

Kunststoffmodifizierter Beton – eine Lösung zur Einhaltung der Umweltschutzanforderungen bei Auffangbauwerken?

Einleitung

Zentrales Thema beim Bau von Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen ist das Problem des Umweltschutzes. Tropfverluste wassergefährdender Flüssigkeiten an Abfüllstellen und Produktionsanlagen sowie Leckagen an Lagertanks können nicht vollständig ausgeschlossen werden. Um ein Eindringen der austretenden Stoffe in den Boden zu verhindern, sind daher Schutzmaßnahmen erforderlich. Durch Auffangbauwerke, die als Sekundärbarriere bei Leckagen dienen, läßt sich die Sicherheit dieser Anlagen deutlich erhöhen und das Risiko einer Verunreinigung der Umwelt minimieren. Wurden vor geraumer Zeit Auffangbecken meist mit Stahl ausgekleidet oder Betonplatten mit einer teuren Beschichtung versehen, können heute die Anforderungen durch unbeschichtete Betone mit besonderen Rezepturen erfüllt werden.

Anforderungen an die Betonkonstruktion

Grundlage für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen ist das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Der Besorgnisgrundsatz in §19g gilt für Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen (LAU-Anlagen) bzw. Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden (HBV-Anlagen) von wassergefährdenden Stoffen und fordert für deren Beschaffenheit, daß eine Verunreinigung der Gewässer oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu besorgen ist. In den jeweiligen Wassergesetzen der einzelnen Bundesländer sowie in der Anlagenverord-

nung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, den verschiedenen Anforderungskatalogen, Richtlinien und Merkblättern werden die baulichen und betrieblichen Anforderungen an solche Anlagen weiter konkretisiert und speziell die Dichtheit der Konstruktion gefordert.

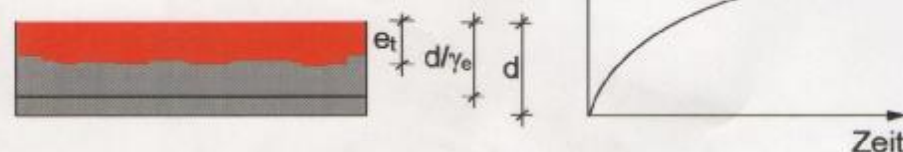
Die Dichtheit eines Bauwerkes und damit die Wirksamkeit der baulichen Schutzmaßnahme vor Boden- und Gewässerverunreinigungen ist allerdings immer, neben der Konstruktion und der Ausführung der Anlage vor Ort, von dem verwendeten Baustoff und dessen Dichtheit abhängig. Beton weist ein Porengefüge auf, das Transportvorgänge von Flüssigkeiten ermöglicht. Ein mehr oder weniger starkes

Die Geschwindigkeit des kapillaren Stofftransports und damit der Zeitraum, für den eine Betonkonstruktion als dicht im Sinne der Richtlinie angesehen werden kann, ist zum einen von der Viskosität des Beaufschlagungsmediums und zum anderen, wie bereits erwähnt, vom Kapillargefüge des Betons abhängig. Wesentlichen Einfluß auf die Porenstruktur haben die Frischbetonzusammensetzung, die Herstellung und Nachbehandlung und das Alter des Betons [2].

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Eindringversuche gemäß [1] in ungerissemem Beton mit verschiedenen wassergefährdenden Flüssigkeiten durchgeführt.

Abb. 1: Dichtheitsdefinition nach [1]

d: Bauteildicke
 e_t : Eindringtiefe des Beaufschlagungsmediums
 γ : Sicherheitsfaktor



Eindringen von Flüssigkeiten ist infolgedessen möglich, jedoch entscheidend vom Kapillargefüge abhängig. Die Forderung nach Dichtheit von Betonkonstruktionen wird in der Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [1] des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton in einem Dichtheitskonzept praxisgerecht umgesetzt. Betonbauten gemäß dieser Richtlinie erfüllen somit die baulichen Voraussetzungen, damit sie ohne Oberflächenabdichtung dem Besorgnisgrundsatz des WHG genügen. Dichtheit im Sinne der Richtlinie bedeutet, daß die Eindringfront des Mediums während der Beaufschlagungsdauer die der Beaufschlagung abgewandte Seite des Betonbauteils nicht erreicht. Ein Eindringen von Flüssigkeiten in die Betonschicht wird somit zwar zugelassen, darf aber eine von der Bauteildicke abhängige Grenze nicht überschreiten.

Die Versuche zeigen zwar, daß Beton durchaus die Funktion einer Sekundärbarriere übernehmen kann, allerdings läßt sich die Sicherheit und die Lebensdauer einer Konstruktion durch geeignete betontechnische Zusatzmaßnahmen erhöhen.

