

Beton-Informationen

2/3-2001



■ Sichtbeton mit
Hochofenzement

■ Chillida-Skulptur
aus Massenbeton

■ Betonschutz-
wände

Die Chillida-Skulptur im Museumspark Hombroich

Frei geformter Massenbeton

von Peer Albrecht, Düsseldorf

„Ich möchte, dass die Werke nicht nur groß aussehen, sondern ich will auch, dass sie ihre Kraft behalten, diese Kraft, der etwas Unerreichbares innewohnt.“
Eduardo Chillida

1 Einleitung

Die Museumsinsel Hombroich ist weit über die Grenzen des Neusser und Düsseldorfer Raumes hinaus bekannt. In einer parkähnlichen Auen- und Terrassenlandschaft präsentiert sich nicht nur eine reichhal-

tige Sammlung von Kunstobjekten, sondern Künstler sind auch ständig aktiv und bei Ihrem Schaffensprozess zu beobachten, wie beispielsweise Anatol, ein ehemaliger Schüler von Joseph Beuys. Die Objekte werden zum einen in verschiedenen von

Erwin Heerich entworfenen Pavillons ausgestellt und sind zum anderen auch direkt in der Natur platziert. Nicht nur die starke Verbindung zwischen Kunst und Natur gibt dem Museumspark eine eigene Atmosphäre. Erklärende Schilder wie in Museen sucht man hier vergebens. Der Besucher muss die Kunst selbst entdecken. Der ganze Park ist eher ein Atelier zeitgenössischer Kunst als ein Museum. Vor einigen Jahren wurde der Park um ein ca. 1 km entfernt gelegenes Gelände erweitert, das früher als Raketenstation genutzt wurde.

Unmittelbar neben der Raketenstation wurde nun eine 15 m hohe Betonskulptur nach einem Entwurf des baskischen Bildhauers Eduardo Chillida errichtet. Die Skulptur ist bereits von weitem sichtbar und gibt so schon Vorbeifahrenden Rätsel auf, die ein Besucher auch bei einem



Bild 1: Original-Bronzeskulptur von Eduardo Chillida

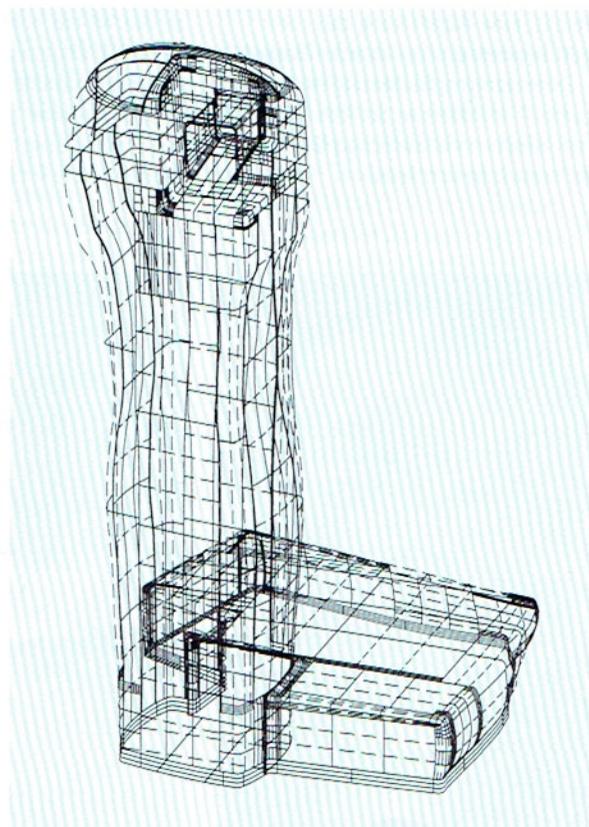


Bild 2: CAD-Drahtmodell nach dem Digitalisieren

Rundgang im Park zu lösen versucht. Ein Loch im Kopf der Skulptur ist sowohl vom Park aus als auch von der Raketenstation zu „durchblicken“, was die beiden Kunstareale gedanklich miteinander verbindet: eine Skulptur, die somit Brücke und Wahrzeichen für die Museumsinsel darstellt. Die Stiftung Insel Hombroich beauftragte Eduardo Chillida mit der künstlerischen Leitung und die Philipp Holzmann AG mit dem Bau des Monuments.

