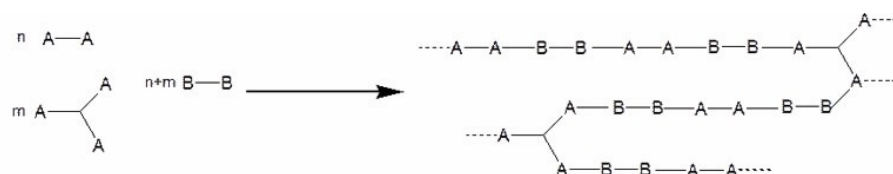


# „Organische Bindemittel - Reaktive Systeme - Teil I“

Heimo Wölfle und Burkhard Walther

## Reaktivharze für Bauanwendungen

Neben anorganischen Baustoffen wie Keramik (Ziegel), Zement, Stahl, Aluminium und Glas finden sich zahlreiche Anwendungen für organische Materialien bzw. Kunststoffe im Bauwesen. Rohre, Fenster-/Türrahmen, Isolierungs-/Dämmplatten, Folien, Matten, Planen, Kabelummantelungen, Dübel sind nur einige der vielen Anwendungen für klassische Kunststoffe wie PP, PE, PS, ABS oder PVC. Diese Produkte werden in Fabriken unter sehr gut kontrollierten Bedingungen hergestellt. Daneben gibt es sogenannte Reaktivharze, d.h. Kunststoffe, die ihre endgültige Struktur erst nach Applikation auf der Baustelle durch chemische Reaktionen bekommen. Dabei sind die wechselnden klimatischen Bedingungen eine besondere Herausforderung, da sie großen Einfluss auf die Aushärtereaktion haben. Reaktivharze können 1-komponentig (Aushärtung durch Luftfeuchtigkeit, Sauerstoff oder Temperatur) oder 2- und mehrkomponentig formuliert werden. Die Applikation kann durch Gießen, Rollen, Spachteln oder Spritzen erfolgen.



Prepolymerverfahren:



Abbildung 1: Stufenwachstumsreaktion

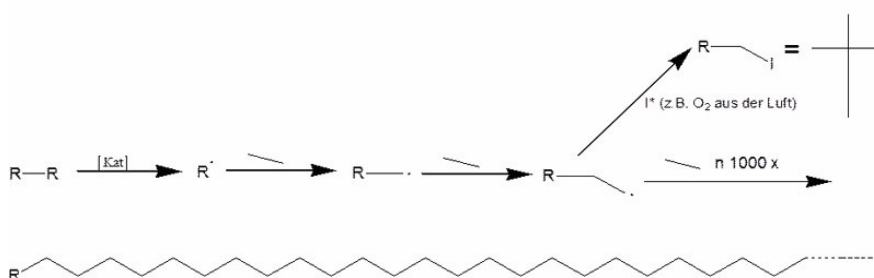
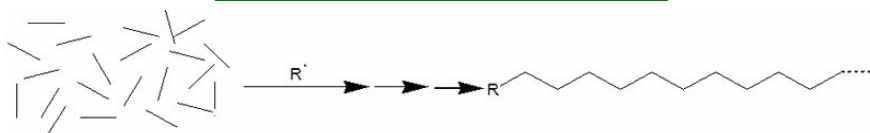


Abbildung 2: Kettenwachstumsreaktion

Die Aushärtung von Reaktivharzen im Baubereich kann über Stufenwachstumsreaktionen (Abb. 1; z.B. Epoxidharze (EP), Polyurethane (PUR) und Polyharnstoffe) oder Kettenwachstumsreaktionen (z.B. Methacrylate, Abb. 2, UPE-Harze) erfolgen. Bei Ersteren werden oft Prepolymere und/oder Addukte gebildet, so dass nach Applikation auf der Baustelle nur noch möglichst wenige störanfällige Reaktionen ablaufen müssen.

