Bauingenieur

Die richtungweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen

- **Ausbildung, Beruf, Karriere, Management**
- **Bemerkenswerte aktuelle Bauwerke**
- **Fachwissen**
- **Technikgeschichte**
- **Interna aus dem VDI**

Springer
VDI Verlag

Organzeitschrift VDI-Bautechnik

www.bauingenieur.de

VDI
BAUTECHNIK IM VDI
Unsere aktuellen Themen:
- Abbruch/Schadstoffsanierung
- Building Information Modeling (BIM)
- Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung
- Standsicherheit
- Wirtschaftlichkeitsberechnung
www.vdi.de/bau
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik
Fachbereich Bautechnik

Liebe VDI-Mitglieder, liebe Kolleginnen und Kollegen,
sehr geehrte Damen und Herren,

Dipl.-Ing. Peter Steinhagen
Vorsitzender des
VDI-Fachbereichs Bautechnik
Prokurist der Ed. Züblin AG,
Stuttgart

seit Juli liegt der Endbericht der Reformkommission „Bau von Großprojekten" des BMVI vor. Bundesminister Dobrindt betont im Vorwort, den damit verbundenen Arbeitsauftrag. Handlungsempfehlungen richten sich an Gesetzgeber, Regierung, Verwaltungen, Hochschulen, Verbände, Bauherren, Betreiber, Architekten, Planer und Unternehmen. Bauprojekte sollen künftig nicht mehr so spektakulär außer Kontrolle geraten wie aktuell einige Großprojekte. Die Empfehlungen sollen zügig umgesetzt werden und Wirkung entfalten.
Notwendige Bauprojekte stoßen häufig auf Akzeptanzprobleme in der Gesellschaft. Ist die Kommunikation unzureichend, treten regelmäßig Zeit- und Budgetüberschreitungen oder Qualitätsprobleme und Streit auf, braucht man sich darüber nicht zu wundern. Der gesamte Prozess *Planen und Bauen* muss besser werden, damit sich das ändert.
Das Statistische Bundesamt stellte 2013 fest, dass die Produktivität im Baugewerbe auf dem Niveau Anfang der 1990er-Jahre verharrte, während das übrige produzierende Gewerbe um 70 Prozent zulegte. Verbesserungspotenziale werden offenbar nicht so erschlossen wie in anderen Branchen, Ressourcen mitunter verschwendet. Kann sich das die Gesellschaft leisten? Wohl kaum, denn allein der Erhalt und Ausbau der Infrastruktur erfordert enorme Finanzmittel, um nur notwendigste Investition tätigen zu können. Es muss aber mehr getan werden, um die Substanz zu erhalten, Klimaschutzziele zu erreichen, Rohstoffressourcen zu schonen und dem demographischen Wandel gerecht zu werden. Aufgabe der gesamten Wertschöpfungskette Bau einschließlich der Verwaltungen ist es, Zuverlässigkeit, Qualität und Produktivität in ihren Prozessen so zu steigern, dass Finanzmittel optimal verwendet werden.
Die zunehmende Digitalisierung eröffnet dafür neue Möglichkeiten. Gewiss, es ist eine Herausforderung, Planungs-, Produktions- und Geschäftsprozesse immer mehr auf digitale Methoden umzustellen. Andererseits fördern vernetztes Arbeiten mit digitalen Werkzeugen wie Building Information Modelling (BIM) die Transparenz in Projekten und kooperatives Arbeiten. Bundesminister Dobrindt weist ausdrücklich darauf hin, dass der nachhaltige Projekterfolg oberstes Ziel aller sein soll. Kompetenzwettbewerb, frühe Einbeziehung ausführender Unternehmen, Partnerschaftliche Projektabwicklung und Lean Construction werden an Bedeutung gewinnen. Vergabeprozedere und Vertragsmodelle seien anzupassen oder neu zu entwickeln. Das alles ist nicht neu. Ähnliche Ansätze enthält das „Leitbild Bau" (2009), eine gemeinsame Initiative der Bauwirtschaft zur Zukunft des Planens und Bauens in Deutschland, die von der Bundesregierung begleitet wurde. Geändert hat sich in der Praxis wenig, wohl wegen der starken Fragmentierung der Wertschöpfungskette Bau und unterschiedlicher Interessen der Akteure. Das sollte sich nicht wiederholen. Mehr Mut zu Veränderungen, eine klare Strategie, Leadership und entschlossenes Engagement aller ist gefragt, um den von Bundesminister Dobrindt vorgestellten Aktionsplan umzusetzen
Der VDI-Fachbereich Bautechnik hat frühzeitig mit Initiativen wie „Partnerschaft am Bau" (2008 bis 2010), „Infrastruktur für unsere Zukunft, Akzeptanz und Legitimation durch Partizipation und Kommunikation" (2011 bis 2014), „Standards für BIM" (ab 2013) und „Lean Construction" (ab 2014) substanzielle Beiträge geleistet.
In den „BIM-Gremien" des VDI engagieren sich aktuell circa 75 ehrenamtliche Experten in neun Richtlinienprojekten. Es ist auch höchste Zeit, einige Länder sind uns weit voraus. So geht die Regierung Großbritanniens die Transformation der Bauwirtschaft seit mehr als einem Jahrzehnt strategisch und erfolgreich an. BIM ist dabei eines der Kernelemente. Mit unseren VDI-Initiativen liegen wir daher absolut richtig. Lassen Sie uns weiter mitgestalten!
Der Vorstand der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, der VDI-Fachbeirat Bautechnik und die Geschäftsstelle des VDI bedanken sich bei allen, die sich in Initiativen, Netzwerken, Richtlinienarbeit ehrenamtlich engagieren, herzlichst. Ein besonderer Dank gilt den Autoren dieser Jahresausgabe für ihre Beiträge aus dem ganzen Spektrum unseres Fachbereiches. Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Ihr Peter Steinhagen

Bauingenieur
ISSN 0005–6650
Jahresausgabe VDI-Bautechnik 2015/2016 der Fachzeitschrift „Bauingenieur"
Einzelheft-Verkaufspreis 35,- € inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten

Herausgeber
VDI-Fachbereich Bautechnik in der
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik
Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf

Redaktion
Dipl.-Ing. (FH) Frank Jansen, VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, Düsseldorf
bau@vdi.de bzw. www.vdi.de/bau

in Zusammenarbeit mit:
Prof. Dr.-Ing. Wilfried Clauß, IQ Realestate, Düsseldorf
Dipl.-Ing. Wolfgang Feldwisch, DB Netz AG, Frankfurt a. M.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte, Bergische Universität Wuppertal
Dipl.-Ing. Bernhard Hauke PhD, bauforumstahl e.V. Düsseldorf
Dipl.-Ing. Eva-Maria Hinkers, Arup GmbH, Düsseldorf
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann, Universität Stuttgart
Dipl.-Ing. Peter Steinhagen, Ed. Züblin, Stuttgart
Dipl.-Ing. Marcus Tschaut, Schüßler-Plan, München
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt, TU München

Verlag
Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Postfach 101139, 40001 Düsseldorf
Commerzbank AG, Düsseldorf, BLZ 300 800 00
Konto-Nummer: 02 121 724 00
SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300
IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

Geschäftsführung
Christian W. Scheyko

Projektkoordination
Heike Weßel

Layout
Alexander Reiß

Druck
KLIEMO printing, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Anzeigen
Verlagsbüro Sven Pachinger
Tel. 0521 / 977 998–80
Fax 0521 / 977 998–90
sven.pachinger@verlagsbuero-pachinger.de

Copyright
Diese Publikation und alle in ihr enthaltenen Beiträge
und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

Jahresausgabe 2015 / 2016 des VDI-Fachbereichs Bautechnik

Teil I Ausbildung, Beruf, Karriere, Management

7 **W. Sobek**
Die elektrische Stadt

13 **N. Oberbeck, H. Werkle**
Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Bachelor-Studium des Bauingenieurwesens an Hochschulen für angewandte Wissenschaften

19 **P. Gautier, J. Zerhusen**
Pflichten des Architekten in Bezug auf die Werkstatt- und Montagepläne der ausführenden Unternehmen und die Schalpläne des Tragwerksplaners

27 **M. Thomzik**
Denkschrift zum Innovations- und Facility Management

Teil II Bemerkenswerte aktuelle Bauwerke

32 **P. Hilbert**
Die Dresdner Waldschlößchenbrücke

38 **B. Hauke**
Innerstädtischer Neubau des Stockholm Continental

41 **K. Morgen, F. Hilgenstock**
Die Feste Fehmarnbeltquerung

47 **M. Schreyer, Ch. Wörner, B. Schütt**
Das BIM-Pilotprojekt Filstalbrücke – Modellbasierte Zusammenarbeit zwischen Bauherr und Bauunternehmer

56 **S. Schröther**
Schrägseilbrücke Raunheim: effektiv, partnerschaftlich und innovativ gebaut

62 **M. Frahm, L. Langer**
Tunnelbau im Karst – Erfahrungen beim Bau des Steinbühltunnels

69 **St. Böhling, B. Klaas, T. Socher**
Der Stahlbau der Elbphilharmonie

Teil III Fachwissen

79 **M. Curbach, J. Stritzke, S. Scheerer**
Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens und der Erfolgsgeschichte des Dresdner Brückenbausymposiums

87 **R. Harte, D. Placzek, C. Pohl, K. Stopp, B. Titze, F. Wehr**
Interaktion von Boden und Bauwerk bei großflächigen Plattengründungen – Monitoring und Simulation

95 **G. Jösch**
Bauen mit Mietsystemen und Raummodulen

101 **K. Nübel, A. Geiss, F. Sommer, M. Pielmeier, M. Heinrich, B. Rehfeld**
Produktionsplanung und Produktionssteuerung im Spezialtiefbau
Prozessorientierter Ablauf von Bauprojekten im Spezialtiefbau

108 **A. Blickle, H. Karstedt, A. Paulitsch, J. Teizer, M. Müller**
SmartSite: Smarte Technologien für den intelligenten Straßenbau

Inhalt

112 **J. Wurm, G. Carra**
Innovative Fassadenfertigteile aus Bioverbundwerkstoffen

114 **B. Hauke, R. Siebers, M. May, H. Girkes, F. Olitzscher, W. Wiegel**
Lochstegträger als wirtschaftliche Dachbinder

120 **R. Kocker**
Der Einfluss von nachgiebigen Rahmen auf Dimensionierung und Fertigung von Hallentragwerken

124 **R. Sutter, P. von Eichel-Streiber**
Das Land Baden-Württemberg als Gebäudeeigentümer und Bauherr – aktuelle Herausforderungen zur Nachhaltigkeit und zum Klimaschutz

128 **J. Teizer, J. Melzner**
Sicherheitstechnische Planung von Hoch- und Ingenieurbauprojekten mithilfe von Bauwerksinformationsmodellen (BIM)

136 **J. Bredehorn, M. Helmus, P. Jehle, A. Kelm, J. Kortmann, L. Laußat, A. Meins-Becker, U. Rüppel, S. Wagner, U. Zwinger**
BIM-basiertes Bauen mit RFID: Nutzung von konsistenten Informationen für RFID-gesteuerte Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsprozesse

140 **S. Haghsheno, M. Binninger, J. Dlouhy**
Wertschöpfungsorientierte Planung und Realisierung von Bauvorhaben durch Lean Construction

145 **H. Bastert**
Verbesserung der Prozessqualität beim Planen und Bauen – Das neue DBV-Merkblatt „Qualität der Planung"

149 **K. Kessoudis, J. Lodewijks, U. Rickers**
Digitalisierung im Bauwesen – die internationale Lake Constance 5D-Conference

Teil IV Technikgeschichte

153 **H. Beiche**
Vom Weg unter der Themse zur Durchbohrung der Alpen – Der spektakuläre Durchbruch der Tunnel in der Technik und Gesellschaft des 19. Jahrhunderts

Teil V Interna aus dem VDI

162 **F. Jansen**
Interna aus dem VDI

Titelbild: Heydar Aliyev Center, Baku, Entwurf: Zaha Hadid.

Der Gebäudekomplex umfasst ein neues Nationalmuseum, eine Bibliothek und einen Konzertsaal. Die komplexe Geometrie des Gebäudes und die geographische Lage der Baustelle waren zwei besondere Herausforderungen, der sich die Fassadenplaner von Werner Sobek stellen mussten.

Foto: hufton + crow, hertford

Lesen Sie auch den Beitrag von Prof. Sobek „Die elektrische Stadt", Seite 7-12.

Die elektrische Stadt

W. Sobek

Am 4. Juli 2015 wurde Prof. Werner Sobek in der Staatsgalerie Stuttgart der renommierte Fritz-Leonhardt-Preis verliehen. Anlässlich der Preisverleihung hielt Werner Sobek einen Festvortrag mit dem Titel „Die elektrische Stadt". Der folgende Text ist das leicht gekürzte Manuskript dieser Rede.

Bild 1. Preisträger des Fritz-Leonhardt Preis 2015: Prof. Dr. Dr. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek

„Ich möge anlässlich der Preisverleihung über einige Aspekte meines Schaffens sprechen, wurde ich gebeten. Ich mache dies gerne. Ich betone dabei aber gleich zu Anfang, dass mein Schaffen nicht isoliert von gesamtgesellschaftlichen Entwicklungen gesehen werden kann. Ganz im Gegenteil, es stand schon immer und steht zunehmend mehr in einer engen Wechselwirkung mit der uns umgebenden *Sphaira*, also mit der Welt, die uns beeinflusst – die wir aber auch durch unser eigenes Handeln wesentlich beeinflussen. Über diese Einflüsse und die daraus resultierende Verantwortung möchte ich heute sprechen.

