Polyacrylsäureester, die in Wasser dispergiert oder in Lösemittel gelöst werden. Sie härten aus, wenn das Wasser oder Lösemittel verdunstet. Dadurch ergibt sich ein der verdunsteten Wasser-/Lösemittelmenge entsprechender Volumenschwund in der ausgefüllten Fuge von bis zu 25 Prozent, was der Handwerker schon beim Ausspritzen der Fuge berücksichtigen muss.

ABBILDUNG 26

#### Wirkungsweise der Polymere in Polymerdispersionen



## 4.4 Silane, Siloxane und Silikon

Zum Schutz vor Wasser und Verschmutzung werden Oberflächen mit wasserabweisenden Imprägnierungen und Hydrophobierungen versehen. Heute werden dafür vorwiegend Silikone und Silikonverwandte Produkte eingesetzt.

### HINWEIS

#### Ein alter Hut – die Hydrophobierung

Die Hydrophobierung von Baustoffen durch Zugabe von Ölen war schon in der Antike bekannt. Alexander der Große tränkte hölzerne Brückenpfeiler mit Olivenöl, um die Wasseraufnahme zu reduzieren.



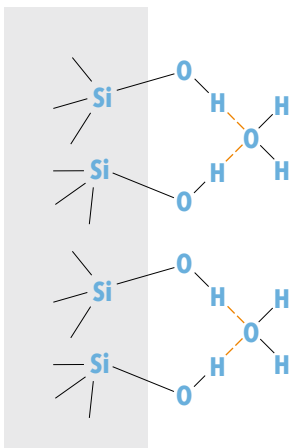
Alterungsbedingte Risse im Dichtstoff

Unterschieden werden vier hydrophobe Wirkstoffe auf Silizium-Basis: Die Silane, Siloxane, Silikonharze und Alkalisilikate, wobei die Silane und Siloxane heute die größte Rolle spielen. Insbesondere mit Kombinationen dieser beiden Wirkstoffe lassen sich maßgeschneiderte Hydrophobierungsmittel herstellen.

Sie alle brauchen für die Reaktion zum endgültigen Wirkstoff, dem Silikonharz, Feuchtigkeit, die aber auf jedem Baustoff in ausreichender Menge vorhanden ist. Die anorganischen Siliziumoxid-Anteile (Silikate) haften am mineralischen Untergrund, die angelagerten organischen Bausteine, also die Methylgruppen, bewirken den wasserabweisenden Effekt.

### ABBILDUNG 27

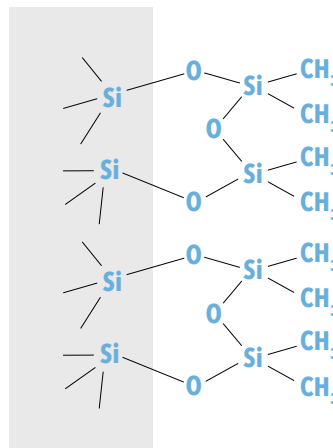
#### Hydrophobierung



Wassermoleküle sind aufgrund der unterschiedlichen Elektronegativität von Wasserstoff und Sauerstoff Dipole.

Die polaren silikatischen OH-Gruppen unbehandelte mineralischer Oberflächen adsorbieren polare Wassermoleküle.

**Die Oberfläche ist hydrophil.**



Durch die Reaktion der polaren silikatischen OH-Gruppen mit Siloxanen wird deren Polarität maskiert.

Die freien unpolaren  $\text{CH}_3$ -Gruppen der Siloxane der hydrophobierten Oberfläche adsorbieren keine polaren Wassermoleküle.

**Die Oberfläche ist hydrophob.**

Silane und Siloxane sind in organischen Lösemitteln wie Alkohol sehr gut löslich. Es ist einleuchtend, dass die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels direkt von der Wirkstoffkonzentration abhängt: Je geringer die Wirkstoffkonzentration ist, desto weniger ist es in der Lage, die Poren und die Kapillaren vollständig zu belegen. Die Folge: Ein Baustoff mit geringer Saugfähigkeit wie Beton benötigt eine höhere Wirkstoffkonzentration als ein stark saugfähiges Material wie Ziegel. Um die unterschiedlichen Siloxan-/Silansysteme für die Verwendung auf unterschiedlichen Untergründen wie Beton oder Ziegel anpassen zu können, werden diese mit Wasser gemischt und darin emulgiert. Diese Emulsionen, in denen die Silane als Tröpfchen feinstverteilt in einer wässrigen Lösung oder Creme vorliegen, sind gebrauchsfertig. Wie bereits beschrieben, werden daraus unter anderem Antigraffiti-Anstriche hergestellt.

Produkte auf Silikonbasis werden aber nicht nur zur Beschichtung von Oberflächen, sondern häufig auch als Dichtstoff eingesetzt. Silikondichtstoffe härten durch Reaktion mit Luftfeuchtigkeit aus.

Silikondichtstoffe sind fast überall einsetzbar. Sie sind widerstandsfähig gegen UV-Licht, Industrieabgase, mechanischen Abrieb, und sie sind besonders hitzebeständig. Deshalb werden sie auch häufig zum Verkleben von Cerafeldern eingesetzt. Silikone können sich um ein Viertel der



Silikondichtstoff

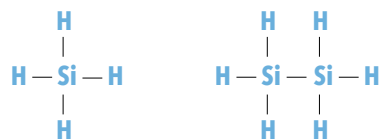
Fugenbreite dauerelastisch verformen und machen so viele Materialbewegungen sehr gut mit. Sie besitzen unter den Fugendichtstoffen die größte Farbvielfalt und sind sogar als transparente Variante erhältlich.

LEHRER-INFO

Arbeitsblatt 10: Synthese von Polysiloxanen

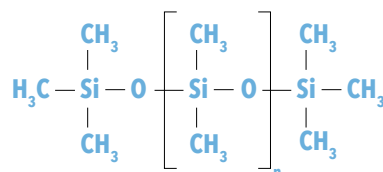
ABBILDUNG 28

Silane und Siloxane



Silane besitzen kovalente Einfachbindung zwischen den einzelnen Siliziumatomen der Kette.

Die Bezeichnung erfolgt analog zu den Alkanen: Monosilan, Disilan usw.



