



IPANEX® TECHNISCHER BERICHT Nr. 7

Verbesserte haltbarkeit von IPANEX® beton durch feldversuch in Hocking county, Ohio - bestätigt

Hintergrund

Im Zuge der Konstruktion von Brückenfahrbahnträgern wurden am 6. Februar 1991 für den zuständigen Ingenieur von Hocking County, Ohio, zwei Proben geschüttet. Beide wurden als Beton der Klasse "C" mit einem Setzmass von 7,62 cm und 4 % Lufteinschluss klassifiziert. Die OHIO DOT-Spezifikationen für Beton der Klasse "C" werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1. Ohio DOT-Spezifikationen für Beton der Klasse "C".

Mengen pro Kubikmeter

Zuschlag (Grösse Nr. 57 oder Nr. 67)				Zementgehalt (Typ I)	W/C Verhältnis (max.)	Druckfestigkeit (28 Tage)
	Typ	Fein	Grob			
Kalk		762 kg	967 kg	1729 kg	0,5	28 Mpa
		1285 lbs	1630 lbs	2915 lbs		600 lbs
Kies		688 kg	1029 kg	1717 kg	0,5	28 Mpa
		1160 lbs	1735 lbs	2895 lbs		600 lbs

Eine Betonprobe enthielt keine zusätzlichen Beimischungen, die andere enthielt IPANEX® in einer Dosierung von 1,79 kg/m³, dem vom Hersteller empfohlenen Mischverhältnis. Die Proben wurden dem gleichen Fahrzeug entnommen, eine vor der Zugabe von IPANEX®, die andere danach. Die Schüttung erfolgte mit drei Armierungseisen und einem Haken, die parallel zur Längsachse in die Zylinder eingebettet wurden. Der Test wurde von William R. Shaw, P.E., P.S., Ingenieur von Hocking County, überwacht und durchgeführt.

Am 8. Februar 1991, nach einer Aushärtungszeit von rund 48 Stunden in einem beheizten Schuppen, wurden die Testzylinder beider Proben geöffnet und in 15 Liter Bohrloch-Spüllauge getaucht, um mögliche Umwelteinflüsse zu simulieren. Die Proben verblieben zwei Jahre lang bei Umgebungstemperatur (ausser) in diesen offenen Behältern und wurden am 10. Februar 1993 wieder herausgenommen.

Nach der Entnahme aus den Behältern wurden die Proben im Freien für ein Jahr Frost und Tauwetter ausgesetzt und von Februar 1994 bis Dezember 1994 erneut in Spüllauge getaucht. Anschliessend wurden die Proben aus der Spüllauge genommen und bis zu ihrer Zerlegung am 13. März 1995 im Freien gelagert. Direkt nach der Zerlegung wurden die Proben wiederum bis zum 28. Juli 1999 in Spüllauge getaucht.

Tabelle 2. Zeitintervalle der Einwirkung von Spüllauge und Umgebungsbedingungen auf die Proben.

Spüllauge	Luft	Spüllauge	Luft	Spüllauge	Luft
8. Feb. '91 bis	Feb. '93 bis	Feb. '94 bis	Dez. '94 bis	13. März '95 bis	28. Juli '99 bis
10. Feb. '93	Feb. '94	Dez. '94	13. März '95	28. Juli '99	14. Aug. '99

Beobachtungen 1995

Bei der Zerlegung im Jahre 1995 wurden rund 10 cm von der Unterseite der Zylinder entfernt. Diese Teile wurden nur für eine Sichtprüfung verwendet. Abbildung 1 zeigt ein Foto dieser beiden Teile. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Kontrollprobe erhebliche Schäden aufweist. An der Aussenseite des Zylinders zeichnet sich deutlicher Verschleiss ab, der zur Bildung von Rissen und Spalten auf der Aussenseite führt. Die IPANEX® Probe weist hingegen nur geringe Veränderungen an der Aussenseite auf und zeigt Spuren von schwachen äusseren Ablösungen, die parallel zur Aussenseite verlaufen.