Eduardo Chillida ist einer der anerkanntesten Künstler in der Welt und der bekannteste lebende Künstler Spaniens. Skulpturen von ihm stehen nicht nur in Europa, sondern auch in den USA und in Japan. Auch in Deutschland stehen bereits mehrere größere Skulpturen. Zuletzt wurde vor dem Bundeskanzleramt in Berlin eine Stahlskulptur vom Bundeskanzler eingeweiht, die das Trennende und Vereinigende von Ost- und Westdeutschland darstellt. Derzeit ist eine Ausstellung mit rund 130 Werken des berühmten Basken – Zeichnungen, Radierungen, Skulpturen – im Museum Schloss Moyland (am Niederrhein zwischen Kleve und Kalkar) zu besichtigen.

Der Bildhauer aus dem Baskenland besuchte 1996 persönlich den Ort, an dem die Skulptur errichtet werden sollte und erstellte eine etwa 40 cm hohe Bronzeskulptur (Bild 1). Die Skulptur besteht aus einem Turm und einer vorliegenden Plattform. Der Turm hat oben eine quaderförmige Aussparung, die ähnlich wie ein Tortenstück aus der Skulptur herausgeschnitten zu sein scheint. Zusätzlich durchdringt eine Aussparung den Kopf. Der Kopf ist wie bei einer Knospe leicht verdickt. Diese Bronzeskulptur sollte nun auf eine Höhe von 15 m „hochgezoomt“ werden und in massivem Beton erstellt werden.

2 Herstellung der Formen

Zur Herstellung der 15 m hohen Betonskulptur wurde die Bronzeskulptur digitalisiert, um die Geometrie im Computer weiterbearbeiten zu können. Mit rd. 4.500 Punkten wurde das 40 cm hohe Bronzekunstwerk räumlich abgetastet und ergab ein dreidimensionales Drahtmodell im CAD-Programm (Bild 2). Zur weiteren Bearbeitung wurde das Drahtmodell in ein Freiformflächenmodell

umgewandelt. Die CAD-Bearbeitung von Freiformflächen erfordert komplexe CAD-Programme, wie sie auch in der Automobilbranche eingesetzt werden. Für diese Freiformfläche musste nun eine Schalung erstellt werden, um die maßgetreue Umsetzung zu ermöglichen. Als Schalung wurden Styroporinlets aus Rohblöcken entsprechend dem CAD-Modell hergestellt.

Dieses Verfahren wurde für Betonfertigteile komplexer Architekturformen entwickelt [1]. Das patentierte Verfahren CNC-gefräster Schalungsformen zur Herstellung räumlich gekrümmter Betonbauteile wurde außer bei komplexen Gebäudebauteilen auch bei strömungsgerechten Kanalbauwerken eingesetzt [2, 3]. Erstmals wurde nun mit diesem Verfahren auch ein Kunstobjekt hergestellt.

Aus dem CAD-Freiformflächenmodell (Bild 3) wurden CNC-Fräsprogramme erstellt, die zur Steuerung einer Fräse dienten, die aus einem quaderförmigen Styropor-Rohblock die Schalungsform herausfräste (Bild 4). Die Schalungsblöcke wurden als Inlet auf eine Standard-Systemschalung montiert und zur

