



Institut für Werkstoffe des Bauwesens  
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen

## Betone mit Kunststoffen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-Ch. Thienel

Dipl.-Ing. N. Beuntner

Frühjahrstrimester 2018

# Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
1.1	Einteilungsprinzipien	3
1.2	Funktion der Kunststoffe im Baustoffgefüge	4
2	Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone (PCC/ECC)	5
2.1	Gefügeausbildung und Eigenschaftsprofile	7
2.2	Frisch- und Festmörteleigenschaften	8
3	Kunsthharzgebundene Mörtel und Betone (PC)	9
4	Anwendungsmöglichkeiten für PCC und PC	12
5	Literatur	17

# 1 Einführung

## 1.1 Einteilungsprinzipien

Kunststoffe werden im Beton mit dem Ziel eingesetzt, bestimmte Frisch- und Festbetoneigenschaften zu verbessern. Dazu zählen in Abhängigkeit des Kunststoffzusatzes und der Art der Modifikation [Lit 1, Lit 3, Lit 4]:

- ein verbessertes Wasserrückhaltevermögen bei zementgebundenen Mischungen,
- eine höhere Zug- und Haftfestigkeit,
- eine bessere Chemikalienbeständigkeit,
- eine Verbesserung des Widerstandes gegen Frost- und Frosttausalzangriff sowie
- ein günstigeres Verschleißverhalten.

Als Nachteile stehen eine schwierigere Herstellung und ggf. aufwendigere Verarbeitbarkeit, eine verstärkte Temperaturabhängigkeit und ein höherer Preis je Volumeneinheit gegenüber.

Betone mit Kunststoffen werden grundsätzlich nach der Art ihrer Herstellung in drei Gruppen unterschieden [Lit 3]:

- **Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone PCC** (polymer cement concrete): Zement und Kunststoff erfüllen gemeinsam die Bindemittelfunktion
- **Kunsthartzgebundene Mörtel und Betone PC** (polymer concrete): Reaktionsharze sind einziges Bindemittel
- **Kunsthartzimprägnierte Mörtel und Betone PIC** (polymer impregnated concrete): Kunststoff füllt die Kapillarporen eines zementgebundenen, bereits erhärteten Betons aus

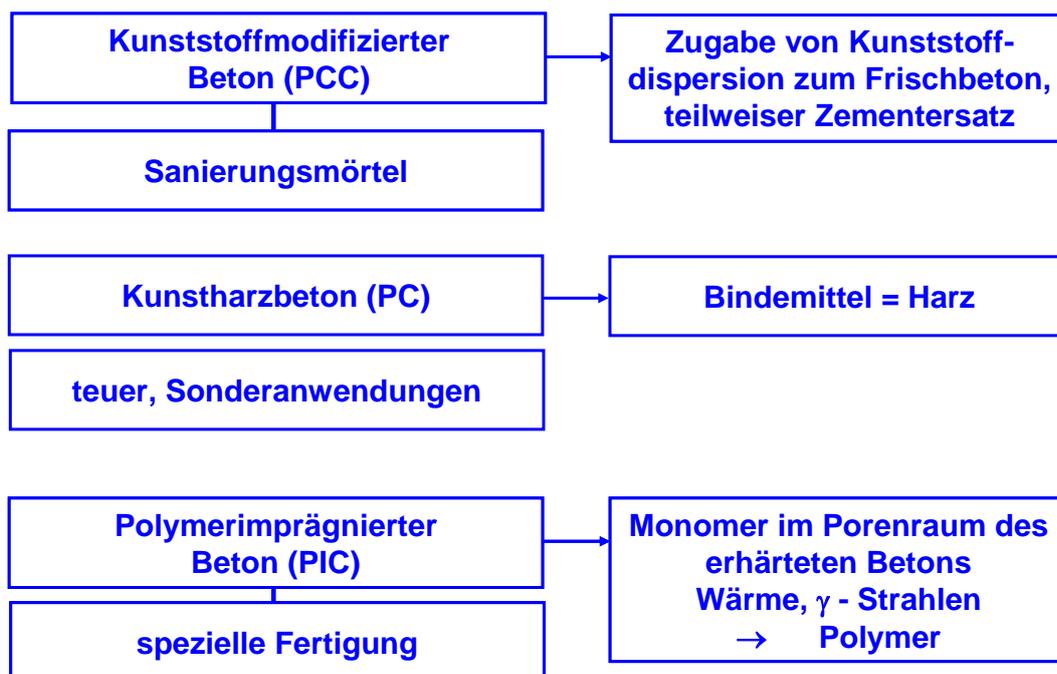


Bild 1: Übersicht von Betonen mit Kunststoffen

Als **Hauptanwendungsgebiete** kommen PCC und PC als Instandsetzungsbaustoffe bei geschädigten Betonbauteilen sowie bei der Herstellung von Industrieestrichen und Fahrbahnbelägen zum Einsatz. PIC-Materialien haben sich bislang ausschließlich auf dem Sektor der Denkmalpflege durchsetzen können.

## ***1.2 Funktion der Kunststoffe im Baustoffgefüge***

Mit dem Zusatz von Kunststoffen in Beton werden die bekannten Eigenschaften des Baustoffes Beton nachhaltig verändert. Kunststoffe können dabei entweder als Verarbeitungshilfe oder als Verbundhilfe dienen oder sogar eine Bindemittelfunktion übernehmen [Lit 3].

- **Verarbeitungshilfe:** Durch die verflüssigende Wirkung des Kunststoffzusatzes sind Mischungen mit geringerem w/z-Wert und geringem Bindemittelvolumen einstellbar  
Achtung: Begrenzung als Zusatzmittel, z. B. Fließmittel auf 5 % bzgl. Zementgehalt
- **Verbundhilfe:** Verbesserung des Verbundes mit Grenzflächen (z. B. Betonuntergrund/Bewehrung) und verbessertes Verbundverhalten zwischen Gesteinskörnung und Bindemittel bzw. innerhalb des Gefüges
- **Bindemittelfunktion:** Ist bei PC, PCC und PIC möglich und führt zu einer Verbesserung der Dauerhaftigkeitseigenschaften (geringere Karbonatisierungsneigung, Erhöhung des Frosttausalz widerstandes) aufgrund eines geringeren Porenraumes.

## 2 Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone (PCC/ECC)

Ein **kunststoffmodifizierter Mörtel/Beton** ist ein Zementmörtel/-beton, bei dem bestimmte Frisch- und Festmörteleigenschaften durch die Zugabe eines Kunststoffes günstig beeinflusst werden. Die Modifizierung kann dabei unterschiedlich erfolgen:

- Die Anmachflüssigkeit ist ein Gemisch aus Kunststoffdispersion und Wasser.
- Der Trockenmörtel ist ein Gemenge aus Zement, Gesteinskörnung und redispergierbarem Kunststoffpulver.

Die eingesetzten Dispersionen bzw. redispergierbaren Kunststoffpulver müssen folgende Eigenschaften aufweisen [Lit 2]:

- Ausreichende chemische Beständigkeit im basischen Milieu (verseifungsstabil),
- kein Koagulieren beim Anrühren des Mörtels,
- keine wesentliche Beeinflussung der Zementhydratation,
- aus Gründen des Korrosionsschutzes beim Stahlbeton keine wasserlöslichen Chloride sowie
- kein Reemulgieren bei späterer Wasserbelastung.