Beim Design von Reaktivharzsystemen müssen neben Aspekten der Haltbarkeit, der Beständigkeit, der Anwendungsfreundlichkeit und der Kosten auch gesundheitliche und zunehmend umweltrelevante Aspekte, wie CO<sub>2</sub>-Footprint, Recyclingfähigkeit, Rohstoffbasis usw. berücksichtigt werden. Der Gesetzgeber hat mit der Einführung der europäischen Chemikalienverordnung "REACH" vorgegeben, dass viele Rohstoffe, die bis jetzt nach EINECS gelistet waren, einer toxikologischen Bewertung zu unterziehen sind. Es ist abzusehen, dass einige dieser Grundstoffe, sei es wegen der Kosten der Zulassung oder sei es wegen ungünstiger toxikologischer Eigenschaften, nicht mehr auf dem Markt verfügbar sein werden. Die Entwicklung von Alternativen mit ähnlichem Eigenschaftsprofil, vergleichbaren Kosten und verbesserter Ökobilanz wird auch in den nächsten Jahren eine Herausforderung und eine spannende Aufgabe für die chemische Entwicklung bleiben.



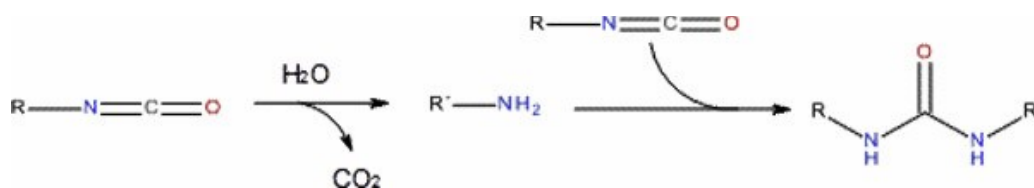
**Abbildung 3:** Polyurethane (X = O); Polyharnstoffe (X = NH) aus Isocyanaten

Die gebräuchlichsten organischen Bindemittel sind:

### 1. Polyurethane, Polyharnstoffe

Eine Klasse äußerst vielseitiger Bindemittel, die meist auf der Reaktion von Isocyanaten mit OH (Abb. 3) oder NH<sub>2</sub>-gruppen basiert. Die Aminfunktion kann dabei auch durch die Reaktion von Isocyanat mit Wasser In-Situ erzeugt werden (Abb. 4), das dabei entstehende CO<sub>2</sub> muss bei dickeren Schichten in geeigneter Weise gebunden werden, andernfalls schäumt das System auf. Durch den Aufbau aus harten Urethan- und/oder Harnstoffsegmenten und gummielastischen Weichsegmenten können Polyurethane ein sehr breites Spektrum an Eigenschaften abdecken und z.B. Rissüberbrückung mit Abrasionsbeständigkeit kombinieren.

Ein Nachteil bei 2-K-PU Standardsystemen (~NCO + ~OH) ist das relativ schmale Temperaturfenster für die Applikation von in der Regel +5 °C bis +35 °C bei relativ niedriger Luftfeuchtigkeit. Dieses schränkt die Anwendung, vor Allem im Freien, an vielen Arbeitstagen ein.



**Abbildung 4:** Isocyanat/Wasser Reaktion bildet polyHarnstoffmatrix und CO<sub>2</sub> synchron

## 2. Epoxidharze

Epoxidharze basieren auf der Ringöffnung von Oxiranen (Epoxiden, Abb. 5). Im Baubereich werden üblicherweise Amine zur Kalt härtung eingesetzt. Wie bei den Isocyanat-Systemen hat man auch hier ein relativ schmales Temperaturfenster von +5 bis +35 °C. Bei Unterschreiten der Mindesttemperatur kommt es oft zur sogenannten Carbonatisierung (Bildung von Ammoniumcarbonat mit dem Aminhärter), einer Nebenreaktion, die die Performance des Systems dauerhaft mindert. Vorteile der Epoxidharze sind ihre Robustheit und die Stabilität gegen alkalische Medien, was sie insbesondere zur Anwendung auf Beton geeignet macht.

