

Langzeitpenetrationsverhalten organischer Flüssigkeiten in Beton

Alexander Vogel¹

Abstract

The long-time penetration behaviour of organic liquids into concrete was analysed during a series of tests lasting one year. During the experiments 14 different liquids and several concrete mixtures including polymer cement concrete were tested. The results of this experiments and their valuation considering the tightness of concrete structures are shown in the following article.

Zusammenfassung

In einer einjährigen Versuchsreihe wurde das Langzeitpenetrationsverhalten von organischen Flüssigkeiten in Beton untersucht. Die Penetrationsversuche wurden mit 14 verschiedenartigen Flüssigkeiten an unterschiedlichen Betonen, unter anderem kunststoffmodifizierte Betone durchgeführt.

Im folgenden werden die Ergebnisse der Versuchsreihen dargestellt und im Hinblick auf die Dichtheit einer Betonkonstruktion bewertet.

1 Einführung

Durch die Einführung der DAfStb-Richtlinie "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen" [1] wurden erstmalig die baulichen Voraussetzungen für Betonbauteile ohne Oberflächenabdichtung beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen zur Erfüllung der wasserrechtlichen Anforderungen geregelt.

Durch verschiedene Nachweise (ungerissener Bereich, Druckzonennachweis, Rißbreitennachweis) kann die Dichtheit einer Konstruktion für eine jeweils definierte Dauer explizit nachgewiesen werden. Bestandteil aller Nachweismöglichkeiten ist der Nachweis der Eindringtiefe des wassergefährdenden Stoffes in das Betonbauteil.

Für den Havariefall wird in der Regel der Dichtheitsnachweis über eine Beaufschlagungsdauer von 72 h geführt. Für einen FD-Beton (flüssigkeitsdichter Beton) wird dazu in [1] eine Grenzlinie der Eindringtiefen in Abhängigkeit von Oberflächenspannung σ und Viskosität η der entsprechenden Flüssigkeit angegeben.

Wie verhält sich aber die Konstruktion im Beaufschlagungsfall, dessen Erkennung und Bewältigung nicht innerhalb von 72 h gewährleistet ist?

¹ Alexander Vogel, Institut für Statik, Technische Universität Darmstadt

Für längere Beaufschlagungszeiträume gibt zwar die Richtlinie [1] die Möglichkeit einer Extrapolation der Eindringtiefe vor, allerdings nur bis zu einer 10-fach längeren Zeit (z.B. 72h → 30 d) als durch Versuche abgedeckt.

$$e_{t,m} = e_{t_1,m} \sqrt{\frac{t}{t_1}} \quad \text{mit } t \leq 10 t_1 \quad (1.1)$$

Die Praxis zeigt jedoch, daß durch intermittierende Beaufschlagung z.B. an Tankstellen oder durch Dauertropfleckagen der Beton lokal über Zeiträume von mehreren Monaten oder Jahren einer Beaufschlagung ausgesetzt sein kann.

Um zu klären, wie sich das Eindringen in diesen Bereichen verhält und ob z.B. die Forderungen nach dauerhaft flüssigkeitsundurchlässigen und beständigen Abfüllplätzen mit dem Werkstoff Beton eingehalten werden können, wurden Penetrationsversuche bei Langzeitbeaufschlagungen mit einer Dauer bis zu einem Jahr durchgeführt.

2 Versuchsprogramm

2.1 Umfang der Versuche

Die Versuche wurden mit insgesamt 14 organischen Flüssigkeiten an 3 verschiedenen Betonen durchgeführt. Die Auswahl der Flüssigkeiten erfolgte unter dem Aspekt, ein möglichst hohes Maß an Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse zu erhalten, um so eine Abschätzung der Eindringtiefe für weitere Flüssigkeiten treffen zu können. Somit wurden neben den 4 Referenzflüssigkeiten der Richtlinie [1] n-Hexan, Ethanol, n-Butanol und Dichlormethan weitere acht Flüssigkeiten aus unterschiedlichen chemischen Gruppen ausgewählt.

