



Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Dr.-Ing. Marko Butler
Arbeitsgruppenleiter Baustofftechnik

Telefon: 0351 463-35925
Telefax: 0351 463-37268
E-Mail: marko.butler@tu-dresden.de
AZ: 5.5.1-38/2012

Prüfbericht:

Sichtbetonklassifizierung von Betonstützen hergestellt in Schalrohren der Standardausführung sowie der Ausführungen Rapidobat Cretcon HD

Aktenzeichen: 5.5.1 - 38/2012

Auftraggeber: Dipl.-Ing. B. Happ
Leiter Forschung und Entwicklung
H-Bau Technik GmbH
Am Güterbahnhof 20
D-79771 Klettgau


Dr.-Ing. M. Butler
Projektbearbeiter




Dipl.-Ing. M. Kratz
Sichtbetonprüfung

Dresden, 08. Januar 2013

Der Prüfbericht besteht aus 11 Seiten.

Postadresse
(Briefe)
TU Dresden
01062 Dresden

Postadresse
(Pakete u.ä.)
TU Dresden
Helmholtzstraße 10
01069 Dresden

Besucheradresse
Würzburger Straße 46
01187 Dresden

Internet
<http://tu-dresden.de>
i.baustoffe@tu-dresden.de

1. Prüfaufgabe

- Begleitung, Dokumentation sowie technische Bewertung der Herstellung von Betonstützen in verschiedenen Pappschalrohren,
- Bestimmung ausgewählter Frischbetonkennwerte (Setzfließmaß nach SVB-Richtlinie des DAfStb, Luftporengehalt nach DIN EN 12350-7),
- Charakterisierung und Klassifizierung der Sichtbetoneigenschaften entsprechend den Empfehlungen des Merkblattes „Sichtbeton“ (Fassung 2004).

2. Materialien

2.1 Schalrohre Standard und Rapidobat Cretcon HD

Vom Auftraggeber Fa. H-Bau Technik GmbH wurden folgende Pappschalrohre mit Länge von 2,5 m und lichtem Querschnitt wie in Abbildung 1 angegeben hergestellt und für die Betonierarbeiten ausgeliefert:

- 2 Pappschalrohre mit Folieneinlage aus Kunststoff, nachfolgend Standardrohr genannt,
- 4 Schalrohre Rapidobat Cretcon HD.

Das Standardrohr weist einen Foliestoß in Längsrichtung auf. Die Rohre Rapidobat Cretcon HD sind stoßfrei.

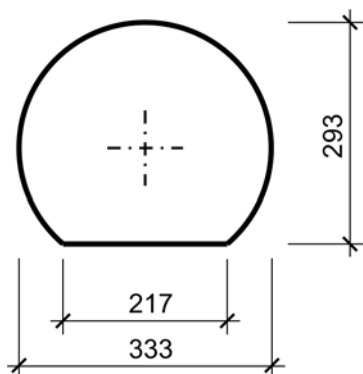


Abbildung 1: Lichter Querschnitt der Schalrohre.

2.2 Beton

Als Beton zur Herstellung der Stützen wurde von der Fa. Semper Beton Coswig ein Beton nach Eigenschaften angeboten, gemischt und ausgeliefert. Der Beton wurde mit folgenden Parametern angeboten:

- Festigkeitsklasse C30/37 (angestrebte Festigkeit 44 N/mm²),
- Konsistenzklasse F5 (angestrebtes Setzfließmaß 620 mm),
- Luftgehalt: 1,5 Vol.-%.

