

Wiley Industry Days

WIN DAYS

7.-9. Juni 2021

www.WileyIndustryDays.com

Bauen 2021 - Werden Sie mit uns Teil der WINDays

Virtuelle Show mit Konferenz, Ausstellung und Networking für Architektur und Bauingenieurwesen, Automatisierung, Machine Vision, Photonics, Healthcare und Sicherheit.

- **Virtuelle Ernst & Sohn Ausstellungshalle** mit Auditorium für Architektur und Bauingenieurwesen
- **Fokus auf Ihr Networking** - Ihre Kommunikation - Ihren Vertrieb
- **3 Leistungspakete bieten Ihnen optimale Repräsentationsmöglichkeiten**, inkl. direkter Kommunikation mit den Messteilnehmern per Video- und Textchat u. v. m.



STANDBUCHUNGEN

Wenden Sie sich jetzt an unsere Experten!

Fred Doischer - Fred.Doischer@Wiley.com
Tel. +49 (0)172-3999-853

Sigrid Elgner - Sigrid.Elgner@Wiley.com
Tel. +49 (0)30-47031-254



**JETZT KOSTENFREI ALS
BESUCHER REGISTRIEREN!**
WWW.WILEYINDUSTRYDAYS.COM

Zum Entwerfen von Tragwerken

Herrn Prof. Dr.-Ing. Drs. h. c. *Jörg Schlaich* zur Vollendung seines 80. Lebensjahres gewidmet

Das Entwerfen von Bauwerken wird in der öffentlichen Wahrnehmung fast ausnahmslos den Architekten zugeordnet und die Tragwerksplanung wird im allgemeinen Verständnis mit Statik und Berechnung gleichgesetzt. Dabei ist der Entwurf eines Tragwerks ein wesentlicher Teil der Tragwerksplanung. Das Entwerfen von Tragwerken ist zwar nicht dem architektonischen Entwerfen gleichzusetzen, aber es handelt sich um einen eigenständigen, kreativen Prozess, der von den Ingenieuren eine Haltung und Positionierung zu Ästhetik und Gestaltung erfordert. *Jörg Schlaich* hat diese Positionierung von uns Bauingenieuren immer wieder eingefordert und darauf hingewiesen, dass selbst die Gestaltung von Ingenieurbauwerken mehr Dimensionen erfordert als ihre bloße Herleitung aus Funktion und Technologie. Die weit verbreitete Kategorisierung in entwerfende Architekten und rechnende Ingenieure hat ihre Wurzeln sicher auch in dem gegenseitigen sprachlichen Unverständnis. Die gegenseitige Verständigung ist Grundvoraussetzung, um sich in die Debatte um den kulturellen Beitrag unserer Bauwerke in der Gesellschaft einbringen zu können.

On designing structures. *The term design is in building almost invariably associated with the profession of the architects in the public perception and structural design in the general understanding is equated with structural analysis and calculation. While designing a structure is an essential part of the structural engineering. Structural design is although not architectural design, but it is a stand-alone, creative process that requires an attitude and positioning to aesthetics and design by the engineers. Jörg Schlaich has repeatedly claimed this positioning of us engineers and often pointed out that even the design of civil engineering works requires more dimensions than their mere inference of function and technology. The wide-spread categorization in designing architects and calculating engineers has its roots in the mutual linguistic understanding. The mutual understanding is prerequisite to the debate on the cultural contribution of our structures in society to engage with.*

1 Das Tragwerk als Entwurfsaufgabe

Das Entwerfen von Tragwerken ist eine eigenständige Entwurfsaufgabe – wobei Eigenständigkeit nicht mit Unabhängigkeit zu verwechseln ist. Nach dem Verständnis der Verfasser kann der Entwurf eines Tragwerks nur im Kontext eines architektonischen Entwurfs erfolgen – mit dem gemeinsamen Ziel, die bestmögliche Architektur zu schaffen. Dass dabei Tragwerke mal mehr oder weniger präsent und insbesondere sichtbar sind, entbindet die Entwerfenden nicht von dem gestalterischen Anspruch. *Jörg Schlaich* schrieb hierzu 1986 in seinem Beitrag „Zur Gestaltung der Ingenieurbauten oder Die Baukunst ist unteilbar“, dass

alles Bauen Architektur sei, unabhängig davon wer sie mache, Architekten, Ingenieure oder gar Laien und dass – sinngemäß – auch die Bauingenieure Verantwortung für die gestalterische Qualität der gebauten Umwelt mitzutragen hätten [1]. Vergleicht man das Bauen mit der Herstellung von industriellen Produkten, so fällt auf, dass Produkte nicht entworfen, sondern entwickelt werden. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Entwicklung von Produkten ohne konkreten örtlichen Bezug erfolgt, während das Entwerfen von Bauwerken in der Regel mit der Bindung an einen konkreten Ort verbunden ist. Die Einzigartigkeit des Ortes ist ein wesentlicher Aspekt, warum im Bauwesen die

serielle und damit industrielle Produktion an ihre Grenzen stößt und wir die Planungskultur der individuellen, projektbezogenen Bauprozesse haben. In der Konsequenz bedeutet Bauen die Verortung von mehr oder weniger maßgeschneiderten großformatigen Objekten, weshalb wir auch von Immobilien sprechen. Wurde ein Bauwerk verortet, prägt es aufgrund seiner Dimension und der angelegten Langlebigkeit auf lange Zeit die Umgebung. Das verpflichtet Architekten und Ingenieure, besonderen Wert auf die Gestaltung der gebauten Umwelt zu legen.

Selbst bei Ingenieurbauwerken hat der Umgang mit dem Ort eine weitreichende Bedeutung, auch wenn für gewöhnlich die Herleitung aus Funktion und Technologie im Vordergrund steht. Dies soll nachfolgend anhand zweier begehbarer Aussichtstürme gezeigt werden [2]. Zum einen ist dies der von *Jörg Schlaich* und seinem Stuttgarter Ingenieurbüro *Schlaich Bergermann und Partner* entworfene *Killesbergturm*, der in Stuttgart auf einer freien Anhöhe im Höhenpark *Killesberg* steht und von der Ferne aus allseits gut sichtbar ist (Bild 1). Das 43 m hohe, begehbare Turmbauwerk besteht aus einem schlanken inneren Schaft, der über eine filigrane außenliegende Seilnetzkonstruktion stabilisiert wird. Trotz ihrer Leichtigkeit hat die Konstruktion ausreichend Wirkung, um auf der freien Anhöhe des *Killesbergs* als Landmark zu fungieren. Der gemeinsam von den Landschaftsarchitekten *terrain:loenhardt&mayr* und dem Frankfurter Ingenieurbüro *osd* (office for structural design) entworfene *Mur-turm* steht dagegen in der flachen, südsteierischen Auenlandschaft der *Mur* nahe der slowenischen Grenze (Bild 2).