Eine sehr gute Möglichkeit stellt das Beimischen von Kunststoffen dar. In zahlreichen Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß dies eine positive Wirkung besonders auf die Dichtheit hat.

Kunststoffmodifizierter Beton

Werden Kunststoffe dem Beton beim Mischen zugegeben, ohne jedoch das hydraulische Bindemittel vollständig zu substituieren, spricht man von kunststoffmodifiziertem Beton (PCC polymer cement concrete). Die Bedeutung dieser Betone ist in den letzten Jahren stetig angewachsen.

DER AUTOR

Dipl.-Ing. Alexander Vogel
Institut für Massivbau
Technische Hochschule Darmstadt
Alexanderstraße 5
64283 Darmstadt

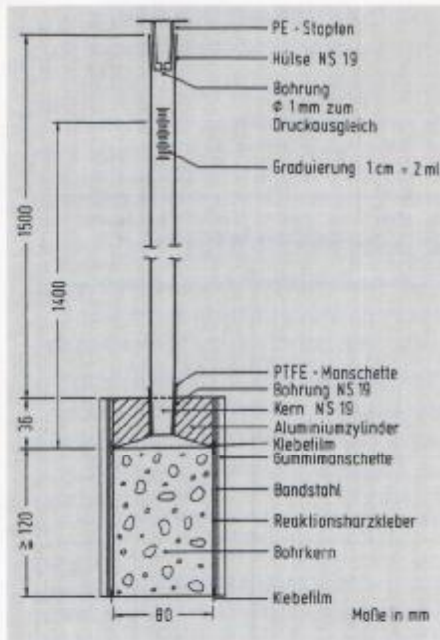


Abb. 2: Penetrationsversuch nach [1] zur Ermittlung der Eindringtiefe wassergefährdender Flüssigkeiten in Beton

Vor allem im Bereich der Instandsetzung finden zahlreiche Produkte auf Basis zweikomponentiger Epoxidharzsysteme oder wässriger Polymerdispersionen Anwendung.

Im Bereich der Konstruktionsbetone haben einkomponentige wässrige Dispersionen deutliche Vorteile gegenüber Harzsystemen. Geringere Materialkosten sowie einfachere Handhabung bei der Betonherstellung sind hierbei entscheidende Kriterien. Kunststoffdispersionen sind Zweistoffsysteme. In einer flüssigen Phase, meist Wasser, sind kugelige Kunststoffpartikel fein verteilt. Der Anteil des Dispersionswassers beträgt zwischen 40–60 % und ist bei der Berechnung des w/z-Wertes zu berücksichtigen. Die Zugabemenge der Produkte wird in der Regel auf das Zementgewicht bezogen. Üblicherweise werden dem Beton Kunststoffgehalte mit Kunststoff/Zement-Werten (k/z-Wert) zwischen 0,05 und 0,15 zugesetzt [3]. Im Festbeton beträgt der Kunststoffanteil dann ca. 1

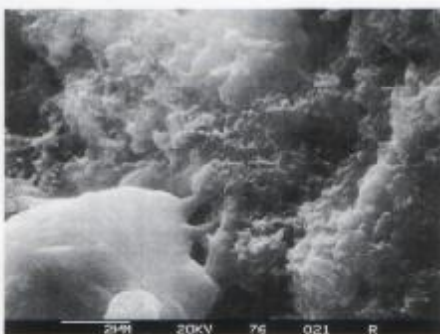


Abb. 3: REM-Aufnahme eines Betons mit Mowilith LDM 6880

bis 3 Volumenprozent. Für den erfolgreichen Einsatz einer Kunststoffdispersion im Betonbau ist sicherlich als wichtigstes Kriterium deren Zusammenwirken mit dem hydraulischen Bindemittel zu sehen. Dennoch ist es wichtig, daß eine Reihe weiterer Anforderungen, die in Tabelle 1 zusammengefaßt sind, von der Dispersion erfüllt werden.