Polydimethylsiloxan



## 4.5 Polysulfide

Eine weitere Dichtstoffgruppe sind die Polysulfide. Diese zeichnen sich durch hohe Beständigkeit gegen mechanische Beanspruchung, durch Witterungsbeständigkeit und hohe Resistenz gegenüber Treibstoffen, Meerwasser oder Ölen aus. Auch ihre Temperaturbeständigkeit ist beachtlich. Je nach Rezeptur bleiben Polysulfide selbst in einem Temperaturbereich zwischen  $-50$  und  $+90$  Grad Celsius elastisch wie Gummi. Deshalb werden Polysulfid-Dichtstoffe bei der Abdichtung von Isolierglasfenstern, über die im Winter der eiskalte Wind streicht und im Sommer die Hitze brütet, eingesetzt. Auch bei Klärwerken, Tanklagerauffangwannen und Chemikalienlagern sind sie als robuster Dichtstoff gefragt. Wie die Silikone können sich auch Polysulfide um ein Viertel der Fugenbreite verformen.



Abdichtung des Kellers, Bitumenvoranstrich

## 4.6 Bitumen

Wer das Wort schon einmal gehört hat, denkt vielleicht an eine schwarze zähe Masse, die leicht nach Teer riecht, und liegt damit gar nicht so falsch. Bitumen (v. lat. Bitumen, „Erdpech“) ist ein natürlich vorkommendes Gemisch aus verschiedenen langkettigen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Bitumen lässt sich ferner durch fraktionierte Destillation\* aus Erdöl herstellen. Und Bitumen ist vor allem eines: wasserabweisend. Kein Wunder, dass es bei der Abdichtung von Bauwerken eine große Rolle spielt – insbesondere im Hausbau bei Kelleraußenwänden. Eingesetzt wird es dort allerdings nicht in seiner reinen Form. Stattdessen verwendet man sogenannte „Kunststoffmodifizierte Bitumenemulsionen“ (KMB) oder auch Bitumendickbeschichtungen, die als wässrige Emulsionen leicht zu verarbeiten sind. Sie werden von außen auf Kellerwänden und andere Gebäudeteile aufgetragen, die ständig mit feuchter Erde in Kontakt stehen. Wie beim Mörtel, erhöhen zugesetzte Polymere wie Polyethylen oder Polypropylen die Elastizität der Bitumendickbeschichtung. Zudem erhöhen sie die Beständigkeit gegen aggressive Bestandteile des Erdreichs, wie etwa Säuren im Humus. Für die Beschichtung und Abdichtung von Dächern werden sogenannte Bitumenbahnen angeboten, die wie eine dicke Folie auf dem Dach ausgerollt werden.



Auftrag einer Bitumendickbeschichtung

Im Hinblick auf einen veränderten Umgang mit Energie und endlichen Ressourcen werden auch die Anforderungen an das Bauen und die Architektur zunehmend neu formuliert.

Nachhaltiges Bauen steht im Fokus der aktuellen Forschung der Bauchemie. Die Wissenschaftler haben dabei den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, von der Rohstoffgewinnung und Planung, über den Bau und die Nutzung bis zur Erneuerung im Blick. Das Ziel ist die Minimierung des Verbrauchs von Energie und Ressourcen sowie eine möglichst geringe Belastung des Naturhaushalts.

Viele Produkte der Bauchemie finden gerade dort Anwendung, wo unsere Umwelt stärkeren Gefahren ausgesetzt ist. So bei Abwasserkanälen, beim Bau und Schutz von Kläranlagen, bei der Abdichtung der befahrbaren Tankstellenbereiche, in und auf Lärmschutzwänden oder beim Schutz vor Wärmeverlusten.

Der entscheidende Beitrag eines Baustoffs zum Umweltschutz liegt folglich in seinem Potenzial, mit ihm ein gleichzeitig bedarfsgerechtes und insgesamt kosten- und umweltschonendes Bauwerk zu errichten. Die folgenden Beispiele sollen das verdeutlichen.

ABBILDUNG 29

### Einflüsse auf Bauwerke

| Mechanische   | Physikalische   | Chemische  | Biologische  |
|---|---|--|--|
| Eigengewicht<br>Verkehrslasten<br>Windlasten<br>Erdbeben<br>Verschleiß  | Frost<br>Temperatur<br>Feuchte  | Salze<br>Säuren<br>Basen<br>Gase<br>Lösungsmittel<br>Weiches Wasser  | Bakterien<br>Pilze/Schwämme<br>Algen<br>Insekten   |
| Beispiele   | Beispiele   | Beispiele  | Beispiele  |
| Wohnhäuser,<br>Hochhäuser,<br>Industriebauwerke,<br>Straßen, Brücken,<br>Flughäfen,<br>Wasserbauwerke,<br>Wasserstraßen ... | Wohnhäuser,<br>Hochhäuser,<br>Industriebauwerke,<br>Straßen, Brücken,<br>Flughäfen,<br>Wasserbauwerke,<br>Wasserstraßen ... | Straßen, Brücken,<br>Industriebauwerke,<br>Flughäfen,<br>Tankstellen,<br>Abwassersammler,<br>Kläranlagen,<br>Trinkwasserbehälter ... | Wohnhäuser,<br>Hochhäuser,<br>alte Bausubstanz,<br>Baudenkmäler,<br>Holzkonstruktionen,<br>Abwassersammler,<br>Kläranlagen ... |

#### • Gebäude erhalten

Wie bereits erwähnt, ist Wasser der größte Zerstörer von Gebäuden. Meist dringt es unbemerkt ins Bauwerk ein, bis die Schäden sichtbar werden. Teure und aufwendige Reparaturen oder ein Neubau sind die Folge – und damit auch ein eigentlich unnötiger Verbrauch von Ressourcen. Am besten ist es daher, Wasser gar nicht erst eindringen zu lassen. Wie oben beschrieben, ist das heute mit Bitumen oder Dichtungsschlämmen und anderen Materialien leicht möglich. Und selbst wenn Wasser bereits ins Haus eingedrungen ist, lässt sich das Problem dank Salzspeicherputz oft ohne großen Aufwand beheben.