Die Muraun gehören zum so genannten Grünen Band Europas, einer losen Kette von einzigartigen Biotopen, die sich von Finnland bis ans Schwarze Meer erstrecken. Im Unterschied zum weithin sichtbaren Killesbergturm muss sich der Murturm in der ufernahen Bewaldung behaupten, um überhaupt wahrgenommen zu werden. Ziel des Entwurfs war es daher, bewusst einen Gegensatz zu den natürlichen Baumkonstruktionen in der Flusslandschaft zu schaffen. Ergebnis des intensiven Entwurfsprozesses ist ein stählernes Turmbauwerk aus biegesteif verschweißten Formrohren, die sich als doppelter Polygonzug nach oben schrauben. Statisch betrachtet handelt es sich um ein Hybridtragwerk aus biegesteif verschweißten Trag- und Stützrohren als Haupttragwerk, die durch eine Kombination von Seilen und Druckstäben im Schwingungsverhalten und der Kopfauslenkung begrenzt werden. Wie beim Killesbergturm sind auch beim Murturm Auf- und Abstieg vom Besucher als kontinuierlicher Weg in Form einer Doppelhelix erlebbar.

Die beiden Turmbauwerke zeigen, dass Bauwerke in der Regel für den jeweiligen Ort entworfen werden und deshalb eine Wiederholung von Entwürfen an einem anderen Ort ihren Wesen widersprechen und deshalb im Bauwesen keine Tradition hat. Das Entwerfen von Tragwerken sollte aber

nicht missverstanden werden. Es darf weder zu einem ingenieösen Selbstzweck werden und ist auch nicht dem architektonischen Entwerfen gleichgestellt. Ein gutes Tragwerk trägt im besten Sinne auch die Architektur und nicht ausschließlich sich selbst. Und der entwerfende Bauingenieur vereint bestenfalls kreative Fähigkeiten mit fundiertem Fachwissen oder wie *Jörg Schlaich* es in einem Interview für die Deutsche Bauzeitung *db* formuliert hat: „... der Ingenieur muss beides tun, er muss deduktiv und induktiv denken. Er muss logisch wissenschaftlich und intuitiv kreativ denken. Das ist es, was unseren Beruf ausmacht“ [3].

2 Zur Gestaltung von Ingenieur- und Infrastrukturbauwerken

Es ist für die heutige Baukultur bezeichnend, dass *Jörg Schlaich* – wohlgermerkt als Bauingenieur – immer wieder gestalterische Qualitäten bei Ingenieurbauwerken eingefordert hat, wie zuletzt mit dem Aufruf: „Verantwortung und Ansehen der Bauingenieure“ [4] und damit ein Bewusstsein für Gestaltung bei den Ingenieuren einfordert, das man traditionell den Architekten zuordnet. Hintergrund ist sicher der in diesem Bereich des Bauens unausgesprochene, schleichende Verlust von ästhetischer Qualität: Denn Bauwerke für die Infrastruktur

werden heute in der Regel ohne Architekten und vor allem ohne gestalterischen Wettbewerb projektiert. Dabei sind diese so genannten Ingenieurbauwerke zu einem festen Begriff in der Kategorisierung unserer gebauten Umwelt geworden, die sich aus ihren anfänglich noch fehlenden materialgerechten Formvorstellungen, wie beispielsweise bei der ersten gusseisernen Brücke, der 1779 errichteten Coalbrookdale Bridge, und späteren Überformungen mit architektonischen Versatzstücken, wie zum Beispiel bei der Ende des 19. Jahrhunderts Berliner Stadtbahn mit ihren *Hartung'schen* Säulen im Stil des Eklektizismus, schon früh emanzipiert hatten. Die Eigenständigkeit der Prinzipien eines in der Logik der Form aus Kraftfluss und Materialeigenschaften entworfenen Ingenieurbauwerkes waren nämlich bereits gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts soweit angelegt, dass sie leistungsfähige Infrastrukturprojekte wie Brücken, aber auch völlig neue Bautypen wie Ausstellungshallen, Bahnhöfe oder Turmbauwerke ermöglichten.

Im Hinblick auf die Gestaltung wurde dabei immer deutlicher, dass diese Bauwerke im Vergleich zu den antiken Bauten kein Ornament als Dekor benötigten, um in der allgemeinen Wahrnehmung ihren Einfluss auf die Veränderung der Lebensverhältnisse zu symbolisieren. Dies hatte zur



Bild 1. Killesbergturm in Stuttgart. Entwurf und Tragwerk: sbp Ingenieure, 2001 (Foto: sbp)
Fig. 1. Killesberg-Tower in Stuttgart. Architectural and structural design: sbp Engineers, 2001



Bild 2. Murturm in Gosdorf. Entwurf: terrain:loenhardt&mayr, Tragwerk: osd – office for structural design, 2010 (Foto: Marc Lins – Bildrechte: osd)
Fig. 2. Mur-Tower in Gosdorf. Architecture: terrain:loenhardt&mayr, structural design: osd – office for structural design, 2010



Folge, dass die Architektur umgekehrt nun ihrerseits ästhetische Qualitäten im Ingenieurbau – oder allgemeiner der Maschine – suchte und anfang, diese in die Architektur zu übertragen. So inspirierend diese Maschinenmetaphorik für die Architektur auch gewesen sein mag, so sehr täuschte sie aber über die grundverschiedenen Aufgaben von Maschinen und Architektur hinweg. Die Funktion einer Maschine ließ sich in wenigen Dimensionen beschreiben, ihre Bildungsprinzipien gehorchten einer linearen Evolution des Schneller, Höher, Weiter, womit die exakt messbaren Wissenschaften ihr Fundament und Antrieb zugleich wurden. Die Funktionen der Architektur dagegen waren deutlich vielfältiger und nicht eindeutig quantifizierbar. Als Antwort darauf standen und stehen unterschiedliche architektonische Entwurfsansätze gleichberechtigt nebeneinander und unterliegen daher einem subjektiven Votum.

Die vielfältig unternommenen Versuche der ingenieurtechnischen Anleihe zur architektonischen Gestaltung drückten sich in den verschiedenen Stilepochen durch Ismen wie Konstruktivismus, Funktionalismus und dem jüngsten Dekonstruktivismus oder durch Schlagworte wie form follows function aus. Hierdurch wurde vordergründig zwar ein Primat des Technologischen als Ausgangspunkt im architektonischen Entwurfsprozess suggeriert, dies wurde aber häufig falsch verstanden und Entwurfsbeiträge in den verschiedenen Epochen entpuppten sich immer wieder als bloße formale Übertragung statt substantielle Anleihen. In diesem Zusammenhang wirken heute beispielsweise die konstruktivistischen Beiträge aus dem Jahr 1929 zum Wettbewerb des Hauses der Kongresse der UdSSR wie Utopien, in denen sich die Entwurfsprozesse endgültig von den Parametern des Machbaren gelöst zu haben schienen. Vergleicht man *Isaak Josefowitschs* Entwurfsbeitrag zu diesem Wettbewerb (Bild 3) mit *Vladimir Šuchovs* 1929 fertiggestelltem Moskauer Radioturm (Bild 4), könnten die Unterschiede kaum größer sein: hier *Šuchovs* 150 m hoher hyperbolischer Stahlfachwerkurm, der ingenieurtechnisch durch seine Reduktion auf das absolut Notwendige besticht und Form, Material, Konstruktion in

