

**Zeitschrift:** Werk, Bauen + Wohnen  
**Herausgeber:** Bund Schweizer Architekten  
**Band:** 89 (2002)  
**Heft:** 04: Forschung im Büro = Recherche à l'agence = Research in the office

**Artikel:** Animiertes Bauen : über die Digitalisierung des Bauprozesses  
**Autor:** Franken, Bernhard  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-66408>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

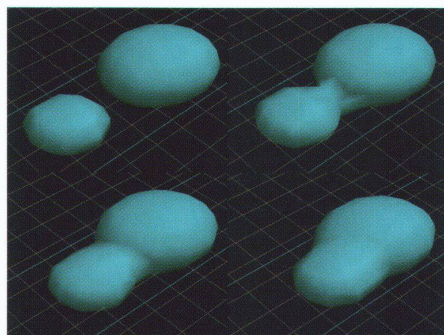
**Download PDF:** 16.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

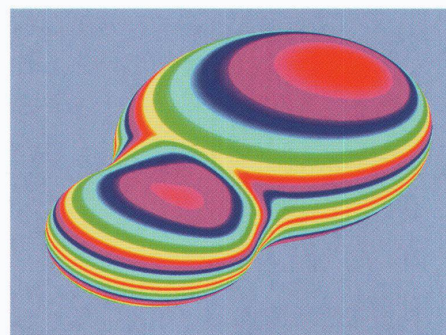
# Animiertes Bauen

Über die Digitalisierung des Bauprozesses

Forschung als integrativer Teil der Projektarbeit ist in der gegenwärtigen Bürokultur bisher noch die Ausnahme. Eine davon ist die Arbeit von Bernhard Franken. Nach abgeschlossenem Architekturstudium erforschte er als «artist in residence» am Frankfurter Institut für Neue Medien prozessuale Architekturen. Mit dieser virtuellen Architektur erregte er unter anderem die Aufmerksamkeit der Marketing-Abteilung von BMW, die ihn anschliessend mit der Planung von mehreren BMW-Messeauftritten für die Frankfurter Internationale Automobil-Ausstellung beauftragte, die Franken in Zusammenarbeit mit den Frankfurter ABB Architekten realisieren konnte.



| 1



| 2

## The Bubble

Internationale Automobil-Ausstellung,  
Frankfurt 1999.

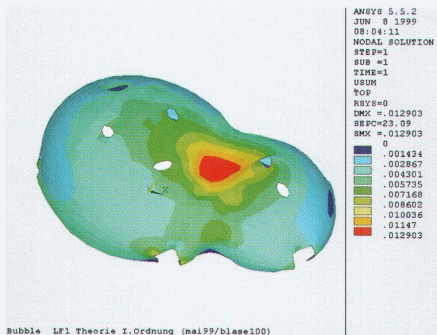
ABB Architekten/Bernhard Franken. Team: Sonja  
Albrecht, Nils-Peter Fischer, Kirsten Fried, Niklas  
Führer, Thilo Kurzemann, Thomas Remdisch.

- 1 | Formgenerierung über Tropfensimulation
- 2 | Geglättete Mastergeometrie des Bubbles
- 3 | Finite Element Simulation der Spannungsverteilung
- 4 | Finite Elemente Simulation Tessellierung
- 5 | Stabwerksberechnung der Spantenunterkonstruktion

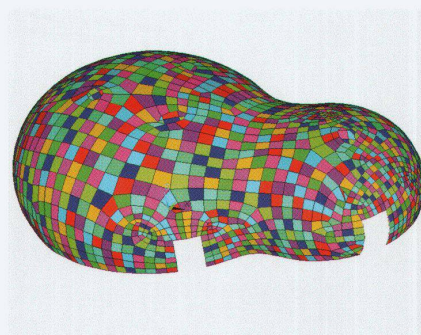
Anlässlich des Symposiums «New Technologies in Architecture – Digital Design and Manufacturing Techniques» an der Harvard Design School hatte ich kürzlich die Gelegenheit zu einem aufschlussreichen Gedankenaustausch mit Tim Eliassen, dem Gründer von Trypyramid, und Robert Abarbanel, einem Forscher bei Boeing. Trypyramid entwickelt Beschläge für Rennsegeljachten des America's Cup und arbeitet unter anderem auch für Frank Gehry. Eliassen machte darauf aufmerksam, dass der Anteil für Forschung und Entwicklung an den Herstellungskosten einer America's-Cup-Jacht bis zu 70% beträgt, während in der Architektur weniger als 1% der Bausumme dafür vorgesehen ist. Dies sei angesichts der Milliardensummen, die jährlich in den USA verbaut werden, eine verpasste Chance, die Qualität des Bauens und damit auch der Lebensbedingungen zu verbessern. Nach Robert Abarbanel, der für die Zusammenarbeit von Boeing mit Catia zuständig ist, sind die digitale Durchgängigkeit des Planungsprozesses und die verteilte Bearbeitung ihrer Projekte in einem gemeinsamen Datenmodell logistische Voraussetzungen dafür, dass die weltweite Distribution der Forschungsgruppen und die Komplexität der Planungsaufgaben bewältigt werden können.

