



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

**Institut für Massivbau** <http://massivbau.tu-dresden.de>

---

**SILKE SCHEERER, MANFRED CURBACH (HRSG.)**

# **LEICHT BAUEN MIT BETON**

**FORSCHUNG IM  
SCHWERPUNKTPROGRAMM 1542  
FÖRDERPHASE 1**

# Freigeformte Betonkonstruktionen – Formen, Schalungssysteme und technische Potentiale

Sascha Hickert  
Ulrich Knaack

Fachbereich 1,  
Hochschule  
Ostwestfalen-Lippe

Dieser Artikel befasst sich mit der Analyse von angewandten Rädien in der gebauten Architektur. Diese Grundlagenermittlung ist Teil des Forschungsprojektes Grundlagen zur Entwicklung adaptiver Schalungssysteme für freigeformte Betonbauteile und dient zur Vorkonfiguration einer adaptiven Schalfäche (siehe Beitrag von MICHEL & KNAACK im vorliegenden Band). Es werden die wechselnden Veränderungen moderner Architektur, von der rechtwinkligen „Box“ zum freigeformten „Blob“, im Hinblick auf die Geometrie mit der daraus resultierenden Problematik in Bezug auf Kosten und Fertigung beschrieben.

## 1 Einleitung

Die Bauwirtschaft ist seit den 1990er Jahren einem grundlegenden Strukturwandel ausgesetzt. Der Preiswettbewerb zwingt die Bauunternehmen, auch im Bereich Stahlbetonhochbau, bis an ihre Deckungsgrenze zu kalkulieren, um Aufträge zu akquirieren (GIRMSCHIED & KERSTING [1]). Einen signifikanten Anteil an den Rohbaukosten im Stahlbeton-Hochbau (kurz: STB-Hochbau) betragen die Schalungskosten. Untersuchungen zeigen, dass von den Gesamtrohbaukosten eines STB-Rohbaus allein 30–40 % der Kosten auf die Schalungskosten anfallen (MÜLLER [2], RATHFELDER [3], HOFFMANN [4], REICHEL [5]).

Beobachtet man die Entwicklung des STB-Baus, fällt auf, dass es nach Ende des zweiten Weltkrieges eine Aufbauphase gab, in welcher Rationalisierungsmaßnahmen begannen. Das Rationalisieren beschränkte sich allerdings grundsätzlich auf die Themen Bewehrung und Beton. Sie erschöpften sich bald und man widmete sich dem kaum Betrachtung geschenkten Arbeitsprozess der Schalung. Erste Verbesserungen und Ansätze gab es in der Vorplanung, Neuschaffung der Einsatzmittel (Fertigschalungselemente) und den Einsatzmöglichkeiten (KOWALSKI [6]).

All diese Verbesserungen der Schalungssysteme seit den 1950er Jahren bis heute haben zwar das Schalen vereinfacht und zur Zeitersparnis und somit auch zur Lohnkostensenkung beigetragen, allerdings gehen diese Einsparungen oft mit systembedingter eingeschränkter Flexibilität in Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit an die Bauwerksgeometrie einher. Betrachtet man jedoch die Geometrie und Komplexität moderner Gebäude, stellt man schnell fest, dass als Folge der Möglichkeiten der digitalen Planung die geometrischen Ansprüche als Resultat der architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten ständig wachsen. Eine Schalung für eine großflächige gerade Wand stellt heute grundsätzlich kaum eine Herausforderung dar, aber benutzt man dasselbe Schalungssystem beispielweise für einen schiefwinkligen Grundriss, wie es Entwürfe von Architekten wie ZAHA HADID, FRANK O. GEHRY oder Coop Himmelb(l)au verlangen, wird schnell klar, dass sich diese Systeme nur mit Adaptionen bei entsprechendem Planungsaufwand und höheren Schalungskosten verwirklichen lassen. Geht man dem Anspruch moderner Architektur nach und denkt nicht an planbare Geometrie sondern geht in den Bereich von freigeformten Baukörpern, so steigen die Kosten für die Schalungen exponentiell. Untersuchungen auf dem Gebiet der Freiformschalung im Betonbau im Bezug auf die Ausführung der Schalungen und somit die Reduktion der Produktions- und Baukosten sind zum jetzigen Zeitpunkt jedoch sehr begrenzt – vielmehr werden

die Planung und Ausführung solcher Bauwerke heute mit hohem Aufwand und einer Konstruktionsentwicklung im Einzelfall realisiert.

## 2 Entwicklung des Schalungsbaus

Grundsätzlich sind keine verifizierten Kategorisierungen der einzelnen heute am Markt verwendeten Schalungssysteme vorhanden. Die für den Schalungsbau verwendete und gültige europäische Norm DIN EN12812:2008: Traggerüste – Anforderungen, Bemessung und Entwurf „...formuliert Anforderungen zur Ausschreibung und zur Anwendung von Traggerüsten und enthält Verfahren für die Bemessung (Tragwerksplanung) von Traggerüsten...“ (HOFFMANN, MOTZKO, CORSTEN [4]).