Die verwendeten Betone wurden gemäß DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ entworfen. Es handelt sich hierbei um einen FD-Beton und zwei kunststoffmodifizierte FDE-Betone.

Die FDE-Betone wurden auf Grundlage der FD-Betonrezeptur entwickelt, so daß sich die Rezepturen lediglich durch ihren Kunststoffzementwert (k/z) unterschieden. Die eingesetzte Kunststoffdispersion auf Basis von Styrol und einem Acrylsäureester ist nach DIN 1045 als organischer Betonzusatzstoff zugelassen.

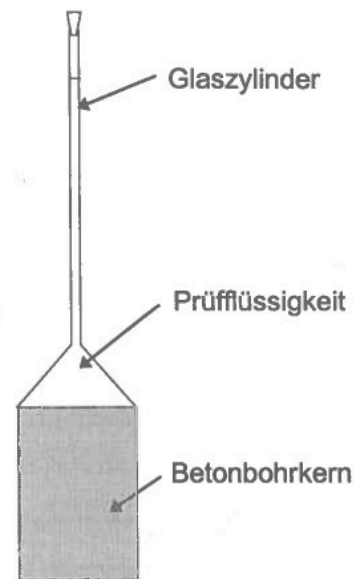
Die Herstellung der Versuchskörper erfolgte gemäß [1]. Die Bauteilhöhe der Proben betrug ca. 150 mm.

Prüfflüssigkeiten:

Anilin	Ethylacetat
Benzol	Ethylenglykol
n-Butanol	n-Hexan
Dichlormethan	n-Octan
Dieselmkraftstoff	Methylethylketon
Essigsäure	Ottokraftstoff
Ethanol	Tributylamin

Betone:

FD-Beton	FDE-Beton	FDE-Beton
B 35	B 35	B 35
w/z=0,45	w/z=0,45	w/z=0,45

Versuchsaufbau nach [1]**Abb. 1:** Versuchsaufbau und Parameter der Versuchsreihe

Aus den Beaufschlagungen über die Zeiträume von 144h, 3 Monaten, 6 Monaten und 12 Monaten konnten zum einen gesicherte Erkenntnisse über das Langzeitverhalten des Betons gewonnen werden, zum anderen wurde auch der Verlauf der Eindringtiefe sichtbar.

Durch die Hinzunahme der beiden kunststoffmodifizierten Betone in das Versuchsprogramm konnten neue Grenzlinien der Eindringtiefen gemäß den Vorgaben der Richtlinie [1] erstellt werden. Dabei war von Interesse, welche Unterschiede der kunststoffmodifizierte Beton gegenüber dem unmodifizierten Referenzbeton aufwies, und ob sich durch Anwendung dieser betontechnischen Maßnahme, der Kunststoffmodifizierung, die Sicherheit einer Anlage in Bezug auf Dichtheit bzw. die Betriebsdauer planmäßig erhöhen lässt.

2.2 Versuchsergebnisse

Aus den Versuchsergebnissen wurden zunächst die neuen Grenzlinien der Eindringtiefen für die beiden FDE-Betone gemäß [1] berechnet.

Die Eindringtiefen der 4 Referenzflüssigkeiten des FDE-Betons $e_{72m,FDE}$ sind hierbei den ermittelten Werten des FD-Betons $e_{72m,FD}$ gegenüberzustellen. Die neue Grenzlinie wird berechnet, indem die bestehende Grenzlinie aus der Richtlinie mit dem Abminderungsfaktor $0,25 \cdot \Sigma(e_{72m,FDE} / e_{72m,FD})$ multipliziert wird.