Als Bindemittel wurde ein CEM I 52,5 N der Schwenk Zement KG (Werk Bernburg) eingesetzt. Der W/Z-Wert des Betons wurde mit $W/Z=0,54$ berechnet. Als Fließmittel wurde PC 222 der Fa. Mapei Betontechnik GmbH zugegeben. Das Größtkorn der Gesteinskörnungen beträgt 16 mm. Die Mischungsrezeptur ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Betonrezeptur

Stoff	Rohdichte [kg/m³]	Masse / m³ [kg/m³]	Volumen / m³ [m³/m³]
Gesteinskörnung 0/1	2630	759	0,289
Gesteinskörnung 2/8	2640	301	0,114
Gesteinskörnung 8/16	2640	708	0,268
CEM I 52,5 N	3100	360	0,116
Wasser	1000	195	0,195
PC 222 (FM)	1050	3,06	0,003
Summe		2326	0,985

3. Herstellen der Stützen

Das Betonieren der Stützen erfolgte im Fertigteilwerk der Otto Quast Fertigbau Sachsen GmbH & Co. KG in Coswig bei Dresden. Die Betonmischanlage der Fa. Semper Beton Coswig ist an das Fertigteilwerk angegliedert und beliefert das Werk über eine kurze Betonkübelbahn. Das Herstellen der Stützen fand zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten statt:

- Bei der Betonage A am 12. November 2012 wurden zwei Standardschalrohre und zwei Schalrohre Rapidobat Cretcon HD befüllt.
- Bei der Betonage B am 05. Dezember 2012 wurden zwei weitere Schalrohre Rapidobat Cretcon HD betoniert.

3.1 Betonage A am 12. November 2012

Die Betonarbeiten am 12.11.2012 fanden in der Zeit zwischen 12:30 Uhr und 12:40 Uhr statt. Das Einfüllen des Betons in die Schalrohre erfolgte aus einem Betonkübel mit ca. 2 m³ Fassungsvermögen. Die Bauart des Betonkübels erlaubte keine Befestigung eines Auslassschlauches, so dass der Beton in freiem Fall in die Stützenschalung eingefüllt wurde.

Der Betonageprozess lief wie folgt ab:

- Auslassen von Beton in die Stützenform. Befüllen in einem Zug bis auf volle Stützhöhe (Füllzeit ca. 10 s, Abbildung 2).
- Einführen des vibrierenden Flaschenrüttlers (Durchmesser 40 mm) bis auf den Boden der Stützenform und langsames Herausziehen des Rüttlers (Abbildung 3).

Bei der Betonage A wurden zunächst alle Stützenformen vollständig befüllt und anschließend die Betonverdichtung durchgeführt. Eine Nachverdichtung des frischen Betons zu einem späteren Zeitpunkt (z.B. 10 min nach Befüllen) fand nicht statt.

Bei Anlehnung an die Empfehlungen des Merkblattes „Sichtbeton“ muss die Betonage A als technisch nicht sachgerecht klassifiziert werden.



Abbildung 2: Befüllen der Stützen bei Betonage A.



Abbildung 3: Verdichten des Betons mit einem Flaschenrüttler.

3.2 Betonage B am 05. Dezember 2012

Die Betonarbeiten am 05.12.2012 fanden in der Zeit zwischen 11:30 Uhr und 12:10 Uhr statt. Im Unterschied zu Betonage A erfolgte das Einfüllen des Betons in die Schalrohre mit Hilfe eines kleineren Betonkübels mit Fassungsvermögen von $0,75 \text{ m}^3$, an dessen Auslass ein $1,5 \text{ m}$ langer Kunststoffschlauch aus faserbewehrtem PVC angebracht war.

Der Betonageprozess lief wie folgt ab:

- Einstellen einer Rüttelflasche (Durchmesser 40 mm) in das leere Schalrohr,
- Weitmöglichstes Einführen des Kunststoffschlauches in das Schalrohr (ca. 1 m),
- Kontinuierliches Auslassen von Beton in die Stützenform,
- Anschalten der Rüttelflasche bei Erreichen einer Füllhöhe von ca. $0,7 \text{ m}$ bis $1,0 \text{ m}$,
- Kontinuierliches Anheben der Rüttelflasche mit steigender Füllhöhe der Stützenform, so dass die Rüttelflasche stets von ca. $0,5 \text{ m}$ Beton überdeckt war,
- Ab Erreichen einer Füllhöhe von $> 1,5 \text{ m}$ gleichzeitiges Anheben des Betonierkübels mit steigendem Füllstand im Schalrohr,
- Bei Erreichen der freien Betonoberfläche kurz unterhalb der Oberkante der Stützenschalung wurde die Rüttelflasche ausgeschaltet und herausgezogen.