Als Kunststoffe werden im Bereich der Instandsetzungsbaustoffe vor allem Dispersionen auf Styrol- und auf Methylmethacrylatbasis sowie Epoxidharzemulsionen eingesetzt. Die Anwendung von Epoxidharzemulsionen stellt eine Sonderform der PCC dar. Diese kunststoffmodifizierten Betone werden als ECC (epoxy cement concrete) bezeichnet.

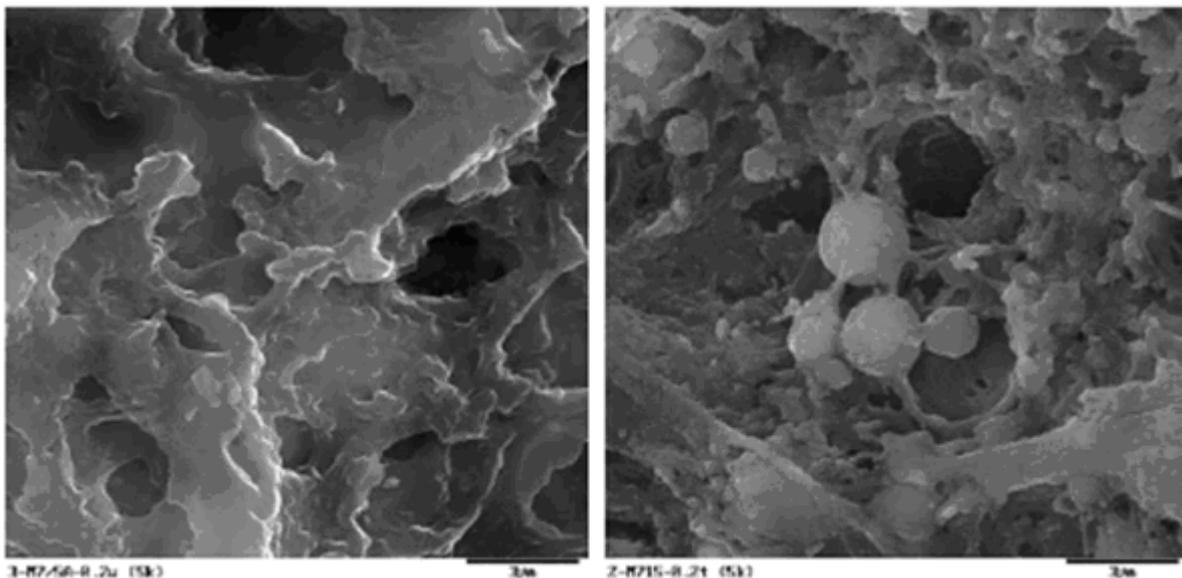


Bild 2: Strukturausbildung von ECC (20 % Epoxidharz; verschiedene Härter); REM-Aufnahme [Lit 2]  
links: Netzwerkstruktur des EP;  
rechts: ungleichmäßige EP-Verteilung, kugelige Harzdomänen durch zu hohe EP-Reaktivität;

Kunststoffe werden zwischen 5 % bis max. 30 % bezogen auf den Zementgehalt zugesetzt. Der Gehalt an modifiziertem Kunststoff wird dabei über den Polymer-Zement-Wert (p/z-Wert) ausgedrückt (Bild 3).

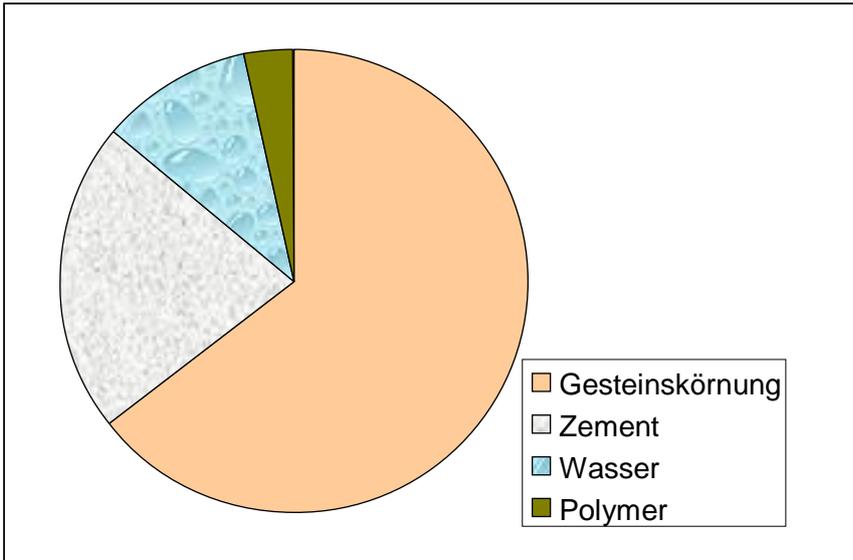


Bild 3: Beispiel für eine Mischungszusammensetzung mit Polymeren mit  $w/z=0,5$  und  $p/z=0,15$

