



Visionäre
und Ingenieure
Alltagshelden
Bauen

Zukunft

Edition **DETAIL**

- 6 Ingenieure im Bauwesen
Werner Lang, Cornelia Hellstern
- 9 Leben gestalten
Wilhelm Vossenkuhl

Von Erfindern, Unternehmern, Problemlösern und Gestaltern

- 14 Tief- und Hochbauingenieure – die Entstehung der Berufe
Bill Addis
- 20 Netzwerke des Ingenieurwissens
Dirk Bühler
- 26 Pionierinnen der modernen Großbaustellen – wie sie wurden, wer sie sind
Margot Fuchs
- 30 Zur Ausbildung von Ingenieuren
Gerhard Müller
- 36 Ästhetik der Ingenieurkonstruktionen
Nina Rappaport

HÜLLE + RAUM

Bogen- und Schalentragwerke

- 43 Räume schaffen: Verbindung von Ästhetik und Struktur
- 44 Zur Entwicklung der Zeiss-Dywidag-Schalenbauweise
Cengiz Dicleli
- 47 Formfindung – grafische Mittel, Experiment und Modell, numerische Methoden
- 51 Computerbasierte Prozesse für bionische Tragkonstruktionen
Jan Knippers, Achim Menges
- 58 Tragwerksgestaltung und Formfindungsprozesse
Christoph Gengnagel

Zugbeanspruchte Konstruktionen

- 65 Weit und leicht
- 66 Textiler Leichtbau – Entwicklung der Simulationsmethoden seit den 1970er-Jahren bis heute
Kai-Uwe Bletzinger
- 71 Das Speichenrad für Ringseildächer im Leichtbau
Knut Göppert
- 75 Leichtbaukonstruktion in Bewegung

Hochbau – Fokus Holz

- 77 Mit Holz in neue Dimensionen
- 82 Material und Entwurf – hybrid ist die Zukunft?
Stefan Winter

Türme und Hochhäuser

- 87 Hoch hinaus
- 89 An der Grenze des Machbaren
Annette Bögle, Christian Hartz, Bill Baker
- 94 Buttressed Core: der gestützte Kern

WASSER + ENERGIE

Ver- und Entsorgung

- 99 Wasser in der Stadt
- 100 Wasserwandel in Städten der Zukunft
Jörg E. Drewes
- 105 Abwasser wird zu Wärmeenergie
- 106 Emscher Umbau: Ökologische Umgestaltung eines Entwässerungssystems

Nutz- und Schutzbauten

- 109 Schutz und Sicherheit, Wasser- und Energieversorgung
- 110 Schutz vor Naturgewalten
- 114 Ertüchtigung von Staudämmen: Pilotprojekt Sylvenstein-Damm
Peter Rutschmann
- 116 Herausforderungen im Diskurs von Technik und Gesellschaft
Peter Rutschmann

Inhaltsverzeichnis

119 Ingenieure als Unternehmer – Einfluss auf die Weiterentwicklung von Bauwesen und Gesellschaft

Roland Pawlitschko

124 Innovation Schachtkraftwerk

Peter Rutschmann

Offshore-Anlagen

127 Wind wird Energie

128 Strom aus dem Meer

130 Energiewende als Aufgabe für Bauingenieure

Christian Dehlinger

133 Schwimmender Windpark – Hywind Scotland

134 Schwimmend und ausfahrbar: TELWIND

135 Flexible Membranflügel für Windturbinen

136 Umweltingenieure und die Begrenzung der Nebenwirkungen moderner Technik

Joachim Scheuren, Carl-Christian Hantschk

MOBILITÄT + TRANSPORT

Verkehrswegebau

141 Erschließung von Raum

145 Höhenrekorde: Seilbahn Zugspitze

147 Feste Fahrbahnen im Schienenverkehr

Stephan Freudenstein

Balkenbrücken

151 Brücken mit Zukunft

152 Integrale und semi-integrale Brücken

154 Ulrich Finsterwalder und die Entwicklung des Freivorbaus

Cengiz Dicleli

157 Mehr Qualität und Effizienz durch Vergabeverfahren mit Nebenangeboten und Sondervorschlägen

Roland Pawlitschko

Tunnelbau

161 Unter Wasser und durch den Berg

162 Entwicklung des Tunnelbaus und der Tunnelvortriebsmaschinen

Roberto Cudmani

166 Gebirgsdurchquerung

168 Geodäsie – ein durchschlagender Erfolg

Thomas Wunderlich

171 Nutzung von Tunnelbauwerken für die geothermische Energiegewinnung

Roberto Cudmani

Seil- und Hängebrücken

175 Distanzen überwinden

176 Kontinente verbinden

178 Weiter spannen

180 Wege verkürzen

Verkehrstechnik

183 Neue Mobilität

184 Mobilität und Verkehr als dynamisches Tätigkeitsfeld für Ingenieure

Fritz Busch

188 Diagonal gekreuzt: Oxford Circus

189 Kooperative Systeme

Ausblick

192 Zukünftige Herausforderungen an die Ingenieure im Bauwesen

Werner Lang

Anhang

198 Ingenieurverzeichnis

209 Personenregister

209 Projektregister

210 Sachwortregister

211 Abbildungsnachweis

212 Literaturnachweis

213 Autoren, Expertengremium und Fachbeiräte

216 Impressum

Einführende Texte und Projektbeschreibungen stammen von den Kuratoren der Ausstellung.

Ingenieure im Bauwesen

»Die Innovationskraft der Ingenieure sichert die Überlebensfähigkeit unserer hoch entwickelten Volkswirtschaft und einen angemessenen Lebensstandard. Die Wertschätzung der Ingenieure und ihrer Leistungen ist daher ein Gebot der Selbsterhaltung und erfolgreichen Weiterentwicklung der Gesellschaft. Ingenieurinnen und Ingenieure im Bauwesen müssen sich entsprechend ihrer Bedeutung und Verantwortung in der Öffentlichkeit positionieren.«¹. So formuliert die Bayerische Ingenieurkammer Bau in ihrem Leitbild die Relevanz und Verantwortung dieses Berufszweigs.

Innovationskraft, Unternehmertum sowie Gestaltungs- und Leistungsvermögen sind wesentliche Eigenschaften der Ingenieure im Bauwesen.² Die durch sie erbrachten Leistungen wie z.B. Erfüllung von Schutz- und Sicherheitsbedürfnissen, Wasserver- und -entsorgung, Energieumwandlung und -verteilung sowie Mobilität zeigen auf, dass ohne sie ein erfülltes Leben – so wie wir es heute kennen – kaum möglich ist. Trotz dieser Schlüsselposition bezüglich der Erfüllung der Grundbedürfnisse unserer Zivilgesellschaft im Sinne eines guten Zusammenlebens ist das Wissen um die Aufgaben und Leistung der Ingenieure im Bauwesen vergleichsweise gering. Daran ändern auch die hohe wirtschaftliche Bedeutung der Baubranche mit einem Gesamtumsatz von rund 340 Milliarden Euro und über 2,7 Millionen Beschäftigte im Baugewerbe Deutschlands (2015)³ wenig.

Zu den schwerwiegenden Folgen dieser Fehleinschätzung hinsichtlich der Bedeutung der Ingenieure im Bauwesen zählen gemäß den Autoren des 2006 veröffentlichten »Zwischenrufs«⁴ nicht nur Fachkräftemangel und mangelnde Berücksichtigung bei der Vergabe von Forschungsmitteln, sondern auch der sich

hieraus ergebende Qualitätsverlust der uns versorgenden Infrastruktur und damit unserer materiellen und kulturellen Lebensgrundlage. Denn die Aufgaben der Ingenieure im Bauwesen umfassen eine Bandbreite an für uns im Alltag relevanten Tätigkeitsfeldern. Neben der Planung und Umsetzung von konstruktiven Ingenieurbauwerken und sonstigen Einzelbauwerken gehören hierzu auch Anlagen für die Gas- und Wasserversorgung, für den Wasserbau sowie für die Entsorgung von Gasen, Feststoffen einschließlich wassergefährdender Flüssigkeiten und Abfall. Ohne Spezialisten aus den Bereichen Tragwerksplanung, Vermessungstechnik und Geotechnik wäre die Planung und Umsetzung derartiger Bauwerke und Anlagen nicht denkbar.⁵

Dass diese Aufgabenfelder sich zum Teil an Schnittstellen zu anderen Disziplinen bewegen und ein anderes Denken erfordern, verdeutlicht z.B. das Tätigkeitsfeld der Verkehrsplanung, das auf eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsentwicklung unter Beachtung der Wechselwirkungen zwischen Raum und Verkehr auf stadtreionaler Ebene abzielt. Neben der Interdisziplinarität ist zugleich ein visionärer Denkansatz gefragt, denn verändertes Mobilitätsverhalten gilt es gleichermaßen zu berücksichtigen wie eine Vorstellung davon, welchen Einfluss Digitalisierung und technischer Fortschritt auf unsere Gesellschaft zukünftig nehmen werden, um Konzepte für die unmittelbare Zukunft zu entwickeln. Über die genannten Tätigkeitsbereiche hinaus decken die Ingenieure im Bauwesen auch eine große Bandbreite von für unsere Gesellschaft wichtigen Beratungsleistungen ab. Hierzu zählen unter anderem Themenfelder aus dem Bereich der Bauphysik, wie Wärmeschutz und Energiebilanzierung, Bauakustik und Schallschutz sowie Raumakustik.

¹ Leitbild der Bayerischen Ingenieurkammer Bau, <http://www.bayika.de/de/kammer/index.php?navanchor=2110000>, (abgerufen am 7.8.2017)

² In ähnlicher Weise zu dem eingangs zitierten Leitbild weist der 2006 veröffentlichte »Zwischenruf: Verantwortung und Ansehen der Bauingenieure – ein Aufruf« auf die zentrale Bedeutung ihres Berufs im Hinblick auf die Planung, den Bau und den Erhalt der unser Leben bestimmenden Infrastruktur hin. In: Bautechnik 10/2006, S. 737ff.

³ https://www.bundesstiftung-baukultur.de/sites/default/files/medien/78/downloads/bbk_bkb-2016_17_low_1.pdf, abgerufen am 7.8.2017

⁴ s. Anm. 2

⁵ s. HOAI § 41, <http://www.hoai.de>

⁶ s. Anm. 2

Rechts Darstellung des Hauptdreiecksnetzes zur »Bestimmung der St. Gotthard Tunnel-Axe« aus einem gleichnamigen Bericht des Ingenieurs Otto Gelpkes in »Der Civilingenieur«, 1870

Im Sinne eines nachhaltigen Handelns zur Erfüllung eines gesellschaftlichen Auftrags gilt es heute mehr denn je – vor dem Hintergrund globaler Herausforderungen wie Klimaveränderung und Umweltzerstörung, Rivalität um Ressourcen und demographischer Wandel – die sich hieraus ergebenden Aufgaben für das Bauwesen neu zu definieren.

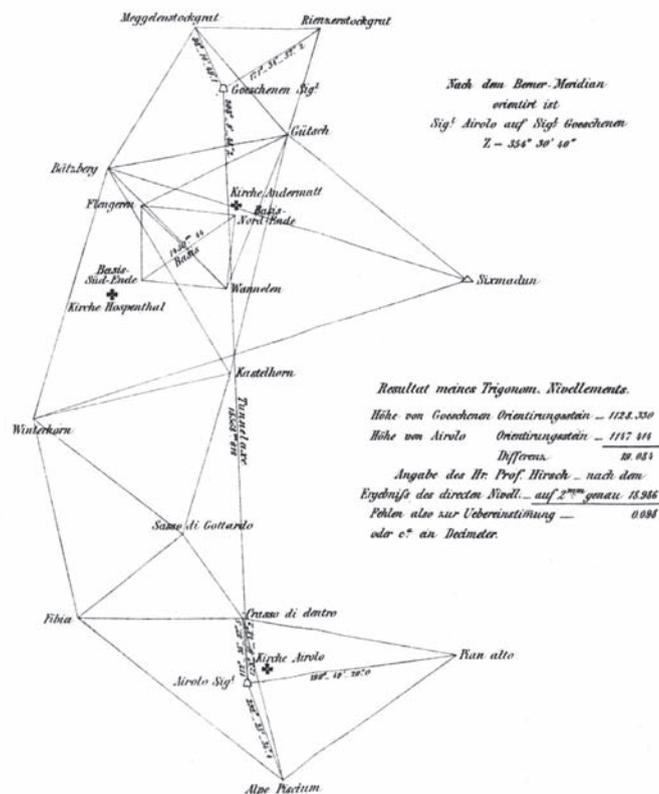
So müssen beispielsweise die Wechselwirkungen von Gebäuden bzw. Infrastruktursystemen mit der Umwelt von Anfang an in der Planung hinsichtlich Ressourcenverbrauch, Emissionen

oder den hiermit verbundenen ökonomischen oder sozio-kulturellen Aspekten betrachtet werden. Analoge und in zunehmendem Maße digitale Methoden und Werkzeuge zur Analyse, Modellierung und Synthese unterstützen den Planungs- und Umsetzungsprozess und befähigen die Ingenieure im Bauwesen, sich den sich ständig wandelnden und komplexer werdenden Herausforderungen im Dienst der Gesellschaft erfolgreich zu stellen.

Damit dies auch in Zukunft sichergestellt ist, müssen die Ingenieure im Bauwesen »um die Verbesserung ihres beruflichen Ansehens kämpfen, um ihrer zivilisatorischen und kulturellen Verantwortung weiterhin gerecht werden zu können. Dazu müssen sie in Forschung, Lehre und Praxis die Qualität ihrer Arbeit stetig den Bedürfnissen der Menschen anpassen und in der Gesellschaft um Anerkennung dafür werben, dass auch im Ingenieurbau Qualität ihren Preis hat.«⁶

Dies zu unterstützen, ist das Anliegen sowohl der Ausstellung »Visionäre und Alltagshelden. Ingenieure – Bauen – Zukunft« als auch der vorliegenden Publikation, die hierfür begleitend erstellt wurde.

Die Ausstellung, die vom Oskar von Miller Forum gemeinsam mit dem Museum für Architektur und Ingenieurkunst NRW e.V. (M:AI) konzipiert wurde, hat zum Ziel, das Wirken der Ingenieure im Bauwesen stellvertretend für die gesamte Branche so darzustellen, wie es ist: von zentraler, zivilisatorischer Bedeutung und in kultureller sowie technologischer Hinsicht vielfältig, spannend, faszinierend und innovativ. Diese Anerkennung ist wichtig im Hinblick auf unsere Gesellschaft und für das Verständnis und Ansehen des Berufsfelds, aber besonders auch für die Ausbildung von Ingenieuren im



Bauwesen. Die Ausstellung soll daher auch gezielt die Studierenden und den Nachwuchs ansprechen.

Dargestellt werden anhand ausgewählter, herausragender Ingenieure die Bedeutung, Bandbreite und Tiefe ihres Schaffens und ihrer Werke. Von der Historie kommend bis zu aktuellen Projekten wird gezeigt, unter welchen Randbedingungen sie tätig waren bzw. sind und wie ihr Wirken im gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Kontext zu werten ist. Im Fokus stehen dabei nicht Projekte, die aufgrund ihrer »Superlative« beeindrucken, sondern solche, die wesentliche Impulse gegeben haben oder derzeit geben und richtungsweisend für das zukünftige Bauen sind.

Die vorliegende Publikation ist nach den einflussreichen Worten des Philosophen Wilhelm Vossenkuhl in ihrem Hauptteil in vier wesentliche Abschnitte gegliedert.

Das erste Kapitel befasst sich mit der Entwicklung des Berufsstands seit Mitte des 17. Jahrhunderts, als die ersten Lehrbücher zu den Themenfeldern Wasser- und Brückenbau erschienen. Sehr bald bildeten sich die ersten Netzwerke und Allianzen, die für den Wissens- und Erfahrungsaustausch und damit die Ausbreitung der Ingenieurbaukunst von großer Bedeutung waren. Zudem werden Pionierinnen in der Baubranche – stellvertretend für die Entwicklung der Rolle der Frauen in diesem Berufsfeld – porträtiert. Ein Überblick über die Ausbildung von Ingenieuren im Bauwesen, der den Wandel über die Jahrhunderte nachzeichnet, bis zur Bedeutung von Ästhetik in der Ingenieurskultur runden dieses Kapitel ab.

Die drei folgenden Kapitel gehen – analog zur Ausstellung – auf die wesentlichen Grundbedürfnisse der Gesellschaft und die sich hieraus ergebenden Herausforderungen für die Ingenieure im Bauwesen ein.

Das Grundbedürfnis des Menschen nach Schutz und Sicherheit wird im Kapitel »Hülle und Raum« thematisiert. Hierzu gehören Beiträge zu aktuellen Entwicklungen in den Bereichen Material, Rechen-, Simulations- und Konstruktionsmethoden sowie Bautechnologien.

»Wasser und Energie« beschäftigt sich mit dem Bedürfnis nach einer nachhaltigen Versorgung und den sich ableitenden Aufgabenfeldern. Die urbane Wasserversorgung, der Schutz vor den Naturgewalten und die Versorgung mit Energie wird in diesem Kapitel gleichermaßen thematisiert wie das Wechselspiel von Technik, Gesellschaft und Unternehmertum – auch vor dem Hintergrund der Energiewende als Chance für das Bauwesen.

Die Notwendigkeit des Transports von Gütern

und das Bedürfnis nach Verbindung und Vernetzung der Menschen behandelt das Kapitel »Mobilität und Transport«: Es werden die verschiedenen Optionen für die Erschließung von Raum aufgezeigt, sei es auf dem Land, unter der Erde, auf dem Wasser oder in der Luft. Hierbei werden auch Aspekte zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung und zu wegbereitenden Entwicklungen im Bereich Geodäsie und Konstruktionsmethoden thematisiert. Die Diskussion neuer, nachhaltiger Mobilitätskonzepte rundet dieses Kapitel ab.

Der an den Hauptteil anschließende Ausblick beschreibt bereits heute sichtbare Trends und die sich hieraus ergebenden Herausforderungen für die Ingenieure im Bauwesen. Deren Relevanz für künftige Entwicklungen in den Bereichen Technik bzw. Technologie und Forschung vor dem Hintergrund der sich stark ändernden gesellschaftlichen Anforderungen zeigt, dass auch in Zukunft Ingenieure im Bauwesen als zentrale Dienstleister für die Gesellschaft dringend benötigt werden, um eine nachhaltige Entwicklung sicher zu stellen.

Diese Publikation wäre ohne die Mitwirkung der Fachautoren, die mit Begeisterung die Idee zu diesem Buch aufgegriffen und dies mit großem Einsatz unterstützt haben, nicht möglich gewesen. Dies gilt auch für das Fachbergergremium der Ausstellung und die weiteren Experten, die beratend tätig waren. Ihnen allen möchten wir besonders danken.

Auch den unmittelbar an den Inhalten und dem Entstehen der Ausstellung beteiligten Institutionen wie dem Oskar von Miller Forum – einer Bildungsinitiative der Bayerischen Bauwirtschaft – und dem Museum für Architektur und Ingenieurkunst NRW e.V. (M:AI) sowie den zugehörigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sei vielmals gedankt.

Wir hoffen, dass diese Publikation zum Verständnis beiträgt, wie es Ingenieure im Bauwesen auch unter schwierigsten Rahmenbedingungen seit jeher schaffen, lösungsorientiert, wirtschaftlich, verantwortungsvoll und mit innovativen Konzepten auf die Bedürfnisse und Herausforderungen der Gesellschaft zu reagieren. Sie besitzen die wesentliche Fähigkeit, zukünftige Fragen und Aufgaben von selbst zu erkennen und aktiv zu werden. Dieses »erfinderische Handeln«⁷ ist eine der wesentlichen Eigenschaften der Ingenieure im Bauwesen, die sie auch in Zukunft als Erfinder, Gestalter, Unternehmer und Dienstleister unserer Gesellschaft ausweisen wird.

Werner Lang, Cornelia Hellstern
Herausgeber

⁷ Peter Rice formuliert dies als relevante Handlungsmaxime für den Ingenieur: »I would distinguish the difference between the engineer and the architect by saying the architect's response is primarily creative, whereas the engineer's is essentially inventive«. Siehe dazu Martin Trautz: Baugeschichte oder Bautechnikgeschichte? Positionen zur Frage »Was ist Bautechnikgeschichte?« im Rahmen des 1. International Congress on Construction History, Madrid 2003. <https://gesellschaft.bautechnikgeschichte.org/was-ist-bautechnikgeschichte/> (abgerufen am 7.8.2017)

Leben gestalten

Ein höheres Lob, als dass jemand Maßstäbe setze, gibt es wohl kaum. Leistungen, die dies tun, sind gewöhnlich auffällig, gut erkennbar, oft spektakulär. Es gibt aber Maßstäbe, an die wir uns so gewöhnt haben, dass sie uns nicht mehr auffallen. Sie gehören zu unserem Alltag, sie gestalten unser Leben, ohne dass wir sie wahrnehmen. Sie sind unspektakulär, aber maßgeblich in unser Leben integriert, sind Teil dessen, was der französische Soziologe Pierre Bourdieu eine »symbolische Ordnung« nannte. Ingenieure im Bauwesen haben viele Maßstäbe gesetzt, die den Menschen nach einiger Zeit alltäglich vorkamen. Sie haben aber auch Maßstäbe gesetzt, die bleibend spektakulär erscheinen. Manches davon mutet an, als wollten sie der Gravitation trotzen und ganze Gebäude oder auch nur Dächer zum Schweben bringen. Das Spektakuläre prägt sich ein, und wir staunen darüber. Es wird aber wie alles Großartige nach einiger Zeit museal, wird zu einem Objekt der Erinnerung und droht dann, in Vergessenheit zu geraten. Dagegen gehört das Alltägliche schon allein deswegen bleibend zum Leben, weil wir nicht daran denken müssen, es sei denn es fehlt, dann fällt es wieder auf. Die Maßstäbe, die zum Leben gehören, prägen unsere Wahrnehmung, ohne dass wir sie selbst noch wahrnehmen. Sie sind wie unsere Muttersprache oder unser Dialekt Teil unserer selbst.

Wir nehmen, um ein Beispiel zu nennen, die Brücken, über die wir fahren, oft nur wahr, wenn Windböen von der Seite kommen. Ihre Konstruktion, die Sicherheit und Eleganz ihrer Gestaltung, das Raffinement der Verbindung von Materialien, von Baustoffen mit Mathematik und Physik sehen wir nicht. Es ist etwas Selbstverständliches, Unauffälliges, das herausragende Leistungen von Ingenieuren unseren Alltag bestimmen. An deren Qualität und

Zuverlässigkeit zweifeln wir nicht. Schließlich ist es genau das, was wir erwarten dürfen und für normal halten. Dabei ist das, was Normalität garantiert, aufwendig, sehr aufwendig und reich an Voraussetzungen, die alle ungewöhnlich sind. Und das nicht nur, wenn Tunnel für Bahnlinien gegraben werden, wie derzeit mitten in Stuttgart.

