

Sichtbeton mit besonderer Herausforderung*

Von Monika Helm, Berlin

1 Einleitung

Eine Vielzahl von Bauwerken ist in letzter Zeit in Sichtbeton ausgeführt worden – und das nicht erst seit Erscheinen des Merkblatts „Sichtbeton“ [1] im Jahre 2004.

Neben betontechnologischen Einflüssen sind es vor allem auch besondere Anforderungen an die Ausführung, die auf die Qualität von Sichtbeton einen wesentlichen Einfluss haben.

Im Nachfolgenden wird mit dem Hans Otto Theater in Potsdam ein Bauwerk vorgestellt, das durch seine Architektur auffällt und voraussichtlich ein Magnet für viele bau- und architekturinteressierte Menschen werden wird bzw. bereits ist. Von Weitem betrachtet ist nicht erkennbar, dass die außergewöhnliche Dachkonstruktion des Theaterbaus aus Beton ist. Dies wird erst bei näherem Betrachten sichtbar. Dieses imposante und erst wenige Monate alte Bauwerk wurde bereits mehrfach vorgestellt [2, 3] und im

Wesentlichen wegen seiner ausgefallenen Architektur beschrieben, die von dem Kölner Architekten Prof. Gottfried Böhm stammt.

Das neue Merkblatt „Sichtbeton“ [1] enthält eine Einteilung für Sichtbeton in vier Klassen, die Sichtbetonklassen SB1 bis SB4 (Tafel 1). Von SB1 bis SB4 nehmen die Anforderungen an die Ausführung zu. Allerdings ist festzustellen, dass in diesen Einteilungen dem Betontechnologen kaum Hinweise auf Eigenschaften oder Zusammensetzungen von Betonen gegeben werden. Im Mittelpunkt der Sichtbetonklassen

stehen vielmehr planerische und ausführungstechnische Kriterien.

Das beschriebene Bauwerk ist der Sichtbetonklasse SB4 zuzuordnen, die für repräsentative Bauwerke gilt. Die Dachkonstruktion war eine zusätzliche Schwierigkeit, was allerdings aus der Darstellung auf dem Baustellenschild (Bild 1) kaum erkennbar ist. Dies wird jedoch in Bild 2 deutlich, das die drei eingeschalteten Dächer zeigt und den Schwierigkeitsgrad widerspiegelt.

Sichtbeton ist ein Beton, der sich sehen lassen kann und der durch eine Vielzahl von Parametern in seiner Qualität beeinflusst wird. In Bild 3 sind nur einige dieser Parameter zusammengestellt. Die Aufzählung ist unvollständig und kann durch weitere Einflussgrößen noch ergänzt werden. Im Folgenden werden einige wesentliche dieser betontechnologischen Einflussgrößen betrachtet.

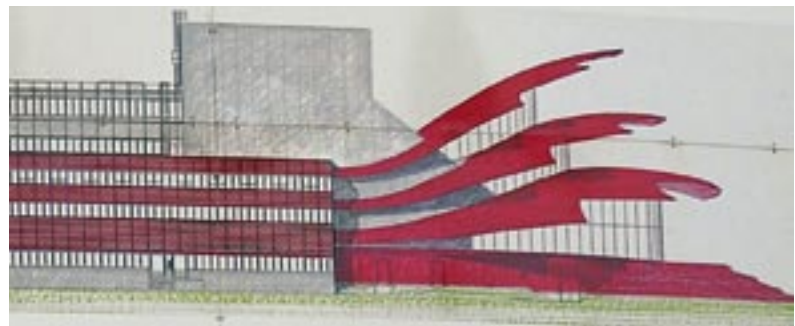


Bild 1: Entwurf des Hans Otto Theaters Potsdam ohne Gaskessel

Tafel 1: Sichtbetonklassen nach DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ [1]

Sichtbetonklasse		Beschreibung	Beispiel
Sichtbeton mit geringen Anforderungen	SB 1	geringe gestalterische Anforderungen	Kellerwände, Bereiche mit gewerblicher Nutzung
mit normalen Anforderungen	SB 2	normale gestalterische Anforderungen	Treppenhäuser, Stützwände
mit besonderen Anforderungen	SB 3	hohe gestalterische Anforderungen	Fassaden
	SB 4	besonders hohe gestalterische Bedeutung	repräsentative Bauteile

* Die Daten wurden der Autorin freundlicherweise vom TBR Technologiezentrum GmbH & Co. KG sowie von der Trabet Transportbeton Berlin GmbH zur Verfügung gestellt.