Tabelle 1: Anforderungen an Baustoffdispersionen

Zementverträglichkeit
hohe Scherstabilität aufgrund starker Beanspruchung beim Mischvorgang
geringe Verseifungsanfälligkeit bei hohen pH-Werten
kein Aufschwimmen im Beton
kein zusätzliches Einbringen von Luftporen in den Beton
keine wesentliche Änderung der Abbindezeit

Zusätzlich zu der üblichen Bindemittelmatrix bildet sich bei entsprechender Dosierung eine zweite Matrix aus Kunststoff, die zum Systemaufbau beiträgt. Dadurch lassen sich gezielt verschiedene Eigenschaften des Betons beeinflussen. Die Gefügeausbildung läßt sich bei der Verwendung von wässrigen Dispersionen folgendermaßen beschreiben: Während der Hydratationsphase entzieht der Zement zur Bildung der Zementsteinmatrix der Dispersion ihren Wasseranteil. Sind ausreichend Polymere vorhanden, so daß eine gegenseitige Berührung der Teilchen im Beton stattfindet, kann sich infolge des Wasserentzugs ein zusammenhängender Polymerfilm bilden. Somit entsteht eine Art zweite Matrix im Beton, die am Lastabtrag beteiligt ist.

Bei der Herstellung modifizierter Betone ist die verflüssigende Wirkung der Polymeradditive zu berücksichtigen. Das Ausbreitmaß steigt mit der Kunststoffzugabemenge und gleichzeitig konstant gehaltenem Wassergehalt an.

Die verbesserte Konsistenz wird einerseits durch ein Herabsetzen der Oberflächenspannung des Wassers und damit einer besseren Benetzung der Feststoffe mit Wasser erreicht, andererseits führt die kugelige Form der Polymerteilchen zu einer verminderten Reibung zwischen Zement und Zuschlag und damit zur Ausbildung von Gleitflächen. Dadurch kann im Vergleich zu Normalbeton der w/z-Wert in einen Bereich abgesenkt werden, in dem die Bildung von Kapillarporen durch Überschußwasser deutlich geringer ist.

Für weitere theoretische Überlegungen bezüglich der Dichtheit modifizierter Betone ist eine Betrachtung der Teilchen- und Porengrößen hilfreich.

Durch die Zugabe von Polymeren wird durch deren Füllereffekt, hervorgerufen durch die Partikelgröße von 0,1–0,3 µm, zusätzlich ein Großteil der noch vorhandenen Poren aufgefüllt. Dies führt im Mikrobereich zu einer wesentlich höheren Packungsdichte. Aufgrund dieser beiden Gegebenheiten läßt sich das Gesamtporen-

Tabelle 2: Teilchen- und Porengrößen nach Weigler/Karl [3]

Teilchen/ Poren	Durchmesser
Zement	10–100 µm
Steinkohlenflugasche	10–30 µm
Polymere	0,1–0,3 µm
Silicostaub	0,1 µm
Luftporen	10–10 ³ µm
Kapillarporen	10 ⁻² –10 ² µm
Gelporen	10 ⁻³ –10 ⁻² µm

renvolumen im Beton um bis zu 5 % reduzieren. Darüberhinaus bewirken Kunststoffzusätze eine

- Erhöhung der Chemikalienbeständigkeit
- Erhöhung der Betonzug- und Haftzugfestigkeit
- Verminderung des Schwindens
- Verbesserung des Verbundes zwischen Zementstein und Zuschlagskörnern durch einen adhäsiven Anschluß von Polymerbrücken an die Oberfläche der Zuschläge

Versuche

Im Hinblick auf den Einsatz von polymermodifiziertem Beton bei Bauwerken mit hohen Dichtheitsanforderungen wurde am Institut für Massivbau der Technischen Hochschule Darmstadt unter anderem eine Copolymerisatdispersion auf Basis von Styrol und Acrylsäureester untersucht. Das verwendete Produkt Mowilith, LDM 6880 der Hoechst AG gehört zur Gruppe der amorphen Thermoplaste und ist als Betonzusatzstoff nach DIN 1045 vom Deutschen Institut für Bautechnik unter der Nummer Z-PA VII-21/802 zugelassen.

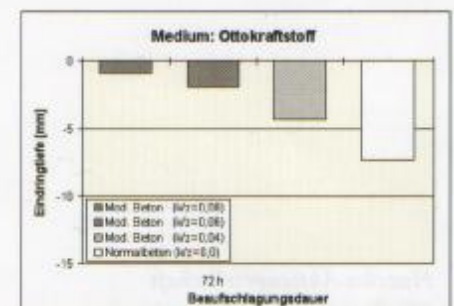


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Polymergehalt und Eindringtiefe bei Ottokraftstoff

Neben den mechanischen Eigenschaften wurde insbesondere das Eindringverhalten von zahlreichen wassergefährdenden Stoffen in den modifizierten Beton untersucht. Verschiedene praxisgerechte Betonmischungen mit unterschiedlichen Polymergehalten, die eine starke Quellung des Polymerfilms hervorrufen, sind die Resultate der Penetrationsprüfung äußerst prägnant. (vgl. Abb.6)

Exemplarisch zeigen Abb. 4 und Abb. 5, die Auswirkung des zunehmenden Polymergehalts auf die Eindringtiefe von Otto- und Dieselkraftstoff.

