

# Schutz von Beton gegen chemische Angriffe

Gekürzte Bearbeitung eines Berichtes des ACI Committee 515 <sup>1)</sup>  
Von H. Weigler und E. Segmüller, Darmstadt

## Vorbemerkung zum nachfolgenden Beitrag

In den „Betontechnischen Berichten des Forschungsinstituts der Zementindustrie“ erschienen wiederholt ins Deutsche übertragene Übersichten, Anleitungen oder Empfehlungen, die von Ausschüssen des American Concrete Institute (ACI) herausgegeben wurden. In der Fachwelt wurde ihnen immer besonderes Interesse entgegengebracht. Zur Zeit wird die DIN 1045 neubearbeitet und darin in Verbindung mit der ebenfalls neu zu fassenden DIN 4030 (Beurteilung betonangreifender Wässer und Böden) angeführt, daß Beton, der einem nach DIN 4030 definierten „sehr starken chemischen Angriff“ ausgesetzt wird, durch eine Beschichtung zu schützen ist. Die vom ACI Committee 515 vor kurzem veröffentlichte „Anleitung für den Schutz von Beton gegen chemischen Angriff mittels Überzügen und anderen korrosionsfesten Stoffen“ ist in diesem Zusammenhang besonders beachtenswert, und es war vorgesehen, sie wieder in den „Betontechnischen Berichten“ einem größeren Kreis zugänglich zu machen. Dieser Absicht kam das Anerbieten von Herrn Professor Dr.-Ing. H. Weigler entgegen, zusammen mit Fräulein Dr. E. Segmüller eine gestraffte Bearbeitung dieser Anleitung vorzunehmen.

K. Walz

## Übersicht

*Der Bericht behandelt die Verhältnisse, unter denen besondere Schutzmaßnahmen erforderlich werden, und die Auswahl der dafür im Einzelfall geeigneten Materialien sowie die zugehörige Anwendungstechnik. Er stützt sich auf umfangreiche, vorwiegend amerikanische Literatur, die in einer Auswahl nebst einschlägigen amerikanischen Normen im Original wiedergegeben ist.*

*In der Mehrzahl der Fälle ist der Beton auf Grund seiner spezifischen Eigenschaften und der im allgemeinen vorliegenden Umweltbedingungen nicht durch chemische Angriffe gefährdet. Besteht eine solche Angriffsmöglichkeit, so kann in vielen Fällen durch geeignete Zusammensetzung, Verarbeitung und Nachbehandlung*

<sup>1)</sup> ACI Committee 515: Guide for the protection of concrete against chemical attack by means of coatings and other corrosion-resistant materials. Proc. Amer. Concr. Inst. 63 (1966) S. 1305/92.

*eine angemessene Festigkeit, eine geringe Durchlässigkeit und damit eine ausreichende Widerstandsfähigkeit erreicht werden. In besonderen Fällen jedoch ist ein zusätzlicher Schutz durch entsprechend widerstandsfähige Sperrschichten erforderlich. Diese können ihre Aufgabe aber nur bei einem Beton angemessener Güte und einem konstruktiv richtig ausgebildeten Bauwerk erfüllen. Anderenfalls ist ein dauerhafter Schutz nicht möglich, bestenfalls eine begrenzte Verlängerung der Lebensdauer.*

## **1. Widerstand von Beton gegen chemische Angriffe**

An einer Zerstörung des Betons sind häufig chemische und physikalische Einwirkungen gemeinsam beteiligt. Im wesentlichen wird eine mangelnde Widerstandsfähigkeit des Betons gegen chemische Angriffe hervorgerufen von der Durchlässigkeit, der Alkalität und der Neigung der Hydratationsprodukte, unerwünschte chemische Reaktionen einzugehen.

Die Wirkungen zahlreicher Stoffe auf Beton sind im Anhang zusammengestellt. Neben den betonangreifenden organischen und anorganischen Säuren können auch säurehaltige und säurebildende Substanzen wie Steinkohlenteerdestillate, bestimmte Industrieabfälle, Silagen, Fruchtsäfte, Sauermilch, Buttermilch, Salze schwacher Basen und verschiedene Naturwässer zu einer Betonzerstörung führen. Die meisten Ammoniumsalze reagieren mit dem Kalk des Zementsteines unter Bildung von Ammoniakgas und eines Calciumsalzes. Dieser Vorgang führt zu Auslaugungen. Tierische Exkremente bilden durch Oxidation betonangreifende Säuren. Tierische Fette reagieren mit dem Zementstein unter Bildung von Calciumseifen und Alkoholen. Der Korrosionsmechanismus vieler betonangreifender Stoffe ist bis jetzt nur unvollständig bekannt. Meerwasser wirkt, wahrscheinlich überwiegend wegen seines hohen Sulfatgehaltes, zerstörend bei geringer Betondichtigkeit oder auf Betone, die nicht aus Zementen mit niedrigem Tricalciumaluminatgehalt hergestellt sind. Einige organische mehrwertige Hydroxyverbindungen wie Glykol, Glycerin und Zucker greifen Beton schwach an.

Im allgemeinen wächst der Angriffsgrad mit zunehmender Konzentration der angreifenden Lösung. Bei einigen hochkonzentrierten Elektrolyten ist es jedoch umgekehrt. Bei pH-Werten unter 7 wächst die Angriffswirkung mit fallendem pH-Wert. Trockene Stoffe, die feuchten Beton angreifen, sind für trockenen Beton ungefährlich. Eine entsprechende feuchte Substanz kann jedoch wie eine aggressive Flüssigkeit oder Lösung wirken. An sich aggressive, trockene Gase wirken nur zerstörend, wenn sie im Betoninneren genügend freie Feuchtigkeit antreffen. Bei aggressiven feuchten Gasen steigt der Korrosionsgrad.

Die Angriffswirkung eines bestimmten Stoffes hängt nicht nur von dessen chemischer Zusammensetzung und der Betonqualität ab, sondern ebenso von bestimmten Umweltfaktoren wie Temperatur, Druck und wiederholten Feuchtigkeitsänderungen. Durch je 10 °C Temperaturzunahme wird die chemische Angriffswirkung nähe-

rungsweise verzwei- bis verdreifacht. Darüber hinaus fördern steigende Temperaturen die Austrocknung des Betons und erhöhen seine Durchlässigkeit. Abnehmende Temperaturen verstärken zusätzlich zum Schwinden die Ribildung und begünstigen das Eindringen aggressiver Flüssigkeiten. Steigende Drücke vergrößern die Eindringtiefe. Bei wechselweisem Durchfeuchten und Austrocknen finden ein Transport der Lösungsprodukte und eine Ablagerung an oder in der Nähe der Oberfläche statt. Es entstehen Ausblühungen und u. U. eine Gefügelockerung durch Kristallisationsdruck. Frost-Tau-Wechsel wirken bei Anwesenheit von Salzlösungen zerstörender als bei Durchfeuchtung mit Wasser allein.

Zu den nicht aggressiven Stoffen, von denen eine Reihe im Anhang aufgeführt sind, gehören in erster Linie Carbonate, Nitrate und Silicate sowie einige Chloride und Fluoride. Kalkwasser ist im allgemeinen für Beton günstig, da es die Hydratation fördert. Andere schwach alkalische Lösungen sind im allgemeinen ungefährlich. Mineralölprodukte und Steinkohlenteeröle, die keine sauren Bestandteile oder fetten Öle enthalten, sind für ausreichend erhärteten Beton ungefährlich. Es können aber unerwünschte Verfärbungen auftreten.

Ein Schutz des Betons gegen chemische Angriffe kann z. B. erforderlich sein bei Laborgebäuden, Betrieben der Nahrungsmittelindustrie, Anlagen der chemischen Industrie, Vorratsbehältern für Chemikalien, Silos, Industrieschornsteinen, Tunnelbauten, Abwasserkanälen und Kläranlagen. In Sonderfällen auch bei Gründungen, Brückenpfeilern, Fahrbahntafeln oder Talsperren. Ist ein chemischer Angriff zu erwarten, so stets ein Beton herzustellen, der von sich aus möglichst unempfindlich gegen chemische Angriffe ist. Dessen ungeachtet sind vielfach zusätzliche bauliche Schutzmaßnahmen zwingend notwendig.

## **2. Anforderungen an den Schutz**

Art und Umfang der im Einzelfall notwendigen Schutzmaßnahmen hängen von der chemischen Zusammensetzung, der Temperatur, der Konzentration und der auf die Oberflächeneinheit entfallenden Menge der angreifenden Substanz ab. Weiterhin ist von Einfluß, ob die angreifende Flüssigkeit steht oder fließt und ob die Einwirkung kontinuierlich oder nur zeitweilig erfolgt. Entstehen dabei lösliche Salze, so wirkt sich ein kontinuierlicher Angriff stärker aus als ein zeitweilig unterbrochener. Werden unlösliche Reaktionsprodukte gebildet, so wirkt sich eine wiederholte Durchfeuchtung und Trocknung besonders ungünstig aus. Die Einwirkung von Meerwasser auf Beton unzureichender Güte ist z. B. in der Zone des schwankenden Wasserspiegels am größten. Der Angriffsgrad ständig einwirkender Gase oder Dämpfe ist im allgemeinen kleiner als bei Flüssigkeiten. Ausnahmefälle sind möglich. So kann z. B. in Abwasserkanälen sich bildendes Schwefelwasserstoffgas vom Kondenswasser oberhalb des Wasserspiegels aufgenommen und durch biochemische Vorgänge zu Schwefelsäure oxidiert werden, die den Beton der Rohre angreift.

Die im Einzelfall erforderliche Dicke einer Sperrschicht hängt ab von der Art der Einwirkung (ständig oder gelegentlich), von der

Widerstandsfähigkeit des verwendeten Materials gegen den jeweiligen chemischen Angriff und von der erreichten Gleichmäßigkeit und Porenfreiheit. Das heißt, sie ist unterschiedlich je nach Art des Angriffes und der Ausführung. Wird nur eine geringe Schutzwirkung gegen gelegentliche Angriffe gefordert, so benutzt man im allgemeinen rund 0,01 bis 1,5 mm dicke Überzüge. Die noch ausführbare Dicke wird durch Verarbeitungsart, Deckfähigkeit, Viskosität, Oberflächenspannung und Verformungsvermögen des Überzuges, dessen Gehalt an flüchtigem Lösungsmittel und die Oberflächenbeschaffenheit des Betons bestimmt. Für einen Vollschutz sind dickere Überzüge, Heiaufstriche, Spachtelkitte, Beschichten mit Kunstharzmörteln oder chemisch beständigen Mörteln, Verkleidung mit Tafeln oder chemisch beständigem Mauerwerk erforderlich. Ein Abheben einfacher Überzüge durch den Dampfdruck der eingeschlossenen Feuchtigkeit oder durch hydraulischen Wasserdruck kann manchmal durch dickere Sperrschichten verhindert werden. Für den Schutz von Betonböden, die einer kombinierten chemischen und mechanischen Beanspruchung (Abrieb) ausgesetzt sind, haben sich Estriche aus Kunstharzmrteln oder Beläge aus chemisch beständigen Platten usw., die in einem entsprechenden Mörtel verlegt sind, als wirksam erwiesen.

Überzüge werden lagenweise mit dem Pinsel aufgetragen, aufgewalzt oder aufgespritzt. Für Warmüberzüge werden gefüllte Asphalte, Schwefelvergumassen o. . verwendet, die zum Auftragen durch Erhitzen verflüssigt werden. Gefüllte Kunstharze oder andere kellengerechte Materialien werden mit der Putzkelle aufgetragen oder unter hohem Druck aufgespritzt, so daß putzhnliche Überzüge entstehen. Keramische Beläge (vgl. Abschnitt 3.5) werden in chemisch beständigem Mörtel verlegt. Gummi-, Plastik- oder Bleitafeln werden aufgeklebt oder punktwweise verankert. Bei vollflchigem Verbund wird die Möglichkeit, entstehende Risse im Beton zu überbrücken, stark herabgesetzt. Um hinsichtlich Schutzwirkung und Kosten ein Optimum zu erzielen, werden Verbundausfhrungen gewählt. Eine solche Sperrschicht kann z. B. aus einem flexiblen Polysulfatberzug, einer Glasfasereinlage und einer abschließenden Kunstharzbeschichtung aufgebaut werden.

### 3. Schutzmöglichkeiten

#### 3.1 Einteilung

Die für einen Schutz gegen chemische Angriffe geeigneten Materialien sind im Anhang aufgeführt. Sie werden im folgenden Kapitel nach ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften behandelt.