Der Schweizer Kunsthistoriker Jacob Burckhardt meinte, die Kunst schaffe ein »Totalbild der Menschheit«, stehe sogar unter dem Postulat, dies zu leisten. Bei dieser Leistung folge die Kunst einem umfassenden, alles einschließenden Maßstab. Das ist gut beobachtet, weil es um das Ganze des Lebens geht. Wenn wir nach einer Klammer für all die vielen Maßstäbe suchen, denen Ingenieure im Bauwesen folgen müssen, sollten wir auch von einem umfassenden, alles einschließenden Maßstab sprechen. Darin einbezogen sind die Materialwissenschaft, die Statik und Bauphysik, die Ökologie, das Design und – inzwischen auch – die Ethik. Was könnte es darüber hinaus noch an relevanten Maßstäben für die Gestaltung des Lebens geben?

Der Ausdruck »Totalbild der Menschheit« ist etwas pompös und mag für die Kunst reserviert bleiben. Für die Kunst der Ingenieure im Bauwesen reicht es, vom »Gesamtbild des Lebens« zu sprechen, das sie gestalten, zumindest wesentlich mitgestalten. Wir wollen sauberes Wasser trinken, auf sicheren Brücken fahren, in guten, erdbebensicheren und schönen Häusern wohnen und uns über das Erscheinungsbild der Städte freuen, in denen wir leben. Ingenieure im Bauwesen tragen keinen geringen Anteil an unserer Gesundheit und unserem Wohlbefinden, an unserer Lebensfreude, vielleicht sogar an unserem Glück, in jedem Fall am Umweltschutz und der Energiegewinnung, der sauberen wie auch der





Von Erfindern, Unternehmern, Problemlösern und Gestaltern

Tief- und Hochbauingenieure – die Entstehung der Berufe

Bill Addis

Die Fachgebiete des Ingenieurwesens, die heute mit den Begriffen Tief- und Hochbau umschrieben werden, reichen in ihren Ursprüngen zurück bis zu den Anfängen der Zivilisation und waren bereits zur Römerzeit sehr anspruchsvoll. Wasserbauingenieure konzentrierten sich auf die Wasserbewirtschaftung zum Nutzen der Menschen: Sie leiteten natürliche Wasservorkommen für Bewässerungszwecke um, schufen die Trinkwasserversorgung, planten die Entsorgung bzw. Aufbereitung von Abwässern, arbeiteten an Trockenlegungen und Hochwasserschutz und legten Wasserwege an, um die Schifffahrt zu erleichtern. Derlei Vorhaben verlangten nach großen Erdbewegungen und Mauerwerksbauten für Kanäle und Dämme. Brückeningenieure ermöglichten die Überquerung von Gewässern und den Bau von Aquädukten, die den Frischwassertransport sicherten. All diese Konstruktionen erforderten präzise Erkundungen und Landvermessungen. Baumaßnahmen für militärische Zwecke bedurften der gleichen Ingenieurskenntnisse wie solche für zivile Zwecke – und tatsächlich arbeiteten in beiden Bereichen dieselben Leute. Erst als diese grundlegenden Ansprüche der Zivilisation erfüllt waren und eher friedliche Zeiten herrschten, konnten sich die Ingenieure des antiken Griechenlands und Roms, der Renaissance Italiens und der Aufklärung des 18. Jahrhunderts nicht militärischen Projekten widmen, z.B. dem Bau von Tempeln, Kathedralen, Handels- und Bürgerhäusern. Die Karrieren von bekannten Baubeteiligten dieser Zeit wirken heute dennoch romantisch verklärt, wenn man sie etwas gewollt als Architekten bezeichnet, um sie von der blutigen Welt des Kriegs abzusetzen. Vitruvius erhielt eine Ausbildung als Militäringenieur, um Wallanlagen und Festungen sowie Brücken und große Kriegswaffen zu bauen. Nach dem Wehrdienst bekam er den Auftrag,

sich um die Wasserversorgung zu kümmern (vermutlich in Rom) und war als Projektleiter für verschiedene Bauprojekte tätig. Filippo Brunelleschi arbeitete einige Jahre an den Festungsanlagen von Florenz. Michele Sanmicheli, die große Sangallo-Familie, Francesco di Giorgio, der unter anderem für Sienas Wasserversorgung verantwortlich war, und auch Leonardo da Vinci – sie alle waren Militäringenieure. Auch in der Renaissance war es noch eine Notwendigkeit, dieselben Ingenieure und Gebäudeplaner an militärischen und nicht militärischen Projekten zu beteiligen.¹

Das »civil engineering« in der Zeit der Aufklärung und der industriellen Revolution

Auch im 17. und 18. Jahrhundert konzentrierte sich der Tiefbau auf die Wasserbewirtschaftung – Trockenlegungen, Wasserversorgung und Schifffahrt – sowie den Bau von Straßen und Brücken. Vor allem in Frankreich waren Tiefbauprojekte von nationaler Bedeutung, besonders für Wirtschaft und Handel, aber auch für militärische Zwecke. Zwischen 1662 und 1671 erhöhte der damalige Finanzminister Jean-Baptiste Colbert die Staatsausgaben für Straßen und Brücken von 22000 auf 623000 Pfund (Livres). Im Jahr 1666 beauftragte er den Tiefbauingenieur PIERRE-PAUL RIQUET mit dem Bau des 240 Kilometer langen Canal du Midi, der das Mittelmeer mit dem Atlantik verbindet. 1669 schuf Colbert ein Corps des commissaires des ponts et chaussées, das 1716 zum Corps des ingénieurs des ponts et chaussées wurde. Die erste technische Hochschule in Frankreich, die sich dem militärischen und nicht militärischen Ingenieurbau sowie dem Hochbau widmete, war die Académie royale d'architecture française, gegründet 1671 unter der Leitung von FRANÇOIS BLONDEL, seinerseits Militäringenieur

und Architekt unter Ludwig XIV. sowie Stadtarchitekt von Paris. Um mehr Nachwuchskräfte zu gewinnen und die Qualität der Neueinsteiger in das Corps des ingénieurs des ponts et chaussées anzuheben, wurde 1747 die École des ponts et chaussées gegründet. Am Ende des Jahrhunderts war das Corps in Frankreich für praktisch alle öffentlichen Projekte in sämtlichen Bereichen des Tiefbaus verantwortlich. Die Bedeutung dieser beiden Institutionen ist kaum zu überschätzen. Sie definierten den modernen Tiefbauingenieur und entwickelten ein Ausbildungsmodell, das heute weltweit eingesetzt wird. Die ersten wichtigen Lehrbücher über den Tiefbau (einschließlich militärischer Anwendungen) wurden in dieser Zeit veröffentlicht – etwa »La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile« (1729) und »Architecture hydraulique« (1737–1753) von BERNARD FOREST DE BÉLIDOR.² Wie die berühmten Bücher »Bellifortis« (ca. 1405) von Konrad Keyser und »De Re Metallica« (1556) von Georgius Agricola zeigen, waren deutsche Ingenieure im späten Mittelalter weltweit führend im Militäringenieurwesen, in der Metallurgie und im den Bergbau betreffenden Tiefbau. Danach hatte der Tiefbau des deutschsprachigen Raums jedoch einen weitaus geringeren internationalen Einfluss als britische und französische Ingenieure bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Trotzdem gab es im 18. Jahrhundert viele große deutsche Tiefbauingenieure, die besonders im Bereich des Wasser- und Brückenbaus arbeiteten und vor allem für gewerbliche Zwecke eine nationale Infrastruktur entwickelten. CASPAR WALTER war ein Wasserbauingenieur und Brückenbauer, der

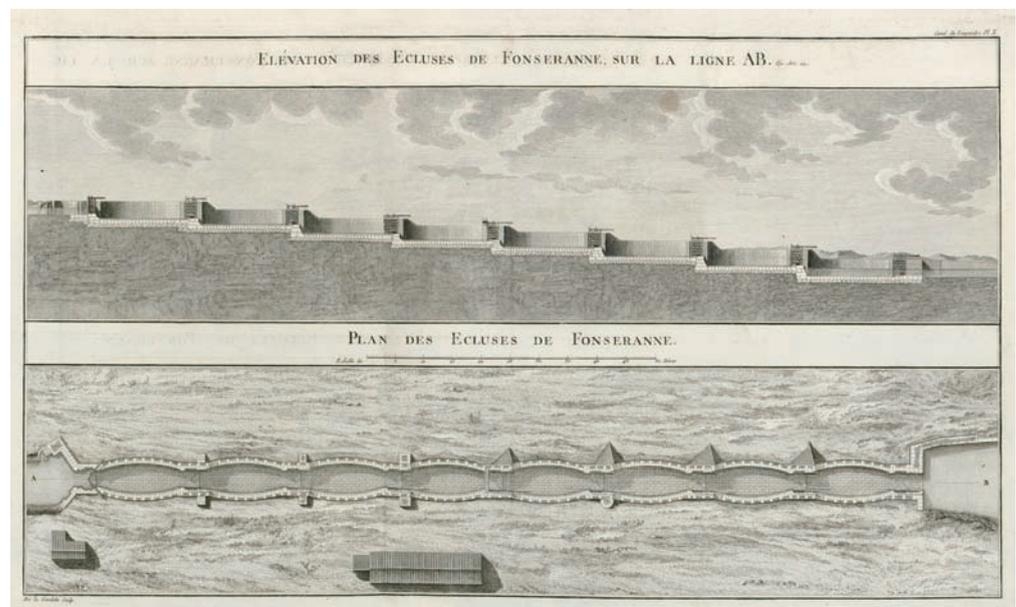
heute durch seine Bücher »Architectura hydraulica« (1754), »Brückenbau« (1766) und »Zimmerkunst« (1769) bekannt ist.

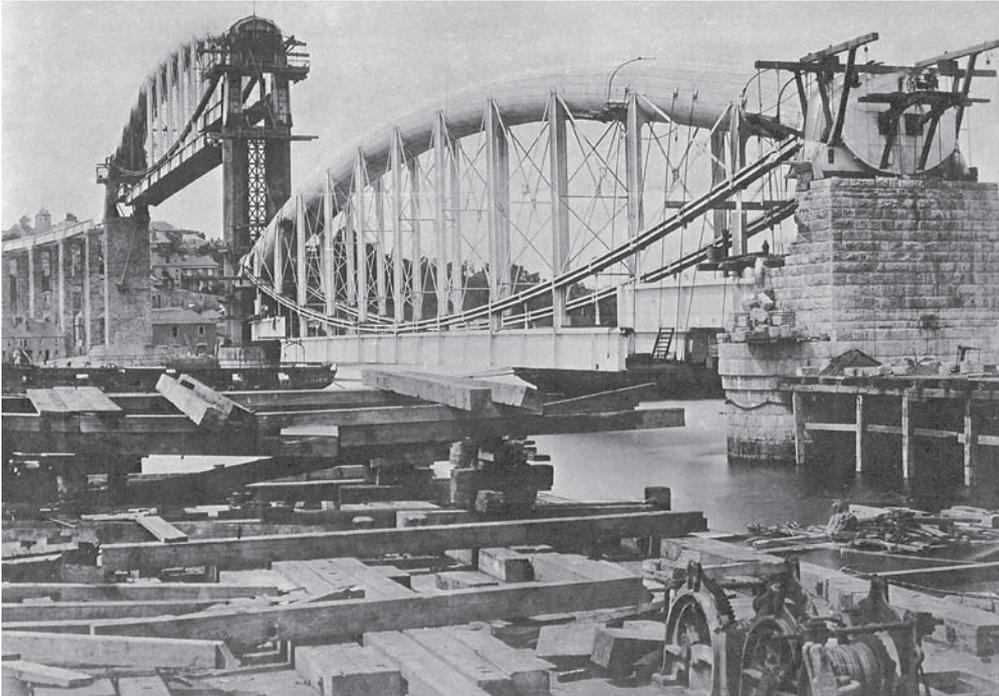
In dieser Zeit der beginnenden Globalisierung ermöglichte das Tiefbauingenieurwesen die Entwicklung und Realisierung der für den Seehandel nötigen Infrastruktur: Docks und Häfen, Kanäle, Werften und Lagerhäuser für die Einfuhr und Unterbringung hochwertiger Güter und Rohmaterialien, die es in Europa nicht gab, wie z.B. Gewürze, Baumwolle und Seide. Als einziges europäisches Land entwickelte Großbritannien damals Industrien, die importierte Rohmaterialien (vor allem Baumwolle und Seide) in Produkte (Textilien) umwandelten, die sich wieder exportieren ließen, um damit große Profite zu erlangen. Seit den 1750er-Jahren führte dieser enorme Handel zu einer noch größeren Nachfrage nach Tiefbauarbeiten in den Häfen sowie zu einem Boom beim Bau mehrgeschossiger Textilfabriken und bei der Herstellung von Textilmaschinen. Wurden die frühen Fabriken noch von Wasserrädern angetrieben, ersetzt in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhundert Dampfmaschinen die Wasserkraft. Da sich die Textilfabriken alle im Landesinneren befanden, war ein riesiges Netz von Kanälen zu errichten, um sie mit den großen Häfen zu verbinden. Auch ein erweitertes Netz von Straßen und Brücken war erforderlich, und ab Mitte der 1830er-Jahre revolutionierte die Ausbreitung des Eisenbahnnetzes für Güter und Passagiere die Welt. Die Eisenbahnunternehmer bauten bis in die 1870er-Jahre nicht nur das britische, sondern auch viele Tausend Kilometer des europäischen und amerikanischen Schienennetzes.

¹ Weitere Erläuterungen zur zunehmenden Verbreitung des Tiefbaus in der Renaissance siehe: William Barclay Parsons: Engineers and Engineering in the Renaissance. Baltimore 1939, Nachdruck Cambridge, MA 1968

² Die Rolle der École nationale des ponts et chaussées bei der Entwicklung des modernen Tiefbaus wird beschrieben in: Antoine Picon: L'invention de l'ingénieur modern. L'École des ponts et chaussées 1747–1851. Paris 1992

Unten Schleusen in Fonceranne als Teil des Canal du Midi (F) 1670er-Jahre, Ingenieur: Pierre-Paul Riquet





Die ebenfalls von ihm geplante Royal Albert Bridge in Saltash, 1859 fertiggestellt, stellte mit 139 Metern Spannweite den damals größten je gebauten Pauliträger (auch: Linsenträger) dar. Der Entwurf war mit einem Druckrohr als Obergurt und einer Kette als Zugelement des Untergurts äußerst konsequent konzipiert.

Netzwerke kennen keine Grenzen

Der von BRUNEL verwendete Pauliträger wurde in einem anderen, diesmal bayerischen Netzwerk zur technischen Reife entwickelt: Zusammen mit dem 1853/54 erbauten Glaspalast in München war die 1857 fertiggestellte (1985 durch einen Neubau ersetzte) Großhesseloher Brücke das prominenteste Ingenieurbauwerk des 19. Jahrhunderts im Königreich, das bis weit über die Grenzen hinweg wirkte. Die Brücke war Teil der Bayerischen Maximiliansbahn zwischen München und Triest und überquerte in 31 Metern Höhe das Isartal mit einer Gesamtlänge von 259 Metern. Die Spannweiten der vier Pauliträger betragen 56 Meter in den beiden Mittelfeldern und 30 Meter in den beiden Seitenfeldern.

FRIEDRICH AUGUST VON PAULI, der Namensgeber des Trägers, kam als Oberingenieur zur Obersten Baubehörde Bayerns, wurde Professor an der Universität München und Leiter der Polytechnischen Schule. 1843 und 1844 reiste er nach Großbritannien. Ab 1841 arbeitete er bereits an der Ludwigs-Nord-Südbahn und gilt damit als

Schöpfer der Bayerischen Staatseisenbahnen. Seine ersten Bauten waren Holzbrücken mit Fachwerken nach dem System Howe, seltener nach dem Town'schen System. Eine erste Innovation in seinem Berufsleben war eine Eisenbrücke über die Günz bei Günzburg mit einem Fachwerkträger, dessen Berechnungsverfahren er verbesserte und der als Vorläufer des Pauliträgers gilt. PAULI arbeitete eng mit der Eisenbaufirma Klett & Co. aus Nürnberg zusammen, die durch den Bau des Glaspalasts in München bekannt geworden war und in der Folge viele Brücken mit Pauliträgern baute. So entstanden bis 1870 fünf Großbrücken, darunter die Großhesseloher, und eine Unzahl kleinerer. Doch als PAULI mit 68 Jahren pensioniert wurde, fand das System kaum noch Verwendung im bayerischen Brückenbau.

Auf besondere Veranlassung PAULIS besuchte sein Mitarbeiter KARL CULMANN 1849/50 Großbritannien und die Vereinigten Staaten, um die vielfältigen dort verwendeten Trägersysteme zu studieren. Seine Publikation dieser freier und innovativer gestalteten Holz- und Eisenträger in Übersee war in der Heimat eine Sensation. Er wurde 1855 Professor an der Technischen Hochschule Zürich und bereitet mit seinem Werk »Die graphische Statik« den Weg für eine neue Fachwerktheorie; berühmte Ingenieure wie MAURICE KÖCHLIN gehörten zu seinen Studenten.

Das Fachwerkssystem des Linsenträgers wurde dann von Paulis Schüler HEINRICH GERBER und Carl von Bauernfeind verbessert. Über

Oben Die Royal Albert Brücke über den Saltash ist 1854 bis 1859 unter der Leitung von Isambard Kingdom Brunel mit zwei je 139 m weit gespannten Pauliträgern erbaut worden. Der Kraftfluss in diesen beiden größten je gebauten Pauliträgern ist deutlich ablesbar: der Obergurt ist als druckbeanspruchtes Rohr, der Untergurt als zugbeanspruchte Kette ausgebildet.

Rechts oben Das Walchenseekraftwerk ist ein 1924 in Kochel am See in Betrieb genommenes Hochdruck-Speicherkraftwerk, das vom Unternehmer und Bauingenieur Oskar von Miller ab 1918 geplant und gebaut wurde. Es ist mit einer Leistung von 124 MW bis heute eines der größten seiner Art in Deutschland. Die Pelton-Turbinen sind mit Einphasengeneratoren verbunden (Einbau am 30.10.1924), die für die Stromerzeugung für die Eisenbahn ausgelegt sind.

Rechts unten Die Gründung und der Bau des Deutschen Museums wurden zum Meilenstein in der Geschichte der Ingenieurbaukunst, eine Einrichtung, die wir ebenfalls Oskar von Miller verdanken. Die Abbildung zeigt den Bauzustand im Jahr 1914: die bereits fertige Kupferüberdachung musste zum Beginn des Ersten Weltkriegs wieder abgenommen und dem Staat gestiftet werden. Der Museumsbau auf der Isarinsel wurde erst 1925 eingeweiht.



den Linsenträger hatte PAULI, dessen Leistungen mehr auf organisatorischem Gebiet lagen, selbst nichts geschrieben, erst HEINRICH GERBER veröffentlicht 1865 einen Aufsatz über den dort »Pauli« genannten Träger. Da die bisher verwendeten Durchlaufträger schwer zu berechnen waren, stellte ein mit Gelenken versehener Auslegerträger eine praktikable Lösung dar. GERBER, der schließlich als Unternehmer und Ingenieur bei Klett in Nürnberg und später im Werk Gustavsburg der MAN tätig war (siehe »Ingenieure als Unternehmer«, S. 119), erwarb 1866 ein Patent auf einen Gelenkträger, der seinen Namen trägt. Mit diesem System entstand 1882–1890 die Brücke Firth of Forth bei Queensferry in Schottland nach dem Entwurf von SIR BENJAMIN BAKER und JOHN FOWLER mit 521 Metern Spannweite.

Der Bauingenieur OSKAR VON MILLER und sein bis in die USA und Japan reichendes Netzwerk stehen beispielhaft für das frühe 20. Jahrhundert. VON MILLER hatte sich vorgenommen, die bayerischen Eisenbahnen zu elektrifizieren und baute Speicher- und Flusskraftwerke, die den erforderlichen Strom bereitstellen sollten. Mit einem ersten aufsehenerregenden Versuch verwandelte er die Wasserkraft des Neckars in elektrischen Strom und zeigte, dass sich Wechselstrom über große Strecken transportieren ließ. 1891 organisierte er als Leiter der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt am Main eine 20000 Volt-Kraftübertragung zwischen Lauffen und Frankfurt, die einen wichtigen Durchbruch für die Überleitung von Wechselstrom bedeutete. Der amerikanische Elektroingenieur Nikola Tesla und der Ingenieur und Unternehmer George Westinghouse machten sich die Erfahrungen des deutschen Ingenieurs und Forschers zunutze, um das 1895 fertiggestellte und mit

78,3 MW damals leistungsfähigste Niagara-Kraftwerk mit Wechselstromgeneratoren auszustatten. Von 1918 bis 1924 war VON MILLER Projektleiter des Walchenseekraftwerks, das zur damaligen Zeit mit einer Leistung von 124 MW größten Wasserkraftwerks der Welt (siehe »Ingenieure als Unternehmer«, S. 119). VON MILLERS Technikbegeisterung veranlasste ihn, sein Netzwerk zu nutzen und mit dem Deutschen Museum in München einen Leuchtturm des Technikwissens zu erschaffen. Ebenso war er beim Bau einer Betonkuppel für das Zeiss-Planetarium in Jena der Ausgangspunkt eines späteren Netzwerks aus Bauingenieuren wie WALTHER BAUERSFELD, ULRICH FINSTERWALDER und FRANZ DISCHINGER (siehe »Zur Entwicklung der Zeiss-Dywidag-Schalenbauweise«, S. 44).

Ohne Zweifel: Die Netzwerke des Wissens unter Bauingenieuren sind Voraussetzung für optimale Lösungen beim Planen und Bauen. Sie tragen durch Erfahrungsaustausch zu einer ständigen Verbesserung der technischen Möglichkeiten bei und erhöhen deren Potenzial. Mit ihren individuellen Fähigkeiten und ihren besonderen Lebenszielen tragen die Protagonisten des Bauens dazu bei, Meisterwerke zu schaffen, die über ihre Zeit hinaus wirken. Vor allem seit den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden stetig dichtere und effektivere Netzwerke – nicht nur des Ingenieurwissens. Die Entwicklung neuer und immer schneller werdender Kommunikationsmöglichkeiten, die Digitalisierung und spezialisierte, auch über neue Medien verbreitete Publikationen sowie die Zusammenführung des Wissens in projektbezogenen Arbeitsgemeinschaften haben den Weg zu dem heute weitgehend globalisierten Netzwerk geebnet, das wir täglich wie selbstverständlich nutzen.



Pionierinnen der modernen Großbaustellen – wie sie wurden, wer sie sind

Margot Fuchs

Bauingenieurinnen sind selten – und mutig. Obwohl sie heute von der Industrie und den Universitäten umworben werden, arbeiten immer noch viel weniger Frauen als Männer am Bau. Weibliche Vorbilder sind nur nach mühsamer Suche zu finden. Doch es gibt sie, die Pionierinnen der Großbaustellen der Moderne.