#### • Energie sparen

Die Reduzierung des Kohlenstoffdioxidausstoßes gehört zu den großen Herausforderungen unserer Zeit. Erheblich dazu beitragen kann die Dämmung von Gebäuden mit Wärmedämmverbundsystemen. Wie erwähnt, wären diese ohne spezielle Kleber, Armierungsmörtel und Putze mit bauchemischen Zusätzen nicht denkbar. Doch auch indirekt tragen bauchemische Produkte zum Energiesparen bei. Sie machen den Bau langer Brücken und Tunnel möglich. Damit werden Verkehrswege erheblich verkürzt, was wiederum deutlich zur Treibstoffersparnis beiträgt. In der Schweiz entsteht derzeit der längste Tunnel der Welt, der die Alpen quert. In wenigen Jahren werden Güterzüge durch den Gotthard-Basistunnel hindurch brausen und viele Fahrten mit Lastwagen, die sich heute

noch über die Passstraßen quälen, überflüssig machen. Und im Straßenverkehr sorgen Spezialwerkstoffe für glattere Fahrbahnen, die den Rollwiderstand der Reifen verringern. Auch das spart Benzin.

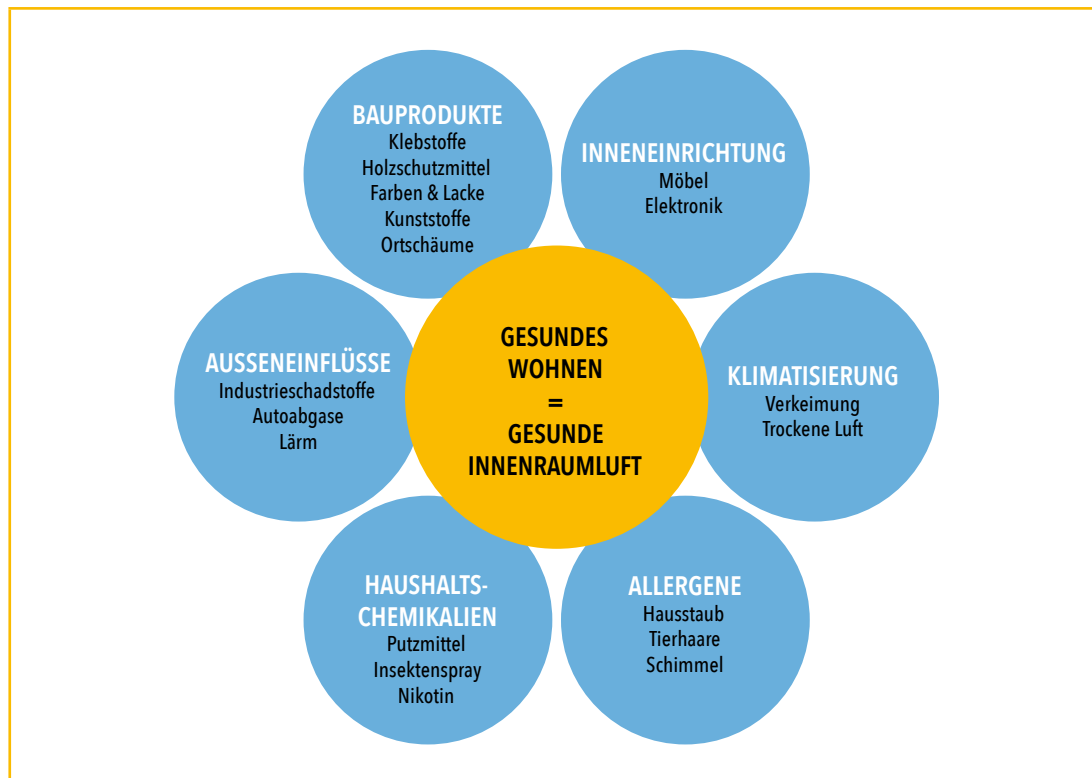
● **Gesund wohnen: Von wegen dicke Luft!**

Gut 20 Stunden hält sich ein Mensch in unseren Breiten täglich in geschlossenen Räumen auf. Pro Tag atmen wir 10 bis 20 Kubikmeter Luft ein, je nach Alter und abhängig davon, wie aktiv die jeweilige Person ist – so viel Luft wie in

einem kleinen Kinderzimmer! Deshalb ist eine gesunde Innenraumluft wichtig. Sie beeinflusst letztlich unseren Gesundheitszustand. Schadstoffhaltige Materialien können die Luft in Wohnungen, Büros, Kindergärten, Schulen und Krankenhäusern belasten und zu gesundheitlichen Beschwerden führen. Neben den Auswirkungen von Lebensgewohnheiten wie Lüften, Kochen oder Rauchen beeinflusst auch das Emissionsverhalten von Baustoffen ein gesundes Wohnen.

ABBILDUNG 30

Faktoren, die die Innenraumluft beeinflussen



Bis Ende der 1970er-Jahre waren die Qualität der Innenraumluft und mögliche Schadstoffemissionen aus Bauprodukten kein Thema. Erst die Diskussion um formaldehydhaltige Spanplatten, krebserregende Stoffe wie Asbest oder auch falsch angewendete Holzschutzmittel brachten den Stein ins Rollen und einen Wandel im Bewusstsein der Öffentlichkeit. So wurden die gesundheitsbezogenen Aspekte des Bauens und Wohnens bei Produzenten, Anwendern und Nutzern von Bauprodukten in den letzten Jahren immer wichtiger. Geht es um Emissionen, stehen vor allem die flüchtigen organischen Stoffe im Mittelpunkt: die sogenannten Volatile Organic Com-

pounds. Die als VOCs\* bezeichneten Substanzen besitzen einen niedrigen Siedepunkt und entweichen deshalb leicht aus Materialien wie Klebstoffen, Farben sowie Möbeln und Baustoffen, aber auch aus Reinigungsmitteln und gelangen so in die Luft.

Die Hersteller von bauchemischen Produkten tragen diesen Wandel mit und haben sich mit den Inhaltsstoffen sowie mit deren Freisetzung und Wirkung auseinandergesetzt, so dass heute unbedenkliche Produkte angeboten werden.





- **Boden und Gewässer schützen**

Ganz gleich, ob es sich um Chemikalienbehälter, Kläranlagen oder Tankstellen handelt: Stets muss der Betreiber dafür sorgen, dass keine umweltgefährdenden Flüssigkeiten in den Boden, in Flüsse oder gar bis ins Grundwasser sickern. Entsprechende Behälter und Flächen werden deshalb mit strapazierfähigen, chemikalien- und ölbeständigen Beschichtungen versehen. Epoxidharze, Polyurethane, Polyurea und viele andere bauchemische Produkte erfüllen diese Anforderungen. Sie halten für Jahrzehnte dicht.