Die Dauer des Betonierprozesses für eine Stütze betrug ca. 3 min .

Nach einer Wartezeit von ca. 10 min wurde der Beton nachverdichtet. Der Nachverdichtungsprozess lief wie folgt ab:

- Einstecken der Rüttelflasche (Durchmesser 40 mm) in den frischen Beton (Eintauchtiefe $1,2 \text{ m}$),
- Anschalten der Rüttelflasche,

- Langsames Herausziehen der Rüttelflasche. Bei Erreichen der freien Betonoberfläche kurz unterhalb der Oberkante der Stützenschalung wurde die Rüttelflasche ausgeschaltet.
- Manuelles Nachverdichten des oberflächennahen Betons durch Stochern mit der Rüttelflasche (Tauchtiefe ca. 0,3 m).

Die Dauer des Nachverdichtungsprozesses für eine Stütze betrug ca. 45 s.

Im Gegensatz zur Betonage A kann die Betonage B entsprechend der Empfehlungen des Merkblattes „Sichtbeton“ als technisch sachgerecht eingestuft werden.

3.3 Frischbetoncharakterisierung für Betonage A und Betonage B

Zeitgleich zu den Stützenbetonagen wurden die Frischbetoneigenschaften gemessen und Würfel für die Festigkeitsprüfungen hergestellt. Die Frischbetonkennwerte sind in Tabelle 2 angegeben. Abbildung 4 zeigt den Ausbreitkuchen nach der Bestimmung des Setzfließmaßes.

Tabelle 2: Frischbetonkennwerte der Betone aus den Betonagen A und B sowie Lufttemperaturen in der Fertigungshalle

Kennwert	Einheit	Wert
Betonage A		
Setzfließmaß	[cm]	45,5
Luftporengehalt	[Vol.-%]	1,0
Frischbetontemperatur	[°C]	19
Lufttemperatur in Halle	[°C]	9
Betonage B		
Setzfließmaß	[cm]	47,5
Luftporengehalt	[Vol.-%]	1,4
Frischbetontemperatur	[°C]	18
Lufttemperatur in Halle	[°C]	11



Abbildung 4: Betonkuchen nach Ermittlung des Setzfließmaßes.

Entgegen den Angaben des Betonlieferanten wurde die Zielkonsistenzklasse F5 (Setzfließmaß 620 mm, vgl. Abschnitt 2.2) bei beiden Betonagen nicht erreicht. Zudem zeigten sich bei den Betonagen A und B Wasserabsonderungen aus dem Ringspalt zwischen Stützenfuß und Aufstandsfläche. Bei Betonage A waren die Wasserabsonderungen stärker ausgeprägt als bei Betonage B.

Bei Berücksichtigung der Empfehlungen des Merkblattes „Sichtbeton“ muss der eingesetzte Beton als nur bedingt geeignet für die Herstellung von hochwertigen Sichtbetonbauteilen eingestuft werden.

4. Nachbehandlung und Ausschalen der Stützen

Alle Stützen verblieben für die Dauer von ca. 48 Stunden in den Schalrohren in der Halle des Fertigteilwerkes. Das Ausschalen fand im Betonalter von ca. 48 Stunden in der Baustoffprüfhalle des Institutes für Baustoffe der TU Dresden statt. Für den Transport zwischen Fertigteilwerk und Prüfhalle wurden die Stützen liegend auf Transportfahrzeugen mit Spanngurten fixiert.

Nach dem Ausschalen blieben die Stützen allseitig der Luft der Baustoffprüfhalle ausgesetzt. Die Lufttemperatur in der Halle beträgt konstant ca. 20 °C. Die Luftfeuchte in diesem Bereich der Baustoffprüfhalle wird nicht geregelt und beträgt ca. 45 % rel. Feuchte.