Man unterscheidet grundsätzlich *Überzüge* aus thermoplastischen und duroplastischen Stoffen<sup>2)</sup>. Thermoplastische Stoffe sind in der Wärme bildsam. Sie erhärten bei Abkühlung ohne chemische Reak-

<sup>2)</sup> Anmerkung Verf.: Im amerikanischen Sprachgebrauch wird zwischen „Thermoplastic“ und „Thermo setting materials“ unterschieden. Während der erstgenannte Begriff mit unseren Thermoplasten identisch ist, bedeutet der letztere „Heihrtend durch chemische Reaktion, nicht wieder erweichbar“. Er deckt sich weitgehend mit unseren Duroplasten und wird in dieser Arbeit auch damit übersetzt.

tionen. Bei Wiedererwärmung setzt erneut Erweichung ein. Duroplastische Stoffe erhärten durch chemische Reaktionen (Vernetzung) irreversibel. Bei vielen dieser Stoffe erfolgt die Reaktion bei Raumtemperatur. Bei beiden Stoffarten unterscheidet man weiterhin Lösungen (Kunstharz in Lösungsmittel, das verdampft; Nachbehandlung teilweise erforderlich), Emulsionen (Kunstharz dispergiert in Wasser, das verdampft; Nachbehandlung teilweise erforderlich) und sog. 100 %ige Stoffe (enthalten keine flüchtigen Bestandteile). Soweit es sich bei den letzteren um Thermoplaste handelt, werden sie heiß aufgetragen und erhärten bei der Abkühlung. Entsprechende Duroplaste werden auf Beton im allgemeinen bei normaler Temperatur aufgebracht.

Für die *Oberflächenbehandlung* des Betons stehen auch einige Stoffe (Silicate, Fluat, Silicone) zur Verfügung, die zwar keinen filmartigen Überzug ergeben, aber die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe erhöhen. Ihre Wirkung beruht auf einem Verschließen der Poren und/oder der Bildung wenig reaktionsfähiger Produkte in den oberflächennahen Schichten.

Außerdem können in besonderen Fällen *Verkleidungen* aus keramischen Materialien, verlegt mit chemisch beständigen Mörteln, oder aus verschiedenartigen Tafeln angewendet werden.

## **3.2 Thermoplastische Überzüge**

### *3.2.1 Wachse, Fette*

Überzüge aus Wachsen oder Fetten werden trotz der relativ geringen Kosten und der einfachen Ausführung nur selten verwendet. Sie schützen nur gegen wenige Angriffsarten und sind gegen mechanische Beschädigungen sehr empfindlich.

### *3.2.2 Emulsionen*

Emulsionen sind leicht verarbeitbar und entwickeln keine Lösungsdämpfe. Die zu behandelnden Oberflächen müssen frei von anhaftendem Wasser, aber nicht trocken sein. Die Emulsionen sind während der Erhärtung wasserempfindlich und müssen gegen Regen geschützt werden. Bei feuchtem Klima verzögert sich die Trocknung. Da sie nicht immer einen gleichmäßigen Film bilden, ist die Durchlässigkeit solcher Überzüge vielfach größer als bei gleich dicken Filmen, die aus Lösungen hergestellt werden.

#### **3.2.2.1 Bituminöse Emulsionen**

Bitumenemulsionen aus Asphalten oder Steinkohlenteer mit Stabilisatoren ergeben Überzüge, die in ihren Eigenschaften weitgehend solchen aus Bitumenlösungen oder heiß aufgetragenen Massen entsprechen. Aber sie trocknen, wie alle Emulsionen, langsamer und weisen eine leicht erhöhte Durchlässigkeit auf. Es können auch schwer lösliche Stoffe oder solche mit hohem Schmelzpunkt bei hohem Feststoffgehalt verwendet werden. Die Konsistenz wird fast ausschließlich durch den Wassergehalt bestimmt, so daß auch dicke Überzüge ohne Schwierigkeiten ausführbar sind, deren Rißneigung geringer ist als bei Verwendung von Lösungen.

### 3.2.2.2 Latex-Emulsionen u. a.

Harz-Latex-Emulsionen besitzen die gleichen Vor- und Nachteile wie alle anderen Emulsionen. Sie trocknen im allgemeinen schnell, und die einzelnen Lagen können in kurzen Zeitabständen aufgebracht werden.

Die Bezeichnung *Acryl* umschließt eine große Gruppe von Polymeren auf Acryl- und Methacrylsäurebasis, deren Ester und eine Vielzahl anderer Derivate. Die verschiedenen Acrylverbindungen ergeben Produkte mit weit gestreuten Eigenschaften von harten und spröden Filmen bis zu weichen und klebrigen. Acryl-Latex-Verbindungen sind hitze-, licht- und wetterbeständig. Entsprechende Überzüge sind unter Normalbedingungen befriedigend säure-, alkali- und ölfest, sie genügen aber nicht als Schutz gegen eine ständige Einwirkung solcher Flüssigkeiten. Ihre Beständigkeit gegen andere Chemikalien und Lösungsmittel steht noch aus. Sie lösen sich in aromatischen Kohlenwasserstoffen, Ketonen, Estern und einigen Alkoholen; sie quellen in Äther, sind aber in Wasser, Alkohol und aliphatischen Kohlenwasserstoffen unlöslich. Acryle sind als Lösungen erhältlich, werden aber üblicherweise als Emulsionen verwendet. Die meisten Anwendungsfälle erfordern eine doppelte Beschichtung. Ein zusätzlicher späterer Auftrag ist möglich. Die Farbbeständigkeit und die Haftung auf Beton sind gut.

*Polyvinylacetate* sind thermoplastische Harze aus Vinylacetat allein oder mit anderen Verbindungen. Sie sind im allgemeinen durchscheinend, farb-, geruch- und geschmacklos. Sie zeichnen sich durch eine gute Haftung auf den verschiedenartigsten Oberflächen aus und besitzen eine hohe Zugfestigkeit. Überzüge aus PVA-Harzen sind gegen korrodierende Gase wie Chlor und Schwefelwasserstoff beständig. Sie sind im allgemeinen nicht beständig gegen Ketone, Ester, chlorhaltige und aromatische Kohlenwasserstoffe und niedrigsiedende Alkohole. Einige dieser Latices erweichen bei dauernder Wasserlagerung. Sie widerstehen Angriffen durch aliphatische Kohlenwasserstoffe, Pflanzenöle, tierische Fette, Benzin, Kerosin, Maschinenöle und Schmierfette; sie genügen aber nicht als Schutz gegen eine ständige Einwirkung solcher Flüssigkeiten. Beschichtungen aus PVA-Emulsionen neigen nicht zur Blasenbildung und sind wetterfest. Man verwendet sie zu farbigen Deckanstrichen, insbesondere im Freien. Abgewitterte Betonflächen können ohne weiteres wieder beschichtet werden.

*Styrol-Butadien-Latex* wird vielfach als Innenanstrich verwendet. Als Außenanstrich und als Schutz gegen chemische Angriffe ist es nicht geeignet. Brauchbar sind dafür jedoch entsprechende Lösungen.

*Alkyd-Harz-Emulsionen* werden für außenliegende Beton- und Asphaltflächen verwendet. Sie besitzen eine ausgezeichnete Wetterbeständigkeit.

### 3.2.3 Bitumina

Bituminöse Stoffe werden für die Abdichtung von Wasserbehältern und Kanälen verwendet. Sie können aus Asphalt oder Steinkohlenteer mit und ohne mineralische Füller aufgebaut werden. Sie wer-

den häufig für Heianstriche benutzt, obwohl es kalt verarbeitbare Varianten in Form von Emulsionen gibt. Ihre Widerstandsfähigkeit gegen Wasser und Feuchtigkeit ist ausgezeichnet, gegen Alkohole und polare Lösungsmittel ausreichend; jedoch können sie durch Kohlenwasserstoffe, Mineralöle und Fettsäuren gelöst und aufgeweicht werden. Bei direkter Sonneneinstrahlung sind Asphalte mit höheren Erweichungspunkten zu verwenden.

Heiß auszuführende *Asphaltüberzüge*, entsprechend ASTM D-449, Typ B, werden in Verbindung mit einem Voranstrich (ASTM D-41) für die Außenbeschichtung von Kellerwänden empfohlen. Um eine Blasenbildung zu vermeiden und eine vollständige Abdeckung zu erreichen, soll der Beton möglichst trocken sein. Kalt zu verarbeitende Überzüge, sog. „cut-backs“, enthalten ein Lösungsmittel. Es kommen auch kalt zu verarbeitende Emulsionen zur Anwendung (vgl. 3.2.2.1). Als Ausgangsstoffe werden verwendet: Reine Asphalte mit und ohne mineralische Füller, Asphalte mit Harzzusatz (Koloophonium, Kunstharz), Asphalte mit Zusatz eines trocknenden Öles (Leinöl, chinesisches Holzöl), Asphalt-Harz-Öl-Kombinationen. Ölzusätze verbessern die Witterungsbeständigkeit, Harzzusätze die Verformungseigenschaften des erhärteten Überzuges und die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe. Wegen der guten Beständigkeit gegen Säuren und Oxidationsmittel können Asphaltbeschichtungen, auch in Verbindung mit Fasereinlagen oder bituminierten Geweben, als Schutzauskleidung von Behältern für Säuren und betonangreifende Salze verwendet werden. Nachteilig ist die Erweichung bei höheren Temperaturen. Ihre Widerstandsfähigkeit gegen Lösungsmittel, Hitze und Wasserdampf ist geringer als die von Steinkohlenteeren.

*Steinkohlenteerüberzüge* können heiß und kalt aufgebracht werden. Im letzteren Fall handelt es sich um Verschnitte. Die hervorstechendsten Eigenschaften sind ihre ausgezeichnete Wasserbeständigkeit, ihr hoher elektrolytischer Widerstand und die Beständigkeit gegen Bakterien und gegen Muschel-Angriffe im Meerwasser. Ihre Säuren- und ihre Laugenbeständigkeit sind mäßig. Ihre Licht- und Witterungsbeständigkeit und ihre Abriebfestigkeit sind gering. Bei höheren Temperaturen erweichen sie. Bei Trinkwasseranlagen ist zu beachten, daß einige Teere Beschmack und Geruch des Wassers beeinflussen. Die Haftung auf Beton ist im allgemeinen nicht gut. Zur besseren Benetzung ist ein Voranstrich erforderlich. Dies gilt auch für heiß aufgebrachte Überzüge, entsprechend ASTM D-450, Typ B, die für die Außenflächen von Kellerwänden aus Beton verwendet werden.

### 3.2.4 Kautschuk und Harz

*Cumaron-Inden-Harze*, die durch fraktionierte Destillation aus Steinkohlenteer gewonnen werden, und *Petroleumharze*, die aus Erdöl gewonnen werden, besitzen ähnliche Eigenschaften und Verarbeitungsbedingungen. Beide sind in flüssiger und fester Konsistenz erhältlich. Überwiegend verwendet wird die feste Form. Ihr Erweichungspunkt schwankt zwischen 50 und 120 °C. Petroleumharze neigen zur Oxidation und zur Reaktion mit trocknenden Ölen; Cumaronharze sind demgegenüber reaktionsträger. Die Harze nei-

gen zur Versprödung und werden deshalb mit Weichmachern versetzt. Daraus hergestellte Überzüge sind außerordentlich beständig gegen Wasser, Alkohol, Ätzmittel und Salze, jedoch nicht gegen Kohlenwasserstoffe. Sie haben eine gute Abriebfestigkeit. Bei Sonneneinstrahlung werden sie leicht gelb, was aber ihre Schutzwirkung nicht beeinträchtigt. Die Haftung auf Beton ist ausgezeichnet. Ein möglicher hoher Harzgehalt der Lösungen erlaubt es, relativ dicke Überzüge in wenigen Schichten aufzubringen. Eine weitere zusätzliche Beschichtung zu einem späteren Zeitpunkt ist ohne weiteres möglich. Die genannten Harze finden Verwendung für Überzüge auf Betonsteinmauerwerk, Auskleidungen von Schwimmbecken, für Straßenmarkierungen und als Schutzfilme im Rahmen der Betonnachbehandlung.

Zweckmäßig zusammengesetzte *Styrol-Butadien-Harze* ergeben Überzüge von ungewöhnlicher Durchsichtigkeit, Festigkeit und Härte. Die Beständigkeit gegen starke und schwache Säuren, starke Laugen, Öle, Fette und Wasser ist hervorragend, gegen aromatische Lösungsmittel wie Toluol und Xylol aber gering. Die Dauerhaftigkeit im Freien ist gut, aber geringer als bei Überzügen aus Vinylacetat- oder Acryl-Latex. Mit der Zeit findet eine allmähliche Abtragung statt. Der Hauptnachteil ist ihre geringe Wasserdampfdurchlässigkeit.