- **Ressourcen schonen**

Mit modernen hochfesten Betonen lassen sich leichte und filigrane Bauwerke erstellen, wie sie sich bisher meist nur mit Stahl verwirklichen ließen. Rohstoffe und Energie werden eingespart, und die geringere Masse und die höhere Festigkeit ermöglichen größere Spannweiten und immer höhere Bauwerke. Dadurch gewinnt man Nutzfläche hinzu. Seit 1960 wurde die maximale Druckfestigkeit von Betonen um das Fünffache gesteigert! Aktuelle Entwicklungen wie der selbstverdichtende Beton oder säurebeständiger Beton verbessern die Verarbeitbarkeit von Beton bzw. die Dauerhaftigkeit von Bauwerken und damit die Wirtschaftlichkeit. So entfällt dank der Superverflüssiger heute das früher übliche und zeitraubende und aufwendige Rütteln des Betons, mit dem der Beton gleichmäßig in der Schalung verteilt wurde.

#### HINWEIS

Die Themen Umweltschutz und Bauchemie sind eng miteinander verwoben, denn sie haben gleich mehrere Berührungspunkte. So kann die Bauchemie dazu beitragen, wichtige Rohstoffe und Ressourcen einzusparen. Wärmedämmverbundsysteme für die Isolierung von Häusern wären ohne spezielle Mörtel nicht denkbar. Dichtungsschlämmen und Kunststoffe tragen dazu bei, dass Abwässer, Heizöl oder Chemikalien sicher im Behälter bleiben und nicht in die Umwelt gelangen. Der Schutz alter Bausubstanz trägt wiederum dazu bei, Baumaterial zu sparen. Natürlich müssen die bauchemischen Werkstoffe ihrerseits umweltfreundlich sein. Dazu gehört vor allem, dass die Materialien keine problematischen Substanzen an die Umwelt abgeben. Heute ist die Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit eines Produkts mehr denn je für die erfolgreiche Markteinführung entscheidend. In einer Reihe von Sachstandsberichten der Deutschen Bauchemie werden die bauchemischen Produkte im Hinblick auf Ihre Umweltrelevanz behandelt (siehe [www.deutsche-bauchemie.de/publikationen/deutsch/sachstandsberichte](http://www.deutsche-bauchemie.de/publikationen/deutsch/sachstandsberichte)).



Kläranlage

- **Sicherheit für Mensch und Umwelt: Responsible Care**  
 Schon vor mehreren Jahren hat sich die chemische Industrie in Deutschland und zahlreichen anderen Nationen den Schutz von Mensch und Umwelt auf die Fahnen geschrieben. Mit der Strategie „Responsible Care“ verpflichtet sich die Branche über die gesetzlichen Vorgaben hinaus, eigenverantwortlich ihre Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltstandards ständig zu verbessern. Die Selbstverpflichtung sorgt zum einen dafür, dass Produkte möglichst frei von schädlichen Substanzen sind und dafür, dass sich die Sicherheit und der Umweltschutz in Chemieanlagen ständig verbessern. Mehr noch: Da der Welthandel ständig zunimmt, stammen inzwischen viele Chemikalien aus verschiedenen Gebieten der Erde und von unterschiedlichen Produktionsstandorten. „Responsible Care“ soll dafür sorgen, dass in allen diesen Ländern gleiche hohe Sicherheitsstandards für die Arbeiter gelten. Andererseits werden fertige Produkte in aller Herren Länder exportiert. Hier muss gewährleistet sein, dass chemische Produkte so sicher sind, dass sie die Anwender nicht gefährden – auch dann, wenn auf der Baustelle in Afrika oder Asien andere Vorschriften gelten als in Deutschland. All das gilt für die Bauchemie genauso wie für die anderen Chemiebranchen.



*Responsible-Care-Logo*



*Selbstverdichtender Beton, Gemeindezentrum Mannheim*





Metropol Parasol, Plaza de la Encarnación

Die einen ragen kraftvoll und massiv in den Himmel, die anderen beeindrucken unterirdisch. Allesamt sind sie Wunderwerke der Technik: faszinierende Bauten wie Wolkenkratzer, Brücken, Tunnel und Staudämme. Aber nicht nur diese optisch so beeindruckenden Konstruktionen sind Beispiele, für die die Bauchemie Hightech-Produkte liefert. Zu den herausragenden Facetten der Bauchemie gehören auch Dachbeschichtungen, die die Sonnenglut der Wüste ertragen, oder Schutzbeschichtungen für Riesenbauten. Das folgende Kapitel ist eine kleine Reise in die Architektur – und zeigt Bauchemie in Vollendung.

- **Bauen am Limit: Ein hölzerner Riese**

Die spanische Stadt Sevilla hat mit dem neuen „Plaza de la Encarnación“ im Zentrum einen neuen, luftigen Platz zum Bummeln, zum Verweilen und für Kulturveranstaltungen geschaffen. Die architektonische Attraktion ist der Metropol Parasol, eine riesige weit ausladende Dachkonstruktion aus Holz, die einem gigantischen Sonnenschirm gleicht. Das einzigartige luftige und mehrere Stockwerke hohe neue Wahrzeichen spendet kühlen Schatten und ist der ideale Ort für Konzerte oder große Theateraufführungen. Natürlich muss ein solches Bauwerk wirkungsvoll vor der Witterung geschützt werden. Ein Polyurea-Gemisch wurde als Schutzhaut aufgesprüht. Polyurea ist elastisch und flexibel genug, um sich den natürlichen Bewegungen des Werkstoffs Holz anzupassen und zudem wasserdampfdurchlässig. Keine Frage: Architekten streben nach immer ausgefalleneren Bauwerken mit freien Formen. Spritzfähiges und flexibles Polyurea wird in vielen Fällen die Beschichtung der Wahl sein.

- **Bauen am Limit: Hochleistungsbeton in der Höhe**

Nicht nur in Sevilla, auch an anderen Orten der Welt ist der Drang, außergewöhnliche Gebäude in die Höhe zu bauen, ungebrochen: 2004 wurde in Taiwan das „Taipei Financial Center“ (auch „Taipei 101“ genannt) eröffnet. Mit einer Höhe von 508 Metern ragt der Büroturm wie ein gigantischer Bambusstab über Taiwans Hauptstadt Taipeh – in einem Gebiet, das ständig von Erdbeben und Wirbelstür-

men bedroht ist. Und damit der Turm im Taifun nicht knickt wie junger Bambus, hängt im 92. Stock ein vergoldetes, stählernes Riesenpendel, 730 Tonnen schwer, der weltweit größte Schwingungsdämpfer. Wenn ein Taifun den Turm zum Schwanken bringt, schwingt die Kugel im Gegenteil und hält das Hochhaus im Lot.