Hersteller unterscheiden in ihrem Sortiment nach Schalungssystemen für die jeweilige Bauaufgabe: Wandschalung, Deckenschalung, Stützenschalung | Säulenschalung, Traggerüste | Trägerschalung, Brücken- und Tunnelschalung und Kletterschalung mit den dazugehörigen Unterkategorien. Ein Wandsystem kann prinzipiell denselben Aufbau aufweisen wie ein Deckensystem, deshalb kategorisiert die Fachliteratur hingegen Schalungssysteme grundsätzlich in System- und Sonderschalungen:

- Feste Schalungen, z. B. Wand-, Decken-, Rund-, Stützenschalungen,
- Bewegliche Schalungen, z. B. Kletter-, Gleit-, Hub-, Ziehschalungen,
- Sonderschalungen, z. B. Vakuum-, pneumatische, Holz-Freiformschalungen.

Durch Einführung der Systemschalungen und der somit systembedingten einfacheren Errichtung der Schalung ist es dazu gekommen, weniger qualifizierte Arbeiter zur Errichtung von Schalungen heranzuziehen, um Kosten einzusparen. Im Vergleich von Montage früher und heute wird jedoch deutlich, wie eingeschränkt und starr die heutigen „flexibel einsetzbaren Schalungssysteme“ sind. Anhand des Beispiels einer abgechrägten Wand wird deutlich, dass das früher vom Schalungsbauer eingesetzte Schalungssystem bestehend aus losen Holzbrettern an Problemstellen wie gekrümmten Randbereichen einfacher herzustellen war, als es mit den heutigen Systemschalungsmodulen (Rahmenschalung) möglich ist. Durch die Abstufungen in Dezimeter-Schritten und das Verwenden von Eckrahmen kann man sich sukzessive der Geometrie nähern (sukzessive Approximation), es bleibt jedoch immer eine Restfläche, wie Bild 1 zeigt. Dieses bauseitige Beischalen ist zeitintensiv und führt in technisch hochentwickelten Ländern mit entsprechend hohen Lohnkosten zu höheren Gesamtkosten. Sind Sichtbetonqualitäten gewünscht, erschwert das den Vorgang zusätzlich.

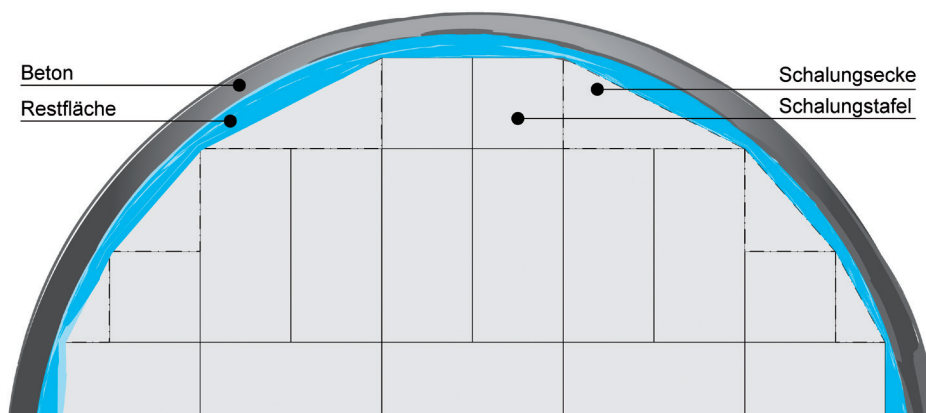


Bild 1: Beispiel für Schalungsflächen, die einen erhöhten Schalungsaufwand bei der Verwendung von Systemschalungsmodulen aufweisen

Zusammenfassend lässt sich über die Historie des Schalungsbaus sagen, dass abgesehen von den beweglichen und elementierten Schalungssystemen bis heute keine wesentliche Entwicklung stattgefunden hat. Bis heute liegt der Anteil der Lohnkosten bezogen auf die Gesamtschalungskosten eines Betonhochbaus zwischen 65 bis 70 % und ist damit ein unvermindert signifikanter Kostenfaktor (SCHMITT [7]). Dies spiegelt auch das abschließende Zitat von Prof. Dr.-Ing. FRIEDRICH H. HOFFMANN wieder: „...Sicherlich haben sich ebenso wie auf anderen Gebieten auch im Schalungsbau in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg bis heute Veränderungen positiver Art vollzogen. Dies wird in Zukunft auch so weitergehen. Allerdings ist dabei ein grundlegender Wandel ausgeblieben, wenn man von einzelnen Modeerscheinungen und von Großflächenschalungen absieht. In erster Linie sind Verbesserungen in Form von technisch perfekteren und leichteren Einzelteilen feststellbar...“ Zitat HOFFMANN (HOFFMANN [8])

### 3 Analyse der Gebäudegeometrie

In den folgenden Analysen werden 160 realisierte Betonbauten, die mindestens eine einsinnige Krümmung aufweisen, nach ihren formgebenden Radien untersucht. Ziel dieser Untersuchungen soll es sein, ein Radienspektrum aufzuzeigen, welches in der architektonischen Formsprache vermehrt auftritt. Diese Daten sollen als Grundlage dienen, um ein Schalungssystem zu entwickeln, das bedingt durch seine Bauart flexibel auf Bauaufgaben reagieren kann.