Wer sich mit der Geschichte des Ingenieurberufs beschäftigt und nach den Frauen darin sucht, stellt schnell fest, dass es diesen nicht ohne Weiteres gelang, als Bauingenieurin im Beruf Fuß zu fassen. Die USA gewährten Frauen seit den 1840er-Jahren allgemein den Zugang zum Studium an eigenen Frauen- und einigen staatlichen Colleges. Britische Universitäten ließen sie in Oxford 1919, in Cambridge erst 1948 zu. Princeton und Harvard sowie die französischen Grands Écoles weigerten sich dagegen bis in die 1970er-Jahre, Frauen eine technische akademische Bildung zu ermög-

lichen. In Westeuropa wurden sie seit 1871 vereinzelt aufgenommen, während an der ETH Zürich bereits 1877 eine erste Frau ihr Studium abschloss. Hier waren Frauen seit 1855 zum Studium zugelassen – aber erst 1918 diplomierte eine erste Bauingenieurin, Elsa Diamant aus Ungarn.

Im deutschen Kaiserreich öffneten die Technischen Hochschulen ihre Pforten für Frauen zwischen 1905 (Bayern)¹ und 1908 (Preußen), in Österreich erst 1919 – und nur unter der Maßgabe, dass die Kommilitonen nicht gestört würden. Lediglich wenige Beherzte immatrikulierten sich. Es gab offene und versteckte Diskriminierung, die die Studentinnen je nach Konstitution erduldeten oder selbstbewusst ignorierten. Mutig waren sie allemal, die Bauingenieurinnen der Industrialisierung, die einen Zugang zur Technik fanden und diese nutzten, sowie diejenigen der frühen Moderne, die sie darüber hinaus zu ihrem Beruf machten.



¹ Als »Hörerinnen« wurden Frauen an der heutigen Technischen Hochschule München ab 1899 angenommen, bevor sie sich ab 1905 immatrikulieren durften.

² Madge Dresser: Sarah Guppy. In: Oxford Dictionary of National Biography, Oxford 2016. Online: www.oxforddnb.com/index/109/101109112/

³ Unbekannter Verfasser im Bristol Mercury, 14. Dezember 1939. Siehe dazu auch: www.cliftonbridge.org.uk/did-sarah-guppy-design-clifton-suspension-bridge (abgerufen am 30.06.2017)

⁴ Richard G.Weingardt: Emily Warren Roebling. In: Engineering Legends. Great American Civil Engineers. 32 Profiles of Inspiration and Achievement. Reston, VA 2005, S. 55ff.

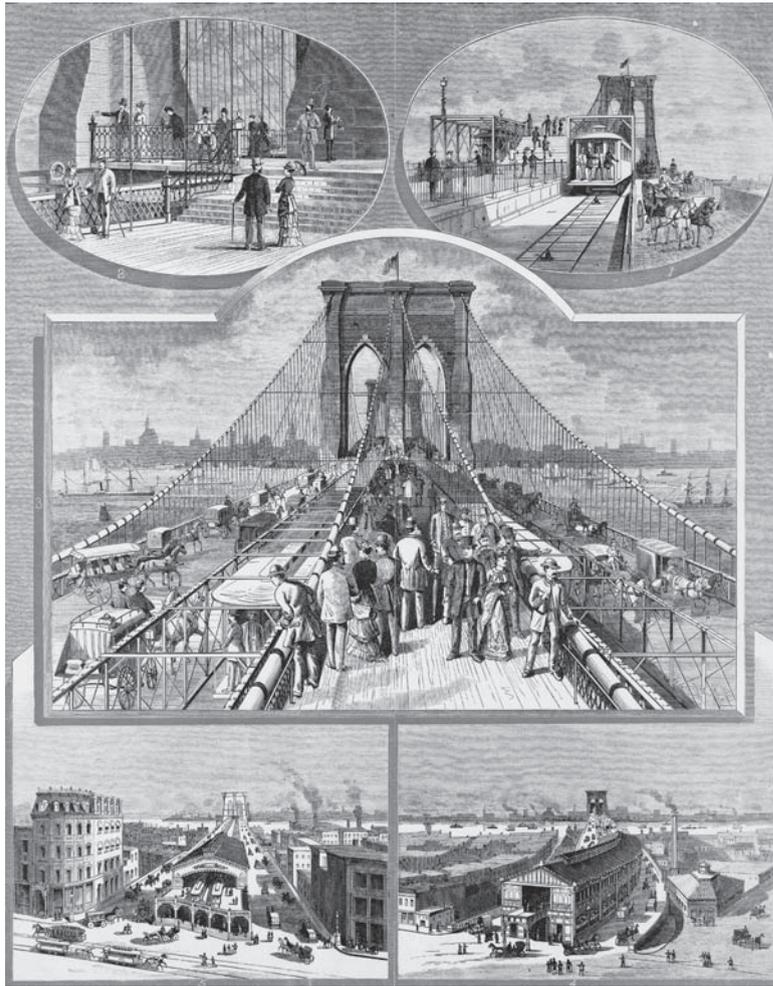
⁵ ebd., S. 58

Links Patente von Sarah und Samuel Guppy in Bennet Woodcrofts »Alphabetical index of patentees of inventions«

Oben Emily Warren Roebling, Fotografie zwischen 1860 und 1880

Rechts Brooklyn Bridge, Dokumentation des Eröffnungstags am 24. Mai 1883

| [Gee] ALPHABETICAL INDEX OF PATENTEES OF INVENTIONS. [Gey] | | | | | [Gey] ALPHABETICAL INDEX OF PATENTEES OF INVENTIONS. [Gwy] | | | | |
|--|--------|-----------------|---|--|--|--------|-----------------|--|--|
| Patentee | Patent | Date | Subject-matter of Patent. | | Patentee | Patent | Date | Subject-matter of Patent. | |
| GEESE, JAMES JR. | 4039 | 2nd Dec. 1839 | Laces and other bindings. | | GEY, SARAH | 3885 | 4th March 1811 | Knitting and mending bridges and web-threads without ends or stoppings, whether by the means of being worked singly by hand or power. | |
| GEESE, JOSEPH MASON | 3336 | 30th July 1836 | Mills for treating flax for various purposes. | | GEY, SARAH | 3948 | 14th March 1812 | Ties and roller cases. | |
| GEESE, JONAS JAMES | 4079 | 12d Jan. 1840 | Substituting various and other suitable materials for "Flax". | | GEY, SARAH | 4100 | 27th Oct. 1813 | Applying and arranging various articles, parts or pieces of various kinds, whether by hand or power, especially adapted to bookbinds and booklets, also other articles and books as applied. | |
| GEESE, JOSEPH MASON | 4038 | 30th May 1839 | Process for making articles for drawing and painting, consisting of various articles and colors. | | GEY, THOMAS RICHARD | 4098 | 4th Nov. 1814 | Mending vessels. | |
| GEESE, THOMAS RICHARD | 4038 | 3rd June 1839 | Process for making articles for drawing and painting, consisting of various articles and colors. | | GEY, THOMAS RICHARD | 4099 | 16th March 1815 | Apparatus for granulating sugar. | |
| GELSTON, JAMES | 4100 | 17th Nov. 1815 | Making paper from certain substances, and other articles. | | GEY, THOMAS RICHARD | 4079 | 15th June 1815 | Building masts and other vessels. | |
| GELSTON, BENJAMIN ANDREW (DROVE) | 11,086 | 17th Feb. 1845 | Printing on leather and other skins. | | GEY, ANNA FRANCES | 15,390 | 19th Oct. 1850 | Forming silver from argentineous materials. | |
| GELSTON, BENJAMIN ANDREW (DROVE) | 30,388 | 17th Oct. 1844 | Printing on leather and other skins. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4090 | 11th Jan. 1815 | Paper adapted to be used in the case of which a perforation can be made or given in the order and arranged in various ways as shown. | |
| GELSTON, BENJAMIN ANDREW (DROVE) | 4079 | 17th Feb. 1845 | Book applicable to the texture of linen or woollen for weaving, plain or figured fabric. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4070 | 14th May 1815 | Apparatus for producing, arranging on certain parts of an railway. | |
| GELSTON, VICTOR DEAN (DROVE) | 18,844 | 19th March 1851 | Process for treating, or manufacturing flax, or any other article of flax. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4071 | 24th Oct. 1815 | Apparatus for raising and grinding meat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 4045 | 24th Aug. 1842 | Construction of railways. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4004 | 13th Oct. 1817 | Looms and organs and the apparatus connected therewith. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 17th June 1851 | Machine for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4006 | 28th Oct. 1817 | Machinery for printing. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 17th June 1851 | Machine for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4007 | 24th Aug. 1817 | Apparatus for producing and distributing light. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 1st April 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4008 | 15th Aug. 1817 | Apparatus for producing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4009 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4010 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4011 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4012 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4013 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4014 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4015 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4016 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4017 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4018 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4019 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4020 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4021 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4022 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4023 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4024 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4025 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4026 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4027 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4028 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4029 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4030 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4031 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4032 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4033 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4034 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4035 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4036 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4037 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4038 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4039 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4040 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4041 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4042 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4043 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4044 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4045 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4046 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4047 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4048 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4049 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4050 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4051 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4052 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4053 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4054 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4055 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4056 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4057 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4058 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4059 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4060 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4061 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4062 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4063 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4064 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | Machinery for cutting, or other suitable means, and for raising or fitting upon in any height, also for working, or raising, or other ends, and for other purposes. | | GEY, GOLDSWORTHY | 4065 | 15th Aug. 1817 | Machinery for printing, regulating, and disposing light and heat. | |
| GELSTON, CHARLES FRANCES (DROVE) | 19,644 | 6th July 1850 | M | | | | | | |



Hands-on und on site – die Macherinnen und ihr Selbststudium

Im England und den USA des frühen 19. Jahrhunderts gab es wohlhabende Unternehmerfamilien, in denen Frauen eine starke Stellung hatten, ohne auf eine Rolle als Hausfrau und Mutter reduziert zu sein, wie es später das bürgerliche Modell vorsah. In einem solchen Umfeld bewegte sich SARAH GUPPY, deren Eltern Metallhandwerker und Zuckerhändler waren. 1795 heiratete sie Samuel Guppy aus Bristol, einen Metallgießer, Hersteller von Landmaschinen und Kaufmann.² Ihr technisches Wissen eignete sie sich in der Praxis im informellen Erziehungssystem des Familienunternehmens an. Sie entwickelte zeichnerische Fähigkeiten, baute ein Hängebrückenmodell und hielt ihr technisches Wissen schriftlich fest. So werden ihr zehn Patente zugeschrieben – vom Schutz von Eisenbahndämmen gegen Erosion und Böschungsrutsche durch das Pflanzen von Pappeln und Weiden (1811) bis zu einer Methode zur Abdichtung von Schiffsrümpfen (1844). Versiert wie sie war, schaffte sie es bei einer Ver-

handlung mit der Admiralität ein Patent auf ein Antifouling-Mittel ins Gespräch zu bringen und damit dem Familienunternehmen einen großen Auftrag zu sichern. Die GUPPYS verkehrten mit ISAMBARD K. BRUNEL und THOMAS A. TELFORD, den angesehensten Ingenieuren der Zeit, ihr Sohn THOMAS GUPPY war BRUNELS Assistent. Die Presse dagegen raunte, TELFORD und BRUNEL benutzten Sarahs Ideen, und sie sei als Urheberin übergangen worden.³ Aber nicht nur als Erfinderin machte SARAH GUPPY sich einen Namen. Als Geschäftsfrau investierte sie in Hängebrückenprojekte, war Miteigentümerin einer Eisenbahngesellschaft und beteiligte sich an der Finanzierung des Bristol Institute for the Advancement of Science. Als Autorin und Reformerin griff sie nicht nur in bautechnische Diskurse ein, sondern machte auch auf gesellschaftliche Probleme aus ihrer nächsten Umgebung öffentlich aufmerksam und setzte sich für Veränderungen ein.

In einem ähnlichen Umfeld bewegte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in den USA EMILY WARREN ROEBLING.⁴ 1865 heiratete sie WASHINGTON A. ROEBLING, den ältesten Sohn des aus Deutschland emigrierten Kabelherstellers, Architekten und Brückenbauers JOHN A. ROEBLING. Als Konstrukteur plante WASHINGTON gemeinsam mit seinem Vater den Bau einer Hängebrücke über den East River in New York. Nach dem Tod des Vaters übernahm der Sohn 1869 den Bau der späteren Brooklyn Bridge. Als auch er durch Erkrankung dauerhaft ausfiel, hielt EMILY den Baubetrieb am Laufen – denn für das Familienunternehmen stand mit diesem Projekt viel auf dem Spiel. Sie eignete sich im Selbststudium Spezialkenntnisse in Mathematik, Festigkeitslehre, Durchhängen von Ketten und für Kabel- und Brückenkonstruktion an. Bei täglichen Inspektionen auf der Baustelle lernte sie die Sprache der Ingenieure, erledigte technische Korrespondenz, verhandelte mit Subunternehmern, Materiallieferanten, Behörden und öffentlichen Auftraggebern – im Austausch mit und im Sinne ihres Mannes. Von 1872 bis zur Eröffnung der Brücke 1883 war EMILY ROEBLING »das Gesicht« des Bauunternehmers ROEBLING in der Öffentlichkeit.⁵ Nach Beendigung des Brückenbaus studierte ROEBLING in New York Mathematik und Jura, letzteres mit einem Abschluss im Jahr 1899.

Die Bauingenieurinnen der Moderne: Elitestudium und Praxis

Die Ingenieurselite, die sich in industrialisierten Gesellschaften bis zum frühen 20. Jahrhundert herausbildete, hielt für die Ausübung ihres Be-

Ästhetik der Ingenieurkonstruktionen

Nina Rappaport

Das Bauingenieurwesen verbindet scheinbare Gegensätze – Kunst und Wissenschaft, Intuition und Empirie –, wird aber oft in seinen kreativen Möglichkeiten unterschätzt. Kreativität im Ingenieurwesen geht über ein normales Maß an intuitiver Interpretation von Grundprinzipien der Physik oder Geometrie und von Baurichtlinien hinaus und kann zu neuen Techniken führen, die nicht Standard sind. Ein Bauwerk wird meist nur in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Produktivität betrachtet, beinhaltet aber auch ästhetische Faktoren. Die Zusammenführung beider Aspekte ist entscheidend, wie der spanische Ingenieur EDUARDO TORROJA bemerkt: »Die Funktionalität sowie die gestalterischen und konstruktiven Anforderungen müssen schon zu Projektbeginn gemeinsam betrachtet werden. Der Gestalter sollte dem Projekt nicht erst im letzten Moment sein Erscheinungsbild geben, und die Aufgabe der Statiker sollte sich nicht allein auf die Standfestigkeit des Bauwerks beschränken. Beide Bereiche sollten sich ganzheitlich miteinander verbinden.«¹ Im Idealfall ist die Ingenieurbaukunst ein vielschichtiges Zusammenspiel, das OVE ARUP als »total design« oder »total architecture« bezeichnete, worin Gebäudegestaltung, Tragwerk und Bauweise sich zu einem stimmigen, ineinandergreifenden Prozess und Projekt fügen.

In der Ingenieurskultur hat sich das Verständnis für den Einfluss des Tragwerks auf die Form- und Raumbildung verändert, ebenso seine Beziehung zur Ästhetik und seine Auswirkungen auf pragmatische und theoretische Belange. Tragwerke werden oft poetisch als Ergebnis der Ingenieursleistung präsentiert, da sie das kreative mit dem technischen Denken verbinden und aus beidem entstehen. Um Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Eleganz hervorzuheben, beschreibt FELIX CANDELA »Gestaltung und Tragwerksentwurf

[als einen] intellektuellen Prozess mit synthetischem Charakter, worin sich Vorstellungskraft, Intuition und Erleben wiederfinden sollen und eine gewisse Freiheit der kreativen Mittel. Kurz gesagt, es gelten die gleichen Regeln wie für das künstlerische Schaffen. Für manch einen ist das schwierig, da solche Gesetze in kein Kapitel der Bauordnung passen.«²

Bauingenieure haben jedoch im Laufe der Geschichte nicht immer die verdiente Anerkennung als Gestalter und Problemlöser erhalten. Was bedeutet Ingenieuren die Gestaltung, wo liegen die Schwerpunkte ihrer Innovationen, und wie sieht der kreative Prozess der Problemlösung aus? Was erscheint vor ihrem geistigen Auge, wenn sie entwerfen, was wollen sie sichtbar machen?³ Wie beeinflussen sie das Design nicht nur technischer Elemente, sondern auch formaler Aspekte der Architektur?

¹ Eduardo Torroja: *Philosophy of Structures*. Berkeley 1958

² Felix Candela. *Toward a New Philosophy of Structure*. Student Publication of the School of Design, North Carolina State College, 5, No 3, 1956.

³ siehe Eugene S. Ferguson: *Engineering in the Mind's Eye*. Cambridge, MA 1992

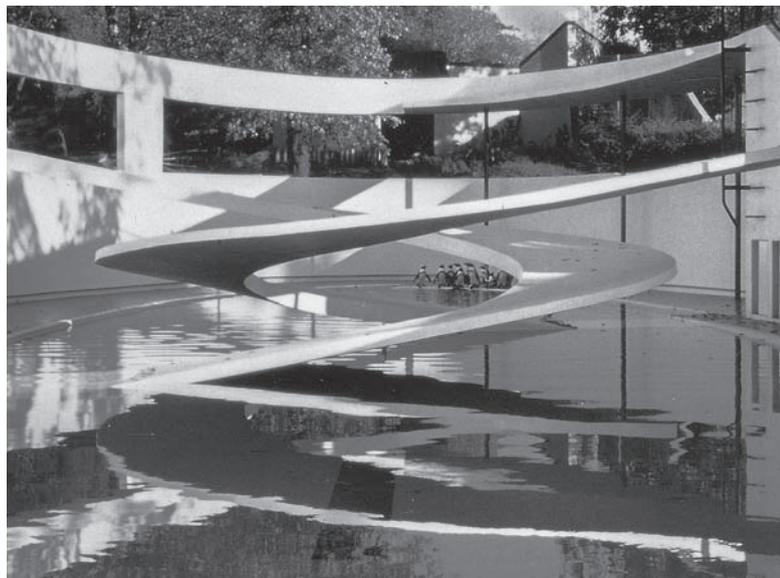
⁴ Sylvie Deswart, Bertrand Lemoine: *L'Architecture et les Ingenieurs*. Paris 1979

Unten The Penguin Pool im London Zoo (GB) 1935, Ove Arup

Rechts oben Boots Pure Drug Company, Beeston (GB) 1933, E. Owen Williams

Rechts Mitte Raleigh Arena, North Carolina (USA) 1953, Matthew Nowicki/Fred Severud

Rechts unten Spiralförmige Rampe im Inneren der Fiat-Werk Lingotto, Turin (I) 1926, Giacomo Mattè-Trucco





Einfallsreichtum

Interessant ist die einfache Analyse der Wortherkunft. Entgegen dem »engineer« im Englischen hat der »Ingenieur« im Deutschen oder Französischen dieselben Wurzeln wie das Wort »ingenious«, das Begriffe wie einfallsreich und kreativ beinhaltet. Die Arbeit des Ingenieurs ist eng mit kreativem Designdenken verknüpft, da es Probleme unterschiedlichster Wissensbereiche zu lösen gilt. Trotzdem wird das Ingenieurwesen meist eher im Bereich des Mathematischen und Empirischen gesehen und nicht als ästhetisch und intuitiv. Aber die Arbeit des Ingenieurs besteht nicht allein aus mathematischen Gleichungen, sie ist konzeptionell, getragen vom Formalen und Rationalen. Umgekehrt ist es keine Wissenschaft, denn es ist subjektiv; zwei Ingenieure werden unterschiedliche Lösungen für dasselbe Problem finden. Man kann jedoch die statische Umsetzbarkeit beider Ansätze untersuchen, damit wird es zur Wissenschaft. Manche Ingenieure arbeiten grundsätzlich mit bewährten Systemen, die als Baunormen bekannt und an genaue Vorgaben gebunden sind, andere folgen einfachen Faustregeln. Wieder andere nehmen diese Regeln als Ausgangspunkt und kombinieren in ihrer Bearbeitung von der Idee zur Durchführung Analyse mit Intuition. Kreativität kommt dann ins Spiel, wenn der Umgang mit der Baustruktur über die Norm hinausgeht.

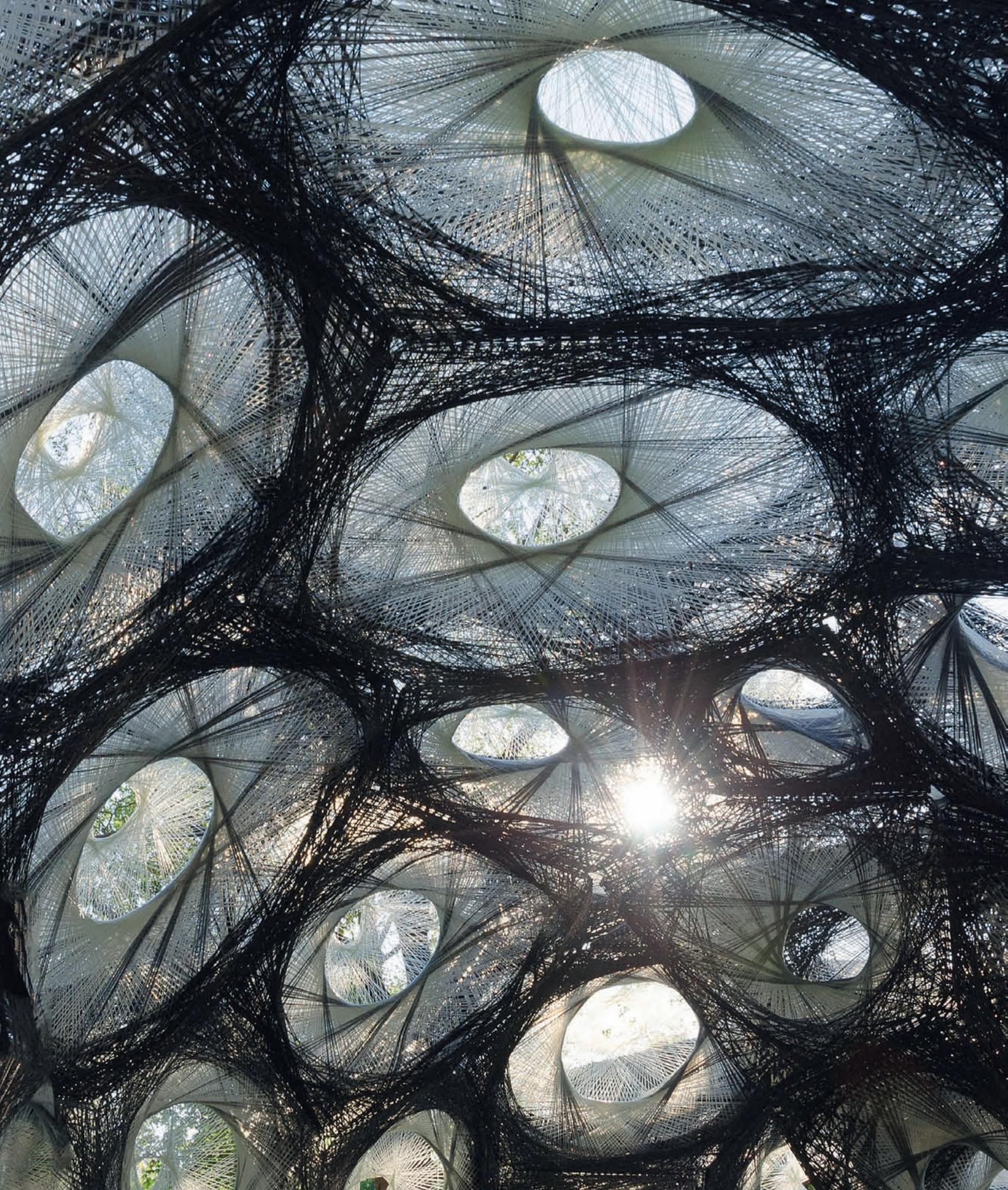
Historischer Kontext

Es gab entscheidende Momente der Veränderung in der Geschichte des Ingenieurwesens, sei es aufgrund neuer Materialien, neuer Technologien oder Erfindergeist. Besonders im Europa des späten 19. Jahrhunderts unterschied sich das Ingenieurwesen sowohl

akademisch als auch kulturell von der Architektur. Am Ende des 19. Jahrhunderts waren die architektonischen Projekte und Prototypen von Ingenieuren oft die innovativeren. Sie experimentierten mit neuen Techniken und Materialien wie Eisen, Stahl und Glas.⁴ Diese Entwicklung zeigte sich in der Einführung professioneller Kurse in den Architekturschulen, aber auch in der Arbeit französischer und britischer Ingenieure wie THOMAS PRITCHARD, der mit der Iron Bridge (1779) bei Coalbrookdale in England die erste Eisenbrücke entwarf, oder in den vorgefertigten Stahlbrücken und dem Eiffelturm (1889) von GUSTAVE EIFFEL. Glas- und Stahlbearbeitung wurden zur Manifestation einer neuen industriellen und technologiebasierten Kultur, sichtbar besonders in den Arbeiten von Sir Joseph Paxton, der von der riesigen Seerose Victoria amazonica inspiriert Stahlträgerkonstruktionen für das Gewächshaus in Chatsworth (1856) und den Crystal Palace (1851) in London entwickelte. Er prägte damit eine neue Ästhetik seiner Epoche.