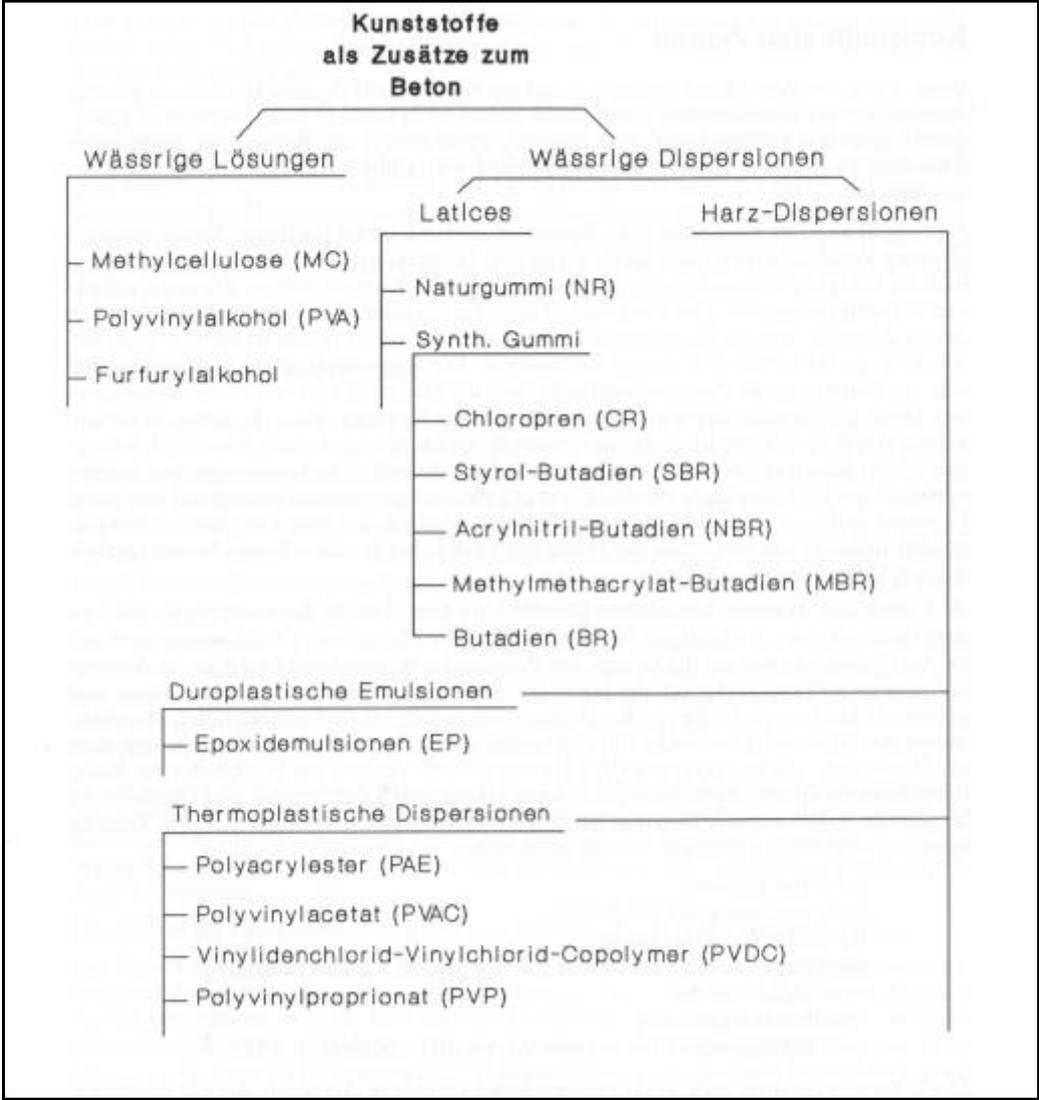


Bild 4: Zusammenstellung von organischen Stoffgruppen als Zusätze für Beton [Lit 3]

## 2.1 Gefügeausbildung und Eigenschaftsprofile

In Abhängigkeit von der Kunststoffart und Kunststoffgehalt, von den Nachbehandlungs- bzw. Aushärtungsbedingungen und der Temperatur können sich vier verschiedene Gefügetypen (Bild 5) bei der Hydratation kunststoffmodifizierter Mörtel/Betone ausbilden.

### Gefügetyp A:

- Geschlossene Zementsteinphase mit darin eingeschlossenen Kunststoffpartikeln ohne adhäsiven Verbund mit dem anorganischen Material.
- Die Störung des Zementsteingefüges hat negative Auswirkung auf Druckfestigkeit.

### Gefügetyp B:

- Geschlossene Zementsteinphase und offene Kunststoffphase liegen vor, jedoch mit adhäsivem Verbund.
- Eine Steigerung der Zug- und Biegezugfestigkeit ist möglich.

### Gefügetyp C:

- Es liegt eine geschlossene Zementsteinphase mit adhäsivem Verbund zur geschlossenen Kunststoffphase vor → „Verzahnung“ der beiden Gefügephasen = optimales Gefüge für einen PCC. Ab 5 % Kunststoffgehalt ist dieser Gefügetyp realisierbar.

### Gefügetyp D:

- Der Zementstein liegt verteilt in der Kunststoffmatrix vor.
- Das Gefüge entspricht keinem kunststoffmodifizierten Mörtel/Beton.

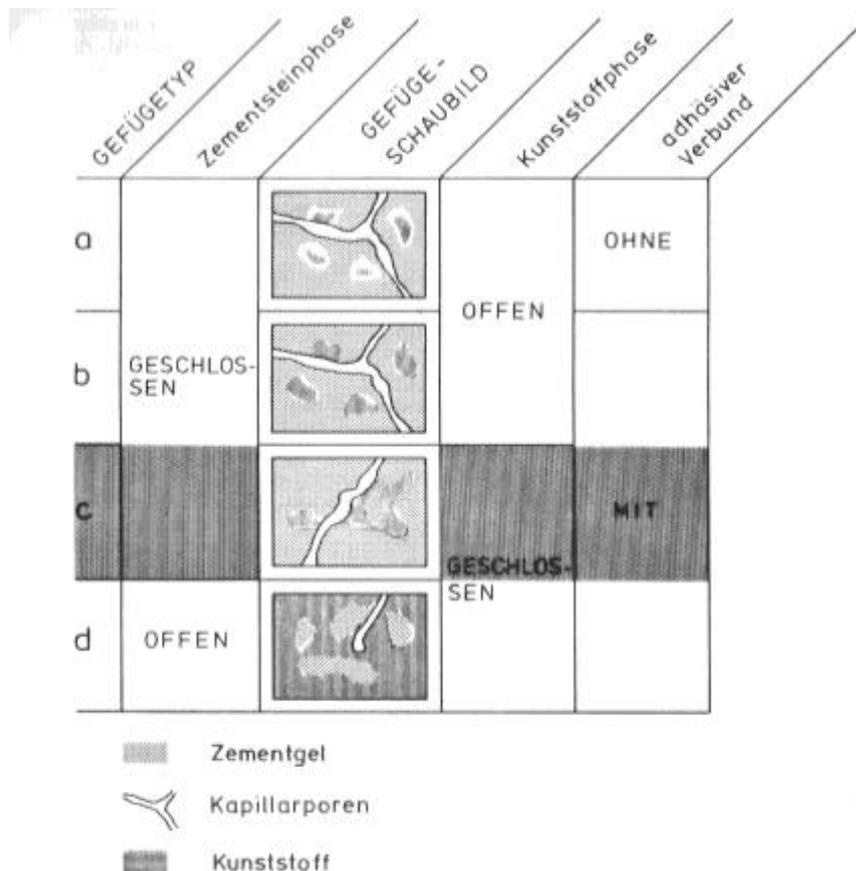


Bild 5: Einteilung der Gefüge von PCC [Lit 3]

## 2.2 Frisch- und Festmörteleigenschaften

Durch die Zugabe von Kunststoffdispersionen bzw. -pulvern werden eine Reihe von Frisch- und Festmörteleigenschaften positiv beeinflusst. [Lit 1, Lit 2, Lit 3, Lit 4]:

- Verringerung des Wasseranspruches (durch verflüssigende Wirkung des Kunststoffzusatzes)
- Geringere Neigung zum Entmischen
- Höheres Wasserrückhaltevermögen
- Bessere Verarbeitbarkeit
- Bessere Haftung beim Auftragen
- Geringerer E-Modul (höhere Elastizität wirkt sich positiv auf Verbundverhalten z. B. mit Altbeton aus)
- Besserer Haftverbund zum Untergrund
- Höhere Biegezugfestigkeit
- Größere Bruchdehnung
- Geringeres Schwinden
- Geringere kapillare Wasseraufnahme → führt auch zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit (z. B. Frostangriff oder Schwefelsäurebeständigkeit)