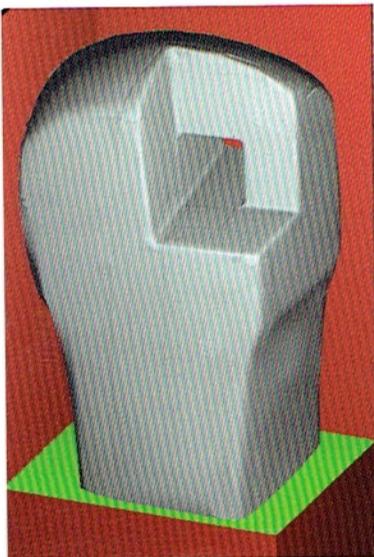


Bild 3: CAD-Freiformflächenmodell



Bild 4: Fräsen der Styroporformen



Bild 5: Unterschiedlich dicke Styroporsegmente im Kopfbereich der Skulptur

Bild 6: Teilmontierte Schalung und innen stehender Treppenturm



Baustelle transportiert. Insbesondere für die Aussparungen im Kopfbereich war die CAD-Bearbeitung sehr aufwendig.

Bei der Bearbeitung war nicht nur die Fräsbarkeit zu prüfen, sondern auch die Teilung der Segmente, die die erforderlichen Abmessungen der Rohblöcke bestimmten. Die Abstimmung der Segmente mit den Maßen der Systemschalung sowie die Montagefähigkeit auf der Baustelle und die Auflagen zum Transport mussten ebenfalls berücksichtigt werden. Die Styroporsegmente waren je nach Anordnung an der Skulptur zwischen 20 cm und 150 cm dick (Bild 5).

3 Schalen – Bewehren – Betonieren

Nach Herstellung einer Fundamentplatte unter der gesamten Skulptur wurde zuerst der Turm betoniert und im Anschluss die vorliegende Plattform anbetoniert. Vor allem die Herstellung des Turms hatte seine Besonderheiten, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Die Höhe des Turms ab Oberkante Fundament beträgt 15,4 m. Der Grundriss hat mittlere Abmessungen von 3,0 m x 3,5 m. Die Schalung wurde in sechs Abschnitten mit je 2,7 m Höhe zu einer Gesamthöhe von 16,2 m aufgebaut. Der Grundriss der Schalung betrug 4,1 m x 4,9 m. Aus künstlerischen Gründen musste das Betonieren der Skulptur in einem Arbeitsvorgang erfolgen, da keine Arbeitsfuge sichtbar sein sollte. Die Abspannung der Schalung zur Aufnahme des Betonierdrucks erfolgte über Stahlträger, die gegeneinander verspannt wurden. Mit dem Aufbau der Schalung wurde außen ein Gerüst und im Inneren des Turms ein „verlorener“ Treppenturm mit hochgezogen (Bild 6).

Über Schrägstützen und Abspannungen wurde der Schalungsturm gegen Windlasten gesichert. Der Turm mit den Styroporinlets wurde in Gänze aufgebaut und anschließend zum Schutz gegen Witterungseinflüsse vollständig mit Folie eingehaust (Bilder 7 bis 9). Durch ein Mannloch im obersten Kopfbereich

konnte das Innere über eine Leiter und den Treppenturm erreicht werden.

Bereits für dieses Verfahren bewährte Trennmittel wurden vorher in einem Versuch erneut getestet. Nach dem Auftragen des Trennmittels konnte die Skulptur bewehrt werden (Bild 10), ähnlich wie eine Stütze mit den ideellen Abmessungen des Treppenturms. Im Randbereich wurde eine Netzbewehrung zur Rissbegrenzung montiert.

Der Beton wurde als Transportbeton angeliefert. Die Betonzusammensetzung zeigt Tafel 1. Das Betonieren erfolgte mit einer Pumpe, damit der Beton mit einem Betonierschlauch durch das Mannloch innerhalb der Skulptur hinuntergeführt und ohne große Fallhöhe eingebracht werden konnte. Aufgrund des Betonierens von über 15 m Höhe in einem Betoniervorgang war ein kontrollierter Schalungsdruck für die Standsicherheit unbedingt erforderlich. In einer Betonierzeit von 17 Stunden wurde mit maximal 1 m/h Steiggeschwindigkeit die Skulptur mit rd. 154 m³ Beton gefüllt.