5. Bewertung der Sichtbetoneigenschaften der Stützen

5.1 Gesamteindruck

Der Gesamteindruck der Stützen wurde aus einem Betrachtungsabstand von 3 m beurteilt. Die maßgebliche Beleuchtung fand durch Oberlichter im Hallendach sowie zusätzliches Kunstlicht von fest im Dachbereich der Halle installierten Leuchtmitteln statt. Zusätzlicher Lichteinfall erfolgte durch ein Lichtband in der Hallenfassade.

Stützen aus Standardschalrohren zeigen über der gesamten Stützhöhe eine schuppige Marmorierung (vgl. Abbildung 6, Abbildung 7) bei gleichzeitig spiegelndem Glanz der Betonoberfläche. Große und mittlere Poren sind sehr kontrastreich zu erkennen. Die Häufigkeit großer Poren nimmt mit der Stützhöhe zu. Im Bereich des Stützenfußes sind deutliche Farbunterschiede festzustellen, die vermutlich durch die Wasserabsonderungen am Stützenfuß (vgl. Abschnitt 3.3) bedingt sind.

Stützen aus Schalrohren vom Typ Rapidobat Cretcon HD weisen eine viel gleichmäßigere Farbgebung an der matten Oberfläche auf. Vorhandene Marmorierungen sind fast nicht wahrzunehmen und großflächig angelegt. Bei Stützen aus Betonage A zeichnen sich auf der homogen gefärbten Oberfläche große und mittlere Poren ab. Große Poren treten nur vereinzelt und überwiegend im Bereich des Stützenkopfes auf. Die Anzahl der zu erkennenden Poren ist deutlich geringer als bei den Stützen aus Standardschalrohren die ebenfalls bei der Betonage A gefertigt wurden. Bei Stützen aus der Betonage B können fast keine Poren an der Oberfläche wahrgenommen werden.

5.2 Porigkeit

Die Porigkeit wird lt. Merkblatt „Sichtbeton“ in die Porigkeitsklassen P1 bis P4 eingeteilt. Zum Erreichen der Porigkeitsklasse 4 (geringster Porenanteil) darf die aufsummierte, an der Oberfläche sichtbare Porenfläche den Grenzwert von 750 mm² nicht überschreiten. Bei der Bestimmung dieser Porenfläche werden nur Poren mit Durchmesser zwischen 2 und 15 mm berücksichtigt. Die zur Ermittlung der Porenfläche herangezogene Prüffläche des Betons beträgt 500x500 mm².

Die Prüffläche zur Ermittlung der Porenfläche wurde in Stützenmitte auf der gekrümmten Stützenmantelfläche angeordnet (siehe Abbildung 5). Vor der Auswertung der Porenfläche

wurde die Betonoberfläche kräftig mit einer harten Kunststoffbürste abgebürstet, um Poren freizulegen, die durch dünne, erhärtete Zementleimschichten abgedeckt sind. Das Abbürsten wird im Merkblatt „Sichtbeton“ nicht gefordert und ist somit eine Verschärfung an die Anforderungen zur Sichtbetonklassifizierung.