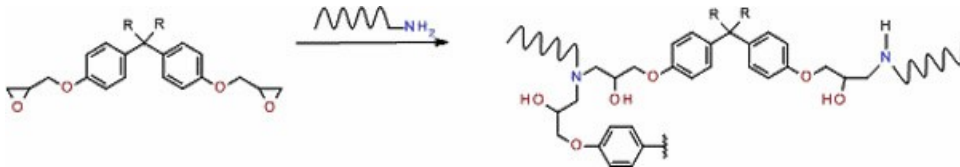


Abbildung 5: Härtung und Vernetzung von Epoxidharzen mit polymeren Aminen

## 3. Methacrylatharze, UPE-Harze

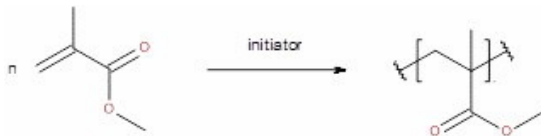


Abbildung 6: Polymerisation von Methylmethacrylat

Die Grundlagen der Acrylatharze wurden bereits in [Woche 5](#) (Organische Bindemittel) beschrieben. Diese Systeme bestehen aus Monomeren (vor allem Methyl- und Butylmethacrylat, Abb. 6), in dem zur Reduzierung des Schrumpfes und zur Viskositätseinstellung Polymere gelöst sind. UPE-Harze bestehen aus Oligo- oder Polymeren von ungesättigten Polyestern, oft verdünnt mit Styrol. Sie werden gerne im Verbund mit Glas- oder Polyestergerewebe eingesetzt. Beide Harzsysteme werden über Radikalstarter, z.B. Peroxide, gehärtet. Problematisch ist die Empfindlichkeit gegen Radikalfänger, zu denen auch Sauerstoff gehört, dessen Zutritt entsprechend reduziert werden muss. Gelangen Verunreinigungen in die Beschichtung können diese die Aushärtung komplett verhindern.

## 4. Silikone

Silikonharze werden vor allem in Dichtstoffen eingesetzt. Sie ermöglichen hohe Dehnungen und bringen eine exzellente Lichtstabilität. Die Aushärtung erfolgt durch terminale reaktive Gruppen (Acetoxysilane oder Alkoxysilane) über Ausbildung von Si-O-Si Gruppen. Problematisch sind die Stabilisierung gegen Mikroorganismen und die schlechte Überarbeitbarkeit. Letzteres erfordert z.B. bei Wartungsarbeiten an Fugen oft die aufwändige rückstandsfreie Entfernung des alten Dichtstoffes.

## 5. Polysulfide

Polysulfide haben sich insbesondere als Dichtstoffe gegen Kraftstoffe bewährt. Die Aushärtung erfolgt über Oxidation terminaler -SH-Gruppen zu Disulfanen (-S-S-). Ihre herausragende Beständigkeit gegen viele organische Medien verdanken sie langen Sx-Ketten. Ihre Verarbeitung ist allerdings oft nicht einfach. Sie haben ebenfalls eine gute UV-Beständigkeit und lassen sich ausgezeichnet mit sich selbst überarbeiten, da die Bindungen in den Schwefelketten nicht starr sind und sich daher kovalente Bindungen zu darunterliegenden Polysulfidschichten ausbilden.

## 6. Alkydharze

Ist der Name für Harze auf Basis von Polyestern aus Dicarbonsäuren, mehrwertigen Alkoholen und oxidativ vernetzenden Fettsäuren, wie z.B. Linolsäure. Das Aushärteprinzip ist eines der ältesten bekannten für Reaktivharze. Sie werden hauptsächlich für Lacke, z.B. im Korrosionsschutz, eingesetzt.

## 7. Hybridwerkstoffe

Bei diesen Werkstoffen kombiniert man unterschiedlich aushärtende Baustoffe. Als Beispiel sei die Aushärtung von Isocyanaten mit Wasser (Abb. 4) unter gleichzeitiger Ausnutzung des entstehenden  $\text{CO}_2$  zum Abbinden einer anorganischen Komponente, wie z.B. Wasserglas, genannt. Die dabei entstehenden hochvernetzten Polyharnstoffe bilden über Wasserstoffbrückenbindungen harte Domänen (Abb. 7). Dieses Reaktionsprinzip ermöglicht die Formulierung sehr widerstandsfähiger Bodenbeläge (Abb. 8). Auch die Aushärtung organischer Präpolymere über anorganische Gruppen, meist Alkoxysilane, wird als Hybridsystem bezeichnet. Die Abstimmung dieser Systeme ist mitunter recht aufwändig, das Reaktionsprinzip ermöglicht jedoch oft eine sehr interessante Kombination positiver Eigenschaften.