Bild 7: Schalung mit Styroporformen im Kopfbereich



Bild 8: Schalungsturm mit Stahlaussteifung und Montieren eines Schalungselements

Die auftretenden Durchbiegungen der Stahlträger im Vergleich zu den rechnerisch ermittelten Durchbiegungen waren eine zusätzliche Kontrolle zu dem statischen Nachweis während des Betoniervorgangs. Die Styroporinlets und vor allem die Aus-

sparungskörper wurden abgestützt oder abgespannt, um die Auftriebs-sicherheit sicherzustellen. Beim Betonieren des oberen Teils der Skulptur war der untere Teil bereits soweit erhärtet, dass er keinen Druck mehr auf die Schalung ausübte. Das

Verdichten erfolgte über Innenrüttler vom Treppenturm aus, der mit einbetoniert wurde (Bild 11). Die Konsistenz des Betons war genau abzustimmen. Sie wurde einerseits so weich wie möglich gewählt, damit der Beton gut pumpfähig war und



Bild 9: Zum Schutz gegen Witterungseinflüsse vollständig mit Folie eingehauster Turm



Bild 10: Statische Bewehrung und Netzbewehrung



Bild 11: Betonieren der Skulptur

eine ausreichende Fließfähigkeit hatte, um sich zu verteilen, andererseits jedoch so steif wie nötig, um das Absetzen und ein Hochtreiben von Wasser zu verhindern, was ein einheitliches, schlierenfreies Sichtbetonbild nachhaltig beeinträchtigt hätte.

4 Temperaturentwicklung

Mit einer Bauteildicke von über 3 m und einer Höhe von über 15 m handelt es sich um ein sehr massiges Bauteil [4]. Die Oberfläche sollte nur noch leicht gesandstrahlt werden, so dass Risse unbedingt zu vermeiden waren.

Beim Betonieren von Bauteilen auf bereits erhärtete Bauteile können so genannte Trennrisse oder Spaltrisse entstehen, da das aufbetonierte Bauteil sich beim Erhärten durch Erwärmung ausdehnt, sich bei nachfolgender Abkühlung aber wieder verkürzt, was durch den Verbund zum älteren Bauteil jedoch verhindert wird. Durch diesen äußeren Zwang entstehen durchgehende Risse. Zur Vermeidung von Trennrissen durch das Betonieren des Turms auf das bereits einige Wochen alte Fundament wurde das Fundament nach dem Betonieren mit einer Dämmmatte abgedeckt, um die Auskühlung zu verlangsamen. Der Turm wurde zudem möglichst zeitnah aufbetoniert, wobei vorher einige Tage die Fundamentoberfläche im Turmbereich mit Heizlüftern auf etwa 20 °C erwärmt wurde. Das Styropor bildete eine ausreichende Dämmung, um diese Temperatur bis zum Zeitpunkt des Betonierens zu halten. Durch diese wenig kostenintensive Maßnahme wurden Trennrisse im Turm verhindert.

Die größere Gefahr bestand jedoch im Auftreten von oberflächennahen Schalenrissen, die entstehen, wenn der Temperaturgradient zwischen Kernbereich und Oberflächenbereich zu groß wird. Hierdurch kommt es zu Druckspannungen im Kernbereich und Zugspannungen im Rand-

Tafel 1: Zusammensetzung des Skulpturbetons

Betonfestigkeitsklasse		B 25
besondere Eigenschaften		niedrige Hydratationswärme
Konsistenzbereich		KP
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM III/B 32,5-NW/HS
Zementgehalt	kg/m ³	320
Wassergehalt	kg/m ³	194
w/z		0,61
w/(z+0,4·f)		0,55
Gesteinskörnung		
Sand 0/2 mm	%	48
Porphyrsplitt 4/8 mm	%	15
Porphyrsplitt 8/2 mm	%	37
Gehalt	kg/m ³	1633
Zusatzstoff		
Art		Steinkohlenflugasche
Gehalt	kg/m ³	90
Zusatzmittel		
Art		BV
Gehalt	kg/m ³	1,6

bereich. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass bei einer größeren Differenz als 20 K durch den inneren Zwang Schalenrisse entstehen. Bei Bauteilabmessungen von mehr als 60 cm kann jedoch auch schon eine Differenz von 15 K oder weniger zur Rissbildung ausreichen [5]. Hiervon ist bei einem massigen Bauwerk, das über 40 °C im Kern erreicht und gleichzeitig Oberflächentemperaturen entsprechend der winterlichen Jahreszeit von etwa 10 °C aufweist, auszugehen.