Prof. Dr. Dr. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek
Albstr. 14
70597 Stuttgart

Ich möchte hier auch über Werte sprechen. Werte, die unserem gesellschaftlichen Sein und Handeln Grundlage geben, Werte, die das Grundmuster dessen beschreiben, auf dem wir als Architekten und Ingenieure, als Gestalter, als Bauschaffende aufsetzen. Werte, die Grundlage meines Schaffens sind. Wir werden über die dramatischen Veränderungen in unserer Welt zu sprechen haben und die daraus resultierende Notwendigkeit einer radikalen Veränderung unseres Handels im Generellen, aber auch des Handelns der Bauschaffenden im Speziellen. Ich möchte Ihnen heute aber vor allem einen Einblick geben in mein persönliches Denken und in die Welt, in der ich mich bewege. Insofern ist dies von nun an eine sehr persönliche, nur Ihnen gewidmete Vorlesung.

Ich habe mein ganzes Leben der Suche nach dem Schönen gewidmet. Ich habe das Schöne als Jugendlicher in der überbordenden Vielfalt, im Reichtum der Formen, der Farben und der Materialien gesucht und – lange Zeit später – schließlich im Einfachen gefunden. Ich habe mich am Einfachen abgearbeitet und bin schließlich beim Minimalen angekommen. Ich habe das Minimale untersucht und ausgelotet. Und bin schließlich auf die Suche nach dem Nichts gelangt.

Ich bin Gestalter. Aber um das gestalten zu können, was ich tue, benötige ich eine große wissenschaftliche, eine ingenieurwissenschaftliche Basis. Eine Klaviatur aus wissenschaftlich abgesicherten, wohlabgestimmten Tasten, auf denen es eine Melodie, ein Gebäude, ein Bild zu komponieren, zu entwickeln gilt. Als so ein Gestalter denke ich in Bildern, in häufig nur erahnten räumlichen Kompositionen aus Material, aus Farbe und Licht, aus Klängen, aus Gerüchen. Als Gestalter denke ich in häufig nicht in Worte fassbaren, vielleicht nur unscharf skizzierbaren Welten. In diesen Welten, in diesem Meer der – zumindest anfänglichen – Unschärfen bilden die Wissenschaften meine festen Inseln. Die Inseln meiner vermeintlichen Gewissheiten. Ich schwimme zu ihnen, von einer zur anderen. Dazwischen, ohne sie, bin ich – als Gestalter – verloren.

Als Wissenschaftler denke ich in mathematisierbaren Zusammenhängen, Strukturen und Systemen. Ich denke in vermeintlich durch feste Regeln und Erkenntnisse konditionierten Sphären, in Prozeduren, die versprechen, die Wahrheit, das Richtige hervorzubringen. Und dennoch: Trotz aller Ratio und suggerierten Sicherheit konnte mich die Wissenschaft allein nie ganz befriedigen, mir nie das Gefühl geben, auf sicherem Pfad zu sein. Gibt es doch Dinge wie ein tiefes, aufrührendes Rot, das unsere Seelenstimmung innerhalb von Sekunden umzustürzen vermag, gibt es doch Melodien, die uns zum Weinen bringen oder die Bilder Cézannes von der Montagne Saint-Victoire...

Allesamt erzählen diese Dinge von einem verzauberten Land, einem Land, das jenseits jeder Wissenschaft liegt. Dieses Land wurde meine Heimat. Erst dieses Land schenkte meiner Sicht der Welt – neben dem der Wissen-

schaft – einen zweiten Blickwinkel – und damit die Dimension der Tiefe. Diese Tiefe gilt es auszuhalten. Ist sie doch nichts anderes als der Spagat zwischen Wissenschaft und Kunst, zwischen Deduktion und Induktion, zwischen dem wissenschaftlich ausgebildeten Ingenieur, dessen Tun traditionell darin liegt, die Dinge auseinanderzunehmen, zu analysieren und zu erklären, und dem Gestalter, der das Unbekannte, das Unbewusste, das noch-nicht-Gedachte, das noch-nicht-Beschreibbare in einem Entwurfsprozess herauskondensieren und in etwas zu Bauendes überführen muss.

Also ein Spagat zwischen dem Wissenschaftler, dem Ingenieur, der immer davon ausgehen kann, dass etwas ist – und dem Gestalter, der immer von dem ausgehen muss, was noch nicht ist... Dieses Spannungsfeld, die festen Inseln und das Meer des Unbekannten, aus dem es die Probleme unserer und der zukünftigen Zeit herauszuerkennen gilt und Lösungsvorschläge im Sinne eines Beitrages für alle zu erarbeiten, für die Elenden wie für die, die gerade auf der Sonnenseite stehen, das ist mein Leben.

Der Wissenschaftler, der immer davon ausgehen kann, dass etwas ist – und der Gestalter, der immer von dem ausgehen muss, was noch nicht ist...

Traditionell denkt man, das eine macht der Ingenieur und das andere macht der Architekt. Dass zum Gelingen des Ganzen die enge Kooperation der beiden zwingende Voraussetzung ist, wird von jedermann konzessioniert. Und doch wissen wir alle, dass die getrennten Ausbildungsgänge der beiden Berufsgruppen, getrennt entwickelte Sprach- und Wertewelten sowie eine daraus resultierende räumliche und mentale Trennung der am Bau Beteiligten dazu führen, dass das Werk am Ende zwar stehenbleibt, faktisch aber zumeist nicht richtig gelingt. Unsere gebaute Umwelt steht voll von nicht richtig Gelungenem.

Das Problem der Ausbildung wird im täglichen Leben dadurch verschärft, dass das Bauwesen die einzige Industrie signifikanter Größenordnung darstellt, bei der Planung und Produktion voneinander getrennt sind. Und bei der deshalb Erfahrungen und Rückmeldungen aus der Betriebsphase, aus Um- oder Abbauprozessen nicht an die Produktionsseite oder gar die Planerseite zurückgegeben werden. Wir haben es also mit einer Branche zu tun, die nicht nur ihren Nachwuchs streng nach Disziplinen getrennt ausbildet, sondern die auch einen einzigartigen, unidirektionalen Informationsfluss pflegt.

Das ist der Status quo, der zu den leidlich bekannten Ergebnissen führt. Dieser Zustand ist nichts anderes als ein Trauerspiel. Er hat weder etwas mit Baukultur noch mit Kultur im Generellen zu tun. Baukultur umfasst die gesamte von Architekten und Ingenieuren geplante und deshalb zu verantwortende Umwelt. Und diese gebaute Umwelt bedingt in signifikanter Weise unser psychisches wie physisches Wohlbefinden, unsere Leistungsfähigkeit, unsere Gesundheit, unsere Seelenstimmung.

Wenn wir dies erkannt haben, dann müssen wir fragen, welche Bedingungen zu setzen, welche Verhältnisse zu ändern und welche zukünftigen Szenarien zu antizipieren sind. Meine Damen und Herren, sprechen wir also zunächst von dem, was ist.
Wie wir wissen, steht das Bauwesen heute für – jeweils circa 60 Prozent des Ressourcenverbrauchs, 50 Prozent des Massenmüllaufkommens, 35 Prozent des Energieverbrauchs, 35 Prozent der Emissionen. Aufgrund dieser großen Anteile am Gesamtproblem könnten selbst kleine Verbesserungen eine enorme Hebelwirkung entfalten. Aber wo bleiben diese Veränderungen? Die allgemeine Entwicklung des Bauschaffens reflektiert die vor uns liegenden Probleme bisher wenig bis gar nicht.

Ein Blick auf die Architektur: Das architektonische Schaffen hat sich nach dem von Stanley Tigerman ausgerufenen Ende des *International Style* zu Postmodernismus, Dekonstruktivismus, Biomorphismus, SuperDutch, Blob- und sonstigen Stilarten aufgemacht. Stilarten eben. Die Heroen der zeitgenössischen Architektur sprechen zum größten Teil immer noch nicht über Energie- oder Ressourcenverbrauch – denken Sie daran, dass das als *Birdnest* gefeierte Dach des Olympiastadions in Peking ungefähr 15 mal mehr an Stahl verbraucht hat als dies mit einer – ja, ich sage es so – klügeren Lösung der Fall gewesen wäre.

Ein Blick auf die Ingenieure: In den letzten Jahren hat sich die Berechenbarkeit der Dinge in unglaublicher Weise fortentwickelt. Nahezu alles wurde baubar. Ein Entwurfskonzept kann nicht schräg genug sein. *Anything goes* heißt die praktizierte Devise. Der in dieser Aussage versteckte Stolz verdeckt aber etwas: Das Fehlen eines ethisch übergeordneten Ziel- wie Handlungsrahmens. Wo früher noch *„Dem Schönen“* oder *„Dem Nützlichen“* oder *„Dem Guten“* über den Eingangstüren unserer Akademien stand, fehlen heute die Überschriften. Die Ausbildung wurde quasi von ethischen Normen befreit, sie wurde moralisch unverbindlich. Die den Studierenden vermittelten nicht-wissenschaftlichen Werte beschränken sich auf die Forderung nach Wirtschaftlichkeit. Der Satz „So etwas darf man nicht tun“ fällt in der akademischen Lehre nicht mehr. Auf solchem Boden kann keine Baukunst entstehen.

Angesichts des großen Ressourcenverbrauchs sowie des daraus resultierenden Müllaufkommens, wäre anderes Handeln angesagt. Angesichts der langsam ins Bewusstsein rückenden Bevölkerungsexplosion wäre anderes Handeln angesagt. Angesichts des signifikanten Beitrags des Bauwesens zum *Global Warming* wäre anderes Handeln angesagt. Weil die Hebelwirkungen des Bauschaffens bezüglich der Ressourcen-, Energieverbräuche wie der Emissionen so enorm sind und mir ein persönliches Nicht-Handeln unverantwortbar erschien, habe ich bereits im Jahr 1992 begonnen, Vorlesungen über recyclinggerechte Architektur zu halten. Im Jahr 2000 habe ich dann den Begriff Triple Zero eingeführt als eine Kennzeichnung, ja mehr, als eine Forderung an alles zu bauende, nämlich

> Zero fossil erzeugte Energie zu verbrauchen,
> Zero umweltschädliche Abgase abzugeben und
> Zero Müll während Bau, Um- oder Abbau zu hinterlassen.

Auch wenn diese Forderungen für viele zunächst unrealisierbar schienen, so sind sie doch in meinen Augen nach

wie vor der einzig gangbare Weg. Erlauben Sie mir hierzu bitte einige Erläuterungen. Die Fachleute unter uns wissen, dass wir kein Energieproblem haben. Denn die Sonne strahlt 10.000-mal mehr Energie auf die Erde ein als die Menschheit für alle ihre Funktionen benötigt. Darüber hinaus haben wir noch andere nachhaltige Quellen wie die Energie des Tidenhubs oder die Geothermie.

Die Probleme liegen also woanders: Erstens können wir noch nicht genügend erneuerbare Energie ernten. Zweitens haben wir noch nicht genügend Energiespeicher, um die Verschiebung zwischen Erzeugung und Nutzerbedarf zu puffern. Drittens fassen wir die Möglichkeit einer intelligenten Vernetzung unserer Gebäude immer noch nicht kraftvoll genug an, sondern verstecken uns lieber hinter administrativen und juristischen Hürden. Wir halten an der Gebäudeoberfläche als Systemgrenze fest, fordern für jedes Gebäude die gleiche Performance.

Darüber hinaus müssen wir ganz offensichtlich viel präziser sprechen, viel präziser differenzieren und viel radikaler denken als bisher. Denn es geht nicht darum, Energie zu sparen. Es geht darum, sofort auf fossil erzeugte Energie zu verzichten. Denn wir heizen das Erdklima durch einen zu langsamen Ausstieg aus den fossilen Energieträgern, seien es Pellets, Öl, Gas oder Kohle, noch viel zu lange auf.

Warum handeln wir so zaghaft, teilweise wenig konsequent? Sie mögen sagen: Haben wir denn nicht schon vieles erreicht? Lassen Sie mich hierzu folgendes festhalten: Die Energieeinsparverordnung hat dazu geführt, dass bei Neubauten der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser pro Quadratmeter und Jahr in den vergangenen vierzig Jahren um nahezu die Hälfte zurückgegangen ist. Ein Erfolg. Aber: Im selben Zeitraum hat sich die Wohnfläche pro Kopf verdoppelt. Der Energieverbrauch pro Kopf blieb also derselbe. Die Maßnahme hat also lediglich Schlimmeres verhindert, das Problem aber nicht einmal ansatzweise gelöst. Ein in einer Neubauwohnung lebender Mensch verbraucht heute genauso viel Energie wie vor 40 Jahren.

Zweitens: Betrachten wir die Bestandswohnbauten und damit das Gros unserer Wohngebäude.

Von den circa 40 Millionen Wohnungen und Wohnhäusern in Deutschland gelten circa 34 Millionen als energetisch sanierungsbedürftig. Die Bundesregierung hat im Jahr 2010 eine Initiative ergriffen, um den Bestandswohnungsbau innerhalb von 40 Jahren, also bis zum Jahr 2050, mit einer Rate von zwei Prozent jährlich energetisch zu sanieren. Unter energetischer Sanierung versteht man dabei eine Reduktion des Energieverbrauchs für Heizen und Warmwasser gegenüber dem Jahr 2010 um 80 Prozent.