Für das Fundament wurden 557 je anderthalb Meter dicke und bis zu 80 Meter lange Betonpfeiler in den Untergrund gerammt. Auf die Pfeiler setzten die Bauherren eine Platte aus 9.000 Tonnen Stahl und 26.000 Kubikmetern Beton. Die Hauptlast des Turms tragen acht Riesensäulen. Jene „Megasäulen“, wie die Statiker sie nennen, bestehen aus 80 Millimeter dicken Stahlwänden und wurden bis in den 62. Stock mit extrem dichtem Hochleistungsbeton vollgepumpt, um das Gebäude auszusteifen. Zum Vergleich: Mit 508 Metern überragt der „Taipei 101“ die Frankfurter Commerzbank, das höchste Gebäude Europas, um über 200 Meter. Doch inzwischen ist selbst er auf Rang 2 der welthöchsten Gebäude abgerutscht. Er wurde vom 830 Meter hohen Burj Khalifa verdrängt, der 2010 in Dubai eröffnet wurde.



Taipei Financial Center

#### ● Bauen am Limit: Die längste Betonplatte der Welt

Sie ist 280 Meter lang, 24 Meter breit und einen Meter dick: Auf dem Gelände des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) in Hamburg ist die nach Angaben ihrer Erbauer längste in einem Stück gefertigte Betonplatte der Welt gegossen worden. Zweieinhalb Tage lang hatten Transportbetonfahrzeuge ununterbrochen aus insgesamt vier Betonmischwerken mehr als 6.600 Kubikmeter Beton herangeschafft. Die Betonplatte ist das bauliche Herzstück einer erschütterungsfreien Experimentierhalle an einem Teilchenbeschleuniger.

In einem eigens eingerichteten Betonlabor prüften Spezialisten zunächst die Eigenschaften des Betons, bevor die Freigabe für die Baustelle erfolgte. Werte wie der Wasser-Zement-Wert, die Temperatur und die Konsistenz mussten exakt stimmen, um den Betonkoloss in einem Stück fertigen zu können. Der ein Meter dicke Hallenboden wurde aus Hochleistungsbeton mit Hochleistungsverflüssigern auf Basis eines Polycarboxylatethers in zwei Lagen aufgetragen: Die untere Schicht ist klassisch durch herkömmliche Stahlmatten und -stäbe bewehrt. Darüber liegt eine 50 Zentimeter dicke Schicht, die zusätzlich mit zwei verschiedenen Sorten Stahlfasern bewehrt wurde, um eine hohe Zähigkeit und Zugfestigkeit zu garantieren. Fünf Betonpumpen gleichzeitig förderten den Beton in die Halle und arbeiteten sich dabei langsam von der Mitte der knapp 300 Meter langen Betonplatte aus zu beiden Enden voran. Betonbauexperten aus ganz Deutschland



Deutsches Elektronen-Synchrotron (Desy), Hamburg

beobachteten das Schauspiel im Dezember 2007 mit großer Aufmerksamkeit. Einer der Tricks bei der Fertigung in einem Stück bestand darin, die Platte auf einer dünnen Bitumschicht zu fertigen und spannungsfrei gleiten zu lassen. Wenn der Beton während der Hydratation schwin-

det, muss sich die Platte frei von Spannungen verformen können, um nicht zu reißen. Die beim Abbinden der Platte entstehende Temperatur – bis zu circa 40 Grad Celsius – verringert dabei die Viskosität des Bitumens; es wirkt wie eine Gleitschicht. Nach dem Abkühlen des Betons wird die Bitumschicht wieder fest. Die Platte liegt ruhig wie ein monolithischer Block. Abschließend wurde die Oberfläche noch mit einer Epoxidharz-Schicht versiegelt.

#### ○ HINWEIS

Bauchemie ist heute nicht nur an der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung zu bauchemischen Produkten und Baustoffen beteiligt, sondern auch an der Errichtung von Bauwerken und deren Schutz, Instandhaltung, Wartung und Reparatur. Wie viel Chemie in einem Bauwerk steckt, ist selten offensichtlich, denn nur die von außen sichtbaren bauchemischen Produkte, etwa Fassadenanstriche, ordnet der Laie der Bauchemie zu. Die Bauchemie wirkt also meist im Verborgenen.

#### ● Bauen am Limit: Neue Baustoffe entwickeln

Lichtdurchlässiger Beton gehört mit zu den erstaunlichsten Materialentwicklungen der jüngsten Zeit: Mit Hilfe lichtleitender Fasern wandelt sich Beton vom schweren Baustoff zum federleichten Material – zumindest im Auge des Betrachters. Bisher war die Produktion sehr aufwendig und teuer. Mit einem neuen Herstellungsverfahren wird seit September 2006 der Weg in Richtung Serienproduktion beschritten. Für die Produktion wird ein speziell entwickeltes Gewebe aus lichtleitenden Fasern eingesetzt. Durch die gleichmäßige Ordnung des Materials wird die hohe Lichtdurchlässigkeit erreicht. Der Einbau der einzelnen Gewebeflächen und des besonderen Feinbetons geschieht alternierend - Schicht für Schicht im Abstand von 2 bis 5 Millimetern. Je dichter die Schichten gepackt sind, desto mehr Licht lässt der Beton passieren. Ein Anteil von wenigen Prozent Gewebe genügt für diesen erstaunlichen Effekt. Die verlustfreie Lichtleitung durch die optischen Fasern ermöglicht es, Licht, Schattenwürfe oder sogar Farben durch den Beton zu sehen – selbst bei großen Wanddicken. Ziel ist es, in Zukunft größere Formate zu produzieren. Selbst meterdicke Betonkonstruktionen erhalten so fast die Leichtigkeit japanischer Reispapierwände. Dennoch liegt die Festigkeit im Bereich hochfester Betone, da der Anteil der lichtleitenden Fasern relativ gering ist. Die Anwendungsideen für Lichtbeton sind zahlreich: Raumteiler, Treppenstufen, Inneneinrichtungen und exklusive Einbauten für Wellnessbereiche.