Die in der Analyse verwendeten Radien basieren auf vorliegenden Grundrissen und Schnitten. Ausschlaggebend für die Auswahl der Radien war die Dominanz des Radius im Bezug auf das gesamte Gebäude. Bei parabelförmigen Krümmungen wurde der Radius im Scheitelpunkt angenommen. Bei vertikalen hyperboloiden Strukturen wie z. B. einem Kühlturm wurden die drei Radien betrachtet, die zur Formgenerierung benötigt werden. Ausgewertet wurden grundsätzlich die kleinsten und größten Radien und das begrenzt auf maximal vier Radien pro Gebäude. Ziel ist es, aus den gesamten Radien herauszufiltern, welche Radien für die jeweilige Bauaufgabe wie Dach, Wand oder Fassade von Relevanz sind.

#### 3.1 Zeitliche Zusammenhänge

Die Herstellung von gekrümmten Flächen ist bis in die Steinzeit zurückzuverfolgen in Form von kuppelähnlichen Bedachungen (sogenannte unechte Gewölbe). Der Bogen entstand durch das Vorkragen anderer Steine. Die ersten echten Kuppeln sind im 1. Jhr. v. Chr. in und bei Rom entstanden. Bis Ende des 18. Jahrhunderts wurden fast ausschließlich Stein, Ziegel, Holz und natürliche Fasern zum Bau von Kuppeln und Bögen verwendet (HEINLE & SCHLAICH [9]).

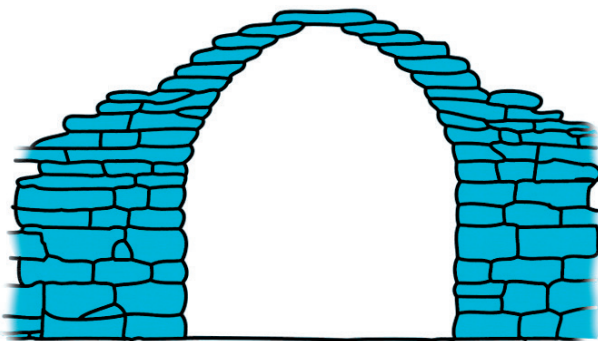


Bild 2: Schematischer Aufbau eines unechten Gewölbes

Ab den 1930er Jahren nahmen mit Einführung von hochfestem Zement und der Möglichkeit, den Beton zu torkretieren (Beton-Trockenspritzverfahren), die Beton-Schalentragwerke an Bedeutung zu. Als Leitgebäude zählt hier das Zeiss-Planetarium in Jena (fertiggestellt 1926). Erst als technisch zu aufwendig und kaum umsetzbar eingestuft, wurde mit dem Unternehmen DYCKERHOFF & WIDMANN das Zeiss-Dywidag-System für Eisenbetonschalendächer entwickelt. Diese Entwicklung eröffnete das Schalen-Zeitalter. Als weitere wichtige Konstrukteure von Schalentragwerken sind unter anderem PIER LUIGI NERVI (ab

1925), FELIX CANDELA (ab 1950), HEINZ ISLER (ab 1950) und ULRICH MÜTHER (ab 1964) zu nennen, z. B. KIND-BARKAUSKAS ET AL. [10].

Die allgemeine Applikation von CAD-Software in Architekturbüros ist ab den 1990ern zu erkennen. Als Vorreiter in der Architektur gilt der Architekt FRANK O. GEHRY, der bereits 1992 mit Hilfe der Software CATIA die Fisch-Skulptur im Eingangsbereich des Geschäftskomplexes Vila Olimpica in Barcelona plante und baute. Erstmals war es durch die Software möglich, ein Projekt nicht nur beschreibbar darzustellen, sondern präzise vorproduzierbar zu machen und allen am Bau beteiligten Unternehmen einheitliche Pläne zur Verfügung zu stellen. Ebenfalls konnten aus dem 3D-Modell Daten zur Bemessung der statischen Konstruktion ausgelesen werden. GEHRY'S Entwurf ist somit eines der ersten realisierten Gebäude einer neuen rechnerunterstützten Architektur (LAZO [12]). Diese Entwicklungen in der digitalen Planung führten zu einer neuen Architektur – manifestiert in dem Prozess der Entwicklung von der rechtwinkligen „Box“ zum freigeformten „Blob“.

### 3.2 Auswertung

Die folgenden Diagramme bilden die Radien aus den analysierten Gebäuden ab. Insgesamt wurden – wie gesagt – 160 Gebäude aus den Kategorien Gewerbe / Industrie, Wohngebäude, Kultur / Bildung und Sonderbauten analysiert. Die Daten, die zugrunde gelegt werden, stammen aus den Architektenplänen, die teilweise im Original vorliegen, sowie aus Veröffentlichungen der jeweiligen Architekten und Architekturbüros. Die größte Anzahl stellen die Gebäude Kultur / Bildung mit 77 Bauwerken dar, gefolgt von Gewerbe / Industrie mit 43, Wohnen mit 27 und Sonderbauten mit 13 Bauwerken. Auffällig sind die entsprechend hohen Zahlen zum einen bei den Gebäuden für Kultur und Bildung und zum anderen bei den Gebäuden für Industrie und Gewerbe. Gebäude für Kultur und Bildung sind oftmals Gebäude mit repräsentativen Aufgaben. Diesem Umstand ist es geschuldet, dass ein Mehraufwand für die „Blobarchitektur“ investiert wurde. Diese repräsentativen Aufgaben müssen Gebäude für Industrie und Gewerbe grundsätzlich nicht erfüllen. Weitere Analysen wiesen auf, dass gerade bei dieser Gebäudetypologie Radien als raumbildende Elemente, d. h. für Dachkonstruktionen (16 %) bzw. Tonnengewölbe und Schalenträgerwerke (55 %), verwendet wurden. Mit Hilfe dieser Schalenträgerwerke ist es möglich, große Räume weitgehend stützenfrei auszuführen, sodass diese prädestiniert sind für eine gewerbliche großräumliche Nutzung.

