

Die Schalungstechniker.

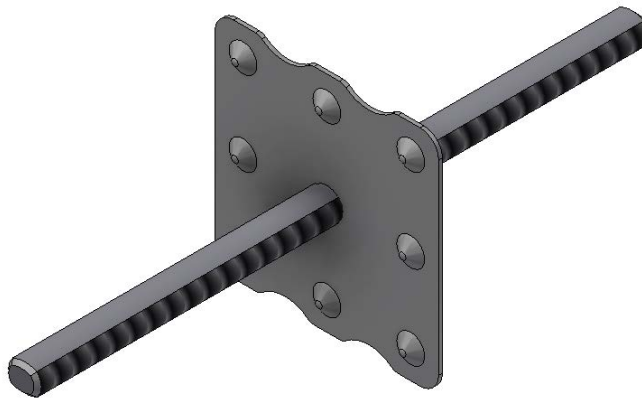
Wassersperre 15,0 **Wassersperre G 15,0**

Art.-Nr.: 581818000

Prüfbericht

Gasundurchlässigkeit

00 25 79 0126/1



Prüfungsbericht

Auftraggeber: Doka Industrie GmbH
Reichsstraße 23

A - 3300 Amstetten

Betreff: Prüfung der Gasdurchlässigkeit von Betonen mit
einbetonierten Schalungsankern
Wassersperre 15,0
Wassersperre G 15,0

Bericht Nr.:	00 25 79 0126/1	Datum:	22.01.2001
Bearbeiter:	Dr.-Ing. U. Guse	Textseiten:	11
Durchwahl:	608-3894	Anlagen:	4

ausgeliefert: 2fach: Doka Industrie GmbH, A - 3300 Amstetten
1fach: Institut für Massivbau und Baustofftechnologie

Postanschrift:	Institut für Massivbau und Baustofftechnologie · Universität Karlsruhe Postfach 6980 · 76128 Karlsruhe	Fernsprecher:	(0721) 608-2277 (Massivbau) (0721) 608-3890 (Baustofftechnologie)
Lieferanschrift:	Gotthard-Franz-Straße 2 · 76131 Karlsruhe	Telefax:	(0721) 608-8400

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.
Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Genehmigung des Instituts.

1 Vorgang

Mit Schreiben vom 09.02.2000 bzw. Bestellung vom 11.02.2000 beauftragte die Doka Industrie GmbH das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe (TH) mit der Prüfung der Gasdurchlässigkeit von Betonen mit einbetonierten Schalungsankern der Typen *Wassersperre 15,0* und *Wassersperre G 15,0*.

Im Schreiben vom 18.10.2000 beauftragte die Doka Industrie GmbH das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe (TH) mit weiteren Prüfungen der Gasdurchlässigkeit nach einer verlängerten Lagerungszeit der Prüfkörper.

2 Prüfmaterial und Prüfprogramm

Am 30.03.2000 lieferte der Auftraggeber 6 Schalungen mit den Innenabmessungen von 1645 mm x 150 mm x 600 mm für die Herstellung von Modellwänden an. In jeweils 3 Schalungen waren eingebaut:

- 3 x 5 *Wassersperren 15,0* und 3 x 5 Ankerstäbe 15,0 mm, verzinkt,
- 3 x 5 *Wassersperren G 15,0* und 3 x 5 Ankerstäbe 15,0 mm, unbehandelt.

In der Anlage 1 und der Anlage 2, Bilder 1 - 3, ist der Aufbau der Schalungen mit den Schalungsankern dargestellt.

Die zu untersuchenden Schalungsanker sind wie folgt zu beschreiben:

- *Wassersperre 15,0* besteht aus einem unbehandelten Ankerstab 15,0 mm (Gewindenockenstab) und einer mittig aufgeklebten (Epoxidharz) Faserzementscheibe mit einem Durchmesser von 70 mm und einer Dicke von 20 mm (vgl. Anlage 2, Bild 1),
- *Wassersperre G 15,0* besteht aus einem unbehandelten Ankerstab 15,0 mm (Gewindenockenstab) und einer mittig aufgeschweißten, unbehandelten, profilierten Blechplatte der Abmessungen 120 mm x 120 mm x 2 mm (vgl. Anlage 2, Bild 2).

Das vereinbarte Prüfprogramm gliedert sich in:

- einbetonieren der *Wassersperre 15,0* und der *Wassersperre G 15,0* in jeweils 3 verschiedene Betone,
- Charakterisierung der eingesetzten 3 Betone (Frisch- und Festbetoneigenschaften),
- Bestimmung der Porenstruktur des Faserzements für die *Wassersperre 15,0* mittels Quecksilberdruckporosimetrie auf der Grundlage des Verfahrens im DAfStb-Heft Nr. 422 (Prüfung von Beton - Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048, Beuth Verlag, 1991), Abschnitt 4.3.5,
- Prüfung der Gasdurchlässigkeit an Proben mit und ohne Schalungsankern gemäß DAfStb-Heft Nr. 422, Abschnitt 3.6, nach Lagerung im Klima DIN 50 014-2/65-2 bis zum Probenalter von 70 Tagen bzw. 210 Tagen.

3 Prüfkörperherstellung und Lagerung

Am 31.03.2000 wurden insgesamt 6 Modellwände aus 3 Betonen hergestellt. Ihre Zusammensetzung enthält Tabelle 1. Im Anschluss an das Betonieren lagerten die abgedeckten Schalungen (PE-Folie) zunächst 7 Tage bei ca. 20 °C. Am 7. Tag wurden die Modellwände entschalt und im Klima DIN 50 014-20/65-2 aufgestellt. Innerhalb des Zeitraumes vom 28. - 42. Tag wurden insgesamt 54 Bohrkern mit einem Durchmesser von 151 - 152 mm aus den Modellwänden so entnommen, dass die herausragenden Ankerstäbe jeweils die Bohrachse bildeten (vgl. Anlage 1 und Anlage 2, Bilder 5 und 6). Der obere ankerfreie Bereich der Modellwände diente der Entnahme von Bohrkernen für Vergleichsproben (ungestörter Beton). Aus den entnommenen Bohrkernen (Länge 150 mm) sägte man mittig Scheiben mit einer Dicke von 49 - 52 mm so, dass die *Wassersperre 15,0* bzw. die *Wassersperre G 15,0* stets in der Mitte des Prüfkörpers für die Bestimmung der Gasdurchlässigkeit lag. Gleiches erfolgte auch mit den Bohrkernen aus dem ankerfreien ungestörten Beton sowie mit den Bohrkernen, in deren Längsachse ein Ankerstab (unbehandelt bzw. verzinkt) ohne Barriere lag (Bilder 7 und 8 in der Anlage 2). Nach dieser Probenpräparation wurden die zylindrischen Mantelflächen der Prüfkörper (Scheiben mit einem Durchmesser von 151 - 152 mm und einer Dicke von 49 - 52 mm aus dem Mittelbereich der Modellwände) mit einer dicht anliegenden PE-Folie umhüllt. Die Prüfkörper lagerten so über einen Zeitraum von weiteren 28 Tagen auf der Mantelfläche stehend im Klima DIN 50 014-20/65-2 bis zum Beginn der 1. Prüfsérie der Gasdurchlässigkeit (Probenalter: 70 Tage).