- **Masse mit Klasse**

Der weitaus größte Teil der bauchemischen Produkte wird bei der Herstellung und Verarbeitung anderer Baustoffe eingesetzt. Die volkswirtschaftliche Bedeutung ist damit schwer in Zahlen zu fassen. Denn oftmals verstecken sich die Substanzen in den Produkten anderer Industriezweige (zum Beispiel Transportbeton oder Werk trockenmörtel). Die deutsche bauchemische Industrie hat im Jahr 2013 Rohstoffe und Produkte im Wert von fast zehn Milliarden Euro für den deutschen Markt und noch einmal so viel für die europäische Bauwirtschaft hergestellt. Damit ist die Bauchemie in der deutschen Industrie ein nicht zu unterschätzender Wirtschaftszweig; nicht zuletzt weil sie wichtige Exportgüter liefert. Vor dem Hintergrund, dass bauchemische Produkte zum großen Teil in anderen Industriezweigen eingesetzt und verarbeitet werden, wird klar, welche Bedeutung der Bauchemie tatsächlich zukommt. Praktisch jeder Zement enthält heute bauchemische Zusatzmittel und Zusatzstoffe.

Die deutsche Transportbetonindustrie stellt mit Hilfe des Zements in jedem Jahr 40 Millionen Tonnen Beton her, der mit etwa 10.000 Fahrmischern aus 2.000 Betonwerken auf die Baustellen gebracht wird. Das sind täglich 200.000 Kubikmeter – eine Menge, mit der 150 große Schwimmbecken gefüllt werden könnten! Kein anderer Baustoff wird in Deutschland in so großen Mengen hergestellt. Und etwa 90 Prozent dieser Transportbetonmengen enthalten wiederum spezielle bauchemische Betonzusatzmittel.

Auch die Trockenmörtelindustrie ist ein großer Kunde der Bauchemie, wobei die Werke der Bauchemiefirmen selbst auch dazugehören. In Deutschland produzieren 300 Unternehmen etwa 15 Millionen Tonnen, bei denen pro Tonne noch mehr bauchemische Zusätze verwendet werden als beim Transportbeton.

- **Bauwerke erhalten: Vom Korrosionsschutz bis zum Kulturerbe**

Eisen rostet, Säuren zerstören Beton: Korrosion, die unerwünschte Zersetzung von Materialien durch Stoffe aus der Umgebung, hat wirtschaftliche Konsequenzen von ungeheurem Ausmaß. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kosten, die entstehen, um eine Stahlkonstruktion zu erhalten, mitunter viel höher als die ursprünglichen Baukosten sind.

#### ○ HINWEIS

Experten schätzen, dass in den führenden Industrieländern pro Jahr etwa vier Prozent des Bruttonationalprodukts durch Korrosion verloren gehen: Tendenz steigend.

Heutzutage führt der Weg geradewegs zur Bauchemie, wenn es um die Erhaltung von Gebäuden oder Denkmälern geht, denn schon seit Jahren wird in Deutschland immer weniger neu gebaut. Die Folge: Immer mehr alte Bauten müssen gepflegt werden. Die Bauchemie liefert hierfür die geeigneten Materialien und hat eine herausragende Bedeutung für den Erhalt des Kulturerbes. Oftmals werden die Substanzen sogar für bestimmte Anwendungen maßgeschneidert. Als 2006 das Lübecker Holstentor restauriert wurde, musste der Restaurierungsmörtel genau auf den historischen Mörtel abgestimmt werden. Das Gleiche galt für den Wiederaufbau der Frauenkirche in Dresden.



Holstentor, Lübeck



Frauenkirche, Dresden

#### • Kreativ und fortschrittlich

Nach Einschätzung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) in Mannheim hat die Bauchemie eine herausragende Bedeutung für die Schaffung von Innovationen in Deutschland. Beispielsweise ist in der deutschen bauchemischen Industrie jeder zehnte Mitarbeiter in der Forschung tätig. Das Ergebnis lässt sich sehen, denn bedeutende Entwicklungen kamen und kommen aus Deutschland: Fließmittel für leicht- und selbstverdichtende Fließbetone und -estriche, Langzeitverzögerer für Transportbeton und -mörtel, Beschichtungen für dauerhaften Schutz sowie Betonnachbehandlungsmittel oder Abdichtungsmittel für den Betonstraßenbau sind nur einige Beispiele. Ein Aspekt der aktuellen Forschung ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe. Dazu zählen zum Beispiel pflanzliche Öle und Fette für Betontrennmittel. Hochwertiger Beton ist heute dank diverser Zusatzmittel und Zusatzstoffe optisch so ansprechend, dass er als Sichtbeton den höchsten Ansprüchen der Architekten gerecht wird. Mit speziellen Techniken können sogar Fotos im Großformat auf Beton übertragen werden. Schutzbeschichtungen mit Nanopartikeln machen solche Betone sicher vor Verschmutzungen und verhindern das

Eindringen von Flüssigkeit und die Bildung von Flecken. Eine Neuerung mit viel Zukunftspotenzial ist der Ultra-Hochleistungs-Beton, der dank bauchemischer Zusatzmittel und einer sehr feinen Körnung besonders dicht ist und kaum Poren oder Mikrorisse bildet. Er ist fast so fest wie Stahl und ermöglicht besonders filigrane und wirtschaftliche Bauwerke. Seine hohe Festigkeit macht ihn zum idealen Baustoff für weit gespannte Brücken, Hallen und besonders belastete Stützen.

#### LEHRER-INFO

Experiment VII: Lotuseffekt im Modellexperiment

Nicht zuletzt liefert die Natur Anregungen für viele Neuentwicklungen. Das Erkennen und systematische Umsetzen von Naturphänomenen ist Aufgabe der Bionik, einer interdisziplinären Wissenschaft, in der Naturwissenschaftler, Ingenieure, Architekten und Designer eng zusammenarbeiten. Ein aktuelles Beispiel aus der Bauchemie ist der Lotuseffekt zur Herstellung selbstreinigender Oberflächen.

Die Zukunft wird zeigen, was alles möglich ist.

**A**

**Acetoncyanhydrin** – entsteht durch die Addition von Cyanwasserstoff und Aceton.

**Anhydrit** – ( $\text{CaSO}_4$ ) ist ein häufiges, natürlich vorkommendes Mineral. Es gehört zu den Sulfaten. Durch Wassereinlagerung wandelt es sich in Gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

**B**

**Bewehrter Stahlbeton** – Mit Bewehrung bezeichnet man Stahlstäbe oder Stahlmatten im Stahlbeton. Im Stahlbeton ist der Bewehrungsstahl kraftschlüssig mit dem Beton verbunden und durch diesen dauerhaft vor Korrosion geschützt. Stahlbeton kann Belastungen sehr viel besser aufnehmen als unbewehrter Beton.