Bild 2: Seitlicher Blick auf die eingeschalteten Dächer

2 Betontechnologische Einflussgrößen

Die Aufgabe bestand darin, einen Beton zu entwerfen, der sich zum einen als Sichtbeton eignet und längere Zeit verarbeitbar bleibt und zum anderen bei der extremen Dachneigung von bis zu 45° und sehr eng liegender Bewehrung eingebaut werden konnte. Die Ausschreibung und die Ausführung erfolgte noch nach der alten Betonnorm DIN 1045 aus dem Jahre 1988, obwohl die neue Betonnorm DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 schon hätte angewendet werden können.

2.1 Zementart und Festigkeitsklasse

Ausgewählt wurde ein Hochofenzement, der sich im Beton durch seine helle Farbe auszeichnet, wodurch auch der späteren rote Farbanstrich der drei geneigten Dächer im Kontrast zu den ungestrichenen hellen übrigen Sichtbetonflächen besser zur Wirkung kommen sollte. Ein farbiger (durchgefärbter) Beton ist nicht in Erwägung gezogen worden für die Dachkonstruktion, da dadurch möglicherweise ein weiterer Schwierigkeitsgrad dazugekommen wäre: Zum

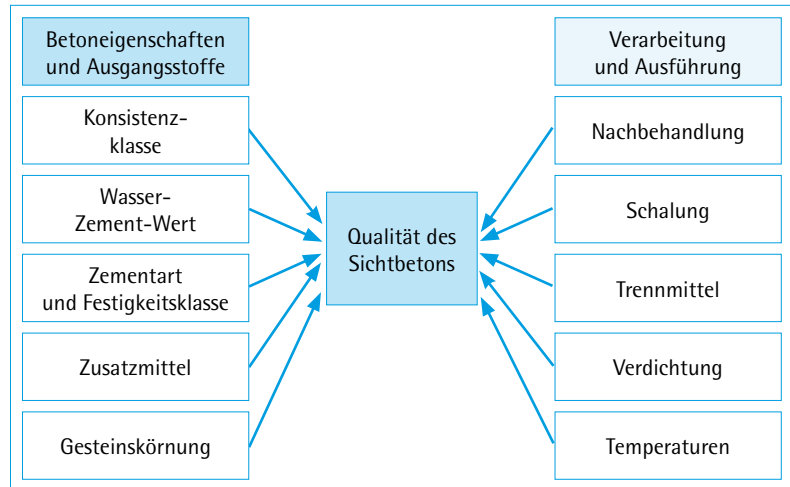


Bild 3: Einflussgrößen auf die Sichtbetonqualität

einen wäre eine verstärkt sichtbare Wolkenbildung nicht auszuschließen gewesen und zum anderen wäre die farbliche Gleichmäßigkeit nicht sichergestellt, da der „rote“ Beton vom Transportbetonwerk nur im Wechsel mit den verschiedenen „grauen“ Betonen hätte geliefert werden können.

Es wurde ein CEM III/A 32,5-NA (nach alter Bezeichnung) verwendet in Kombination mit Flugasche. Für diese Zusammensetzung lagen bereits gute Erfahrungen bei Verwendung an früheren Bauwerken vor, die in Sichtbeton ausgeführt worden waren.