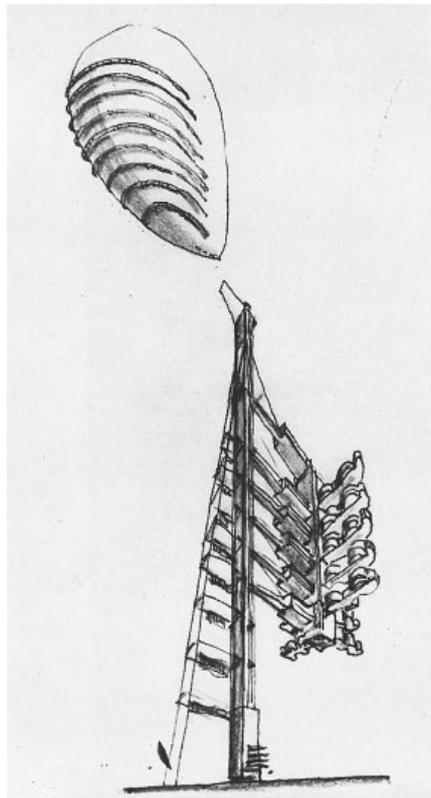


Bild 3. Entwurf von *Isaak Josefowitsch* für das Haus der Kongresse in der UdSSR, 1929 [17]

Fig. 3. Conceptual design for the House of Congresses in the UdSSR, 1929

Einklang bringt. Auf der anderen Seite *Josefowitschs* Entwurf des fliegenden Sitzungssaales, dessen Entwurfsprinzipien und Gestaltungsanspruch mit einem ingenieurtechnischen Verständnis nicht zugänglich sind, sondern höchstens über einen künstlerischen und/oder architekturtheoretischen Zugang erschlossen werden können.

Das Dilemma der heute verbreitet anzutreffenden Unverständlichkeit zwischen Architekten und Ingenieuren wurzelt sicher im gegenseitigen Unverständnis zu Beginn der Industrialisierung. Mit den rationalen Gestaltungsansprüchen aus ingenieurmäßigen Erfindungen, neuen Materialentwicklungen und neuartigen Fertigungsprozessen waren die Architekten seinerzeit sichtlich überfordert und ein Entwerfen mit ingenieurtechnischen Parametern ist bis heute kein Schwerpunkt in der Architekturausbildung. Demgegenüber konnten die Bauingenieure bis in die 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts ihren Gestaltungsanspruch bei Ingenieurbauten, aber auch bei Schalenbauwerken und weitgespannten Hallenkonstruktionen behaupten. Seit den 1970er

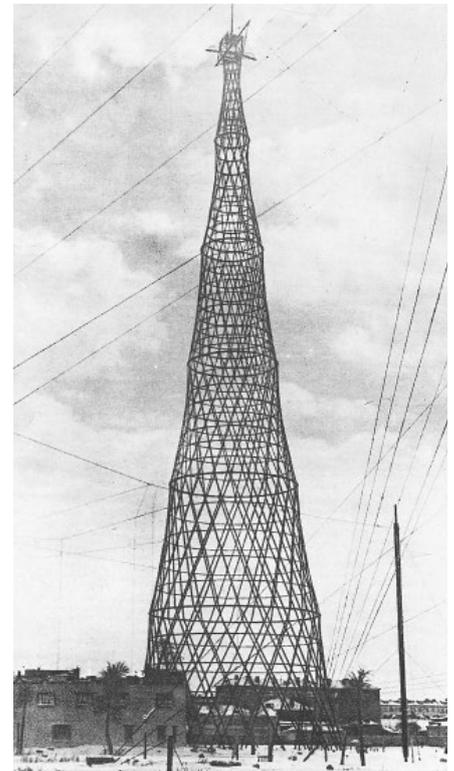


Bild 4. Radioturm in Moskau. Entwurf und Tragwerk: *Vladimir Šuchov*, 1929 (Foto: *Sergei Arsenyev*)

Fig. 4. Radio-tower in Moskau. Architectural and structural design: *Vladimir Šuchov*, 1929

Jahren hat der Ingenieurbau jedoch durch das Diktat zur Rationalisierung, als Konsequenz des zunehmenden Drangs der Wirtschaft zu immer niedrigeren Baukosten bei gleichzeitig gesteigerter Herstellungsgeschwindigkeit, viel an kreativer Motivation verloren. Heutige Konsequenz beider konträren Entwicklungen ist das oft mangelnde tragwerkstechnische Verständnis bei Architekten und ein fehlender gestalterischer Zugang von vielen Bauingenieuren.

In dem bereits erwähnten Artikel aus dem Jahr 1986 zur Gestaltung von Ingenieurbauten zeigt *Jörg Schlaich* die Folgen der Rationalisierung im Bauwesen auf, indem er die kontextlos entworfenen Systemlösungen für die seinerzeit gebauten Brücken auf den Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn kritisiert: „... Parallelgurtige Hohlkastenträger überall und alle gleich, als kämen sie sämtlich aus der gleichen Strangpresse; die Spannweiten einheitlich geregelt, egal wie lang oder tief das Tal ist; kaum zu unterscheiden, ob aus Beton oder Stahl; beim Befahren gar nicht wahrzunehmen ...“ [1]. Heutzutage haben wir im

Brückenbau mehr mit der Sanierung zu tun als mit Neubaumaßnahmen, aber die Anmerkungen von *Schlaich* zur Unteilbarkeit der Baukunst und der damit verbundene Gestaltungsanspruch an Ingenieurbauten sind vor dem Hintergrund des gesteigerten Ausbaus der Infrastruktur zur Nutzung regenerativer Energien aktueller denn je. Denn ebenso kontextlos wie seinerzeit die Brücken der Deutschen Bundesbahn platziert wurden, bauen wir heute Anlagen und Bauwerke zur Gewinnung, Verteilung und Zwischenspeicherung von Energien aus Sonne und Wind in unsere Landschaften, allein auf die Gesichtspunkte der maximalen Energieausbeute und Kosteneffizienz hin optimiert (Bilder 5 und 6).

Zwar wird in Form von Umweltverträglichkeitsprüfungen Rücksicht auf die Umwelt genommen, aber ein aktiver Planungsprozess im Sinne einer kritischen Baukulturdiskussion, wo auch die gestalterische Integration in die Landschaft geregelt wird, befindet sich immer noch im Anfangsstadium. Mit dem aktuellen Entwurf des niedersächsischen Windenergieerlasses wird beispielsweise derzeit nach über zwanzig Jahren der intensiven Windenergienutzung ein Konsenspapier erarbeitet, das man in diesem Sinne als Leitfaden erachten könnte. Denn im Unterschied zu Kohle- und Atomkraftwerken, die aufgrund ihrer Leistungsdichte sehr kompakt verortet sind, zeichnen sich regenerative Energieerzeugungsanlagen durch einen wesentlich größeren Flächenbedarf aus. Zudem ist die regenerative Stromerzeugung stark regional abhängig: Die ertragreichen Winde wehen im Norden und die höhere Sonneneinstrahlung findet sich im Süden.