In der frühen Moderne erforschten Ingenieure neue Stahlbeton-Systeme, um größere Spannweiten und parabolische Schalenstrukturen entwickeln zu können. Beispiele sind Bauten von FRANÇOIS HENNEBIQUE und EUGÈNE FREYSINET oder des Schweizer Ingenieurs ROBERT MAILLART mit seinen eleganten Betonbrückenkonstruktionen. Versuche mit Beton waren außerdem entscheidend für große Spannweiten bei Industriebauten wie bei den Gebäuden des britischen Ingenieurs OWEN WILLIAMS. GIACOMO MATTE-TRUCCO war beeindruckt von den Entwürfen amerikanischer Ingenieure und experimentierte bei seiner Autoteststrecke auf dem Dach der Fiat-Fabrik in Lingotto (1926) mit

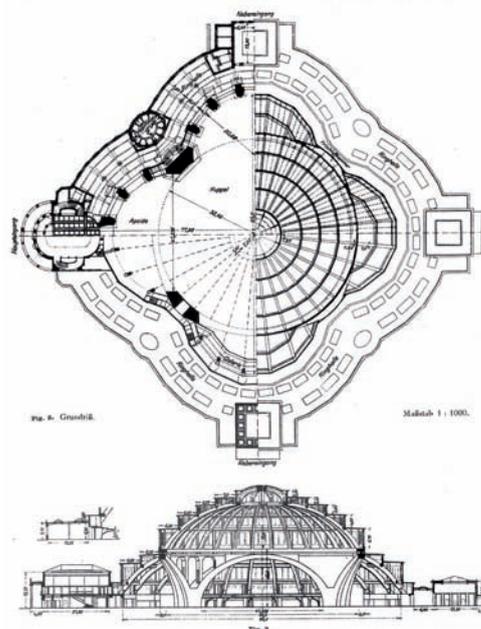




Räume schaffen: Verbindung von Ästhetik und Struktur

Das Bedürfnis nach Schutz und Sicherheit ist seit jeher der Impuls für das Schaffen von Räumen. Vom privaten Haus zu öffentlichen Räumen spiegeln sich dabei die kulturellen und sozialen Ansprüche der unterschiedlichen Gesellschaften wider. Zugleich sind sie oft auch eine Demonstration dessen, was technisch möglich ist. Waren es vor rund 200 Jahren besonders Ausstellungshallen, Veranstaltungsorte, später Flugzeughangars und die großen Spannweiten der Bahnhöfe und Markthallen, so sind es heutzutage gerade auch kleinere Projekte, die durch experimentelle Herangehensweisen zu neuen geometrischen Formen und innovativem Materialeinsatz führen. Die Entwicklung unterschiedlicher Tragwerke und Konstruktionsformen hängt dabei oft mit der Verwendung neu entwickelter Materialien

zusammen. Von Zelten und Hütten her kommend bestimmten Kuppeln und Gewölbe lange die Bautechnik, bis mit der Industrialisierung und dem neuen Material Eisen Fachwerk- und Skelettkonstruktionen einen neuen Bautypus bildeten und das Zeitalter der Vorfertigung einläuteten. Waren diese Tragwerke vor allem geometrisch definiert, so folgen nun entsprechend gestaltete Konstruktionen wie Schalen (später auch Netz- und Gitterschalen), Falwerke sowie zugbeanspruchte Konstruktionen dem Kräftefluss (siehe »Weit und leicht«, S. 64).¹ Die Formfindung dabei geschah, und geschieht auch heute noch, auf unterschiedliche Art und Weise: über Modelle, Simulationen, Experimente, auf analytischem und mathematischem Wege oder durch Inspiration von Systemen und Strukturen aus der Pflanzen- und Tierwelt.



¹ Rainer Barthel unterscheidet in drei Kategorien: geometrisch definierte Konstruktionen (orthogonale Strukturen), aus statischen Gesetzmäßigkeiten generierte Konstruktionen und »frei gestaltete« Formen. Siehe dazu Rainer Barthel: Form der Konstruktion – Konstruktion der Form. In: Exemplarisch. Konstruktion und Raum in der Architektur des 20. Jahrhunderts. München 2002, S. 15–26

Linke Seite ICD/ITKE Forschungspavillon 2013/14, Stuttgart (D) Jan Knippers, Achim Menges

Links Jahrhunderthalle Breslau (PL) 1913, Günther Trauer, Willi Gehler, Architekt: Max Berg

leihen und im Innenraum sichtbar bleiben. Hier kommt der robotischen Fertigung eine Schlüsselrolle zu, da sie im Vergleich zu üblichen computergesteuerten Fertigungsmethoden einen wesentlich höheren Freiheitsgrad bietet. Aufgrund der durchgehend digitalen Planung und Vorfertigung konnte das gesamte Gebäude in lediglich vier Wochen gefertigt und errichtet werden.

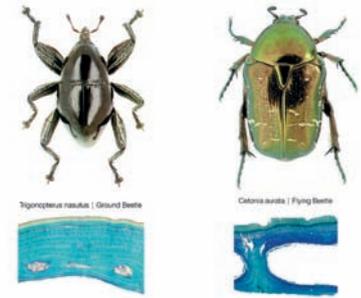
Materialinnovationen im Bauwesen: Faserverbundwerkstoffe

Eine genauere Analyse biologischer Strukturen zeigt, dass diese meist nicht isotrop sind, sondern aus Fasern wie Cellulose bei Pflanzen, Chitin bei Insektenpanzern, Kollagen bei Knochen oder Spinnenseide bestehen. Durch die Kombination verschiedener Verlaufsrichtungen und Packungsdichten lassen sich sehr fein abgestimmte Struktureigenschaften erzielen. Außerdem ermöglichen Faserverbünde eine Vielzahl weiterer Funktionen: Sie transportieren Nährstoffe, katalysieren chemische Reaktionen, erkennen Signalstoffe und wirken als passive Aktuatoren (z.B. Öffnung und Verschluss von Kiefernzapfen bei Austrocknung bzw. Befeuchtung durch Faserlagen in verschiedene Richtungen).

Viele moderne Hochleistungswerkstoffe beruhen auf dem Prinzip der anisotropen Faserverstärkung, nutzen aber deren Möglichkeiten

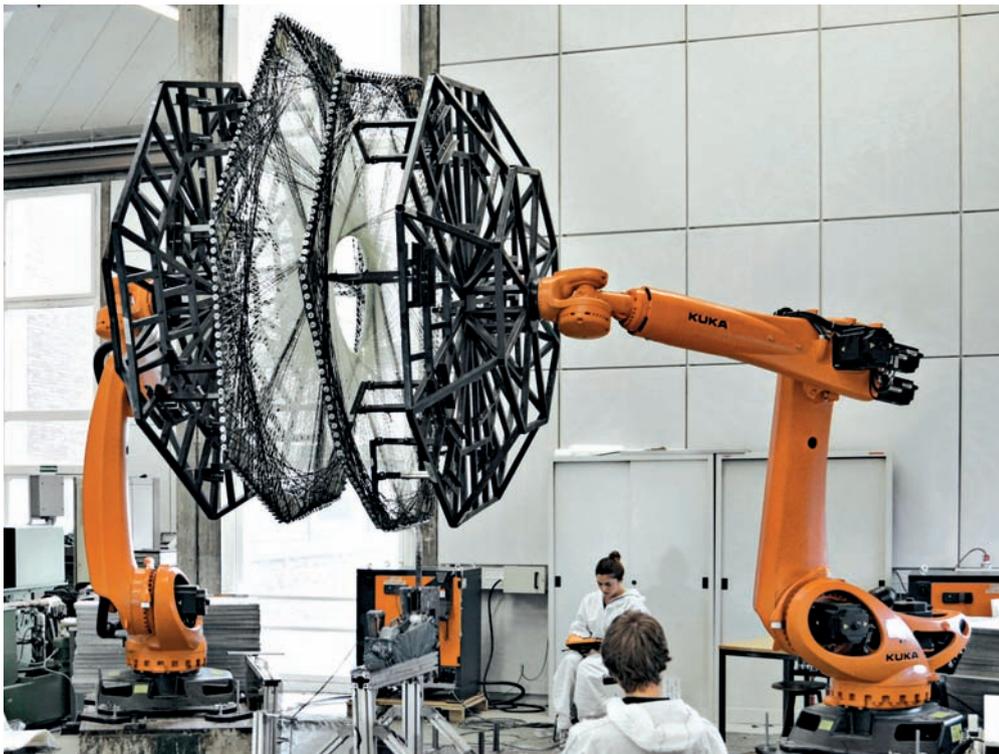
der strukturellen und funktionalen Ausdifferenzierung im Vergleich zu natürlichen Konstruktionen nur sehr bedingt. In der Regel werden Matten mit orthogonal angeordneten Verstärkungsfasern aus Glas oder Kohlenstoff in eine Form gelegt und mit Polyester- oder Epoxidharz imprägniert. Solche Faserverbundwerkstoffe kommen heute in allen Bereichen der Technik zum Einsatz, in denen Form oder Gewicht eine besondere Rolle spielen, z.B. bei Windenergieanlagen, in der Luft- und Raumfahrt, bei Segelbooten und zunehmend auch im Automobilbau.

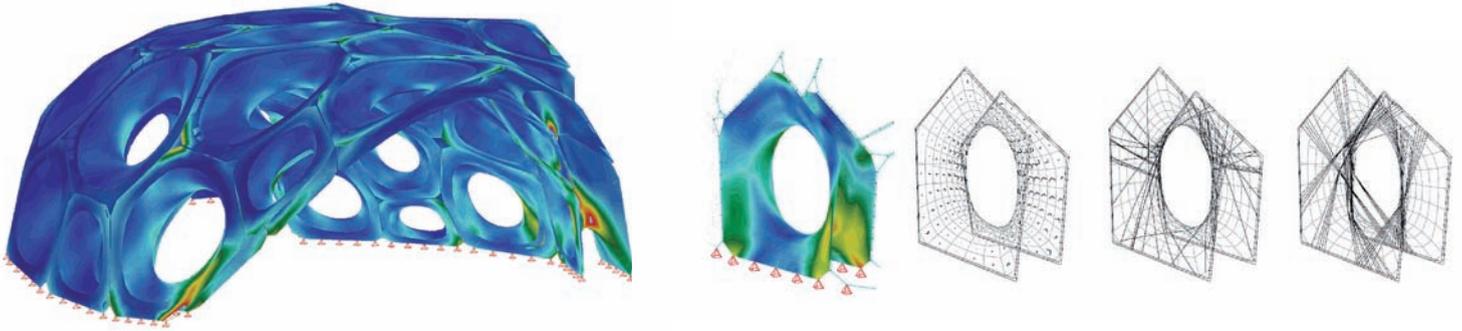
Nur im Bauwesen sind sie immer noch auf absolute Nischen beschränkt, obwohl sie auch dort alles andere als neu sind. Bereits 1957 erfolgte mit dem Monsanto House in Kalifornien der Bau eines ersten Musterhauses aus vorgefertigten Sandwichelementen mit einem Kern aus PUR-Schaum und Deckschichten aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Trotz enormem öffentlichen Interesse und einer Reihe von Folgeprojekten war diesem »Haus der Zukunft« kein Erfolg beschieden. Mitte der 1970er-Jahre ging das Experimentieren mit Kunststoffbauten genauso schnell zu Ende, wie es begonnen hatte. Fehlende Erfahrung bei der Planung sowie Mängel in der Ausführung verursachten baukonstruktive Schäden, die den faserverstärkten Kunststoffen einen Ruf als minderwertige Materialien einbrachten. Hauptgrund dürfte aber sein, dass eine



Oben Vergleich der Deckflügel (Elytren) von nicht flugfähigen (links) und flugfähigen Käfern (rechts)

Unten Auf zwei steuerungstechnisch gekoppelten Robotern sind Rahmen montiert, die jeweils individuell an unterschiedliche Modulabmessungen anpassbar sind. Die Faserspule ist stationär zwischen den beiden Robotern positioniert. Zunächst zieht man die kostengünstigen Glasfasern durch ein Epoxidharzbad und wickelt sie zu hyperbolischen Körpern. Auf diese werden die hochfesten Kohlestofffasern den Hauptlastpfaden folgend ebenfalls nass abgelegt. Sobald das Harz ausgehärtet ist, können die Elemente von den Rahmen abgenommen werden.





⁷ Jan Knippers u.a.: Atlas Kunststoffe und Membranen. München 2010, S. 12ff.

⁸ Stefana Parascho u.a.: Modular Fibrous Morphologies. Computational Design, Simulation and Fabrication of Differentiated Fibre Composite Building Components. In: Philippe Block u.a. (Hrsg.): Advances in Architectural Geometry 2014. Zürich 2015, S. 29–46

Oben und unten ICD/ITKE Forschungspavillon 2013/14. Finite Element Analyse des Spannungsverlaufs und Übertragung in eine kraftfluss- und fertigungsgerechte Anordnung der Karbonfaserverstärkung (**unten**)

sich zunehmend individualisierende Gesellschaft die Idee einer seriell vorgefertigten Wohnzelle immer weniger attraktiv fand.⁷

Was heute nach wie vor fehlt, sind Ansätze für die Konstruktion und Fertigung von Faserverbundwerkstoffen, die an die spezifischen Anforderungen des Bauwesens angepasst sind. Im Gegensatz zum Flugzeug- oder Automobilbau geht es bisher meist um die Fertigung großformatiger Unikate, auf deren Geometrie man individuell eingeht. Hierfür ist der übliche Formenbau mit Polyurethanschäumen nicht nur sehr aufwendig, sondern verursacht auch große Mengen an Reststoffen. Außerdem spielen beim Bauen Kriterien wie Robustheit während Herstellung und Nutzung eine große Rolle, wohingegen andere Aspekte, wie z.B. höchste Anforderungen an

die Fertigungstoleranzen oder mechanische Leistungsfähigkeit, eher nachrangig sind.

Im Rahmen des ICD/ITKE Forschungspavillons 2013/14 wurde speziell für Anwendungen in der Architektur ein Verfahren entwickelt, das den Aufwand für den Formenbau auf ein Minimum reduziert. Beim sogenannten kernlosen Wickeln legen Roboter in Harz getränkte Fasern auf einem rotierenden Stahlgerüst ab.⁸ Der Rahmen wird anschließend entfernt – es entsteht eine steife und tragfähige Faserstruktur ohne Metallteile (mit Ausnahme der Schrauben und Schraubhülsen).

Als natürlicher Ideengeber dienten hier die Deckflügel von Käfern (Elytren), die die eigentlichen Flügel gegen mechanische Beschädigung schützen. Sie bestehen aus zwei Schichten, die mit einer speziellen Führung der





wurfsvariablen. Für eine Formfindungsaufgabe sind diese Variablen in der Regel die räumlichen Koordinaten der Kontrollknoten des Entwurfsmodells wie z.B. FEM-Knoten oder die Positionen der NURBS-Kontrollpunkte bei der IGA. Als Zielfunktionen und Randbedingungen eignen sich alle Ergebnisgrößen einer Strukturanalyse, wie z.B. Verschiebungen, Spannungen oder Eigenfrequenzen etc. Ist als Optimierungsziel die Minimierung der Formänderungsenergie vorgegeben, werden im Verlauf des Optimierungsprozesses bei vordefinierter Masse des Tragwerks die ineffizienten Biegezustände zugunsten der Lastabtragung über Membranspannungszustände abgebaut und eine Tragwerksgeometrie maximaler Steifigkeit und minimaler Biegung, vergleichbar einem Hängemodell, gefunden.¹⁴ Der Formfindungsprozess für elastische (vorbeanspruchte) Gitterschalen unterscheidet

sich im Vergleich zu der traditionellen Formfindung von Schalen- oder Membranflächen durch die Vorgabe einer Zielgeometrie. Diese lässt sich geometrisch definieren oder über ein Hängemodell durch ein Kräftegleichgewicht ermitteln. Die final entstehende Form der elastischen Gitterschale stellt in Abhängigkeit der Biege- und Dehnsteifigkeit der Stäbe und der Gittertopologie eine Annäherung an diese »ideale« Geometrie dar.¹⁵

Ein neues numerische Werkzeug der Formoptimierung: IGA

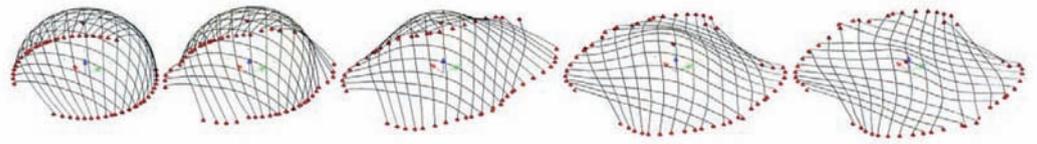
Die zeitversetzte Entwicklung der computer-gestützten Darstellung und der numerischen Strukturanalyse hat zur Entwicklung von unabhängigen und mathematisch unterschiedlichen Beschreibungen von geometrischen Objekten in beiden Bereichen geführt. Die

¹⁴ wie Anm. 4

¹⁵ Christoph Gengnagel, Gregory Quinn: Große Verformungen. Über das Entwerfen von vorbeanspruchten Gitterschalen. In: GAM 12. Structural Affairs. Potenziale und Perspektiven der Zusammenarbeit in Planung, Entwurf und Konstruktion. Basel 2016, S. 169–189

¹⁶ Michael Breitenberger u.a.: Analysis in Computer Aided Design. Nonlinear Isogeometric B-Rep Analysis of Shell Structures. In: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 284, 2015, S. 401–457

¹⁷ Benedikt Philipp u.a.: Integrated Design and Analysis of Structural Membranes Using the Isogeometric B-Rep Analysis. In: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 303, 2016, S. 312–340



Links oben Hybrid Tower One, Blick in das innen liegende radiale Zugverstärkungssystem

Links Hybrid Tower One and Two; **ganz links** Tower-One-Prototyp eines 8 m hohen Turms aus Stäben aus aktiv gebogenem glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und einer gestrickten Membran in Kopenhagen (DK) 2015. Centre for Information Technology and Architecture (CITA) an der Royal Danish Academy of Fine Arts, Fachgebiet für Konstruktives Entwerfen und Tragwerksplanung (KET) an der Universität der Künste Berlin;

Mitte Tower-Two-Simulation der Formfindung des hybriden Systems und Analyse der Beanspruchungen unter Vorspannung und Windbelastung mithilfe der FEM. KET, 2016; **rechts** Tower-One-Prototyp eines 8,30 m hohen Turms aus Stäben aus aktiv gebogenem glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und einer gestrickten Membran in Guimaraes (P) 2016. CITA, KET, Universidade do Minho, AFF – A. Ferreira & Filhos

Oben Simulation des Aufrichtungs- bzw. des Formgebungsprozesses der Elastischen Gitterschale, KET

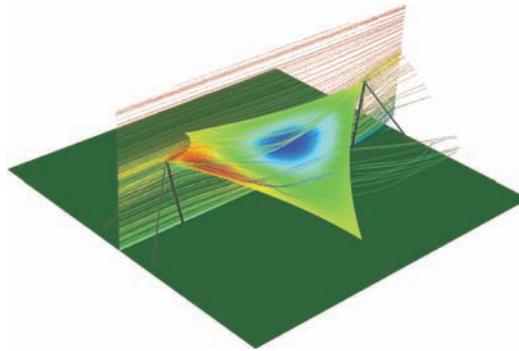
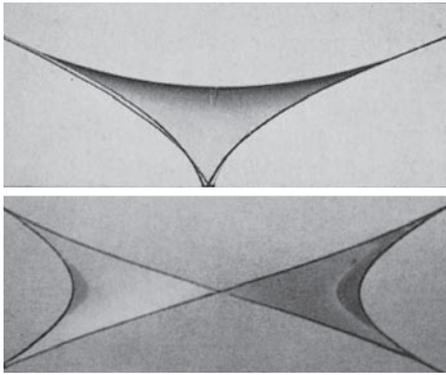
Unten Prototyp Elastische Gitterschale 10 m Spannweite, GFK Stäbe 20 mm Durchmesser und einer Wanddicke von 3 mm, Berlin (D) 2013, KET

im Allgemeinen für die computergestützte Analyse notwendige anderweitige Diskretisierung von Entwurfsgeometrien («Vernetzung») verursacht einen wesentlichen Aufwand im Analyseprozess und ist Ursache für eine starke Zeitverzögerung in der Interaktion zwischen geometrischen Entwurfsiterationen und der Bewertung ihrer physikalischen Leistungsfähigkeit. Eine typische mathematische Beschreibung von Freiformen in CAD-Systemen wird durch getrimmte, aneinandergefügte NURBS-Patches für die Flächen realisiert. Durch die Verwendung dieser NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) als gemeinsame Basis zur Geometriebeschreibung sowie zur Strukturberechnung lässt sich der geometrische Entwurfs- und Analyseprozess miteinander integrieren¹⁶ und ungewollte geometrische Unterschiede zwischen geometrischem Entwurfs- und numerischem Strukturanalysenmodell (z.B. durch Approximation infolge Diskretisierung mittels Polynomen niedriger Ordnung) können vermieden werden. Der entscheidende Vorteil des Verfahrens der Iso-geometrischen Analyse liegt – neben dem Entfallen der Geometrieumkonvertierung – in den Möglichkeiten zur Verfeinerung der Diskretisierung der Strukturgeometrie, ohne dabei geometrische oder mechanische Para-

meter zu ändern. Die höhere Genauigkeit der NURBS-Ansatzfunktionen führt zu besseren Konvergenzeigenschaften im Vergleich zu den Polynomen, die in der bisherigen Finiten-Element-Analyse Verwendung finden.¹⁷

Formfindungsprozesse sind Teil der Tragwerksgestaltung. Die klassischen Vorgehensweisen der Formfindung wie Hängemodelle und Seifenhautanalogien spielen dabei aufgrund ihrer gestalterischen Restriktionen nur noch eine geringe Rolle. Die vielfältigen Möglichkeiten des digitalen Experimentierens im Rahmen der Strukturoptimierung schaffen neue Gestaltungsoptionen der Formgenerierung unter Einbeziehung unterschiedlichster Parameter. Dabei ist es sowohl möglich, die mechanischen Eigenschaften einer Struktur in einem Modell der Kontinuumsmechanik vollständig abzubilden, als auch vereinfachte Modellierungsstrategien einzusetzen, die nur die wichtigsten Eigenschaften der Struktur berücksichtigen und sich z.B. über kinematische Zustände iterativ einer Lösung annähern. Damit wird der Formfindungsprozess zu einem sehr hochkomplexen Vorgang, geprägt durch frei gewählte Parameter und Gestaltungsentscheidungen.





unterschiedliche Implementierungen derselben Methode. Eine Untersuchung aktueller Softwareprodukte erbrachte dabei eine sehr erstaunliche Streuung¹². Für die Anwendung ist dies nicht beunruhigend, weil alle ermittelten Formen zwar unterschiedliche, aber zulässige resultierende Spannungszustände im Gleichgewicht aufweisen.