Überzüge aus *Chlorkautschukharzen* (Naturkautschuk mit 67 % Chlor) haben eine ausgezeichnete Alkali- und Feuchtigkeitsbeständigkeit; sie sind sehr abriebfest und haften gut auf Beton. Deshalb werden sie vielfach für die Beschichtung von Betondecken und Schwimmbecken und für Verkehrsmarkierungen verwendet. Sie besitzen eine entsprechende Widerstandsfähigkeit gegen eine Vielzahl der üblichen Säuren, gegen aliphatische Kohlenwasserstoffe und niedrige Alkohole. Gegen Salpeter-, Essig- und Schwefelsäure und gegen konzentriertes Ammoniumhydroxid sind sie nicht beständig. Aromatische Kohlenwasserstoffe, Fettsäuren, tierische und pflanzliche Öle wirken auflösend und erweichend. Temperaturen über 110 °C bewirken Zersetzung. Bei ständiger Einwirkung von Wasser über 60 °C sind solche Überzüge nicht geeignet. Bei dauernder direkter Sonneneinstrahlung sind nur Überzüge mit Pigment- oder Absorptionszusatz für Ultraviolett brauchbar. Mehrschichtige Chlorkautschukbeschichtungen können frisch auf frisch verarbeitet werden. Schwierigkeiten sind u. U. beim Beschichten von Flächen mit einem früheren Anstrich auf Öl- oder Alkydbasis zu erwarten.

*Chlorsulfoniertes Polyäthylen* unterscheidet sich in seinen Eigenschaften wesentlich von dem Ausgangsprodukt Polyäthylen. Wichtig sind seine Flexibilität, eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme und eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen Verwitterung. Es ist gegen die meisten Lösungsmittel, Salze, Säuren, Laugen und oxidierende Stoffe bis etwa 100 °C beständig. Seine gute Ölbeständigkeit entspricht der von Chloropren. Es ist in einem breiten Temperaturbereich abriebfest und beständig gegen Sonneneinstrahlung, Ozon und Oxidation. Sein Hauptnachteil liegt in den hohen Kosten und im Verarbeitungsaufwand.



*Polyaethylen*, das in den zwei Typen Niederdruck- und Hochdruckpolyaethylen hergestellt wird, besitzt eine ausgezeichnete Flexibilität und bei Raumtemperatur eine ungewöhnlich hohe Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe. Es ist beständig gegen starke Säuren, Laugen und Salze und die meisten Lösungsmittel. Ausgenommen sind einige Fette und Öle sowie chlorhaltige und aromatische Lösungsmittel. Mit steigender Temperatur nimmt diese Beständigkeit sehr rasch ab. Bei 70 °C ist Polyaethylen in Benzol, Xylol, Petroläther, Terpentin, Tetrachlorkohlenstoff, Chlorbenzol und flüssigem Paraffin löslich. Unangenehm ist die Anfälligkeit von Polyaethylen für „Spannungsrißkorrosion“ bei Anwesenheit von bestimmten Stoffen wie Hydroxylverbindungen, Ketonen, Estern, Äthern, aromatischen Kohlenwasserstoffen und einigen Seifen und Detergenzien. Diese Empfindlichkeit wird durch Verschnitt mit Polyisobutylen, Natur- oder synthetischem Kautschuk herabgesetzt. Die Beständigkeit gegen Verwitterung ist gut. Bei extrem starker Sonneneinwirkung kann sie durch Zusatz von 3 % Ruß verbessert werden. Polyaethylenfilme sind in der Regel gasdurchlässig, insbesondere für Chlorwasserstoff und Schwefeltrioxid, und bieten daher keinen Schutz gegen entsprechende Lösungen. Die Hauptschwierigkeiten in der Verwendung von Polyaethylen für die Beschichtung von Beton liegen in der Verarbeitung. Das bei Blechen übliche Aufschmelzen ist undurchführbar. Die Verwendung von Dispersionen und Flammsspritzen erfordern spezielle Arbeitsverfahren, wenn eine ausreichende Haftung und Gleichmäßigkeit des Überzuges erreicht werden soll. Die Anwendung ist deshalb beschränkt. Viele andere Systeme, wie Epoxid- oder Urethanüberzüge, bieten sich als gleichmäßiger und verlässlicher bei gleichen oder geringeren Kosten an.

*Acryl-Harze* ergeben harte, schnelltrocknende Überzüge. Sie werden im allgemeinen aufgesprüht, wobei es allerdings schwierig ist, Lunkerbildung zu vermeiden. Sie sind hitze-, licht- und wetterbeständig, säure-, laugen- und ölfest. Wegen der Gefahr der Lunkerbildung sind sie jedoch bei ständiger Einwirkung aggressiver Flüssigkeiten ungeeignet. Acryl-Emulsionen (3.2.2.2) sind leichter verarbeitbar, aber durchlässiger. Hinsichtlich der Beständigkeit und des Quellens gelten die bei Acryl-Emulsionen getroffenen Feststellungen.

*Silicone* sind für eine Oberflächenbehandlung, aber nicht für die Herstellung kontinuierlicher Überzüge geeignet. Aufgepinselt oder aufgesprüht wirken sie wasserabweisend. Eine entsprechende Behandlung lotrechter Beton- und Mauerwerksflächen vermindert die Wasseraufnahme, Verfärbungen durch Niederschläge und die Verschmutzung. Die Wasseraufnahme wird nur zeitlich verzögert. Nach mehrwöchigem Eintauchen in Wasser haben behandelte und unbehandelte Betone etwa das gleiche Saugvermögen. Eine Verbesserung der Frost-Tau- und der Tausalzbeständigkeit waagerechter Betonflächen durch eine Siliconbehandlung ist nicht zu erwarten. Wasserlösliche Silicone sind stark ätzend und erfordern bei der Verarbeitung entsprechende Vorsichtsmaßnahmen.

### 3.2.5 Vinylderivate

*Polyvinylalkohol-Harze* sind hart, farblos, gasundurchlässig und werden durch die üblichen organischen Lösungsmittel nicht an-

gegriffen. Wesentlich ist ihre Beständigkeit gegen Öle und Fette. Die hohe Zugfestigkeit, Verschleißfestigkeit, Härte, Biegsamkeit und Bruchdehnung solcher Filme bleiben auch bei Einwirkung von organischen Lösungsmitteln, Ölen und Fetten erhalten. Teilweise hydrolysierte Harztypen sind in kaltem und heißem Wasser löslich, vollhydrolysierte Typen nur in sehr heißem Wasser. Entsprechende Überzüge haften sehr gut auf porösem Untergrund wie Beton und schützen ihn gegen eine Vielzahl schwach angreifender Chemikalien.

*Polyvinylchloride* werden in organischen Lösungsmitteln dispergiert. Durch Verdunstung des Lösungsmittels entstehen harte, flexible, geruchlose und wasserbeständige Überzüge. Ihre Haftfähigkeit auf Beton ist gering. Sie werden deshalb als Deckschicht auf weichen Vinylchloridacetat- und ähnlichen Überzügen verwendet, auf denen sie gut haften. Damit werden die Aggressivbeständigkeit und der Verschleißwiderstand der Gesamtbeschichtung verbessert. Die wesentlichen Vorteile der Vinylchloridharze sind ihre Beständigkeit gegen feuchte Dämpfe, die Fähigkeit, harte Filme mit geringer Damfdurchlässigkeit zu bilden, und ihre Unempfindlichkeit gegen die meisten anorganischen Säuren. Als Nachteile sind zu nennen: Das erforderliche starke Lösungsmittel greift auch die bereits aufgetragenen Lagen an, durch den geringen Feststoffgehalt sind für eine ausreichende Überzugsdicke zahlreiche Schichten nötig, schlechter Verbund mit dem Beton, Verarbeitungsmöglichkeit nur durch Aufsprühen auf saubere, trockene Flächen in mehreren Lagen, besondere Schutzmaßnahmen bei der Verarbeitung im Hinblick auf die stark angreifenden Lösungsmittel, geringe Wärmebeständigkeit.

*Polyvinylacetate* in Form von Lösungen sind für das Beschichten von Beton weniger gebräuchlich als entsprechende Verbindungen auf Latexbasis. Es ist schwierig, lunkerfreie Überzüge herzustellen. Hinsichtlich der Beständigkeit gelten die bei PVA-Latex (3.2.2.2) getroffenen Feststellungen.

Lösungen von *Polyvinylchloridacetaten* sind leichter herzustellen als solche von Vinylchloriden. Sie werden daher in großem Umfang als Überzüge verwendet. Mit steigendem Vinylchloridgehalt sinkt die Entflammungstemperatur, während die Licht- und Wärmeempfindlichkeit zunimmt. Daher sollen sie keinen höheren Temperaturen als 65 °C ausgesetzt werden. Sie ergeben harte, feste Überzüge, deren Verschleißverhalten, chemische Beständigkeit und Dauerhaftigkeit im Freien ausgezeichnet sind.

*Polyvinylidenchloride* werden gewöhnlich in chemischen Verbindungen mit Latices anderer Vinylharze verwendet. Einige Typen haben Erweichungstemperaturen bis 200 °C. Die Wasseraufnahme ist besonders gering. Bei einigen derartigen Filmen wird Beständigkeit gegen Eisessig und die meisten anderen Säuren angegeben, aber nicht gegen Natrium- und Ammonium-Hydroxid. Auch die Beständigkeit gegen Kohlenwasserstoffe und tierische, pflanzliche und mineralische Öle ist gut. Der Haftverbund ist wie bei allen Vinylen mäßig, und die Überzüge müssen in mehreren Lagen aufgebaut werden. Bei stoß- und schlagartigen Beanspruchungen und bei niedrigen Temperaturen werden Homopolymere nicht empfohlen.

*Polyvinylbutyralprodukte* mit Zusätzen von Polyvinylalkohol und Polyvinylacetat sind in Form von Pulver, Lösungen und wässrigen Dispersionen erhältlich. Sie ergeben Überzüge mit hoher Beständigkeit gegen aliphatische Kohlenwasserstoffe und mineralische, tierische und pflanzliche Öle, ausgenommen Rizinus- und Erdöl. Auch die Beständigkeit gegen starke Laugen ist gut, nicht aber gegen starke Säuren und organische Lösungsmittel. Sie widerstehen einer Erwärmung bis 95 °C über längere Zeiträume. Auf zementgebundener Unterlage ist außer bei Dispersionen ein Beschichten in mehreren Lagen erforderlich.

*Polyvinylformharze* ergeben harte, flexible Überzüge mit guter Wärme- und Abriebbeständigkeit. Sie widerstehen dem Angriff von verdünntem Alkali und aliphatischen Kohlenwasserstoffen, aber nicht von anderen organischen Lösungsmitteln.

### 3.3 Duroplastische Überzüge <sup>2)</sup>

#### 3.3.1 Einkomponenten-Systeme<sup>3)</sup>

*Trocknende Öle*, wie Leinöl, Tungöl (chinesisches Holz), Sojabohnenöl, „Oiticica“ (brasilianische Pflanze), Fischöl und dehydriertes Rizinusöl, binden Pigmentzusätze und ergeben trockene, harte und dauerhafte Oberflächenfilme, die allerdings in gewissen Zeitabständen erneuert werden müssen. Da Alkalien im Beton Überzüge auf Ölbasis zerstören, muß in solchen Fällen eine Unterlage aus alkalibeständigem Material aufgebracht werden (vgl. 5.2). Unmodifizierte Öle dringen in den Beton ein und führen zu einer Nachdunklung der Oberfläche. Das am meisten verwendete Leinöl bietet Schutz gegen Chloride, Sulfate, Leichtpetroleum und unter normalen Verhältnissen auch gegen Fette und Fettsäuren. Es wurde vielfach für die Behandlung von Brückenfahrbahnplatten verwendet, deren Frost-Tausalz-Beständigkeit es verbessert. Der Beton soll gut nachbehandelt und beim Aufbringen trocken sein.

Überzüge aus klaren oder eingefärbten *Alkydharzen* mit Ölzusatz erhärten durch Oxidation. Sie behalten auch bei langer Bewitterung ihr Aussehen und sind für ihre gute Farbbeständigkeit, Zähigkeit, Haftung, Flexibilität und ihre leichte Verarbeitbarkeit bekannt. Die Kosten sind niedrig. Einige Alkyde sind gegen schwache Säuren beständig, gegen Laugen nur spezielle Verbindungen. Vor dem Aufbringen muß die Betonerhärtung abgeschlossen sein, oder es muß eine Spezialvorbehandlung erfolgen.