Nach den Prüfungen wurden sämtliche Proben wiederum im Klima DIN 50 014-20/65-2, allerdings ohne Abdichtungen der zylindrischen Mantelflächen, eingelagert (Bild 9 in der Anlage 2), um eine weitere Trocknung bzw. einen Feuchteausgleich im Probenquerschnitt zu ermöglichen.

Die 2. Prüfsérie sämtlicher Proben begann im Probenalter von 210 Tagen.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Betone für die Herstellung der Modellwände

Komponenten	Herkunft/Bezeichnung	Dichte [kg/dm ³]	Beton Nr.		
			1	2	3
Zement [kg/m ³]	CEM I 32,5 R Heidelberger Zement, Leimen	3,15	270	330	420
Wasser [kg/m ³]	Karlsruher Leitungswasser	1,00	162	165	147
Fließmittel [Masse-% bez. Zement]	FM26 Woermann	1,18	-	0,59	1,83
Zuschlag [kg/m ³]	Rheinsand und Rheinkies mit der Sieblinie AB 16 (vgl. Anlage 3)	2,63	1932	1874	1846
Wasserzementwert ¹⁾ [-]	-		0,6	0,5	0,36

¹⁾ unter Anrechnung des Wasseranteils im Fließmittel

4 Prüfungen und Ergebnisse

4.1 Kennwerte des Frisch- und Festbetons

Die Bestimmung der Frischbetonkennwerte erfolgte gemäß DIN 1048-1: 1991.06 und die Prüfungen des Festbetons gemäß DIN 1048-5: 1991.06. In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse (Mittelwerte von 3 Einzelwerten) zusammengestellt.

Für die Ermittlung der Porenverteilung der Betone und des Faserzements der *Wassersperre 15,0* dienten Kleinbohrkerne mit einem Durchmesser von 15 mm und einer Länge von ca. 20 mm. Die Bohrkern aus den Betonen wurden in der Mitte der Modellwände entnommen. Vor der Untersuchung trockneten die Proben bei $(110 \pm 3)^\circ\text{C}$. Das angewandte Verfahren der Quecksilberdruckporosimetrie ist im DAfStb-Heft Nr. 422, Abschnitt 4.3.5, beschrieben. Die Ergebnisse sind in der Anlage 4 dargestellt.

Tabelle 2: Frisch- und Festbetonkennwerte der Modellwände

Kennwerte	Beton Nr.		
	1	2	3
Frischbeton			
Ausbreitmaß a_{10} [cm]	37	39	40
Rohdichte [kg/dm ³]	2,356	2,368	2,406
Luftgehalt [Vol.-%]	1,8	2,2	2,2
Festbeton im Alter von 28 Tagen			
Rohdichte [kg/dm ³]	2,335	2,345	2,369
Druckfestigkeit:			
· Würfel, a = 150 mm [N/mm ²]	46,7	54,2	67,0
· Zylinder, $\varnothing$ = 150 mm und h = 300 mm [N/mm ²]	39,2	49,6	59,8
statischer E-Modul:			
· Zylinder, $\varnothing$ = 150 mm und h = 300 mm [N/mm ²]	27265	29000	30765
Porenstruktur (Quecksilberdruckporosimetrie):			
erfasste Porenvolumen [Vol.-%]	13,5	12,0	9,7
Maximum in der Porenradienverteilung [µm]	0,055	0,044	0,033

4.2 Bestimmung der Gasdurchlässigkeit

Die Bestimmung der Gasdurchlässigkeit erfolgte gemäß dem im DAfStb-Heft Nr. 422, Abschnitt 3.6, beschriebenen Verfahren im Anschluss an die im Abschnitt 4.3 des Prüfungsberichtes dargestellte Probenvorbereitung und -lagerung. Der Zeitraum, innerhalb dessen die Prüfungen ausgeführt wurden, umfasste ca. 14 Tage.

Als Prüfgas diente Sauerstoff (Reinheit: $O_2 > 99,995$ Vol.-%), der mit den Eingangsdruckstufen von 1,5; 2,5 und 3,0 bar (absolut) auf die Probe einwirkte (Prüfung bei steigendem Druck). Bei jeder Druckstufe wurden 3 Messungen (durchströmtes Gasvolumen und Zeit) durchgeführt. Der Druck, mit der die Manschette zur Abdichtung der Proben in der Prü fzelle (Mantelfläche) beaufschlagt wurde, betrug 9 bar.

Berechnet wird der Permeabilitätskoeffizient K [m^2] nach folgender Gleichung (1).

$$K = \eta \cdot \frac{Q \cdot h}{A} \cdot \frac{2p_{at}}{p_e^2 - p_a^2} \quad (1)$$

In der Gleichung (1) bedeuten:

- η = Viskosität des Prüfgases [$N \cdot s/m^2$]
Sauerstoff bei 20 °C: $2,02 \cdot 10^{-5}$
- Q = Durchflussrate des Prüfgases [m^3/s]
- h = Probenhöhe [m]
- A = Prüffläche [m^2]
- p_{at} = Atmosphärendruck [N/m^2]
- p_e = Eingangsdruck des Prüfgases, absolut [N/m^2]
- p_a = Ausgangsdruck des Prüfgases, absolut [N/m^2]

In der Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Gasdurchlässigkeitsprüfungen - 1. Prüfsérie, Untersuchungsbeginn im Probenalter von 70 Tagen
Die Permeabilitätskoeffizienten sind in der Tabelle angegeben in: Zahlenwert $\cdot 10^{-18} \text{ m}^2$

Ankertyp	p_e [bar]	Beton Nr. 1					Beton Nr. 2					Beton Nr. 3							
		Probe Nr.					Probe Nr.					Probe Nr.							
		1	2	3	4	5	Mittel	1	2	3	4	5	Mittel	1	2	3	4	5	Mittel
ohne (Nullprobe)	1,5	16,4	13,0	21,0	22,7	-	18,3	8,5	9,9	21,2	11,4	-	12,8	23,0	10,2	5,7	17,6	-	14,1
	2,5	11,8	10,5	18,1	17,6	-	14,5	6,3	7,2	14,7	8,9	-	9,3	16,1	8,4	4,8	11,9	-	10,3
	3,0	10,7	10,1	16,9	16,8	-	<u>13,6</u> 15,5	4,8	6,9	13,7	8,5	-	<u>8,5</u> 10,2	14,9	7,7	4,5	11,0	-	<u>9,5</u> 11,3
Wassersperre G 15,0	1,5	11,9	27,7	24,9	13,8	23,3	20,3	25,3	32,4	29,5	73,6	105	53,1	10,4	12,3	19,0	31,3	25,9	19,8
	2,5	10,3	22,5	24,5	11,0	15,6	16,8	21,2	32,9	22,3	67,4	94,5	47,6	8,6	9,2	14,7	28,4	16,8	15,5
	3,0	9,8	22,4	19,0	10,5	14,4	<u>15,2</u> 17,5	21,2	34,5	21,2	67,6	90,4	47,0	7,8	8,8	14,2	28,7	16,3	<u>15,2</u> 16,8
Wassersperre 15,0	1,5	32,4	16,2	36,3	30,4	45,5	32,1	10,7	25,1	10,1	19,4	24,3	17,9	29,6	24,7	22,3	90,1	25,1	38,4
	2,5	27,3	12,7	26,6	30,1	29,5	25,2	8,5	21,8	8,5	16,1	16,9	14,4	21,7	20,9	16,3	86,7	17,0	32,5
	3,0	26,2	11,9	25,4	29,3	28,4	<u>24,2</u> 27,2	8,1	16,6	8,2	15,8	15,8	<u>12,9</u> 15,0	20,5	21,4	15,6	85,8	16,0	<u>31,8</u> 34,2
Ankerstab, unbehandelt	1,5	337	86,7	-	-	-	212	269	89,3	-	-	-	179	66,4	20,6	-	-	-	43,5
	2,5	313	87,9	-	-	-	200	263	79,8	-	-	-	171	60,4	12,7	-	-	-	36,5
	3,0	314	93,8	-	-	-	<u>204</u> 205	260	82,1	-	-	-	<u>171</u> 174	61,1	11,7	-	-	-	<u>36,4</u> 38,8
Ankerstab, verzinkt	1,5	172	80,2	-	-	-	126	270	291	-	-	-	281	9,3	23,5	-	-	-	16,4
	2,5	173	87,6	-	-	-	130	288	245	-	-	-	266	7,5	15,8	-	-	-	11,6
	3,0	264	113	-	-	-	<u>188</u> 148	319	236	-	-	-	<u>277</u> 275	7,1	14,6	-	-	-	<u>10,8</u> 13,0