Die beobachtete Sanierungsrate liegt bei circa 0,7 Prozent, also bei einem Drittel des angestrebten Wertes. Das bedeutet, dass wir für die energetische Sanierung unseres Wohnungsbestandes noch 120 Jahre benötigen. Warum nehmen die Menschen die angebotenen Lösungen nicht an? Sind es ökonomische Gründe? Hierfür spricht einiges.

Bei durchschnittlichen Kosten für Heizung und Warmwasser von 1.200 Euro jährlich bedeutet eine Reduktion des Energieverbrauchs um 80 Prozent eine Einsparung von 960 Euro jährlich. Selbst wenn man nun die Kosten für eine energetische Sanierung eines bundesdeutschen Durchschnittshabitats von 92 Quadratmetern mit viel zu niedrigen 500 Euro pro Quadratmeter ansetzt, dann bedeutet dies – Steuererleichterungen, Finanzierungskosten und ähnliches einmal außen vor gelassen – Sanierungskosten von 46.000 Euro und dementsprechend, bei 960 Euro jährlicher Einsparung, eine Amortisationszeit von knapp 48 Jahren. Ganz offensichtlich ein teures, schwerfälliges Instrument – und dennoch nach wie vor die Maxime unserer offiziellen Bemühungen zur Energieeinsparung.

Bild 2. Anlässlich der Preisverleihung hielt Werner Sobek einen Festvortrag mit dem Titel „Die elektrische Stadt".

Gäbe es nicht andere Lösungen? Ja. Wir könnten mit wesentlich einfacheren Mitteln wie zum Beispiel einer nachrüstbaren Gebäudeautomation Einsparungen von 20, 30 Prozent erreichen – ohne den ökologischen Ballast eines Wärmedämmverbundsystems. Und zu deutlich geringeren Kosten. Warum investieren wir unser Geld nicht lieber in eine Energiegenossenschaft, die damit Photovoltaikanlagen, Stromspeicher und ähnliches betreibt!? Wäre dies nicht ein Schritt ins postfossile Zeitalter, den jeder Bürger sofort gehen kann!?

Lassen Sie uns aber nicht über die Vor- und Nachteile einzelner Technologien sprechen. Ich fordere ein vollständiges Verbot des Emittierens von gasförmigem Abfall in die Umwelt ab, sagen wir, dem Jahr 2020. Das würde einen Handlungsdruck erzeugen, der einen Innovationsdruck bewirkt. Und es würde uns eine gesamtheitliche Perspektive aufzeigen, ein Ziel geben, die uns weiterbringen als alle bisher angedachten Einzellösungen.

Wenn wir dann noch eine zweite Forderung, nämlich die nach einer vollständigen Rezyklierbarkeit aller verwendeten Baumaterialien und Komponenten aufstellen, dann haben wir mit dem Verbot der Emission von gasförmigem Abfall in die Umwelt und dem Gebot der vollständigen Rezyklierbarkeit aller eingesetzten Baustoffe eindeutige Randbedingungen für das Bauwesen geschaffen – die meines Erachtens mit ein wenig Anstrengung bereits heute einzuhalten wären.

Meine Damen und Herren, sprechen wir nun von dem, was kommen wird. Von den heute auf der Erde lebenden 7,4 Milliarden Menschen sind zwei Milliarden jünger als 16 Jahre. Diese zwei Milliarden Kinder werden in den kommenden 16 Jahren von zu Hause ausziehen, nach einem Habitat, einem Arbeitsplatz, der zugehörigen Infrastruktur fragen. Eine zusätzliche Welt ist zu bauen, eine Welt für zwei Milliarden. Das bedeutet, die gesamte Welt von 1930, also Rom, Paris, Stuttgart, Berlin, Peking, der Suezkanal, die transsibirische Eisenbahn, ist noch einmal zur bestehenden Welt dazu zu bauen. Und das innerhalb von 16 Jahren.

Wenn also innerhalb der kommenden 16 Jahre zwei Milliarden Kinder von zu Hause ausziehen, haben wir pro Jahr für 125 Millionen Menschen einen Wohnplatz, einen Arbeitsplatz und die zugehörige Infrastruktur zu bauen. Ein finanzielles, ein Ressourcen- und ein Organisationsproblem. Wohnen, Arbeiten und Infrastruktur für 125 Millionen Menschen bedeutet, Deutschland mit seinen gut 80 Millionen Einwohner jedes Jahr 1,5-mal neu zu bauen. Jahr für Jahr.

Auf jeden Bürger unseres Landes entfallen nach einer Studie des wissenschaftlichen Dienstes des Deutschen Bundestages anteilig je circa 480 Tonnen Baustoffe. Jeder Bürger besitzt schließlich ein Stück Autobahn, Tunnel, Brücke, Oper, Kläranlage oder Kunstmuseum. Wollen wir für die genannten 125 Millionen Menschen jährlich nach deutschen Standard bauen, so müssen wir pro Jahr 60 Milliarden Tonnen Baustoffe herstellen, transportieren und verbauen (und irgendwann auch wieder entsorgen).

Ich übertrage die nicht vorstellbare Zahl von 60 Milliarden Tonnen Baustoff in ein memorierbares Beispiel, ein einfaches Bild. Würde man entlang des 40.000 Kilometer langen Äquators eine 30 Zentimeter breite Wand errichten, die 60 Milliarden Tonnen wiegen soll – wie hoch muss sie sein? Ja, 2.000 Meter. 40.000 Kilometer lang, zwei Kilometer hoch. Jahr für Jahr. Und wenn wir diesen 125 Millionen Menschen nicht einen deutschen Lebensstandard zubilligen, sondern lediglich den in der Flüchtlingshilfekonvention der Vereinten Nationen verankerten, wenn wir ihnen also nicht 46 Quadratmeter, sondern nur 4,5 Quadratmeter Wohnraum pro Person zubilligen, dann ist die Jahr für Jahr zu bauende Äquatorwand immer noch 200 Meter hoch. Auch dies ist nicht möglich, wenn man die dazu erforderlichen Stoffströme ansieht.

Die Entwicklung der Bevölkerungszahl war spätestens seit dem ersten Bericht des *Club of Rome* jedermann bekannt. Aber wir haben das Diagramm nicht verstanden. Nicht verstehen wollen. Wir haben die Nichtlinearität der Prozesse nicht verstanden. Dabei haben wir noch gar nicht an die heute bereits 60 Millionen entwurzelten, auf der Flucht vor Hunger und Krieg befindlichen Menschen gedacht. Allein in die Türkei sind in den vergangenen zwei Jahren nahezu zwei Millionen syrische Flüchtlinge geströmt. Die Türkei hat mit 80 Millionen Einwohnern ungefähr dieselbe Bevölkerungsanzahl wie Deutschland. Wären diese Flüchtlinge nach Deutschland gekommen, dann müsste allein Stuttgart 16.000 syrische Flüchtlinge aufnehmen und beherbergen.

Angesichts dieses Szenariums denken wir an das Diktum von Peter Sloterdijk in seiner Elmauer Rede, nach dem es wohl zur Signatur der Humanitas gehört, dass Menschen vor Probleme gestellt werden, die für Menschen zu schwer sind, ohne dass sie sich vornehmen könnten, sie ihrer Schwere wegen unangefasst zu lassen. Ich bin der Letzte, der resignieren würde. Aber, meine Damen und Herren, Albert Camus hat in seiner Dankesrede anlässlich der Verleihung des Nobelpreises für Literatur gesagt: „Keiner von uns ist groß genug für eine solche Sendung". Wir haben ja festzustellen, dass alle Weltklimagipfel der letzten Jahrzehnte nur ergebnislose Bemühungen und Absichtserklärungen waren. Man kann sie gerne wiederholen. Aber man sollte nichts mehr von ihnen erwarten.

Jetzt reden wir von einer Dekarbonisierung bis zum Ende des Jahrhunderts. Wieder eine neue Überschrift, wieder ein neues, wieder ein hinausgeschobenes Ziel. Eine Dekarbonisierung zum Ende des Jahrhunderts ist zu spät. Die USA haben das Kyoto-Protokoll bis heute nicht unterschrieben. Ich sage: Dann sollten wir diese Wege nicht weiter gehen. Meine Damen und Herren, es zeigt sich doch, dass wir mit dem bisherigen Vorgehen nicht in der Lage sind, die vorherzusehenden Probleme auch nur annähernd in den Griff zu bekommen. Und es gibt keinerlei Indiz dafür, dass dies ohne einen radikalen Wechsel überhaupt je der Fall sein wird.

Papst Franziskus sagt in seiner Enzyklika *Laudato si*: „Warum möchte man heute eine Macht, ein System bewahren, das in die Erinnerung eingehen wird wegen seiner Unfähigkeit einzugreifen, als es dringend und notwendig war?"

Ich denke, es bedarf eines anderen Weges. Es bedarf einer gesamtgesellschaftlichen Anstrengung ungeheuren Ausmaßes. Eine Anstrengung, die von unten entsteht. Die entsteht auf der Basis eines Informations- und Bewusstmachungsprozesses. Diese gesamtgesellschaftliche Anstrengung wird wahrscheinlich dadurch gekennzeichnet sein, dass man sich auf wenige, das menschliche Zusammenleben ermöglichende Grundwerte vereinbart. Diese werden nicht die Werte unserer sog. Ersten Welt sein. Denn deren Werteschemata haben an den Rand der Katastrophe geführt, vor der wir stehen.

Wahrscheinlich sind es einfache, einfach zu memorierende Werte, die das Leben in einer gemeinsamen Welt ermöglichen können: Die unbedingte Wertschätzung des anderen als eines Menschen von gleicher Würde. Und die Überführung des *homo mensura* Satzes in einen *natura mensura* Satz: Nicht der Mensch, nicht ein Gott, sondern die Natur ist das Maß aller Dinge. Viel mehr an Grundregeln benötigt man eigentlich nicht. Der Rest ist Ausschmückung. Sprechen wir also nun davon, wie mit der Situation umgegangen werden könnte.

Angesichts der Interdependenzen der Ereignis- und Handlungsstränge ist es eigentlich nicht zulässig. – aber wenn man sich trotzdem einmal nur auf das Bauwesen bezieht, dann werden die Anforderungen schnell klar:

- Es geht darum, mehr mit einem weniger an Material zu bauen. Leichtbau ist also das Gebot der Stunde.

- Es geht darum, alle Baustoffe in einen Recyclingprozess einzugliedern.
- Und es geht darum, ab sofort keinen gasförmigen Abfall mehr in die Atmosphäre zu emittieren.

Dies sind die technischen Randbedingungen. Wir brauchen aber mehr als nur diese technischen Randbedingungen. Es geht auch um unsere gesamtgesellschaftlichen Ziele. Diese müssen schnellstens entwickelt werden, auch wenn dies so schwer zu sein scheint, schließlich hat selbst eine reiche Stadt wie Stuttgart hat heute noch keine Idee davon, was einmal wie und mit welcher Form von gesellschaftlichem Miteinander auf den durch Stuttgart 21 freiwerdenden Gleisarealen geschehen soll.

Bild 3. Werner Sobek betonte, dass sein Schaffen schon immer und zunehmend mehr in einer engen Wechselwirkung mit der uns umgebenden Sphaira steht.

Wir erinnern uns: Der Architekturwettbewerb für den Bahnhof wurde 1997 entschieden. Seither ist nichts entstanden. Es gibt ein Bild des unterirdischen Bahnhofs, aber es gibt bis heute kein Bild der großen, oberirdisch neu zu bauenden Stadt. Wenn selbst ein so reiches und gebildetes Gemeinwesen wie Stuttgart nicht zum Diskurs in dieser – vergleichsweise einfachen – Frage willens und in der Lage ist, was wollen wir dann aus Kalkutta, Addis Abeba oder Kairo mit ihren viel größeren und komplexeren Problemen erwarten? Woher sollen die Konzepte, die Lösungen denn kommen?

Meine, unsere Kompetenz ist auf die Planung von Gebäuden und deren systemische Interaktion untereinander bzw. mit Mobilitätsträgern beschränkt. Bitte lassen Sie mich hierzu noch ein wenig sprechen. In unseren eigenen Arbeiten haben wir vor Jahren begonnen, einen Weg zu gehen, den man auch mit dem eingangs beschriebenen Triple Zero Prinzip umreißen kann.

Nachdem mir als junger Student klar wurde, dass ein verantwortetes Bauen für die Zukunft weder mit einer traditionellen Ingenieur- noch einer traditionellen Architekturausbildung allein machbar ist, habe ich beide Fächer studiert und dazu auch Vorlesungen über Flugzeugbau, Textiltechnik und Karosseriedesign gehört. Heute haben wir in unseren Büros ein interdisziplinär zusammengesetztes und aufeinander eingespieltes Team von Tragwerksplanern, Architekten, Produktdesignern, Maschinenbauingenieuren, Fassadenplanern, Softwareentwicklern, Haustechnikexperten und viele mehr. Erst diese Multikompetenz, die auf ein Arbeiten in integralen Planungsprozessen trainiert ist, erlaubt uns, das zu bauen, was wir bauen.