Überzüge aus Kombinationen von *Phenolharzen* und ungesättigten *Pflanzenölen* haben eine gute Beständigkeit gegen Wasser, verdünnte Mineralsäuren und kurzzeitig einwirkende verdünnte alkalische Lösungen. Im Hinblick auf die Alkalität des Betons sind Paraphenylphenol-Tungöl-Kombinationen besonders geeignet. Die Widerstandsfähigkeit gegen aliphatische Kohlenwasserstoffe und Öl erstreckt sich von ausreichend bis gering; gegen aromatische Kohlenwasserstoffe und starke Lösungsmittel wie Ketone und Ester

<sup>3)</sup> Anmerkung Verf.: Man unterscheidet im amerikanischen Sprachgebrauch „Ein-“ und „Zweipackungs-Systeme“. Dieser Unterteilung entsprechen im deutschen Sprachgebrauch Ein- bzw. Zwei- oder Mehrkomponenten-Systeme.

ist sie gering. Die Wetterbeständigkeit liegt je nach Zusammensetzung zwischen gut und ausreichend. Sie können mit dem Pinsel oder durch Spritzen in Einzelschichtdicken von 0,025 bis 0,5 mm aufgetragen werden. Die Haftung auf Beton ist sehr gut. Die Schlagfestigkeit ist gut, die Abriebfestigkeit und Farbbeständigkeit ausreichend. Bei Einwirkung höherer Temperaturen verspröden sie allmählich, ertragen aber 180 °C eine Stunde und 95 °C mehrere Wochen lang. Man benutzt derartige Überzüge auf Beton hauptsächlich zur Verbesserung des Aussehens und zur Verringerung der Staubentwicklung. Für die Auskleidung von Behältern und Rohren werden sie nicht verwendet.

Überzüge aus *Epoxidestern*, Kombinationen aus Epoxidharz und Pflanzenölen, erhärten an der Luft und sind in ihrer ausgezeichneten Haftfähigkeit, Biegsamkeit und chemischen Beständigkeit Alkydestern überlegen, werden jedoch durch ätzende Mittel angegriffen. Deshalb ist bei Verwendung auf Beton und Mauerwerk ein alkalibeständiger Voranstrich erforderlich. Insgesamt sind sie in ihren Eigenschaften Zweikomponenten-Epoxidharzen unterlegen. Ihr Vorteil liegt im niedrigeren Preis und der zeitlich unbegrenzten Lagermöglichkeit.

*Silicon-Alkydharze* ergeben Überzüge, die hinsichtlich Flexibilität, Härte, Zähigkeit, Temperaturbeständigkeit, Glanz- und Farbbeständigkeit besser sind als andere Alkydverbindungen. Sie sind bei Temperaturen bis 260 °C, in einigen Fällen sogar bis 520 °C verwendbar. Gegen schwache Säuren sind sie gut beständig. Bei Verwendung auf Beton ist ein alkalibeständiger Voranstrich erforderlich.

Überzüge aus Einkomponenten-*Chloropren-Polymerisaten* erhärten bei Raumtemperatur nur langsam. Die Zugabe von Erhärtungshilfen ist möglich, kann aber die Lagerbeständigkeit einschränken. Ist in der Masse bereits der Voranstrich enthalten, so ist die Haftung auf Beton gut. Die Abriebfestigkeit und die Beständigkeit gegen chemische Angriffe sind im allgemeinen geringer als bei Zweikomponenten-Chloropren, die Widerstandsfähigkeit gegen Bespritzungen und gegen Dämpfe ist aber gleichwertig. Die Wasserbeständigkeit, die durch den Chloroprengehalt beeinflusst wird, ist im allgemeinen bis 55 °C gut, ebenso die Beständigkeit gegen Verwitterung. Entsprechende Überzüge werden auf Beton vielfach mit Erfolg ausgeführt, z. B. auf Flach- und Schalendächern oder auf Kellerwänden. Sie können in üblicher Weise aufgebürstet oder aufgespritzt werden, wobei zwischen den einzelnen Lagen ausreichende Pausen einzulegen sind. Die Beschichtung soll frühestens 10 Tage nach dem Ausschalen erfolgen. Die Haftung wird verbessert, wenn für die erste Lage eine verdünnte Lösung verwendet wird.

Überzüge aus durchsichtigem oder pigmentiertem *Urethan* und *Polyurethan*, Reaktionsprodukte von Isocyanaten mit aktiven Hydroxylverbindungen, übertreffen hinsichtlich Zähigkeit und Abriebfestigkeit nahezu alle anderen Überzugsarten, wobei diese günstigen Eigenschaften auch unter Witterungseinfluß erhalten bleiben. Gegen Feuchtigkeit, Laugen und schwache Säuren sind sie sehr widerstandsfähig, gegen starke Säuren noch ausreichend. Die Haltbarkeit im Freien ist ausgezeichnet, wenn auch Glanz und Aus-

sehen nachlassen. Um eine ausreichende Haftung zu erzielen, müssen die zu beschichtenden Flächen sehr sorgfältig vorbereitet werden. Etwaige frühere Anstriche oder Überzüge sind zu entfernen. Soll nach dem Erhärten später eine weitere Beschichtung erfolgen, so muß der Untergrund durch Sandstrahlen aufgeraut werden. Für die Beschichtung von Beton haben sich zwei Typen als brauchbar erwiesen. Der erste Typ erhärtet durch Einwirkung der Luftfeuchtigkeit auch ohne Sauerstoffzutritt. Er kann nur auf trockenen Betonflächen verarbeitet werden, da sonst während der Erhärtung Blasenbildung eintritt. Der zweite Typ, die ölmodifizierten Urethane, liegt in seinen Eigenschaften zwischen den Alkyden und den reinen Urethanen. Die Aushärtung erfolgt durch Oxidation mit dem Luftsauerstoff.

Überzüge auf *Polysulfidbasis* härten unter Einwirkung der Luftfeuchtigkeit aus. Eine Erhärtungsbeschleunigung durch einen Wassersprühnebel ist möglich. Sie besitzen ähnliche Eigenschaften wie entsprechende Zweikomponentenharze (vgl. 3.3.2).

### 3.3.2 Zweikomponenten-Systeme<sup>3)</sup>

Es handelt sich um Stoffsysteme, die aus zwei oder mehr Komponenten bestehen. Als Grundstoffe dienen Harze oder Kautschukverbindungen, als zusätzliche Komponente Härter oder Katalysatoren. Mit der Mischung der beiden Komponenten setzt die chemische Reaktion ein, die zur Erhärtung führt und die mit einer, oft beträchtlichen, Wärmeentwicklung verbunden ist. Der Zeitraum zwischen Mischen und Erstarrungsbeginn ist die Topfzeit. Die Erhärtungsreaktion selbst und damit die vollständige Aushärtung erstreckt sich über mehrere Tage bis Wochen. Viele dieser Stoffe haben nur eine begrenzte Lagerfähigkeit.

*Polyesterharz-Überzüge* können durch Einlegen von Glasfasern verstärkt werden. Sie haben dann eine außerordentliche Festigkeit und sind leichter als Aluminium. Sie sind beständig gegen Lösungsmittel, Detergentien, Meerwasser, Verwitterung, Verrottung und viele Abgase. Sie können durch geeignete Zusätze nichtentflammbar gemacht werden. Es bereitet keine Schwierigkeit, eine entsprechende Güte zu erreichen, aber die dazu notwendige Verarbeitungstechnik erfordert große Erfahrungen. Der Anteil des Katalysators oder Härters, ein Peroxid, muß genau eingehalten werden. Der Erhärtungsgrad ist temperaturabhängig.

*Urethane* mit Polyolhärter ergeben Überzüge, bei denen die charakteristischen Eigenschaften des Urethans (vgl. 3.3.1) optimal zur Geltung kommen. Sie erfordern aber eine äußerst sorgfältige Verarbeitung. Die Topfzeit beträgt 8 Stunden und mehr. Es ist möglich, auf schwach geneigten Flächen auch relativ dicke Beschichtungen in einem Gang herzustellen, da das Gemisch keine verdampfbaren Lösungsmittel enthält.

Überzüge aus Zweikomponenten-*Epoxidharzen* sind außerordentlich zäh, fest und widerstandsfähig gegen chemische Angriffe. Die Farbbeständigkeit und die Verwitterungsbeständigkeit sind allgemein gut. Ihre Verwendung ist wegen des relativ hohen Preises nicht immer gerechtfertigt. Sie erscheint jedoch angebracht, wenn eine hohe Verschleißfestigkeit, z. B. bei Industrieböden, oder eine Beständigkeit gegen Angriffe von Säuren oder ätzenden Flüssig-

keiten gefordert wird. Es sind 7 Grundharztypen und verschiedene Härter im Gebrauch. Das allgemein übliche Epoxidharz ist ein Reaktionsprodukt aus Bisphenol A und Epichlorhydrin. Es ist sehr vielseitig und allgemein anwendbar, sehr widerstandsfähig gegen chemische Angriffe und sehr hart. Es lassen sich damit Überzüge mit angemessener Erhärtungsgeschwindigkeit, hoher Flexibilität und Schlagfestigkeit herstellen. Die Haftung auf Beton ist ungewöhnlich gut. Eine etwa vorhandene Zementhaut muß jedoch vorher entfernt werden. Die Auswahl der Härter richtet sich nach den geforderten Grundeigenschaften. Härter für Betonbeschichtungen, die normalen Betriebstemperaturen ausgesetzt sind, enthalten Amine, Polyamine, Aminaddukte, Polyamide, Polysulfide und tertiäre Amine. Für das Aufbringen der Überzüge sind die üblichen Verfahren anwendbar. Da die Berührung mit Epoxidharzen oder Härtern zu Allergiereaktionen führen kann, sind bei der Verarbeitung entsprechende Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. (Anmerkung Verf.: Der Abschnitt enthält weitere Angaben über die verschiedenen Harztypen und deren Eigenschaften.)

Überzüge aus *Furanharzen* besitzen an sich eine ausgezeichnete Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe. Sie sind jedoch wegen ihrer Sprödigkeit für die Beschichtung von Beton praktisch nicht brauchbar.

Mit Zweikomponenten-*Chloropren-Polymerisaten* können Filme mit größerer Dicke (0,25 bis 1,8 mm) und besserer Beständigkeit gegen chemische Angriffe als mit Einkomponenten-Chloropren (vgl. 3.3.1) hergestellt werden. Bei entsprechender Aushärtung sind sie hochbeständig gegen die meisten starken und schwachen Säuren, Laugen und Salze, gegen Mineralöl und Wasser und recht abriebfest. Sie sind weiter beständig gegen Alkohole, aliphatische Kohlenwasserstoffe und die meisten Öle. Aromatische Kohlenwasserstoffe und einige Ester und Ketone bewirken ein Quellen. Bei Eintauchen in Salpetersäure, in andere stark oxidierende Medien oder in Salzsäure sind sie nicht zu empfehlen.

Überzüge aus Zweikomponenten-*Polysulfiden* zeichnen sich durch eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Ozon, Sonnenlicht, Oxidation und Verwitterung aus. Sie behalten ihre gummiähnlichen Eigenschaften im Temperaturbereich von  $-55$  bis  $+140$  °C. Sie zählen zu den ölbeständigsten Gummiarten. Darüber hinaus ist ihre Beständigkeit gegen Ester und Ketone ausgezeichnet und gegen Laugen angemessen. Der Dampfdiffusionswiderstand ist mit dem von Urethan vergleichbar, die Wasserbeständigkeit jedoch größer, der Wärme- und der Verschleißwiderstand sind mäßig. Es können damit in einer Beschichtung Dicken von 0,5 bis 0,6 mm erreicht werden. Die Haftfähigkeit auf Beton ist von Anfang an und auf die Dauer ausgezeichnet.

*Teer-Epoxidharz-Verschnitte* mit Polyaminen oder Polyamiden als Katalysator ergeben harte, zähe Überzüge mit hoher Beständigkeit gegen chemische Angriffe. Sie sind ausgezeichnet haltbar und behalten ihre Schutzwirkung auch, wenn ihr Aussehen nachläßt. Bei der Verarbeitung ist für ausreichende Belüftung und für Schutzmaßnahmen gegen Berührung zu sorgen. Der Flammpunkt der meisten Teer-Epoxidharze liegt oberhalb  $40$  °C, so daß die Feuergefahr

während der Verarbeitung geringer ist als bei anderen Überzugstypen. Typen mit hohem Harzgehalt werden wegen ihrer hervorragenden Haft-, Eigen- und Korrosionsfestigkeit und des guten Verschleißverhaltens für Betonbeschichtungen in großem Umfang verwendet. Üblich sind zwei Lagen mit je rund 0,4 mm Filmdicke. Typen mit mittlerem Harzgehalt sind für die Innenauskleidung von Betonrohren bestimmt. Sie weisen eine ausgezeichnete Widerstandsfähigkeit gegen Schwefelwasserstoff, Schwefelsäure, Industrie- und Grubenabwässer und gegen mechanischen Abrieb auf. Typen mit niedrigem Harzgehalt sind für einlagige Beschichtungen von Beton bis 1 mm Dicke bestimmt.