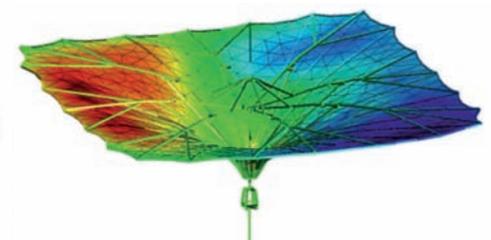
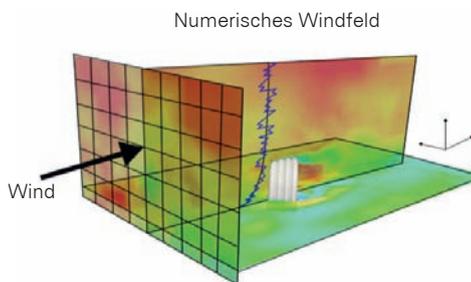
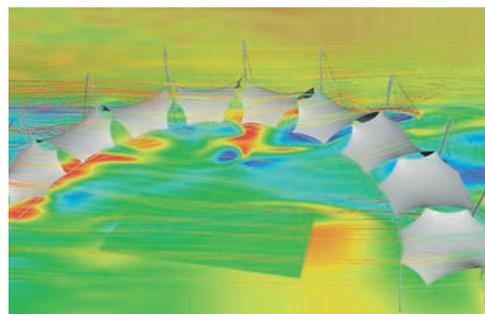
Methoden des Zuschnitts und spezielle Materialformulierungen sind nur in sehr spezieller Software oder als Dienstleistung verfügbar¹³. Die starke Streuung der Materialwerte setzt in der Praxis in der Regel viel Erfahrung bei der Kompensation voraus¹⁴. Neuere Zuschnittsmethoden ermöglichen qualitativ hochwertige Zuschnitte auch für stark gekrümmte Flächen sowie für stark dehnfähige Materialien wie z.B. Gestricke. Für die spezielle Anwendung beim Zuschnitt wurden Materialmodelle auf der Grundlage von Antwortflächenmethoden entwickelt, die sich mit standardisierten Messdaten für unterschiedlichste Materialien adaptieren lassen¹⁵.

Entwicklungen im Bereich der gekoppelten, multiphysikalischen Analysen, dem Computational Wind Engineering oder auch der adaptiven Tragwerke stellen hohe Anforderungen an Soft- und Hardware. Ebenso erfordern sie seitens der Anwender profunde Erfahrung und sehr vertiefte Kenntnisse über die physikalischen und methodischen Grundlagen. Die Anwendung kommerzieller Software ist daher nur in speziellen Installationen sinnvoll möglich¹⁶. Ziel des

numerischen Windkanals ist z.B. die Erfassung der Wechselwirkung der Verformungen leichter Flächentragwerke mit dem umströmenden Wind (sog. Fluid-Struktur-Interaktion – FSI)¹⁷. Da diese Bereiche generell ausgeprägte Synergieeffekte versprechen, sind sie derzeit ein sehr aktives und innovatives Feld der Grundlagenforschung¹⁸.

Für die Integration von CAD und FEM gibt es Ansätze mittels der Isogeometrischen Methode (Isogeometric Analysis – IGA¹⁹). Ebenso stehen praxisrelevante Erweiterungen für die Behandlung originaler CAD-Modelle zur Verfügung sowie spezielle Anwendungen für Schalen und Membrane bis hin zu Plug-Ins für einzelne Programme²⁰.

Die Geschichte und die Entwicklung der leichten Flächentragwerke ist ein ideales Beispiel dafür, wie sich innovative Bauweisen und Berechnungsmethoden gegenseitig inspirieren und wie sie eigene, fruchtbare Forschungsfelder mit bestem Zukunftspotenzial erschließen, die im Ergebnis weit über das ursprünglich anvisierte Ziel hinauswirken. So gibt es viele weitere Anwendungen in anderen konstruktiven Ingenieurfeldern wie beispielsweise hochfliegende Gasballone für die Wettererkundung, bei denen die spezielle Leichtbauexpertise aus dem Bauingenieurwesen gefragt ist²¹. Man kann sicher davon ausgehen, dass FREI OTTO nie an computergestützte Simulationsmethoden gedacht hat – aber seine visionäre Kraft wirkt auch hier und heute noch.



⁷ vgl. P. D. Gosling, B. N. Bridgens, A. Albrecht u.a.: Analysis and design of membrane structures: Results of a round robin exercise. In: Engineering Structures 48/2013, S. 313–328

⁸ vgl. B. N. Bridgens; P. D. Gosling: Direct stress-strain representation for coated woven fabrics. In: Computers and Structures 82/2004, S. 1913–1927; F. Dieringer, R. Wüchner, K.-U. Bletzinger: Practical advances in numerical form finding and cutting pattern generation for membrane structures. In: Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures 53/2012, S. 147–156

⁹ vgl. A. Michalski, E. Haug, R. Wüchner, K.-U. Bletzinger: Validierung eines numerischen Simulationskonzepts zur Strukturanalyse windbelasteter Membrantragwerke. In: Bauingenieur 86/2011, S. 129

¹⁰ vgl. M. Andre, K.-U. Bletzinger, R. Wüchner: A complementary study of analytical and computational fluid-structure interaction. In: Computational Mechanics 55/2015, S. 345–357

¹¹ vgl. A. Bown, D. Wakefield: Inflatable membrane structures in architecture and aerospace: Some recent projects. In: Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures 56/2015, S. 5–16

Oben links Seifenhautmodell eines Vierpunktsegels

Oben rechts Stromlinien um ein Vierpunktsegel

Ganz links Numerisches Windfeld über einem Stadionsdach

Links oben Prinzipskizze eines numerischen Windkanals

Links unten Simulation der Winddruckverteilung auf einen Großschirm

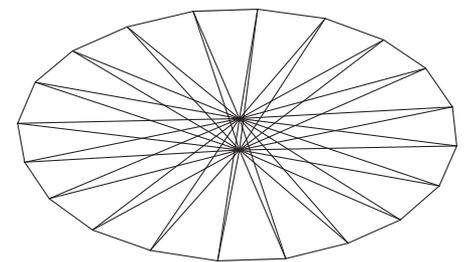
Das Speichenrad für Ringseildächer im Leichtbau

Das Speichenrad, wie jeder es vom Fahrrad her kennt, ist eine äußerst materialsparende und raffinierte Konstruktion: Beim Fahrrad werden die Lasten zwischen Boden und Achse durch Zuglieder, die Speichen, übertragen. Für die notwendige Seitenstabilität sind diese zur Nabe hin leicht gespreizt. Damit können auch quer zur Radebene wirkende Lasten abgetragen werden. Genau dies macht man sich zunutze, wenn man das Rad horizontal anordnet, um so über die gespreizten Speichen Lasten aus Wind und Schnee abzuleiten.

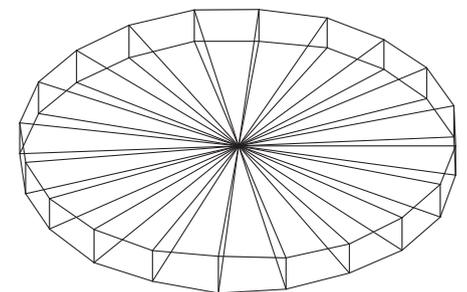
Aber wie kann es sein, dass eine so filigrane Konstruktion derart hohe Belastungen aushält? Des Rätsels Lösung heißt Vorspannung: Die vielen dünnen Speichen des Rads sind zwischen dem Druckring (der Felge) und der Nabe vorgespannt. Durch äußere Lasten werden die Kräfte in den Speichen zwar verändert, sie bleiben jedoch immer unter Zug. Die Speichen stabilisieren die Felge und so kann auch das unter Druck stehende Tragelement sehr schlank sein.

Ein solches verspanntes System, bei dem man je nach Bedarf die Nabe durch einen Zugring ersetzen kann, lässt sich in vielen Bauaufgaben einsetzen und bietet sich vor allem für weitgespannte Dachkonstruktionen an. Mit einigen Tricks und unter Berücksichtigung der entsprechenden Gleichgewichtsbedingungen gelingt es sogar, das Formenspektrum vom Kreis des Fahrrads bis hin zum gekrümmten Rechteck weiter zu entwickeln. Solche Dächer bezeichnet man als Ringseildächer. Im Wesentlichen sprechen vier Gründe für das Konstruktionsprinzip Ringseildach:

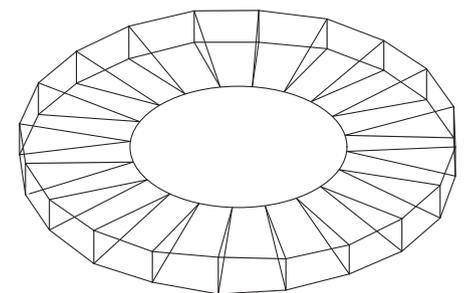
Wirtschaftlichkeit – Alle inneren Kräfte werden kurzgeschlossen. Damit löst man elegant das im Leichtbau häufig auftretende Problem des großen Aufwands für die Fundamente. Zudem



Liegendes Speichenrad

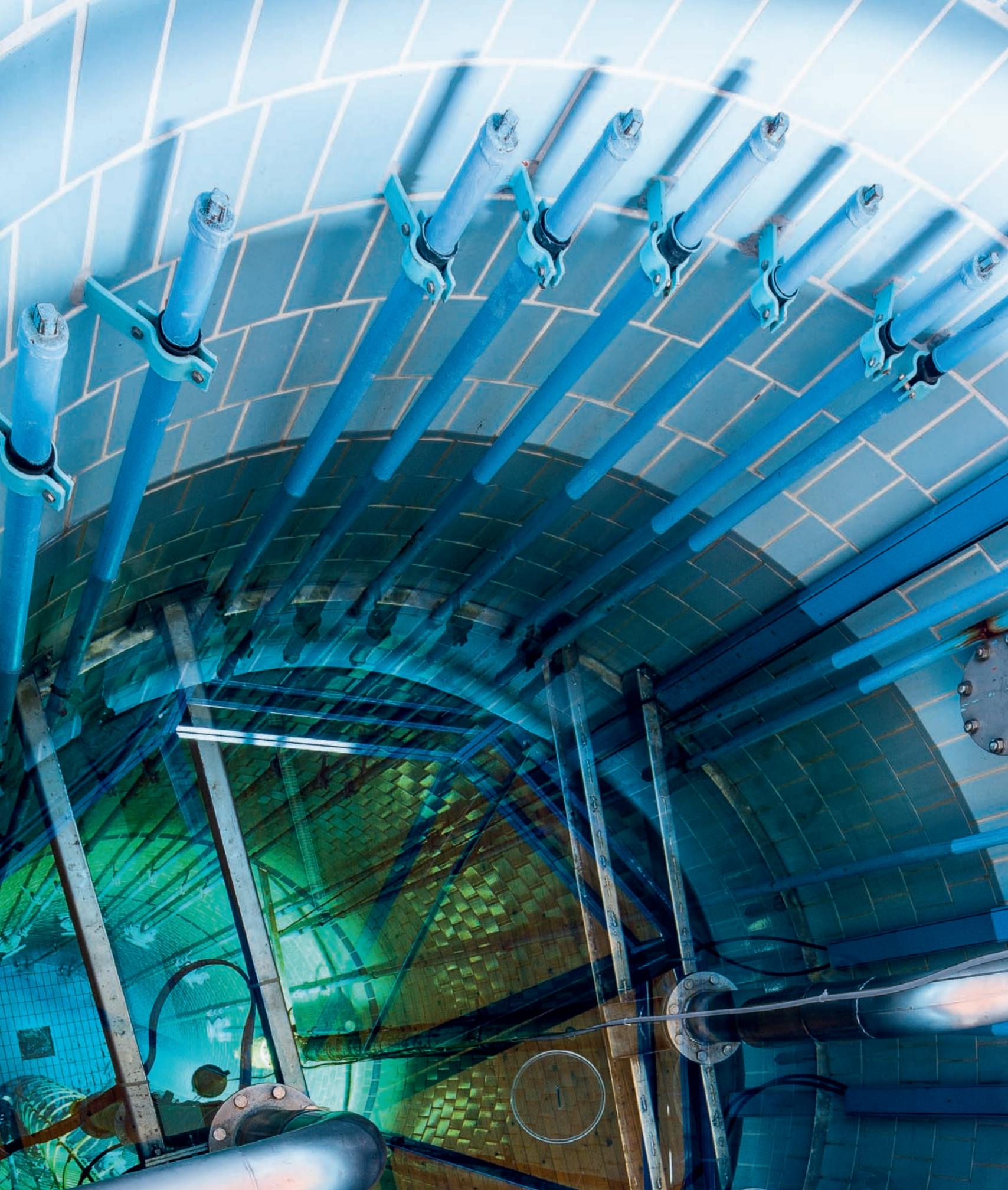


Spreizung der Speichen nach außen;
zwei Druckringe, ein Mittelpunkt



Auflösung des Mittelpunkts in
einen kreisrunden Zugring

Rechts Speichenradprinzip



Wasser in der Stadt

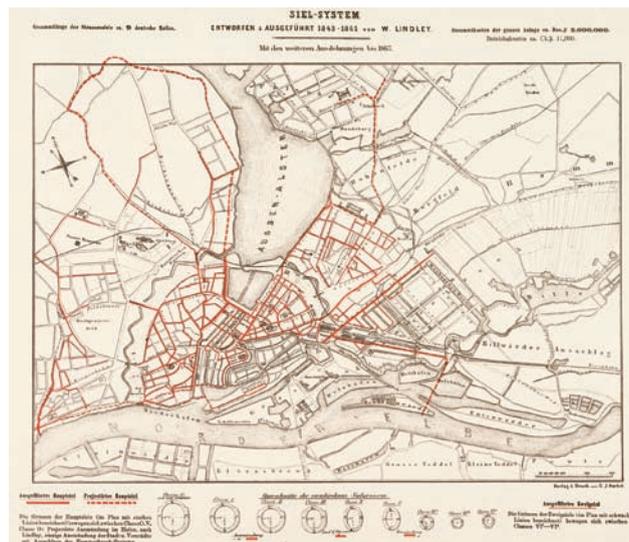
Pro Tag verbraucht eine Person in Deutschland etwa 125 Liter Wasser. Davon werden lediglich ca. 1,3 Liter getrunken. Insgesamt gesehen entfallen 85 % des Wasserverbrauchs in Deutschland auf gewerbliche Nutzungen in Industrie und Landwirtschaft.

Enorme Mengen müssen täglich nicht nur in hoher Qualität bereitgestellt, sondern auch wiederaufbereitet, entsorgt und rückgeführt werden. Die Be- und Entwässerung von Quartieren und Städten ist dabei eine grundlegende Voraussetzung – und Herausforderung für Bauingenieure und Umweltingenieure.

Aufbereitung, Reinigung und Entsorgung von Wasser sind nur drei Funktionen moderner Wassernetzwerke. Durch den Umbau nicht mehr genutzter Entwässerungskanäle wie etwa dem Emscher Park entstehen neue Landschaften, die meist auch eine Aufwertung des

Lebensraums mit sich ziehen: Offene Wasserläufe als Teile der Entwässerungssysteme werden inzwischen auch als attraktive Stadträume begriffen, die Naherholung bieten, Energie erzeugen und klimaregulierend wirken. Sie sind somit zentrale Projekte der Stadtentwicklung und benötigen vielfältige Planungs- und Bauprozesse.

War es vor rund 150 Jahren noch die eigentliche Herausforderung, die hygienischen Bedingungen für die Bevölkerung zu verbessern, so sehen sich die Planer heute komplexeren Anforderungen gegenübergestellt. Immer knapper werdende Ressourcen und vermehrte Starkregenereignisse gilt es ebenso zu berücksichtigen wie die sich wandelnde Gesellschaft. Hier sind flexible Systeme gefragt, die technische Anforderungen lösen und nachhaltige Antworten auf die Energiewende bieten.

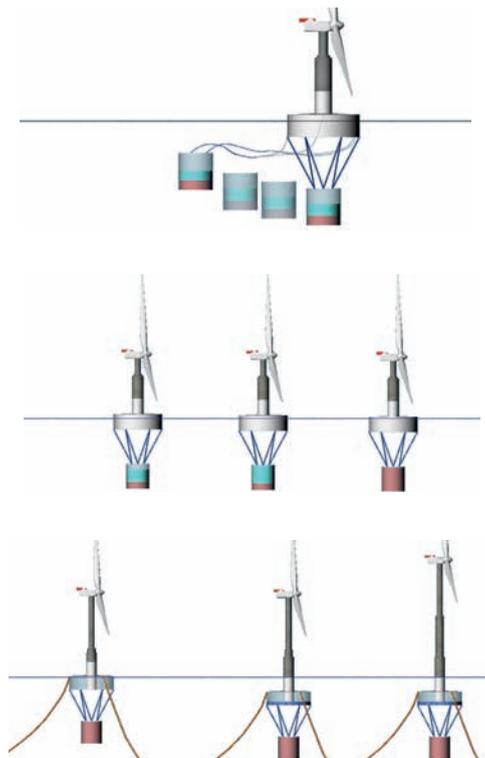
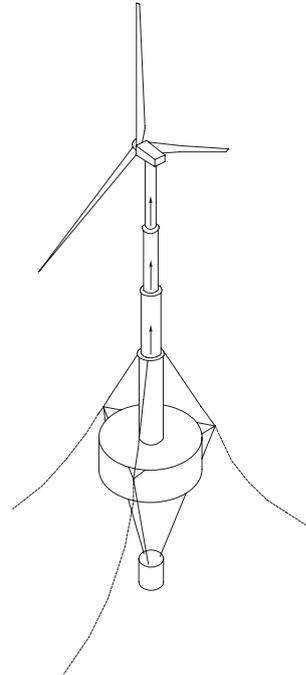


Linke Seite Grundwasserbrunnen, Frastanzer Ried, Feldkirch (A) 1980
Links Sielsystem für Hamburg (D) ab 1856, William Lindley. Nachdem ein Großbrand 1842 fast ein Drittel der Hansestadt zerstört hatte, stimmten die Stadtväter in der Folge einem kurz nach dem Brand vorgelegtem Konzept des Kanalbauingenieurs Lindley zu, das im Rahmen des Wiederaufbaus neben der Kanalisation auch eine öffentliche Wasserversorgung sowie Wasch- und Badehäuser vorsah. In den darauffolgenden Jahren entstand so das auf dem europäischen Kontinent erste Netz aus Abwasserkanälen, das die Hamburger als »Sielnetz« bezeichnen.

Schwimmend und ausfahrbar: TELWIND

Ausfahrbare Windanlagen könnten Bauprojekte »offshore« erheblich vereinfachen. Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts TELWIND wird derzeit untersucht, wie solche schwimmenden Anlagen zu realisieren wären.

Die Unterkonstruktion besteht aus einem schwimmenden Hohlkörper, der unter Wasser durch Seile mit einem schweren Ballasttank verbunden ist, der wiederum die Struktur stabilisiert. Der teleskopartig aufgebaute Turm enthält röhrenförmige Segmente aus Betonfertigteilen bzw. Stahlelementen. Mit einer integrierten Hebevorrichtung lässt er sich von nur einer Montageplattform aus in die vorgesehene Endposition ausfahren.



Oben Schematische Darstellung einer Windanlage

Ganz links (von oben nach unten) Abfolge des Aufbaus: Anfahren der Hohlkörper an ihre Position und Befestigung des Turms – Füllen der Hohlkörper – Ausfahren des Turms

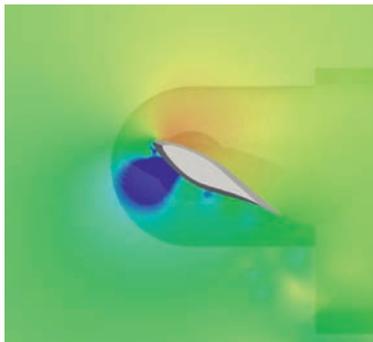
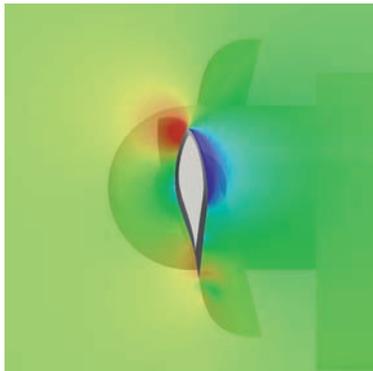
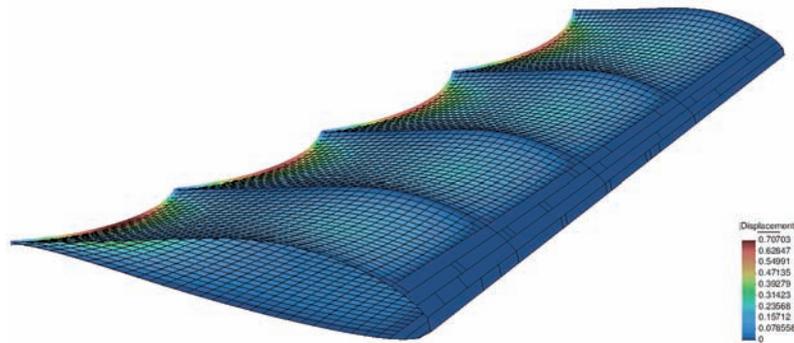
Links Rendering der Windanlage

Flexible Membranflügel für Windturbinen

Rechts Die Gleichgewichtsform, die durch den Formfindungsprozess ermittelt wird, ist die Ausgangskonfiguration für die numerische Simulation.