**C**

**Calciumhydroxid** – ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Gelöschter Kalk entsteht unter starker Wärmeentwicklung aus gebranntem (ungelöschtem) Kalk ( $\text{CaO}$ ) und Wasser.

**D**

**Diöle** – sind organische Verbindungen, die zwei Hydroxygruppen (-OH) enthalten. Diöle sind damit zweiwertige Alkohole. Ein einfaches Beispiel ist das Ethan-1,2-Diol (Ethylenglykol).

**F**

**Fraktionierte Destillation** – Trennungsmethode für Flüssigkeitsgemische

**H**

**Hydraulisch** – Hydraulische Bindemittel benötigen Wasser zu ihrer festigkeitsbildenden chemischen Reaktion. Sie erhärten mit Wasser und bleiben sowohl an der Luft als auch unter Wasser fest. Zement in Beton und Mörtel bindet durch eine Reaktion mit Wasser die Hydratation ab. Diesen chemischen Einbau von Wassermolekülen in (Zement-)Kristalle nennen Mineralogen Hydratation. Zemente sind also hydraulische Bindemittel.

**Hydratation** – Chemische Reaktion eines Stoffes mit Wasser. Beim Zement: Durch die Wasserbindung des Zements während des Erstarrens und Erhärtens entsteht aus dem Zementleim der Zementstein.

**K**

**Karbonatisierung** – Bildung von Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  (Kalkstein) aus dem Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) des Zementsteins infolge Einwirkung von Kohlenstoffdioxid. Das Kohlenstoffdioxid kann aus der umgebenden Luft stammen oder durch kohlen säurehaltiges Wasser zugeführt werden.

**P**

**Polyaddition** – Bildung von größeren Molekülen aus kleineren durch Stufenreaktion zwischen zwei mengenmäßig genau abgestimmten Komponenten unter Abgabe von Wärme, jedoch ohne Abspaltung eines Reaktionsprodukts.

**Polycarboxylatether** – (PCE) sind anionische Polymere. Sie bestehen aus einer Hauptkette und vielen daran hängenden Seitenketten. Ihre Struktur erinnert dem Aussehen nach an einen Kamm, weshalb Polymere dieses Typs auch als Kammpolymere bezeichnet werden.

**Polykondensation** – ist eine stufenweise über stabile, aber weiterhin reaktionsfähige Zwischenprodukte ablaufende Kondensationsreaktion, bei der aus vielen niedrigmolekularen Stoffen (Monomere) unter Abspaltung einfach gebauter Moleküle (meist Wasser) Makromoleküle (Polymere/Copolymere) gebildet werden.

**Polymerisation** – Chemischer Zusammenschluss kleiner Moleküle gleicher oder verschiedener einfacher Verbindungen (Monomere) zu größeren Molekülen unter Abgabe von Wärme, jedoch ohne Abspaltung (Kondensation) kleiner Reaktionsnebenprodukte.

**Porenbeton** – Beton, der im erhärteten Zustand Luftporen im Gefüge enthält.

**Primärenergie** – ist die Energie, die in Erdgas, Erdöl oder Kohle steckt, jedoch noch nicht direkt nutzbar ist, sondern zuerst in nutzbare Energieformen wie Strom und Wärme umgewandelt werden muss (Endenergie).

## R

**Reaktionsharze** – sind flüssige oder verflüssigbare Harze, die für sich allein (Einkomponentensysteme) oder zusammen mit Reaktionsmitteln (Mehrkomponentensysteme) wie Härtern oder Beschleunigern durch Polymerisation oder Polyaddition reagieren.

## S

**Silane** – sind eine Stoffgruppe chemischer Verbindungen, die aus einem Silizium-Grundgerüst Wasserstoff bestehen.

**Siloxane** – sind chemische Verbindungen mit der allgemeinen Formel  $R_3Si-[O-SiR_2]_n-O-SiR_3$ , wobei R Wasserstoffatome oder Alkylgruppen sein können.

**Stahlbeton** – Verbundwerkstoff aus den beiden Komponenten Beton Bewehrungsstahl

## V

**VOC** – (Volatile Organic Compounds) bezeichnet die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen. VOC umschreibt gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs in der Luft. Dazu gehören Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren. Fachleute unterscheiden VOC von den sehr flüchtigen organischen Verbindungen (Very Volatile Organic Compounds, VVOC) und den schwerflüchtigen organischen Verbindungen (Semivolatile Organic Compounds, SVOC). Die Summe der Konzentrationen sämtlicher VOC ergibt den TVOC-Wert (Total Volatile Organic Compounds).

## Z

**Zementleim und Zementsuspension** – relativ fließfähige Mischungen aus Zement und Wasser, die sich als Reparatursysteme auch gut für die Verfüllung von Rissen oder die Reparatur anderer Betonschäden eignen. Von dem Gewichtsverhältnis von Wasser und Zement, dem Wasser/Zement-Wert, hängt die Güte von Beton und Mörtel ab.



- Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt  
Betonzusatzmittel und Umwelt  
Sachstandsbericht 5. Ausgabe, 2011
- Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt  
Epoxidharze in der Bauwirtschaft und Umwelt  
Sachstandsbericht, 2. Ausgabe, 2009
- Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt  
Jahresbericht 2012/2013
- Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt  
Methacrylat-Harze in der Bauwirtschaft und Umwelt  
Sachstandsbericht, 2. Ausgabe, 2012
- Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt  
Polyurea in der Bauwirtschaft und Umwelt  
Sachstandsbericht, 1. Ausgabe, 2009
- Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt  
Polyurethane in der Bauwirtschaft und Umwelt  
Sachstandsbericht, 2. Ausgabe, 2012
- Ettel Wolf-Peter, Kunstharze und Kunststoffdispersionen  
für Mörtel und Betone  
Beton-Verlag, Düsseldorf, 1998
- Grübl Peter, Weigler Helmut, Karl Sieghart und Kupfer  
Herbert, Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften  
Ernst & Sohn, 2001
- Henning Otto und Knöfel Dietbert, Baustoffchemie:  
Eine Einführung für Bauingenieure und Architekten  
Verlag Bauwesen, 2002
- Hillemeier Bernd, Skriptum zur Vorlesung Baustoffe  
und Baustoffprüfung I und II  
Technische Universität Berlin, 2010
- Hillemeier Bernd et al.  
Spezialbetone, Betonkalender 2006  
Ernst & Sohn, 2006
- IBK Darmstadt  
Bauen mit Kunststoffen,  
Ernst & Sohn, 2001
- Karsten Rudolf, Bauchemie – Ursachen,  
Verhütung und Sanierung von Bauschäden  
C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2003
- Dietmar Klausen, Rudolf Hoscheid, Peter Lieblang,  
Technologie der Baustoffe  
15. Auflage, VDE Verlag, Berlin, 2013
- Kusterle W., Hillemeier B., Feix J., Verstärken und  
Instandsetzen von Betonkonstruktionen 2007  
Berichtsband der 7. Internationalen Fachtagung, Berlin,  
13./14.9.2007
- Lamprecht Heinz-Otto,  
Opus Caementitium – Bautechnik der Römer  
Vbt Verlag Bau u. Technik, 2001
- Mallon Thomas, Bauchemie  
Vogel Buchverlag, 2005
- Palmengarten der Stadt Frankfurt, Xylem und Phloem –  
Natur- und Kulturgeschichte des Holzes  
Sonderheft 33, 2000
- Plank Johann, Skriptum zur Vorlesung Bauchemie und  
Bauchemische Materialien  
Technische Universität München, 2012
- Scholz Wilhelm et al., Baustoffkenntnis  
Werner Verlag, 2011
- SIVV-Handbuch – Schützen, Instandsetzen, Verbinden  
und Verstärken von Betonbauteilen, Ausbildungsbeirat  
Verarbeiten von Kunststoffen im Betonbau  
Berlin, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V. –  
DBV, Fraunhofer IRB Verlag, 2009
- Vitruv, De Architectura Libri Decem, Baukunst,  
2 Bde., Bücher I–X  
Birkhäuser Verlag, 1987
- Vollhardt, C.: Organische Chemie.  
WILEY-VCH, Weinheim 2003
- Wacker-Chemie, Wacker Silicones. Begreifen und Ver-  
stehen. Schulversuche mit Wacker-Siliconen, Chemie  
zum Anfassen und Begreifen – Learning by Doing.  
Wacker-Schulversuchskoffer für den naturwissenschaft-  
lichen Unterricht, 2004

**Herausgeber**

Fonds der Chemischen Industrie im Verband  
der Chemischen Industrie e. V. (FCI)  
Mainzer Landstraße 55  
60329 Frankfurt am Main  
www.vci.de/fonds  
Tel.: 069 2556 0

**In Kooperation mit**

Deutsche Bauchemie e. V. (DBC)  
Mainzer Landstraße 55  
60329 Frankfurt am Main  
www.deutsche-bauchemie.de  
Tel.: 069 2556 1318

**Erstauflage**

Januar 2015  
26.000 Exemplare

Alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf Papier aus nachhaltiger Waldwirtschaft

Das gesamte Unterrichtsmaterial ist über das Internet  
abrufbar (www.vci.de/fonds).

**Autoren**

Katja Lüers, Oldenburg  
Tim Schröder, Oldenburg,  
Dipl.-Ing. Norbert Schröter, DBC, Frankfurt

**Fachliche Beratung**

Dipl.-Ing. Klauspeter Breuckmann, Leimen  
Prof. Dr. Karsten Schubert, Universität Karlsruhe  
Dipl.-Ing. Petra Fischer, DBC, Frankfurt

**Methodisch-didaktisches Konzept**

Prof. Dr. Katrin Sommer, Ruhr-Universität Bochum  
OStD Sabine Venke, Oberstufenzentrum TIEM, Berlin  
Henning Steff, Ruhr-Universität Bochum

**Wissenschaftliche und fachdidaktische Beratung**

Prof. Dr. Bernd Ralle, Technische Universität Dortmund

**Redaktion und Gesamtkoordination**

Birgit Kullmann, FCI, Frankfurt

**Bildnachweis**

Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen (S. 28)  
BASF (S. 28, 39)  
BAUMIT GmbH (S. 21)  
BetonMarketing Deutschland GmbH (S. 26, 27)  
Manfred Brueckels (S. 10)  
Callwey GmbH & Co KG (S. 49)  
CAPAROL (S. 45)  
Consorzio TAT (AB 4)  
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (S. 20, 34)  
DESY (S. 57)  
Evonik Industries AG (S. 46)  
Fotolia: ©davis (S. 7), ©sunsinger (S.8), ©Alberto Masnovo (S. 9), ©Pixelshop (S. 11), ©Gina Sanders (S. 14), ©Jeanette Dietl (S. 17), ©ArTo (S. 18), ©Paul Osselmann (S. 30), ©josepizarro (S. 30), ©shooting88 (S. 32), ©Olympixel (S. 33), ©StefanKunze (S. 37), ©Ingo Bartussek (S. 41), ©mariesacha (S. 50), ©Fulcanelli (S. 56), ©SeanPavone-Photo (S. 56), ©Alexander Cherednichenko (S. 59), ©tanawatpontchour (AB 9)  
FU Berlin (Vorlage für S. 44, 45, 46, 47)  
Koester Bauchemie AG (S. 19, 21, 24, 39, 42, 51)  
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG (S. 51)  
NEEDCOM GmbH (S. 14, 15, 16, 17, 29, 35) grafische Vorstufen S. 12/13,  
Panthermedia.net: ©Andrea Funke (S. 35)  
PCI Augsburg GmbH (S. 15)  
Norbert Schröter (S. 7)  
Prof. Dr. Karsten Schubert (S. 8, 9, 10, 14, 20, 22, 23, 25, 27, 31, 33, 43, 50, 53, 55, 58, AB 3)  
Shutterstock: ©gui jun peng (S. 54)  
Sika Deutschland GmbH (S. 25)  
Sopro Bauchemie GmbH (S. 23, 37)  
Henning Steff (Experimente X, XI; AB 7, 8)  
Daniel Steinmetz (Titel, S. 2)  
Sto SE & Co. KGaA (Vorlage für S. 42)  
Süd Zement Marketing GmbH („Novitas Caementitia“ AB 3)  
JTO – Dipl. Ing. Jim Tabladillo (S. 12/13)  
VdL/Michael Bross (S. 40)  
Wacker Chemie AG (S. 38, 40)  
Alle anderen Fotos und Abbildungen Deutsche Bauchemie e. V. und Verband der Chemischen Industrie

**Gestaltung**  
mon idée, Marketing/Kommunikation, Monika Nieth, Königstein  
zündung GmbH Werbeagentur, Frankfurt am Main

**Druck**  
Schmidt printmedien GmbH, Ginsheim-Gustavsburg