Im Vergleich dazu erscheint das Bauen geradezu archaisch. Grund für unsere Einladung zum Symposium waren unsere Projekte für BMW, die tatsächlich Ähnlichkeit mit der Entwick-

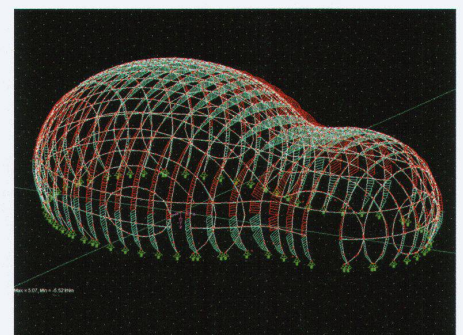
lung einer Rennjacht oder eines Flugzeugs haben. Im Automobilbau wird zwar mit ähnlicher Software und vergleichbarem Forschungsaufwand gearbeitet wie in diesen Branchen, doch ist das Ziel ein Serienprodukt, das seine Entwicklungskosten über die grossen Stückzahlen wieder einspielt. Gebäude haben dagegen immer etwas Prototypisches, da es sich in der Regel um eine einmalige Bauaufgabe an einem bestimmten Ort handelt. Das wirklich Prototypische an Gebäuden jedoch findet sich meist nur in wenigen Details, die in Deutschland nur unter grossem Aufwand und mit «Genehmigungen im Einzelfall» realisiert werden dürfen. Das Gebäude als Ganzes besteht aus vielen standardisierten Elementen, die jedes für sich nach deutschem Baurecht den «Regeln der Baukunst» entsprechen müssen. In unseren Projekten ist das Ganze an sich der Prototyp, ohne Vorbild und Vorgänger. Wie ein America's-Cup-Segler werden sie hoch spezialisiert nur für einen Zweck gebaut. Während die Rennjacht vor allem schnell sein muss, können unsere Bauten in erster Linie kommunizieren. Für einen Kunden, der sich Innovation als einen seiner Markenwerte auf die Fahne geschrieben hat, müssen diese Bauten Innovation pur verkörpern, und das bei hoch technisierter Fertigung und höchster Ausführungsqualität. Um dieses Ziel unter extremen Zeitdruck bei unverschiebbarem Fertigstellungstermin zu erreichen, haben wir einen durchgängigen digitalen Fertigungsprozess entwickelt,



3



4

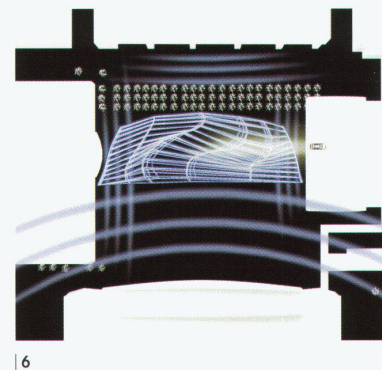


5



**Dynaform**

Internationale Automobil-Ausstellung,  
Frankfurt 2001  
ABB Architekten/Bernhard Franken. Team:  
Frank Brammer, Tanja Schaile, Xun Yu,  
Peter Wendling, Carsten Trojan, Nils-Peter  
Fischer, Thomas Remdich, Thomas Raab,  
Samad Sakakh, Christopher Heinzerling,  
Andreas Kreutz.

**6 | Formgenerierung über Dopplereffekt****7 | Finite-Element-Simulation der Spannungsverteilung****8 | Schnittebenen für die Dynaframes****9 | 3D Werkstattplanung der Dynaframes**

| 6

32 der wiederum mehr Ähnlichkeit mit der Produktion bei Boeing als mit dem herkömmlichen Bauablauf hat.

**Produktionskette**

Auch der Entwurf wird bei uns über einen digitalen Prozess generiert. Das unterscheidet unsere Architektur beispielsweise von jener Frank Gehrys, der seine Bauten analog über Modelle entwirft und dann digital umsetzt. Die Produktionskette unterteilen wir in die fünf Phasen: Briefing, Prozess, Form, digitale Fertigung und Erlebnis. Ausgangspunkt unserer Entwürfe ist immer das Briefing des Bauherrn. Dessen Wünsche und Anforderungen übersetzen wir in einen Prozess, der über eine rechnergestützte Kraftfeldsimulation zu einer Form führt. Diese Form wird möglichst direkt über digitale Fertigungsmethoden in ein Gebäude umgesetzt, das die Kräfte seines Entstehungsprozesses sichtbar und damit zu einem sinnlichen Erlebnis macht.

**Briefing**

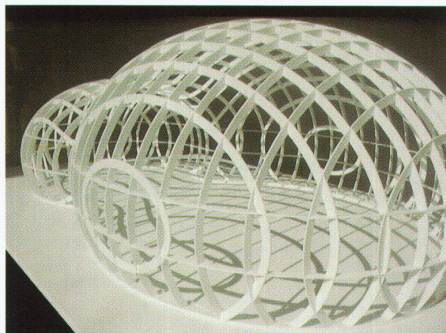
Unser Auftraggeber bei BMW ist das Marketing und nicht die Bauabteilung. Folglich ist unsere Aufgabe auch keine Bauaufgabe, sondern eine Kommunikationsleistung. Bis zu einer Million Besucher in 10 Tagen sollen die Kernaussagen des Briefings bei einer durchschnittlichen Verweildauer von 15 Minuten im Gebäude verstanden haben. Dafür entwerfen wir kein Raumprogramm, sondern eine Szenographie, die wie ein Kurzfilm funktioniert. Darüber hinaus müssen in der kurzen Zeit einer Ausstellung Nachrichtenwerte generiert werden, um die Millionen Fernsehzuschauer und Pressevertreter zu erreichen. BMW interessiert deswegen vor allem der erste und der letzte Punkt unserer Produktionskette, Briefing und Erlebnis. Unser