Tabelle 4: Ergebnisse der Gasdurchlässigkeitsprüfungen - 2. Prüfsreihe, Untersuchungsbeginn im Probenalter von 210 Tagen
Die Permeabilitätskoeffizienten sind in der Tabelle angegeben in: Zahlenwert $\cdot 10^{-18} \text{ m}^2$

Ankertyp	p ₀	Beton Nr. 1					Beton Nr. 2					Beton Nr. 3							
		Probe Nr.					Probe Nr.					Probe Nr.							
		1	2	3	4	5	Mittel	1	2	3	4	5	Mittel	1	2	3	4	5	Mittel
ohne (Nullprobe)	1,5	42,2	25,4	31,7	46,1	-	36,3	24,6	15,6	14,2	23,5	-	19,5	13,9	18,8	18,4	8,8	-	15,0
	2,5	26,9	18,0	22,2	28,5	-	23,9	17,5	10,2	11,0	18,9	-	14,4	8,1	14,4	9,9	6,3	-	9,7
	3,0	28,9	19,3	24,6	31,0	-	<u>26,0</u>	18,3	10,7	11,8	20,9	-	<u>15,5</u>	9,1	16,8	10,3	6,8	-	<u>10,8</u>
							28,7						16,4						11,8
Wassersperre G 15,0	1,5	65,6	65,4	38,1	34,5	18,1	44,3	82,7	81,8	41,1	151	231	118	27,9	88,1	17,8	56,8	19,1	41,9
	2,5	35,3	59,0	31,5	28,3	15,2	33,9	65,5	70,8	37,5	127	201	100	20,9	32,8	14,8	53,4	14,5	27,2
	3,0	39,4	68,2	31,9	44,9	16,1	40,1	75,6	86,3	43,0	144	231	116	23,9	281	15,8	70,7	16,3	81,6
							39,4						111						50,3
Wassersperre 15,0	1,5	64,0	40,0	56,8	55,7	37,2	50,7	26,1	24,3	18,9	28,2	18,5	23,2	17,2	30,6	12,9	109	5,0	34,7
	2,5	49,2	30,7	38,8	43,0	31,9	38,7	16,7	17,6	14,6	23,7	13,1	17,2	17,7	23,2	10,1	93,4	5,9	30,0
	3,0	54,6	33,7	42,1	46,6	35,9	42,6	17,8	19,3	19,0	26,2	14,3	19,3	19,6	26,1	11,0	111	7,6	35,1
							44,0						19,9						33,3
Ankerstab, unbehandelt	1,5	314	172	-	-	-	243	289	126	-	-	-	207	79,0	8,8	-	-	-	43,9
	2,5	244	139	-	-	-	191	256	115	-	-	-	186	66,7	6,6	-	-	-	36,7
	3,0	250	154	-	-	-	202	289	151	-	-	-	220	75,7	6,9	-	-	-	41,3
							212						204						40,6
Ankerstab, verzinkt	1,5	478	165	-	-	-	322	390	227	-	-	-	309	8,0	9,8	-	-	-	8,9
	2,5	523	182	-	-	-	353	347	176	-	-	-	262	10,9	7,0	-	-	-	9,0
	3,0	619	213	-	-	-	416	424	191	-	-	-	307	13,2	7,5	-	-	-	10,3
							363						293						9,4

5 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

5.1 Ergebnisse der 1. Prüfsérie

Die Schalungsanker *Wassersperre G 15,0* und *Wassersperre 15,0* wurden in Modellwände aus 3 verschiedenen Betonen einbetoniert. Die Kennwerte dieser Betone sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Daraus ist zu entnehmen, dass die Frischbetone eine vergleichbare plastische Konsistenz KP nach DIN 1045 (Ausbreitmaß 37 - 40 cm) aufwiesen. Deutliche Unterschiede bestehen in den Festbetoneigenschaften, so wie dies bei den gewählten Wasserzementwerten von 0,6, 0,5 und 0,36 zu erwarten ist. Die Zylinderdruckfestigkeit im Alter von 28 Tagen der Betone staffelt sich in die Stufen: ca. 40 N/mm² (Beton Nr. 1), ca. 50 N/mm² (Beton Nr. 2) und ca. 60 N/mm² (Beton Nr. 3). Auch die Porenstruktur der Betone, die als wesentliche Einflussgröße auf die Gasdurchlässigkeit anzusehen ist, weist sowohl hinsichtlich des mittels Quecksilberdruckporosimetrie erfassbaren Porenvolumens (13,5 Vol.-% für Beton Nr. 1, 12,0 Vol.-% für Beton Nr. 2, 9,7 Vol.-% für Beton Nr. 3) als auch der Lage des Maximums in der Porenradienverteilung (0,055 µm für Beton Nr. 1, 0,044 µm für Beton Nr. 2, 0,033 µm für Beton Nr. 3) eine ausgeprägte Abstufung auf. Die Lage des Maximums in der Porenradienverteilung wird dabei maßgebend vom Wasserzementwert beeinflusst. Eine Darstellung der Ergebnisse der Porenstrukturuntersuchungen enthält die Anlage 4. In dieser Anlage 4 ist auch das Ergebnis der Porenstrukturuntersuchung an der Faserzementscheibe, die für die *Wassersperre 15,0* verwendet wird, enthalten. Es zeigt sich ein Maximum in der Porenradienverteilung bei ca. 0,030 µm sowie ein zweiter Peak bei ca. 2 - 3 µm, der z. B. aus herstellungsbedingten Lufteinschlüssen resultieren kann. Das erfasste Porenvolumen beträgt 23,5 Vol.-%, was für dieses Material (Faserzement) als typischer Wert anzusehen sein dürfte.

Aus den Ergebnissen der Gasdurchlässigkeitsprüfungen mit dem Prüfgas Sauerstoff, die in der Tabelle 3 in Form der Permeabilitätskoeffizienten [$\cdot 10^{-18} \text{ m}^2$] zusammengestellt sind, ist der Einfluss der Wassersperren und Ankerstäbe ohne zusätzliche Barrieren abzulesen. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass die Werte generell relativ hohen Streuungen unterliegen. Dies hat dazu geführt, dass man Permeabilitätskoeffizienten von Betonen vorrangig im Rahmen ihrer Größenordnung (Zehnerpotenz) betrachten und auch bewerten sollte.