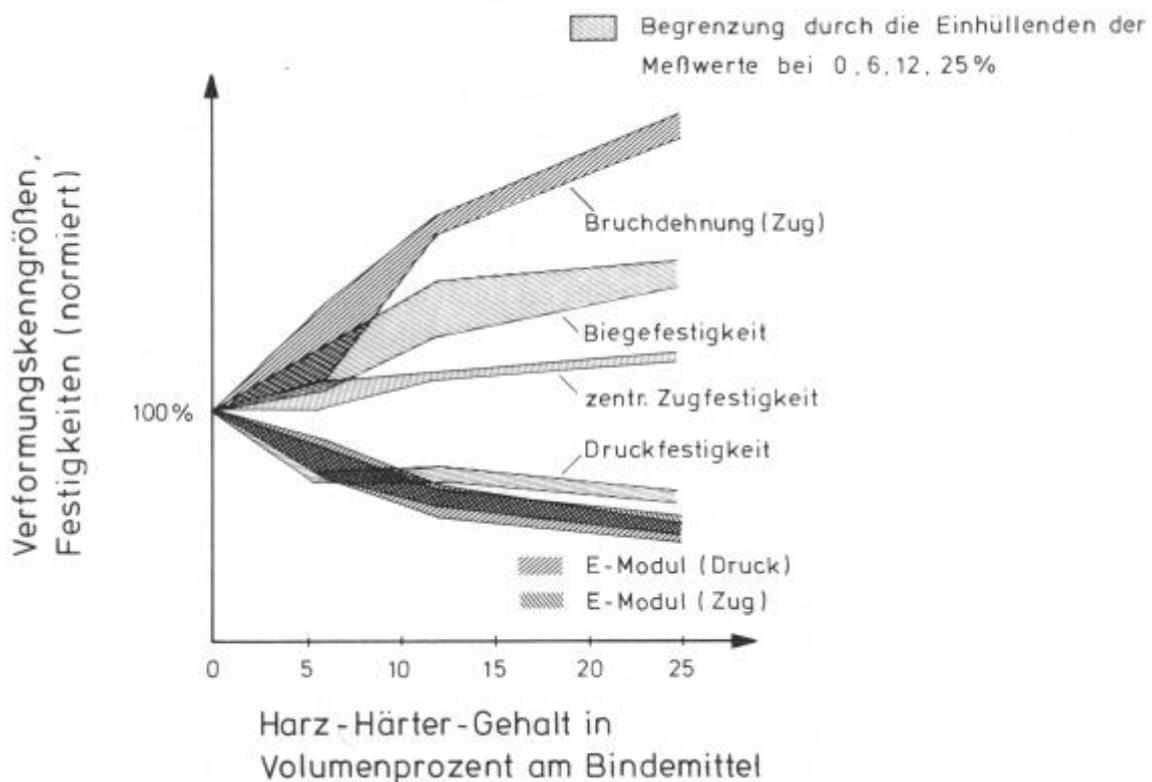


Bild 6: Typisches Eigenschaftsprofil von PCC mit Zementstein und Kunststoff als Bindemittel in Abhängigkeit vom Kunststoffgehalt [Lit 3]

### 3 Kunstharzgebundene Mörtel und Betone (PC)

Ein **kunstharzgebundener Mörtel/Beton** ist ein Polymerbeton (PC: polymer concrete) bestehend aus Gesteinskörnung mit abgestufter Kornzusammensetzung, einem flüssigen Reaktionsharz als ausschließlich wirkendem Bindemittel und gegebenenfalls Zusätzen. Als Bindemittel werden UP-, EP-, MMA- und PUR-Harze eingesetzt. Die Aushärtung erfolgt nach Zugabe von Reaktionsmitteln (Härter, Initiatoren) durch Polyaddition oder Polymerisation.

Die Vorteile von kunstharzgebundenem Mörtel/Beton sind:

- hohe Früh- und Endfestigkeiten
- hohe Haftzugfestigkeit auf den meisten Untergründen
- hohe Schlagzähigkeit und Abriebbeständigkeit
- Witterungsbeständigkeit und chemische Widerstandsfähigkeit
- geringfügige Wasseraufnahme
- elektrische Isolation
- dekorative Gestaltungsmöglichkeiten

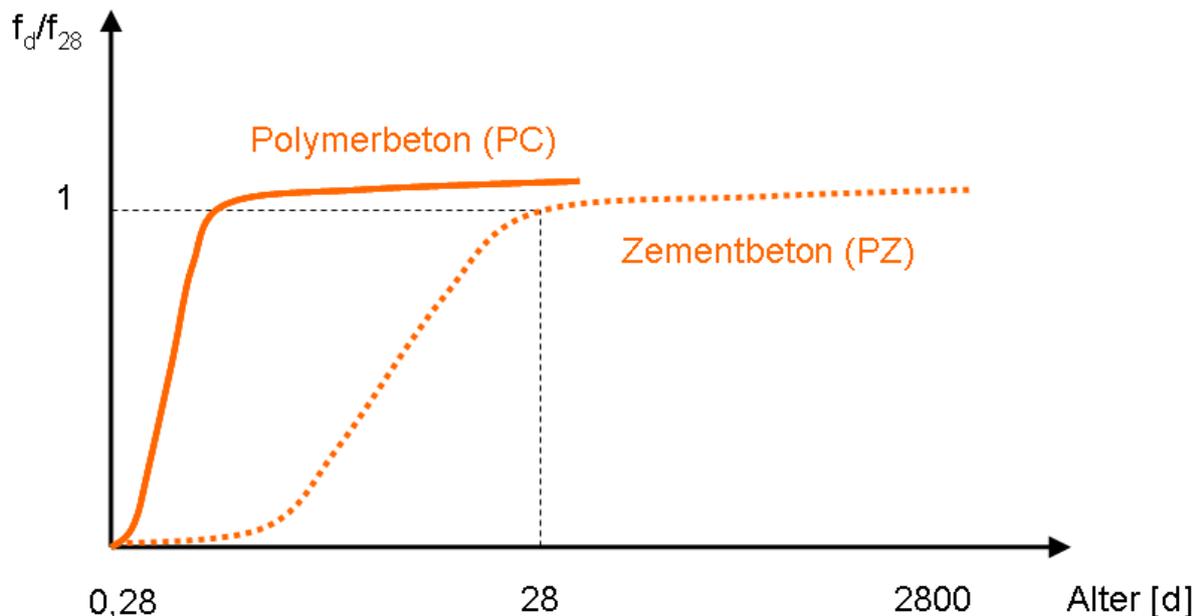


Bild 7: Festigkeitsentwicklung von Zementbeton (PZ) und Polymerbeton (PC) [Lit 2]

Ein Nachteil der Polymerbetone ist das unterschiedliche Längenänderungsverhalten im Verbund mit zementgebundenen Baustoffen. Bei wechselnder Temperaturbeanspruchung treten erhebliche Spannungen in der Verbundzone auf, was zu Abplatzungen bzw. Ablösung führen kann.

Das Verhalten bei hohen Temperaturen hängt wesentlich vom verwendeten Harz ab. Für EP-, UP-, PMMA-Mörtel werden als höchste Gebrauchstemperatur 120 °C angegeben, für PUR-Mörtel 100 °C.

Negativ schlagen die hohen volumenbezogenen Kosten zu Buche. Sie betragen etwa das 5- bis 10-fache eines Zementbetons.

In Bild 9 sind die Vor- und Nachteile gegenüber kunststoffmodifiziertem Mörtel/Beton dargestellt.