Interesse zielt nun darauf, die Kernaussagen des Briefings so in eine räumliche Inszenierung umzusetzen, dass der Nutzer die thematisierten Inhalte nicht nur über den Umweg des Intellekts aufnimmt, sondern sie in seiner sinnlichen Erfahrung des Raums direkt erleben kann. Dafür haben wir eine Entwurfsmethode entwickelt, die Special-Effect-Softwareprogramme der Filmindustrie benützt. Formveränderungen werden durch einwirkende Kraftfelder auf Grundkörper nach physikalischen Gesetzen simuliert. In einem Versuchsaufbau im Rechner definieren wir Grundkörper, Formbildungsgesetz, Randbedingungen und Kräfte durch poetische Übersetzungen der Aufgabenstellung sowie aus den Gegebenheiten des räumlichen Kontextes.

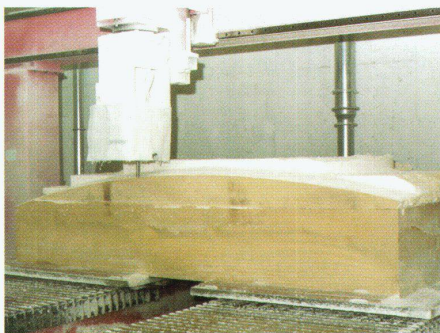
**Form follows Force**

Bekanntlich kann der Mensch Kräfte nicht direkt sinnlich erfassen, sondern nur anhand ihrer Auswirkungen auf sie zurückschließen. Durch Erfahrung ist der Mensch allerdings sehr sensibel für Verformungen, die dem natürlichen Kräfteverlauf entsprechen. Diese Fähigkeit war ein evolutionärer Vorteil, da beispielsweise ein vom Wind durchgebogener Baum als potenzielle Gefahr gedeutet werden konnte. Unsere Wahrnehmung ist also konditioniert auf Kräfte und nutzt sie zur Formdeutung. Deformierte Formen informieren dabei über die Kräfte ihres Ursprungs.

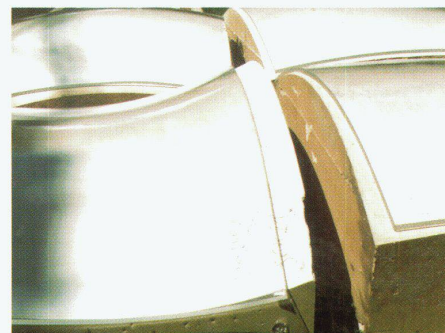
Allerdings orientieren sich die von uns in der Formgenese angesetzten Kräfte nicht nur an tatsächlich vorhandenen Einflüssen, häufig sind sie genau genommen nicht von dieser Welt. Dennoch spüren die Besucher im fertigen Gebäude die Kräfte, die bei seiner Entstehung am Werk waren. Dadurch können diese Gebäude Geschichten erzählen. Der Entwurf setzt nicht eine schon vorhandene Formvorstellung des Entwerfers um,



| 10

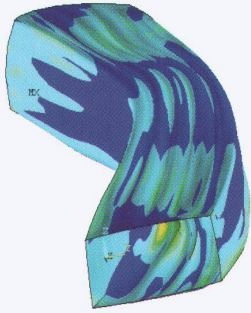


| 11

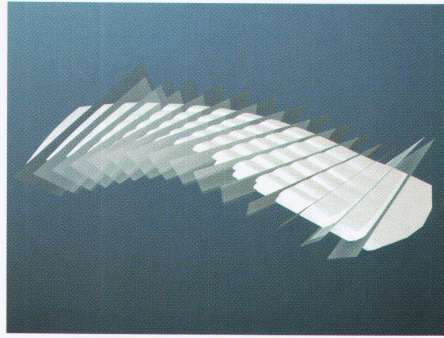


| 12

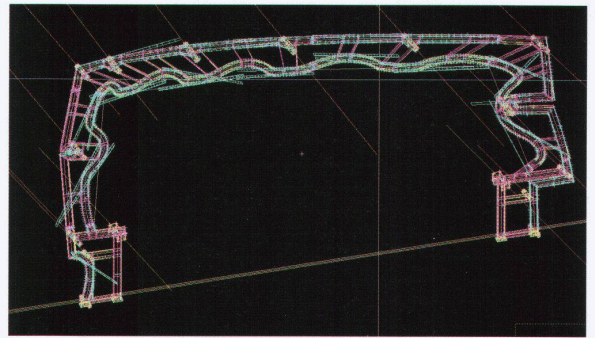




| 7



| 8



| 9

sondern entsteht interaktiv durch gezielte Veränderung der selbst gewählten Parameter in einer Folge von Versuchen. Durch die Interaktion von Entwerfer und Rechner wird Information zur Form. Die Kraftfeldsimulation spielt somit nicht nur die Rolle einer Methode der Entwurfsgenerierung, darüber hinaus nutzen wir auch ihre Fähigkeit zur räumlichen Kodierung von Information. Für den Kunden hat diese Methode den Vorteil, dass unsere Formen nie willkürlich und beliebig sind, sondern erklärbar und damit auch rationalisierbar.