Von dieser Verfahrensweise soll bei der vorliegenden Aufgabenstellung auch nicht prinzipiell abgewichen werden, dennoch erscheint auch eine differenziertere Betrachtung der Ergebnisse als gerechtfertigt. Folglich ist zunächst festzustellen, dass die Mittelwerte der Nullproben und der Proben mit der *Wassersperre 15,0* und der *Wassersperre G 15,0* bei sämtlichen untersuchten Betonen innerhalb der gleichen Größenordnung (10^{-17} m^2) liegen. Demgegenüber sind die Werte der Proben mit Ankerstäben ohne Barriere bei den Betonen Nr. 1 und Nr. 2 um eine Größenordnung höher (10^{-16} m^2), d. h. diese Proben sind durchlässiger für das Prüfgas. Anders verhält es sich bei dem Beton Nr. 3, der mit einem Wasserzementwert von 0,36 hergestellt wurde. Die Proben mit den Ankerstäben ohne Barriere erreichen auch hier die Größenordnung (10^{-17} m^2) der Nullproben bzw. der Proben mit der *Wassersperre 15,0* bzw. der *Wassersperre G 15,0*. Dies ist als Resultat der verringerten Kontaktzonenporosität im Bereich zwischen der Stahloberfläche und der Betonmatrix zu werten und als charakteristische Eigenschaft von Betonen mit niedrigem Wasserzementwert ($< 0,4$) anzusehen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Tabelle 3 differenzierter so lässt sich zumindest für den Beton Nr. 1 und mit einer Einschränkung (Ankerstab, verzinkt) auch für den Beton Nr. 3 eine eindeutige Staffellung des Einflusses, den die jeweiligen Ankertypen auf die Gasdurchlässigkeit ausüben, angeben. Diese kann, ausgehend vom jeweiligen Wert der ungestörten Nullprobe, der von keiner der Proben mit einem Anker unterschritten wird, in der Reihenfolge zunehmender Gasdurchlässigkeit wie folgt vorgenommen werden:

- *Wassersperre G 15,0* (Ankerstab mit quadratischem Blech),
- *Wassersperre 15,0* (Ankerstab mit Faserzementscheibe),

- Ankerstab, verzinkt,
- Ankerstab, unbehandelt.

Der Unterschied zwischen den Wassersperren liegt offenbar im Material, aus dem die Barriere gefertigt ist, begründet. Die Faserzementscheibe ist gegenüber dem Blech selbst porös und folglich gasdurchlässig. Bei den Ankerstäben ohne Barriere ist die Reaktion des Zinks mit der alkalischen Porenlösung des Betons als Ursache für die geringere Gasdurchlässigkeit des verzinkten Ankers gegenüber dem unbehandelten Anker anzusehen.

Das die o. g. Einordnung der untersuchten Typen von Schalungsankern nicht auch bei dem Beton Nr. 2 zu beobachten war, kann auf einen speziellen Aspekt, der bei Untersuchungen der Gasdurchlässigkeit von Betonen zu beachten und von erheblichem Einfluss auf das Messergebnis ist, zurückgeführt werden. Dieser Aspekt besteht im Feuchtegehalt und der Feuchteverteilung im Betonquerschnitt. Auch nach der im vorliegenden Fall realisierten Vorlagerung der Proben bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte über einen Zeitraum von mindestens 9 Wochen (vgl. Abschnitt 3) ist davon auszugehen, dass sich noch kein konstanter Ausgleichsfeuchtezustand über den gesamten Prüfkörperquerschnitt einstellte. Das Messergebnis wird folglich neben der Betonstruktur und den enthaltenen Schalungsankern auch durch den Feuchtegehalt im Porenraum bestimmt. Ist dieser bei sämtlichen Prüfkörpern nicht einheitlich, so kann der zu untersuchende Einfluss der Schalungsanker deutlich verfälscht werden. Dies ist auch im Hinblick auf die Permeabilitätskoeffizienten der drei Betone mit deutlich verschiedenen Wasserzementwerten, die sich nur unwesentlich unterscheiden, von erheblicher Bedeutung.

Als Konsequenz aus dem beschriebenen Einfluss der Betonfeuchte auf das Ergebnis von Gasdurchlässigkeitsmessungen ist abzuleiten, dass die Proben zu einem späteren Zeitpunkt, z. B. nach Lagerung über mindestens weitere 12 Wochen bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte, noch einmal geprüft werden sollten (Anfang Oktober 2000).

5.2 Ergebnisse der 2. Prüfserie

Zwischen der 1. und der 2. Prüfserie lagerten die Proben weitere 20 Wochen bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte (Klima DIN 50 014-20/65-2). Infolge von Feuchtetransportprozessen (Wasserdampfdiffusion) konnte sich im Probenquerschnitt eine gleichmäßigere Feuchteverteilung gegenüber dem Zustand der Proben zum Zeitpunkt der 1. Prüfserie einstellen.

Aus den Ergebnissen der Tabelle 4 (2. Prüfserie) ist zu erkennen, dass die Gasdurchlässigkeit der Proben, die aus dem Beton Nr. 1 (Wasserzementwert 0,6) und dem Beton Nr. 2 (Wasserzementwert 0,5) hergestellt wurden, wie zu erwarten war, ansteigt. Bei dem Beton Nr. 3 (Wasserzementwert 0,36) sind sowohl höhere als auch niedrigere Gasdurchlässigkeiten festzustellen. Die Werte der ungestörten Nullproben ohne Anker liegen bei den Betonen Nr. 1 und Nr. 2, so wie in der 1. Prüfserie auch, unter denen der Proben mit den verschiedenen Ankertypen. Beim Beton Nr. 3 ergaben sich für die Proben mit einem verzinkten Ankerstab sogar Werte unterhalb der Vergleichsprobe.

Einen Überblick über die prozentualen Veränderungen der Gasdurchlässigkeit in der 2. Prüfserie gegenüber der 1. Prüfserie (Anstieg bzw. Abnahme) gibt die nachfolgende Tabelle 5.

Tabelle 5: Prozentuale Veränderungen der Gasdurchlässigkeit in der 2. Prüfserie gegenüber der 1. Prüfserie

Ankertyp	Beton Nr. 1	Beton Nr. 2	Beton Nr. 3
ohne (Nullprobe)	+ 85 %	+ 61 %	+ 4 %
<i>Wassersperre G 15,0</i>	+ 123 %	+ 126 %	+ 199 %
<i>Wassersperre 15,0</i>	+ 62 %	+ 33 %	- 3 %
Ankerstab, unbehandelt	+ 3 %	+ 17 %	+ 5 %
Ankerstab, verzinkt	+ 145 %	+ 7 %	- 28 %

Aus der Tabelle 5 ist abzulesen, dass die größten Veränderungen bei sämtlichen untersuchten Betonen die Proben mit der *Wassersperre G 15,0* (Ankerstab mit quadratischem Blech) zeigen. Die geringsten Änderungen traten bei den Proben mit einem unbehandelten Ankerstab auf.

Hinsichtlich der Staffelung des Einflusses, den die jeweiligen Ankertypen auf die Gasdurchlässigkeit ausüben, ergeben sich Änderungen gegenüber der 1. Prüfserie. In der nachfolgenden Tabelle 6 ist auf der Basis der Ergebnisse der 2. Prüfserie eine Reihenfolge angegeben, in der die verschiedenen Ankertypen eine zunehmende Gasdurchlässigkeit bewirken.