Für uns war immer klar, dass das geforderte „Weniger" nicht in eine Entsagungsästhetik oder in minderwertige Qualität entgleiten darf. Es geht vielmehr darum, bautechnische Innovationen so in die gestaltete Umwelt zu integrieren, dass Baukunst entsteht. Ist Architektur doch, mit Ernst Bloch gesprochen, nichts anderes als der Produktionsversuch menschlicher Heimat. Es geht um sorgsamen Umgang mit den Dingen. Es geht um Materialgerechtigkeit. Es geht um die Ehrlichkeit der Konstruktion. Um die Sinnhaftigkeit des Energiekonzeptes. Um die Angemessenheit einer Lösung. Es geht um die Erweiterung dessen, was ich als visuelle Architektur bezeichne, also das bisher praktizierte Entwerfen in Linien und Körpern, in geometrischen Erscheinungsformen, in Farben. Es geht um die dringend notwendige Erweiterung des architektonischen Schaffens um den Komplex des nicht-sichtbaren, also ein Entwerfen mit Düften, mit Oberflächenwahrnehmungen, mit Luftströmungen oder Feuchtefeldern. Nicht-visuelle Architektur. Ein Entwerfen für die anderen Sinne. Ein Blinder soll erkennen können, dass wir das Haus geplant haben.

In den vergangenen 15 Jahren haben wir diverse Entwicklungsträger geschaffen, die wesentlichen sind namentlich R128, D10, F87 und B10. Allesamt voll rezyklierbare Leichtbauhäuser, die keinen gasförmigen Abfall produzieren und die bis zum Doppelten ihres Energiebedarfs aus nachhaltigen Quellen erzeugen. Darauf aufbauend entwickeln wir nun verdichtete Einheiten von bis zu sechs Geschossen, die als Einzelmodule bestehende Gebäude ergänzen oder auch allein stehen können. Das bei unserem Projekt B10 am Stuttgarter Killesberg erstmals praktizierte Prinzip der Schwesterlichkeit – das heißt, dass zwei oder mehr Häuser sich automatisch und ohne Zutun der Bewohner über ihre zukünftige Energieproduktion und ihren zukünftigen Energieverbrauch verständigen und diese optimal aufeinander abstimmen – dieses Prinzip wird in unseren neuen Häusern selbstverständlich sein.

Gemeinsam können so alte und neue Häuser eine gesellschaftliche Norm erfüllen. Nämlich die, keine fossile Energie zu nutzen, keine Abgase zu emittieren. Mit dieser Aufhebung der Systemgrenze, die bisher immer die Oberfläche des einzelnen Gebäudes war, mit der Erweiterung der Systemgrenze auf eine Entität von mehreren, vielen Gebäuden, auf Energiegewinnungs- und -speicheranlagen, eröff-

nen wir eine Möglichkeit, die Energiewende doch noch, und zwar sehr schnell und zu sehr niedrigen Kosten zu schaffen. Die Werkzeuge für die Steuerung der einzelnen Elemente gibt es bereits. Wir verwenden hierfür zum Beispiel die Software des Stuttgarter Start-Up-Unternehmens alphaEOS, an dem sich mein Büro jetzt beteiligen wird. Denn meines Erachtens ist die Software, die dieses junge Unternehmen entwickelt hat, das Beste, was man derzeit auf der Welt bekommen kann.

Wir als Planungsbüro gehen diesen Schritt, weil wir sicher sind, dass der sofortige Ausstieg aus der fossilen Energie, sei sie gas-, kohle-, pellet- oder erdölbasiert, ein Gebot der Stunde ist. Und weil wir sicher sind, dass dieses Ziel nur mit hochintelligent programmierten, selbstvernetzenden und selbstlernenden prädiktiven System zu erreichen ist. Was uns dieser Ansatz ermöglicht, ist – zumindest in Bezug auf Wohn- und Bürogebäude – eine völlig emissionsfreie Stadt. Das große Ziel der elektrischen Stadt. Vielleicht wird Stuttgart die erste elektrische Stadt?

Wer entwirft diese Stadt? Es müssen Menschen sein mit Kraft, mit Mut, Menschen, die große Ziele formulieren können. Ziele, die gesamtgesellschaftlich abgestimmt und getragen werden. Vorangehen müssen aber immer einzelne. Vorangehen. *Avant la garde. Avant la garde* zu sein ist nie einfach und bequem. Aber wir brauchen Menschen, die dies tun – in der Lehre, in der Forschung, in der Politik und in den vielen anderen Bereichen, die uns täglich betreffen.

Meine Damen und Herren, Angesichts der hier kurz und fragmentarisch skizzierten Situation, vor der ein Bauen von morgen steht, könnte man geneigt sein, aufzugeben oder *après nous le déluge,* „nach uns die Sintflut" auszurufen, so wie es Madame de Pompadour tat. Dies kann nicht unser Motto sein. Gerade im Kontext mit dem notwendigen Umbau unserer Welt sagen die Menschen oft, etwas rechne sich nicht. Ja. Wenn man das „sich rechnen" als einen ethisch tauglichen Maßstab ansieht. Ein griechisches Sprichwort sagt: Einen Olivenbaum pflanzt man für die Enkel. Angesichts dessen, was auf uns zukommt, sollten wir, glaube ich, im übertragenen Sinn an das Pflanzen von Olivenbäumen denken, also eine neue, eine postkapitalistische Betrachtungsebene einziehen. Von dem, was wir zu tun haben, wird sich vieles nicht „rechnen". Aber wenn wir es nicht tun, dann werden wir vor den Augen unserer Kinder nicht bestehen. *Non nobis solum.* Wir sind nicht für uns allein geboren, formulierte es Cicero.

Meine Damen und Herren, ich schließe mit einem für mich persönlich wichtigen Satz: Ich bin Europäer aus tiefer Überzeugung. Es ist mir wichtig, dies hier zu sagen. *civis europaeus sum.* Europa ist das Beste, was wir in den letzten Jahrzehnten geschaffen haben. Es brachte uns 70 Jahre Frieden und freundschaftlichen-selbstverständlich Umgang mit denen, welchen gerade die Deutschen Leid und Tod zugetragen haben. Gerade auch mit Russland und seinen 27 Millionen Toten im Zweiten Weltkrieg, für die wir die Verantwortung tragen. Diesem Erbe gilt es gerecht zu werden.

Als Europäer danke ich Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und rufe Ihnen zu: Behüten Sie Europa.

Als Architekt und Ingenieur rufe Ihnen zu: Lassen Sie uns diese unsere Welt mit Mut und Kraft, aber vor allem mit einem klaren Ziel, anders weiterbauen.

Vielen Dank."

Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Bachelor-Studium des Bauingenieurwesens an Hochschulen für angewandte Wissenschaften

N. Oberbeck, H. Werkle

Zusammenfassung Die im Fachbereichstag Bauingenieurwesen zusammengeschlossenen Fachbereiche und Fakultäten des Bauingenieurwesens an Hochschulen für angewandte Wissenschaften haben sich 2013 auf gemeinsame Standards bei der Grundausbildung im Bachelorstudium Bauingenieurwesen verständigt. Grundlage war eine lernergebnis- und studierendenzentrierte Sichtweise der Hochschulausbildung. Für die Bereiche Grundlagen, Konstruktiver Ingenieurbau, Wasserwesen / Abfallwirtschaft, Verkehrswesen / Raumplanung sowie Baumanagement wurden Modulgruppen und Mindest-Studienanteile definiert. Innerhalb der Modulgruppen und Studienfächer wurden die Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen, die Studierende erwerben sollen, detailliert beschrieben. Für Absolventinnen und Absolventen wie auch für die Bauwirtschaft soll damit ein hohes Maß an Verlässlichkeit hinsichtlich der Qualifikation des Ingenieurnachwuchses sichergestellt werden.

1 Einleitung

Das Bauingenieurwesen hat in den vergangenen Jahrzehnten deutliche Veränderungen erfahren. Dies betrifft zum einen neue fachliche Herausforderungen wie die zunehmende Bedeutung von Umwelt- und Ressourcenfragen oder die Globalisierung der Wirtschaft. Zum anderen hat sich aber auch das Ausbildungssystem durch die Bologna-Reform konzeptionell gewandelt [1]. Während es vor „Bologna" neben dem klassischen Bauingenieurstudium nur wenige spezialisierte Studiengänge gab, hat deren Anzahl in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Dies betrifft zum einen Studiengänge, die nur Teilbereiche des klassischen Bauingenieurwesens abdecken und diese vertiefen, wie etwa Holzingenieurwesen oder Baumanagement. Zum anderen sind dies Studiengänge, die Teilbereiche des Bauingenieurwesens durch weitere Inhalte aus anderen Fachgebieten zu einem neuen Studienprofil ergänzen, wie die Studiengänge des Wirtschaftsingenieurwesens Bau und des Umweltingenieurwesens Bau.

Diese Entwicklungen haben zu einer größeren Vielfalt aber damit auch zu einer zunehmenden Intransparenz der Studiengänge geführt. Um einer zu großen Diversifizierung des Berufsbildes und möglichen Qualitätsverlusten entgegen zu wirken, bestehen national wie international Bestrebungen, das allgemeine Bauingenieurwesen in einer zeitgemäßen und zukunftsorientierten Form zu beschreiben, um die Ausbildung entsprechend auszurichten. Bereits im Jahr 2002 wurde in Deutschland der Akkreditierungsverbund für Studiengänge des Bauwesens e. V. (ASBau) mit dem Ziel der Sicherung einer berufsbefähigenden deutschen Bauingenieurausbildung gegründet. Im Zusammenwirken aller am Baugeschehen in Deutschland Beteiligten wurden fachliche Standards zur Akkreditierung und Evaluierung von Baustudiengängen entwickelt. Dies erfolgte zuletzt mit den ASBau Standards von 2010 [2] und weiteren Veröffentlichungen, etwa zur Definition des Begriffs „Bauingenieur" [3]. Auch die Bundesingenieurkammer setzt sich mit der Ausbildung von Bauingenieuren auseinander, dies vor allem vor dem Hintergrund der Definition der Berufsbezeichnung „Ingenieur" [4]. Weiterhin wurden im Rahmen der Harmonisierung und der Transparenz von Bildungsabschlüssen in Europa der Europäische Qualifikationsrahmen (EQR) [13] und für Deutschland der Deutsche Qualifikationsrahmen (DQR) eingeführt. Eine Spezifikation für das Bauingenieurwesen ist der „Sektorale Qualifikationsrahmen für das Bauingenieurwesen – Niveau 6 bis 8 des EQR" (SQR-Bau), für den ein Entwurf vorliegt [5]. Auch hierbei handelt es sich um Beschreibungen der Qualifikation der Bauingenieurausbildung, und zwar auf den Ebenen eines Bachelor-, Master- und Doktorgrades.

Auch außerhalb Europas hat man die Bedeutung einer Definition der mit einer Bauingenieurausbildung verbundenen Inhalte und Kompetenzen erkannt. So hat die American Society of Civil Engineers zuletzt 2008 unter der Bezeichnung "Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century" [6] ein Wissens-Portfolio des Bauingenieurwesens herausgegeben. Sie verfolgt damit das Ziel, das heute notwendige Wissen eines Bauingenieurs, seine Fertigkeiten und Kompetenzen, gestuft nach Lernzielen für einen jeweiligen Abschluss, konzeptionell zu beschreiben. Wissen, Fertigkeiten und Kompetenzen eines Bauingenieurs werden in 24 Gebieten unter den Oberbegriffen „Grundlagen", „Technisches Wissen" und „Berufliche Kompetenzen" gegliedert. Der Beschreibung der Lernziele liegt die Bloom'sche Taxonometrie zugrunde, die Lernziele in sechs Stufen mit steigender Komplexität (Wissen, Verstehen, Anwenden, Analyse, Synthese, Beurteilen) beschreibt. Dies führt zu einer Matrix, die angibt, in welcher Stufe in den 24 Gebieten jeweils Lernziele zu erreichen sind, und zwar für Bachelor-

Prof. Dr.-Ing. Niels Oberbeck
Vizepräsident für Studium und Lehre
Professor für Baustatik
Mitglied des Vorstandes des Fachbereichstages Bauingenieurwesen
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (TH Nürnberg)
Keßlerplatz 12; 90489 Nürnberg
niels.oberbeck@th-nuernberg.de

Prof. Dr.-Ing. Horst Werkle
Professor für Baustatik
Vorstandsvorsitzender des Fachbereichstages Bauingenieurwesen
Mitglied des Vorstandes des ASBau
Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung (HTWG)
Brauneggerstr. 55; 78462 Konstanz
werkle@htwg-konstanz.de

und Masterabschlüsse sowie mit entsprechender beruflicher Erfahrung. Strategisches Ziel des Body of Knowledge ist vor allem dessen Anwendung in der Lehre an Hochschulen und in der Weiterbildung, um Ingenieure auszubilden, die den Anforderungen der nahen Zukunft gewachsen sind. Zugrunde liegt eine Vorstellung über das zukünftige Bauingenieurwesen im Jahr 2025, die in [6] so formuliert wurde: „The vision: civil engineers will be entrusted by society to create a sustainable world and enhance the quality of life".