2.2 Gesteinskörnung

Seitens der Baustelle bestand zunächst die Forderung, mit einem Größtkorn von 8 mm zu arbeiten. Nach den Vorversuchen für die drei Dächer wurde dann jedoch als Größtkorn 16 mm gewählt, weil damit eine bessere Gleichmäßigkeit in den Sichtbetonprobeflächen erzielt werden konnte, die als Entscheidungskriterium herangezogen wurden. Weitere bzw. besondere Anforderungen an die Gesteinskörnung wurden nicht gestellt. Es wurden die gleichen feinen und groben Kornfraktionen verwendet, die auch für

andere Betone bei Transportbetonlieferanten zum Einsatz kamen.

Bei farbigen Sichtbetonflächen können ansonsten auch Gesteinskörnungen in den jeweilig gewünschten Farbnuancen verwendet werden, die mit hellen Hochofenzementen einen sehr schönen Farbton erzeugen.

2.3 Zusatzmittel

In den Erstprüfungen wurde auch die Verarbeitbarkeit über 90 Minuten bestimmt, da ein Einbau in zwei Lagen erfolgen sollte und damit auch nach längerer Einbauzeit ein Vernähen der Betonschichten noch möglich sein musste. Mit fortschreitender Einbauzeit wurde die Menge an Verzögerer reduziert. Im Rahmen der Vorversuche wurde zur Abgrenzung der Verarbeitbarkeitseigenschaften je eine Betonzusammensetzung mit und ohne Verzögerer untersucht.

2.4 Konsistenzklasse

Die Erfahrungen bei der Festlegung der Betonzusammensetzung für derart geneigte Flächen (Bild 2) sprachen für einen Beton mit steifer Konsistenz, d.h. Wahl der Konsistenzklasse F2 bzw. KP nach alter Betonnorm.



Bild 4: Bewehrungsanordnung auf dem Schrägdach



Bild 5: Einbau des Betons auf einer geneigten Probefläche

Wenn heute Sichtbeton ausgeführt werden soll, werden meist leicht verarbeitbare und fließfähige Betone F5 und F6 sowie selbstverdichtender Beton (SVB) vorgeschlagen. Eine Lösung mit selbstverdichtendem Beton war für die geneigten Dächer des Hans Otto Theaters technisch ausgeschlossen, weil eine gedeckelte Schalung, die sicher sinnvoll gewesen wäre, aus Gründen der Befestigung nicht möglich war. Bei dem hohen Bewehrungsgrad (Bild 4), wäre auch der Einsatz von fließfähigem Beton eine gute Lösung gewesen. Die starke Neigung und die hohen Anforderungen an die Sichtbetonqualität ließen dies jedoch nicht zu, denn der Beton sollte schließlich in der an der jeweiligen Einbaustelle erforderlichen Dicke zwischen 7 cm und 40 cm auf dem Dach liegen bleiben. Damit war die Lösung mit einem plastisch verarbeitbaren Beton der Konsistenzklasse F2 die beste bzw. einzig mögliche Variante. Diese Auswahl wurde auch in den Vorversuchen bestätigt, die auch die Neigung der zu betonierenden Flächen berücksichtigte (Bild 5) und deren Grenzen festgelegt.

3 Beton

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften des verwendeten Be-

tons sind in **Tafel 2** zusammengestellt. Gefordert war ein Beton der Festigkeitsklasse B45, (heute C35/45). Um dies zu erreichen, wurde ein w/z-Wert von 0,45 gewählt. Die ermittelten Ergebnisse werden in Abschnitt 3.2 beschrieben.

3.1 Vorversuche

Die Einflussfaktoren der Ausführungsseite auf die Sichtbetonqualität (Bild 3) lassen sich nur in Vorversuchen ermitteln. Sichtbeton bedeutet stets für alle Beteiligten eine Herausforderung und nur gemeinsam kann eine Lösung gefunden werden. Leider werden vorwiegend

die Kosten in Betracht gezogen. Es sollte bzw. muss jedoch auch die technische Machbarkeit betrachtet werden und dazu eignen sich Versuchsflächen, die ab Sichtbetonklasse SB3 nach [1] dringend empfohlen werden.