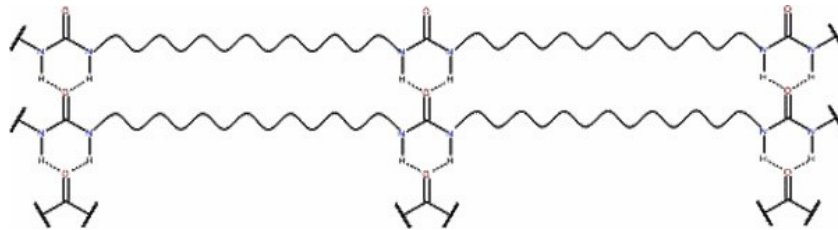


Abbildung 7: Hartdomänen (H-Brücken zwischen Harnstoffgruppen)



Abbildung 8: Polyurethanestrich UCRETE

## „Organische Bindemittel - Reaktive Systeme - Teil II“

Die Vielzahl der verwendeten Harze resultiert aus den sehr unterschiedlichen Anforderungen in den verschiedenen Anwendungen. Je nach Verwendungszweck sind Haftung, Abrasionsbeständigkeit, Dehnbarkeit, UV-Stabilität oder Ästhetik bzw. Kombinationen einzelner Eigenschaften in den Vordergrund zu Stellen und, im Baubereich stets ein besonders wichtiger Punkt, der günstigste Preis, zu dem sich die anstehende Aufgabe lösen lässt.

Die Hauptanwendungsgebiete für Reaktivharze im Bauwesen sind:

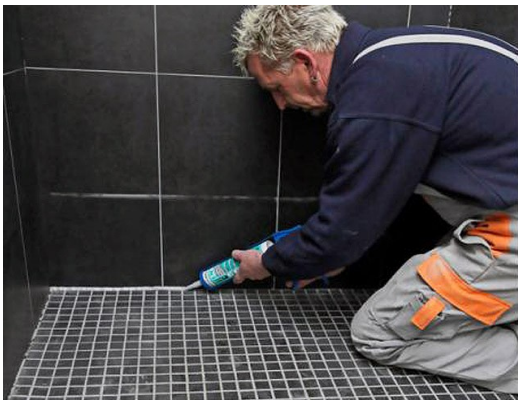
### 1. Klebstoffe

Klebstoffe halten zwei Flächen durch Adhäsion (Oberflächenhaftung) und Kohäsion (innere Festigkeit) zusammen und müssen dazu gut auf den zu verbindenden Flächen haften, gegen die zu erwartenden Umwelteinflüsse stabil sein, mit geeigneter Geschwindigkeit aushärten, möglichst wenig schrumpfen, je nach Zweck flexibel oder starr sein und sie brauchen ein geeignetes Rheologieprofil, d.h. sie dürfen z.B. bei vertikaler Applikation nicht ablaufen. Gegebenenfalls ist auch eine Lösung der Klebefläche ohne Beschädigung der verklebten Gegenstände erwünscht.

Oft müssen sehr unterschiedliche Materialien, wie z.B. Beton und Stahl oder Zementestrich und Holz miteinander verklebt werden. Bei Kleben auf Beton ist u.a. dessen hoher pH-Wert zu beachten, gegen den insbesondere Epoxidharze sehr gut beständig sind. Feuchtigkeitshärtende 1-K-PU-Klebstoffe können durch ein leichtes Aufschäumen so eingestellt werden, dass es zu einer Volumenzunahme und damit zu einem besonders guten Ausfüllen von Bohrlöchern oder Hohlräumen kommt. Acrylat und insbesondere Cyanacrylatklebstoffe ermöglichen eine besonders schnelle Aushärtung.