*Polysulfid-Epoxid-Harze* ergeben Überzüge, bei denen die gummiähnliche Verformbarkeit der Polysulfide mit der ausgezeichneten Haftung und Festigkeit der Epoxidharze vereinigt ist. Die Verformbarkeit bei niedrigen Temperaturen und die Stoßfestigkeit sind besser als bei jedem anderen Epoxidtyp, und die Haftfähigkeit auf feuchtem Beton ist größer. Noch wesentlicher ist die ungewöhnliche Zunahme der Zähigkeit, die eine Verbesserung der Abriebfestigkeit bewirkt. Die Beständigkeit gegen chemische Angriffe entspricht im allgemeinen der von Epoxidharzen; gegen Lösungsmittel, Öle und Benzin ist sie deutlich besser. Die Empfindlichkeit gegen heiße Flüssigkeiten ist aber größer. Man unterscheidet Polysulfid-Epoxid-Harze, die bei Raumtemperatur aushärten, und solche, die dafür Temperaturen im Bereich von 100 °C und mehr erfordern. Die letzteren werden verwendet, wenn eine höhere Wärmebeständigkeit des Überzuges verlangt wird.

#### **3.4 Anorganische Oberflächenbehandlung**

Eine Oberflächenbehandlung von Betonböden mit wässrigen Lösungen von *Natriumsilicat* oder *Magnesium- und Zinkfluorosilicaten* erhöht die Oberflächenhärte und vermindert die Staubentwicklung. Man erreicht damit einen Schutz gegen schwache Säureangriffe und gegen das Eindringen von Ölen, außer von Kerosin. Die Wasseraufnahme wird geringfügig verringert. Ein wirksamer Schutz setzt eine mehrmalige Behandlung mit allmählich steigender Lösungskonzentration voraus, da nur so ein tieferes Eindringen in den Beton erreicht wird.

Beim sogenannten Ocratieren erfolgt eine Behandlung mit *Siliciumtetrafluorid-Gas* in einer Druckkammer. Sie ist nur bei Fertigteilen und Betonwaren durchführbar. Man erreicht dabei eine größere Eindringtiefe als bei einer Behandlung mit Lösungen.

#### **3.5 Keramische Verkleidungen**

Die Anforderungen an chemisch beständige, gebrannte Ziegel und Fliesen sind in ASTM-C 279 festgelegt. Es sind dort zwei Typen unterschieden: Typ H mit hoher Beständigkeit gegen stoßartige Wärmebeanspruchung, aber einer begrenzten zulässigen Saugfähigkeit und Typ L mit minimaler Saugfähigkeit ohne die vorgenannte Wärmebeständigkeit. Die Herstellung solcher Verkleidungen setzt die Verwendung von entsprechend beständigen Mörteln voraus.

### 3.6 Mörtel für Auskleidungen

Die früher allgemein verwendeten Mörtel auf der Basis von Bleioxidverbindungen spielen heute nur noch eine untergeordnete Rolle. Auch Heiasphalte und Bitumina haben nur noch einen begrenzten Anwendungsbereich. Die heute überwiegend angewendeten Mörtelarten sind mit ihren wesentlichen physikalischen Kennwerten in Tafel 1 aufgeführt und werden im folgenden besprochen.

*Schwefel-Heivergumassen* enthalten als Füller in der Regel Silicate oder Kohlenstaub und als plastifizierenden Zusatz Polysulfide. Die optimale Gießtemperatur beträgt etwa 140 °C. Die Imprägnierung von Betonrohren mit geschmolzenem Schwefel zur Erhöhung der Beständigkeit gegen sulfathaltige Wässer hat sich nicht bewährt.

*Silicatmörtel* bestanden ursprünglich aus Natriumsilicatlsung und einem Silicatfller und erhärteten durch Verdunstung. Heute werden überwiegend sogenannte chemisch erhärtende Silicatmörtel, im allgemeinen als Zweikomponenten-Systeme, verwendet, deren Füller ein Ausflockungsmittel für Silicate zu Kieselgelen enthält. Neuerdings werden dafür Kalium- und Natriumsilicate wie auch kolloidale Silicatlsungen verwendet. Solche Mörtel besitzen eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen alle starken Säuren, ausgenommen Fluorwasserstoff- und verwandte Säuren. Ihre Hitzebeständigkeit gilt bis etwa 400 °C als gut; sie wurden aber schon bis zur Sintertemperatur von 820 °C und mehr angewandt. Sie sind auch recht beständig gegen Öle, Fette und Lösungsmittel. Von besonderer Bedeutung ist ihre ausgezeichnete Beständigkeit gegen heiße, konzentrierte Schwefel-, Salpeter- und Chromsäure. Silicatmörtel sind leicht zu verarbeiten und billig im Vergleich zu den Kunstharzmrteln. Nachteilig ist ihre große Porosität und Durchlässigkeit, die ggf. eine besondere Dichtung zwischen Auskleidung und Beton erforderlich macht. Ungünstig sind weiterhin die fehlende Beständigkeit gegen Laugen und die geringe Beständigkeit gegen Dampf, neutrale und schwach saure Lösungen. Bei späterer Einwirkung verdünnter Säuren ist häufig eine Vorbehandlung mit einer starken Säure notwendig.

*Phenolharzmrtel* aus Phenolformaldehydharz, einem sauren Katalysator und inerten Fllern, sind gut beständig gegen einige anorganische Säuren, gegen anorganische Salzlösungen und schwach alkalische Lösungen. Von starken Oxidationsmitteln wie Salpeter-, Chrom- und konzentrierter Schwefelsäure werden sie stark angegriffen. Ihre Verwendung ist gegenüber der von Furanharzmrteln zurückgegangen. Bedeutung haben furfurolmodifizierte Phenolharzmrtel wegen ihrer besseren Alkalibestndigkeit und der Möglichkeit, sie nach dem Erstarren durch eine Spezialbehandlung „aufzublhen“.

In ähnlicher Weise werden *Furanharzmrtel* verwendet. Sie sind gegen chemische Angriffe in weiten Grenzen beständig und bei Einwirkung von nicht oxidierenden Säuren, Laugen, Salzen, Gasen, len, Fetten, Reinigungsmitteln und Lösungsmitteln bei Betriebstemperaturen bis 190 °C geeignet.

Mörtel aus ungestigten *Polyesterharzen mit Styrol* und Peroxiden als Katalysator enthalten als Füller in der Regel Silicate. Sie sind



für das Verlegen und Verfugen von Fliesen u. ä. nur begrenzt verwendbar, da sie chemischen Einwirkungen nicht in einem so weiten Bereich widerstehen wie Furanharz- und Phenolharzmörtel. So sind sie gegen starke Laugen und viele Lösungsmittel unbeständig und bei Temperaturen über 120 °C unbrauchbar. Angebracht ist ihre Verwendung bei Einwirkung schwach oxidierender Stoffe wie Chlordioxid und ähnlicher Bleichmittel. Bestimmte Modifikationen mit Kohlenstaub als Füller werden als monolithische Spachtelbeläge bei Einwirkungen schwacher Chemikalien und mäßiger Wärme verwendet.

*Epoxidharzmörtel* verwendet man seit etwa 10 Jahren für die Ausführung von chemikalienfestem Mauerwerk und in großem Umfang für die Herstellung von glasfaserverstärkten, monolithischen Auskleidungen und Belägen. Bestimmend dafür sind ihre ausgezeichnete Beständigkeit gegen chemische Einwirkungen aller Art, das geringe Schwindmaß beim Erhärten und die gute Haftung auf glasierten Oberflächen, auf Metallen und auf alkalischem Untergrund wie z. B. auf Zementstein. Von den unter 3.3.2 genannten Härtern werden für die Herstellung von Epoxidharzmörteln aliphatische Amine, Aminaddukte und Polyamide verwendet. Die Beständigkeit gegen Wärme und chemische Einwirkungen der damit hergestellten Mörtel nimmt in der gleichen Reihenfolge ab. Die Flexibilität ist beim letzten Typ größer als in den anderen beiden Fällen. Die beiden ersten Typen erfordern bei der Verarbeitung besonders große Sorgfalt und Vorsicht.

Insgesamt steht eine große Anzahl verschiedener Kunstharze für die Herstellung entsprechend beständiger Mörtel zur Verfügung. Ihre Eignung und Auswahl hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab. Asphalt- und Bitumen-Materialien sind unter normalen Temperaturbedingungen in einem breiten Bereich von Säure- und Laugeneinwirkung ausreichend. In vielen Fällen ist es angebracht, einen Zementmörtel zu verwenden als die kostspieligen Kunstharz- oder Silicatmörtel. Das gilt z. B. bei Einwirkung von Alkalien. Ebenso sind Portlandzementmörtel trotz ihrer vergleichsweise hohen Porosität und Durchlässigkeit gegen viele organische Lösungsmittel ausreichend beständig. Der Anhang enthält eine Reihe von zweckentsprechenden Anwendungsbeispielen für chemisch beständige Mörtel.

### **3.7 Tafelartige Verkleidungen**

#### *3.7.1 Gummitafeln*

Ungefähr 70 % aller für den Schutz gegen chemische Angriffe verwendeten Gummiverkleidungen bestehen aus Naturkautschuk in Dicken von 3,2 bis 12,5 mm, der gegen nicht oxidierende Stoffe beständig ist, vorausgesetzt, daß keine nicht polaren Lösungsmittel zugegen sind. Im allgemeinen verwendet man Weichgummi, gelegentlich eine Lage Hartgummi über zwei Lagen Weichgummi. Von den synthetischen Kautschukarten schützen Chloroprentafeln gegen die meisten Säuren, ausgenommen Salzsäure. Sie besitzen eine beträchtliche Widerstandsfähigkeit gegen aliphatische Lösungsmittel wie Mineralöle und gegen Sonnenlicht oder hohe Temperaturen. Kopolymere von plastifiziertem Polyvinylidenchlorid-Acrylnitril-Mischpolymerisat in Tafelform sind gegen nicht oxidie-

Tafel 1 Typische physikalische und mechanische Eigenschaften von Mörteln mit erhöhtem Widerstand gegen chemischen Angriff

Eigenschaften	Einheit	Mörtelart oder Bindemittel					
		Schwefel	Silicat	Phenolharz	Furanharz	Polyesterharz	Epoxidharz
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	2,21	2,01	1,80*	1,53	2,01	1,53 ... 2,01
Scheinbare Porosität	%	< 1	> 12	1	< 1	< 1	< 1
Zugfestigkeit	kp/cm <sup>2</sup>	42,2	24,6	84,4	98,4	98,4	112,5
Druckfestigkeit	kp/cm <sup>2</sup>	422	246	703	844	844	1125
Biegezugfestigkeit	kp/cm <sup>2</sup>	99	53	98	112	123	127
Elastizitätsmodul	kp/cm <sup>2</sup>	84100	70000	42200	70000	105000	91000
Ausdehnungskoeffizient	10 <sup>5</sup> /°C	3,3	1,1	1,4	2,1	3,1	2,5
Höchste Betriebstemperatur	°C	88	400 ... 870	177	190	120	120
Topfzeit	min	–	40	30 ... 120	30	60	45
Härtungszeit	Tage	–	3	3 ... 4	2	2	2
Schwinden während der Härtung	%	–	1,0	0,8	0,4	1,2	0

Anwendbare ASTM-Bestimmungen und -Prüfverfahren	C 267	X	X	X	X	X	X
	C 287	X					
	C 306			X	X	X	X
	C 307	X		X	X	X	X
	C 308	X		X	X	X	X
	C 321	X	X	X	X	X	X
	C 386	X					
	C 395			X	X	X	X
	C 396		X				
	C 397		X				
	C 399			X	X	X	X
	C 413	X		X	X	X	X
	C 414		X				
	C 453		X				
C 466		X					
C 531	X	X					

\*mit Silicatfüller

rende Salze und Säuren beständig und können bei Temperaturen bis etwa 55 °C verwendet werden, nicht aber bei Einwirkung von alkalischen Lösungen. Plastifizierte Polyvinylchloride mit einer Shore-Härte von 85 bis 95 verwendet man als Schutz gegen oxidierende Säuren mäßiger Konzentration, Butylkautschuk, wenn eine hohe Beständigkeit gegen Ozoneinwirkung oder Gasdiffusion verlangt wird. Bei Einwirkung von Lösungsmitteln ist die Verwendung von Polysulfidkautschuk zweckmäßig. Chlorsulfoniertes Polyäthylen wird vielfach als Dachbelag verwendet.

### 3.7.2 Kunstharztafeln

Es werden Tafeln aus verschiedenen Kunstharzen wie Polyester-, Epoxid-, Polyvinylchlorid- und Polyvinylidenchloridharzen hergestellt, häufig mit Glasfaserverstärkung. Für die Beständigkeit gegen verschiedene Einwirkungen gelten die Ausführungen in den Abschnitten 3.2 und 3.3.