Während die genannten Dokumente überwiegend konzeptionell aufgestellt sind, gibt es auch Ansätze, die die im Studium des Bauingenieurwesens zu erwerbenden Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen detailliert bis auf die inhaltliche Ebene hin beschreiben. Für konkrete Studiengänge sind dies die Modulhandbücher. Darüber hinaus wurde eine studiengangsübergreifende Darstellung der grundlegenden Inhalte eines Bauingenieurstudiums auf Bachelorebene vom Fachbereichstag Bauingenieurwesen erarbeitet und mehrfach aktualisiert. Ihr Ziel ist, die übergeordneten Konzepte zu konkretisieren und die an deutschen Hochschulen für angewandte Wissenschaften im Bauingenieurstudium vermittelte Qualifikation konkret zu dokumentieren. Die aktuelle Fassung der sogenannten „Kerninhalte" wird im Folgenden erläutert.

2 Die „Kerninhalte" des Fachbereichstages Bauingenieurwesens

Bereits in den 1980er-Jahren wurden Studienziele und Lerninhalte des Bauingenieurstudiums im Fachbereichstag Bauingenieurwesen diskutiert und abgestimmt. Die Diskussion erfolgte auch im Zusammenhang mit den vor „Bologna" geltenden Rahmenprüfungsordnungen. Für die Diplomstudiengänge wurden „Studienziele und Lerninhalte im Kernstudium von Diplomstudiengängen des Bauingenieurwesens an Fachhochschulen" [7], ausgehend von einer Version aus dem Jahr 1992, auf der Vollversammlung im Herbst 2003 in Leipzig verabschiedet. Sie beschreiben die Inhalte des Kernstudiums, das heißt des Pflichtbereichs in Diplomstudiengängen mit dem Abschluss Dipl.-Ing. (FH), und umfassen damit die Inhalte, die für alle Studierenden obligatorisch sind. Nach der Einführung der Bachelor- und Masterstudiengänge wurden bereits 2005 auf der Vollversammlung in Wismar die „Studienziele und Lerninhalte im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens" [8] beschlossen.

Eine Neufassung und grundlegende Überarbeitung wurde als „Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens" [9] im Jahre 2013 auf der Vollversammlung des Fachbereichstages in Leipzig verabschiedet. Sie enthält nicht nur inzwischen notwendig gewordene Aktualisierungen, sondern in erster Linie eine lernergebnisorientierte Beschreibung der Ausbildung. Die Betrachtungsweise hat vom Lehrenden zum Lernenden gewechselt. Neben den Inhalten werden auch die vom Studierenden zu erlangenden Fertigkeiten und Kompetenzen definiert. Das aktuelle Dokument ist eine abgestimmte Willensbekundung der Fakultäten und Fachbereiche für Inhalt und Qualität der Bachelorausbildung im Bauingenieurwesen an Fachhochschulen/Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Deutschland.

3 Erwerb von Qualifikationen im Bachelorstudium des Bauingenieurwesens

Vor der Bologna-Reform wurden Studiengänge in der Regel „inputorientiert" konzipiert und beschrieben. Der Fokus lag auf der Definition von Lehrinhalten und Studienzielen, also des Inputs für die Studierenden aus der Perspektive der Lehrenden. Mit der Novellierung des Hochschulrahmengesetzes im Jahr 1998 und dem Beginn der Bologna-Reform vollzog sich ein Wandel. Die Betrachtung wurde „outcomeorientiert", in den Mittelpunkt rückten die beabsichtigten Lern- und Ausbildungsergebnisse und somit die Perspektive der Studierenden. Heute ist die Kompetenzorientierung in der Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen inklusive der Prüfungen für die Konzeption und die Akkreditierung von Studiengängen unabdingbar.

Der Begriff „Kompetenz" ist jedoch nicht einheitlich definiert. Das gleiche gilt für weitere relevante Begriffe wie „Wissen", „Kenntnisse", „Qualifikation", „Fähigkeiten" und „Fertigkeiten". Nach Arnold [10] etwa bezeichnet Kompetenz das Handlungsvermögen der Person. Während der Begriff „Qualifikation" Fähigkeiten zur Bewältigung konkreter Anforderungen bezeichnet und somit verwendungsorientiert ist, sei der Kompetenzbegriff subjektorientiert. Zudem umfasse der Kompetenzbegriff nicht nur fachliches Wissen und Können, sondern auch außer- und überfachliche Fähigkeiten. Klieme und Hartig [11] bezeichnen Kompetenzen als Dispositionen, die im Verlauf von Bildungs- und Erziehungsprozessen erworben werden und die Bewältigung von unterschiedlichen Aufgaben bzw. Lebenssituationen ermöglichen. Nach Walzig [12] ist Kompetenz an sich nicht beobachtbar. Um auf das Vorhandensein von Kompetenz zu schließen, müsse diese im Handeln sichtbar werden.

Kompetenzen werden zum einen auf die direkte Bewältigung spezifischer Anforderungen bezogen, zum anderen können sie aber auch auf Transfer, Selbstständigkeit, Kreativität, Bewertung und die Übernahme von Verantwortung abzielen. Die Kompetenz von Studierenden zeigt sich in der Regel in der Prüfungsleistung. Zum Zweck der kompetenzorientierten Beschreibung der Kerninhalte in Bachelorstudiengängen des Bauwesens hat sich der Fachbereichstag Bauingenieurwesen auf eine Begriffsdefinition verständigt: Der Begriff „Kompetenz" wird in Anlehnung an den Europäischen Qualifikationsrahmen (EQR) [13] verwendet.

Der EQR ist ein gemeinsamer europäischer Referenzrahmen, der Qualifikationen in Europa verständlicher und vergleichbar machen soll. Seine Ziele sind die Förderung der internationalen Mobilität und die Unterstützung des lebenslangen Lernens. Zu diesem Zweck definiert er eine gemeinsame europäische Referenz für Qualifikationen in acht Referenzniveaus. Sie umfassen die gesamte Bandbreite der Qualifikationen, von Niveau 1 (z. B. Schulabschluss) bis Niveau 8 (z. B. Promotion). Die Bachelor- bzw. Masterabschlüsse an Hochschulen für angewandte Wissenschaften und Universitäten sind den Niveaus 6 und 7 zugeordnet.

Als Grundlage für Kompetenz sind im EQR ergänzend die Begriffe „Kenntnisse" und „Fertigkeiten" definiert:

„Kenntnisse" sind das Ergebnis der Verarbeitung von Information durch Lernen. Kenntnisse bezeichnen die Gesamtheit der Fakten, Grundsätze, Theorien und Praxis in einem Arbeits- oder Lernbereich. Im Europäischen Qualifikationsrahmen werden Kenntnisse als Theorie- und/oder Faktenwissen beschrieben.

„Fertigkeiten" bezeichnen die Fähigkeit, Kenntnisse anzuwenden und Know-how einzusetzen, um Aufgaben auszuführen und Probleme zu lösen. Im Europäischen Qualifikationsrahmen werden Fertigkeiten als kognitive Fertigkeiten (logisches, intuitives und kreatives Denken) und praktische Fertigkeiten (Geschicklichkeit und Verwendung von Methoden, Materialien, Werkzeugen und Instrumenten) beschrieben.

„Kompetenz" bezeichnet die nachgewiesene Fähigkeit, Kenntnisse, Fertigkeiten sowie persönliche, soziale und methodische Fähigkeiten in Arbeits- oder Lernsituationen und für die berufliche und/oder persönliche Entwicklung zu nutzen. Im Europäischen Qualifikationsrahmen wird Kompetenz im Sinne der Übernahme von Verantwortung und Selbstständigkeit beschrieben.

Für Bachelorabschlüsse finden sich im Niveau 6 folgende erforderliche Lernergebnisse:

Kenntnisse: Fortgeschrittene Kenntnisse in einem Arbeits- oder Lernbereich unter Einsatz eines kritischen Verständnisses von Theorien und Grundsätzen.

Fertigkeiten: Fortgeschrittene Fertigkeiten, die die Beherrschung des Faches sowie Innovationsfähigkeit erkennen lassen, und zur Lösung komplexer und nicht vorhersehbarer Probleme in einem spezialisierten Arbeits- oder Lernbereich nötig sind.

Kompetenz: Leitung komplexer fachlicher oder beruflicher Tätigkeiten oder Projekte und Übernahme von Entscheidungsverantwortung in nicht vorhersehbaren Arbeits- oder Lernkontexten. Übernahme der Verantwortung für die berufliche Entwicklung von Einzelpersonen und Gruppen.

Zur Vermittlung von Kompetenzen in Ingenieurstudiengängen stehen vielfältige didaktische Formen zur Verfügung: klassische Vorlesungen, aktivierende Lernformen, Gruppenarbeiten, praktische Übungen unter Einbeziehung von Laboreinrichtungen, Projektarbeiten zur Zusammenführung von Einzeldisziplinen in einer themenorientierten Betrachtungsweise etc. Die Ingenieurausbildung, insbesondere an den Hochschulen für angewandte Wissenschaften, ist stark mit der Praxis verbunden – die Vermittlung theoretischer Inhalte wird intensiv durch Vorpraktika, praktische Studiensemester, Laborpraktika und praxisnahe Projekte begleitet. Der Lernprozess kann so beständig an der Realität abgeglichen werden. Ingenieurwissenschaftliche Kompetenzen entstehen dabei als vertieftes Verständnis der Fachwissenschaft, das Einzelfakten systematisch gliedert und vernetzt. Zur Bildung einer nachhaltigen Ingenieurkompetenz (im Gegensatz zu einem Bündel von Einzelkompetenzen) im Studium ist es unabdingbar, dass die Lehrenden eng zusammenarbeiten und curriculare Abstimmungen vornehmen.

Im Folgenden definieren die Lernergebnisse (outcomes) die durch den Ausbildungsprozess zu erzielenden Qualifikationen der Absolventinnen und Absolventen. Die Abschlussqualifikationen umfassen Kenntnisse, Fertigkeiten und Handlungskompetenzen, die für die Berufsausübung als Bauingenieur erforderlich sind. Darüber hinaus soll die Ausbildung Absolventinnen und Absolventen befähigen, ihre Qualifikationen im Zuge des Lebenslangen Lernens beständig dem aktuell erforderlichen Niveau anzupassen und auszubauen.

4 Studienanteile

In Abstimmung mit den fünf Fachausschüssen des Fachbereichstages Bauingenieurwesen (Grundlagen, Konstruktiver Ingenieurbau, Wasser-Boden-Abfall, Verkehrswesen, Baubetrieb) wurden die ECTS-Leistungspunkte des Kernstudiums auf die Modulgruppen verteilt.

Tabelle 1. Aufteilung der ECTS-Leistungspunkte auf die Modulgruppen

	Modulgruppe	Modulangebot der Hochschule	Mindest-studienanteil [ECTS-LP]
1	mathematische und naturwissenschaftliche Grundlagen	Mathematik, Technische Mechanik, Technisches Darstellen	52
	fachspezifische Grundlagen	Bauinformatik, Bauphysik, Baustoffkunde, Vermessungskunde Baukonstruktion	
2	Konstruktiver Ingenieurbau	Baustatik, Massivbau, Stahlbau, Holzbau, Bodenmechanik, Grundbau, Verbundbau, Bauschäden	32
3	Wasserwesen, Abfallwirtschaft	Hydraulik, Hydromechanik, Wasserwirtschaft, Wasserbau, Siedlungswasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Altlasten	14
4	Verkehrswesen, Raumplanung	Verkehrsplanung, Verkehrstechnik, Entwurf, Bau und Betrieb von Landverkehrswegen, Stadt- und Regionalplanung, Öffentliche Verkehrssysteme, Öffentliches Baurecht	16
5	Baumanagement	Baumanagement, Baubetrieb und Arbeitssicherheit, Baubetriebswirtschaft, Planungsmarkt und Privates Baurecht	12
Summe Kernbereich:			**126**

Ein Bachelorstudium Bauingenieurwesen an Hochschulen für angewandte Wissenschaften umfasst sechs oder sieben Studiensemester. Pro Semester erbringen die Studierenden eine Arbeitsleistung von 30 ECTS-Leistungspunkten, wobei ein Leistungspunkt für 30 Stunden studentische Arbeit steht. Insgesamt erwerben Studierende im Bachelorstudium somit 180 bzw. 210 ECTS-Leistungspunkte.

Die Kerninhalte umfassen 126 ECTS-Leistungspunkte. Für einen Umfang des theoretischen Studienanteils ohne praktische Studienphase von 180 ECTS-Leistungspunkten beträgt der Anteil des Kernstudiums 70 Prozent. Der restliche Studienanteil steht für die Profilbildung der Bachelorstudiengänge zur Verfügung.

Der Fachbereichstag Bauingenieurwesen empfiehlt seinen Mitgliedern, bei Bachelorstudiengängen für das Kernstudium 126 ± 20 ECTS-Leistungspunkte zu verplanen. Die Anteile der einzelnen Modulgruppen dürfen hierbei um maximal 30 Prozent gekürzt werden.

5 Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen der Modulgruppen

Die in **Tabelle 1** aufgeführten Modulgruppen gliedern sich jeweils in einzelne Module, die **Tabelle 2** entnommen werden können. Die genaue Bezeichnung der Module und ihre Gruppierung können zwischen den Hochschulen und Studiengängen variieren. Die jeweils erworbenen Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen (folgender Abschnitt) sind jedoch einheitlich. Auf diese Weise sichern die Modulgruppen in ihrer Gesamtheit eine umfassende Ausbildung in allen grundlegenden Bereichen des Bauingenieurwesens.