Beobachtungen 1999

Am 14. August 1999 wurden die Betonproben sowie Proben der Spüllösung, in der die Betonproben seit dem 13. März 1995 aufbewahrt wurden, zur weiteren Untersuchung in das Materialprüflabor der Pennsylvania State University gebracht. Eine erste Sichtprüfung der Kontrollprobe ergab extremen Verschleiss. Die Aussenseite des verbleibenden Zylinders war mit einer rund 2 cm dicken Schicht aus Natriumchloridkristallen bedeckt. Ein tortenförmiges Segment, das noch einen Teil der Armierung enthielt, hatte sich vom Zylinder abgelöst und wies an der Schnittstelle von Metall und Beton erhebliche Korrosionsspuren sowie zahlreiche gelbweisse Ablagerungen an der Bruchstelle des Betons auf. (Siehe Abbildungen 2 und 3).



Abbildungen 2 und 3

Die IPANEX® Probe war hingegen intakt, jedoch mit einem dünnen braunen Film bedeckt, der wahrscheinlich aus einer Form von Eisenoxidhydroxid bestand. Während der zweieinhalb Monate, in denen sich die in Kunststoff gehüllten Proben im Labor befanden, bildeten sich verschiedene Längsrisse, die jedoch die Integrität des IPANEX® Zylinders nicht beeinträchtigten (siehe Abbildungen 2 und 3).

Ergebnisse

Aufgrund der schweren Schäden an der Kontrollprobe wurde auf die Durchführung physikalischer Tests verzichtet. In den verschiedenen Proben der Spüllauge wurden chemische Spuren von gelöstem Beton nachgewiesen. Tabelle 3 enthält eine Übersicht der chemischen Analyse der ursprünglichen sowie der später verwendeten Spüllösungen für den Kontroll- und den IPANEX® Zylinder.

ELEMENTE	KONZENTRATION
Ba	5,1
Ca	44,000
Fe	280
K	1,640
Mg	7,100
Na	52,000
Sr	1,330
Zn	10,0
Cl	170,000
SO ₄	100

Diese Analyse enthält alle Haupt- und Nebenbestandteile der Lauge. Bei näherer Betrachtung der Liste zeigt sich, dass alle Bestandteile bis auf Zink und Chlor der Zusammensetzung von Beton auf der Basis von Portland-Zement entsprechen.

Es ist anzunehmen, dass die chemische Zusammensetzung der Lauge Rückschlüsse auf die Veränderungen im Beton zulässt. Bei geringen oder keinen Veränderungen im Beton ergibt also auch die Analyse der verwendeten Lauge keine signifikanten Veränderungen.