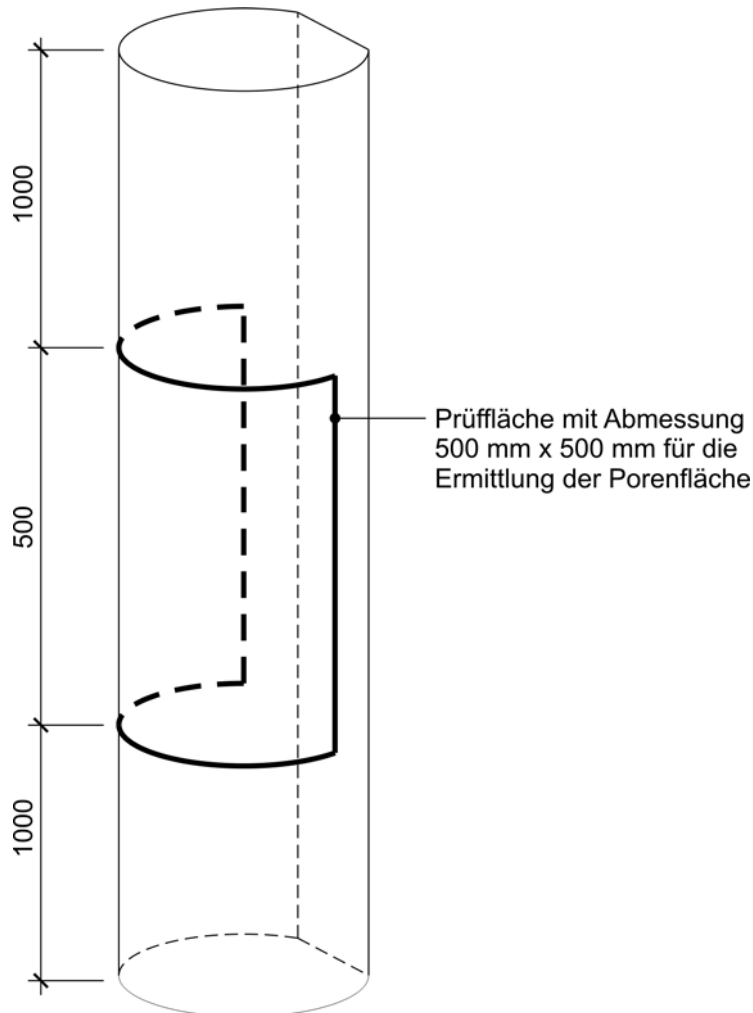


Abbildung 5: Anordnung der Prüffläche zur Ermittlung der Porenfläche an der Stützenmantelfläche. (Die Abschnittslängen der Stütze unter- und oberhalb der Prüffläche sind nicht maßstäblich dargestellt.)

Die an der Prüffläche aufzufindenden Poren wurden hinsichtlich des Durchmessers klassifiziert und den in Tabelle 3 angegebenen Durchmesserklassen zugeordnet. In Verschärfung der Empfehlungen des Merkblattes „Sichtbeton“ wurden hier auch Poren mit Durchmesser ab 1 mm erfasst und zusätzlich bei der Berechnung der summarischen Porenfläche berücksichtigt (Werte in grau hinterlegt). Bei der Berechnung der Porenfläche wurde angenommen, dass alle Poren Kugelporen sind und den mittleren Klassendurchmesser aufweisen. Eine graphische Aufarbeitung der Porenfläche je Porendurchmesserklasse ist in Abbildung 9 zu finden.

Tabelle 3: Porenanzahl und daraus berechnete Porenfläche je Porendurchmesserklasse sowie gesamte Porenfläche für die untersuchten Prüfflächen

Schalrohrtyp	Betonage	Porenanzahl [-] und summierte Porenfläche [mm²] je Porendurchmesserklasse [mm]							Gesamtporenfläche [mm²]	
		1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	1-15	2-15
Standardrohr	A	138 244	68 334	21 202	7 111	4 113	2 113	1 123	1240	996
	A	102 180	42 206	9 87	4 64	2 57	2 113	1 123	829	649
Rapidobat Cretcon HD	A	73 129	59 290	2 19	- 0	- 0	- 0	1 123	561	432
	A	41 72	40 196	10 96	1 16	- 0	1 57	- 0	438	365
Rapidobat Cretcon HD	B	15 27	5 25	1 10	- 0	- 0	- 0	- 0	61	34
	B	5 9	- 0	1 10	- 0	- 0	- 0	- 0	18	10

Die Ergebnisse in Tabelle 3 zeigen, dass Stützen aus den Standardrohren bei technisch nicht sachgerechtem Betonieren (Betonage A) nicht mehr in die Porigkeitsklasse P4 eingeordnet werden können. Der Einsatz von Schalrohren vom Typ Rapidobat Cretcon HD führt bei gleichem Betonierprozess zu Porenflächen < 750 mm², so dass eine Klassifizierung in P4 möglich ist. Bei technisch sachgerechtem Betonieren (Betonage B) führt der Einsatz von Schalrohren des Typs Rapidobat Cretcon HD zur fast vollständigen Vermeidung von sichtbetonrelevanten Poren. Damit ist eine sichere und absolut ungefährdete Einordnung in die Porigkeitsklasse P4 möglich.