Um den interessanten architektonischen Entwurf für das Hans Otto Theater (Bild 1) umzusetzen, wurden nach Wahl der Betonzusammensetzung zunächst zahlreiche Vorversuche durchgeführt, um den vorgesehenen Beton auf die extreme Neigung des Dachs abzustimmen und die verschiedenen Einbauvarianten zu prüfen.

Tafel 2: Zusammensetzung des Sichtbetons

Betonfestigkeitsklasse		B45 (C35/45)	
Festigkeitsentwicklung		langsam	
Konsistenz		KP (F2)	
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM III/A 32,5-NW/HS	
Zementgehalt z	kg/m ³	370	
Wassergehalt	kg/m ³	166,5	
w/z-Wert		0,45	
Gesteinskörnung		A/B16	
Sieblinie			
0/2 mm	kg/m ³	634	
2/8 mm	kg/m ³	352	
8/16 mm	kg/m ³	775	
gesamt	kg/m ³	1.761	
Zusatzstoff		Steinkohlenflugasche	
Art		40	
Gehalt	kg/m ³		
Zusatzmittel		FM	VZ
Art		0,46	0 % bis 0,40 %
Gehalt	% von z		



Bild 6: Probefläche mit einer Neigung von 45°

Es wurden rd. 100 m² Probeflächen betoniert mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen, wie z.B. Auswahl der Gesteinskörnung, Festlegung des erforderlichen Zielwerts der Konsistenz, Wahl des Einbauverfahrens u.a. Bei der Planung von Versuchsflächen sollte stets darauf geachtet werden, dass alle Randbedingungen, mit denen auch bei den geplanten Betoniervorgängen gerechnet werden muss, berücksichtigt werden, d.h. Einbauverfahren (Pumpe, Kübel) bis hin zur gleichen Einbaukolonne. Solche Vorversuche eignen sich außerdem sehr gut zur Einweisung und Schulung des Personals.

Die monolithische Herstellung der drei übereinander liegenden und geschwungenen Dachkonstruktionen aus Beton stellte sich schon in der Erprobungsphase als anspruchsvolle Aufgabe heraus. Deshalb wurde bei den Probeflächen auch die größte Dachneigung von 45 ° nachgebaut (Bild 6).

Bei der Herstellung von Sichtbetonflächen müssen i.d.R. in Vorversuchen auch die geeignete Schalung und das geeignete Trennmittel ermittelt werden. Im Rahmen der beschriebenen Vorversuche konnte jedoch darauf verzichtet werden, da in früheren Vorversuchen das Trennmittel bereits an Probeflächen un-



Bild 7: Einbau des Transportbetons mit einer Pumpe

tersucht und als geeignet ausgewählt worden war. Dabei war insbesondere auch die Standzeit der Schalung berücksichtigt worden, da der Rückbau der Schalung erst nach etwa 4 bis 6 Wochen nach dem Betonieren der obersten Dachschale erfolgen konnte. Nach dieser langen Zeit musste sich die Schalung noch ohne Beschädigung der Betonoberfläche vom Beton lösen lassen.

3.2 Ausführung und Ergebnisse

Für die Herstellung der drei wellenförmig in sich geschwungenen Dächer mit Flächen von 1.000 m², 700 m² und 600 m² waren rd. 800 m³ Beton erforderlich, der als Transportbeton mit Pumpen eingebaut wurde (Bild 7).

Das erste etwas flacher geneigte Dach stellte schon hohe Anforderungen an den Beton und konnte als erster Praxistest nach den Vorversuchen für das Betonieren der beiden steileren Dächer angesehen werden (Bild 8).



Bild 8: Betonieren des ersten Dachs

Da im Juni, im August und im Oktober 2004 betoniert wurde, ergaben sich auch sehr unterschiedliche klimatische Verhältnisse. Als Betoniertage wurden solche Tage ausgewählt, bei denen die Wetterprognose eine Regenwahrscheinlichkeit von ≤ 10 % vorsah. Die ermittelten Temperaturen sind in **Tafel 3** dargestellt und verdeutlichen die unterschiedlichen Randbedingungen beim Betonieren. Alle Betoniervorgänge dauerten etwa 10 bis 11 Stunden, so dass der Verzögerer entsprechend der Ergebnisse in der Erstprüfung über die Betonierdauer und in Abhängigkeit von den Temperaturen reduziert wurde.