Tabelle 2. Zusammensetzung der Modulgruppen

Modul	ECTS-LP
1. Grundlagen	**52**
Mathematik	10
Technische Mechanik	8
Bauinformatik	6
Bauphysik	5
Baustoffkunde	10
Baukonstruktion	8
Vermessungskunde	5
2. Konstruktiver Ingenieurbau	**32**
Baustatik	6
Massivbau	9
Stahlbau	5
Holzbau	4
Bodenmechanik	3
Grundbau	5
3. Wasserwesen, Abfallwirtschaft	**14**
Hydraulik, Hydromechanik	4
Wasserwirtschaft und Wasserbau	4
Siedlungswasserwirtschaft	3
Kreislaufwirtschaft und Altlasten	3
4. Verkehrswesen, Raumplanung	**16**
Stadt- und Regionalplanung	2 – 6
Verkehrsplanung und Verkehrstechnik	2 – 6
Öffentliche Verkehrssysteme	2 – 6
Entwurf, Bau und Betrieb von Straßen	4 – 8
Öffentliches Baurecht	2 – 4[1)]
5. Baumanagement	**12**
Baumanagement	3
Baubetrieb	3
Baubetriebswirtschaft	3
Bauplanung / Planungsleistungen	3

1) Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen dieses Moduls können auch durch eine Aufweitung fachnaher Module erworben werden.

In [9] wurden für jedes der in Tabelle 2 aufgeführten Module Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen definiert. Exemplarisch wird in **Tabelle 3** je ein Beispiel aus jeder Modulgruppe detailliert dargestellt, um einen Eindruck der getroffenen Festlegungen zu vermitteln.

Tabelle 3. Exemplarische Beschreibung von Kenntnissen, Fertigkeiten und Kompetenzen

Modulgruppe 1	**Grundlagen**
Modul	**Technische Mechanik** **8 ECTS-LP**
Kenntnisse:	Statische Grundlagen: – Kräfte, Momente und deren Zusammensetzung bzw. Zerlegung – Gleichgewicht an Baukörpern (rechnerisch und zeichnerisch) – statische Modellbildung – Schnittprinzip – Auflagerreaktionen und Schnittgrößen statisch bestimmter Systeme einschl. Fachwerke – Differentialgleichung der Schnittgrößen Grundlagen der Festigkeitslehre: – Baupraktische Querschnitte, Schwerpunkt, Flächenmomente – Spannungen, Verzerrungen, Werkstoffgesetze Grundlagen des Sicherheitskonzepts (Einwirkungen, Widerstände)
Fertigkeiten:	– stat. bestimmte Systeme (einschl. Gelenksysteme) von kinematischen und stat. unbestimmten Systemen unterscheiden – Auflagerreaktionen und Schnittgrößen stat. bestimmter Systeme berechnen – Zustandslinien für Schnittgrößen darstellen – für ebene, stat. bestimmte Systeme die Spannungen für Biegung, Normalkraft und Querkraft berechnen
Kompetenz:	– verantwortliche Ermittlung von Kräften, Momenten und selbstständige Beurteilung von Gleichgewichtssituationen einfacher stat. bestimmter Systeme (einschließlich Gelenkkonstruktionen) – Entwurf und Beurteilung einfacher Tragkonstruktionen
Modulgruppe 2	**Konstruktiver Ingenieurbau**
Modul	**Massivbau** **9 ECTS-LP**
Kenntnisse:	– Materialeigenschaften von Beton, Betonstahl sowie von Mauerwerk – Grundlagen der Tragwerksidealisierung – Massivbauspezifische Sicherheiten und Schnittgrößenermittlung – Tragverhalten Stahlbeton und Mauerwerk – Nachweise der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit – Grundlagen der Bewehrungsführung und konstruktiven Durchbildung von Standardbauteilen – Grundlagen der Darstellung von Schal- und Bewehrungsplänen
Fertigkeiten:	– Methoden zur Modellbildung anwenden und Bemessungsschnittgrößen für Biegung, Normalkraft und Querkraft ermitteln – Bemessungsverfahren und –hilfsmittel anwenden. – Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sowie der Dauerhaftigkeit für Standardkonstruktionen führen – Schal- und Bewehrungspläne lesen und für Standardbauteile selbst anfertigen

Kompetenz:	– Befähigung zum materialgerechten Entwerfen, Konstruieren und Bemessen von einfachen Massivbauteilen, jeweils abgestimmt auf spezifische Anforderungen aus der Nutzung und der Dauerhaftigkeit – Beurteilung des Tragverhaltens, Gewährleistung der Standsicherheit – Begrenzung der Verformungen üblicher Standardkonstruktionen – Kritisches Hinterfragen von EDV-Ergebnissen – Begleitung und Überwachung der Herstellung von Massivbaukonstruktionen

Modulgruppe 3	**Wasserwesen, Abfallwirtschaft**
Modul	**Wasserwirtschaft und Wasserbau 4 ECTS-LP**
Kenntnisse:	– Grundlagen der Hydrologie und Wasserwirtschaft – Grundlagen der Gewässerkunde – Grundlagen des konstruktiven Wasserbaus
Fertigkeiten:	Grundlegende Berechnungen für – Wasserkreislauf, Wasserhaushalt – Hydrometrie, gewässerkundliche Statistik – Abflussdynamik, Grundgedanken des Wasserrechts, Hochwasserschutz – Grundlagen der Gewässerökologie, Gewässerpflege und –unterhaltung – naturnahe Gewässergestaltung – Kreuzungs- und Sohlenbauwerke
Kompetenz:	– Erkennen der Zusammenhänge zwischen hydrologischen Prozessen, wasserwirtschaftlichen Anforderungen und Problemlösungen durch ökologisch verträgliche wasserbauliche Maßnahmen – Fähigkeit zur Mitwirkung bei Planung und Ausführung einfacher wasserbaulicher Maßnahmen

Modulgruppe 4	**Verkehrswesen, Raumplanung**
Modul	**Entwurf, Bau und Betrieb von Straßen 4 – 8 ECTS-LP**
Kenntnisse:	– Grundkenntnisse und praxisnahe Arbeitsmethoden des Entwurfs, Baus und Betriebs von Straßen – Rechtliche und funktionelle Gliederung des Straßennetzes, Aufbau der Straßenverwaltung – Fahrdynamische und fahrgeometrische Grundlagen – Umweltverträglichkeitsprüfung in der Straßenplanung, Emissionen etc. – Linienführung und Trassierung in Lage- und Höhenplan, Gestaltung des Straßenquerschnitts – Planung und Entwurf von plangleichen (Einmündung, Kreuzung, Kreisverkehr) und planfreien Knotenpunkten (Anschlussstellen und Autobahnknoten) – Straßenaufbau (Ober- und Unterbau): Straßenbauweisen (Asphalt, Zementbeton, Pflaster), Aufbau, Herstellung und Recycling sowie Dimensionierung und bautechnische Anforderungen – Planerische und bautechnische Anforderungen an Straßen auf Brücken und im Tunnel – Bautechnologie: Herstellung von Straßenbefestigungen – Betrieb und Unterhaltung der Straßen, Erhaltungs- und Qualitätsmanagement – Aspekte der Verkehrssicherheit
Fertigkeiten:	– bei den Standardaufgaben des Entwurfs, Baus und Betriebs von Straßen selbstständig Problemanalysen und spezifische Lösungskonzepte entwickeln und planerisch umsetzen – Infrastrukturmaßnahmen im Straßennetz funktional und umweltgerecht erarbeiten – Entwürfe für die Dimensionierung und Gestaltung erstellen und die Leistungsmerkmale des Betriebs berechnen
Kompetenz:	– bei der Planung, dem Entwurf und dem Betrieb von Straßen kreativ mitarbeiten, sowohl in der Betreuung des Planungsprozesses, in der wirtschaftlichen und regelkonformen Ausführung von der Ausschreibung bis zur Durchführung, als auch im Betrieb der Verkehrsanlagen bei Baulastträgern, Ingenieurbüros und Bauunternehmen – wegen der komplexen Zusammenhänge des Verkehrswesens mit allen anderen Fachgebieten des Bauingenieurwesens insbesondere Teamfähigkeit, da integrative Planungsziele im interdisziplinären Fachkontext gemeinsam entwickelt werden – Planinhalte mit anderen Fachleuten erörtern und den Bürgern kommunizieren – bei Zielkonflikten durch nachweisbare Begründungen der eingesetzten Arbeitsmethoden Lösungsmöglichkeiten finden

Modulgruppe 5	**Baumanagement**
Modul	**Baubetriebswirtschaft 3 ECTS-LP**
Kenntnisse:	– Grundsätze zur Unternehmensformen/Rechtsformen privatrechtlicher Unternehmungen, Formen des Unternehmer-Einsatzes am Bau – Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Grundlagen der Kosten- und Leistungsrechnung, Einführung in das betriebliche Rechnungswesen – Unternehmensrechnung/Bilanz, Gewinn- und Verlustrechnung – Grundbegriffe der Kostenrechnung – Wesentliche Kenntnisse zu den Kalkulationselementen – Arten der Kalkulation, Methoden oder Verfahren der Angebotskalkulation – Grundkenntnisse zur Arbeitskalkulation, Nachtragskalkulation und Nachkalkulation
Fertigkeiten:	– die Grundsätze der Kosten- und Leistungsrechnung für einfache Projekte anwenden – aus den Unternehmensformen Risiken erkennen – für einfache Projekte die Kalkulation erstellen – vertraglichen Pflichten aus der Angebotskalkulation erkennen
Kompetenz:	– für einfache Projekte selbstständig die Angebotskalkulation vorbereiten – unter Anleitung die wirtschaftliche Umsetzung der Projekte verfolgen – unter Anleitung die Kostenverfolgung durchführen – unter Anleitung das Nachtragsmanagement vorbereiten

6 Weiterführende Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen

Die in dem Dokument „Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens“ [9] definierten Module decken insgesamt 126 ECTS-Leistungspunkte ab. Sie beschreiben die Kerninhalte, die verlässlicher Bestandteil eines Bachelor-

studiengangs Bauingenieurwesen an einer Hochschule für angewandte Wissenschaften in Deutschland sein sollen. Zum Studienabschluss von 180 bzw. 210 Leistungspunkten verbleibt ein Studienanteil von 54 bzw. 84 Leistungspunkten (entspricht 1.620 bzw. 2.520 studentischen Arbeitsstunden), die für die Profilbildung des jeweiligen Studiengangs genutzt werden können.

Dieser freie Studienanteil kann dazu dienen, einzelnen Disziplinen oder Themen ein besonderes Gewicht zu verleihen. Grundständige Bachelorstudiengänge, die zu einem ersten berufsqualifizierenden Abschluss führen und die Basis für Lebenslanges Lernen legen, vermitteln in der Regel eine breit angelegte Grundausbildung. Vertiefungen werden von den Hochschulen überwiegend in den klassischen Fachrichtungen des Bauingenieurwesens wie Konstruktiver Ingenieurbau, Verkehrswesen, Wasserwesen/Umwelt, Geotechnik und Baubetrieb angeboten.

Die im Bachelorstudium erworbenen Kompetenzen sind Voraussetzung für die Aufnahme eines Masterstudiums. Masterstudiengänge umfassen in der Regel drei oder vier Studiensemester, sodass sich eine Gesamt-Studienzeit von zehn Semestern ergibt, in denen Studierende 300 ECTS-Leistungspunkte erwerben. Masterstudiengänge im Bauwesen sind thematisch meist schärfer profiliert als Bachelorstudiengänge. Sie intensivieren die Vertiefung in klassischen Fachrichtungen des Bauwesens, behandeln aber auch erst in neuerer Zeit bedeutsam gewordene Themengebiete wie Bauen im Bestand oder Brandschutz und besetzen Schnittstellen zu anderen Fachrichtungen, beispielsweise zur Architektur, zum Verkehrs- oder zum Umweltingenieurwesen.

Das letzte Qualifikationsniveau (Niveau 8 nach EQR) schließlich wird durch eine Promotion erreicht. Über das Promotionsrecht verfügen ausschließlich Universitäten. Absolventinnen und Absolventen von Hochschulen für angewandte Wissenschaften haben zwei Optionen: Sie können zur Promotion an eine Universität wechseln, oder sie verbleiben an der Hochschule und bearbeiten ihr Promotionsvorhaben in Form einer kooperativen Promotion. Bei diesem Modell betreuen je eine Professorin/ein Professor von einer Universität und von einer Hochschule für angewandte Wissenschaften das Vorhaben gemeinsam. Diskutiert wird aber auch, Graduiertenkollegs aus Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften oder Verbünden von Hochschulen das Promotionsrecht einzuräumen.

Grundlage und Voraussetzung für den Erwerb weiterführender Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen in einem Masterstudiengang oder in einer Promotion ist in jedem Fall ein Abschluss in einem qualitativ hochwertigen Bachelorstudiengang. Das gleiche gilt für die Bewältigung anspruchsvoller Aufgaben in der Berufspraxis und die beständige Weiterbildung auf aktuellem fachlichen Niveau. Mit dem Dokument „Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens“ [9] haben sich die Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Deutschland auf einen einheitlichen Standard verständigt, der die erforderliche Qualität sicherstellt. Sie sollen für Absolventinnen und Absolventen der Hochschulen, aber auch für die Bauwirtschaft ein hohes Maß an Verlässlichkeit hinsichtlich der Qualifikation des Ingenieurnachwuchses sicherstellen [14].