Tabelle 6: Reihenfolge des Einflusses der Ankertypen auf die Gasdurchlässigkeit
(1 = geringste Erhöhung, 4 = stärkste Erhöhung)

Ankertyp	Beton Nr. 1	Beton Nr. 2	Beton Nr. 3
<i>Wassersperre G 15,0</i>	1	2	4
<i>Wassersperre 15,0</i>	2	1	2
Ankerstab, unbehandelt	3	3	3
Ankerstab, verzinkt	4	4	1

6 Zusammenfassung

Im Auftrag der Doka Industrie GmbH wurden Gasdurchlässigkeitsmessungen an drei verschiedenen Betonen mit Schalungsankern der Typen *Wassersperre 15,0* und *Wassersperre G 15,0* sowie an entsprechenden Proben ohne Schalungsanker vorgenommen.

Die im Abschnitt 4 des Prüfungsberichtes zusammengestellten Ergebnisse der 1. Prüfserie im Probenalter von 70 Tagen (Tabelle 3) zeigen, dass insbesondere durch die *Wassersperre G 15,0* (Ankerstab mit aufgeschweißtem quadratischen Blech) eine Erhöhung der Gasdurchlässigkeit gegenüber einer ankerfreien Betonprobe (Nullprobe) bei zwei der drei untersuchten Betone praktisch vernachlässigbar (Faktor 1,1 ... 1,5) ist. Für die *Wassersperre 15,0* (Ankerstab mit aufgeklebter Faserzementscheibe) wurden Permeabilitätskoeffizienten ermittelt, die um den Faktor 1,5 ... 3 über dem Wert der entsprechenden Nullprobe liegen. Bei Proben mit Ankern ohne *Wassersperre* ist ein Einfluss des Wasserzementwertes der Betone festzustellen. Eine Erhöhung der Gasdurchlässigkeit um eine Größenordnung (Faktor 10)

ergaben Proben mit Ankern ohne Wassersperre in Betonen mit einem Wasserzementwert von 0,6 und 0,5. Demgegenüber lagen die Permeabilitätskoeffizienten bei dem Beton mit einem Wasserzementwert von 0,36, in dem sich Anker ohne Wassersperre befanden, im Bereich der ankerfreien Betone bzw. der Proben mit den Wassersperren.

Aufgrund des bedeutsamen Einflusses des Feuchtegehaltes der Proben auf das Messergebnis (Permeabilitätskoeffizient) wurden ergänzende Messung an den Proben nach einer verlängerten Lagerung bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte durchgeführt. Diese Ergebnisse der 2. Prüfsérie enthält die Tabelle 4 des Prüfungsberichtes. Daraus ist zu erkennen, dass die *Wassersperre G 15,0* zu einer Erhöhung der Gasdurchlässigkeit um einen Faktor von 1,4 ... 6,8 und die *Wassersperre 15,0* zu einer Erhöhung um einen Faktor von 1,2 ... 2,8 jeweils gegenüber der Nullprobe bei den drei untersuchten Betonen führt. Dementsprechend sowie aus dem Vergleich der beiden Prüfserien (Tabelle 5 und 6) erscheint die Empfehlung zutreffend, dass bei Konstruktionen, die erhöhten Anforderungen an die Gasdurchlässigkeit unterliegen, der Schalungsankertyp *Wassersperre 15,0* eingesetzt werden sollte.

Die Verwendung von Ankerstäben ohne zusätzliche Barriere (Blech bzw. Faserzementscheibe) sollte, ausgehend von den vorliegenden Untersuchungsergebnissen, nur beim Einbau von Betonen mit sehr niedrigem Wasserzementwert ($\leq 0,36$) in Betracht gezogen werden.

Der Institutsleiter



o.Prof. Dr.-Ing. H. S. Müller

Der Sachbearbeiter



Dr. Ing. U. Guse

Schalungsplan für die Modellwände

Index	Änderung	Dat.	Name



Bild 1: Blick in die Schalung mit der Wassersperre G 15,0

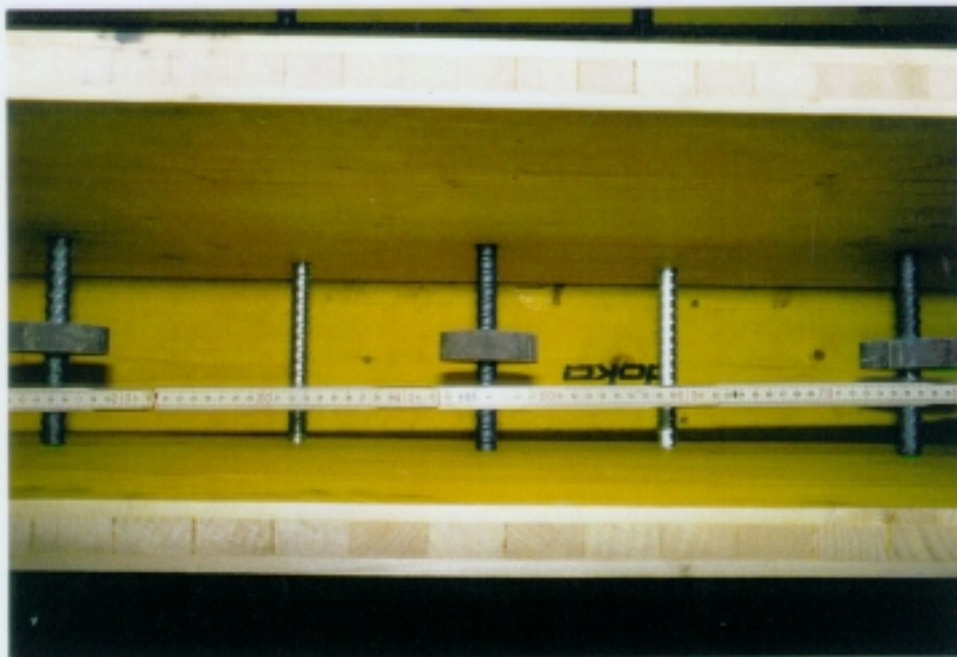


Bild 2: Blick in die Schalung mit der Wassersperre 15,0



Bild 4: Betonieren der Modellwände

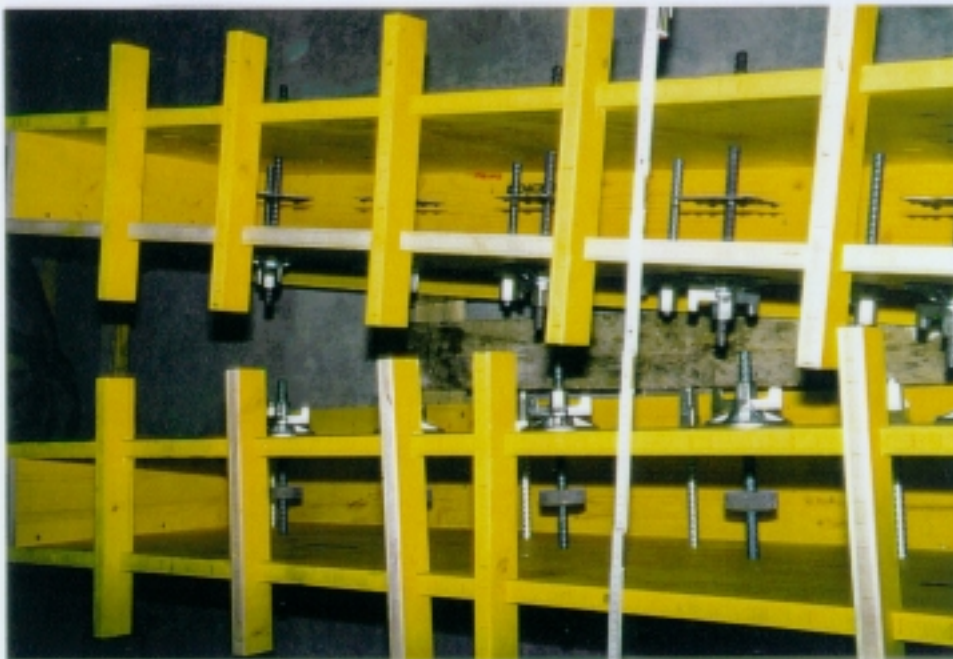


Bild 3: Blick in die Schalung mit den verschiedenen Ankertypen
(links: Wassersperre 15,0 und Ankerstäbe, verzinkt;
rechts: Wassersperre G 15,0 und Ankerstäbe, unbehandelt)