5.3 Textur

Alle untersuchten Stützen zeigen eine glatte, geschlossene und weitgehend einheitliche Betonoberfläche. Abweichungen von der geschlossenen Oberfläche traten nur an den Poren auf. Die in den Standardschalrohren hergestellten Stützen weisen nach dem Ausformen eine spiegelnd-glatte Oberfläche auf. Stützen aus Schalrohren vom Typ Rapidobat Cretcon HD haben dagegen eine matte, mikrorauhe Oberfläche.

Bedingt durch den Aufbau der Schalungsrohre (Einlage eines Zylindersegmentes, vgl. Abschnitt 2.1) sind hier keine Schalelementstöße und daraus resultierende Grate oder Zementleimaustritte vorhanden. Alle Stützen können daher der Texturklasse T3 (höchste Anforderungen) zugeordnet werden.

Beim Einsatz von Standardschalrohren (ohne Einlage eines Zylindersegmentes) würde der Längsstoß in der Kunststoffschalhaut zu einem feinen Grat führen. Die Stützen könnten dennoch in die Texturklasse T3 eingeordnet werden. Die Schalrohre des Typs Rapidobat Cretcon HD sind generell stoßfrei.

5.4 Farbtongleichmäßigkeit

Die Farbtongleichmäßigkeit der Stützen aus den verschiedenen Schalrohrtypen wurde im Betonalter von ca. 28 Tagen begutachtet. Stützen aus Standardschalrohren zeigen eine

schuppenartige Marmorierung auf der Oberfläche (Abbildung 6). Stützen aus Schalrohren vom Typ Rapidobat Cretcon HD weisen diese ausgeprägte, lokale Farbtonungleichmäßigkeit nicht auf. Hier sind großflächigere, kaum zu unterscheidende Marmorierungen vorzufinden (Abbildung 6, Abbildung 7).

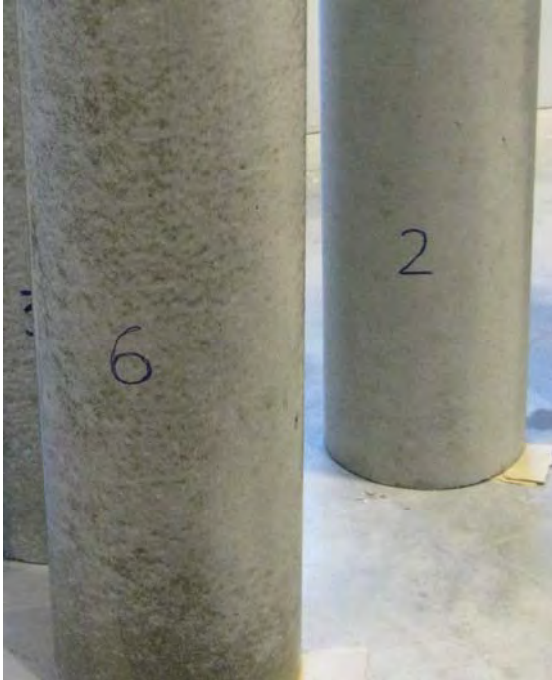


Abbildung 6: Abbildung zur Farbtongleichmäßigkeit von Stützen aus Betonage A (Nr. 6: Standard-schalrohr, Nr 2: Schalrohr Rapidobat Cretcon HD).



Abbildung 7: Stütze aus Schalrohr Rapidobat Cretcon HD.

Nach den bisherigen Befunden sind die Stützen aus Standardschalrohren in die Farbtongleichmäßigkeitsklasse FT1 (geringste Anforderungen) einzuordnen. Die Stützen aus Schalrohren des Typs Rapidobat Cretcon HD können der Farbtongleichmäßigkeitsklasse FT3 (höchste Anforderungen, geringe Hell-/Dunkelfärbungen sind zulässig) zugeordnet werden.

5.5 Ebenheit

Bedingt durch den Aufbau der Schalungsrohre erfüllen alle untersuchten Stützen die Anforderungen der Ebenheitsklasse E3 (höchste Anforderung).