Unten Querschnitt eines membranbespannten Windturbinenblatts an einem Rotor. Diese numerische Simulation diente zur Berechnung des Luftströmungsfelds.

Rechts Mitte Gleitflieger der Gebrüder Wright, Kitty Hawk (USA) 1901

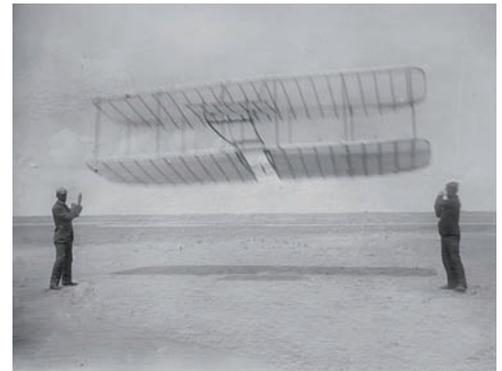


Um die Energieausbeute zu optimieren, werden die Rotorblätter der Windturbinen immer größer. Die Belastung dieser extremen Kräfte auf die Flügel bedeutet gleichzeitig auch die Notwendigkeit, die tragende Struktur entsprechend anzupassen.

Große Potenziale, diese Belastungen zu reduzieren, bieten membranbespannte Windturbinenblätter. Die Flexibilität und das geringe Eigengewicht eines Membranflügels ermöglichen es ihm, sich an die Windanströmung anzupassen.

Inspirationen für Ingenieure können vielseitig sein: Die Idee zu dieser Konstruktion lieferten die berühmten Doppeldecker-Gleitflieger der Gebrüder Wright, die ihren ersten Flieger im Oktober 1900 erprobten.

Iterativ entwickelt werden die Membranblätter bzw. ihre Aeroelastizität in einer Kopplung zwischen Simulation und Formoptimierung. Im ersten Schritt erfolgt mittels Formfindungsanalyse die Berechnung der Gleichgewichtsgeometrie der vorgespannten Membranstruktur. Danach wird das gekoppelte Problem der Interaktion des Membranflügels mit der Umströmung durch numerische Si-



mulation gelöst und damit die Leistung des Flügels bewertet. Schließlich wird der Vorspannungszustand aktualisiert und der Entwurfszyklus wiederholt, um die Flügelkonfiguration zu verbessern.

Die numerischen Simulationen werden durch Windkanalversuche an einem verkleinerten Prototyp im Windkanal validiert. Bei großen Anstellwinkeln zeigen die Membranblätter eine bessere Auftriebscharakteristik im Vergleich mit dem starren Blatt.



Erschließung von Raum

Linke Seite Baustelle der Seilbahn Zugspitze, Garmisch-Partenkirchen, (D) 2017. Arge BauCon-Hasenauer-AIS

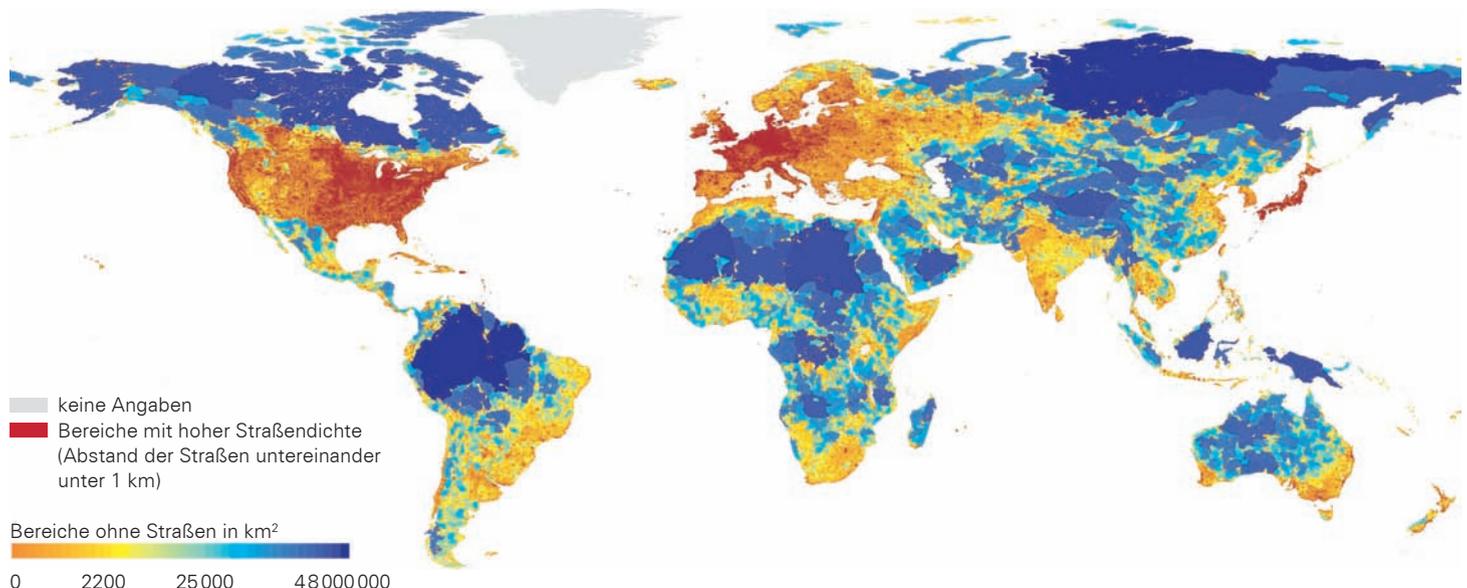
Unten Weltweit ziehen sich heute bereits 35 Millionen Kilometer Straße über die Kontinente und teilen die Welt dabei in 600 000 Teilgebiete.

Eine funktionierende Verkehrsinfrastruktur ist die Grundlage unserer mobilen Gesellschaft. Der Bedarf an Verbindungsmöglichkeiten und das damit entstehende Netzwerk werden immer komplexer. Hinzukommen Herausforderungen wie Immissionsschutz, die Instandhaltung der Verkehrswege oder auch die Sicherheit von Straßen in topografisch und klimatisch anspruchsvollen Regionen.

Der Aufgabenbereich ist allein durch die unterschiedlichen Verkehrsmittel vielschichtig, die vom Auto über die Eisenbahn, verschiedene Luftseil-, Magnetschwebe- und Schrägseilbahnen etc. bis hin zu Schiff und Flugzeug reichen. Und es stellt sich die grundsätzliche Frage, was bzw. wer überhaupt transportiert wird – Güter oder Personen? Welchen Bedarf gibt es, Individualverkehr oder öffentliche Verkehrssysteme?

Sonderbauten wie Schleusen, Schiffshebewerke und Kanalbrücken im Rahmen von Wasserstraßen sind dabei nur ein Teil der Verkehrsbauten, die neben Eisenbahnlinien, Kanälen oder Flughäfen entwickelt werden müssen.

Die rasante Entwicklung des Verkehrswegebau ist untrennbar mit der Industrialisierung verbunden: Der Transport von Rohstoffen und Waren bedeutete von Anfang an eine höhere Belastung für die Straßen. Es galt Distanzen in möglichst kurzer Zeit zurückzulegen und unterschiedliche Infrastrukturen effektiv zu koppeln – mit verschiedenen Herangehensweisen: In England waren es Ausnahmetalente, die mit ihrer Faszination für die Fragen der Gesellschaft über Experimente auf die Suche nach Antworten gingen. In Frankreich näherte man sich über einen akademischen Weg, der die Gründung von Schulen mit sich brachte.





den Jahren und Jahrzehnten zur Entwicklung einer Vielzahl unterschiedlicher Systeme der Festen Fahrbahn. Viele davon nahmen das Originalsystem im Bahnhof Rheda als Ausgangsbasis. Einige bewegten sich jedoch auch in neue Richtungen. Wesentlich aus deutscher Sicht war die Entwicklung eines schotterlosen Oberbaus mit Fertigteilplatten. Bereits im Jahr 1977 gelang im Abschnitt Dachau – München-Karlsfeld die Realisierung einer ersten Versuchsstrecke, auf der Fertigteilplatten als tragendes Element für die Fixierung der Schienen zum Einsatz kamen.

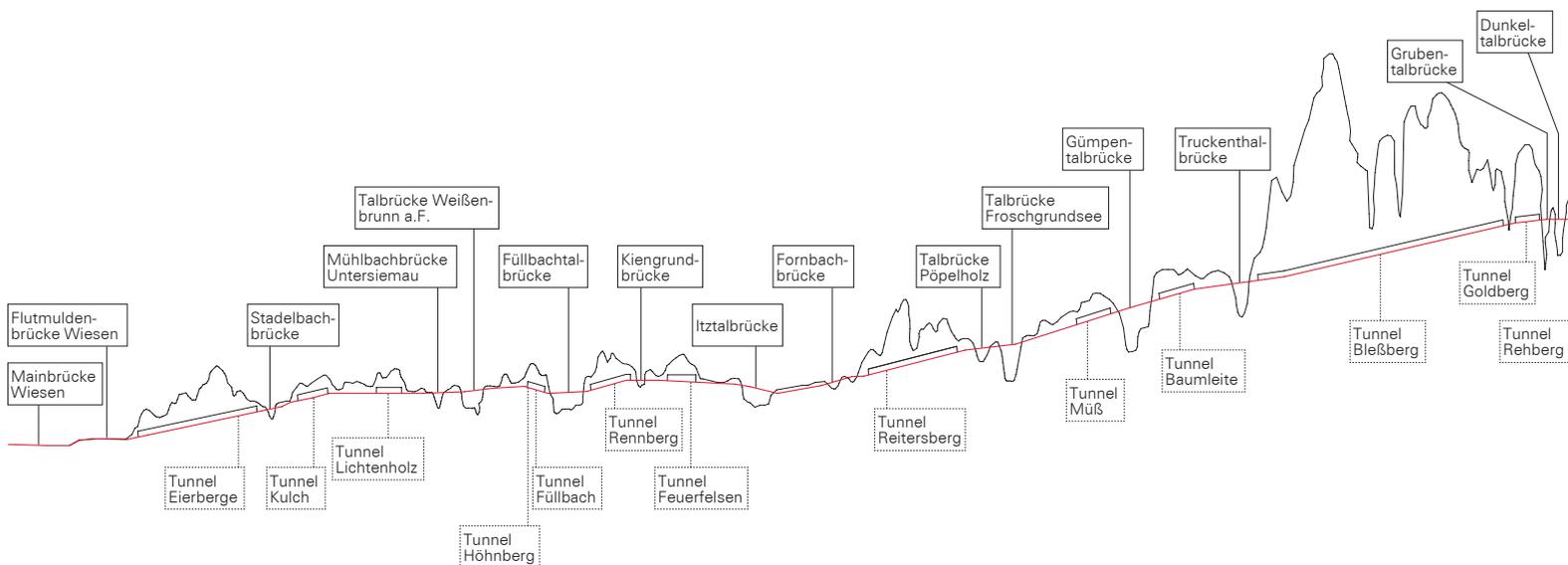
Eine Fertigteilplattenlösung und das weiterentwickelte Feste-Fahrbahn-System Rheda 2000

waren zu Beginn des neuen Jahrtausends auch die favorisierten Lösungen im Know-how-Transfer der Eisenbahnoberbautechnik nach Asien. Strecken in Korea und Taiwan wurden zunächst noch auf Basis der Rheda-Varianten realisiert. Seit 2005 entstanden in China mittlerweile mehr als 19000 Kilometer schotterlose Hochgeschwindigkeitsstrecken (mit Entwurfsgeschwindigkeiten bis 350 km/h), die sich auf deutsche Entwicklungen zurückführen lassen.

Aber nicht nur in Asien, sondern auch in diversen anderen Ländern findet die Feste Fahrbahn als Standardoberbau für hohe Geschwindigkeiten bevorzugt Verwendung. So

Links und unten ICE-Neubaustrecke Berlin–München, Teilstück Ebensfeld–Erfurt (D) 2017. Im Rahmen des »Verkehrsprojekts Deutsche Einheit« will die Deutsche Bahn mit Hochgeschwindigkeitszügen eine umweltschonende Alternative zu Auto und Flugzeug zu schaffen. Auf der neuen 107 km langen Strecke zwischen Ebensfeld und Erfurt fahren Personenzüge mit durchgehend 300 km/h durch den Thüringer Wald und passieren dabei 22 Tunnel und 29 Brücken. Mit der Fertigstellung des Teilstücks Ebensfeld–Erfurt Ende 2017 wird die Verbindung von München nach Berlin geschlossen. Die Strecke ist teilweise vierspurig für den Personen- und Güterverkehr ausgebaut, dabei gilt es unterschiedliche Anforderungen an den Streckenverlauf zu berücksichtigen: Die schnellen Züge benötigen einen kurvenarmen Streckenverlauf, während bei schweren Lasten und langsameren Zügen die Steigung gering sein muss. Überholbahnhöfe entlang der Strecke sollen für einen ungestörten Verkehr sorgen. Optische Signale gibt es nicht mehr, da die wichtigen Daten über Funk zwischen Zug, Streckenzentrale und Transpondern im Gleis übermittelt werden. Diese neue Zugleittechnik kommt zukünftig in ganz Europa zum Einsatz.

Rechts Auf der Neubaustrecke Ebensfeld–Erfurt rollen die Züge auf einer festen Fahrbahn. Die Gleisplatten wurden hintereinander verlegt – auch auf Brücken und in Tunnel. Mit den vorfabrizierten Elementen erfolgt der Gleisbau sehr viel schneller als mit der konventionellen Schotterbauweise.

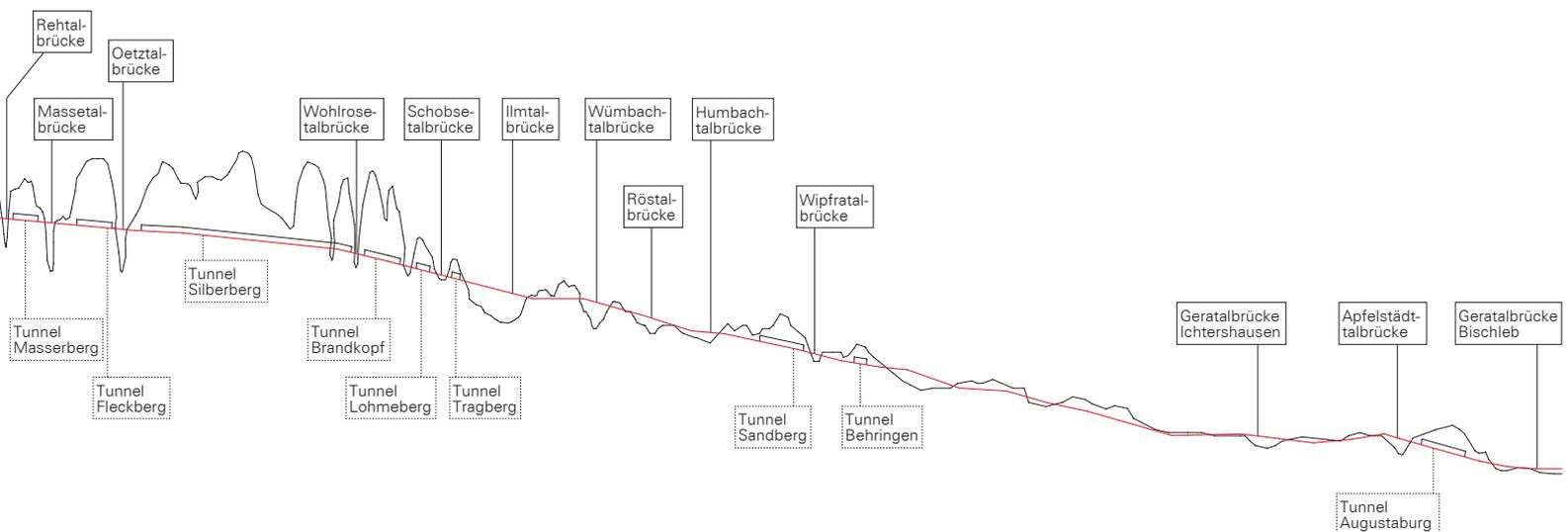


wurden in Europa wesentliche Streckenlängen in den Niederlanden, in Spanien und Italien mit dem System realisiert. In Deutschland kam das System für die Hochgeschwindigkeitsstrecken von Hannover nach Berlin (im Wesentlichen östlich der Elbe), für die Strecken Frankfurt – Köln sowie Nürnberg – Ingolstadt zum Einsatz. Auf den beiden letztgenannten Streckenabschnitten erreichen Züge planmäßig Geschwindigkeiten bis zu 300 km/h. Ende 2017 soll die Strecke von Nürnberg über Erfurt nach Leipzig dem Verkehr freigegeben werden. Auch hier wurden weite Teile der Neubaustrecke in Fester Fahrbahn realisiert. Ebenso soll der schotterlose Oberbau auf der Strecke Ulm – Wendlingen als Teilabschnitt des Bahnprojekts Stuttgart 21 und des transeuropäischen Eisenbahnnetzes Anwendung finden. Somit wären sämtliche aktuelleren Neubaustrecken in Deutschland schotterlos errichtet.

Feste Fahrbahnen in Tunnelstrecken

Große Vorteile zeigt die Feste Fahrbahn auch in den Tunnelabschnitten moderner Bahnstrecken. Sowohl der Kanaltunnel zwischen Frankreich und England als auch der längste Eisenbahntunnel der Welt, der Gotthard-Basistunnel in der Schweiz, wurden schotterlos hergestellt. Die Vorteile im Tunnel bestehen darin, dass es nicht mehr erforderlich ist, auf die bestehende harte Tunnelsohle Schotter aufzulegen, sondern die Elastizität nur noch in der Fixierung der Schiene oder unterhalb von Betonblöcken zum Einsatz kommt, was zu einer deutlichen Reduzierung von Verschleißerscheinungen führt. Aber auch die Erschütterungen durch den Eisenbahnverkehr bzw. die Übertragung von Schwingungen, die zu sekundärem Luftschall in der umliegenden Bebauung führen kann, lassen sich durch eine Feste Fahrbahn auf relativ einfache Art und Weise in Form von Masse-Feder-Systemen auf ein Minimum reduzieren. So hat Österreich speziell in den Zulaufstrecken zum Brenner-Basis-Tunnel ein schweres Masse-Feder-System in Fester Fahrbahn realisiert, das Eigenfrequenzen von unter 6 Hz vorweisen kann und damit eine hohe Dämmwirkung auch in Bezug auf in der Nähe liegende Gebäude hat.

Das Beispiel der Festen Fahrbahn zeigt exemplarisch, wie jahrzehntelange grundlegende Forschungsarbeiten an Universitäten in Zusammenarbeit mit der Industrie zu neuen Entwicklungen führen können. Bewähren sich diese auch bei anwendungsorientierter Überführung in die Praxis, finden sie oft sogar weltweit Verbreitung.



lange sehr vieler unterschiedlicher Interessen: Gestaltungsbeiräte, Anwohner, Naturschutz etc. Unter anderem um all diese Anforderungen besser beherrschbar zu machen und den aufwendig mit den Beteiligten abgestimmten Verwaltungsentwurf umsetzen zu können, sind die Bauverwaltungen dazu übergegangen, Nebenangebote und Sondervorschläge zur Ausnahme zu machen. Ist der ausgeschriebene Entwurf gut durchgeplant und sind die Randbedingungen der Bauausführung (Bauphasen, Baubarkeit, erforderliche Toleranzen etc.) berücksichtigt, ergeben sich daraus aus Perspektive der Auftraggeber durchaus Vorteile. Beispielsweise lässt sich die Vergabe der Bauleistungen mit weniger Verwaltungsaufwand schneller und mit mehr Rechtssicherheit durchführen, weil auf diese Weise ausgeschlossen werden kann, dass im Verfahren aufkommende Sondervorschläge das Projekt als solches angreifbar machen: Mitunter fühlen sich Verfahrensteilnehmer ungerecht behandelt und initiieren Verwaltungsgerichtsverfahren gegen den Auslober. Bisweilen kommt es auch zu Klagen gegen die Sondervorschläge der Mitbewerber, vor allem dann, wenn diese nicht explizit erwünscht sind. Öffentliche Bauherren schließen Nebenangebote und Sondervorschläge häufig aber auch aus, weil die technische Bearbeitung oder andere Teilleistungen aus Zeitgründen schon vor Abschluss der Vergabeverfahren vergeben wurden, sodass Änderungen im Entwurf oder Bauablauf nicht mehr ohne Weiteres durchführbar sind. Mitunter verfügen sie zudem schlicht über zu wenig Personal und zu wenig technische Kompetenz zur Beurteilung von Alternativlösungen. Parallel dazu nehmen sich auch die Bauunternehmen zurück, für die es vor diesem Hintergrund wenig aussichtsreich und daher auch aus Kostengründen unmöglich erscheint, Nebenangebote zu erstellen. Auf jeden Fall aber müssen sie bereits im Vorfeld der Beauftragung einen sehr großen Aufwand betreiben, um zu belegen, dass alternative Vorschläge mindestens gleichwertig mit dem Verwaltungsentwurf sind – und zudem das Risiko tragen, nicht berücksichtigt zu werden. Früher noch geführte Aufklärungsgespräche zur Erläuterung und Besprechung der angebotenen Lösung entfallen oft aus juristischen Gründen, weil nach Angebotsabgabe keine Inhalte ergänzt oder verändert werden dürfen. All diese Aspekte widersprechen der Tatsache, dass es vor allem und gerade bei der Konzeption technisch anspruchsvoller oder komplexer Bauvorhaben wesentlich ist, das Ausführungs-Know-how einer erfahrenen Firma frühzeitig in die Entwicklung technischer Lösungen einfließen zu lassen – was bei Ne-



benangeboten in jedem Fall erfolgt. Geschieht dies nicht, besteht die Gefahr, dass entweder der Entwurf hinsichtlich der Realisierbarkeit Schwächen besitzt, oder aber dass die ausführende Firma nach Beauftragung (ob berechtigt oder unberechtigt) versucht nachzuweisen, dass die ausgeschriebene Entwurfsidee nicht realisierbar ist.