### 2. Dichtstoffe

Bei Dichtstoffen kommt es auf hohe Flexibilität und zuverlässige Flankenhaftung an um eine Abdichtung zu gewährleisten. Insbesondere bei Anwendungen im Freien ist zudem eine gute UV-Beständigkeit erwünscht. Den



**Abbildung 9:** Fugenmasse - klassische Dichtstoffanwendung

größten Marktanteil haben Silikondichtstoffe (Abb. 9), die hervorragende UV-Beständigkeit, Transparenz und sehr hohe Dehnungen aufweisen. Sie werden i.d.R. unter Abspaltung von Alkoholen oder Essig mit Luftfeuchtigkeit ausgehärtet. Nachteile sind der hohe Mikrobizidbedarf und die schwierige Überarbeitbarkeit. Zur Abdichtung gegen Treibstoffe und Lösemittel haben sich Polysulfide bewährt. Sie lassen sich hervorragend mit sich selber überarbeiten, sind jedoch nicht einfach zu applizieren und durch den Härter dunkel gefärbt, d.h. die einstellbaren Farbtöne sind limitiert. Sehr vielseitig und preiswert sind PU-

Dichtstoffe. Sie ermöglichen die vielfältige Einstellung von Dehnung und Härte. Die billigeren und reaktiveren aromatischen Isocyanate sind jedoch nicht UV beständig.

Zunehmende Bedeutung erlangen Hybriddichtstoffe, bei denen herkömmliche Präpolymere über Alkoxysilangruppen mit Luftfeuchtigkeit aushärten. Sie sind sehr vielseitig und ermöglichen oft sehr gute Haftung des Dichtstoffes.

### 3. Kunststoffmörtel und Spachtelmassen

Diese Produkte sind standfeste, hochviskose mit viel Füllstoff formulierte Massen, die zum Verfüllen von Hohlräumen und Löchern, als Ausgleichsmasse für Unebenheiten, als Dichtmassen und als Klebemörtel verwendet werden. Sie ermöglichen im Gegensatz zu den herkömmlichen, zementbasierten Mörteln und Spachtelmassen eine gewisse Flexibilität, Wasserdichtigkeit und gute Haftung. Eingesetzt werden Epoxidharze, Polyurethane, Alkydharze (Ölspachtel) und UP-Harze (Polyesterspachtel).

### 4. Oberflächenschutz



Abbildung 10: PU-Spraycoating

Hier sind insbesondere der Korrosionsschutz auf Metallen und der Schutz von Betonbauwerken gegen saure Medien (Silos, Kläranlagen), Kohlendioxid (Verlangsamung der Carbonatisierung) und, bei befahrbaren Bauwerken, wie Brücken und Parkhäusern, der Schutz gegen eindringendes Tausalz, das zur Korrosion des Bewehrungsstahles beiträgt, zu nennen. Neben physikalisch härtenden Dispersionen werden viele Alkydharze, sowie Epoxy- und PU-Systeme eingesetzt. Befahrbare Betonbauwerke müssen mit

Systemen geschützt werden, die rissüberbrückend und abrasionsbeständig sind. Die Kombination dieser Eigenschaften erreicht man durch Mehrschichtsysteme, wie z.B. Epoxyprimer + PU-Schicht (Abb. 10: PU - Spraycoating) + Gussasphalt.

### 5. Bodenbeschichtungen

Kunstharzbodensysteme ermöglichen die fugenlose, gut zu reinigende Beschichtung von Böden. Je nach Bedarf können sie auch rutschfest, flexibel und dämpfend (Sportböden), antistatisch oder bakterizid ausgeführt werden. Die Zahl der angebotenen Systeme und der möglichen Anwendungen ist ausgesprochen vielseitig. Den größten Marktanteil in diesem Bereich haben Epoxidharzbeschichtungen, die gute Verarbeitungseigenschaften, Alkalibeständigkeit und hohe Härte mit einem guten Preis-Leistungsverhältnis vereinigen. Sie werden auch oft in ableitfähigen Beschichtungen eingesetzt. Nachteilig ist das relativ schmale Temperaturfenster (s.o.), die Vergilbung und die geringe Bruchdehnung. PU-Beschichtungen ermöglichen eine gute Kombination von Abrasionsbeständigkeit und Dehnung, d.h. heißt sie sind insbesondere bei erforderlicher Rissüberbrückung geeignet. Systeme auf Basis aliphatischer Isocyanate weisen zudem eine sehr gute Vergilbungsbeständigkeit auf, d.h. sie sind insbesondere für ästhetisch anspruchsvolle Böden, z.B. in Verkaufsräumen, geeignet.