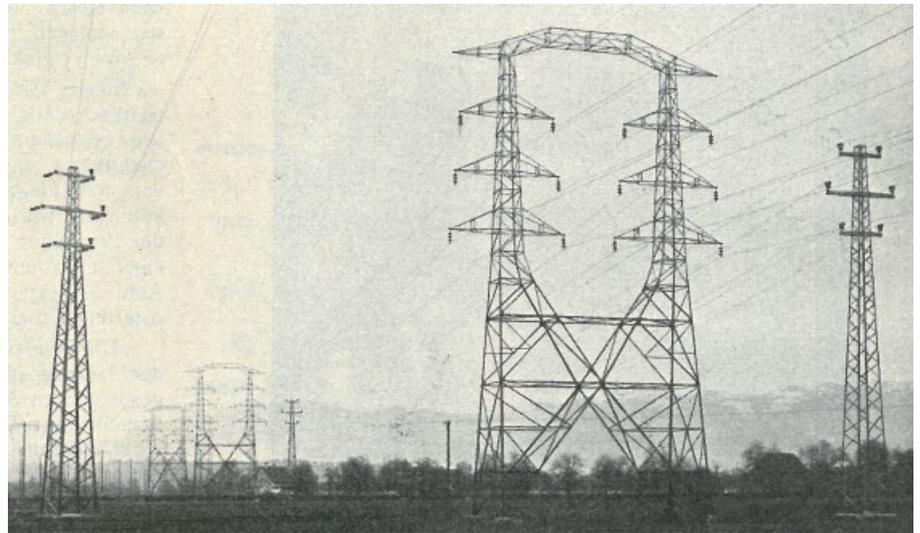


Bild 7. Hochleitungsmasten in Deutschland im Jahr 1928 [5]
Fig. 7. Electrical power pylon in Germany in 1928

Dies bedeutet, dass auch die vorhandenen Netze und Infrastrukturbauwerke zur Stromverteilung deutlich ausgebaut werden müssen, um das flächendeckende Einsammeln und Verteilen von Energie sicherzustellen. Schon jetzt ist erkennbar, dass die zunehmende Inanspruchnahme von Natur und Landschaft zur Erzeugung regenerativer Energien bei vielen Bürgern an die Grenzen der Akzeptanz stößt. Dass dies kein neues Phänomen darstellt, sondern auch schon die Ingenieure Anfang des 20. Jahrhunderts beschäftigt hat, zeigen die Äußerungen des Autors *Sturzenegger* aus Zürich, wenn er im Stahlbau, bereits 1928 feststellt: „... kamen naturgemäß anfangs Anlagen zustande, welche auf die Unterordnung in das Landschaftsbild recht wenig Rücksicht nahmen, und wobei sowohl bei der Trassierung wie beim Bau der Tragwerke nur wirtschaftliche Fragen

bestimmend waren“ [5]. Seine Bildbeispiele (s. Bild 7) illustrieren schon in der Frühphase der Elektrifizierung des deutschsprachigen Raumes eine Beeinträchtigung des Landschaftsraumes wie wir sie erst in den Aufbaujahren nach dem Zweiten Weltkrieg vermuten würden.

Waren früher die Mechanismen des steten Wachstums Garant für die Fortführung der Prinzipien des Höher, Schneller, Weiter, so sind wir heute in einer Phase der allgemeinen Skepsis und der Erkenntnis der Grenzen des Wachstums angelangt. Das Funktionale als alleinige ästhetische Kategorie mit seiner Gleichsetzung von richtig mit schön ist gesellschaftlich nicht mehr tragfähig und hat die Akzeptanz für die Ingenieurbauwerke gemindert, da Funktion und Richtigkeit einer Konstruktion auch immer gesellschaftliche Dimensionen haben, die sich mit den exakten Wissenschaften



Bild 5. Solarpark Jännersdorf (Foto: Parabel GmbH)
Fig. 5. Solar farm in Jännersdorf, Germany



Bild 6. Windpark zwischen Braunschweig und Hildesheim
(Foto: Philip May)
Fig. 6. Wind park near Braunschweig and Hildesheim,
Germany

ten nicht determinieren lassen. Hier sind wir Bauingenieure gefordert, nicht nur intelligente und technisch innovative Lösungen zu entwickeln, sondern auch die Verantwortung für gestalterische Integration in unsere Umwelt mitzutragen. Denn Ingenieurbauwerke dürfen nicht als Fremdkörper in der natürlichen Umgebung wirken, sondern sollten im besten Fall bereichernde Elemente einer Landschaft sein. Dass dies möglich ist, zeigen die Bilder 8 und 9. Zu sehen sind Stahlschneebrücken und Schneenetze zum Lawinenschutz im Schweizer Wallis, deren Anordnungen den natürlichen Verläufen der Berglandschaft folgen. Trotz der Verwendung von standardisierten Stahlprofilen und Drahtseilnetzen sowie einfachen Verbindungstechniken entsteht für den Betrachter nicht das Gefühl, dass hier Fremdkörper in der Landschaft stehen. Grund hierfür ist, dass die sichtbaren konstruktiven Elemente nur einen Teil des Gesamtkonzeptes zum Lawinenschutz darstellen. Als integralen Lawinenschutz bezeichnet man heutzutage das kombinierte Vorgehen gegen Lawinen aus waldbaulichen, raumplanerischen, technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen, die so aufeinander abgestimmt werden, dass Lawinenrisiken effizient auf ein Minimum verringert werden [6]. Sichtbar ist von den Lawinenschutzmaßnahmen zwar nur die gebaute Konstruktion, aber der Betrachter spürt intuitiv die Integration in ein Gesamtkonzept.

Das kombinierte Vorgehen des integralen Lawinenschutzes könnte uns ein Vorbild sein, die Infrastruktursysteme neu zu ordnen. Ein wesentlicher Grund für die gesteigerte

Wahrnehmung der Zunahme von Infrastrukturbauperken in unseren Landschaften liegt auch darin begründet, dass die Netze von Straßen, Schienen, Strommasten und deren baulichen Anlagen wie Brücken, Tunnel, Lärmschutzanlagen allesamt unabhängig voneinander gedacht und geplant werden und sich diese dementsprechend nach ihren eigenen monofunktionalen Erfordernissen durch unsere Landschaften winden. Und genauso wie der Betrachter bei den Lawinenschutzbauten die Integration in ein Gesamtkonzept intuitiv spürt, nimmt er das Fehlen eines solchen bei den Leitungstrassen für die Energieversorgung wahr. Hier müssen wir Ingenieure die Initiative ergreifen und transdisziplinäre Synergien suchen, um zukünftig vermehrt integrale und multifunktionale Ansätze zu entwickeln – mit dem Ziel, Infrastrukturnetze zu bündeln und die ganzheitlichen Konzepte zu integrieren. Die Gestaltung von Ingenieur- und Infrastrukturbauperken braucht zusammenfassend mehrere Dimensionen als ihre bloße Herleitung aus Funktion und Technologie. Wenn *Jörg Schlaich* in diesem Zusammenhang immer wieder uns Bauingenieure in die Pflicht genommen hat, ist das weiterhin ein guter Ansatz. Und doch geht dieser Ansatz auch heute noch weit über die gelebten Qualitäten des Berufsverständnisses hinaus.