Initiativen für eine neue Aufbruchstimmung und mehr Wettbewerb

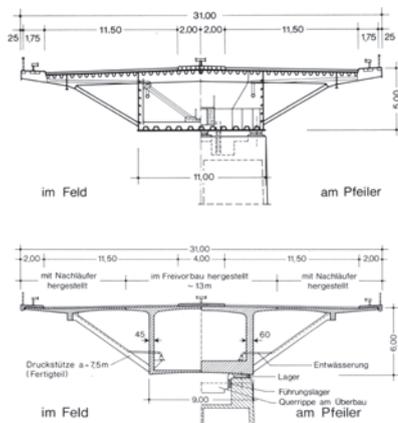
Resultat dieser Entwicklung ist die paradoxe Situation, dass Nebenangebote und Sondervorschläge eher als verkomplizierende Hürde wahrgenommen werden denn als probates Mittel, um Projekte ganzheitlich zu optimieren. Mit dem Ziel, hier entgegenzusteuern, gehen Interessensvertretungen der Baubranche auf jene wichtigen öffentlichen Auftraggeber zu, die die Vorgaben für Ämter und Kommunen erstellen. Auf Länderebene sind in diesem Zusammenhang durchaus erste Erfolge zu verzeichnen. In Bayern beispielsweise sollen Nebenangebote und Sondervorschläge in Zukunft grundsätzlich wieder zulässig sein.¹ Diesem wichtigen Schritt müssen freilich viele weitere Schritte folgen. Dringend notwendig sind Initiativen², die jungen Bauingenieurstudenten jene kreative Begeisterung und Aufbruchstimmung vermitteln, wie sie den Berufsstand noch zur Zeit der industriellen Revolution prägten. Wünschenswert wären auch personelle Aufstockungen bei staatlichen Bauämtern oder das häufigere Zurateziehen externer Ingenieurbüros, um die Einreichungen von Vergabeverfahren fachlich besser bewerten zu

¹ Mit der Auffassung, dass es untragbar ist, wegen bürokratischer, juristischer oder vergaberechtlicher Fragen die Ingenieurskunst aufzugeben, ging der Bayerische Bauindustrieverband auf die Oberste Baubehörde zu, die laut Verbandspräsident Josef Geiger in zahlreichen Gesprächen von diesem wichtigen Schritt überzeugt werden konnte.

² wie z.B. www.ingenieur-talente.de

Oben Die Eschachtalbrücke bei Rottweil (D), 1977, entstand basierend auf einem Nebenangebot als Spannbetonvariante gegenüber dem ähnlichen Ausschreibungsentwurf in Stahl (**oben rechts**). Um die Bemessung der notwendigen Querschnitte wirtschaftlich zu gestalten, richtete man zunächst im Freivorbau einen Hohlkasten mit kurzen Kragplatten. Nach Herstellen der Durchlaufwirkung der Querschnitte wurde die Fahrbahn auf die gesamte Breite mit Nachläuferwagen ergänzt. Nicht nur hinsichtlich der innovativen Lösung der Schrägstützen aus Beton sondern auch durch das Bauverfahren selbst wurde die Spannbetonbrücke von 443 m Länge zum Vorbild für die über 1 km lange Kochertalbrücke bei Geislingen (D), 1979, die 2015 mit einem innovativen Konzept erfolgreich ertüchtigt werden konnte.

Rechts Neubau der Lahntalbrücke Limburg (D) vsl. Fertigstellung 2017. Die Beauftragung erfolgte auf ein Nebenangebot der Max Bögl Stiftung und des Ingenieurbüros Büchting+Streit. Das Nebenangebot sah u.a. anstelle der ausgeschriebenen Herstellung mittels Vorschubrüstung die wirtschaftlichere und umweltschonendere aber in der Umsetzung technisch sehr anspruchsvolle Herstellung der Brücke im Freivorbauverfahren vor.



können. Solche Maßnahmen sind mit Kosten verbunden, die sich an anderer Stelle jedoch wieder einsparen lassen. Schließlich werden Sondervorschläge in der Regel nur dann beauftragt, wenn sie entsprechende finanzielle und technische Vorteile (z. B. in Bezug auf Lebensdauer, Wartungsfreundlichkeit und Bauzeit) bieten.

Zusätzlich zu den dringend nötigen Maßnahmen der allgemeinen Sensibilisierung sind insbesondere völlig neue Vertragsmodelle notwendig, die für rechtlich stabile Rahmenbedingungen in der Bieterphase sorgen. Beispielsweise muss ausgeschlossen sein, dass Nebenangebote und Sondervorschläge zur Neubewertung von Umweltverträglichkeitsprüfungen, Raumordnungs- oder Planfeststellungsverfahren führen oder zu Klagen gegen Mitbewerber. Ziel muss es sein, den Wettbewerb und den Ehrgeiz zu fördern, sodass allen Teilnehmern bewusst ist, dass sie einen Auftrag nicht dann bekommen, wenn sie billiger als die anderen sind, sondern wenn sie die besseren Ideen haben – also ein Innovations- und Qualitätswettbewerb anstelle eines reinen »Preiskampfes«. Ein hierfür geeignetes Modell stellt das Bestbieterprinzip dar, das die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFiNAG), zuständig für das Schnellstraßen- und Autobahnnetz in Österreich, eingeführt hat und bei dem nicht nur der Preis, sondern auch eine Reihe anderer Kriterien bewertet werden, z. B. die Qualität des Personals, die technischen Vorschläge oder die Bauzeit. Vergleichbare Verfahren sind im anglo-amerikanischen Sprachraum oder auch in Skandinavien bereits seit vielen Jahren Standard.

Mit solchen Qualitätsverfahren suchen öffentliche Auftraggeber nach Ideen und Vorschlägen, die für das Verfahren, für die Umwelt, die Zeit und das Budget gleichermaßen vorteilhaft sind.

Neue Vertragsmodelle unterstützen kreatives, ganzheitliches Denken

Bei Partnerschaftsverträgen legt der Auftraggeber im Vorfeld des Vergabeprozesses klare Kriterien fest, nach denen später mithilfe eines vorgegebenen Punktesystems bewertet wird. Der Bieter mit den meisten Punkten bekommt den Auftrag. Im Anschluss werden gemeinsam Verbesserungen gesucht und die dadurch erzielten finanziellen Einsparungen untereinander aufgeteilt. Im privaten Bereich findet dieses Modell bereits Verbreitung – in Form des Bauvertragsmodells »Garantierter Maximalpreis« (GMP), bei dem Bauunternehmen vollständig offen kalkulieren und eine Bauleistung zu einer bestimmten Maximalsumme garantieren. Auch hier werden Einsparungen am Ende nach einem zuvor festgelegten Schlüssel geteilt. Für komplexe Vorhaben gibt es aber auch das nach VOB mögliche Verfahren des »wettbewerblichen Dialogs«, bei dem frühzeitig das Ausführungs-Know-how der Firmen in die Entwicklung der technischen Lösung einfließen kann.

Voraussetzung für alle Vertragsarten, bei denen nicht der billigste Preis, sondern die Qualität im Vordergrund steht, sind ein vertrauensvoller Umgang, die frühzeitige Kooperation und eine Planung möglichst aus einer Hand. Dem stehen die in Deutschland noch immer vorherrschende Trennung von Planen und Bauen sowie die Segmentierung der Bauprozesse gegenüber. Werden Wettbewerbsplanung, Kalkulation, Arbeitsvorbereitung, Ausführungsplanung und Bauleitung von verschiedenen Büros durchgeführt, kann es passieren, dass sich die Beteiligten vor allem auf ihre Aufträge konzentrieren und das große Ganze aus dem Blickfeld gerät. Ausführende Firmen, die mehr Gesamtverantwortung tragen, werden hingegen von den eigenen Ausführungsproblemen selbst getroffen und sind schon allein deshalb daran interessiert, diese zu vermeiden, anstatt sie auf Planungsnachfolger abzuwälzen.

Die Freude und die Faszination an der Ingenieurbaukunst sollten zum übergeordneten Nenner von Ingenieuren, Bauunternehmen und öffentlichen Auftraggebern werden. Hierzu bedarf es Initiativen, die das ganzheitliche Wissen und die Zusammenarbeit an gemeinsamen Zielen fördern – im Sinne der Baukultur, aber auch damit die Ingenieure und Bauunternehmen im internationalen Wettbewerb bestehen können.



Dort nämlich lauert die Seitenrefraktion, ein Lichtbrechungseffekt, der den vermeintlich geradlinigen Zielstrahl krümmt und so von Polygonpunkt zu Polygonpunkt den berechneten vom wahren Kurs ablenkt – im Falle des Ärmelkanaltunnels auf britischer Seite bedeutete das bereits einen ganzen Meter nach kaum mehr als einem Kilometer Vortrieb. Die Strahlkrümmung wird durch horizontale Temperaturgradienten aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen Fels und Tunnelatmosphäre verursacht und ist weder zu bemerken noch zu umgehen. Als einzige Gegenstrategie bleibt dem Geodäten die Bestimmung der Strahlkrümmung mithilfe gegenseitiger Kreiselmessungen von den Endpunkten einer Polygonseite aus. Die dafür nötigen Instrumente können eine Komponente des Erddrehmoments abgreifen und so einen absoluten Bezug zur Nordrichtung herstellen. Unterstellt man gleichzeitig dem Strahlverlauf geometrisch einen kreisbogenförmigen Verlauf, lässt sich die Refraktion bannen.

Auf den letzten hundert Metern vor der Ortsbrust muss im Falle der bergmännischen Bauweise noch die Absteckung des Tunnelprofils für den nächsten Abschlag bewerkstelligt werden bzw. die Führung der Maschine beim maschinellen Vortrieb. Im letzteren Fall sollte man wieder sorgsam vorausplanen, da der enge Sichtkanal für die zugehörige Vermessung schon bei der Konstruktion der kostspieligen Tunnelvortriebsmaschine bis zum Schneidrad endgültig festgelegt werden muss.

Diese Mindestvoraussetzungen sind zu leisten, wenn das Tunnelbauwerk nur von den beiden Portalen her errichtet wird. Zur Beschleunigung der Bauprozesse, wie es für Verkehrstunnel von mehreren Zehnerkilometern Länge unabdingbar ist, sind zusätzlich sogenannte Zwischenangriffe herzustellen, die in der Regel mit seitlichen Zugangstollen zur Achse führen, wo Kavernen ausgesprengt werden, von welchen dann wieder beidseitig aufgefahren wird. Vertikale Zwischenangriffe über Schächte, wie etwa beim Gotthard-Basistunnel (800 Meter) und beim Semmering-Basistunnel (400 Meter), erfordern zudem präzise Ablotungen und Richtungsübertragungen, deren Kontrolle besonders kritisch ist.

Die Aufgabe der Geodäsie ist es, unter schwierigsten Randbedingungen einen Zentimeter Querabweichung pro Kilometer Vortriebslänge zu gewährleisten. Diese Leistung ist nur vergleichbar mit der Vorgabe, bei einer Golfpartie mit jedem Schlag ein hole-in-one zu erzielen.

Auf die zu Beginn gestellte Frage folgt meist unabwendbar eine zweite Frage an den Vermessungsingenieur: »Und wieso braucht man



das so genau – es genügt doch, dass man überhaupt zusammentrifft?« Das wäre jedoch – zumindest für Hochgeschwindigkeitstunnel der Eisenbahn – völlig falsch. Für hohe Durchfahrtsgeschwindigkeiten ist es unbedingt notwendig, bestimmte Mindestradien der Achse einzuhalten. Wird der Durchschlag nicht mit der geforderten Genauigkeit erzielt, ist ein Neutrassieren des Abschnitts mit verkleinerten Mindestradien und entsprechend verringerter Höchstgeschwindigkeit des Zugs notwendig, was für die angepeilte Nutzung wiederum ökonomische Einbußen über viele Jahrzehnte nach sich zieht.

Den anderen Fall beschreibt karikierend die dritte Strophe des »Wiener Vermesserlieds« (1985–1997) von Thomas Wunderlich zur Melodie des bekannten Fiakerlieds von Gustav Pick:

»Ka Qxx, ka Kreisel, den Tunnel hier bestimmt, Mia woat'n in am Beisl, bis dass die Richtung stimmt, stimmt, stimmt.

Und kummt ma amoi ned zum Zü, gräbt man am Ort vorbei –

No, dann hat ma hoit ka Tunnel mea – sondern von deren zwei!«

¹ Wiener Vermesserlied. Siehe dazu Thomas Wunderlich: Grazer Spuren in der Wienerstadt und in Wiener Herzen: Gerhard Brandstätter. In: Festschrift Universalgeodäsie in Graz, TU Graz, 2008. S. 174–177. »Qxx« ist der im Zuge der Netzausgleichung berechnete Wert, der genauigkeitsbestimmend ist.

² Theresa Neuhierl: Eine neue Methode zur Richtungsübertragung durch Kopplung von Inertialmesstechnik und Autokollimation. Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Geodäsie, 2005

Oben Gotthard-Basistunnel (CH) 2016, Giovanni Lombardi. Für den rund 800 m tiefen Zwischenangriff Sedrun musste ein neues Verfahren zur untertägigen Orientierung entwickelt werden, da bei den dort herrschenden, sehr hohen Fels-temperaturen die üblichen Messgeräte (nordsuchender Kreisel) Grenzen hinsichtlich Genauigkeit finden. Die Lösung fand man in der vertikalen Richtungsübertragung durch den Schacht mittels einer Inertialen Messeinheit (IMU) und Autokollimation. Auf einer Trägerplatte befestigt und mit Planspiegeln bestückt konnte über diese die Richtung mit höchster Genauigkeit abgenommen werden.²

Nutzung von Tunnelbauwerken für die geothermische Energiegewinnung

Roberto Cudmani

¹ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Hrsg.): Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund. München 2005; Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Erdwärme – die Energiequelle aus der Tiefe. UmweltWissen – Klima + Energie. Augsburg 2016

² Klaus Dorsch: 10 Jahre geothermische Exploration im süddeutschen Molassebecken – Ein Fazit. München 2012

³ Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Oberflächennahe Geothermie. UmweltWissen – Klima + Energie. Augsburg 2013

⁴ Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): wie Anm. 1 und 3

⁵ wie Anm. 3

Geothermische Energie ist die Energie, die in Form von Wärme im technisch erschließbaren Teil der Erdkruste gespeichert ist. Die Erdwärme hat ihren Ursprung in den Partikelkollisionen während der Entstehung unserer Planeten, im Zerfall von radioaktiven Isotopen, in den Gezeitenkräften und in der Sonnenstrahlung. Die mit heutiger Tiefbohrtechnik erschließbare geothermische Energiereserve wird weltweit auf das rund 30-fache aller fossilen Reserven (Kohle, Erdöl, Gas) geschätzt.

Bei geothermischen Nutzungssystemen unterscheidet man zwischen tiefer und oberflächennaher Geothermie. Das Temperaturniveau bei oberflächennaher Geothermie ist mit deutlich unter 100°C begrenzt, oft liegt es im Bereich zwischen 10 und 20°C. Oberflächennah arbeitende Systeme finden daher hauptsächlich zur Wärme- und Kälteerzeugung mithilfe von Wärmepumpen Verwendung. Bei tiefer Geothermie mit Erschließungssystemen zur Energienutzung in Tiefen von mehr als 400 Metern¹ ist bei Temperaturen von meist über 100°C der Verzicht auf Wärmepumpen möglich. Hier lässt sich die dem Untergrund entzogene Energie direkt zum Heizen verwenden.²

Betrachtet man Regionen außerhalb der tektonisch bedingten geothermisch anomalen Gebiete (z.B. Regionen mit erhöhtem Vulkanismus), besteht die Erdwärme der oberen Bodenschichten bis etwa 100 Meter Tiefe zum einen aus gespeicherter Energie der Sonnenstrahlung, zum anderen aus Energie aus dem Erdinneren. So ist der Temperaturverlauf bis rund 10 Meter unter Geländeoberkante durch die jahreszeitlichen Temperaturunterschiede geprägt.³ Darunter ist er über das Jahr hinweg nahezu konstant und nimmt aufgrund des aufwärtsgerichteten Wärmestroms aus dem Erdinneren kontinuierlich um im Mittel rund 3°C pro 100 Meter Tiefe zu. Da die Temperaturen

im sehr oberflächennahen Bereich mit in Mitteleuropa durchschnittlich 8–12°C zum direkten Heizen zu gering sind, wird die Erdwärme mittels erdgekoppelter Wärmepumpen auf das benötigte Niveau, in der Regel 35–55°C, angehoben.⁴ Hierfür erfolgt die Erschließung des Erdwärmepotenzials, das aufgrund des großen Speichervolumens und der ganzjährig gleichmäßigen Untergrundtemperatur immens ist, über Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen oder erdberührte Betonbauteile.⁵

Durch ihre großen erdberührenden Flächen gehören Tunnelbauwerke zu den geotechnischen Bauwerken mit dem größten Potenzial zur Gewinnung von Erdwärme. Besonders vorteilhaft ist, dass die meisten Tunnel Wohn- und Gewerbegebiete unterqueren, sodass es möglich ist, die Verbraucher sehr effizient mit Erdwärme zum Heizen und Kühlen von Wohnungen, Büros und Gewerbebetrieben zu versorgen.

Zurzeit existieren zwei Verfahren, um Tunnel zur Gewinnung von Erdwärme zu nutzen: das hydrogeothermische Verfahren und die sogenannte Absorbertechnologie.

Beim hydrogeothermischen Verfahren wird das in den Tunnel fließende Bergwasser in Rigolen gesammelt, zum Tunnelportal geführt und so als Wärmequelle genutzt. Die auf hydrogeothermischem Weg gewonnene Energie stellt im Grunde ein »Nebenprodukt« der aus tunnelstatischer Sicht erforderlichen Drainage zum Abbau des auf die Tunnelschale wirkenden Wasserdrucks dar. Hydrogeothermische Anlagen sind somit eher an tiefe Tunnel, z.B. im alpinen Bereich, angeschlossen und nicht an oberflächennahe Tunnel wie sie beispielsweise für Infrastrukturmaßnahmen im städtischen Bereich zum Einsatz kommen. Die Mächtigkeit der Felsüberdeckung sowie

Zukünftige Herausforderungen an die Ingenieure im Bauwesen

Werner Lang

»Die Zukunft ist [...] die Folge der Entscheidungen, die wir heute treffen.« (Franz Alt)

Die zukünftige Rolle der Ingenieure im Bauwesen lässt sich über einen längeren Zeitraum hinweg nicht im Detail voraussagen. Anhand der gegenwärtigen Herausforderungen und Trends zeichnen sich allerdings bereits heute Entwicklungen deutlich ab, die die Aufgabenfelder der Ingenieure in Zukunft stark prägen werden. Hierzu gehören u.a. die von der Expertenrunde des »Millennium Project«¹ beschriebenen »15 Global Challenges« sowie die von den Vereinten Nationen definierten »17 Sustainable Development Goals« für eine nachhaltige Entwicklung². Zu den hier angesprochen Herausforderungen zählen beispielsweise die wachsende Weltbevölkerung und die damit im Zusammenhang stehende Frage, wie sich trotz des daraus resultierenden stark zunehmenden Ressourcenverbrauchs künftig eine nachhaltige Entwicklung erreichen lässt. Als die erstgenannten drei Ziele – ausgehend von den Grundbedürfnissen des Menschen – sind die Bekämpfung von Armut und von Hunger sowie die Sicherstellung eines gesunden Lebens für alle Menschen jeden Alters definiert. Dies sind Forderungen, deren Erfüllung unmittelbar mit der Bereitstellung von Energie, Wasser, Schutz und Sicherheit verknüpft sind – gewährleistet durch Gebäude und die zugehörige Infrastruktur. Hierbei handelt es sich um zentrale Aufgabenfelder, die direkt mit dem Wissen und Können der Ingenieure im Bauwesen verknüpft sind.

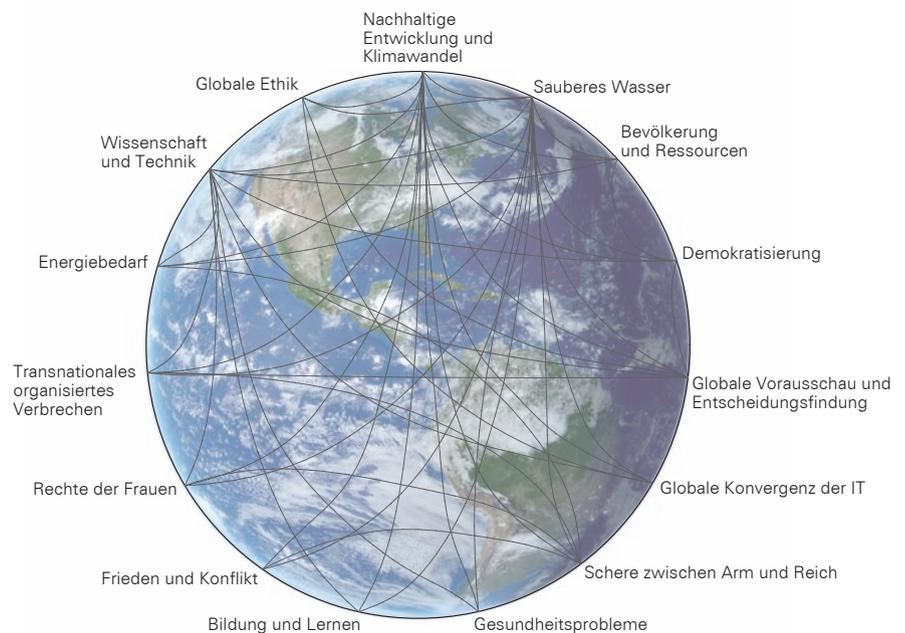
Abgeleitet von dem lateinischen Wort »ingenium« sind Ingenieure mit einer schöpferischen Begabung und Erfindungsgabe ausgestattet, die sie – begleitet von technischem Fachwissen und Erfahrung in der Umsetzung – in die Lage versetzt, Lösungsansätze zur Bewältigung der

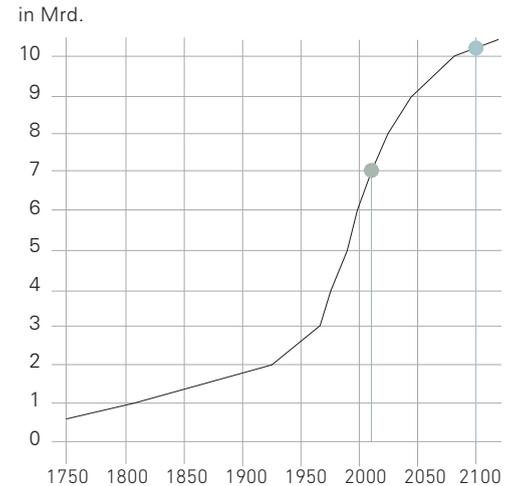
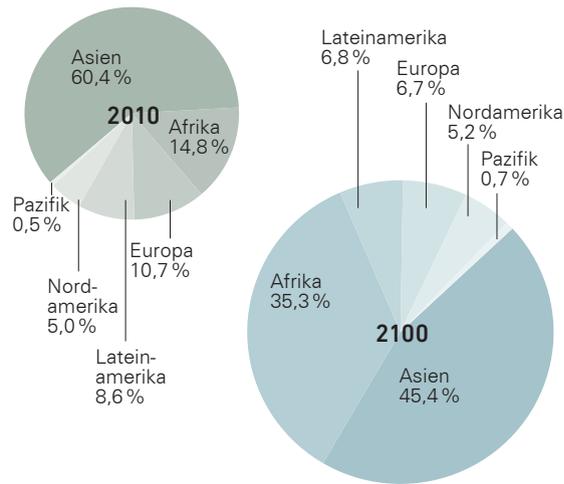
globalen Aufgaben zu entwickeln und umzusetzen. Aufgrund gesellschaftlicher und politischer Veränderungen unserer Gesellschaft sind sie gefordert, sich in noch viel stärkerem Maße als bisher aktiv an der Entscheidungsfindung zur Umsetzung entsprechender Maßnahmen zu beteiligen.