### Präsentation

Pläne als orthogonale Schnittebenen durch ein Objekt sind eingeübte Kommunikationsformen in der Baubranche, aber mit einer Marketingabteilung müssen wir anders reden. Um die Herleitung des Entwurfs zu erklären, nutzen wir unser Entwurfswerkzeug auch als Präsentationsmedium und generieren Filme. Diese Filme werden in Bildschirm-Präsentationen eingebunden, die zusätzlich das Marketingumfeld und die Themenfolge beschreiben. Die Szenographie wird als Storyboard in den Stufen ihrer Erlebnisabfolge erklärt. Als geradezu unverzichtbar hat sich die Präsentation durch Modelle erwiesen. Selbst für Fachkundige ist die Komplexität der Form in Zeichnungen und Bildern allein kaum zu verstehen. Ein Modell hingegen erklärt sich selbst, lässt beliebige Perspektiven zu und kann haptische Qualitäten und Beleuchtungseffekte vorwegnehmen. Auch uns selbst fallen im physischen Modell immer Dinge auf, die uns am Bildschirm entgangen sind. Aufgrund der komplexen Formensprache benötigen wir in der Modellbaufertigung sehr spezialisierte Herstellungsverfahren. Wir nutzen dafür verschiedene Rapid-Prototype-Techniken. Die ersten Modelle haben wir noch mit Lasersintering oder Stereolithographie in der Abtei-

lung für Prototypenbau von BMW ausbelichten lassen. Mittlerweile gibt es dafür auch externe Dienstleister. Für andere Modelle haben wir die Form in Einzelsegmente zerlegt, die dann auf CNC-gefrästen Blöcken tiefgezogen wurden. Für die Gitterschalenprojekte haben wir jedes zweisinnig gekrümmte Rohr abgewickelt, damit Industriemodellbauer, die auf Raffineriemodelle spezialisiert sind, zweidimensional CNC-gefräste Montageschablonen erstellen konnten. Ähnlich wie beim wirklichen Gebäude müssen wir erst genau analysieren, welche Fertigungstechniken vorhanden sind und dann die Daten entsprechend aufwendig aufbereiten. Umgekehrt geben die Modellbautechniken oft die Inspiration zur tatsächlichen Umsetzung.

### Real as Data

Die im Prozess erzeugte Form wird von uns mastergeometry genannt und darf nicht mehr manuell verändert werden, da ja sonst die Kräfte ihrer Entstehung nicht mehr spürbar bleiben. Die mastergeometry ist eine zweisinnig gekrümmte Oberfläche ohne konstruktive Dicke. Um aus dieser Oberfläche zu baubaren Elementen zu kommen, haben wir den Begriff des Derivats geschaffen. Alle weiteren Manifestationen des Projektes sind Ableitungen (Derivate) aus der einmal gewonnenen «heiligen» mastergeometry. Diese Derivate können gerechnete Bilder (CAD-Renderings), Spannungsberechnungen der Tragwerksingenieure mit Finite-Elemente-Programmen oder 2D-Schnitte als CAD-Zeichnungen sein. Aber auch alle für die Konstruktion oder Nutzung des Entwurfs relevanten weiteren Elemente eines Projekts leiten wir aus Linien oder Strukturen ab, die in der mastergeometry schon vorhanden sind. Bevor die Daten sich so als Derivate im materiellen Raum manifestieren, durchlaufen sie mehrere digitale Zwischenstufen. Wir



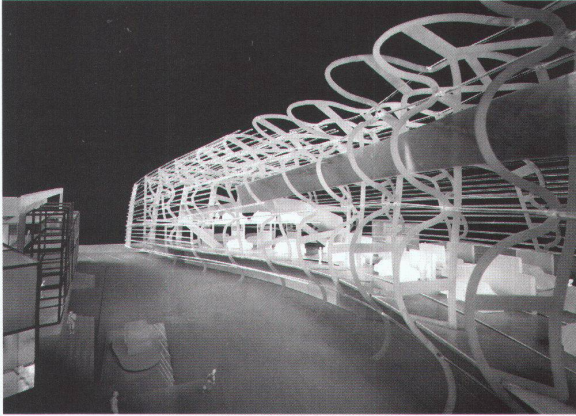
| 13



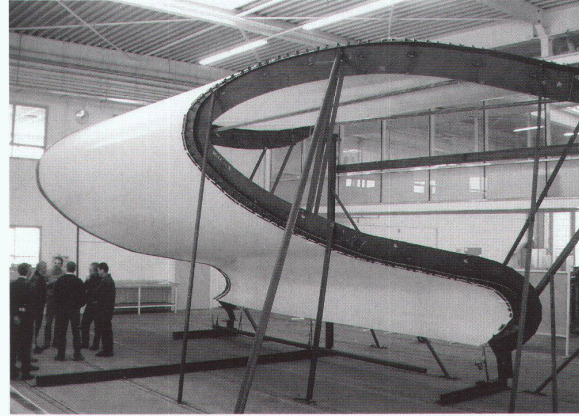
| 14

- 10 | Modell aus gefrästem Polystyrol
- 11 | CNC-Fräsen der Formblöcke aus PU-Schaum
- 12 | Acrylglasscheiben auf Formblöcken vor dem Randtrimmen
- 13 | Innenraum, Foto: Jens Willebrand
- 14 | Aussenansicht, Foto: Fritz Busam





15



16

- 15 | Modell aus gefrästem Plexiglas,  
Foto: Fritz Busam
- 16 | Probeaufbau ein-sinnige Membran in Pilsen
- 17 | CNC-gesteuerter Plasmazuschnitt der Framesegmente
- 18 | Verschweissen und Einmessen der Framesegmente

34

definieren bei unseren Projekten Derivate erster, zweiter oder n-ter Ordnung. Das endgültige Gebäude wird aus zahlreichen Derivaten zusammengesetzt und bildet damit in der Summe lediglich ein mögliches Abbild der Realität der digitalen mastergeometry in einer n-ten Ableitung.