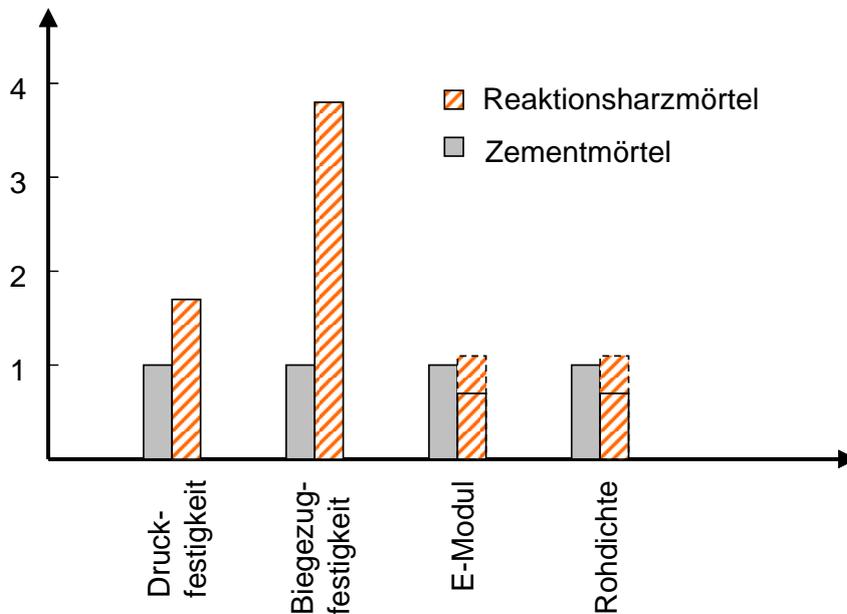


Bild 8: Vergleich mechanischer Kenngrößen von Zementmörtel und Reaktionsharzmörtel [Lit 3]

Vorteile des PC gegenüber PCC	Nachteile des PC gegenüber PCC
geringere Schichtdicke möglich	Mischfehler bei Verarbeitung nicht erkennbar
kein „Verdursten“ beim Erhärten	Verarbeitung und Erhärtung erst bei Temperaturen über 8°C möglich
keine Nachbehandlung erforderlich	Verarbeitbarkeit temperaturabhängig
schnelles Aushärten	trockener Untergrund erforderlich
geringes Schrumpfen durch chem. Reaktion	Überwachung der Taupunkttemperatur erforderlich
hohe Beständigkeit gegenüber Chemikalien	maximale Wartezeiten sind einzuhalten
hohe mechanische Festigkeit	Abstreuen bei mehrlagigem Aufbau erforderlich
hoher Abriebwiderstand	nicht spritzbar
hoher Widerstand gegenüber Schlag- und Stoßbelastung	Reinigung der Geräte mit Lösemittel
hohe Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten	hohe thermische Längenänderung
hohe Dichtheit gegenüber Schadgasen	temperaturabhängige Kennwerte des Festmörtels
hoher Carbonatisierungswiderstand	hoher Wasserdampfdiffusionswiderstand
hohe Haftzugfestigkeit auf Stahl- und Betonuntergrund	physiologisch bedenkliches Bindemittel
Verkleben von Gefügerissen im Untergrund	brennbar
	hohe Materialkosten

Bild 9: Vor- und Nachteile von PC gegenüber PCC [Lit 2]

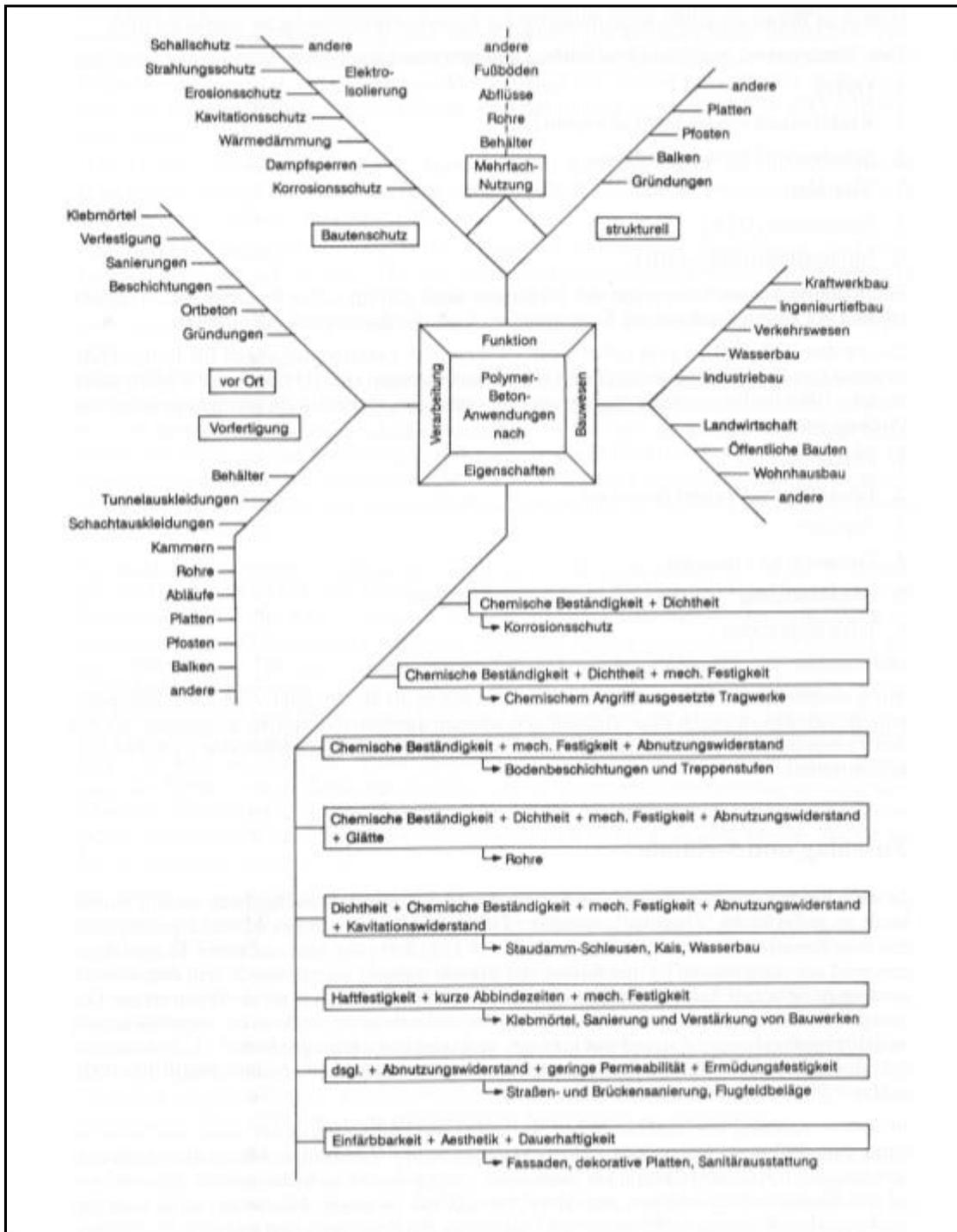


Bild 10: Anwendungsgebiete von Polymerbetonen nach Czarnecki [Lit 3]

## 4 Anwendungsmöglichkeiten für PCC und PC

Als Instandsetzungsbaustoffe haben sich kunststoffmodifizierte zementgebundene sowie polymergebundene Betone und Mörtel etabliert. Zurzeit sind Beton- und Mörtelsysteme für die Betoninstandsetzung in der ZTV-ING, der RILI SIB und in der EN 1504 geregelt. Bild 11 zeigt eine Übersicht zum Normenwerk.