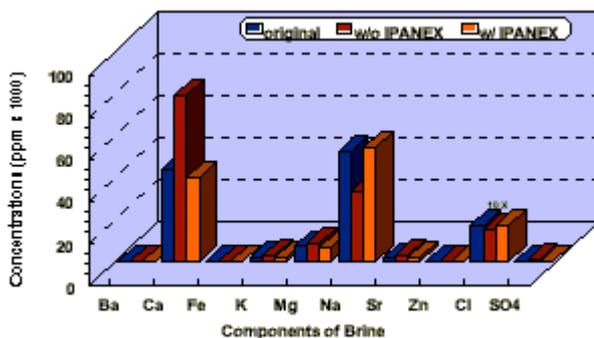


Abbildung 4

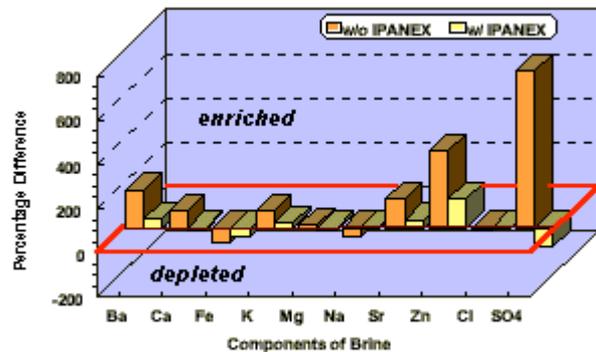


Abbildung 5

Abbildung 4 zeigt eine grafische Darstellung der Daten aus Tabelle 3. Aus dieser Tabelle und aus Abbildung 4 ist klar ersichtlich, dass der Kalziumanteil in der Lauge der Kontrollprobe deutlich gestiegen ist und dass die Lauge des IPANEX® Betons und deren Originallauge nahezu identische Konzentrationen von gelöstem Kalzium aufweisen.

Eine sorgfältige Auswertung der Daten in Abbildung 5 ergibt, dass in der Lauge der Kontrollprobe nicht nur Kalzium angereichert ist, sondern dass der Anteil aller Elemente bis auf Eisen, Natrium und Chlor, ebenfalls zugenommen hat. Die ausgewaschenen Elemente können nach ihren chemischen Reaktionen gegliedert werden. Unter den gegebenen Oxidationsbedingungen wandelt sich Eisen

schnell zu Eisenoxidhydroxid. Kalzium und Chlor können in den grossen Mengen von Natriumchloridsalzkristallen nachgewiesen werden, die sich an der Aussenseite der Kontrollprobe abgelagert haben.

Im Gegensatz dazu weist die Lauge des IPANEX® Betons nur geringe bis mittlere Anreicherungen auf, die mit den Elementen des Portland Zements in Verbindung gebracht werden können. Hierzu zählen beispielsweise Barium, Strontium und Zink. Die Hauptelemente des Zements entsprechen hingegen nahezu der Konzentration in der Originallauge.

Schlussfolgerungen



Die Sichtprüfung der beiden Betonelemente, die in Hocking County, Ohio, gemäss den OHIO DOT Spezifikationen entwickelt und geschüttet wurden, hat eindeutig ergeben, dass ungeschützter Beton unter Einwirkung von Spüllaugen schnell verwittert (siehe Abbildung 6). Diese Beobachtung wird durch die Analyse der für den Test verwendeten Lauge unterstützt. In der Lauge der Kontrollprobe wurden signifikante Konzentrationen der elementaren Betonbestandteile in Lösung nachgewiesen.

Die Haltbarkeit des Betons wird durch den Massetransport aggressiver, in Wasser gelöster Stoffe durch die Betonporen beeinflusst. Diese Poren machen die Gesamtporosität des Betons aus. Zu den die Verwitterung verursachenden aggressiven Stoffen zählen unter anderem Schwefelionen, Chlorionen, Sauerstoff und Kohlendioxid. In dem hier untersuchten Beispiel hat die Einwirkung von Chlorionen auf die Kontrollprobe zu einer raschen Verwitterung des Betons geführt, was wiederum die Abgabe chemischer Elemente an die umgebende Flüssigkeit zur Folge hatte. Hierbei wurden Kalziumionen aus der Kontrollprobe gelöst, sodass eine Veränderung des C-S-H erfolgte. Der Zustand des IPANEX® Zylinders sowie die kaum feststellbare Verwitterung (nachgewiesen durch die chemische Analyse der Spüllauge) lassen den Schluss zu, dass die Einwirkung von Chlorionen auf den IPANEX® Beton im Laufe dieser achteinhalbjährigen Studie stark verzögert wurde.

Die Haltbarkeit des Betons wird durch den Massetransport aggressiver, in Wasser gelöster



IPANEX® Beton, Abbildung 7, weist nur geringe Veränderungen auf. Ausserdem sind auch nach rund achteinhalb Jahren in einem korrosiven Laugenbad und unter Frosteinwirkung nur geringe Lösungsprozesse nachweisbar.

Quellennachweis:

IPA Systems, Inc. www.IPANEX.com/

© 2000, 2001