### Falsche Kräfte

Von der Definition der mastergeometry an arbeiten wir sehr eng mit den Tragwerksingenieuren von Bollinger+Grohmann in Frankfurt zusammen. Ihr erster Schritt ist eine Analyse der Form mit Finite-Elemente-Programmen auf ihre Schalentragswirkung. Obwohl die Kräfte der Entstehung der Formen nicht von dieser Welt waren, haben sie doch oft in Bezug auf so weltliche Kräfte wie Gravitation und Wind brauchbare Eigenschaften. Diese resultieren aus den zweiseitigen Krümmungen, die zur Kraftableitung prinzipiell sehr leistungsfähig sind. Im Gegensatz zu reinen Schalentragswerken sorgen die Kräfte aus dem Informationsraum, die im physikalischen Raum keine Entsprechung haben, für Biegemomente, die mit Hilfe der Materialstärke oder der Konstruktion versteckt werden. Nur so bleibt die Form deformiert und informiert damit über Kräfte, die eigentlich nicht vorhanden sind. Eine solche Vorgehensweise verlangt vom Tragwerksplaner hohe Sensibilität und die Fähigkeit, bewusst falsche Kräfte im Kraftfluss der Konstruktion zu zeigen und die richtigen Kräfte zu verbergen. Da statische Systeme die Form nicht verändern dürfen, müssen die Systeme solange verändert werden, bis das passende System für den Entwurf gefunden ist.

### Partnerwahl

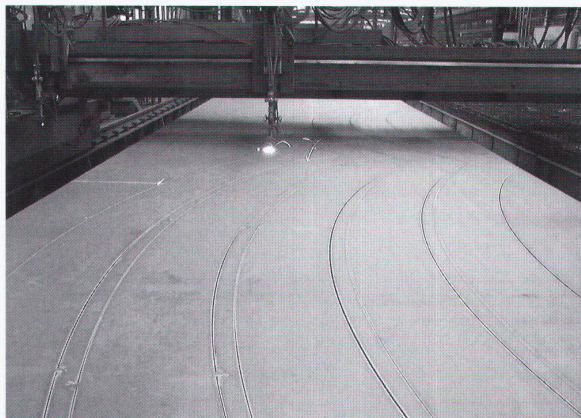
Für keinen unserer Entwürfe gab es im Bausektor eine gängige Fertigungstechnik. Wir müssen mit den Firmen und den Fachplanern zusammen erst eine Produktionsmethode erfinden. Die klaren Grenzen zwischen Entwurf und Fertigung lösen sich auf, denn wir sind als Entwerfer eng in den gesamten Produk-

tionsprozess eingebunden, ausgehend von der Grundlagenermittlung, über die Wahl der Materialien, die Datenaufbereitung bis in die Werkstattvorbereitung und die Montageplanung. Schon in der Grundlagenermittlung finden die ersten Firmengespräche statt. Die Ausschreibung muss einerseits bindende qualitative Vorgaben über Material, Oberflächen und Verarbeitungsstandards treffen, aber andererseits Spielräume für innovative Lösungen offen lassen. Auftragnehmer, die ganze Abteilungen zu dem Zweck unterhalten, nach Lücken in Ausschreibungen für Nachtragsforderungen zu suchen, sind für so einen Prozess nicht die richtigen Partner. Grundlage der Ausschreibung ist neben den Detailzeichnungen vor allem das geometriebeschreibende 3D-Datenmodell. Allein durch diese Vorgaben schrumpft der Kreis der möglichen Anbieter auf einige wenige, die die Daten überhaupt verarbeiten können. Schon während der Ausschreibung werden von den Anbietern umfangreiche Studien bis zu 1:1 Modellen und Probeaufbauten als Verifikation der Machbarkeit betrieben. Nur teilweise werden diese Vorleistungen bereits vom Auftraggeber bezahlt, ansonsten müssen die Firmen die Kosten als Erkenntnisgewinn und Akquise verbuchen. Der Auftrag bezieht sich ausdrücklich auf das übergebene 3D-Datenmodell und macht auch den zukünftigen Informationsaustausch rechtlich bindend. Diese Vorgehensweise bewegt sich damit jenseits der geltenden Rechtsprechung, die vom Bauherrn und seinem Architekten unterschriebene Pläne zur Grundlage hat. Im Falle eines Rechtsstreites hätten die Gerichte einige Mühe, überhaupt die Grundlage der Bearbeitung zu überprüfen. Nur extrem mutige und innovative Firmen nehmen diese Herausforderungen an und werden zu einem Partner von Planer und Bauherr.