Prüfflüssigkeit	$\sqrt{\sigma/\eta}$ [$\sqrt{m/s}$]	Eindringtiefen $e_{72,m}$			rel. Abweichung $e_{72,m,FDE}/e_{72,m,FD}$	
		FD $k/z=0,000$	FDE $k/z=0,045$	FDE $k/z=0,068$	FDE $k/z=0,045$	FDE $k/z=0,068$
		[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
n-Butanol	2,89	13,4	2,8	2,8	0,21	0,21
Ethanol	4,35	12,7	7,1	5,7	0,56	0,45
n-Hexan	7,52	23,3	14,1	12,0	0,61	0,52
Dichlormethan	7,75	25,5	12,7	7,1	0,50	0,28
Abminderungsfaktor					0,46	0,36

Tab. 1: Berechnung der Abminderungsfaktoren für die neuen Grenzlinien der Eindringtiefen

Die Ergebnisse weisen Abminderungsfaktoren von 0,46 für den FDE-Beton mit einem Kunststoffanteil von 4,5% ($k/z=0,045$) bezogen auf das Zementgewicht bzw. von 0,36 für den FDE-Beton mit einem Kunststoffanteil von 6,8% ($k/z=0,068$) bezogen auf das Zementgewicht auf.

Damit ergeben sich die neuen Grenzlinien für die beiden Betone wie in Abbildung 2 dargestellt.