Die folgenden Radiendiagramme bilden auf der äußeren Skala die Radien in Meter ab und auf der innenliegenden Skalar die Anzahl der auftretenden Radien. Bei der Betrachtung des Gesamtradiendiagramms wurden insgesamt 383 Radien analysiert. Das Diagramm beinhaltet sowohl die einsinnig gekrümmten (insgesamt 126 Radien) als auch die doppelt gekrümmten synklastischen (101 Radien) und antiklastischen Flächen (156 Radien). Auffällig bei der Auswertung sind die Peaks bei den Radien 0,5 und 1 m (bei insgesamt 42 Radien), zwischen 2 und 3 m (36 Stück), im Bereich von 5 bis 8 m (Anzahl = 65) und bei ca. 15 m (22 Radien). Fasst man diese Daten zusammen, sind für die weitere Bearbeitung und Analyse vier Gruppen von Radien von Bedeutung: kleiner als 1 m, zwischen 2 und 3 m, Radien von 5 bis 8 m und als vierte Gruppe 15-m-Radien. Diese Gruppen umfassen die am Bau bevorzugten Radien und werden in einer weiteren Analyse entsprechend der jeweiligen Bauaufgabe spezifiziert. Die nachfolgenden Diagramme gliedern das Gesamtradiendiagramm weiter auf, um die Ergebnisse für eine jeweilige Anforderung wie zum Beispiel Dachfläche, Wand oder Fassade zu optimieren. Hierzu werden die folgenden Diagramme weiter aufgeteilt in die einzelnen GAUSS'schen Krümmungen – einsinnig gekrümmte abwickelbare Flächen, gleichsinnig doppeltgekrümmte nichtabwickelbare synklastische Flächen und in die gegensinnig doppeltgekrümmten nichtabwickelbaren antiklastischen Flächen.

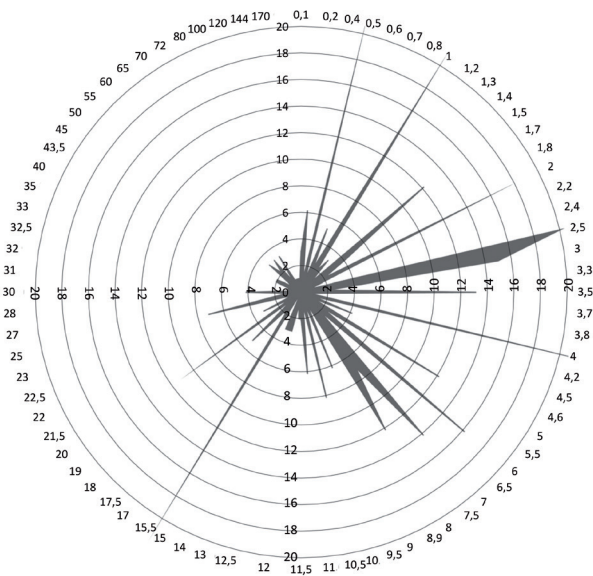


Bild 3: Gesamtradiendiagramm

### 3.3 Analyse der einsinnig gekrümmten Radien

Die Analyse der insgesamt 126 Datensätze zeigt auf, dass auch bei diesen Daten einzelne Peaks hervortreten. Diese Radien befinden sich im Bereich von < 1 m, 2,5 m, 4 m und 5–10 m. Das Radienspektrum < 1 m zeigt bei näherer Untersuchung, dass es sich grundsätzlich um abgerundete Ecken handelt. Eingesetzt werden sie bei einem Richtungswechsel einer Wand. Je kleiner der Radius, desto größer der Winkel. Bei einem Radius von etwa 20 cm (abhängig von der Wandstärke) sind Winkeländerungen von 90° möglich, wie zum Beispiel beim Multimedia-Pavillon in Jinhua.

Bild 4 zeigt drei Beispiele für Gebäude mit Radien der Gruppe < 1 m:

- Ordrupgaard-Museum in Kopenhagen (2005)  
Fassadenplanung: PLH Arkitekter, Kopenhagen  
Architekt: ZAHA HADID  
Kategorie: Kultur / Bildung
- Multimedia-Pavillon in Jinhua (2007)  
Tragwerksplaner: HOU XINHUA, Peking  
Architekten: Knowspace  
Kategorie: Sonderbau

- Hongluo Clubhouse in Beijing (2006)  
Ingenieurbüro: IDEA Design Studio, Florida  
Architekten: MAD Office  
Kategorie: Gewerbe / Industrie

Die Radien > 2 m Meter werden eingesetzt bei Wandelementen. Ein Mindestradius von 2 m ist nötig, damit sich eine nutzbare Fläche ergibt. Beispiele sind:

- Besucherzentrum Fort Diemerdam, Amsterdam (2012)  
Architekten: Emma Architecten  
Kategorie: Kultur / Bildung
- Biker-Wohnhaus in Tokio (2007)  
Architekten: nakae architects  
Kategorie: Wohngebäude
- BMW-Vierzylinder, München (1973)  
Architekt: KARL SCHWANZER  
Kategorie: Gewerbe / Industrie

### 3.4 Synklastische Radien

Bei synklastischen Flächen fallen 63 % der analysierten Radien in den Bereich der raumbildenden Radien, meist bei Schalentragwerken bzw. Kuppeln. Diese konvexen, gleichsinnig doppelt gekrümmten Tragwerke zeichnen sich durch die großen Spannweiten bei relativ schlanken Schalendicken aus.