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde für die Verarbeitbarkeit ein Zielwert für die Konsistenz von 390 mm festgelegt mit einer einzuhaltenden Schwankungsbreite zwischen 370 mm und 410 mm. Unterhalb dieser Grenze war der Beton kaum noch zu verarbeiten und oberhalb der Grenze rutschte der Be-

Tafel 3: Ermittelte Luft- und Frischbetontemperaturen

Betonage	Zeitpunkt	Lufttemperatur [°C]	durchschnittliche Betontemperatur [°C]
1. Dach	Juni 2004	14 bis 20	22
2. Dach	August 2004	10 bis 22	20
3. Dach	Oktober 2004	2 bis 8	13

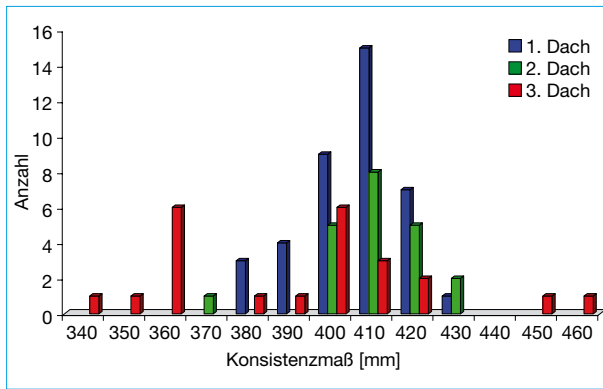


Bild 9: Ergebnisse der Konsistenzmessungen

ton über die Bewehrung nach unten. Während der drei Betonagen wurde die Konsistenz des Betons eines jeden Fahrzeugs auf der Baustelle geprüft. Dies war das wichtigste Annahmekriterium für den Beton und gleichzeitig das Freigabekriterium für den Betoneinbau. Zum Einsatz kam also ein Beton hinsichtlich der Konsistenz nach alter „Sichtbeton-Philosophie“.

In Bild 9 sind die Häufigkeiten der ermittelten Konsistenzen der Betone für die drei Dächer dargestellt. Während des Betonierens zeigte sich, dass ein etwas weicherer Beton, der ein günstigeres Einbauverhalten aufwies, auch auf den Schrägen noch eine ausreichende „Rutschfestigkeit“ hatte. Daher wurde ein neuer Zielwert der Konsistenz von 410 mm festgelegt. Im Diagramm wird deut-

lich, dass der Beton für das dritte Dach mit deutlich abweichenden Konsistenzmaßen gefahren wurde. Die hohen Konsistenzmaße von 450 mm und 460 mm sind für den Beton in der Anfangsphase des Betonierens verwendet worden, als der Anschluss zum Bühnenhaus hergestellt wurde. Die niedrigen Konsistenzwerte von 340 mm bis 360 mm gelten dagegen für den Beton, der im oberen Bereich des Daches verwendet worden ist. Hier wurde der Beton auf dem 2. und 3. Dach mit Innenrüttlern eingebaut (Bild 10) und auf dem unteren Dach mit Oberflächenrüttlern verdichtet (Bild 11). Die Hauptarbeit des Glättens der Dachoberfläche erfolgte manuell (Bild 12).

Der Beton für die erste Dachschaale wurde mit einem Nachbehandlungs-

Tafel 4: Ergebnisse der Druckfestigkeiten nach 56 Tagen

Beton für das	Mittelwert der Betondruckfestigkeiten [N/mm ²]
1. Dach	64
2. Dach	65
3. Dach	65

mittel gegen Verdunsten des Wassers geschützt. Nachdem sich jedoch herausstellte, dass das Aufbringen des Curing-Mittels mit deutlichen Schwierigkeiten verbunden war, wurden die Betone der beiden nachfolgenden Dachflächen regelmäßig mit Wasser besprüht.