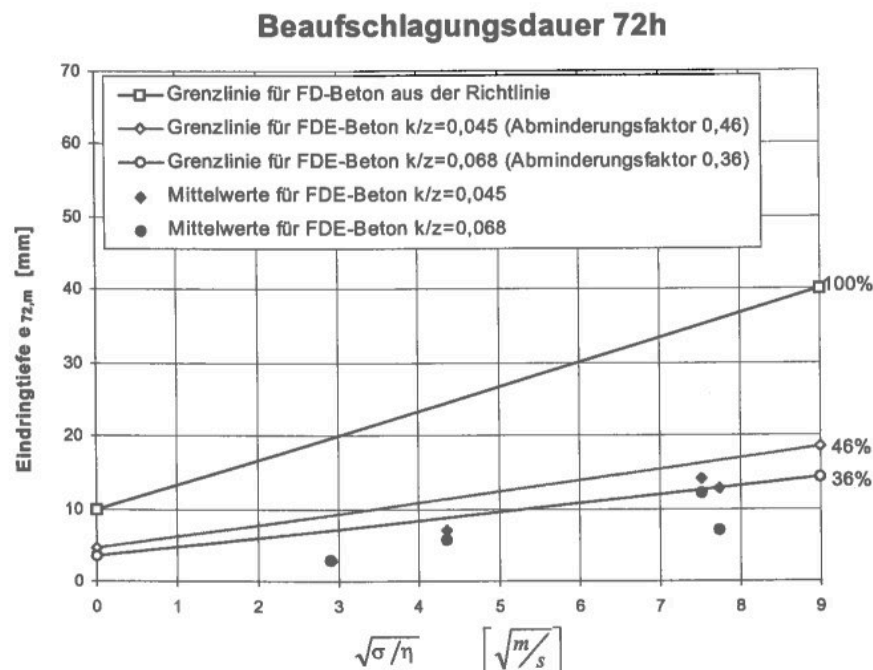
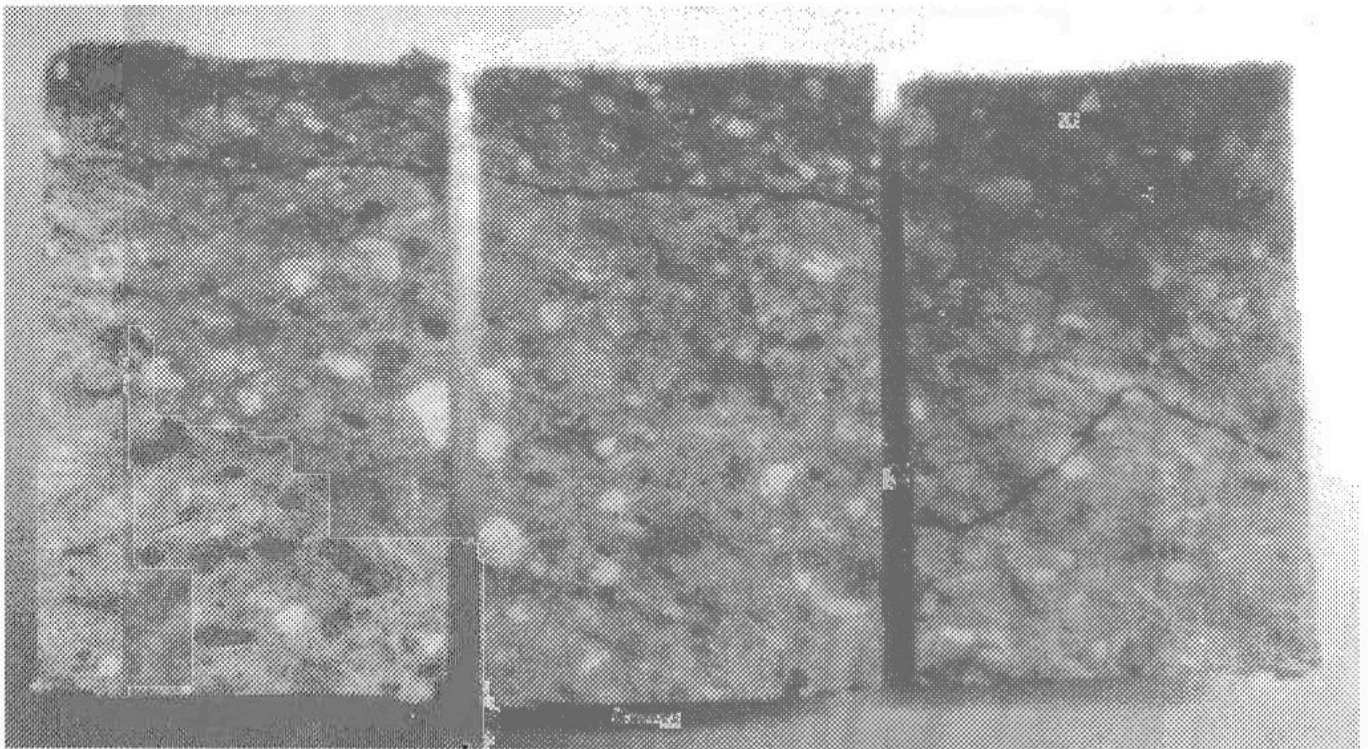


Abb. 2: Grenzlinien der Eindringtiefen für die FDE-Betone



FDE-Beton $k/z=0,068$ FDE-Beton $k/z=0,045$ FD-Beton $k/z=0,000$

Abb. 3: Eindringtiefen an gespaltenen Prüfkörpern nach 6monatiger Beaufschlagung mit Dieselkraftstoff

Betrachtet man nicht nur die 4 Referenzflüssigkeiten, sondern alle 14 geprüften Flüssigkeiten, so liegen die Eindringtiefen für den FDE-Beton mit $k/z=0,045$ im Mittel sogar bei nur ca. 40% bzw. für den FDE-Beton mit $k/z=0,068$ bei ca. 34% der Eindringtiefen für den FD-Referenzbeton.