### 3.7.3 Bleitafeln

Bleiverkleidungen sind beständig gegen viele organische Lösungsmittel, Salzlösungen, Laugen bis etwa 30 % Konzentration, gegen schweflige Säure, Schwefel-, Fluß- und Chromsäure und gegen Phosphorsäure bis etwa 80 % Konzentration. Salzsäure greift Blei mit der Zeit an. Von den organischen Säuren widersteht es der Essig-, Ameisen- und Weinsäure. Bei gleichzeitiger Einwirkung hoher Temperaturen erfolgt eine zusätzliche Verkleidung mit entsprechenden Ziegeln oder Fliesen, um die Wärmespannungen herabzusetzen. Mit „chemischem Blei“ wird eine korrosionsbeständige Legierung bezeichnet, die 99,9 % Blei, 0,04 bis 0,08 % Kupfer, 0,002 bis 0,02 % Silber, weniger als 0,005 % Wismuth und geringe Anteile an Arsen, Antimon, Zinn, Zink und Eisen enthält. Bleitafeln werden in Größen bis zu 2,4 m · 6 m hergestellt, um den Fugenanteil möglichst klein zu halten. Die Dicke schwankt von 0,4 bis 12,5 mm.

## 4. Auswahl der Schutzmaßnahmen

Der Anhang gibt Hinweise über die Einwirkung bestimmter Stoffe auf Beton und enthält Angaben über geeignete Schutzmaßnahmen. Sie können als Grundlage für eine Beurteilung im Einzelfall dienen, befreien aber nicht von weiteren Überlegungen und Versuchen. Dabei ist insbesondere zu beachten, daß unter sonst gleichen Verhältnissen der Angriffsgrad und auch die Wirksamkeit bzw. die Brauchbarkeit einer bestimmten Schutzmaßnahme durch die Umweltbedingungen wie Feuchtigkeit, Temperatur usw. verstärkt oder abgeschwächt werden kann. Die Auswahl der Schutzmaßnahme im Einzelfall wird bestimmt durch die verarbeitungstechnischen Möglichkeiten entsprechend den betrieblichen und baulichen Gegebenheiten, die von der Verkleidung geforderten mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften und die Umweltbedingungen.

## **5. Ausführung**

### **5.1 Sicherheitsmaßnahmen**

Bei einer Reihe von Materialien, die für Überzüge, Beschichtungen und Verkleidungen verwendet werden, besteht Feuer- und Explosionsgefahr. Andere Stoffe entwickeln giftige Dämpfe oder rufen bei Berührung physiologische Schäden hervor. (Anmerkung Verf.: Es werden in diesem Abschnitt noch eingehende Hinweise auf die bei der Lagerung und Verarbeitung zu ergreifenden Unfallverhütungsmaßnahmen gegeben.)

### **5.2 Behandlung der Betonoberfläche**

Eine einwandfreie Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons sind Voraussetzungen für einen später wirkungsvollen Oberflächenschutz. Während der Erhärtung muß der Beton feuchtgehalten werden. Aufgesprühte Schutzfilme (Nachbehandlungsfilme) sind dafür unzweckmäßig, da sie das Eindringen und den Haftverbund der später aufzubringenden Schutzschichten behindern bzw. beeinträchtigen können. Besondere Sorgfalt ist auf die Erzielung einer ebenen, dichten und festen Oberfläche zu verwenden, die vor der Beschichtung sorgfältig zu reinigen ist. (Anmerkung Verf.: Es gelten dafür die allgemein bekannten Regeln, die im Originalbericht im einzelnen besprochen werden.) Bei Verwendung alkaliempfindlicher Überzüge oder Beschichtungen soll der Beton wenigstens 6 Monate alt sein, damit die Alkalität an der Oberfläche durch Carbonatisierung und Austrocknung genügend verringert ist. Andernfalls wird, ausgenommen bei Spannbeton, eine neutralisierende Behandlung mit 3%iger Phosphorsäure und 2%iger Zinkchloridlösung empfohlen. Dehnungsfugen sind mit einem verformungsfähigen Dichtungsmittel zu verschließen, das hinsichtlich der Beständigkeit der jeweiligen Auskleidung entspricht.

### **5.3 Ausführung von Überzügen**

Für die Ausführung von Überzügen können nur allgemeine Hinweise gegeben werden. Sie richtet sich im einzelnen nach der Art des Überzuges, und es sind die Empfehlungen der Hersteller zu befolgen. Der zu überziehende Beton oder Estrich muß nicht nur ausreichend erhärtet, sondern auch gut durchgetrocknet sein. Dies bedingt Fristen von 3 bis 28 Tagen. Das Aufbringen kann mit dem Pinsel (Aufbürsten), durch Aufrollen oder Spritzen erfolgen. Durch Pinselauftrag (Aufbürsten) entsteht die beste Verbindung mit dem Untergrund. Aufrollen ist leichter und schneller durchzuführen. Beim Aufsprühen entsteht für die bereits aufgetragenen Schichten die geringste Beanspruchung; es wird vorzugsweise für die Verarbeitung thermoplastischer Überzüge in Lösungsform und für schnell trocknende Überzüge angewendet. Bei der Ausführung sollte die Betontemperatur nicht unter 10 °C, bei Verwendung von Epoxidharzen nicht unter 15 °C liegen, auch wenn an sich eine Aushärtung bei tieferen Temperaturen u. U. möglich ist. Temperaturen

über 30 °C verkürzen die Topfzeit wesentlich und begünstigen das Verdampfen der Betonfeuchtigkeit, was eine Blasenbildung verursacht. Wesentlich für die spätere Schutzwirkung ist, daß ein gleichmäßiger, kontinuierlicher Überzug ohne Poren und Fehlstellen hergestellt wird. Sind erst einmal in der untersten Schicht Fehlstellen entstanden, die sich vorzugsweise über Wasser- und Luftporen der Betonoberfläche bilden, so setzen sich diese im allgemeinen sogar bis in die dritte Schicht hinein fort.

Die erforderliche Überzugsdicke ist abhängig von der Kontinuität und Homogenität des Films, der Rauigkeit der Betonoberfläche, der Art der chemischen Einwirkung, der mechanischen Abnutzung, dem Witterungseinfluß und der Temperatur. Im allgemeinen ist eine mindestens dreilagige Beschichtung erforderlich. Die einzelnen Lagen sind nach Möglichkeit verschieden einzufärben, um die Kontrolle zu erleichtern. Bei ständiger oder häufig wiederholter Einwirkung von Flüssigkeiten oder Dampf sind dickere Überzüge, nach den Regeln der Putztechnik aufgetragene Mörtel oder tafelfartige Verkleidungen erforderlich.

#### 5.4 Oberflächenbehandlung mit Flüssigkeiten

Für die Behandlung mit Lösungen von *Magnesium- und Zinkfluorosilicaten* soll der Beton mindestens 28 Tage alt und gut ausgetrocknet sein. Es wird im allgemeinen eine dreimalige Behandlung empfohlen. Geeignete Konzentrationen sind bei Fluorosilicaten 120 g/l für den ersten bzw. 240 g/l für den letzten Auftrag. Anschließend wird die Oberfläche mit Wasser abgewaschen. Bei Verwendung von Natriumsilicat steigert man die Lösungskonzentration ausgehend von 1:4 Raumteilen. Zwischen jedem Auftrag wird die Oberfläche nach dem Trocknen und Erhärten abgewaschen.

Für eine Behandlung mit *trocknenden Ölen* muß der Beton 6 Monate alt sein, andernfalls ist eine neutralisierende Vorbehandlung (vgl. 5.2) erforderlich. Die Öle können mit dem Pinsel aufgetragen oder aufgespritzt werden. Überschüssiges Öl muß abgesaugt werden. Für den ersten Auftrag ist eine Verdünnung mit Kerosin oder Terpentin im Verhältnis 1:1 zweckmäßig. Üblich sind zwei bis drei Beschichtungen. Das Eindringen in den Beton wird durch Anwärmen auf 65 °C verbessert.

Die Behandlung mit *Siliconen* erfolgt zweckmäßigerweise durch Aufsprühen auf die trockene Betonoberfläche.

#### 5.5 Bitumenanstriche und Heißaufstriche

Anmerkung Verf.: Für die Ausführung *bituminöser Anstriche* und Überzüge werden die bekannten, hier nicht wiedergegebenen Verfahren aufgeführt. Für Beschichtungen mit Schwefelvergußmasse nach ASTM-C 287 (vgl. 3.6) sind die Vorbehandlung der Betonfläche und die Ausführung in ASTM-C 386 beschrieben.

## 5.6 Keramische Verkleidungen

Die Arbeitsweisen für chemisch beständige Mörtel, wie sie für die Ausführung keramischer Verkleidungen verwendet werden müssen, sind in ASTM-C 386 (Schwefelvergußmasse), ASTM-C 397 (Chemisch erhärtende Silicatmörtel), ASTM-C 398 (Hydraulische Bindemittel) und ASTM-C 399 (Kunstharzmörtel) beschrieben.

## 5.7 Tafelartige Verkleidungen

Die Verkleidungstafeln werden gewöhnlich auf den Beton aufgeklebt. Die Auswahl des Klebers richtet sich nach der Art der Verkleidung und den im Betrieb zu erwartenden Einwirkungen. Die Betonoberfläche muß wie für einen Überzug oder eine Beschichtung vorbereitet werden. Überlappungsstöße können bei Thermoplasten durch Erwärmen abgedichtet werden, Stoßfugen durch Abdeckkappen. Bei Duroplasten werden die Fugen mit dem gleichen Material ausgespachtelt. Tafeln aus Vinyl oder anderem Material mit als Verankerung geeigneten Ansätzen können beim Betonieren in die Schalung gesetzt werden. Die Stoßfugen werden später durch Abdeckkappen abgedichtet. Versuchsweise wurden in Betonbehältern auch „freistehende“ Auskleidungen ohne Verbund aus Glasgewebe und Kunstharz ausgeführt. Plastiktafeln können stumpf oder durch Überlappung gestoßen werden. Die Dichtung erfolgt durch „Verschweißen“ oder „Aufschweißen“ einer Abdeckkappe. So wird auch bei Bleitafeln verfahren.

## Anhang

In diesem Anhang sind die chemischen Wirkungen verschiedener Agenzien auf Beton und die üblichsten Schutzbehandlungen, die mit Erfolg angewendet wurden, zusammengestellt. Physikalische Effekte, wie sie z. B. bei Frost-Tausalz-Einwirkungen auftreten, sind nur am Rande erwähnt.

Es sind auch Behandlungen für Agenzien aufgeführt, die zwar den Beton nicht zersetzen, aber doch sichtbare nichtschädliche Spuren hinterlassen.

Die einzelnen Öle und Fette wurden unter den Sammelbegriffen Öle bzw. Fette eingeordnet.