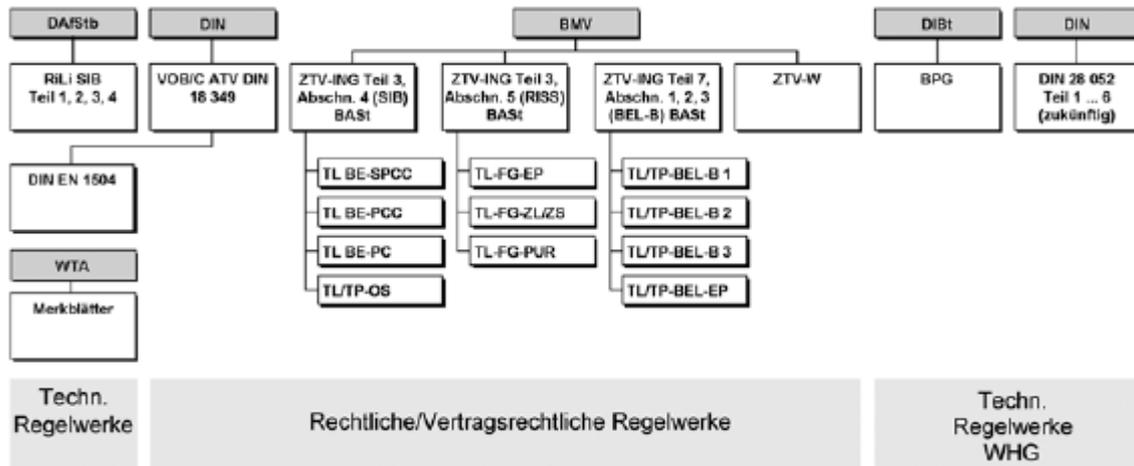


Bild 11: Übersicht der Regelwerke in Deutschland für Instandsetzungsbaustoffe [Lit 2]

	Teil
1	Allgemeines
2	Grundbau
3	<b>Massivbau</b>
4	Stahlbau
5	Tunnelbau
6	Bauverfahren
7	<b>Brückenbeläge</b>
8	Bauwerksausstattung
9	Bauwerke
10	Anhang

1	Beton
2	Bauausführung
3	Bauwerksfugen
4	<b>Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen</b>
5	Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen
6	Mauerwerk

Bild 12: Gliederung der ZTV-ING

Werkstoffe für den Bautenschutz und die Betoninstandsetzung werden nach ZTV-ING [Lit 5] in **Betonersatzsysteme** und **Oberflächenschutzsysteme** unterschieden.

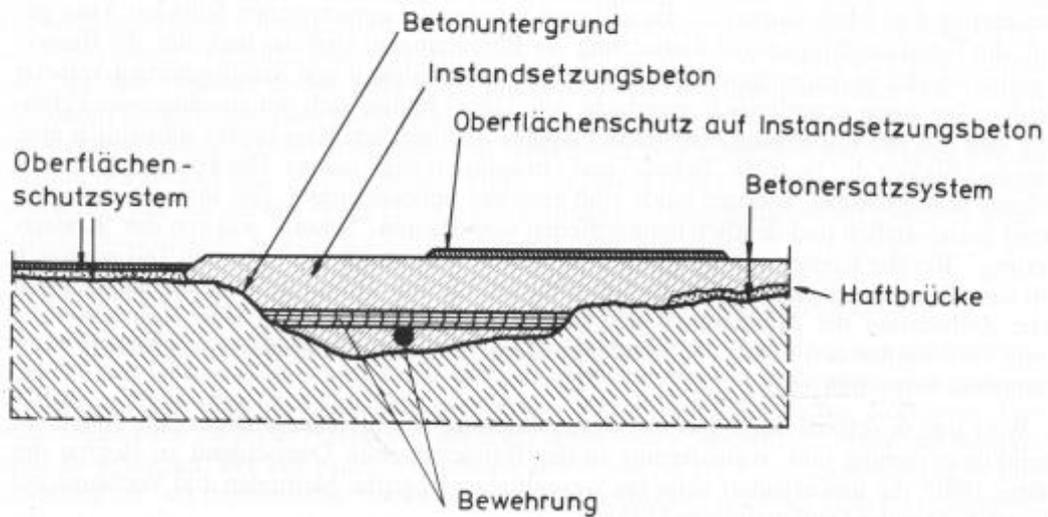


Bild 13: Begriffsdefinitionen im Bereich der Instandsetzung [Lit 3]

**Betonersatzsysteme** nach [Lit 5] dienen der Instandsetzung geschädigter Betonbauteile, zur Herstellung von Ausgleichsschichten oder zum Füllen von Fehlstellen im Beton. Sie bestehen aus dem Betonersatzbaustoff sowie ggf. aus der Haftbrücke, dem Korrosionsschutz und dem Feinspachtel (Bild 14).

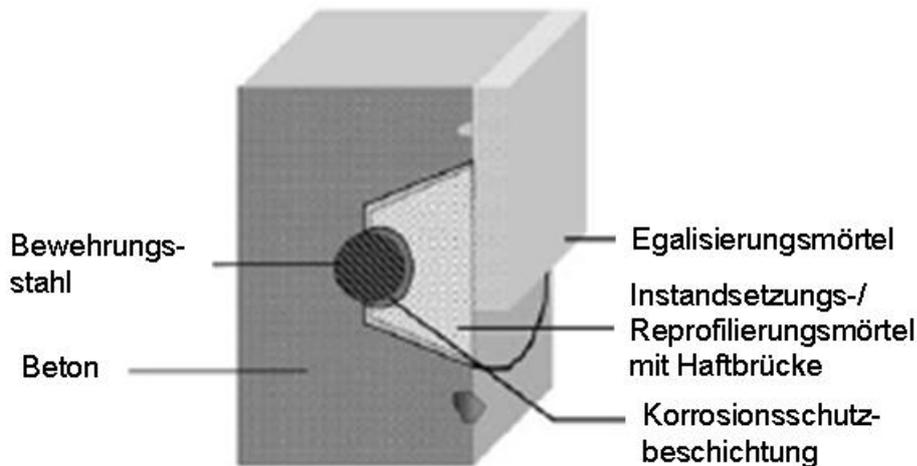


Bild 14: Instandsetzungsmörtel und zugehörige Systemkomponenten (Korrosionsschutzbeschichtung, Haftbrücke und Egalisierungsmörtel) [Lit 2]

Der Betonersatzbaustoff kann bestehen aus:

- Beton
- Spritzbeton
- Spritzmörtel/-beton mit Kunststoffzusatz (SPCC: sprayable polymer cement concrete)
- Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (PCC)
- Reaktionsharzmörtel/Reaktionsharzbeton (PC)