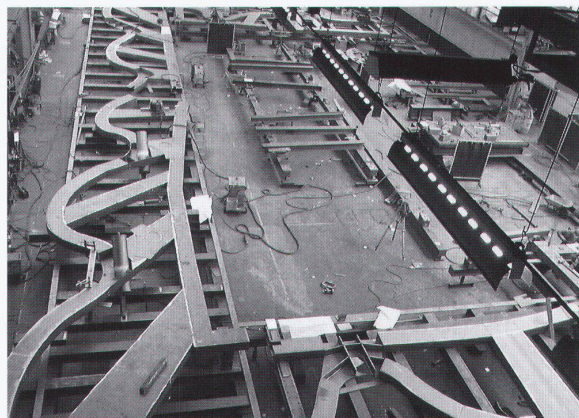
### Schnittstellen statt Programme

Um in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit mit einem heterogenen Planungsteam, bestehend aus bis zu 75 Architekten, Tragwerksingenieuren, Haustechnikern, Kommunikationsexper-





| 17



| 18

35

ten, Lichtdesignern und AV-Medienfachleuten, arbeiten zu können, bedarf es eines fein abgestimmten Planungsprozesses. Da es in den Projekten keinen Projektsteuerer gab, haben wir als Architekten weitgehend diese Funktion übernommen. Für solche Projekte gibt es keine Software, die alle Anforderungen abdeckt. Der Entwurf wird im Filmanimationsprogramm Maya entwickelt; die Tragwerksuntersuchungen werden in Ansys und R-Stub, speziellen Finite-Elemente-Programmen, vorgenommen. Zur Ausführungsplanung der Tragwerke wird mit Mechanical Desktop, einem Maschinenbauaufsatz für Autocad sowie mit Rhinoceros, einem leistungsfähigen Freiformflächenprogramm, gearbeitet. Einige Bauteile waren wiederum nur mit Catia, dem bevorzugten Programm von Frank Gehry, zu bearbeiten. All diese Programme laufen auf Windows. Die Kommunikations-, Licht- und Ausführungsplaner für den Innenausbau arbeiten auf Apple Macintosh Plattform, z.B. mit Vectorworks. Für die Werkstattplanung werden Spezialprogramme auf Workstations wie PK Stahl benutzt. Die CNC-Maschinen verstehen nur Maschinensprachen, für die eigene Coprozessoren programmiert werden müssen. Aufgrund der Vielfalt der verwendeten Programme und Betriebssysteme haben wir eine Definition in Analogie zum Internet gewählt: nicht ein bindendes Programm zu definieren, sondern ein Schnittstellenformat (Protokoll), mit dem die Spezialprogramme sich unterhalten können, und einen Browser, mit dem alle das Gleiche sehen. Die Wahl der Schnittstelle fiel hier auf IGES, ein Industriestandardformat, für alle 3D-Daten und DWG für alle Zeichnungen. Daneben werden auch Plotfiles und PDF als fälschungssichere Datenformate zugelassen. Als «Browser» wurde Rhinoceros definiert, ein kostengünstiges freiformflächenfähiges CAD-Programm. Im letzten Projekt, der IAA 2001 Dynaform, haben wir die Erfahrungen der vorherigen Projekte in ein CAD-Handbuch festgeschrieben und dieses im Projektteam implementiert. Das CAD-Handbuch legt ausserdem eine verbindliche Dateinomenklatur, ein Bezugssystem und Layerstrukturen fest.

### Redundanzvermeidung

Bei den ersten Projekten lief der Datenaustausch noch über E-mail und ISDN-Karten. Doch ein Grossprojekt wie die IAA mit über 75 Planern und einer Unzahl an ausführenden Firmen wird nur funktionsfähig mit den erwähnten Protokollregeln und einem externen Internet-Server, der professionell gepflegt und unterhalten wird. Aufgrund der Gleichzeitigkeit sämtlicher Bearbeitungsschritte muss jeder Planungsteilnehmer jederzeit über denselben Wissensstand verfügen können. Vor allem müssen sich alle Partner darauf verlassen, dass sie mit dem aktuellsten Datensatz arbeiten, es darf keine Redundanz entstehen. Der Server als digitaler Planungsraum sortiert die eingehenden Daten automatisch nach ihrer im CAD-Handbuch festgelegten Namensgebung in die richtigen Schubladen, sichert alte Planungsstände, die aber jederzeit verfügbar bleiben, und teilt den Planungspartnern automatisiert über Fax oder E-mail mit, dass neue Daten verfügbar sind. Durch das Führen eines umfangreichen Logbuchs sind alle Vorgänge transparent und nachvollziehbar.

### 3D-Planung

Kombiniert wird der Server durch die Erstellung eines kompletten dreidimensionalen Modells. Dieses Modell wird von allen Partnern gemeinsam erarbeitet und von uns lokal und parallel im Netz gepflegt. So ist der Stahlbau bis zur letzten Schraube komplett dreidimensional geplant. Selbst Haustechnik und Lichtplanung muss, um Konfliktfreiheit zu garantieren und Aufhängedetails entwickeln zu können, als 3D Modell erstellt werden. Allerdings ist das Endmodell mehrere Gigabyte gross, sodass es kein Rechner mehr komplett laden kann. Also muss auch hier eine genaue Nomenklatur für «Parts», Teilelemente des Modells mit definierten Referenzen, für Planungssicherheit sorgen. Die Verbindung von Server und referenziertem 3D-Datenmodell kommt dem Boeing-Planungsprozess schon sehr nahe.