Bei diesen Bauwerken sind die Radien < 2,5 m zu vernachlässigen, hierbei handelt es sich hauptsächlich um Add-ons für Gebäude, die keine tragende Funktion aufweisen,

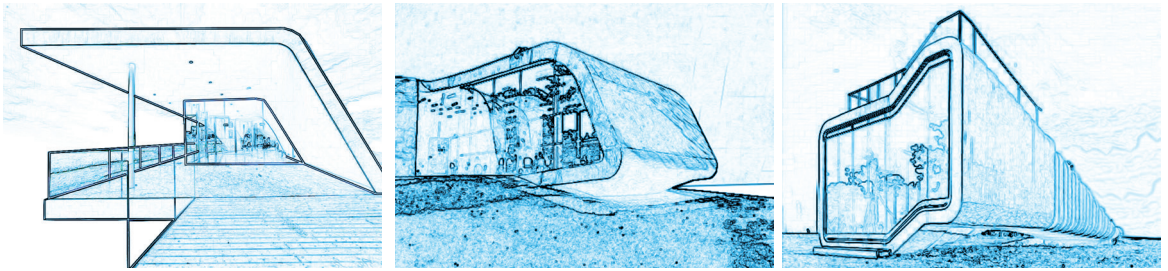


Bild 4: Gebäude mit Radien bis 1 m; von links nach rechts:  
 Honglu Clubhouse, Ordrupgaard-Museum in Kopenhagen und Multimedia-Pavillon in Jinhua

wie zum Beispiel Balkone. Erst ab einem Radius von  $> 2,5$  m ist es möglich, nutzbare Räume zu generieren. Die Radien  $> 2,5$  m und  $< 7$  m finden hauptsächlich in Gebäuden mit Wohn- bzw. kultureller Nutzung Anwendung. Radien  $> 7$  m kommen hauptsächlich im Bereich von gewerblich- bzw. industriell genutzten Gebäuden zur Anwendung.

Ein Großteil dieser Gebäude entstand ab den 1930er Jahren mit dem Boom der Schalentragerwerke bis in die 1960er Jahre. Wichtige Vertreter sind – wie bereits erwähnt – unter anderem PIER LUIGI NERVI (ab 1925), FELIX CANDELA (ab 1950), HEINZ ISLER (ab 1950) und ULRICH MÜTHER (ab 1964). Ab den 1980er Jahren wurden Schalentragerwerke nicht mehr hauptsächlich im gewerblichen Bereich errichtet, sondern auch für Wohngebäude bzw. Bauwerke mit repräsentativen Eigenschaften verwendet.

### 3.5 Antiklastische Radien

Die ersten Bauwerke mit einer annähernd antiklastischen Fläche wurden Ende des 19. Jahrhunderts in Form von Regelflächen erbaut, zum Beispiel Gitter-Wassertürme. Bis in die heutige Zeit gilt es als äußerst aufwendig, Flächen mit doppelt gegensinnig

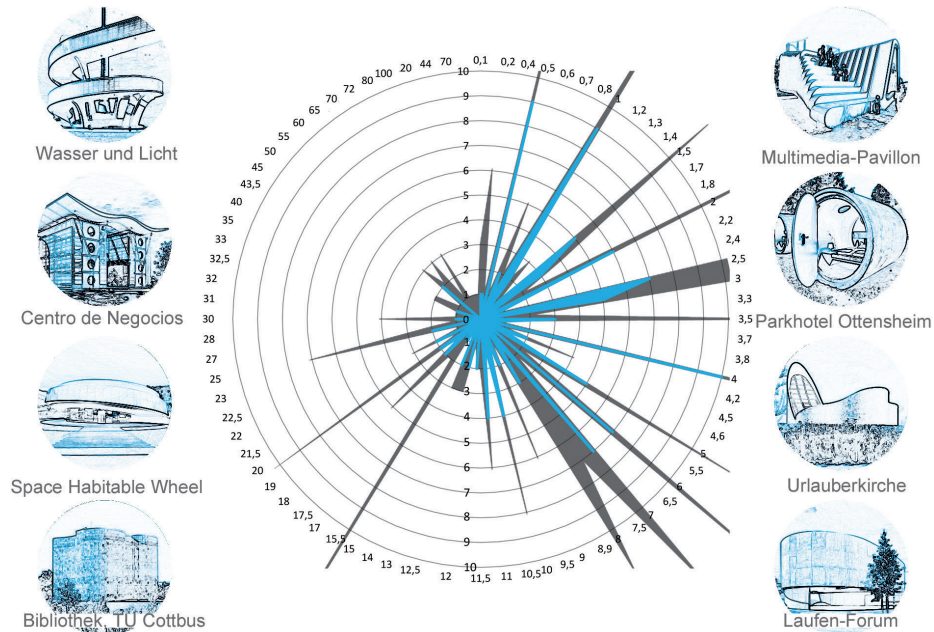


Bild 5: Radiendiagramm mit Gebäuden, die eine einsinnig gekrümmte Fläche aufweisen