Kraftstoffe als Prüfflüssigkeit sind von besonderer Bedeutung, da es gerade an Tankstellen immer wieder zu Tropfverlusten bei der Fahrzeugbetankung kommt und somit zu einer intermittierenden Beaufschlagung der Fahrbahn.

Betondaten: – w/z-Wert: 0,45
– Sieblinie AB16
– Flugaschegehalt 30 kg/m³
– k/z-Wert: 0–0,1

Die dichtende Wirkung des Kunststoffzusatzes läßt sich durch die folgenden zwei Aspekte erklären:



Abb. 5: Zusammenhang zwischen Polymergehalt und Eindringtiefe bei Dieselkraftstoff

■ Durch die Größe der Polymerteilchen werden im Beton bestehende Hohlräume gefüllt, wodurch sich eine Abdichtung gegenüber allen Flüssigkeiten erklären läßt.

■ Organische Flüssigkeiten können die Polymerteilchen zum Quellen bringen. Je nach Medium kann sich das Volumen des Polymerpartikels in einem Zeitraum von ca. 50h um das 3fache vergrößern. Dies führt zu einer weiteren Verschließung von Porenräumen und somit zu einer zusätzlichen Abdichtung gegenüber der eindringenden Flüssigkeit.

Ist dieser Quelleffekt besonders ausgeprägt, führt das zu deutlichen Ergebnisunterschieden beim Vergleich der Eindringtiefe von Normalbeton und modifiziertem Beton. Für Benzol, als Vertreter der Flüssigkeiten, die eine starke Quellung des Polymerfilms hervorrufen, sind die Resultate der Penetrationsprüfung äußerst prägnant. (vgl. Abb.6)

Vollzieht sich die Quellung des Polymerfilms sehr langsam, tritt der Unterschied in der Eindringtiefe erst nach einem längeren Beaufschlagungszeitraum ein (vgl. Abb. 7). Für Methylpyrrolidon aus der Gruppe der substituierten Ketone ist nach einer 72stündigen Versuchsdauer die Eindringtiefe nahezu identisch. Erst nach einem längeren Beaufschlagungszyklus wird eine signifikante Differenz deutlich.

Steigt beim unmodifiziertem Beton die Eindringtiefe zwischen 72 Stunden und 36 Tagen um den Faktor 7 an, ändert sich die Eindringtiefe für den modifizierten Beton (k/z = 0,05) kaum noch. Abb. 8 zeigt die Probekörper aus Normalbeton und mod. Beton direkt nach dem Spalten.

Anwendungsgebiete

Die Einsatzgebiete kunststoffmodifizierter Betone sind vor allem für Anwendungen zu sehen, bei denen die Eigenschaften

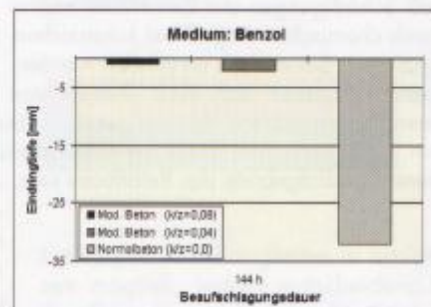


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Polymergehalt und Eindringtiefe

herkömmlicher Betone den gestellten Anforderungen nicht ausreichend genügen. Hier sind z.B. neben Objekten mit Dichtheitsanforderungen Bauwerken zu nennen, bei denen die Beständigkeit gegenüber aggressiven Medien eine große Rolle spielt. Die bereits mit modifiziertem Beton hergestellten Projekte sind deshalb vorwiegend Frei- und Hallenflächen, die der Lagerung von Chemikalien dienen.

Dennoch gibt es eine Reihe weiterer interessanter Anwendungsmöglichkeiten, über die nachfolgend ein kurzer Überblick gegeben wird.

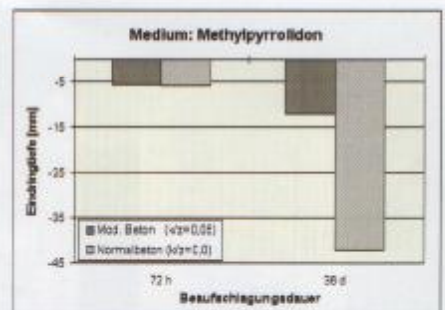


Abb. 7: Eindringtiefe von Methylpyrrolidon nach Kurz- und Langzeitbeaufschlagung

Kaminhut

Bereits vor vier Jahren wurde in der Schweiz ein Kaminhut aus einem modifizierten Beton hergestellt. Bei diesem Projekt für eine Müllverbrennungsanlage wurden 25 Gewichts-% Dispersion, bezogen auf das Zementgewicht, eingesetzt. Bislang zeigten sich trotz hohem chemischen Angriff keine Korrosionsschäden.