Um die Kerntemperatur zu minimieren, wurde ein Hochofenzement CEM III/B eingesetzt (Tafel 1), der eine sehr niedrige Wärmeentwicklung hat [6]. Zusätzlich wurde die Zementmenge zur Temperaturminimierung auf 320 kg/m³ begrenzt. Als weitere Maßnahme wurde der Zement einige Tage vorgelagert, wodurch die Zementtemperatur von rd. 60 °C auf etwa 20 °C verringert werden konnte. Aufgrund der kühlen Jahreszeit mit einer Tagestemperatur beim Betonieren von 8 °C konnte so erreicht werden, dass die Tempera-

tur des Frischbetons lediglich 11 °C betrug. Eine aufwendige Scherben-eiskühlung oder andere Kühlungen des Anmachwassers war somit nicht erforderlich. Die Temperatur entsprach der Vorrausberechnung nach der Formel:

$$T_b = \frac{z \cdot c_z \cdot T_z + g \cdot c_g \cdot T_g + h_g \cdot c_w \cdot T_g + w \cdot c_w \cdot T_w}{z \cdot c_z + g \cdot c_g + h_g \cdot c_w + w \cdot c_w} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

mit
 T_b Frischbetontemperatur [°C]
 z, g, h_g, w Gehalt an Zement, Gesteinskörnung, Oberflächenfeuchte, Wasser [kg/m³]
 c_z, c_g, c_w spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
 T_z, T_g, T_w Temperaturen von Zement, Gesteinskörnung, Zugabewasser [°C]

In den ersten vier Tagen stieg die Betontemperatur täglich i.M. um 7,3 K, anschließend wesentlich langsamer mit i.M. nur 0,5 K täglich, bis nach acht Tagen die maximale Temperatur von 42 °C erreicht wurde (Bild 12). Beispiele aus der Praxis zeigen, dass bei Massenbeton im Kern i.A. Temperaturen zwischen 40 °C und 55 °C erreicht werden, wenn die Betonzusammensetzung auf eine entspre-

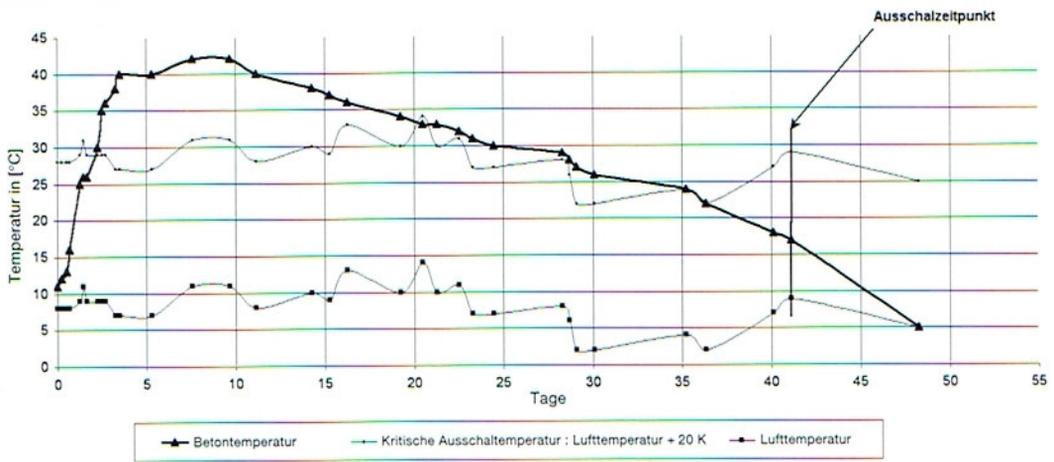


Bild 12: Temperaturentwicklung des Betons

chende Temperaturverminderung abgestimmt ist [7]. Der Temperaturanstieg kann nach folgender Formel errechnet werden:

$$\Delta T_{bn} = \frac{z \cdot H_n}{c_b \cdot \rho_b} \text{ [K]}$$

mit

- ΔT_{bn} Temperaturanstieg nach n Tagen [K]
- z Zementgehalt [kg/m³]
- H_n Hydratationswärme bis zum n-ten Tag [kJ/kg]
- c_b spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
- ρ_b Rohdichte des Betons [kg/m³]

Bei einer Bauteildicke von 4 m ergibt sich nach viereinhalb Tagen ein rechnerischer Temperaturanstieg von 30 K. Dieser errechnete Wert deckte sich fast exakt mit dem gemessenen Anstieg bis zur maximalen Betontemperatur von 31 K. (Die Betontemperatur wurde praxisnah ohne großen Aufwand als Wassertemperatur in einem wassergefüllten Faserzementrohr 30 cm tief im Beton unter der 50 cm dicken dämmenden Styroporschicht gemessen.) Zu diesem Zeitpunkt war die Kerntemperatur über 30 K höher als die Außentemperatur, so dass ein Ausschalen mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Vielzahl von Schalenrissen geführt hätte [8]. Die Styroporinlets dämmten jedoch die Betontemperatur und verhinderten ein

schnelles Abkühlen der Oberflächen und somit die Entstehung von Rissen. Gleichzeitig konnte die Hydratationswärme hierdurch nur sehr langsam abfließen. Die Kerntemperatur sank mit etwa nur 0,8 K bis 1,0 K täglich, bis nach 40 Tagen der Temperaturgradient deutlich unter 20 K lag. Bei weiter sinkenden Betontemperaturen und steigenden Außentemperaturen konnte die Skulptur nach 41 Tagen bei einem Temperaturgradienten von nur 8 K ausgeschalt werden (Bild 12).

Aufgrund der Begrenzung der maximalen Betontemperatur mit beton-technologischen Maßnahmen und durch die Steuerung des Ausschaltzeitpunkts durch Kontrolle des Temperaturgradienten konnte auf eine aufwendige Rohrkühlung verzichtet werden.

Nach Entfernen der dämmenden Schalung kühlte der Beton nun stärker mit i.M. 1,7 K täglich ab. Nach 48 Tagen hatte sich die Temperatur der Skulptur der Außentemperatur angeglichen. Es wurden keine Schalenrisse im Turm festgestellt.

Die gesamte Betonskulptur wurde leicht gesandstrahlt. Auf Wunsch von Eduardo Chillida sollte die oberflächige Zementhaut entfernt werden, ohne dabei den Zuschlag deutlich freizulegen. Das Erscheinungsbild war somit weder eine geschalte

Betonfläche noch eine Waschbetonoberfläche, sondern eher die Oberfläche eines natürlichen Gesteins. Um die Ansicht von rundlichen Kieskörnern wie bei Waschbeton zu vermeiden und zur Erzielung einer leichten Färbung des Betons wurde als Zuschlag gebrochener Porphyre eingesetzt.

5 Die fertige Betonskulptur

Nach zwei Monaten Vorbereitung und viereinhalb Monaten Bauzeit wurde die Skulptur (siehe Titelbild) am 18. Februar 2001 eingeweiht (Bild 13, aus [9]). Da der Künstler aus gesundheitlichen Gründen nicht selbst teilnehmen konnte, waren Frau Chillida und ihr Sohn angereist. NRW-Kulturminister Vesper und der Bürgermeister von Neuss dankten Chillida für sein Werk und viele Besucher konnten sich überzeugen, was innovative Bautechnik möglich macht. Kunstobjekte fast jeder Art können so in kurzer Zeit in großem Maßstab maßneutral hergestellt werden. Damit erfüllte sich bereits in kürzester Zeit die hoffnungsvolle „Prophezeiung“ von 1999, die in [1], Seite 19, geschrieben steht:

„Mal sehen – vielleicht eröffnet die Technik des computergesteuerten Nullserienbaus, die für den Neuen Zollhof entwickelt wurde, neue Frei-



Klaus-Dieter Schübel, Ready Mix, Pilar Chillida, Ehefrau des Künstlers, Michael Vesper, Kulturminister



Lois Chillida, Künstlersohn

Einweihung

NRW-Kulturminister Michael Vesper weihte ein Kunstobjekt des baskischen Bildhauers Eduardo Chillida auf der Museumsinsel Hombroich ein. Die 15 Meter hohe Beton-Skulptur wurde pünktlich zur Wiedereröffnung der Museumsinsel nach der Winterpause aufgestellt.



Marion Taube, Museumsinsel, Erwin Heerich, Bildhauer



Hans-Heinrich und Annete Große-Brockhoff



Thomas Golda und Kathrin Pongratz, Architektin

Bild 13: Bericht über die Einweihung der Betonskulptur (aus [9])

heiten für Planer und Bauleute und neue Ideen für neue Formen."

Bei Betrachtung des Kunstwerks gibt auch diese Betonskulptur dem Betrachter sicherlich wieder Fragen auf, die jeder für sich löst oder unbeantwortet lässt. So wie im gesamten Museumspark (Bild 14): Kunst, die sich nicht erklärt, sondern die der Betrachter erlebt.

6 Literatur

[1] Frank O. Gehry: Der neue Zollhof Düsseldorf. Hrsg.: Thomas Rempen,

Verlag Peter Pomp, Bottrop/Essen, 1999.

- [2] Albrecht, P.: Der neue Zollhof – Ein Highlight für den Betonbau. Beton-Informationen 39 (1999) H. 2, S. 3-23, (s.a. [1], S. 349-354).
- [3] Albrecht, P.: Der neue Zollhof – Innovative Schalung für außergewöhnliches Bauprojekt. beton 48 (1998) H. 9, S. 538-544.
- [4] Deutscher Beton-Verein: Sachstandsbericht Massenbeton (Fassung 1981). Schriftenreihe des Deutschen Ausschuß für Stahlbeton H. 329, S. 3-9, Berlin 1982 (s.a. DBV-Merkblätter, Wiesbaden 1983, S. 61-70).
- [5] Wischers, G.: Betontechnische und konstruktive Maßnahmen gegen

Bauschild

Bauherr:
Stiftung Insel Hombroich, Neuss

Entwurf und künstlerische Leitung:
Eduardo Chillida, Spanien

Bauausführung:
Philipp Holzmann AG – HN Düsseldorf

Fräsen der Schalformen:
Grunewald Modellbau, Bocholt

Transportbeton:
Readymix Beton Rhein-Ruhr GmbH, Düsseldorf

- Temperaturrisse in massigen Bauteilen. beton 14 (1964) H. 1, S. 22-26 und H. 2, S. 65-73.
- [6] Vinkeloe, R.; Weber, R.: Ermittlung der Temperatur des frischen und des erhärtenden Betons. Beton-Informationen 26 (1986) H. 5, S. 47-52.
- [7] Kottkamp, K.; Lehmann, K.: Beton mit niedriger Wärmeentwicklung für große Fundamente. Beton-Informationen 32 (1992) H. 6, S. 71-76.
- [8] Tengen, A.; Grünberg, J.: Zwangbeanspruchungen in dicken Betonwänden. Beton- und Stahlbetonbau 96 (2001) H. 4, S. 334.
- [9] WELT am SONNTAG, Nr. 8 vom 25. 2. 2001, redaktioneller Teil „Nordrhein-Westfalen“, NRW Gesellschaft.



Bild 14: Blick von der Skulptur auf die Exponate auf dem Gelände der ehemaligen Raketenstation