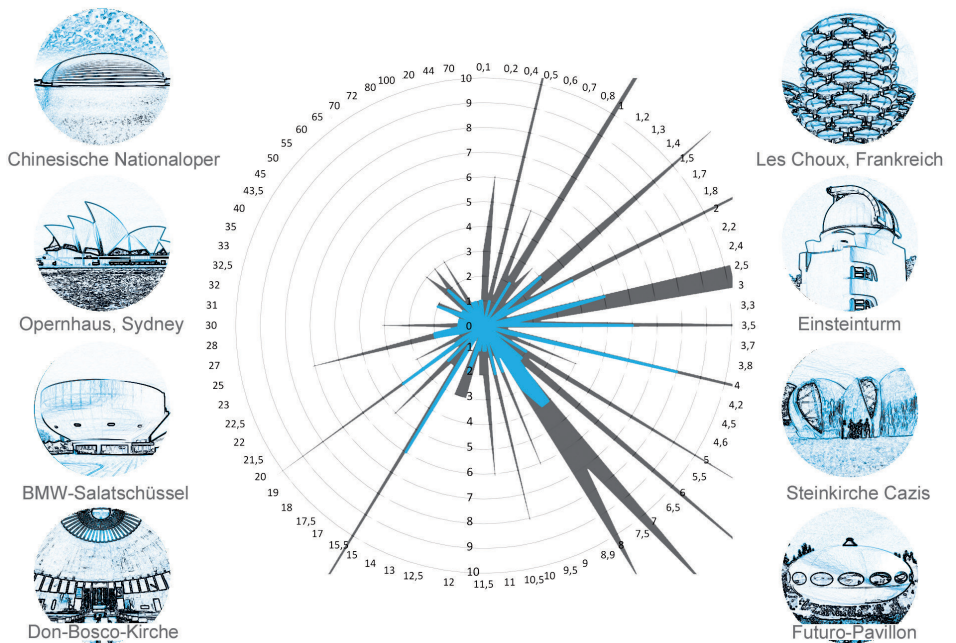


Bild 6: Radiendiagramm mit Gebäuden, die eine synklastisch gekrümmte Fläche aufweisen

gekrümmten Flächen herzustellen. Reine antiklastische Gebäude findet man heute als Funktionsgebäude wie Kühltürme, die grundsätzlich immer in Form von Regelflächen behandelt werden. Abgesehen von Funktionsgebäuden sind Betonbauwerke aufgrund der Schwierigkeit des Schalens eher seltener. Meist kommen antiklastische Betonformen als benötigtes Tragwerk in Form von aussteifenden Treppen oder Dachlandschaften vor (z. B. Rolex Learning Center). Wegen der Komplexität in der Herstellung dienen Gebäude mit antiklastischen Radien bis auf wenige Ausnahmen einem repräsentativen Zweck.

Die Einteilung der Radien in antiklastische Flächen dient an dieser Stelle der Auswertung, grundsätzlich würde man sie jedoch als Freiformflächen bezeichnen. Die große Streuung der Radien liegt begründet im häufig zahlreichen Auftreten von Änderungen der Krümmungsrichtungen, wie z. B. bei Fassadentafeln bzw. beim Projekt Innenausbau der Ausstellungsgalerie des Badausstatters Roca in London. Bei diesen Fassadenflächen kommen Radien von wenigen Zentimetern bis Metern zur Anwendung. Betrachtet man jedoch die Dachlandschaft des Projektes Rolex Learning Center in Lausanne befinden sich alle angewendeten Radien im Bereich  $> 15$  m. Analysiert man die Daten rein nach Radien zum Errichten eines Gebäudes, beispielsweise der Hüllfläche des Projektes Kaufhaus Selfridges in Birmingham oder des Kunsthauses Graz, kommen Radien  $> 5$  m zum Tragen. Die meisten dieser Gebäude werden durch sukzessive Approximation – also der stufenweisen Annäherung – und im Folgenden durch Optimieren und Zerlegen in geeignete Flächen mittels Holztafeln, Stahlskeletten und Glasausfachungen errichtet.

## 4 Schlussbetrachtung

Die Ausgangsfrage dieser Untersuchung bezog sich auf den Bereich von massiven Konstruktionen bzw. Fassadentafeln. Entsprechend beschränken sich die folgenden Auswertungen auch auf diesen Bereich.