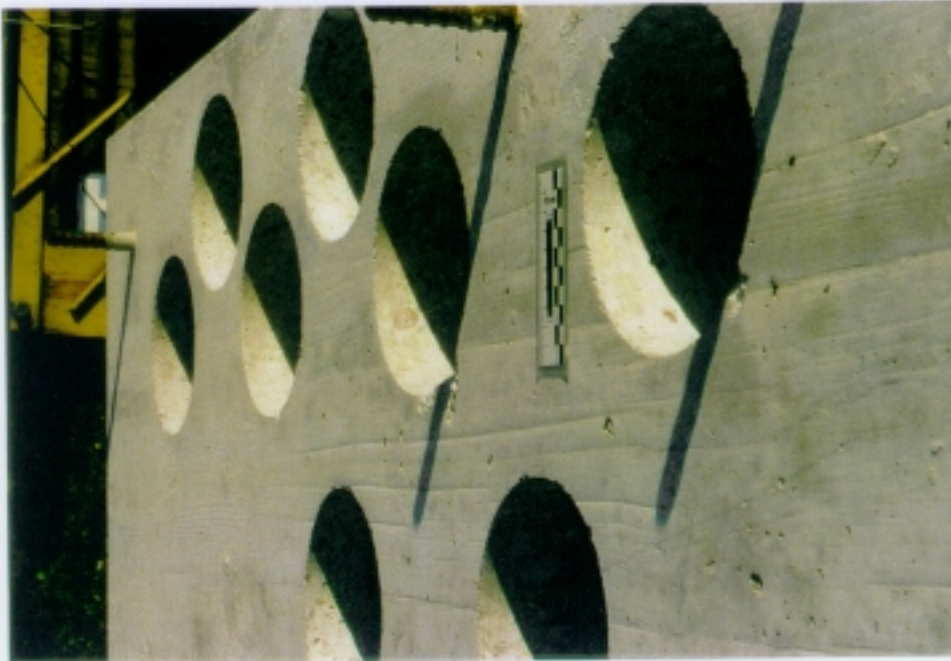


Bild 6: Detail zu Bild 5
Bohrkern links: Nullproben
Bohrkern mittig: Proben mit Wassersperre G 15,0
Bohrkern rechts: Proben mit unbehandeltem Ankerstab ohne Barriere



Bild 5: Modellwände mit Bohrkernentnahmestellen

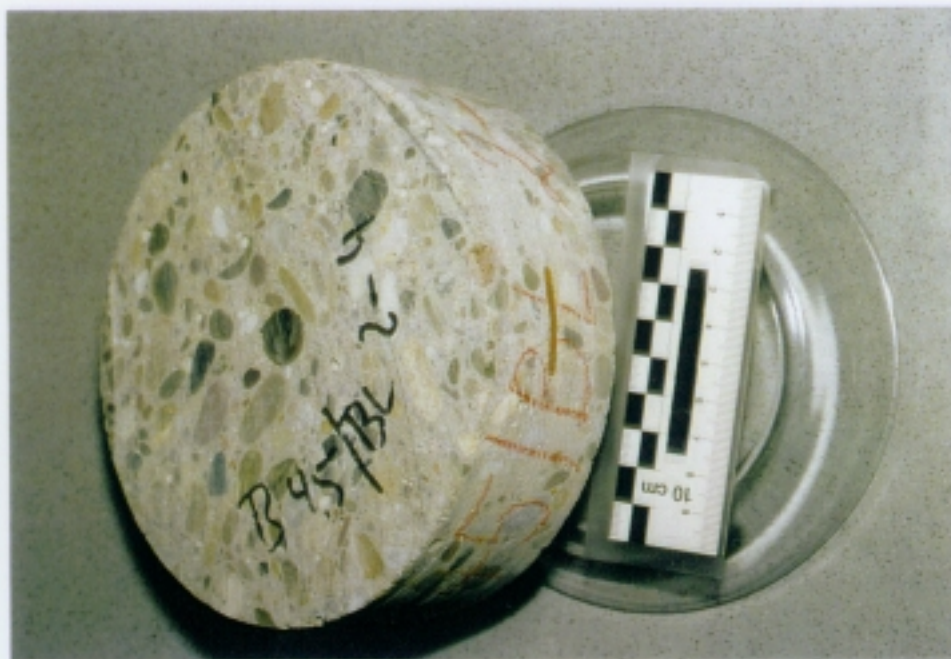


Bild 8: Probe für die Prüfung der Gasdurchlässigkeit mit der Wassersperre G 15,0. In der zylindrischen Mantelfläche erkennt man die angeschnittene Ecke des auf den Ankerstab aufgeschweißten Blechs.

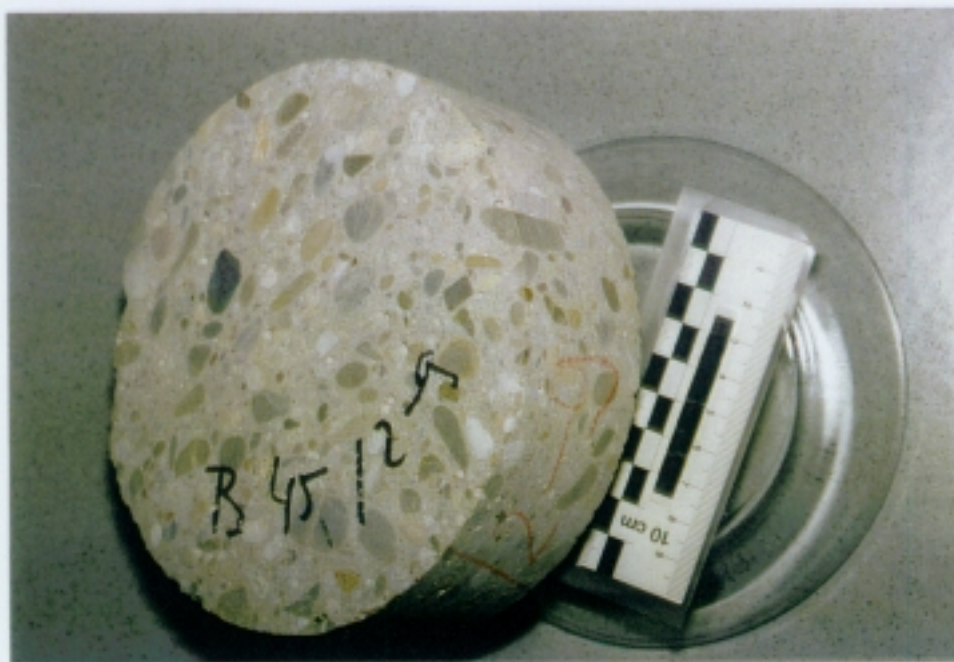


Bild 7: Probe für die Prüfung der Gasdurchlässigkeit ohne Anker (Nullprobe).