3 Der Einfluss der digitalen Planung und Fertigung auf das konstruktive Entwerfen

„Bauen ist technisch antiquiert. Während in industriellen Produktionsprozessen seriell gefertigte High-Tech-Pro-

dukte entstehen, ist fast jedes Bauwerk ein Unikat, unter höchstem Zeitdruck, Stein-auf-Stein gefertigt, wie schon vor Jahrhunderten.“ Dies war das Eingangsstatement meines Artikels „Tragwerksplanung im Digital Workflow“, der 2001 im Katalog zur Ausstellung „digitalreal: Blobmeister – erste gebaute Projekte“ im Deutschen Architekturmuseum DAM publiziert wurde [7]. Hintergrund war die Ende der 1990er Jahre aufkommende Dynamik in der Realisierung geometrisch frei geformter Baukörper, so genannter Freiformarchitekturen. Möglich wurde die Realisierung durch neue, leistungsfähige 3D-Software, die teils anderen Bereichen entliehen waren – wie Maya aus der Filmindustrie oder CATIA aus dem Flugzeugbau, und teils neu auf den Markt kamen wie beispielsweise Rhinoceros 3D. Initiiert wurde diese Entwicklung durch die Fertigstellung des Guggenheim-Museums in Bilbao im Jahr 1997 durch den Architekten *Frank O. Gehry*, weshalb in Baukreisen auch viel vom „Bilbao-Effekt“ gesprochen wurde. *Gehry* hatte das Museum zwar ausschließlich mit Hilfe physischer Modelle entworfen – sozusagen analog – aber nur mit Hilfe der Software CATIA war es damals möglich, die Entwurfsmodelle dreidimensional zu digitalisieren und daraus handfeste geometrische Informationen in Form von zweidimensionalen Zeichnungen zur Realisierung abzuleiten.

Während *Gehry* nachfolgend weiterhin auf die analoge Entwurfsmethode in Form von physischen Modellen vertraute, experimentierten junge Architekten wie *Greg Lynn*, *Lars Spuybroek*, *Bernhard Franken* und andere mit 3D-Formfindungsprogrammen wie Maya – ein Programm aus der Film-



Bild 8. Stahlschneebrücken im Wallis
Fig. 8. Steel snow bridges in Wallis



Bild 9. Schneenetze am Simplonpass
Fig. 9. Snow nets at Simplonpass



Bild 10. Bubble auf der IAA in Frankfurt. Entwurf: Bernhard Franken, Tragwerk: Bollinger + Grohmann, 1999 (Foto: Friedrich Busam – Bildrechte: Bernhard Franken)

Fig. 10. Bubble at IAA in Frankfurt. Architecture: Bernhard Franken, structural design: Bollinger + Grohmann, 1999

industrie zur 3D-Visualisierung und Computeranimation, um völlig neue Architekturformen zu entwerfen. Die Umsetzung in die Realität stellte allerdings die beteiligten Ingenieure und ausführenden Unternehmen vor große Herausforderungen und erforderte völlig neue Arbeitsweisen, insbesondere in der Schnittstelle zur Ausführungsplanung. Ich hatte das große Glück, in dieser Anfangszeit als Projektleiter im Ingenieurbüro Bollinger + Grohmann bei wegweisenden Projekten wie den BMW-Ausstellungspavillons zur IAA 1999 und 2001 sowie beim Kunsthaus Graz mitwirken und vielfältige Erfahrungen sammeln zu können. Mir ist damals schnell klar geworden, dass zwischen dem, was wir mit diesen leistungsfähigen Programmen entwerfen und berechnen konnten und dem, was mit den vorhandenen Methoden und unter den Bedingungen der Fertigung vor Ort realisierbar war, Welten lagen. Wobei man hier deutlich unterscheiden muss zwischen dem, was technisch realisierbar und dem, was wirtschaftlich realisierbar war. Wir hatten das Glück, uns in dieser Zeit an den Grenzen des technisch Machbaren bewegen zu können, weil wir Bauherrn hatten, die bereit waren, für den Gegenwert einer technologischen Neuheit die Wirtschaftlichkeit nicht in den Vordergrund zu stellen.

Über den BMW-Ausstellungspavillon auf der IAA 1999, dem so genannten Bubble (Bilder 10 und 11), entworfen von Bernhard Franken, ist seinerzeit viel geschrieben worden. Es war das erste Bauwerk, das in einem durchgehenden digitalen Workflow vom Entwurf bis zur Fertigung realisiert wurde: Die Form wurde mit Maya erzeugt, die digitalen Daten in das FEM-Programm ANSYS impor-

tiert und berechnet, die fertigungsgerechte Elementierung erfolgte mit CATIA und mit Hilfe einer 5-Achs-Fräse wurden die Acrylplatten nach der thermischen Verformung ausgeschnitten und besäumt. Völlig entgegen dem Diktat zur Rationalisierung bestand die Hülle des Bubble aus über dreihundert unterschiedlichen, doppelt gekrümmten Kunststoffscheiben. Für jede Scheibe musste daher eine CNC-gefräste PU-Form hergestellt werden, in welcher die zuvor erhitzten Acrylplatten thermisch verformt wurden. Auch die Aluspanten der Primärstruktur waren allesamt unterschiedlicher Geometrie, und wurden exakt der Form folgend im Wasserstrahl-schneidverfahren aus Plattenmaterial zugeschnitten.

Trotz der allgemeinen Euphorie des technisch Machbaren aus dieser Anfangszeit, ist es uns Bauingenieuren in den folgenden Jahren bis heute nicht nachhaltig gelungen, innovative Lösungen für die neuen Formen in der Architektur zu entwickeln. Im Baualltag denken wir von Projekt zu Projekt und konzentrieren uns darauf, die Formvorstellungen der Archi-

tekten mit projektspezifischen Einzelösungen zu realisieren. Dem Diktat der Wirtschaftlichkeit folgend sind viele formal außergewöhnliche Bauprojekte heutzutage mehr von pragmatischen Lösungen als von Innovationen getragen. Für viele Architekten und Bauherrn zählt die äußere Erscheinung in Form einer geschwungenen Fassade, die Intelligenz und Schönheit der Tragkonstruktion ist dagegen häufig untergeordnet.