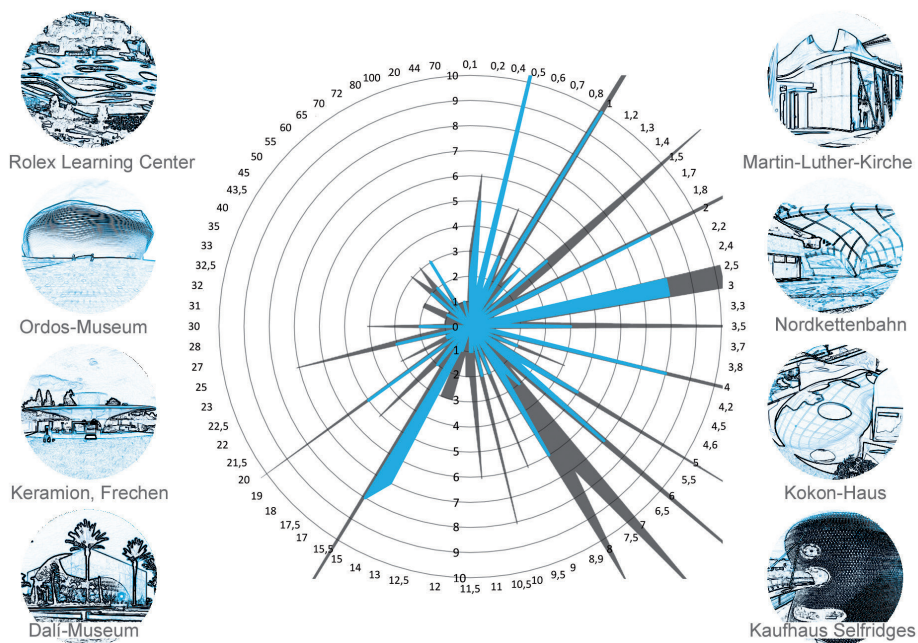


Bild 7: Radiendiagramm mit Gebäuden, die eine antiklastisch gekrümmte Fläche aufweisen

Die eingangs untersuchten Radien wiesen ein breites Feld von am Bau benutzten Radien auf. Den Hauptteil der untersuchten Radien stellen die abwickelbaren einsinnig gekrümmten Flächen mit einem Anteil von 52 % dar, gefolgt von den antiklastischen Flächen mit 38 % und den synklastischen Flächen mit 10 %.

Betrachtet man die Radien der einsinnig abwickelbaren Flächen, bilden sie in Bezug auf den Hochbau den Hauptanteil im Massivbau. Bei Fassadenplatten sind einsinnig gekrümmte Flächen nur mit sehr kleinen Radien zum Beispiel bei der Verwendung als ECKELEMENTE zu finden.

Wie in der Einleitung beschrieben, stellt die Errichtung von Schalungen für einsinnig gekrümmte Flächen mit planem Material keine Probleme dar. Diesem Umstand ist es geschuldet, dass der Hauptanteil der Krümmungen einsinnig ist. Für diese Bauaufgaben sind auf dem Markt systemoptimierte Fertigschalungen (Rundschalungen) mit  $R \geq 1$  m erhältlich.

Synklastische Krümmungen bei vertikalen Bauteilen finden meist Anwendung an Übergängen von Wand zu Dach oder leicht bauchigen Gebäuden, wie beispielsweise die Pfosten-Riegel-Fassade am Projekt P&C Weltstadthaus Köln vom Ingenieurbüro KNIPPERS HELBIG, Stuttgart (Architekt: RENZO PIANO). Grundsätzlich werden die Vorteile einer synklastischen Fläche bei Schalentragwerken genutzt. Hier ist die Abgrenzung von Wand, Decke oder ganzem Gebäude fließend. Betrachtet man aber rein vertikale Bauteile, so sind Radien  $> 6$  m von Bedeutung.

Bei antiklastischen Flächen muss unterschieden werden in Fassaden oder massive Wände. Diese meist komplexen Formen finden oft bei repräsentativen Gebäuden Anwendung. Massiv aus Beton errichtete Gebäude sind aber aufgrund der aufwendigen Schalung seltener. Beispielhafte Projekte sind unter anderem der Neue

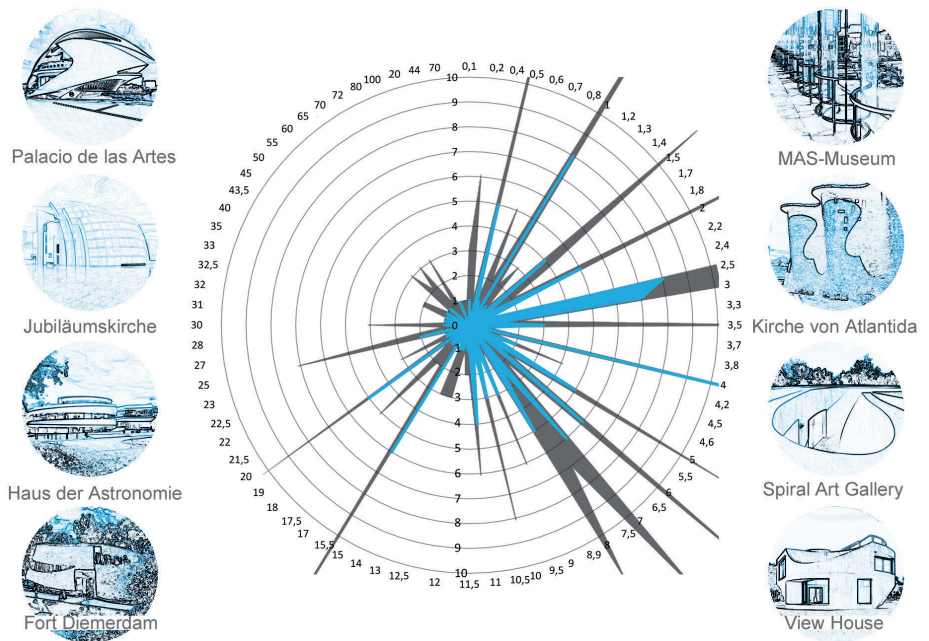


Bild 8: Radiendiagramm mit den relevanten Radien zur Erzeugung einer Außenhülle

Zollhof (Düsseldorf, 1999), das MARTa (Herford, 2005), beide von FRANK O. GEHRY entworfen, und der Pavillon Blank (Colomiers, Frankreich, 1999) von RUDY RICCIOTTI Architects.