5.6 Arbeits- und Schalhautfugen

Bedingt durch den Aufbau der Schalungsrohre existieren keine Arbeitsfugen innerhalb des Schalrohres. Alle untersuchten Stützen können daher der Arbeits- und Schalhautfugenklasse AF4 (höchste Anforderung) zugeordnet werden.

Bei Standardschalrohren (ohne Einlage eines Zylindersegmentes, vgl. Abschnitt 2.1) ist eine längs orientierte Schalhautfuge vorhanden, die zu einem feinen Betongrat führen kann. Angesichts der zu erwartenden geringfügigen Gratbildung würde die Schalhautfugenklasse AF4 eingehalten werden. Schalrohre vom Typ Rapidobat Cretcon HD haben keine Schalhautfugen und sind damit zweifelsfrei in die Schalhautfugenklasse AF4 einzuordnen.

6. Sichtbetonklasse und zusammenfassende Bewertung

Aus den Klassifizierungen der Stützen hinsichtlich Porigkeit (P), Textur (T), Farbtongleichmässigkeit (FT), Ebenheit (E) sowie Arbeits- und Schalhautfugen (AF) lassen sich folgende Eingruppierungen in Sichtbetonklassen vornehmen (Tabelle 4):

Tabelle 4: Ableitung der Sichtbetonklasse aus den Einzelklassifizierungen

Stützen aus Formrohren	Beton- age	Einzelklassifizierungen in den Klassen P, T, FT, E und AF					Sichtbeton- klasse
Standardrohr	A	P 3	T 3	FT 1	E 3	AF 4	SB 1
Rapidobat Cretcon HD	A	P4	T 3	FT 3	E 3	AF 4	SB 4
Rapidobat Cretcon HD	B	P4	T 3	FT 3	E 3	AF 4	SB 4

Bei technisch sachgerechter Betonage werden von den Stützen aus Schalrohren Rapidobat Cretcon HD die im Merkblatt „Sichtbeton“ geforderten Eigenschaften sicher eingehalten und vor allem hinsichtlich der Porenfläche bei weitem übertroffen (siehe auch Abbildung 8). Ursache für die hervorragende Einstufung hinsichtlich der Porigkeit sind die vollständige Abwesenheit von Poren mit Durchmessern > 4 mm sowie die nur sehr geringe Anzahl von Poren mit Durchmessern bis 4 mm (siehe Abbildung 9).