Da der Beton eine langsame Festigkeitsentwicklung aufwies, wurde der Nachweis der Betondruckfestigkeit im Alter von 56 Tagen vereinbart. Außer den 56-Tage-Druckfestigkeiten wurden auch die Druckfestigkeiten nach 7 und 28 Tagen ermittelt. Die Ergebnisse sind in Bild 13 dargestellt. Die Druckfestigkeiten aller Betone sind sehr gleichmäßig. Tafel 4 zeigt die Mittelwerte der Druckfestigkeiten im Alter von 56 Tagen, die im Rahmen der Eigenüberwachung der Baustelle ermittelt wurden. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Die geforderte Druckfestigkeit wurde zielsicher erreicht.



Bild 10: Verdichten des Betons mit Innenrüttlern auf dem 2. und 3. Dach



Bild 11: Verdichten des Betons mit Oberflächenrüttlern auf dem unteren Dach



Bild 12: Manuelles Glätten der Dachoberfläche

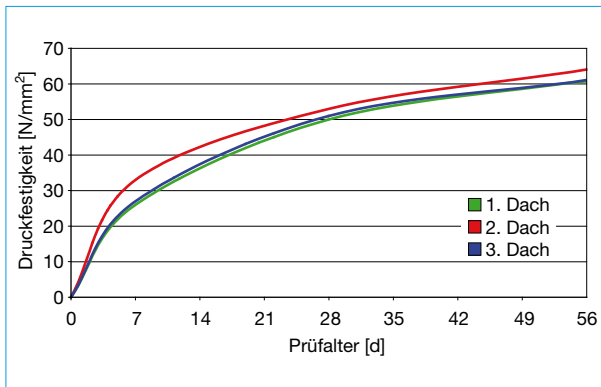


Bild 13: Entwicklung der Druckfestigkeiten der Betone für die drei Dächer

4 Zusammenfassung

Die Einflussfaktoren zur Herstellung einer guten Sichtbetonqualität sind für jedes Bauwerk von unterschiedlicher Wertigkeit. Für die Ausführung sind zunächst im ersten Schritt die betontechnologischen Parameter

auszuwählen und darauf aufbauend Voruntersuchungen an Probeflächen durchzuführen. Neben den beton-technologischen Aspekten ist in diesen Voruntersuchungen auch das Zusammenspiel von Schalung und Trennmittel zu prüfen.

Die Voruntersuchungen beim Potsdamer Hans Otto Theater haben wesentlich zu der Entscheidung für den verwendeten Beton beigetragen. Bei der Betonzusammensetzung ist sowohl aus Gründen der Verarbeitbarkeit und Festigkeitsentwicklung als auch aus optischen Gründen ein Hochofenzement CEM III/A 32,5 verwendet worden. Alle ermittelten Ergebnisse für Konsistenz und Druckfestigkeit zeichnen sich durch eine hohe Gleichmäßigkeit aus.

Die Bilder 14 bis 19 zeigen die einzelnen Phasen der Entstehung der Dächer vom Potsdamer Hans Otto Theater und wie es sich heute dem Betrachter darbietet. Das „Sichtbetonteam“ hat hierfür eine Lösung gefunden: Der Sichtbeton kann sich sehen lassen!



Bild 14: Rohbau im Dezember 2004



Bild 15: Baufortschritt im April 2005



Bild 16: Beschichtung im Dezember 2005



Bild 17: Baufortschritt im Mai 2006



Bild 18: Fertigstellung ...