Literatur

[1] *Werkle, H.*: Das Studium des Bauingenieurwesens an Hochschulen für Angewandte Wissenschaften und der Bologna-Prozess. *In*: VDI Bautechnik Jahresausgabe 2013/2014, Bauingenieur 22 (2013), S. 19-29.

[2] Akkreditierungsverbund für Studiengänge des Bauwesens (ASBau) e.V. (Hrsg.): ASBau Standards – Akkreditierung und Qualitätssicherung zeitgemäßer Studiengänge des Bauingenieurwesens an deutschen Hochschulen. 3. Auflage, Akkreditierungsverbund für die Studiengänge des Bauwesens e.V., Berlin, 2010.

[3] Akkreditierungsverbund für Studiengänge des Bauwesens (ASBau) e.V. (Hrsg.): „Bauingenieur“ – Studieninhalte und Studienanteile. Akkreditierungsverbund für die Studiengänge des Bauwesens e.V., Berlin, 2012.

[4] *Kammeyer, H.-U.*: Wer ist in Deutschland ein Ingenieur?. *In*: Deutsches Ingenieurblatt 20 (2013), Heft 01-02, S. 34–35.

[5] *Santowski, G.; Werkle, H.*: Sektoraler Qualifikationsrahmen für das Bauingenieurwesen – Niveau 6 bis 8 des EQR (Entwurf), Fachbereichstag Bauingenieurwesen, 2010 [unveröffentlicht].

[6] ASCE American Society of Civil Engineers (Hrsg.): Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century. 2. Auflage, ASCE, Reston, Virginia, 2008.

[7] „Studienziele und Lerninhalte im Kernstudium von Diplomstudiengängen des Bauingenieurwesens an Fachhochschulen“, Fachbereichstag Bauingenieurwesen, Leipzig, 2003.

[8] „Studienziele und Lehrinhalte im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens“, Fachbereichstag Bauingenieurwesen, Wismar, 2005.

[9] „Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens“, Leipzig, 2013.

[10] *Arnold, R.; Nolda, S.; Nuissl, E.* (Hrsg.): Wörterbuch der Erwachsenenpädagogik. Verlag Julius Klinkhardt KG, Bad Heilbrunn, 2001.

[11] *Klieme, E.; Hartig, J.*: Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. *In*: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 8/2007, S. 11-32.

[12] *Walzig, S.*: Kompetenzorientiert prüfen. Leistungsbewertung an der Hochschule in Theorie und Praxis. Verlag Barbara Budrich, Opladen, 2012.

[13] Europäische Kommission: Der Europäische Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (EQR), Luxemburg, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2008.

[14] *Oberbeck, N.; Werkle, H.*: Die Kerninhalte im Bachelorstudium des Bauingenieurwesens an HAW's. *In*: Deutsches Ingenieurblatt 22 (2015), Heft 1-2.

Pflichten des Architekten in Bezug auf die Werkstatt- und Montagepläne der ausführenden Unternehmen und die Schalpläne des Tragwerksplaners

P. Gautier, J. Zerhusen

Zusammenfassung Der Architekt hat bei der Bauwerksplanung als Entwurfsverfasser und Sachwalter des Bauherrn die zentrale Rolle im Planungsprozess. Dies führt zu umfangreichen Pflichten hinsichtlich der Koordination und Integration der Leistungen der anderen an der Planung fachlich Beteiligten. Die Novellierung der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) im Juli 2013 hat die Leistungspflichten des Architekten erweitert, insbesondere bei der Kosten- und Terminplanung, und ihm eine noch wichtigere Rolle zugewiesen. Wo im Leistungsbild bisher in der Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung nur die Integration der Leistungen anderer an der Planung fachlich Beteiligter genannt wurde, ist nun auch die Koordination eine explizite Pflicht [1], [2]. Auch in Bezug auf die Schnittstelle zur Planung der ausführenden Unternehmen ist in der HOAI 2013 klargestellt, dass das „Überprüfen erforderlicher Montagepläne der vom Objektplaner geplanten Baukonstruktionen (...) auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung" eine Grundleistung in der Leistungsphase 5, Ausführungsplanung, ist [2]. Anlässlich der überarbeiteten, erweiterten Leistungsbilder in der HOAI 2013 gehen die Verfasser der Frage nach, ob und in welchem Umfang Koordinations-, Integrations-, Prüfungs- und Freigabepflichten des Architekten in Bezug auf die Werkstatt- und Montagepläne der ausführenden Unternehmen und die Leistungen der anderen an der Planung fachlich Beteiligten bestehen. Dabei wird insbesondere die kosten- und haftungsrelevante Prüfung einer anderen Art von auf den Ausführungsplänen des Architekten basierenden Plänen, nämlich der Schalpläne des Tragwerksplaners, erörtert. Diese Tätigkeit ist in der HOAI weiterhin nicht explizit geregelt und führt in der Praxis mitunter zu Diskussionen zwischen dem Bauherrn und den Planungsbeteiligten.

1 Bedeutung von Koordination, Integration, Prüfung und Freigabe

Koordination bedeutet allgemein das Organisieren und Aufeinanderabstimmen verschiedener voneinander abhängender Faktoren, Vorgänge oder Handlungen [3], [4]. Spezialisierte, arbeitsteilige Prozesse wie die Bauplanung erfordern die Information und gegenseitige Abstimmung der Beteiligten über ihre jeweiligen Rollen und Aufgaben. Koordination ist das aktive, frühzeitige und vorausschauende Abstimmen und Überprüfen der zeitlichen, technischen und wirtschaftlichen Schnittstellen zwischen den Planungsbeteiligten, um deren optimale Zusammenarbeit und das reibungslose Ineinandergreifen der zueinander in Beziehung stehenden Einzelleistungen sicherzustellen (Bring- und Holschuld) [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Der Duden definiert **Integration** als die Herstellung einer Einheit aus Differenziertem, die Eingliederung in ein größeres Ganzes [3]. Integration ist der eigentliche Austauschprozess, nämlich die (ganzheitliche, funktionale) Vervollständigung der Planung, in dem die Leistungen der einzelnen Fachplaner durch den Objektplaner verarbeitet und in dessen eigene Planung eingearbeitet bzw. eingefügt werden [6], [8]. Die „richtige" Integration beinhaltet implizit auch die Überprüfung der Fachplanungen auf Konsistenz mit der eigenen Planung und auf Richtigkeit, soweit die zu erwartenden Fachkenntnisse beim Architekten reichen [11], [12].

Koordination und Integration sind eng miteinander verbunden; ohne Koordination gibt es keine (sinnvolle) Integration. Die HOAI 2013 hat in der Ausführungsplanung der Objektplanung Gebäude die frühere Grundleistung der HOAI 2009 „Erarbeiten der Grundlagen für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten und Integrierung ihrer Beiträge bis zur ausführungsreifen Lösung" dahingehend umformuliert, dass es nunmehr heißt: „Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten, sowie Koordination und Integration von deren Leistungen" [1], [2]. Wenngleich die Koordinierungstätigkeit jetzt ausdrücklich genannt ist, wird in der Literatur überwiegend die Meinung vertreten, dass hierdurch keine inhaltliche Änderung begründet wurde, da die Koordination auch in den früheren Fassungen der HOAI im Rahmen der Integration geschuldet war, ohne ausdrücklich erwähnt zu werden [6], [7]. Überzeugender ist hingegen die Argumentation im Gutachten zur Honorarstruktur der HOAI, die anhand des Wortlauts der Grundleistungen der HOAI alter Fassungen und der historischen und systematischen Auslegungen der Verordnungstexte und deren Begründungen zu dem Ergebnis kommt, dass die Koordination als Steuerungsaufgabe in der HOAI 2013 eine neue Leistung ist [8], [13]. Bisher war die Leistung der Koordination der Planung eine klassische Bauherren- bzw. Projektsteuerungsaufgabe [10], [14], [15], [16], [17]. Wirksame Koordination ist vor allen Dingen dort möglich, wo auch Vertragsbeziehungen bestehen, nämlich zwischen dem Bauherrn und den Planern. Der Architekt ist bei der Erbringung seiner Koordinationsleistungen auf die Mitwirkung des Bauherrn und die Erfüllung der Kooperationspflicht der Fachplaner angewiesen.

Dr.-Ing. Peter Gautier
Vertragsmanager bei RKW Rhode Kellermann Wawrowsky
Tersteegenstraße 30, 40474 Düsseldorf
peter.gautier@rkwmail.de
www.rkw-as.de

Dr. jur. Jörg Zerhusen
Rechtsanwalt und Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht
RWP Rechtsanwälte,
Bleichstraße 8–10, 40211 Düsseldorf
j.zerhusen@rwp.de
www.rwp.de

Prüfung bedeutet gemäß AHO eine umfassende inhaltliche Prüfung auf Vertragskonformität und Richtigkeit, verbunden mit einem unterzeichneten Prüfvermerk. Davon abzugrenzen ist die **Überprüfung** als stichprobenhafte Kontrolle abgeschlossener Arbeitsergebnisse auf Vollständigkeit, Plausibilität und Übereinstimmung mit den Projektzielen, mit dem Ziel der Freigabe. Die Stichproben beziehen sich insbesondere auf kritische und fehlerträchtige Vorgänge. Inhaltsgleich mit dem Überprüfen ist gemäß AHO das „Analysieren und Bewerten", bezieht sich jedoch auf laufende Prozesse und Zwischenergebnisse. Die Leistungen „Analysieren und Bewerten der Planungsprozesse" und „Überprüfen der Ergebnisdokumentation der Planungsbeteiligten" sind explizit als Projektsteuerungsleistungen genannt [17].
Freigabe und **Anerkennung** sind unmittelbar mit der Prüfung/Überprüfung verbunden. Die Freigabe/Anerkennung von Plänen setzt eine Prüfung/Überprüfung voraus und bescheinigt die Übereinstimmung mit den vertraglichen Vorgaben und Projektzielen. Hierbei handelt es sich ebenfalls um eine Bauherren- bzw. Projektsteuerungsaufgabe. Eine Ausnahme hiervon stellen die Werkstatt- und Montagepläne der ausführenden Firmen dar, die vom Architekten und Fachplaner für die Technische (Gebäude-)Ausrüstung (TGA) auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung geprüft werden müssen und durch diese freigegeben werden können, sofern hiermit keine vertragsändernden Anordnungen verbunden sind [2], [18].

2 Inhalt und Ablauf der Ausführungsplanung

In der Ausführungsplanung wird auf Basis der Ergebnisse der Entwurfs- und Genehmigungsplanung, deren Ziel eine genehmigungsfähige Planung ist, eine ausführungsreife Lösung erarbeitet. An dem Begriff ist bereits erkennbar, dass es sich um eine auf die Ausführung bezogene, fertigungsorientierte Planung handelt [7]. Aus den bisherigen Plänen im Maßstab 1:100 werden „Ausführungs-, Detail- und Konstruktionszeichnungen nach Art und Größe des Objekts im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen" erstellt [2]. Die Planung beinhaltet neben der zeichnerischen Darstellung und Vermaßung aller Baukonstruktionen, Einbauteile (z. B. Isokörbe für den Anschluss von Balkonen, Ankerschienen zur Befestigung von Kanälen) und Aussparungen (z. B. Durchbrüche für Lüftungsleitungen) im Maßstab 1:50 bis 1:1 insbesondere auch textliche Beschreibungen, zum Beispiel Angaben zu Materialien, Brandschutz- und Wärmeschutzqualitäten [2], [7], [19].
Um dieses Ziel zu erreichen, stellt der Architekt seine Arbeitsergebnisse für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten bereit und koordiniert und integriert deren Leistungen [2]. Die Koordinierungstätigkeit ist eine zentrale Aufgabe in der Ausführungsplanung und umfasst neben der terminlichen Koordination der Planungsbeteiligten auch die umfassende technische und wirtschaftliche Abstimmung. Insbesondere bei komplexen Projekten und in der baubegleitenden Planung ist der Ablauf störanfällig und unkoordinierte oder verspätete Pläne führen zu Behinderungen und Mehrkosten auf der Baustelle. Daher ist bei der Planung der Planung ausreichend Zeit für die Fachplanungen TGA und Tragwerk zu berücksichtigen. Neben den Planungsbeteiligten sind auch die ausführenden Firmen zu koordinieren, indem Planliefertermine der Ausführungsplanung und Prüffristen für die auf der Ausführungsplanung aufbauende Werkstatt- und Montageplanung der Firmen vereinbart werden [2], [7], [19], [20], [21].
Die wesentliche Grundlage für die Ausführungsplanung bildet der freigegebene Entwurf als vollständige, genehmigungsfähige Lösung der Planungsaufgabe. Die Fachplanungen, d.h. der konstruktive Entwurf als Lösung des Tragwerks und der Entwurf der TGA, sind integriert. Die Querschnitte und Aussparungen des Tragwerks sind abgestimmt mit den Leitungsführungen und den Lasten der TGA. Auf Grundlage der Entwurfsplanung erstellt der Tragwerksplaner im Rahmen der Genehmigungsplanung die statische Berechnung. Deren Ergebnisse werden in **Positionsplänen** dargestellt, das heißt Übersichtspläne aller Tragwerksteile mit ihren Abmessungen und der Art und Güte der Baustoffe [2]. Auf dieser Basis erstellt der Architekt als Grundlage für die Fachplaner den **Ausführungsplan 1** (Die in der Praxis und Literatur weiterhin gängige Bezeichnung „Werkplan" wird hier nicht verwendet, da es sonst zu Verwechselungen mit der Werkstatt- (und Montage-)planung der ausführenden Firmen kommt.). Dieser enthält die Haupt- und Raster-(Achs-)maße, die vom Tragwerksplaner bemessenen Bauteilquerschnitte sowie die konstruktiv vorgesehenen Aussparungen, zum Beispiel Installations- und Aufzugsschächte und große Wanddurchbrüche [19]. In den Ausführungsplan 1 tragen die Fachplaner der TGA die aus ihrer Planung resultierenden notwendigen Aussparungen, Montageöffnungen, Kanäle, Fundamente und ähnliches ein (**Schlitz- und Durchbruchsplan** [2]). Die Ergebnisse werden durch den Architekten in seine Rohbauplanung integriert, wobei die Fachplaner bei der Koordination der Planung mitwirken und Hinweise bei Änderungen und Unstimmigkeiten geben [22].
Der resultierende **Ausführungsplan 2** des Architekten enthält die koordinierten und integrierten Angaben der Fachplaner inklusive der vollständigen Vermaßung aller rohbaurelevanten Bauteile, Brüstungen, Türöffnungen und Aussparungen sowie die entsprechenden Materialangaben. Der freigegebene Ausführungsplan 2 bildet zusammen mit den Rohbaudetailplänen des Architekten (Maßstab 1:20 bis 1:1, z. B. für Anschlusspunkte von Fassaden, Brüstungen und Balkonen) die Grundlage für die Rohbauarbeiten. Die Ergebnisse des Ausführungsplans 2 werden durch den Tragwerksplaner in den **Schalplan** übernommen. Der Schalplan dient der Baustelle für die Schalungsvorbereitung und enthält daher alle einzuschalenden Betonbauteile inklusive ihrer Auflager (z. B. Mauerwerkswände oder Stahlstützen) und die einzuschalenden Schlitze und Durchbrüche [23]; (Schalpläne sind abzugrenzen von Rohbauzeichnungen, die zusätzlich zu den Angaben der Schalpläne auch alle Angaben zu Einbauteilen und Baustoffqualitäten enthalten und somit auf der Baustelle nicht der Ergänzung durch die Pläne des Objektplaners bedürfen. Rohbauzeichnungen sind eine Besondere Leistung der Tragwerksplanung [2]). Gleichzeitig ist der Schalplan Grundlage für den **Bewehrungsplan** des Tragwerksplaners. Die statische Berechnung muss dem Prüfstatiker gemäß Bauprüfverordnung (BauPrüfVO) rechtzeitig vor Baubeginn zur Prüfung und Freigabe vorgelegt werden, Schal- und Bewehrungspläne üblicherweise rechtzeitig vor der Ausführung der jeweiligen Bauteile [19], [24], [25].
Ergänzend sei an dieser Stelle erwähnt, dass in der baubetrieblichen Literatur mitunter ein abweichender Prozess