Bild 9: Lagerung der Proben für die Prüfung der Gasdurchlässigkeit bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte vom 70. (1. Prüfserie) bis zum 210. Tag (2. Prüfserie).



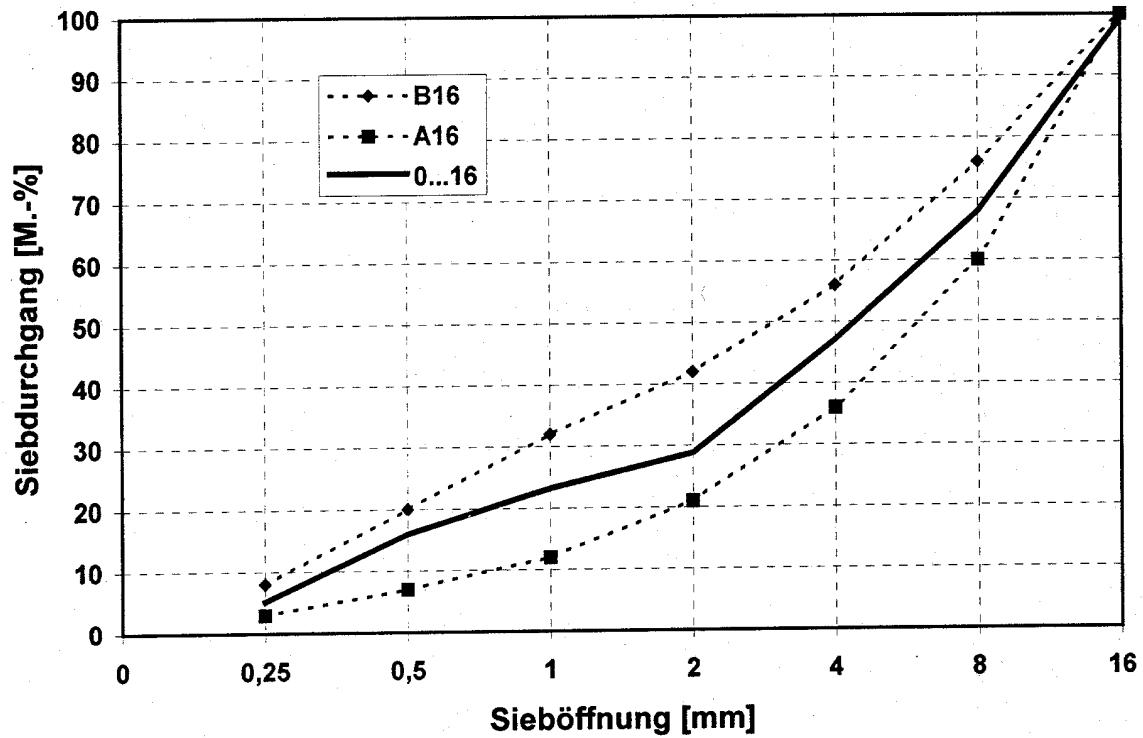


Bild 1: Sieblinie des einheitlich (Beton Nr. 1, 2 und 3) verwendeten Zuschlags (Rheinsand und Rheinkies AB 16)