Bild 19: ... im Dezember 2006

5 Literatur

- [1] DBV/BDZ-Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin, und Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Düsseldorf.
- [2] Einem Kubus wachsten Flügel. Bauzentrum E-Bau 2 (2007) H. 11-12, S. 20-23
- [3] Helm, M.; Ehrlinger, S.: Sichtbeton-Philosophie für Potsdamer Theater. Deutsches Ingenieurblatt, DiB-Special BETON, April 2007, S. 6-9, Nr. 2607; nachgedruckt in Bauzentrum E-Bau 2 (2007) H. 11-12, S. 24-29

Bauschild

Bauherr	Landeshauptstadt Potsdam, Stadtverwaltung, vertreten durch Herrn Oberbürgermeister Jann Jacobs
Architekt	Prof. Gottfried Böhm, Köln
Tragwerksplanung	IGB Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe, Berlin, Mannheim
Bauausführung Rohbauarbeiten Spezialtiefbauarbeiten	Batec Ingenieurbau GmbH Bilfinger Berger AG
Transportbeton Konzeption Lieferung	TBR Technologiezentrum GmbH & Co. KG, Prüfstelle Berlin Trabet Transportbeton Berlin GmbH, Berlin
Beschichtung	Triflex Beschichtungssysteme GmbH & Co. KG, Minden

Wissenschaft und Forschung

Zwei Dissertationen im Vergleich

Im Heft Nr. 2/2005 wurde in den „Beton-Informationen“ ein Beitrag mit dem Titel „Hohe Frühfestigkeit bei Zementen mit Hüttensand – (K)ein Widerspruch?“ [1] veröffentlicht. Dieser Beitrag basiert auf einer Dissertation von A. Ehrenberg, die 2001 von der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen der TU Clausthal genehmigt wurde. Sie trägt den Titel „Zur Optimierung der Korngrößenverteilung von hüttensandhaltigen Zementen“ [2]. Einige Ergebnisse dieser Arbeit wurden auch 2003 in [3] publiziert.

Im Jahr 2004 wurde an der Leopold-Franzens-Universität in Innsbruck, Österreich, eine Dissertation mit dem Titel „Technologische Eigenschaften von Betonen aus neuentwickelten Bindemitteln mit optimierten Bestandteilen“ eingereicht und akzeptiert [4].

Vergleicht man beide Arbeiten, fallen in wesentlichen Bereichen Über-

einstimmungen auf. Dennoch findet sich in [4] kein Literaturhinweis auf die Dissertation aus dem Jahr 2001. Nachstehend sind nur einige wenige Auszüge vergleichend gegenübergestellt. Dabei sind die schwarzen Textpassagen identisch, einzelne Aussagen in [2] (blau) wurden (bei gleichem Inhalt) in [4] verbal umformuliert (rot). Beispiele zeigt die Tafel auf S. 87.

Im Juni 2007 wurde die Leopold-Franzens-Universität über die textlichen und inhaltlichen Übereinstimmungen informiert. Nach einer 4-monatigen Prüfung kam die zuständige Fakultät für Bauingenieurwesen zu dem Schluss, dass sich der Autor „wissenschaftliches Fehlverhalten“ zu Schulden kommen hat lassen“. Allerdings wurde auch festgestellt, „dass Umfang und Inhalt der abgeschrieben Teile der Dissertation den Widerruf des akademischen Grades gemäß §89 Universitätsgesetz 2002 nicht rechtfertigen“ [5].

[1] Ehrenberg, A.: Hohe Frühfestigkeit bei Zementen mit Hüttensand – (K)ein Widerspruch? Beton-Informationen 45 (2005) H. 2, S. 23-51.

[2] Ehrenberg, A.: Zur Optimierung der Korngrößenverteilung von hüttensandhaltigen Zementen. Dissertation Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld 2001. Auch erschienen in: Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, H. 10, 2001.

[3] Ehrenberg, A., Lang, E., Geiseler, J.: Hüttensandhaltige Zemente mit bimodaler Korngrößenverteilung. Cement International 1 (2003), H. 2, S. 88-94.

[4] Niederegger, C.: Technologische Eigenschaften von Betonen aus neuentwickelten Bindemitteln mit optimierten Bestandteilen. Dissertation Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck 2004.

[5] Brief der Fakultät für Bauingenieurwesen der Universität Innsbruck an A. Ehrenberg vom 08.10.07.