19



20

- 19 | Montage der Frames vor Ort,  
Foto: Fritz Busam
- 20 | Montage der Membran vor Ort
- 21 | Innenansicht Dynaform,  
Foto: Fritz Busam
- 22 | Aussenansicht Dynaform,  
Foto: Fritz Busam

## File to Factory

Für die bauliche Umsetzung der Freiformflächen haben wir verschiedene Strategien erarbeitet. Wir unterscheiden dabei 2D- und 3D-Strategien. Wirklich zweisinnig gekrümmte Oberflächen sind natürlich der Königsweg, aber auch der schwierigste und teuerste. Für den Bubble wurden 305 verschiedene Acrylglasplatten auf jeweils individuellen CNC-gefrästen Schaumblöcken warmverformt und anschliessend nochmals am Rand CNC-getrimmt. Computermodell und tatsächliche Oberfläche sind absolut identisch, die Dicke mit 8 mm nahe an der Dimensionslosigkeit der Datenoberfläche. Der Aufwand ist durch die mangelnde Repetition natürlich immens – jede Scheibe ist ein Unikat. Die Unterkonstruktion basierte auf orthogonal versetzten Schnittebenen aus Aluminiumblech. Damit wurde eine zusätzliche Abstraktions- oder Derivatebene zur mastergeometry eingeführt. Der ebene Zuschnitt erfolgte CNC-gesteuert mit Wasserstrahlschneidern in sieben verschiedenen Werken, die 3500 notwendigen Einzelteile wurden dabei direkt mit allen notwendigen Bohrlöchern und Montagekennzeichnungen versehen, sodass sich der manuelle Arbeitsanteil bei diesem Projekt auf die Montage vor Ort reduzierte.

## Gitterschalen

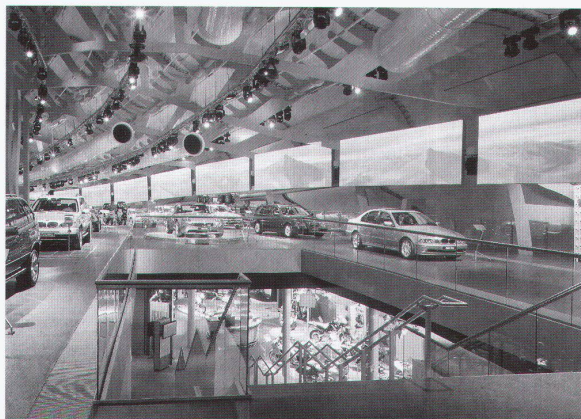
Für unsere Projekte für die Expo 2000 und den Salon d'Automobile in Genf 2000 hatten wir den Ehrgeiz, keine Schnitte zu verwenden, sondern die im Computermodell bereits vorhandenen Gitterdrahtlinien, so genannte Isoparameter, direkt umzusetzen. Diese im Grundkörper vor ihrer Verformung durch die Kraftfelder ursprünglich orthogonalen Linien wiesen Verformungen in genauer Analogie zu den Kräften auf. Zusätzlich zur Form sind sie somit ein weiteres codiertes Element. Allerdings bedeutete dies, dass mehrere hundert Meter eigens für diesen Zweck entwickelte Aluminium-Strangpressprofile mit daten-gesteuerten Biegemaschinen zweisinnig gebogen werden mussten. Um die Einfassungsmomente zu kontrollieren, mussten

die Randträger aus Stahlrundrohrabschnitten, die in einer Werft in zweidimensionalen Radien gebogen worden waren, räumlich zu zweisinnig gekrümmten Trägern zusammenschweisst werden. Die Herstellungsfirma hat dafür eine ganze Halle mit einer flexiblen Montagelehre ausgestattet, in der jeder Punkt im Raum in einem Bereich von 25.00 m x 15.00 m x 6.00 m millimetergenau nach Vorgabe aus dem 3D-Modell ermittelt werden kann. Einmal mit erheblichem Aufwand erstellt, kommt diese Montagelehre wegen ihrer Flexibilität nun bei allen komplexen Geometrien zum Einsatz. In klassischen Raumfachwerken werden alle Knoten und Stäbe gleich ausgeführt. Durch die geometrischen Einschränkungen sind allerdings nur Regelflächen herstellbar. Neuere Raumfachwerke nutzen bereits die CNC-Technologie, indem sie alle Stäbe gerade, aber verschieden lang und alle Knoten mit wechselnden Anschlusswinkeln aus Vollmaterial herausfräsen. Mit dieser Technik lassen sich beliebige Freiformen in einer polygonalen Näherung produzieren. In unseren Gitterschalen sind alle Stäbe verschieden und alle Knoten gleich. Durch die zweisinnig gekrümmten Rohre lassen sich die Freiformflächen ideal genähert darstellen. Der Rundquerschnitt ist wiederum mit 90 mm Durchmesser im Verhältnis zur Grösse von 25.00 m x 65.00 m proportional fast so dünn wie die dimensionslosen Computerkurven.

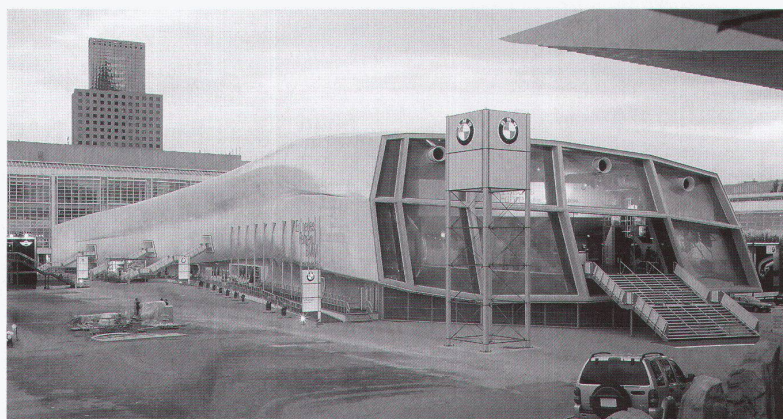
## Membran

Doch bildet eine Gitterschale natürlich noch keine Hülle. Diese Funktion übernahmen in mehreren Projekten Membranen. Der Membranbau hatte in der Vergangenheit eine Vorreiterfunktion, sowohl in der Ausbildung von Freiformflächen wie auch in der digitalen Lastberechnung, Zuschnittsermittlung und Fertigung. Der Nachteil des Membranbaus sind seine Eigengesetzmässigkeiten, die eigentlich keine freie Formfindung zulassen. Deshalb sehen konventionelle Membranbauten auch alle ähnlich aus, egal welcher Architekt sie entworfen hat. Durch unsere vorgegebene mastergeometry mussten wir immer Wege