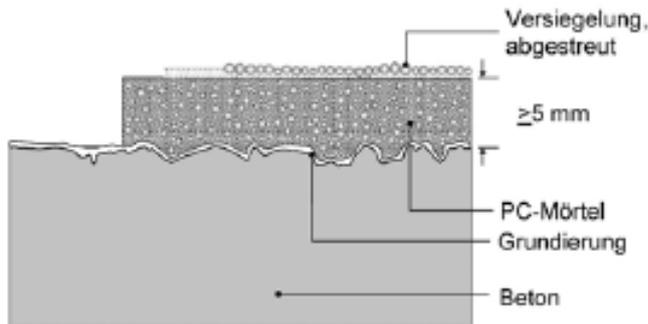


Bild 15: Aufbau eines Betonersatzsystems mit PC-Mörtel [Lit 2]

Die **Anwendungsbereiche** des jeweiligen Instandsetzungssystems sind in der ZTV-ING festgelegt (Bild 16). Im Folgenden sind die wichtigsten Kriterien für kunststoffmodifizierte Betone und Reaktionsharzbetone zusammengefasst.

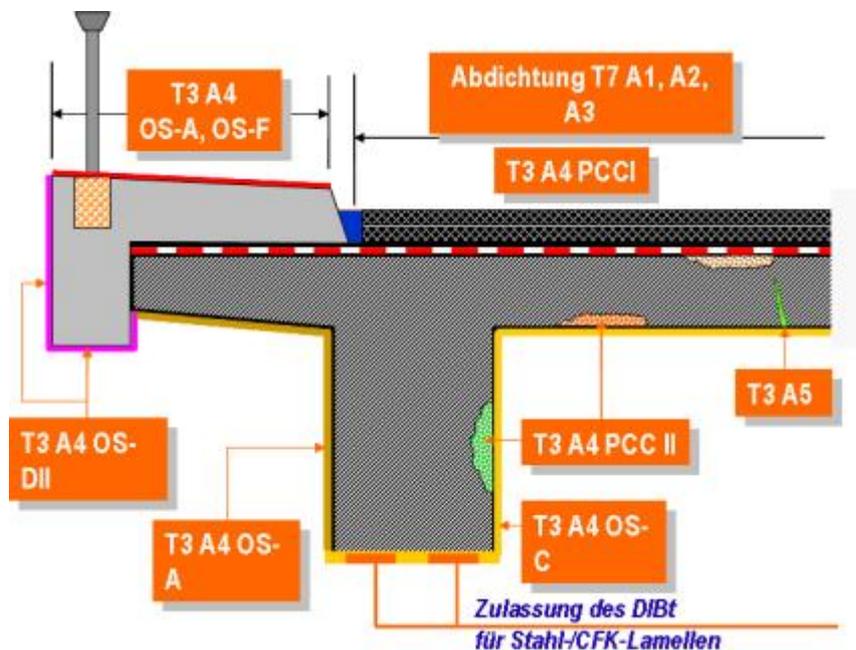


Bild 16: Anwendungsbereiche für Betonersatzsysteme und Oberflächenschutzsysteme nach ZTV-ING [Lit 5]

- **Spritzmörtel/-beton mit Kunststoffzusatz (SPCC)**  
Nicht für waagerechte oder schwach geneigte Flächen, die von oben gespritzt werden, müssten (z. B. Oberseiten von Fahrbahnplatten der Brücken)  
Die Schichtdicke beträgt mindestens 1 cm und darf höchstens 5 cm betragen.  
Es ist keine Haftbrücke erforderlich!
- **Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (PCC)**  
PCC I für waagerechte und schwach geneigte Flächen  
PCC II Unterseiten sowie senkrechte und stark geneigte Flächen, z. B. Wand, Decke  
Die Schichtdicke beträgt mindestens 1 cm und darf höchstens 5 cm betragen.
- **Reaktionsharzmörtel/Reaktionsharzbeton (PC)**  
PC I für waagerechte und schwach geneigte Flächen  
PC II Unterseiten sowie senkrechte und stark geneigte Flächen, z. B. Wand, Decke  
Verwendung nur in Ausnahmefällen und nur bei kleinen Flächen (bis 1 m<sup>2</sup>)  
Die Schichtdicke muss 5 mm betragen.

Unter **Oberflächenschutzsystemen** werden nach [Lit 5] Maßnahmen zum Schutz der Betonoberfläche durch Hydrophobierung (OS 1) oder Beschichtung (OS 2 bis OS 11) verstanden.

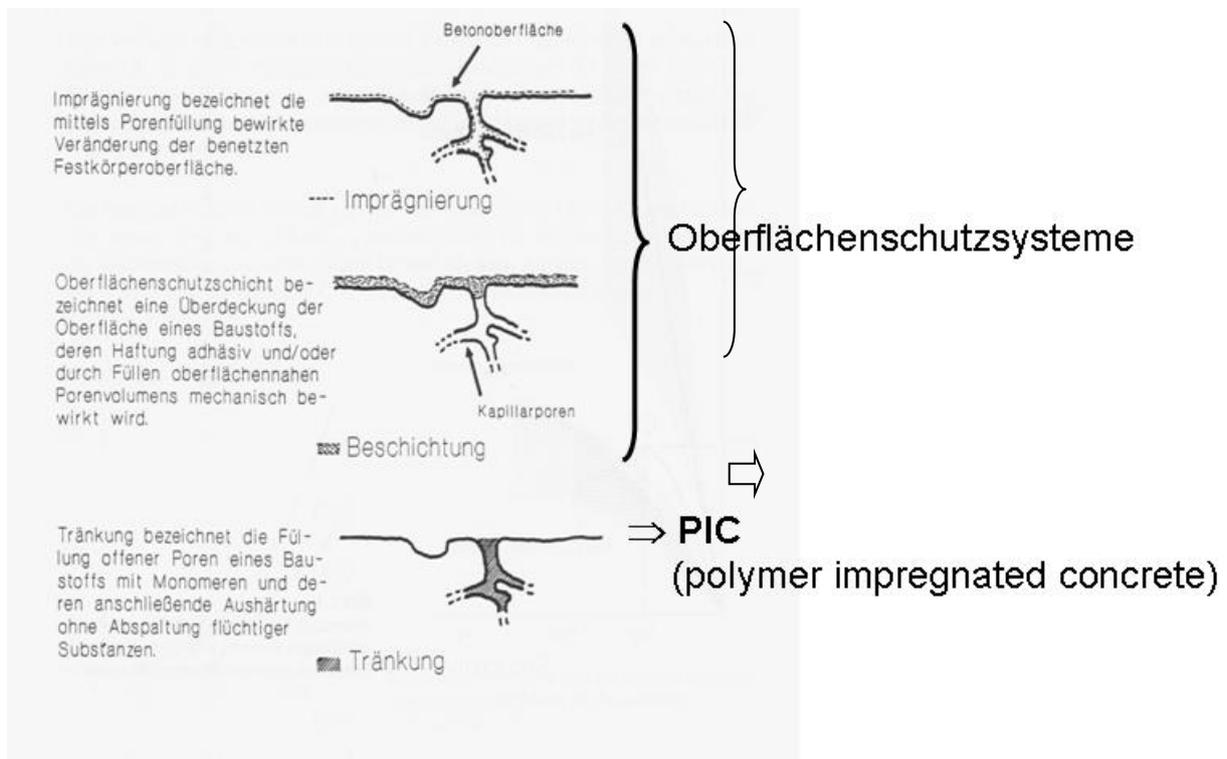


Bild 17: Begriffsdefinition PIC und Oberflächenschutzsysteme

Tabelle 1: Oberflächenschutzsysteme, deren Beschaffenheit und Eigenschaften [Lit 2]