Im Sinne des 1750 von JOHN SMEATON geprägten Begriffs des »civil engineer« sind es gerade die (Zivil-)Ingenieure im Bauwesen, die nachhaltige Lösungen zur Sicherung unseres Wohlergehens und unserer gemeinsamen Zukunft auf der Basis eines nachhaltigen, ökologisch orientierten Handelns entwickeln und umsetzen müssen.

¹ Das Millennium Project wurde 1996 von United Nations University (UNU), Smithsonian Institution, Futures Group International und dem American Council for the UNU gegründet. Es besteht aus einer unabhängigen, gemeinnützigen Expertenkommission (Think Tank), der Zukunftsforscher, Wissenschaftler, Wirtschaftsexperten und politische Entscheidungsträger angehören, die für internationale Organisationen, Regierungen, Unternehmen, NGOs und Universitäten arbeiten. www.millennium-project.org (abgerufen am 01.08.2017)

² www.un.org/sustainabledevelopment (abgerufen am 30.07.2017)





³ www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/22/Meldung/hoher-energieverbrauch-des-gebäude-sektor.html (abgerufen am 31.07.2017)

⁴ www.eia.gov/outlooks/ieo/buildings.php (abgerufen am 31.07.2017)

⁵ International Energy Agency (Hrsg.): World Energy Outlook 2009. Paris 2009

⁶ Diana Ürg-Vorsatz u.a.: Mitigating CO₂ Emissions from Energy Use in the World's Buildings. In: Building Research & Information. Special Issue: Climate Change – National Building Stocks, 04/2007, S. 379–398

⁷ Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012, Europäische Kommission, Brüssel 2016. http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF (abgerufen am 01.08.2017)

⁸ www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/9.0_Buildings.pdf (abgerufen am 9.6.2014)

⁹ Heinrich Matthias: Material Flows of the German Building Sector. In: Francesco Di Maio u.a. (Hrsg): HISER International Conference. Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste. Delft 2017, S. 302–305

¹⁰ www.bmub.bund.de/themen/nachhaltigkeit-internationales/nachhaltige-entwicklung/strategie-und-umsetzung/reduzierung-des-flaechenverbrauchs/ (abgerufen am 01.08.2017)

Links Die 15 globalen Herausforderungen bieten einen Rahmen für die Bewertung der globalen und lokalen Perspektiven für die Menschheit.

Oben links Verteilung der Weltbevölkerung im Vergleich

Oben rechts Bevölkerungsentwicklung seit Beginn der Industrialisierung bis 2100 (geschätzt)

Die ausreichende Versorgung mit sauberem, gesundheitlich unbedenklichem Trinkwasser – und damit verbunden hygienischen Lebensverhältnissen zur Bekämpfung wiederkehrender bzw. neuer Krankheiten – ist seit der Mitte des 19. Jahrhunderts weltweit eine der größten Herausforderungen. Ingenieure nahmen von Anfang an eine zentrale Rolle in diesem Bereich der Wasserver- und -entsorgung ein, ohne die weltweit ein gesundes Leben nicht möglich ist. Die konkret mit dem Bauwesen in Verbindung stehenden Themen sind, bezogen auf Deutschland, an erster Stelle der Energiebedarf und der Ressourcenverbrauch – nachhaltige Konsum- und Produktionsverhältnisse mit einschlossen. So werden beispielsweise derzeit in Deutschland rund 40 % der Endenergie im Gebäudebereich eingesetzt.³ Auf globaler Ebene liegt dieser Wert mit ca. 20 %⁴ zwar momentan noch deutlich niedriger, doch bei einer derzeitigen Zuwachsrate von jährlich 1,5 % und einer weiterhin anwachsenden Weltbevölkerung ist in den nächsten Jahrzehnten mit einem drastischen Anstieg des gebäudebezogenen Endenergiebedarfs zu rechnen. Noch höhere gebäudebezogene Anteile am Ressourcenverbrauch finden sich im Stromsektor. Derzeit entfallen rund 60 % des globalen Strombedarfs auf den Gebäudebereich.⁵

Schon allein diese wenigen Zahlen zeigen, dass das Bauwesen hinsichtlich der Lösung des globalen Ressourcen- bzw. Energieproblems eine Schlüsselrolle einnimmt. Dies gilt auch für den hiermit unmittelbar in Verbindung stehenden, stark anwachsenden Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgas-Emissionen. So entfällt derzeit rund ein Drittel der globalen CO₂-Emissionen auf den Gebäudesektor.⁶ Ingenieure im Bauwesen sind bereits heute aufgerufen, Lösungen zu einer spürbaren Steigerung

der Energieeffizienz zu entwickeln und umzusetzen, um den von der Europäischen Kommission ab 2020 geforderten Niedrigstenergiestandards⁷ zu erreichen und den verbleibenden Bedarf mittels möglichst ausschließlicher Nutzung erneuerbarer Energien wie z.B. Geothermie, Wind und Sonne abzudecken.

Mit einem Anteil von ca. 40 % am weltweiten Abfallaufkommen ist das Bauwesen besonders in der Pflicht, Lösungen für Herausforderungen wie die Umsetzung von komplett geschlossenen Materialkreisläufen und den Einsatz von nachwachsenden Materialien im Bauwesen voranzutreiben.⁸ Allein in Deutschland kommen derzeit jährlich rund 450 Millionen Tonnen (ca. 5,6 Tonnen/Person) an mineralischen Rohstoffen (z.B. Kies und Sand etc.) und mehr als 15,5 Millionen Tonnen (194 Kilogramm/Person) an Metallen (z.B. Stahl, Aluminium und Kupfer) für den Erhalt und den Neubau von Gebäuden zum Einsatz.⁹ Das zeigt, welcher enormen Aufgabe wir uns stellen müssen, um der Forderung, im Bauwesen nachhaltige Konsum- und Produktionsverhältnisse sicherzustellen, in naher Zukunft gerecht zu werden.

Darüber hinaus werden in Deutschland täglich rund 66 Hektar als Siedlungs- und Verkehrsflächen neu ausgewiesen,¹⁰ die damit für andere Aufgaben wie Nahrungsproduktion, Bereitstellungsraum oder Wasserspeicherung nicht mehr zur Verfügung stehen. Eine Analyse des derzeitigen Ressourcenverbrauchs zeigt, dass die global vorhandenen Land- und Wasserflächen für eine nachhaltige Sicherung des heutigen, in Industrienationen üblichen Lebensstandards nicht ausreichen, um die Grundversorgung aller Menschen weltweit mit Nahrung, Wasser, Energie, Kleidung und anderen Konsumgütern sicherzustellen. So übersteigt der durchschnittliche ökologische Fußabdruck¹¹ mit rund 5,5 glo-

Ingenieurverzeichnis

Die Auswahl der hier vorgestellten (und nicht mehr beruflich aktiven) Ingenieure und Persönlichkeiten steht im Zusammenhang mit der Darstellung der Entwicklung des Berufsbildes in der gleichnamigen Ausstellung »Visionäre und Alltagshelden«. Das Land weist dabei nicht auf die Herkunft sondern auf die Länder, in denen sie gewirkt haben.

Othmar Ammann

1879 – 1965, USA

Der Schweizer OTHMAR AMMANN reiste nach seinem Studium zur Weiterbildung in die USA. Dort wurde er zu einem der bedeutendsten Brückenbauer. Ab 1912 arbeitete er mit dem einflussreichen Brückenspezialisten GUSTAV LINDENTHAL zusammen. 1925 wurde AMMANN Chef der New Yorker Hafenbehörde. Sein endgültiger Durchbruch gelang ihm mit der George Washington Bridge. AMMANN prägte das heutige Erscheinungsbild New Yorks, doch sein Einfluss ging weit über die Stadt hinaus. So war er als Berater auch beim Bau der Golden Gate Bridge in San Francisco involviert. Bereits im Ruhestand gründete er mit CHARLES WHITNEY erneut ein Ingenieurbüro und setzte sich mit der Verazano Narrows Bridge kurz vor seinem Tod endgültig ein Denkmal.

Ove Nyquist Arup

1895 – 1988, England

OVE ARUP war ein kritischer Geist und kämpfte für einen offenen Dialog zwischen Architektur und Ingenieurwesen. Er wuchs in Deutschland auf und studierte in Dänemark Philosophie und Bauwesen. 1923 ging er nach London. Er realisierte gemeinsame Projekte mit Berthold Lubetkin und machte sich für

die Verwendung von Stahlbeton stark. Bereits vor dem Zweiten Weltkrieg befasste er sich für die britische Regierung mit Schutzbauten und dem Fertighausbau. 1946 gründete ARUP sein Ingenieurbüro, das sich noch zu seinen Lebzeiten zu einem international tätigen Konzern entwickelte. Weltweite Berühmtheit erlangte er durch seine Beteiligung am Sydney Opera House, dem Centre Pompidou und der Hongkong and Shanghai Bank.

Sir Benjamin Baker

1840 – 1900, England

Seine ersten Erfahrungen sammelte BAKER in einem Eisenwerk, dann macht ihn SIR JOHN FOWLER in London zu seinem Assistenten. Die beiden arbeiteten eng zusammen und bauten in London die erste U-Bahn. BAKER war ebenfalls beteiligt an dem Ozeantransport des 180 Tonnen schweren Obelisken Cleopatra's Needle von Ägypten nach England. Seit 1867 hatte BAKER sich bereits mit der Konstruktion weit gespannter Brücken beschäftigt und mehrere Schriften dazu veröffentlicht. Er entwickelte das Prinzip der Auslegerbrücke weiter, was die Grundlage für sein gemeinsames Meisterwerk mit FOWLER war: die Firth of Forth Bridge in Schottland. Sie markierte zugleich den Übergang von schmiedeeisernen zu stählernen Brücken.

Walther Bauersfeld

1879 – 1959, Deutschland

BAUERSFELD war ein herausragender Wissenschaftler, der viele Zweige der Technik beeinflusst hat. Er studierte

Maschinenbau und übernahm 1905 eine leitende Position bei Carl Zeiss Jena. Mehr als 100 Patente in den Bereichen Mikroskopie, Kino- und Beleuchtungstechnik sind mit seinem Namen verbunden. Sein Karrierehöhepunkt war die durch OSKAR VON MILLER angeregte Erfindung des Projektions-Planetariums. Für den Bau der Kuppel arbeitete er eng mit FRANZ DISCHINGER von Dyckerhoff & Widmann zusammen. Das gemeinsame Projekt führte zur Entwicklung der weltweit erfolgreichen Zeiss-Dywidag-Schalenbauweise. BAUERSFELD lehrte in Jena und Stuttgart und blieb bis zu seinem Tod ein Mitglied der Geschäftsleitung von Carl Zeiss Jena.

Hermann Bay

1901 – 1985, Deutschland

HERMANN BAY studierte Bauingenieurwesen in Stuttgart. Die Begegnung und Zusammenarbeit mit EMIL MÖRSCH prägte seine Karriere. Wie sein Vorbild und Lehrer arbeitete und forschte er auf dem Gebiet des Stahlbetonbaus. BAY ging nach dem Studium zu Wayss & Freytag und verbrachte dort 54 Jahre seines Berufslebens. Er errichtete Kraftwerkbauten und Brücken wie die erste Spannbetonbrücke bei Ölde oder die Limburger Lahnbrücke. Er zeichnete verantwortlich für See- und Hafengebäude sowie große Verwaltungsgebäude für die BASF und Bayer Leverkusen. Zusätzlich zu seiner unternehmerischen Tätigkeit veröffentlichte BAY zahlreiche wissenschaftliche Abhandlungen. Eng verbunden ist sein Name mit der Schubtheorie im Betonbau.

Sir Joseph William Bazalgette

1819 – 1891, England

Mit seinem innovativen Abwassersystem leistete BAZALGETTE einen einzigartigen Beitrag für London und die Gesundheit der Bürger. Schon als Eisenbahningenieur sammelte er Erfahrungen bei der Entwässerung und Rückgewinnung von Land. Ab 1849 arbeitete der Ingenieur 40 Jahre lang im kommunalen Bereich an Londons Infrastruktur. BAZALGETTE baute über 80 Meilen gemauerte Abwasserkanäle unter der Stadt, mindestens 1000 Meilen Straßenkanäle sowie vier Pumpstationen. Teile seines vorausschauenden Systems werden noch heute genutzt. Mit dem »Thames Embankment« prägte BAZALGETTE auch das Gesicht von London. Er beriet als Experte viele weitere Städte und bildete einflussreiche Ingenieure im Gesundheitswesen aus.

Helmut Bomhard

*1930, Deutschland

In seiner 40-jährigen Schaffenszeit bei Dyckerhoff & Widmann hat BOMHARD den Betonbau geprägt. Er trat 1955 in das Unternehmen ein und arbeitete viele Jahre eng mit ULRICH FINSTERWALDER zusammen. Nach dessen Ausscheiden wurde er 1973 zum Direktor berufen. BOMHARD zeichnet für bekannte Bauwerke Deutschlands verantwortlich. Er war beteiligt am Bau der Münchner Paketposthalle und leitete 1986/97 den Wiederaufbau der Berliner Kongresshalle. In den 1970er-Jahren entwickelte er mit KARL SCHWANZER eine neuartige, hängende Spannbetonkonstruktion für den Bau der spektakulären Münchner BMW-Konzernzentrale. Nach seinem Rückzug aus dem Berufsleben blieb BOMHARD als beratender Ingenieur und Honorarprofessor in Dresden tätig.

Thomas Brassey

1805 – 1870, England

BRASSEY begann mit 16 Jahren eine Lehre im Vermessungswesen. Durch seine Anstellung im Büro von THOMAS TELFORD kam er auch mit dem Eisenbahnpionier GEORGE STEPHENSON in Kontakt. Dank dessen Vermittlung erhielt er 1835 den Auftrag für ein Viadukt und wurde fortan im Eisenbahnbau unternehmerisch tätig. Er beteiligte sich mit großem Erfolg an zahlreichen Eisenbahnlinien – zunächst in England, dann

auch auf dem europäischen Festland. Ein weiteres großes Projekt war seine über 1000 Meilen lange Streckenplanung einer Eisenbahn in Kanada. Brassey unterstützte stets die innovativen Ideen aufstrebender Ingenieure und förderte unter anderem auch ISAMBARD KINGDOM BRUNEL.

James Brindley

1716 – 1772, England

JAMES BRINDLEY gilt als Vater des britischen Binnenkanalnetzes. Er baute mit seinem Mitarbeiter JOHN SMEATON im 18. Jahrhundert in England die ersten künstlichen Kanäle für die Binnenschifffahrt, um Waren effizient zu transportieren. Damit war er ebenso wie der Straßenbauingenieur JOHN LAUDON MAC ADAM an den wesentlichen Voraussetzungen für die industrielle Revolution beteiligt. Der gelernte Mühlenbauer BRINDLEY verfügte nur über eine geringe formale Schulbildung. Er erwarb sich seine Kenntnisse in Technik und Maschinenwesen durch die Praxis: ein typisches Merkmal für das britische Ingenieurwesen dieser Zeit. Es wies eine ausgeprägte praktische Orientierung auf und hatte seine Wurzeln im Handwerk.

Samuel Brown

1776 – 1852, England

Der Marinekapitän und Ingenieur SAMUEL BROWN war einer der Pioniere auf dem Gebiet des Hängebrückenbaus in England. Er schuf eine Reihe von Kettenbrücken und meldete im Jahr 1817 ein Patent dafür an. Als Vorläufer für seine Bauten gelten die ersten neuzeitlichen Hängebrücken von JAMES FINLEY in Nordamerika. BROWNS bekannteste Brücke ist die 1819–1820 errichtete UNION BRIDGE mit einer Spannweite von 135 Metern. Anlässlich dieses Projekts entstand ein reger Austausch zwischen dem führenden Brückenbauer und dem anerkannten Ingenieur THOMAS TELFORD. Der analysierte BROWNS Konstruktion und nutzte diese Erkenntnisse beim Bau seiner Brücke über die Meerenge von Menai.

Sir Marc Isambard Brunel

1769 – 1849, USA/England

SIR MARC ISAMBARD BRUNEL war Architekt, Bauingenieur und Erfinder. Er wurde in der Normandie geboren, floh aber vor der französischen Revolution in

die Vereinigten Staaten. Dort wurde er Chefarchitekt von New York. 1799 ließ er sich in England nieder und erlangte Bekanntheit durch die Massenproduktion von Flaschenzugblöcken für die Royal Navy. Sein wichtigstes Projekt wurde aber der Bau des ersten Tunnels unter der Themse, der 1843 eröffnet wurde. Gemeinsam mit THOMAS COCHRANE entwickelte BRUNEL dafür ein neuartiges Tunnelbohrschild. Eine Innovation, die den Tiefbau entscheidend prägte. Von seinem umfangreichen Wissen profitierte auch sein berühmter Sohn ISAMBARD KINGDOM BRUNEL.

Isambard Kingdom Brunel

1806 – 1859, England

Der vielseitig begabte BRUNEL war getrieben von technischem Unternehmungsgeist. Die Grundlagen dafür legte sein Vater MARC ISAMBARD BRUNEL, der den Sohn schon früh in Technik und Mathematik unterrichtete. Bereits 1829 entwarf der junge BRUNEL für einen Wettbewerb die berühmte Clifton Suspension Bridge. Der Bau wurde jedoch erst nach seinem Tod fertiggestellt. Als Chefingenieur der Great Western Railways avancierte er zum Pionier des modernen Eisenbahnwesens. BRUNEL baute in England mehr als 1500 km Eisenbahnlinie einschließlich Viadukte, Bahnhöfe und Tunnel und führte erfolgreich eine größere Spurweite ein. Er entwarf außerdem drei visionäre Ozeandampfer und festigte damit seinen Ruf als genialer Konstrukteur.

Félix Candela

1910 – 1997, Spanien/Mexiko

CANDELA war studierter Architekt und Ingenieur mit einer großen Leidenschaft für Mathematik. Der in Madrid geborene CANDELA ging nach dem spanischen Bürgerkrieg 1939 ins mexikanische Exil. Dort entwickelte er sich zum Spezialisten für den Betonschalenbau. Er zweifelte vorherrschende Richtlinien an und fand durch neue Berechnungsmethoden das optimale Verhältnis zwischen Gewicht und Festigkeit. Etwa 900 Bauten gehen auf ihn zurück – darunter so zeitlose Schöpfungen wie das Restaurant »Los Manatales« in Mexiko-Stadt. 1971 ging CANDELA als Professor für sieben Jahre nach Chicago, bevor er nach Madrid zurückkehrte. Seine letzte Schaffensperiode war vor allem von Bauprojekten im Ausland geprägt.

Impressum

PUBLIKATION

Die Publikation erscheint anlässlich der Ausstellung »Visionäre und Alltagshelden. Ingenieure – Bauen – Zukunft« im Oskar von Miller Forum, München

Herausgeber Werner Lang, Cornelia Hellstern

Mit Beiträgen von Bill Addis, Bill Baker, Kai-Uwe Bletzinger, Annette Bögle, Dirk Bühler, Fritz Busch, Roberto Cudmani, Christian Dehlinger, Cengiz Dicleli, Jörg E. Drewes, Stephan Freudenstein, Margot Fuchs, Christoph Gengnagel, Knut Göppert, Carl-Christian Hantschk, Jan Knippers, Achim Menges, Gerhard Müller, Roland Pawlitschko, Nina Rappaport, Peter Rutschmann, Joachim Scheuren, Wilhelm Vossenkuhl, Stefan Winter, Thomas Wunderlich

Einführende Texte/Projektbeiträge Werner Lang, Cornelia Hellstern, Ursula Kleefisch-Jobst, Peter Köddermann

Ingenieurverzeichnis Claudia Gabriel

Redaktionelle Mitarbeit Johanna Christiansen, Isabelle Krier-Michaeli (Projektleitung Ausstellung), Natalie Muhr, Jana Rackwitz, Eva Schönbrunner

Lektorat Sandra Leitte, Valley City

Übersetzung aus dem Englischen Johanna Christiansen (Beitrag Nina Rappaport), Roland Pawlitschko (Beitrag Bill Addis)

Grafische Gestaltung Cornelia Hellstern

Zeichnungen Theresa Tölle

Koordination im Verlag Steffi Lenzen

Herstellung/DTP Roswitha Sieglar

Reproduktion Ludwig:media, Zell am See

Druck und Bindung Kessler Druck + Medien, Bobingen

Die für dieses Buch verwendeten FSC-zertifizierten Papiere werden aus Fasern hergestellt, die nachweislich aus umwelt- und sozialverträglicher Herkunft stammen.

© 2017, erste Auflage, DETAIL Business Information GmbH, München. www.detail.de

ISBN 978-3-95553-375-5 (Print)
ISBN 978-3-95553-376-2 (E-Book)
ISBN 978-3-95553-377-9 (Bundle)

Der Essay »Textiler Leichtbau – Entwicklung der Simulationsmethoden seit den 1970er Jahren bis heute« (Kai-Uwe Bletzinger, S. 66–70) basiert auf: Bletzinger, Kai-Uwe: Simulationsmethoden im textilen Leichtbau – Die Entwicklung seit 1972 und aktueller Stand. Bautechnik 92. 2015. Heft 11; S. 800–805. Copyright Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG. Reproduced with permission.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werks oder von Teilen dieses Werks ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts. Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek. Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

AUSSTELLUNG

Eine Ausstellung des Oskar von Miller Forums, München in Zusammenarbeit mit dem M:AI, Museum für Architektur und Ingenieurkunst, Nordrhein-Westfalen
10. November 2017 bis 14. Januar 2018
im Oskar von Miller Forum, München

OSKAR VON MILLER FORUM

Eine Bildungsinitiative der Bayerischen Bauwirtschaft für die Ingenieure im Bauwesen



Museum für Architektur und Ingenieurkunst
Nordrhein-Westfalen

Kurator Oskar von Miller Forum (OvMF), Werner Lang, Isabelle Krier-Michaeli, Cornelia Hellstern

Co-Kurator M:AI Museum für Architektur und Ingenieurkunst NRW, Ursula Kleefisch-Jobst, Peter Köddermann

Mitarbeiter Johanna Christiansen, Caroline Illinger, Klaus Mayer, Daniela Schäfer, Sabina Stangenberg, Rosemarie Nöhbauer (OvMF); Karen Jung, Timo Klippstein (M:AI)

Ausstellungsarchitektur Martin Sinken, sinkenarchitekten/Köln

Grafische Gestaltung Nane Weber, blick heben/Köln

Ausstellungsbau Clemens Moser, designbauwerk/Köln