Damals wie heute liegt die Herausforderung bei freien Formen in der Herstellung doppelt gekrümmter Flächen sowie in der Fügung dieser geometrisch komplexen Bauteile. Die Herstellung doppelt gekrümmter Flächen ist natürlich sehr materialabhängig. Während sich Kunststoffe recht einfach thermisch verformen lassen, ist das für die Werkstoffe Glas und Stahl ungleich aufwendiger. Häufig werden frei geformte Flächen dann trianguliert und aus mehr oder weniger kleinen, ebenen Teilen zusammengesetzt. Lediglich Beton ist als Kaltguss grundsätzlich einfach in Form zu bringen, der Aufwand steckt jedoch im Schalungsbau. Heinz Isler war mit seinen Betonschalen der Zeit weit voraus. Wenn man seine Bauten anschaut, spürt man auch hier – ähnlich wie bei den zuvor erwähnten Lawinenschutzbauwerken – das bauliche Ergebnis eines integralen Gesamtkonzeptes (Bild 12). Dass er unzählige seiner Schalen nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich herstellen konnte, ist nach wie vor einmalig und bis heute unerreicht. Dies liegt vor allem daran, dass Isler für seine Schalenbauten die Verantwortung von der Formfindung über die Berechnung bis hin zur Herstellung und anschließenden Beobachtung übernahm. Eberhard Schunck schrieb



Bild 11. Bubble auf der IAA 1999 in Frankfurt: Montage der Acrylglas-scheiben
Fig. 11. Bubble at IAA in Frankfurt. Assembly of the acrylic sheets



Bild 12. Tennishalle als Betonschalenkonstruktion in Sion. Entwurf und Tragwerk: Heinz Isler, 1983
Fig. 12. Tennis Hall as concrete shell in Sion. Architectural and structural design: Heinz Isler, 1983

hierzu: „Islers Arbeitsweise ist darauf ausgerichtet, Probleme immer zuerst als Ganzes zu betrachten und ihre Lösung von der Einheit her, der Synthese zu suchen. Erst, wenn er einen ganzheitlichen Ansatz gefunden hat, zerlegt er die Einheit, um sie berechenbar und herstellbar zu machen“ [8].

Für den entwerfenden Ingenieur zeigen *Islers* Betonschalen, dass ein Tragwerksentwurf nicht mit der Berechnung abgeschlossen ist, sondern

bis ins Detail und die Herstellung gedacht werden muss. Dies erfordert Kreativität und Beharrlichkeit. Denn faktisch wird innovatives Engineering aus zweierlei Richtungen beeinflusst: Einerseits implizieren die Standards der bauindustriellen Fertigung möglichst einfache geometrische Formen und bewährte Verbindungstechniken. Und andererseits wird von den Ingenieuren häufig verlangt, dem Diktat der architektonische Form zu folgen.

Hier liegt die zukünftige Chance in der Nutzung der digitalen Möglichkeiten zur Entwicklung grundlegend neuer Konstruktionsprinzipien und Fügeverfahren. Nirgendwo sonst wie im konstruktiven Detail treffen die unterschiedlichsten Aspekte wie Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit, Wirtschaftlichkeit, Gestaltung, Ästhetik bis hin zur Nachhaltigkeit in solch einer Dichte zusammen. An den Instituten für Tragwerksentwurf (ITE) und für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig werden in Rückbesinnung auf die intelligenten und materialsparenden, auf den handwerklichen Fähigkeiten basierenden Fügeprinzipien der Vergangenheit neuartige Verbindungen für Betonbauteile aus Ultrahochfestem Beton (UHPC) entwickelt (Bild 13). Die Forschungen laufen als Teilprojekt des DFG-SPP 1542 Leicht Bauen mit Beton. Erste Ergebnisse sind bereits publiziert [9]. Ziel muss es sein, das Konstruieren als Urprinzip des

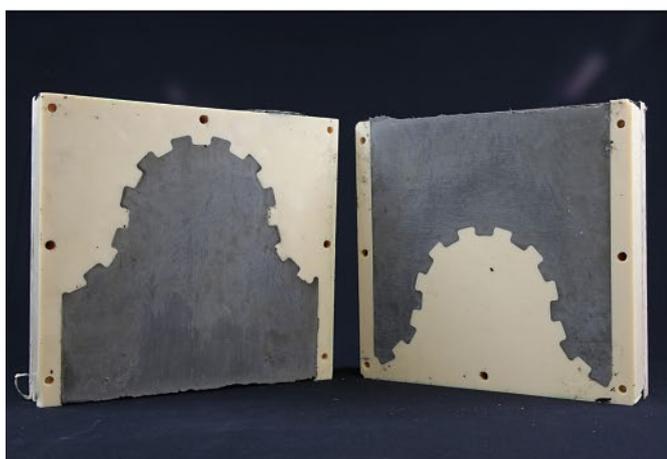
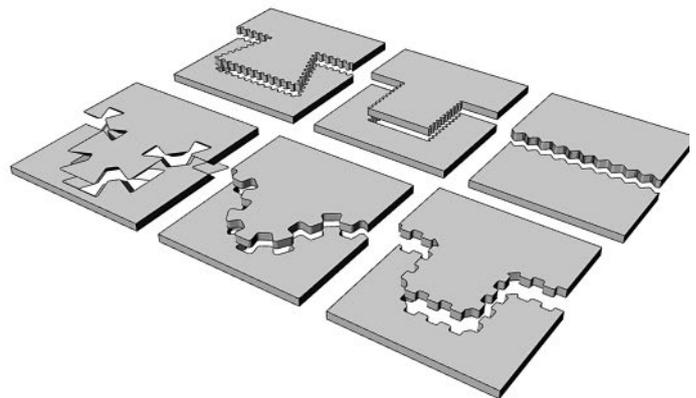
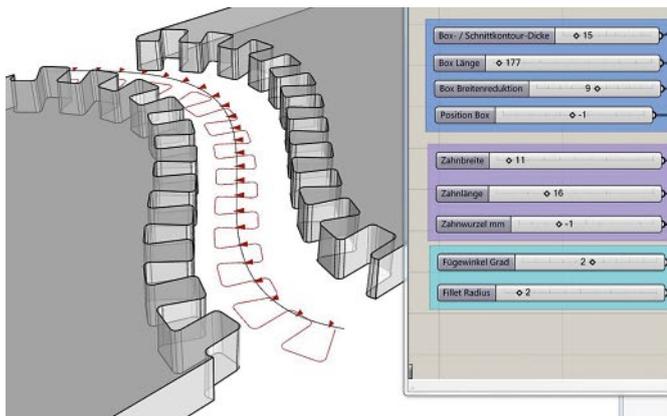


Bild 13. Neuartige mechanische Verbindungen für Bauteile aus UHPC: Parametrisch gesteuerte Entwicklung im 3D-Programm und hochpräzise Herstellung mittels CNC-gefräster Wachsschalung, ITE und iBMB der TU Braunschweig, 2014
(Bildrechte: ITE, TU Braunschweig)

Fig. 13. New mechanical jointing systems for UHPC building-components: parametrical designed in 3D-environment and fabricated with highly precise CNC-milled wax framework, ITE and iBMB at TU Braunschweig, 2014

Bauens im Kontext der heutigen innovativen Materialentwicklungen und den Möglichkeiten der digitalen Planung und Fertigung zu reanimieren sowie das intelligente und material-sparende Konstruieren durch eine gesteigerte Komplexität im konstruktiven Detail neu zu interpretieren.