### Abkürzungen für Schutzbehandlungen

AB	Acrylnitril-Butadien	N-K	Natürlicher Kautschuk
AS	Alkalisilicat, erhöht nur die Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff	P-Ae	chlorsulfoniertes Polyäthylen
Bit	Bitumen oder Asphalt	Par	Paraffin
BS-K	Butadien-Styrol-Kautschuk	Pb	Blei
Bu-K	Butyl-Kautschuk	PbO	Bleiglätte
Cl-K	Chlor-Kautschuk	PE	Polyesterharz
Cp-K	Chloropren-Kautschuk	Ph	Phenolharz
Ep	Epoxidharz	PZ	Portlandzement
Ff	Feuerfestes Material	S	Schwefelvergußmasse (Mörtel)
Fl	Magnesium- oder Zink-Fluorosilicat	Si	Silicatmörtel
Fu	Furanharz	Sil	Silicone
Gr	Graphit, in Verbindung mit Mörtel Spalte 5	S-K	Polysulfid-Kautschuk
Kl	Klinker oder Fliese, in Verbindung mit Mörtel Spalte 5	TZ	Tonerdezement
Ko	Kohle, in Verbindung mit Mörtel Spalte 5	U	Urethan
KT-Ep	Kohlenteer-Epoxidharz	V	Vinylverbindungen
		Z	Ziegel, in Verbindung mit Mörtel Spalte 5

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Abgase:				
Benzin-Dieselmotoren	können feuchten Beton angreifen	BS-K, Ep, Fl, V	Kl, Z	Ep, Fu, Ph
Feuer, kalt	kondensierte Säuren zersetzen langsam	Bit (schwer schmelzend)	Z	Ff, Si
heiß	verursachen thermische Spannungen			
Lokomotiven	können feuchten Beton angreifen	Bit, BS-K, Ep, Fl, V	Kl, Z	Fu, Ph



Abwasser	siehe auch Schwefelwasserstoff		Bit, Ep, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Abwasser, Grubenwasser	Sulfide, Sulfate, Säuren zersetzen	AS, Bit, BS-K, Ep, Fl, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S, TZ
Aceton	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen		Bu-K, Kl, Z	Ep, Fu, Si
+ Aethyläther	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	Cl-K	Ep, Fu, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
+ Aethylalkohol	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	AS, Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, KT-Ep, P-Ae, PE, S-K	Bit, Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Ep, Fu, PE, S
+ Aethylenglykol	langsame Zersetzung	Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, S-K	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Alaun	siehe Kalium-Sulfat			
Alizarin	nicht schädlich			
Alkohol	siehe Aethylalkohol, Methylalkohol			
Aluminiumchlorid	rascher Angriff, auch von Stahl	Bit, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Aluminiumsulfat	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , KT-Ep, P-Ae, PE, Ph	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Ameisensäure 10%ig	langsame Zersetzung	AS, BS-K, Cl-K, Ep, P-Ae	Bu-K, Cp-K, Ep, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
+ Ameisensäure >20%ig	langsame Zersetzung	AS, P-Ae	Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Fu, Ph, Si
Ammoniak-Gas	kann feuchten Beton langsam angreifen, auch den Stahl	Bit, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Bit, Ep, Fu, PE
+ Ammoniak, flüssig	nur schädlich, wenn schädliche Salze enthalten	Bit, Cl-K, Cp-K, Ep, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Bit, Ep, Fu
Ammonium+carbonat				
- hydroxid	nicht schädlich		Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Bit, Ep, Fu
- oxalat				
+ Ammoniumchlorid	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , PE, Ph, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Ammoniumcyanid	langsame Zersetzung	Bit	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Bit, Ep, Fu
Ammoniumfluorid	langsame Zersetzung	Bit, Cp-K, V	Bit, Cp-K, Pb, V	Bit, Ep, Fu, Ph, S
Ammoniumnitrat	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cp-K, Ep, PE, V	Bit, Cp-K, V	Ep, Fu, PE, Ph, S

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Ammoniumphosphat	greift Beton und Stahl an	Bit	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Ammoniumsulfat	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, PE, S-K, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Ammoniumsulfid	Zersetzung	Bit, Ep, P-Ae	Bit, Bu-K, Kl, V, Z	Bit, Ep, Fu, Ph
Ammoniumsulfid	Zersetzung	Bit	Bu-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Ammoniumthiosulfat	Zersetzung	Bit, Cp-K, Ep	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Anthrazen	nicht schädlich			Fu, Ph
+ Apfelwein	langsame Zersetzung	AS, Bit, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE
Arsenige Säure	nicht schädlich		Bit, Bu-K, Kl, V, Z	Fu, Ph, S
Asche, kalt	Sulfate schädlich	AS, Ep, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
heiß	verursacht thermische Ausdehnung		Z	Ff, Si-Ton, TZ
Bariumhydroxid	nicht schädlich	AS, Cp-K, Fl, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu
Benzin	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	Cl-K, Cp-K, Ep, PE, V	Cp-K, Kl, Ph, Z	Ep, Fu, Ph
Benzol	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	AS, Ep, Fl, PE, Sil	Fu, Kl, PE, Ph, Z	Fu, Ph, Si
+ Bier	kann zersetzende Essig-, Kohlen-, Milch-, Gerbsäure enthalten	Ep, PE, V	Bu-K, Ep, Kl, Z, V	Ep, Fu
Bittersalz	siehe Magnesiumsulfat			
Bleinitrat	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Bu-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Blei-Raffinierlösung	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , Bit, Cl-K, Ep, Fl <sup>a</sup>	Ko, N-K, V	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Borax	nicht schädlich	Bit, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, V	Bit, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Borsäure	kaum schädlich	AS <sup>a</sup> , Cl-K, Cp-K, Ep, PE	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Brom	Zersetzung	Cp-K, V	Kl, Z	PE, Si

Buthylstearat	langsame Zersetzung		Bit, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Calciumchlorid	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cp-K, Ep, Fl, KT-Ep, P-Ae, PE, Sil, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Calciumhydrogensulfat (Sulfillaugung, Papierherst.)	schnelle Zersetzung	BS-K, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, V	Bit, Bu-K, Cp-K, Kl, Pb, V, Z	Ep, Fu, PbO, PE, Ph S
+ Calciumhydroxid	nicht schädlich	AS, Cp-K, Fl, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu
Calciumnitrat				
+ Calciumsulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Carbazol	nicht schädlich	AS, Ep, Fl, PE, Sil	Fu, Kl, Z	Fu, Si
Carbolsäure	siehe Phenol			
Chlor-Gas	greift feuchten Beton an	AS, Bit, V	Bit, Kl, PE, V, Z	PE, Si
Chrom-Lösung zum Verchromen	langsame Zersetzung	Bit, V	Kl, V, Z	PE, Si
Chromsäure (5—10%ig)	greift Stahl an	AS, P-Ae, V	Bit, Kl, Pb, V, Z	PE, S, Si
Chromsäure (50—60%ig)	greift Stahl an		Kl, Ph, Z	Si
Chrysen	nicht schädlich	AS, Ep, Fl, PE, Sil		
Cumol	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	AS, Fl	Kl	
Dinitrophenol	langsame Zersetzung			
Düngemittel	siehe auch: Ammoniumsulfat, -phosphat, Kalium- und Natriumnitrat		Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Dung (Mist, Jauche)	langsame Zersetzung	AS, Ep, Fl	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Eisenchlorid	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , Bit, Ep, Fl, P-Ae, PE	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Eisennitrat	nicht schädlich	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Eisensulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, Ep, Fl, P-Ae, PE	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Eisensulfid	nur schädlich, wenn Sulfat enthalten ist	Ep, P-Ae, PE	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Erze	Sulfide können zu schädlichen Sulfaten oxidieren	AS, Ep	Bit, Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Ep, Fu, Ph, Si
+ Essigsäure (<10%ig)	langsame Zersetzung	AS, Bit, Ep, Fl, S-K	Bit, Kl, PE, Ph, Z	Ep, Fu, Ph, S, Si
+ Essigsäure (10—30%ig)	langsame Zersetzung	Bit, S-K	Fu, Kl, Ph, Z	Fu, Ph, S
+ Essigsäure (konz.) (Eisessig)	langsame Zersetzung	Bit	Fu, Kl, Ph, Z	Fu, Ph, Si
<b>Fette</b>				
+ Hammelfett	feste Fette zersetzen langsam, flüssige schneller; siehe auch Margarine, Öle	Ep, PE, V	Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Schweinefett				
Pferdefett		Ep, PE, V	Ep, Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Rinderfett		AS, Bit, Cp-K, Ep, Fl, PE, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu,
Fischlauge	Zersetzung	Ep, V	AB, Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Fu, PE, Ph
Fleischabfälle	organische Säuren zersetzen		Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Flußsäure 10%ig	rasche Zersetzung von Beton und Stahl	Bit, BS-K, Cl-K, Ep, P-Ae, V	Bit, Bu-K, Ko, Par <sup>d</sup> , Pb, V	Ep, Fu, PE, Ph, S
Flußsäure 20—40%ig	rasche Zersetzung von Beton und Stahl	BS-K, V	Bu-K, Gr, Ko, Par <sup>d</sup> , Pb	Fu, Ph, S
Flußsäure 75%ig	rasche Zersetzung von Beton und Stahl		Bu-K, Gr, Ko, Pb	Ph, S
+ Formaldehyd 37%ig	Ameisensäure wirkt zersetzend	AS, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, S-K, V	Bu-K, Cp-K, Kl, Pb, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Formalin				
+ Fruchtsäfte	Säuren und Zucker zersetzen	AS, Ep, Fl, P-Ae, V	AB, Bit, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
+ Gärfutter	Säuren zersetzen	Bit, Ep, Fl <sup>a</sup> , PZ	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Gaswasser	größere Mengen Ammoniumsalze können zersetzen	Bit	Bit, Ep, Kl, Z	Ep, Fu

+ Gemüse	siehe auch Gärfutter		Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Gerblösungen	wenn sauer, Zersetzung	BS-K, Fl <sup>a</sup> , U	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Gerbsäure	langsame Zersetzung	Cl-K, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, U	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, Si
+ Glucose	langsame Zersetzung	AS, Bit, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae	Bit, Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
+ Glycerin	langsame Zersetzung	AS, Bit, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, S-K, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
+ Harnstoff	nicht schädlich	Cp-K, Ep, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu
Harz, Harzöl	nicht schädlich		Bu-K, Cp-K, Ep, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
+ Honig	nicht schädlich	Ep, PE, V	Kl, Z	Ep, Fu
Humussäure	langsame Zersetzung	AS, Bit, Fl	Ep, Fu, Kl, Z	Fu, Ph
Jod	langsame Zersetzung	AS, Cl-K, Ep, Fl	Bu-K, Kl, Z	Fu, Ph, Si
+ Kaliumcarbonat	unschädlich	AS <sup>a</sup> , Ep, Fl <sup>a</sup> , P-Ae	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu
+ Kaliumchlorid	Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Kaliumcyanid	langsame Zersetzung	Cp-K, Ep, P-Ae	Bit, Cp-K, V, Z	Ep, Fu
Kaliumdichromat	Zersetzung	AS <sup>a</sup> , Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , KT-Ep, P-Ae, U	Bit, Kl, PE, V, Z	Fu, PE, Ph, S
Kaliumhydroxid <15%	nicht schädlich, Vorsicht bei alkaliempfindlichem Zuschlag	BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, V	Bit, Cp-K, Gr, Ko, V	Ep, Fu
Kaliumhydroxid >20%	Zersetzung	BS-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, V	Cp-K, Gr, Ko, V	Ep
+ Kaliumnitrat	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Kaliumpermanganat	wenn rein, harmlos	Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Kaliumsulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Kalium-Aluminium-Sulfat				
Kaliumpersulfat				
Kaliumsulfid	wenn rein, harmlos	Bit, Ep, P-Ae	Bit, Cp-K, V, Z	Ep, Fu

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Kerosin	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	Ep, PE, S-K, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Klärschlamm	kann Schwefelwasserstoff enthalten		Bit, Cl-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Kobaltsulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, Cp-K, Ep, P-Ae, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Fu, PE, Ph, S
Kochsalz	siehe Natriumchlorid			
Kohlen	Sulfide können zu Sulfaten oxidieren	AS, Cp-K, Ep	Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Ep, Fu, Ph, S
+ Kohlendioxid	kann Schwinden verursachen °	Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Kohlensäure	langsame Zersetzung °	AS, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Kohlenteeröle	siehe Anthrazen, Benzol, Carbazol, Chrysen, Cumol, Kreosot, Kresol, Paraffin, Phenanthren, Phenol, Toluol, Xylol	AS, Fl	Ep, Fu, Kl, Z	Fu, Ph, Si
Koks	siehe Kohlen			
Kreosol, Kresol	wenn Phenol enthalten, langsame Zersetzung	AS, Fl	Fu, Kl, Z	Fu, Ph, Si
Kupferchlorid	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, PE, V,	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Kupferlösung (Verkupferung)	nicht schädlich, wenn kein Sulfat enthalten ist		Bit, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Kupfersulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, PE, U, V	Bit, Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Kupfersulfid	nicht schädlich, wenn kein Sulfat enthalten ist	Ep, Cp-K	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Lebertran	langsame Zersetzung	Ep, P-Ae, PE, U	Ep, Kl, PE, Ph, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Lohgerben	wenn feucht, langsame Zersetzung	Bit, Cl-K, Ep, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Magnesiumchlorid	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , KT-Ep, P-Ae, PE, Ph, Sil <sup>a</sup> , V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Magnesiumnitrat	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S

+ Magnesiumsulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, FI <sup>a</sup> , KT-Ep, P-Ae, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Maische	langsame Zersetzung	Bit, Ep, FI, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu
Mangansulfat	Zersetzung von nicht sulfatbeständigem Beton	Ep, FI <sup>a</sup> , PE, Sil <sup>a</sup> , V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Margarine, fest	langsame Zersetzung	Ep, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V	Ep, Fu, PE, Ph
flüssig	schnellere Zersetzung			
Meerwasser	greift nicht sulfatbeständigen Beton und Stahl an	AS, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, PE, Sil, S-K, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Melasse	bei Temp. $\geq 50$ °C langsame Zersetzung	AS, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, Ph, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Methylalkohol	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	AS, Bit, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, S-K, U <sup>f</sup> , V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, S
Methyl-Aethylketon	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen		Bu-K, Cp-K, Fu, Kl, Ph, Z	Fu, Ph
Methyl-Isoamylketon				
Methyl-Isobutylketon				
+ Milch, süß	nicht schädlich	Ep, PE	Bit, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE
sauer	langsame Zersetzung	Ep, U	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE
Buttermilch	langsame Zersetzung	AS, Ep, P-Ae, U	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE
Milchsäure	langsame Zersetzung	AS, Bit, BS-K, Cp-K, FI, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Molke	langsame Zersetzung	BS-K, Cp-K, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Natriumbromid	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, PE, Sil, S-K, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Natrumcarbonat	nur für Tonerdezement schädlich	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, FI <sup>a</sup> , P-Ae, V	Bit, Cp-K, Ep, V, Z	Ep, Fu
+ Natriumchlorid	greift Beton und Stahl an	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, PE, Sil, S-K, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Natriumcyanid	langsame Zersetzung	Cp-K, Ep, P-Ae	Bit, Cp-K, V, Z	Ep, Fu