Kurzbezeichnung	Kurzbeschreibung	Mindestschichtdicke <sup>a</sup>	Hauptbinde-mittel	Anwendungsbereich
OS 1/ OS A	Hydrophobierende Imprägnierung	nicht filmbildend	Silan, Siloxan	Bedingter Schutz vor kapillarer Wasseraufnahme (Feuchteschutz) bei vertikalen und geneigten, freibewitterten Betonbauteilen. Nicht wirksam bei drückendem Wasser.
OS 2/ OS B	Beschichtung für nicht begeh- und befahrbare Flächen (ohne Kratz- und Ausgleichspachtelung)	50 µm	Polymerdispersion (z. B. AY), Mischpolymerisat (gelöst), Polyurethan	Vorbeugender Schutz von freibewitterten Betonbauteilen mit ausreichendem Wasserabfluss (senkrechte Flächen, Untersichten) auch im Sprühbereich von Auftausalzen. Bedingt geeignet als Beschichtungssystem zum Instandsetzen.
OS 4/ OS C	Beschichtung mit erhöhter Dichtheit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung)	100 µm	Polymerdispersion (z. B. AY), Mischpolymerisat (gelöst, z. B. PUR-AY), Polyurethan	Schutz und Instandsetzung (gemäß Korrosionsschutzprinzipien W und C) von rissfreien, freibewitterten Betonbauteilen (z. B. Fassaden, Ingenieurbauwerke) auch im Sprühbereich von Auftausalzen, wenn die Eignung nachgewiesen wird.
OS 5a/ OS D II	Beschichtung mit geringerer Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung)	300 µm	Polymerdispersion (z. B. AY)	Wie OS 4, jedoch rissüberbrückend bei oberflächennahen Rissen (z. B. netzartige „Haarrisse“) im Untergrund.
OS 5b/ OS D I	Beschichtung für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung)	2000 µm	Polymerdispersion/Zement-Gemisch	
OS 7 <sup>b</sup> / TL/TP- BEL-EP	Beschichtung unter (bituminösen) Dichtungsschichten für begeh- und befahrbare Flächen	1 mm	EP	Grundierungen, Versiegelungen und Kratzspachtelungen als Teil der Abdichtung unter bituminösen Belägen auf Beton bei Brücken und ähnlichen Bauwerken.
OS 9/ OS E	Beschichtung mit erhöhter Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung)	1 mm	PUR, modifizierte EP, Polymerdispersion, 2-K Polymethylmethacrylat	Freibewitterte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen und/oder Trennrissen von Ingenieurbauwerken, auch spritzwasser- und tausalzbeaufschlagte Flächen, wenn die Eignung nachgewiesen wird.

Kurzbezeichnung	Kurzbeschreibung	Mindestschichtdicke <sup>a</sup>	Hauptbinde-mittel	Anwendungsbereich
OS 10 <sup>b</sup> / TL/TP- BEL-B3	Beschichtung als Dichtungsschicht mit hoher Rissüberbrückungsfähigkeit unter (bituminösen oder anderen) Schutz- und Deckschichten für begeh- und befahrbare Flächen	2 mm	PUR u. a.	Abdichtung von Betonbauteilen mit Trennrissen und planmäßiger mechanischer Beanspruchung, z.B. Brücken, Trog- und Tunnelsohlen u. ä. Bauwerken wie Parkdecks
OS 11/ OS F	Beschichtung mit erhöhter „dynamischer“ Rissüberbrückungsfähigkeit für begeh- und befahrbare Flächen	3-5 mm	PUR, modifizierte EP, 2-K Polymethylmethacrylat	Freibewitterte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen und/oder Trennrissen und planmäßiger mechanischer Beanspruchung, wie Parkdecks oder Brückenkappen <sup>a</sup>
OS 13	Beschichtung mit nicht „dynamischer“ Rissüberbrückungsfähigkeit für begeh- und befahrbare, mechanisch belastete Flächen	2-4 mm	PUR, modifizierte EP, 2-K Polymethylmethacrylat	Mechanisch und chemisch beanspruchte, überdachte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen auch im Einwirkungsbereich von Auftausalzen, z. B. geschlossene Parkgaragen und Tiefgaragen.
in der Neufassung der Rili SIB (2001) nicht mehr als OS geregelt:				
OS 3 <sup>d</sup>	Versiegelung für befahrbare Flächen	50 µm	EP, AY, PUR	Fußböden und Fahrbahnen für überwiegend nicht freibewitterte Flächen bei geringer mechanischer Belastung
OS 6 <sup>d</sup>	Chemisch widerstandsfähige Beschichtung für mechanisch gering beanspruchte Flächen gemäß DIN 28052	500 µm	EP, PUR	Decken, Wände und mechanisch gering belastete Bodennflächen mit Flüssigkeits- und Chemikalienbeaufschlagung
OS 8 <sup>d</sup>	Chemisch widerstandsfähige Beschichtung für befahrbare, mechanisch stark belastete Flächen zukünftig in EN geregelt	1 mm	EP	Alle mechanisch und chemisch beanspruchten Betonflächen, z.B. Fahrbahnen, Industrieböden, Behälter- und Rohrrinnenwänden <sup>a</sup>
OS 12 <sup>d</sup>	Reaktionsharzbeton bzw. -mörtel für befahrbare, mechanisch stark belastete Flächen (M2/PC I)	5 mm	EP	Industrieböden und Betonfahrbahnen

<sup>a</sup> (Nicht für Beanspruchungsgruppe I - schwer - nach DIN 18 560-7)

<sup>b</sup> entspricht ZTV-BEL-B 1/ 2 (TL/TP BEL-EP)

<sup>c</sup> entspricht ZTV-BEL-B 3

<sup>d</sup> Bezeichnung in erster Fassung der RILI SIB

<sup>a</sup> maßgeblich sind die Angaben der Hersteller (Ausführungsanweisung)

## 5 Literatur

- Lit 1: Wesche, K.: Baustoffe für tragende Bauteile, Band 4: Holz, Kunststoffe, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag 1988
- Lit 2: Gieler, R. P. und Dimmig-Osburg, A.: Kunststoffe für den Bautenschutz und die Betoninstandsetzung: Der Baustoff als Werkstoff. Birkhäuser Verlag: 2006
- Lit 3: Schorn, H.: Betone mit Kunststoffen und anderen Instandsetzungsbaustoffen: Ein baustoffliches Lehrbuch mit Kommentaren zum Technischen Regelwerk. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1990
- Lit 4: Sasse, R. et al.: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen – Sachstandbericht - Heft 443. Berlin; Köln: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1994
- Lit 5: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING Teil 3 Massivbau, Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Stand 12/07