4 Zur Ausbildung von Bauingenieuren und Architekten

Das Team der Bauschaffenden hat sich mit der Zeit stark vergrößert und von der Personalunion des historischen Baumeisters weit entfernt. Dennoch kommt beim Bauen der Paarung aus Tragwerksplaner und Architekt immer noch die größte gestalterische Verantwortung zu. Diese Verantwortung wiegt umso mehr, als die Debatte um die Qualität von Ingenieurbauwerken kein breites gesellschaftliches Anliegen zu sein scheint. *Jörg Schlaichs* Standpunkt kann als Weckruf gleichermaßen an uns Bauingenieure wie auch an die Architekten verstanden werden und muss für die kommenden Generationen von Ingenieuren und Architekten schon in der Ausbildung angelegt sein. Bei den Bauingenieuren ist neben der Etablierung einer materialübergreifenden Tragwerkentwurfslernlehre die Sensibilisierung für die gestalterischen Qualitäten von Tragwerken zu fördern. Auf der Seite der architektonischen Ausbildung ist die Sprachlosigkeit gegenüber dem ingenieurmäßigen Denken zu überwinden. Dazu bedarf es keines Ingenieurstudiums, aber fundierter Kenntnisse in qualitativer Hinsicht, was die Werkstoffe, die Grundlagen der Statik und der Festigkeitslehre sowie die Typenvielfalt an Tragwerken und ihr Haupttragverhalten betrifft. Fast schon historische Ansätze bilden hier die zwar hochgehandelten, jedoch wenig gelesenen Standardwerke von *Curt Siegel* [10], *Büttner* und *Hampe* [11], *Heino Engel* [12] und *Konrad Wachsmann* [13], um nur einige zu nennen. Diese Publikationen sind in ihrer Struktur so angelegt, das sie ein gemeinsames Basisvokabular für Ingenieure und Architekten anbieten, das gewissermaßen eine Schnittmenge der sich entfremdeten Gestaltungskulturen bildet. Jedoch sind auch diese Werke immer in ihrem zeitlichen und gesellschaftlichen Kontext zu lesen, so dass der Bedarf für Publikationen mit aktu-

ellem Bezug erkennbar ist. Die Verschriftlichung kann aber nur die Essenz der gelebten Praxis bedeuten. Die Ausbildung der Ingenieure sollte sich daran messen lassen, inwieweit das Abwägen der eigenen Argumente in der Diskussion mit den Architekten geübt werden kann – hierzu bedarf es gemeinsamer Studienprojekte und Werkstattgespräche mit realen Projektanten. Von der in der Praxis mittlerweile etablierten Kultur der integralen Planung ist die universitäre Berufsausbildung noch weit entfernt. Dabei bieten die Ausbildungsjahre zum Bauingenieur die einmalige Chance, einen breiten Einblick in einen sich ständig erweiternden Erkenntnishorizont zu erhalten, dessen Umfang selbst engagierte Lehrer wie *Jörg Schlaich* nicht umfänglich genutzt sehen, wenn er feststellt: „Ich glaube, wir wissen mehr, als wir abrufen. [...] wenn wir all das, was wir wissen, erstmal umsetzen würden, dann könnten wir solche Sprünge nach vorn machen, dass wir sehr glücklich sein könnten“ [14].

Die Verantwortung für unsere gebaute Umwelt ist jedoch nicht als Bürde zu sehen, sondern als eine wesentliche Motivation für das Berufsbild. Dazu ist es für uns Bauingenieure wichtig, dass wir uns mit Architektur beschäftigen, wir müssen nicht als Architekten agieren, aber wir sollten eine eigene Haltung zum Entwerfen haben und ein Urteilsvermögen für den gestalterischen Anspruch des jeweiligen architektonischen Konzeptes entwickeln können. Der architektonische Entwurf ist im Unterschied zum Tragwerksentwurf wesentlich stärker stilistischer Natur. Für die entwerfenden Ingenieure ist es daher wichtig, sich auf verschiedene Entwurfsstile einstellen zu können, weshalb im Zusammenhang mit dem Entwerfen von Tragwerken hier von einer Entwurfshaltung gesprochen wird.

Gestalterisch hochwertige Architektur ist nicht ohne ein adäquates Tragwerk möglich! Das bedeutet aber nicht, dass ein Tragwerk visuell im Vordergrund stehen muss, wie die Auszeichnung für den *Balthasar-Neumann-Preis* 2014 zeigt. Prämiert wurde mit dem Neubau des Landesarchivs NRW in Duisburg ein skulpturales Turmbauwerk von hoher architektonischer Gestaltung, das die Jury durch eine behutsame Integration in ein bestehendes denkmalgeschütztes Spei-

chergebäude am Duisburger Innenhafen überzeugte [15] (Bild 14). Um die Lasten aus dem neuen Turmbauwerk in den Baugrund abzuführen, wurde von unserem Frankfurter Ingenieurbüro *osd-office for structural design* in enger Zusammenarbeit mit den Architekten *Ortner & Ortner Baukunst* eine vom Bestandsgebäude unabhängige Lastabtragung entworfen. Im 6. OG wurde hierzu eine pyramidenförmige Übergangskonstruktion konzipiert, welche die Lasten aus den Stahlstützen des neuen Turmbauwerks auf so genannte *Vierendeelstützen* überleitet. Diese *Vierendeelstützen* umschließen zwar formal die Bestandsstützen aus Stahlbeton, sind aber statisch nicht mit diesen verbunden, sondern leiten die Lasten des Archivturms direkt an den Bestandsstützen vorbei in die neu integrierte Kombinierte-Pfahl-Plattengründung (KPP) ein [16] (Bild 15). Mit dem *Balthasar-Neumann-Preis* 2014 für das Landesarchiv NRW wurde neben dem Bauwerk vor allem die beispielhafte, innovative und über die üblichen technischen Standards hinausgehende partnerschaftliche Zusammenarbeit im Sinne von integralen Prozessen zwischen Architekten, Tragwerksplanern und TGA-Ingenieuren ausgezeichnet [15].