Straßenbelag

Für den Straßenbau steht ein kunststoffmodifizierter Beton mit haufwerksporigem Gefüge zur Verfügung. Der Beton kann mit einem Straßenfertiger eingebaut werden. Der entscheidende Vorteil der Kunststoffmodifizierung liegt in der gesteigerten Haftzugfestigkeit des Betons, die es ermöglicht, durch eine Ausfallkörnung ein Porenraum von etwa 20 Volumen-% zu erreichen.

Dadurch reduziert sich die Schallemission von Fahrzeugen um etwa 5 dB. Ebenso können starke Niederschläge durch die sehr gute Drainagewirkung schnell und wirkungsvoll abgeleitet werden.

Fahrbahnen an Tankstellen

Zur Abdichtung der Abfüllplätze wird der Werkstoff Beton in unterschiedlichster Form eingesetzt. Wabenförmige Betonfertigteile mit Polysulfidfügen oder Ortbetonplatten in großen Abmessungen stellen Lösungsvarianten dar. In beiden Systemen können zur Reduzierung der Eindringtiefe von Kraftstoffen Kunststoffdispersionen dem Frischbeton beigemischt werden.

Während für die Ortbetonlösung der gesamte Beton aus PCC besteht, wird bei den Fertigteilstellen nur eine Vorsatzschale in einer Dicke von 1–2 Zentimetern modifiziert.



Abb. 8: Probekörper nach dem Spalten



Abb. 9: Kaminhut einer Müllverbrennungsanlage

Kanalrohre

Die hohe chemische Belastung des Betons durch Abwässer führt u.U. zu einer schnellen und starken Betonkorrosion. Durch eine Modifizierung des Betons mit einer Kunststoffdispersion wird die Schädigung des Betons wesentlich verlangsamt. Folglich ist eine deutliche Verlängerung der Lebensdauer von Kanalrohren zu erwarten.

Zusammenfassung

Neuartige bzw. verschärfte Anforderungen an Bauwerke im Bereich des Umweltschutzes können durch den Werkstoff Beton mit seinen ursprünglichen Bestandteilen Zement, Wasser und Zuschläge nicht mehr optimal erfüllt werden.

Zur Anpassung an die gestellten Anforderungen werden dem Beton deshalb geeignete Materialien zugesetzt. Für Anwendungen mit besonderen Ansprüchen an den Werkstoff Beton bezüglich Dichtheit und Beständigkeit gegenüber Gefahrstoffen ist der Einsatz von Kunststoffdispersionen sehr sinnvoll.

Deutliche Reduzierungen von Eindringtiefen unterschiedlichster wassergefährdender Stoffe sind durch Versuche belegt. Ebenso konnte nachgewiesen werden, daß Schädigungen der Zementsteinmatrix durch chemischen Angriff bei kunststoffmodifiziertem Beton stark vermindert werden. Hieraus ergeben sich eine Vielzahl von Anwendungsgebiete, für die der Einsatz von PCC sinnvoll ist. Jedoch werden dies immer Spezialgebiete des Betonbaus sein.

Literatur

- [1] DEUTSCHER AUSSCHUß FÜR STAHLBETO
Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, 1992, Beuth-Verlag Berl
- [2] GABER, Klaus: Einfluß der Porengrößenverteilung in der Mörtelmatrix auf den Transport v Wasser, Chlorid und Sauerstoff im Beton, Dissertation TH Darmstadt, 1989
- [3] WEIGLER, K., KARL, S.: Beton, Arten-Herstellung Eigenschaften, 1989, Ernst & Sohn Berlin
- [4] GROßKURTH, K.P., KONIETZKO, A.: Polym modifizierter zementgebundener Beton als Konstruktionswerkstoff, Bauingenieur **64**, 1989
- [5] SCHULZE, J.: Thermoplastische Polymere, Bet **5/91**
- [6] GRUBE, H., SPANKA, G.: Dichtigkeit von Bet gegenüber organischer Flüssigkeiten, Beton **4** 1990
- [7] REINHARDT, H.-W., FEHLHABER, T.: Transp organischer und anorganischer Flüssigkeiten u Gase in Beton, DAStb-Heft **416**, 1991