| 21



| 22

finden, damit die Membran dennoch in die Form gezwungen wurde, die wir ihr vorgaben. Dies gipfelte in der BMW-Dynaform in der weltweit ersten einsinnig gespannten Membran. Fast alle Hersteller haben abgelehnt, als wir mit diesem Vorschlag an sie herantraten. Erhebliche Anstrengungen mit Zugversuchen, diversen Mock-ups und eine komplette neue Detailentwicklung machten dies dann doch möglich.

### Hightech und Handarbeit

Die Entscheidung für eine einsinnige Membran als Gebäudehülle führte zu linearen Kurven als Schnittebenen für Träger in der mastergeometry. Diese Schnitte wären von ihrer Lage prinzipiell beliebig zu legen gewesen. Um die Kräfte aber auch in den Trägern lesbar zu machen, wählten wir als Schnittebenen Isoparameter der mastergeometry. Durch ihre freien Winkel zueinander mussten sämtliche Verbindungsrohre, die übrigens auch wieder Ableitungen aus der Hüllfläche waren, verschieden angeschlossen werden. Die Träger wurden computergesteuert als brennstrahlgeschnittene Hohlkastenprofile aus 30'000 individuellen Einzelteilen in Berlin und parallel in der Tschechischen Republik gefertigt. Dazu mussten die Schnittkurven über ein Spezialprogramm in Schnittwege umgerechnet werden. Für die Werkstatt braucht man trotzdem Montagepläne in 2D. Aus dem 3D-Datensatz wurden über programmierte Routinen 800 Pläne allein für die Frames erzeugt. Da Schweißroboter in diesen Dimensionen zur Zeit noch nicht verfügbar sind, wurden die Einzelteile dann allerdings von Hand zusammengeschweisst, aber unter der ständigen Kontrolle durch einen Vermesser mit Laptop. So mischt sich immer wieder High Tech mit Handarbeit. Was für die Fertigung im Werk gilt, trifft auch für die Montage vor Ort zu. Da es keine orthogonalen Referenzpunkte gibt, ist ein Vermesser vor Ort notwendig, der per Laptop die notwendigen Punkte ermitteln und mit dem Laser einmessen kann.

### Mass Customization

Trotz aller Schwierigkeiten und Unzulänglichkeiten werden diese prototypischen Projekte von uns und anderen den bauintdustriellen Prozess hoffentlich so umstrukturieren, dass wir mittelfristig zu einer mass customization, einer massgeschneiderten Kleinserienproduktion kommen werden. Bei den Firmen steigt insgesamt vor allem der Anteil der immateriellen Arbeit am Gesamtvolumen. In den Büros der Ausführungsfirmen sitzen fast so viele Ingenieure an den Rechnern, wie Facharbeiter in der Halle stehen. Nicht die Masse, die bewegt wird, ist das entscheidende Kriterium, sondern die Fähigkeit, einen digitalen Planungsprozess mitzutragen, die Werkstattplanung zu leisten, die Logistik eines solchen Projektes zu übernehmen. Der Plas-mabrenner schneidet alle Teile gleich oder jedes Teil verschieden für denselben Kilopreis. Da es aber einen Unterschied macht, ob man einen einzigen Datensatz für alle Teile oder für jedes Teil je einen Datensatz erzeugt, verschieben sich die Kosten zugunsten der immateriellen Arbeit. Dass am Ende die computergenerierte Architektur nicht zwangsläufig teurer wird als konventionelle Gebäude, zeigt das Beispiel unseres IAA 2001 Dynaform-Projekts. Der gleichzeitig für den gleichen Bauherrn entstandene MINI-Pavillon, eine orthogonale Box mit hohem Verglasungsanteil, kostete ein Drittel mehr pro Quadratmeter Ausstellungsfläche als die Dynaform. Dies gibt doch Anlass zur Hoffnung, dass die computergenerierte Architektur eine reale Wettbewerbschance hat. Schliesslich ist auch bei Boeing der digital durchgängige Planungsprozess gerade wegen seiner finanziellen Einsparungspotenziale von 20% gegenüber ihrer vorherigen Produktionsweise eingeführt worden. **B.F.**

#### Bernhard Franken, \*1965

Dipl. Arch. Universität Darmstadt. 1995-1996 «artist in residence» am Institut für Neue Medien in Frankfurt. Seit 1996 eigenes Büro. 1996-1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Darmstadt. 1999-2000 Gastprofessur an der Ghk, Universität Gesamthochschule Kassel. Seit 2001 Büropartnerschaft ABB Architekten/Bernhard Franken. [www.abb-bf.com](http://www.abb-bf.com), [www.franken-architekt.de](http://www.franken-architekt.de)