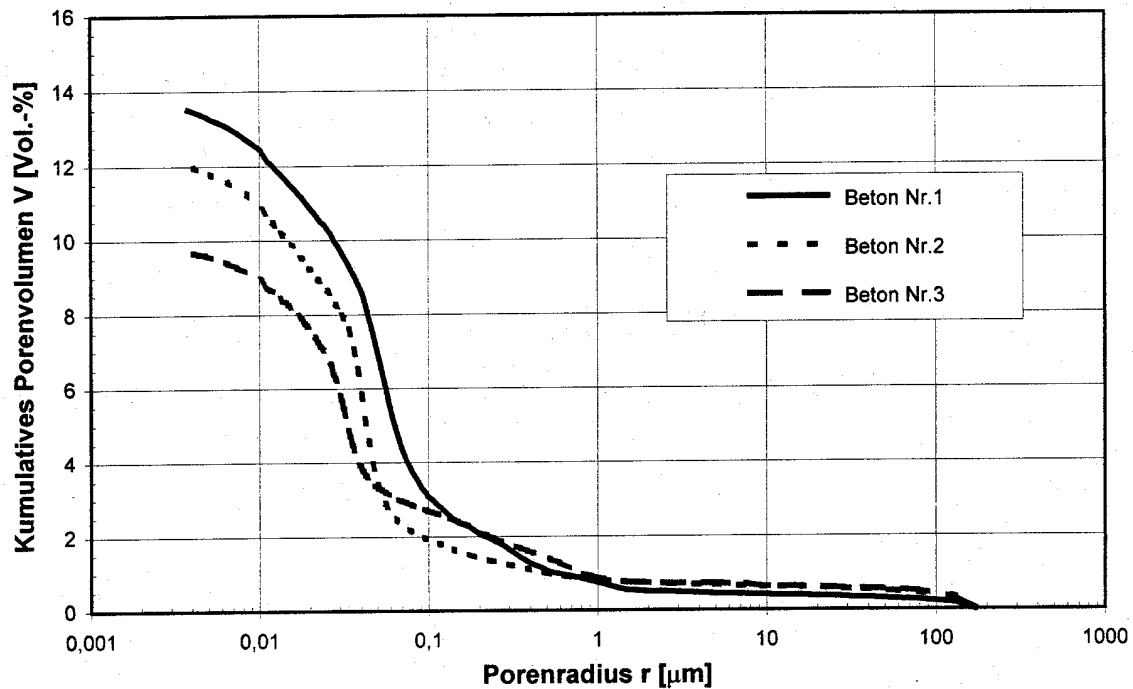


Bild 1: Summenporenvolumen der eingesetzten Betone Nr. 1, 2 und 3

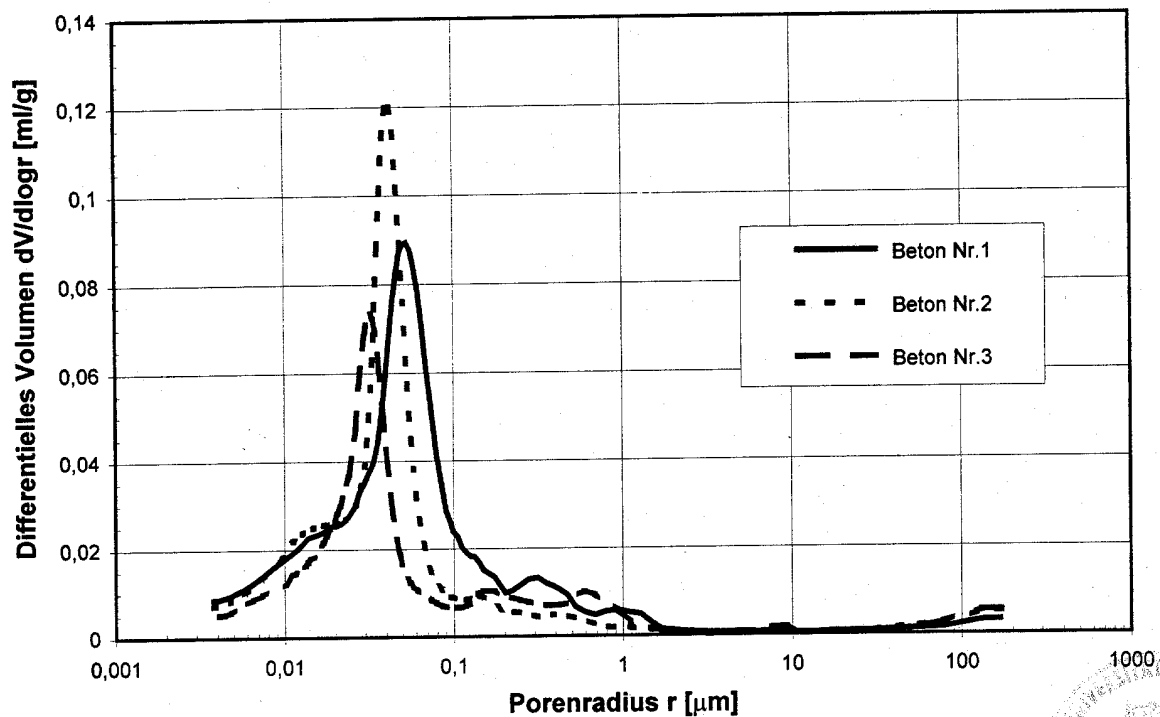
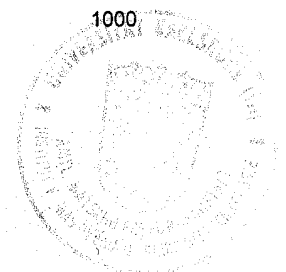


Bild 2: Porenradienverteilung der eingesetzten Betone Nr. 1, 2 und 3



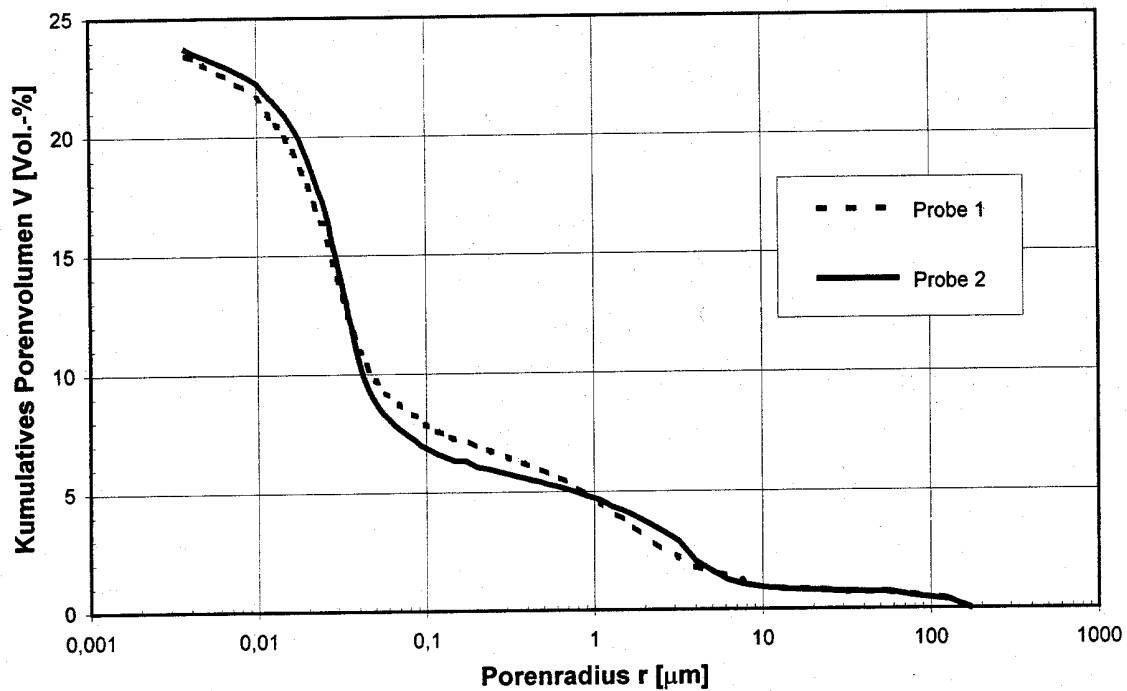


Bild 3: Summenporenvolumen von zwei Faserzementscheiben *Wassersperre 15,0*

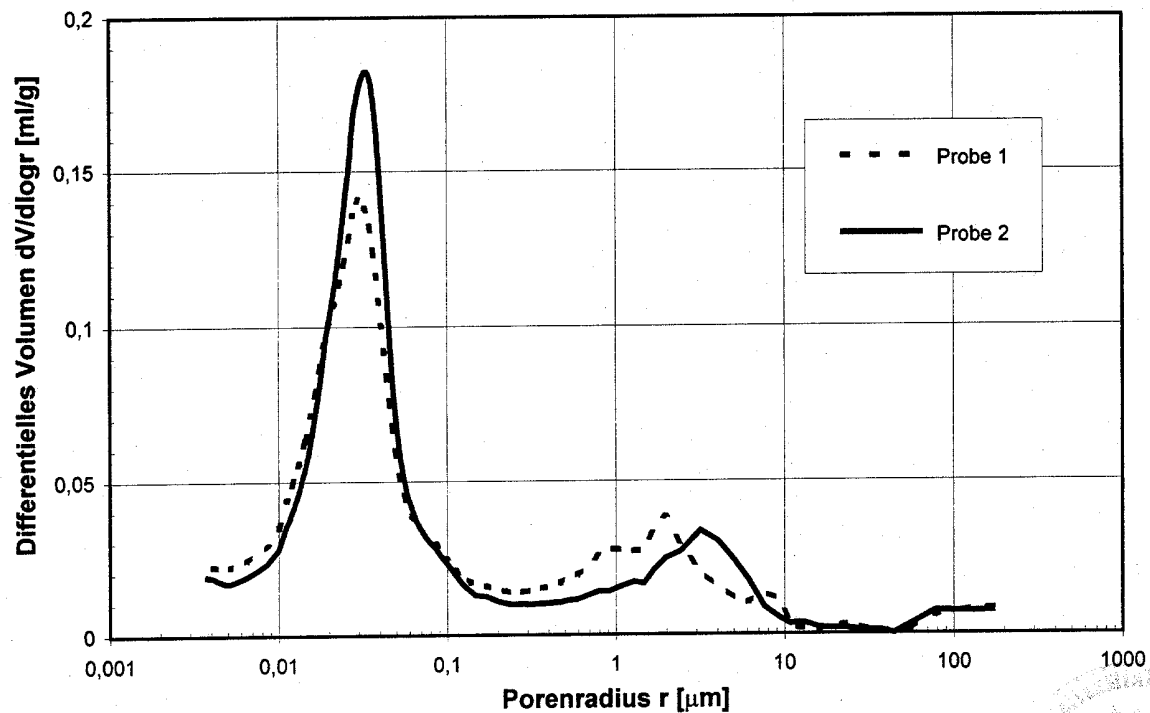


Bild 4: Porenradienverteilung von zwei Faserzementscheiben *Wassersperre 15,0*