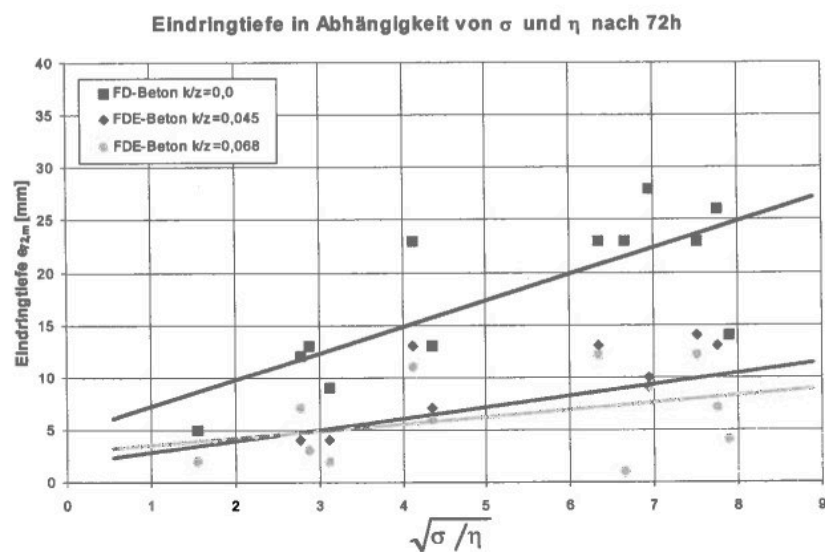


Abb. 4: Eindringtiefen aller geprüfter Flüssigkeiten nach 72 h

Exemplarisch für die Dauerbeaufschlagungen sind in Abbildung 5 die zeitlichen Verläufe der Eindringtiefen der 4 Referenzflüssigkeiten dokumentiert. Die Ergebnisse belegen, daß sich auch bei Beaufschlagungen über Zeiträume von bis zu einem Jahr die Kunststoffzugabe positiv auf die Dichtheit auswirkt. Die Verhältnisse der Eindringtiefen zwischen FD-Referenzbeton und den FDE-Betonen ändern sich nur unwesentlich in Abhängigkeit der Versuchsdauer.

Allerdings wird auch deutlich, daß bei einer Beaufschlagung mit n-Hexan und Dichlormethan die Probekörper vor Ablauf der einjährigen Beaufschlagung vollständig durchdrungen waren.