Eine sehr schnelle Ausführung von Beschichtungsarbeiten ermöglichen Methacrylatharze. Sie ermöglichen die Applikation eines 3-schichtigen Aufbaus an einem Tag und haben zudem den Vorteil, dass sich die Viskosität während der Topfzeit nur wenig ändert, die Beschichtung danach aber sehr schnell (in wenigen

Minuten) klebfrei aushärten und dadurch nur wenig Schmutz aufnehmen kann. Man kann sie zudem sehr transparent formulieren, was vielfältige Designmöglichkeiten zulässt. Nachteil dieser Systeme ist ihre Empfindlichkeit gegen Verunreinigungen und der intensive, von vielen Menschen als sehr unangenehm empfundene, Geruch der monomeren (Meth-)Acrylate.

Kombinationen von EP oder PUR-harzen mit anorganischen Bindemitteln, also Hybridsysteme (Abb. 8), werden erfolgreich in stark mechanisch, physikalisch oder chemisch beanspruchten Einsatzorten verwendet, z.B. in der Lebensmittelindustrie, in der Böden gut zu reinigen sein müssen (z.B. mit einem Dampfstrahlgerät bei 130 °C). Auch Industriehallen, Abfüllanlagen, Reparaturwerkstätten, Flugzeughangars usw. stellen sehr hohe Ansprüche an eine Bodenbeschichtung.






Abbildung 11: Fugenlose Epoxybeschichtung

## 6. Bauschäume

Hier sind vor Allem Montageschäume zu nennen. Bauschäume werden hauptsächlich zum schnellen und preiswerten Verfüllen von Hohlräumen, als Thermoisolierung (Abb. 12) und manchmal auch zur Abdichtung verwendet. Sie sind eine klassische Anwendung für Isocyanatschäume und ein gutes Beispiel für eine Anwendung die durch schärfere toxikologische Kennzeichnung schwieriger zu realisieren ist bzw. sein wird. Hier ist die Innovationskraft der chemischen Industrie gefragt. Jede Einschränkung bzw. Jedes Verbot althergebrachter Lösungen, bietet aber gleichzeitig auch die Chance etwas Besseres, Neues, zu schaffen und in Zukunft Umweltverträglichkeit und gute Anwendungseigenschaften noch besser zu vereinbaren.



Abbildung 12: Walltite Sprühschaum zur Wärmedämmung

Kontakt:	Schlauer Fuchs
 <p><b>Dr. Heimo Wölfle</b>  BASF Polymer Research - Polymers for  Inorganics; Flooring Systems, Sealants (GKI/F)  BASF Construction Chemicals GmbH  GKI/F - B08  Dr.-Albert-Frank-Str. 32  83308 Trostberg  Tel.: +49 (0) 8621 86-3024  Fax: +49 (0) 8621 86-2166  E-Mail: <a href="mailto:heimo.woelfle@basf.com">heimo.woelfle@basf.com</a></p>	<p>Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesen Beiträgen lautete:</p> <p>Teil I:  Was versteht man unter Reaktivharzen?</p> <p>Teil II:  Nennen Sie drei Anwendungsgebiete von Epoxidharzen im Bauwesen.</p>
 <p><b>BASF</b>  The Chemical Company</p>	<p><a href="http://www.basf.com/">http://www.basf.com/</a></p>
 <p><b>Dr. Burkhard Walther</b>  Senior R&amp;D Manager  BASF Polymer Research - Polymers for  Inorganics; Flooring Systems, Sealants (GKI/F)  BASF Construction Chemicals GmbH  GKI/F - B08  Dr.-Albert-Frank-Str. 32  83308 Trostberg  Tel.: +49 (0) 8621 86-3024  Fax: +49 (0) 8621 86-2166  E-Mail: <a href="mailto:burkhard.walther@basf.com">burkhard.walther@basf.com</a></p>	