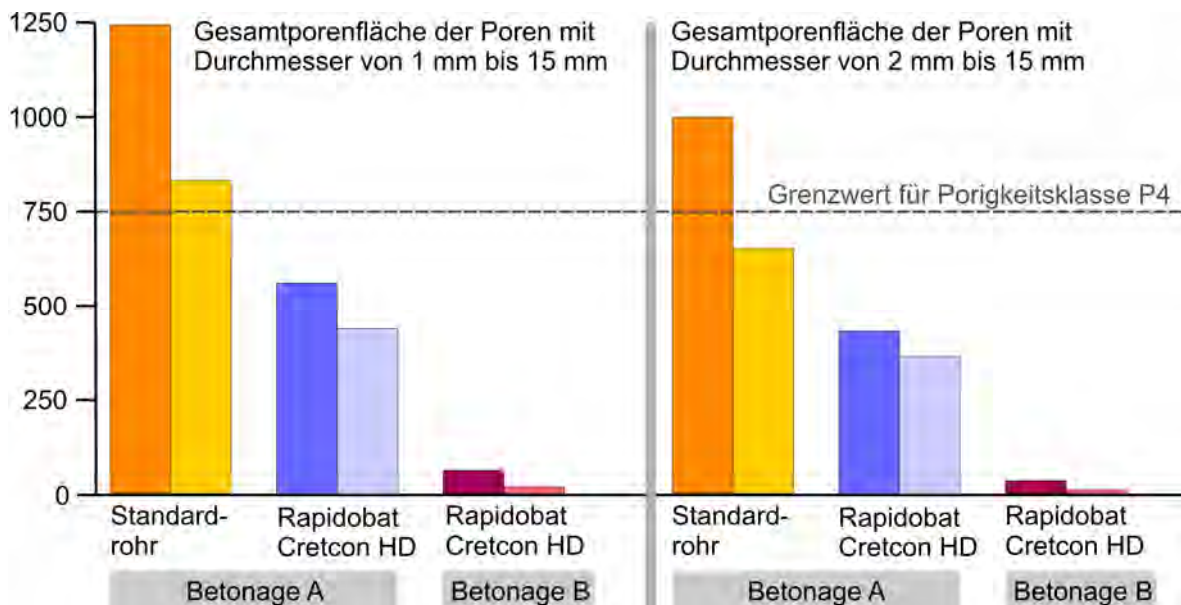


Abbildung 8: Gesamtporenfläche in Abhängigkeit von der Art des Schalrohres und der Qualität der Betonage für die Porendurchmesser 1 – 15 mm sowie 2 – 15 mm.

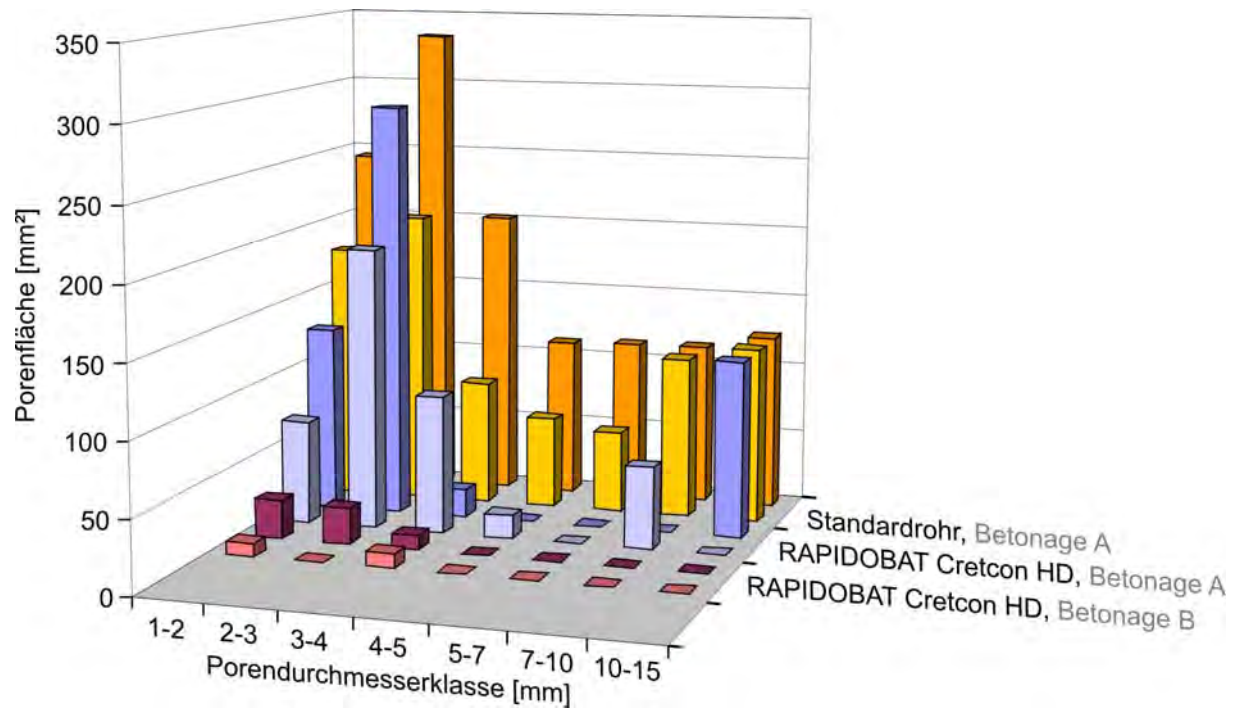


Abbildung 9: Angabe der Porenfläche je Porendurchmesserklasse in Abhängigkeit vom Typ der Stützenschalung und Qualität der Betonage (vgl. auch Tabelle 3).

Ende des Prüfberichtes