Beschäftigen wir uns nach der Betrachtung der Verteilung der in der modernen Architektur vorkommenden Radien mit den Herstellungsmethoden, so ist festzustellen, dass aufbauend auf den eingangs beschriebenen Schalungstechnologien entsprechend der Forderung von frei geformten Betonkonstruktionen ein Entwicklungsdruck im Sinne der Formenvielfalt und Wirtschaftlichkeit entsteht. So ist beispielsweise beim Projekt Neuer Zollhof aufgrund der fehlenden Schalungstechnik die Realisierung mittels in Formen gefrästen Polystyrolblöcken für die Schalung der Betonfertigteile erfolgt (PEER [13]). Entsprechend war es zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich, die Betonwände tragend auszuführen. Im Gegensatz hierzu konnte das Projekt MARTa in Herford sechs Jahre später massiv in Ort beton ausgeführt werden, da die Schalungstechnologie weiterentwickelt worden war (GRUNEWALD [13]). Dieser Vorgang der Technologieentwicklung sowie die dargestellten Beobachtungen zu den im Einzelnen vorkommenden Radien legen die Notwendigkeit der Weiterentwicklung von frei formbaren Schalungssystemen nahe, um dem Wunsch nach wirtschaftlich und konstruktiv darstellbaren Schalungssystemen zu entsprechen.

Nach abgeschlossener Analyse der Daten stellten sich die relevanten Radien zur Erzeugung von Hüllflächen (Wänden) > 4 m heraus. Diese Daten bilden die Grundlage für das Teilprojekt Grundlagen zur Entwicklung adaptiver Schalungssysteme für frei geformte Betonbauteile des Schwerpunktprogramms SPP 1542 zur Vorkonfiguration einer adaptiven Schalfäche (siehe Beitrag von MICHEL & KNAACK im vorliegenden Band).

## Literatur

- [1] GIRMSCHIED, G.; KERSTING, M.: Prozessbasierte Entscheidungsmodelle für die Auswahl projektspezifischer Schalungssysteme. Eigenverlag des IBI an der ETH Zürich, 2010.
- [2] MÜLLER, H.: Rationalisierung des Stahlbetonhochbaus durch neue Schalverfahren und deren Optimierung beim Entwurf. Dissertation, Karlsruhe, 1972.
- [3] RATHFELDER, M.: Moderne Schalungstechnik. Grundlagen – Systeme – Arbeitsweisen. München: Mi-Wirtschaftsbuch, 1992.
- [4] HOFFMANN, F.; MOTZKO, C.; CORSTEN, B.: Aufwand und Kosten zeitgemäßer Schalverfahren. 3. Aufl., Neu-Isenburg: Zeittechnik Verlag, 2012.
- [5] REICHEL, E.: Einflussfaktoren für Aufwandswerte bei Schalarbeiten. TIEFBAU (2002), Heft 11, S. 624–626.
- [6] KOWALSKI, R.-D.: Schaltechnik im Betonbau. Düsseldorf: Werner Verlag, 1984.
- [7] SCHMITT, R.: Die Schalungstechnik: Systeme, Einsatz und Logistik. Berlin: Ernst & Sohn, 2001.
- [8] HOFFMANN, F. H.: Schalungstechnik mit System. Berlin: Bauverlag, 1999.
- [9] HEINLE, E.; SCHLAICH, J.: Kuppeln aller Zeiten – aller Kulturen. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1996.
- [10] KIND-BARKAUSKAS, F.; KAUSEN, B.; POLÓNYI, S.; BRANDT, J.: Beton Atlas. 2. Aufl., Berlin: Birkhäuser, 2001.
- [11] GIRMSCHIED, G.; KERSTING, M.: Rational schalen. Der Bauingenieur (09/2011), S. 50–51.
- [12] LAZO, C. E.: FRANK GEHRY. Minneapolis: Lerner Pub Group, 2005.
- [13] PEER, A.: Der neue Zollhof in Düsseldorf. Innovative Schalung für ein außergewöhnliches Bauprojekt. beton 48 (1998), Heft 9, S. 538–544.

### **Grundlagen zur Entwicklung adaptiver Schalungssysteme für frei geformte Betonbauteile**

#### **Projektleiter**

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Knaack

#### **Projektbearbeiter**

Dipl.-Ing. Matthias Michel  
Sascha Hickert M.A.

#### **Projektlaufzeit**

09/2011 – 08/2014

#### **Partner**

TU Darmstadt – Institut für Massivbau,  
Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

#### **Web**

<http://www.hs-owl.de/fb1/studium/lehrgebiete-e-g/entwerfen-konstruieren.html>