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Natriumdichromat	verdünnte Lösungen zersetzen langsam	AS <sup>a</sup> , CI-K, Cp-K, Ep, FI <sup>a</sup> , KT-Ep, P-Ae, U	Bit, KI, PE, V, Z	Fu, PE, Ph, S
+ Natriumhydroxid <10%	nicht schädlich, Vorsicht bei alkaliempfindlichem Zuschlag	BS-K, CI-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, S-K, V	Bit, Cp-K, Ep, Gr, Ko, V	Ep, Fu
+ Natriumhydroxid 10—25%	Zersetzung	BS-K, CI-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, S-K, V	Bit, Cp-K, Ep, Gr, Ko, V	Ep, Fu
+ Natriumhydroxid >25%	Zersetzung	BS-K, Cp-K, Ep, KT-Ep, P-Ae, S-K, V	Cp-K, Gr, Ko, V	Ep, Fu
+ Natriumhydrogencarbonat	nicht schädlich		Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu
Natriumhypochlorid	langsame Zersetzung	Bit, P-Ae, V	Bit, KI, PE, V, Z	PE, PZ
+ Natriumnitrat	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cp-K, CI-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Bu-K, KI, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Natriumnitrit	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, CI-K, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, V	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu
Natriumphosphat	langsame Zersetzung	BS-K, CI-K, Ep, P-Ae, V	Bit, KI, V, Z	Ep, Fu
Natriumsulfat, +-sulfit, -thiosulfat, -hydrogensulfat, -hydrogensulfit	zersetzen nicht sulfatbeständigen Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, V	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu, S
Natriumsulfid	langsame Zersetzung	Cp-K, Ep, P-Ae	Bit, Cp-K, V, Z	Ep, Fu
Natron	siehe Natriumhydrogencarbonat			
Nickellösung (Vernickelung)	Nickel-Ammoniumsulfat zersetzt	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, CI-K, Cp-K, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu, Ph
Nickelsulfat	zersetzt nicht sulfatbeständigen Beton	AS <sup>a</sup> , Bit, BS-K, CI-K, Cp-K, FI <sup>a</sup> , P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Öle				
+ Baumwollsaamenöl	Zersetzung in Luft	AS, Ep, FI, PE, S-K, V	Ep, KI, PE, Z	Fu, PE, Ph
+ Erdnußöl	langsame Zersetzung	AS, Ep, PE, U, V	Ep, KI, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph



+ Fischöl	langsame Zersetzung	AS, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, P-E, V	AB, Bu-K, Cp-K, Kl, Z	Fu, PE, Ph
Harzöl	nicht schädlich		Bu-K, Cp-K, Ep, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
Holzöl	wenn fettig, langsame Zersetzung	AS, Cl-K, Ep, Fl, PE	Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Chinesisches Holzöl	flüssiges Öl zersetzt langsam	AS, BS-K, Ep, PE, V	Kl, Z	Fu
+ Kakao-Öl, -Fett	Zersetzung in Luft	Ep, PE, U, V	Ep, Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Kokosnußöl				
+ Leinöl	langsame Zersetzung	AS, Cp-K, Ep, Fl, PE, S-K, V	Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Mandelöl	langsame Zersetzung	Cp-K, Ep	Cp-K, Kl, Pb	Fu, PE, Ph
Maschinenöl	wenn fettig, langsame Zersetzung	AS, Bit, Ep, Fl, PE, S-K, V	Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Mineralöl	wenn fettig, langsame Zersetzung	Bit, Cl-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, S-K, V	Cp-K, Ep, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Olivenöl	langsame Zersetzung	AS, Ep, Fl, PE, U, V	Ep, Kl, PE, Ph, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Rizinusöl	Zersetzung in Luft	AS, BS-K, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, S-K, U, V	Bu-K, Ep, Kl, PE, Z	Fu, PE, Ph
+ Rübsamenöl	Zersetzung in Luft	AS, Bit, Ep, Fl, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Schmieröl	wenn fettig, langsame Zersetzung	Bit, Ep, PE, S-K, V	Kl, PE, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
+ Senföl	Zersetzung in Luft	AS, Ep, Fl, PE, U, V	Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Sojabohnenöl	flüssiges Öl zersetzt langsam	AS, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, S-K, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Speiseöl	langsame Zersetzung	AS, Ep, Fl, PE	Kl, PE, V, Z	Fu, PE, Ph
Tungöl	flüssiges Öl zersetzt langsam	Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, PE, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Walöl	langsame Zersetzung	Cl-K, Cp-K, Ep, Fl, PE	Ep, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
+ Walnußöl	langsame Zersetzung	Ep, Fl, PE, V	Ep, Kl, V, Z	Ep, Fu
+ Ölsäure 100%	nicht schädlich	AS, BS-K, Ep, Fl, PE, V	Fu, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Oxalsäure	nicht schädlich	BS, Cl-K, Cp-K, Ep, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Paraffin	oberflächliches Eindringen unschädlich <sup>d</sup>	AS, Ep, Fl, PE	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Perchlorsäure 10%	Zersetzung	Ep, V	KI, PE, V, Z	Si
Petroleum	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen wenn fettig, langsame Zersetzung	Bit, Ep, PE, S-K, V	Bu-K, Cp-K, KI, V, Z	Fu, PE, Ph
Phenanthren	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	AS, FI	Bu-K, KI, Z	Fu
Phenol	langsame Zersetzung	AS, Cl-K, FI	Bu-K, Fu, KI, Z	Fu, Ph, Si
+ Phosphorsäure	langsame Zersetzung	AS, BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, FI, P-Ae, PE, S-K, U, V	Bit, Cp-K, KI, Ko, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
+ Pökellauge	greift Stahl an	Cp-K, Ep, FI <sup>a</sup> , P-Ae	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
Quecksilberchlorid	langsame Zersetzung	Bit, Cp-K, Ep, FI <sup>a</sup> , P-Ae, PE	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Salmiak	siehe Ammoniumchlorid			
Salmiakgeist	siehe Ammoniumhydroxid			
Salpeter	siehe Kaliumnitrat			
Salpetersäure $\leq 5\%$	schnelle Zersetzung	AS, Cl-K, Cp-K, Ep, V	Bit, KI, PE, V, Z	PE, S, Si
Salpetersäure 10—20%	schnelle Zersetzung	AS, V	Bit, KI, V, Z	S, Si
Salpetersäure 30—40%	schnelle Zersetzung	AS	KI, V, Z	Si
+ Salzsäure $\leq 10\%$	zersetzt Beton und Stahl	AS, Bit, BS-K, Cl-K, Ep, P-Ae, S-K, V	Bit, Bu-K, KI, V, Z	Ep, Fu, Ph, S
+ Salzsäure $>10\%$	zersetzt Beton und Stahl	BS-K, V	Bit, KI, V, Z	Fu, Ph, Si
+ Sauerkraut	Milchsäure zersetzt langsam Geschmack wird durch Beton beeinflusst	Cp-K, Ep, PE, V	Bit, Cp-K, KI, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Schlacke	siehe Asche			
+ Schwefeldioxid	bildet mit Wasser schädigende schweflige Säure	AS, Bit, BS-K, Cl-K, Ep, V	Bit, Cp-K, KI, Pb, V, Z	Ep, Fu, Ph, PE, PbO, S
Schwefelkohlenstoff	zersetzt langsam		Fu, KI, Ph, Z	Fu, Ph, Si
+ Schwefelsäure $\leq 50\%$	zersetzt schnell	BS-K, Cl-K, Cp-K, P-Ae, S-K, V	Bit, Cp-K, V, Z	Fu, Ph, S, Si

+ Schwefelsäure 60%	zersetzt schnell	Cl-K, P-Ae, V	Bit, Gr, Ko, Pb, V, Z	Ph, S, Si
+ Schwefelsäure 70—80%	zersetzt schnell	P-Ae	Gr, Ko, Pb, Z	Si
+ Schwefelsäure >90%	zersetzt schnell		Pb, Z	Si
Schweflige Säure	zersetzt schnell	Cl-K, Cp-K, Ep, P-Ae, U, V	Bit, Cp-K, Pb, V, Z	Fu, PE, Ph, PbO, S
Schwefelwasserstoff	nicht schädlich, kann zu schwefliger Säure oxidieren	AS, BS-K, Cp-K, Ep, Fl, PE, V	Bit, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Silofutter	siehe Gärfutter			
Soda	siehe Natriumcarbonat			
Strontiumchlorid	nicht schädlich	V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Sulfillauge	siehe Calciumhydrogensulfid			
Tabak	organische Säuren zerstören	Bit, Cp-K, Ep, Fl, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Talg, Talgöl	langsame Zerstörung	Ep, Fl, PE, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph
Tausalz	siehe Natrium-, Calcium- und Magnesiumchlorid			
Teer, Pech	nicht schädlich		Cp-K, Kl, V, Z	Fu, Ph, Si
Terpentin	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	Cl-K, S-K	Ep, Fu, Kl, Z	Fu, Ph
Tetrachloraethylen	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	Ep	Bu-K, Kl, Z	Fu, Ph
+ Tetrachlorkohlenstoff	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen		Fu, Kl, Ph, Z	Fu, Ph
Toluol	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	AS, Fl, PE, U	Ep, Fu, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
+ Trichloraethylen	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen		Ep, Fu, Kl, Ph, Z	Ep, Fu, Ph
Unterchlorige Säure	langsame Zersetzung	BS-K, V	Bit, Kl, PE, V, Z	PE, Si
Urin	kann Stahl angreifen	Cp-K, Ep, P-Ae	Cp-K, Ep, Kl, V, Z	Ep, Fu, Ph
Wasser pH < 6,5 <sup>b</sup>	zersetzt langsam, auch Stahl	AS, Bit, Cl-K, Cp-K, Ep, U, V	Bit, Cp-K, Kl, V	Ep, Fu, PE, Ph, S, Si
+ Wein	nicht schädlich	Ep, V, Weinsäure	Ep, Kl, V, Z	Ep
+ Weinsäurelösung	nicht schädlich		Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S

Material	Wirkung auf Beton	Überzüge, Oberflächenbehandlung	Dickere Sperrschicht	Mörtel
Xylol	Flüssigkeitsverlust durch Eindringen	Fl, PE	Ep, Fu, Kl, Z	Ep, Fu, Ph
Zellulose	nicht schädlich		Ep, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Zinkchlorid	zersetzt langsam	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , P-Ae, PE, S-K, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Zinknitrat	nicht schädlich	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cp-K, Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
Zink-Raffinierlösung	wenn Salz- oder Schwefelsäure anwesend, Zersetzung	Bit	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Fu, Ph, S
Zink-Schlacke	kann Zinksulfat bilden		Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Fu, Ph, S
Zinksulfat	langsame Zersetzung	AS <sup>a</sup> , BS-K, Cl-K, Cp-K, Ep, Fl <sup>a</sup> , KT-Ep, P-Ae, PE, V	Bit, Cp-K, Kl, V, Z	Ep, Fu, PE, Ph, S
+ Zucker	langsame Zersetzung	AS, Bit, Cp-K, Ep, Fl, P-Ae, V	Bu-K, Cp-K, Kl, V	Ep, Fu, PE, Ph

+ kann bei der Herstellung oder als Bestandteil von Speisen oder Getränken verwendet werden

<sup>a</sup> nur für Lösungen bis zu 10 % Konzentration

<sup>b</sup> Wasser mit einem pH-Wert  $\geq 6,5$  kann auch aggressiv sein, wenn es Hydrogencarbonate enthält

<sup>c</sup> Kohlendioxid löst sich in Wasser unter Bildung von Kohlensäure; wenn mehr als 0,9 . . . 3 mg/l gelöst sind, ist das Wasser betonaggressiv

<sup>d</sup> poröser Beton, der beträchtliche Mengen geschmolzenes Paraffin aufgenommen hat, wird beim Eintauchen in Wasser zerstört

<sup>e</sup> nicht für Trinkwasser

<sup>f</sup> nur als Polyester