Dem Anspruch gerecht zu werden, für die jeweilige Architektur ein adäquates Tragwerk zu entwerfen, ist schwierig genug und das initiative Entwerfen der Architekten wird von uns Bauingenieuren häufig unterschätzt. Aber nur wenn wir Ingenieure in der Lage sind, das architektonische Konzept zu verstehen, kann es uns gelingen, ein überzeugendes Tragwerk zu entwerfen. In diesem Sinn ist es für den entwerfenden Ingenieur wichtig, sich einerseits auf die Sprache des architektonischen Entwerfens einzulassen und andererseits die eigenen Überlegungen zutreffend aber verständlich an die Architekten richten zu können, ohne den impliziten Vorbehalten des eigenen Vokabulars gegenüber denen des anderen einen Raum zu geben. Dann wird es möglich, mit vielen unterschiedlichen Architekten zusammenarbeiten zu können und gemeinsam unsere gebaute Umwelt mitzugestalten. Das gilt, gleich ob ein Hochbauprojekt in den städtischen Kontext eingefügt oder ein Infrastrukturbauwerk in die Landschaft integriert werden soll. *Jörg Schlaich* bringt es auf



Bild 14. Turmbauwerk des Landesarchivs NRW in Duisburg. Entwurf: Ortner + Ortner, Tragwerk: osd – office for structural design, 2014 (Foto: Benedikt Kraft/DBZ)

Fig. 14. Tower Building of the Landesarchiv NRW in Duisburg

den Punkt, wenn er sagt: „Die große Kunst des Ingenieurwesens besteht darin, komplexe Zusammenhänge ... anschaulich zu gestalten, nicht einfach, sondern gerade einfach genug ... Das Schöne an unserem Beruf ist, dass man als Einzelner noch etwas bewirken kann: Am Anfang fotografiert man den Ort, macht Skizzen und einige Jahre später steht ein Bauwerk da. Man kann sich sagen: Vielleicht würde das Bauwerk auch ohne dich dastehen, aber es würde vielleicht ein bisschen anders aussehen, wenn du nicht gewesen wärst. Der Beruf des Bauingenieurs ist einer der letzten generalistischen Berufe, und das finde ich fantastisch“ [3].

Literatur

[1] Schlaich, J.: Zur Gestaltung der Ingenieurbauten oder Die Baukunst ist unteilbar. Bauingenieur 61 (1986), S. 49–61.
 [2] Kloft, H., Fäth, K.: Der Murturm – ein räumlich erfahrbares Turmbauwerk. VBI – Beratende Ingenieure 7/8 (2011), S. 22–25.
 [3] Dechau, W., Kloft, H., Siegel, K.: Jörg Schlaich im Interview 1999. db (1999), Heft 12, S. 92–94.
 [4] Eibl, J., Pauser, A., Schambeck, H., Schlaich, J., Stiglat, K., Walther, R., Wolff, H.-J., Zellner, W.: Verantwortung und Ansehen der Bauingenieure – ein Aufruf. Stahlbau 11 (2006), H. 11, S. 962–963.

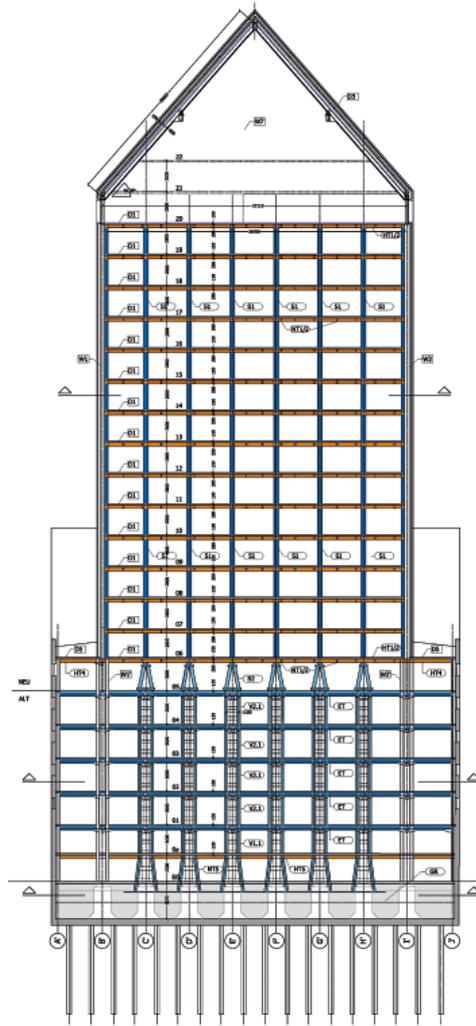


Bild 15. Tragwerk des Landesarchivs NRW (Bildrechte: osd)
 Fig. 15. Structure of the Landesarchiv NRW

[5] Sturzenegger, P.: Landschaftsschutz und Leitungsbau. Der Stahlbau (1928), Heft 12, S. 137ff.
 [6] http://www.slf.ch/ueber/geschichte/lawinenschutz/index_DE, abgerufen am 27.08.2014
 [7] Kloft, H.: Tragwerksplanung im Digitalen Workflow. Digitalreal: Blobmeister – Erste gebaute Projekte, Basel: Birkhäuser Verlag 2001.
 [8] Schunck, E.: Heinz Isler Schalen – Die baumeisterliche Einheit bei Isler. Stuttgart: Karl Krämer Verlag 1986.
 [9] Mainka, J., Lehmborg, S., Budelmann, H., Kloft, H.: Non-Standard Fügeprinzipien für leichte Bauteile aus UHPFRC. Beton- und Stahlbetonbau 11 (2013), H. 11, S. 763–773.
 [10] Siegel, C.: Strukturformen der modernen Architektur. München: Callwey 1960.
 [11] Büttner, O., Hampe, E.: Bauwerk: Tragwerk: Tragstruktur: Klassifizierung – Tragqualität – Bauwerkbeispiele. Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaft, Ernst & Sohn 1985.
 [12] Engel, H.: Tragsysteme. Stuttgart, DVA, 1967.
 [13] Wachsmann, K.: Wendepunkte im Bauen. Wiesbaden: Krausskopf-Verlag 1959.

[14] Kloft, H.: Rückblick und Ausschau auf das Berufsbild des Bauingenieurs: Ein Interview mit Jörg Schlaich aus dem Jahr 1999. Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), H. 11, S. 838–849.
 [15] http://www.dbz.de/artikel/dbz_Balthasar-Neumann-Preis_2014_entschieden_Die_Jury_unter_Vorsitz_von_Prof_1947028.html, abgerufen am 31.08.2014
 [16] Heuchel, C., Wiswedel, S., Fäth, K., Kloft, H., Mähl, F.: Das Landesarchiv NRW – der größte Archivbau Europas in Duisburg. Bauingenieur Jahresausgabe 2013/2014, S. 54–60.
 [17] Chan-Magomedow, S. O.: Pioniere der sowjetischen Architektur. Dresden: VEB Verlag der Kunst 1989.

Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft, hk@o-s-d.com,
 Dipl.-Ing. Sebastian Hoyer,
 Technische Universität Braunschweig,
 Institut für Tragwerksentwurf (ITE),
 Pockelsstraße 4, 38106 Braunschweig,
 ite@tu-bs.de

osd – office for structural design,
 Gutleutstraße 96, 60329 Frankfurt/Main
 office@o-s-d.com