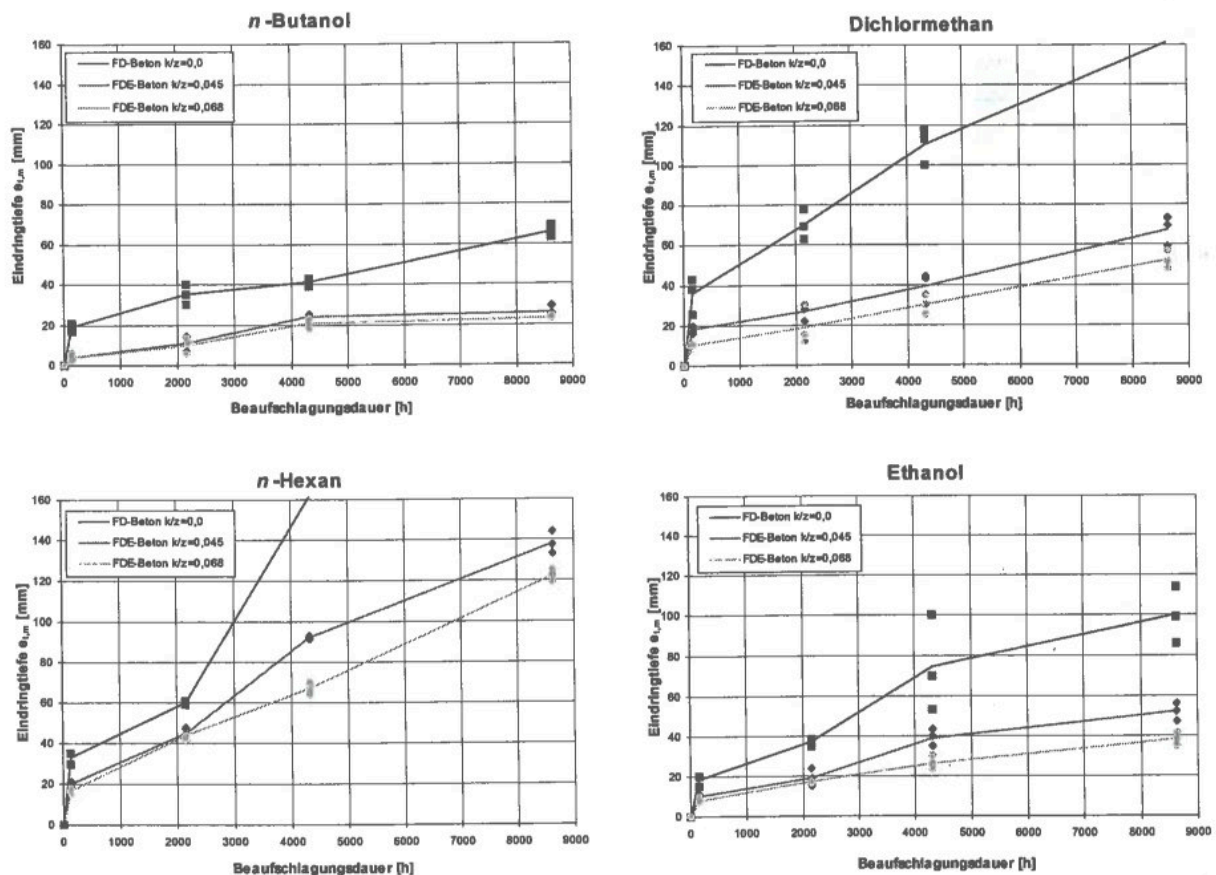


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Eindringtiefen für die untersuchten Betone

Diese Entwicklung zeigte sich noch bei weiteren Flüssigkeiten, die einen sehr großen $\sqrt{\sigma/\eta}$ -Wert aufweisen (z.B. Methyläthylketon).

Weitere Diagramme und eine ausführliche Dokumentation der Versuchsergebnisse sind im Abschlußbericht des Forschungsvorhabens [2] enthalten.

3 Zusammenfassung und Diskussion

Die Versuche zeigen, daß sich durch Langzeitbeaufschlagungen teilweise Eindringtiefen im Beton ergeben, die übliche Bauteildicken für Dichtflächen von 20 cm erreichen können. In erster Linie trifft dies für den FD-Beton zu, der bereits vor Ablauf der einjährigen Beaufschlagungen von einigen Flüssigkeiten (z.B. Methylethylketon, n-Hexan, Dichlormethan) durchdrungen wurde.

Gleichzeitig wird deutlich, daß durch betontechnische Maßnahmen, wie die hier dargestellte Modifizierung des Betons mittels einer Kunststoffdispersion, die Eindringtiefen deutlich reduziert werden können. Der Effekt dieser Reduzierung ist damit zu erklären, daß die Polymerteilchen aufgrund ihrer Größe das Porenvolumen im Beton günstig beeinflussen und durch Grenzflächenreaktionen mit der eindringenden Flüssigkeit aufquellen und das Betongefüge somit dichter machen.

Insgesamt läßt sich jedoch festhalten, daß der Verlauf der Eindringtiefe bei allen Flüssigkeiten flacher verlief, als es eine Extrapolation mit dem $\sqrt{t}$ -Gesetz nach Gl. 1.1 erwarten ließe.

4 Literatur

- [1] DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, Ausgabe 9/1996, Beuth Verlag Berlin
- [2] Eindringverhalten organischer Flüssigkeiten in Beton, Forschungsbericht des Instituts für Statik, TU Darmstadt 1997
- [3] Deutsches Institut für Bautechnik, Bauaufsichtliche Zulassung für den Betonzusatzstoff Mowilith LDM 6880
- [4] Römpp, Chemie-Lexikon, Band 1-7, 9. Auflage, Thieme Verlag, 1989 ff.