für die Ausführungsplanung Rohbau geschildert wird, bei dem die Grundlage für die Ausführungsplanung 1 nur die statische Vorbemessung des Tragwerksplaners ist. Die finale statische Bemessung wird in der Praxis vielfach zur Baugenehmigung nachgereicht, so dass die Ausführungsplanung schon vorher beginnt und sich die Leistungsphasen der einzelnen Leistungsbilder überlappen. In dieser parallelen Bearbeitung werden die funktionalen Anforderungen der Architektur und die statischen Anforderungen der Tragwerksplanung in einem iterativen Prozess gelöst. Die Darstellung und Kommunikation der statischen Anforderungen und deren Integration in die Ausführungsplanung erfolgt dann unter anderem über das Medium eines vorläufigen „Schalplan 1". Der Termindruck in Projekten, insbesondere in der baubegleitenden Planung, macht in der Praxis solche parallelen Tätigkeiten teilweise erforderlich. Bezogen auf den idealtypischen und in der HOAI vorgesehenen Ablauf beginnt einer der Beteiligten jedoch zu früh – entweder der Tragwerksplaner mit der Schalplanung (ohne fertig gestellte Ausführungsplanung Rohbau) oder der Architekt mit der Ausführungsplanung (ohne integrierte finale statische Bemessung). Diese Abweichungen finden auch beim AHO eine Entsprechung. Demnach stellt es für den Tragwerksplaner eine mit mindestens 16 v. H. des Grundhonorars zu bewertende Besondere Leistung dar, wenn er mit der Bearbeitung der Schalpläne vor Fertigstellung der Ausführungszeichnungen des Objektplaners beginnt [26]. Im vorliegenden Aufsatz wird jedoch die Frage diskutiert, was beim auf die Leistungsbilder und -phasen der HOAI bezogenen, sequentiellen Ablauf in der Ausführungsplanung geschuldet ist.

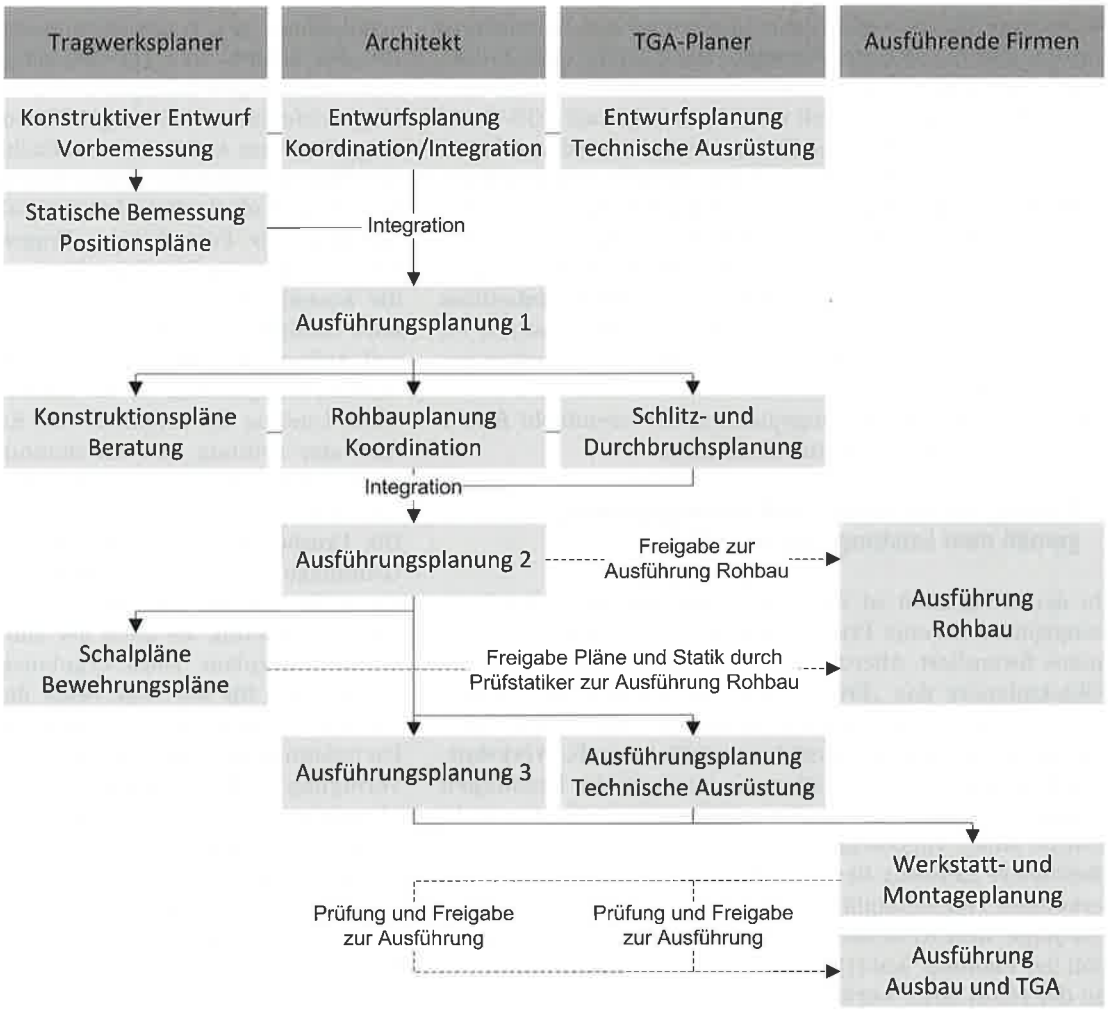


Bild 1. Ablauf Ausführungsplanung (vereinfachte Darstellung)

Aufbauend auf der Ausführungsplanung Rohbau entsteht der **Ausführungsplan 3** des Architekten, der alle für die Ausführung des Ausbaus relevanten Angaben, zum Beispiel Fußbodenaufbau, Innenraumverkleidungen, Dach- und Fassadenaufbau oder leichte Trennwände, enthält. Er ist Grundlage für die Ausschreibung des Ausbaus und die Werkstatt- und Montageplanung der ausführenden Unternehmen. Des Weiteren dient er in einer Zwischenstufe für die **Ausführungsplanung TGA**. Diese Pläne enthalten alle Angaben zu Lage, Dimension und Material von Kanälen und Leitungen, Verbraucherstellen, Heizkörpern und ähnlichem. Sie sind Grundlage für die Ausschreibung der haustechnischen Gewerke und die Werkstatt- und Montageplanung der ausführenden Unternehmen [19], [25]. **Werkstattpläne** enthalten Einzeldarstellungen von Konstruktionsteilen als Grundlage für die Fertigung in der Werkstatt des Unternehmens [7], [27]. **Montagepläne** dienen der Montage der einzelnen Elemente zu einem Ganzen auf der Baustelle. Sie stellen somit auch eine Art von Positionsplänen dar, da in ihnen die einzelnen Elemente mit ihrem Montageort und den jeweiligen Verbindungsmitteln (z. B. Schrauben, Schweißen, Kleben) angegeben sind [28]. Die jeweiligen Pläne werden vom Architekten bzw. vom Haustechniker auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung geprüft.

Zu unterscheiden sind demnach die Planungsleistungen der Fachplaner und die der ausführenden Unternehmen. Die Fachplanungsleistungen sind dem Bauherrn und den von ihm beauftragten Fachingenieuren, wie beispielsweise dem TGA-Planer oder dem Tragwerksplaner zuzurechnen. Dies sind aus Sicht des Architekten Planungsleistungen anderer an der Planung fachlich Beteiligter, die gemeinsam mit der Planungsleistung des Architekten die Ausführungsplanung ergeben. Bei den Werkstatt- und Montageplänen handelt es sich dagegen um Planungsleistungen der ausführenden Unternehmen, die eine ausführungsreife Ausführungsplanung voraussetzen und darauf aufbauen. Werkstatt- und Montagepläne sind sehr detaillierte Pläne, die als

Grundlage für die eigentliche Umsetzung der Bauleistung dienen und daher sinnvollerweise aus Kosten- und „Know-how"- Gründen von den Unternehmen selbst erbracht werden bzw. von diesen, soweit erforderlich, gemäß VOB/C ohnehin ohne besondere Vergütung erbracht werden müssen [18], [29]. § 3 Nr. 5 VOB/B regelt diesen Sachverhalt und bestimmt, dass die Pläne dem Auftraggeber nach Aufforderung rechtzeitig vorzulegen sind. Da die daran anschließende Frage der Freigabe der Werkstatt- und Montagepläne weder im BGB noch in der VOB/B bzw. VOB/C einheitlich und klar geregelt ist, sollte das Planfreigabeverfahren im Verhältnis zum ausführenden Unternehmen vertraglich geregelt werden [18].

Der Ablauf der Ausführungsplanung ist vereinfacht **Bild 1** auf der vorherigen Seite zu entnehmen.

3 Prüfung der Werkstatt- und Montageplanung gemäß dem Leistungsbild der HOAI

In der HOAI 2009 ist im Grundleistungskatalog der Leistungsphase 5 keine Prüfung der Werkstatt- und Montagepläne formuliert. Allerdings ist als Besondere Leistung des Objektplaners das „Prüfen und Anerkennen von Plänen Dritter, nicht an der Planung fachlich Beteiligter auf Übereinstimmung mit den Ausführungsplänen (z. B. Werkstattzeichnungen von Unternehmen...) soweit die Leistungen Anlagen betreffen, die in den anrechenbaren Kosten nicht erfasst sind", vorgesehen. Ferner führt die HOAI 2009 als Besondere Leistung des TGA-Planers das „Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners und von Montage- und Werkstattzeichnungen auf Übereinstimmung mit der Planung" auf [1].

In der HOAI 2013 wurde zur Klarstellung der bereits zuvor von der herrschenden Meinung angewandten Praxis, dass das Prüfen und Anerkennen von Werkstatt- und Montageplänen stets vom Architekten in der Leistungsphase 5 geschuldet sei [30], [31], [32], nunmehr als Grundleistung ein „Überprüfen erforderlicher Montagepläne der vom Architekten geplanten Baukonstruktionen und baukonstruktiven Einbauten auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung" eingefügt [2]. Mit dieser Formulierung ist der Theorienstreit [28], [33] seitens des HOAI-Verordnungsgebers dahingehend gelöst worden, dass jedenfalls das Prüfen und Anerkennen von Montageplänen auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung eine Grundleistung bedeutet. Als sprachliche Ungenauigkeit zu vernachlässigen ist dabei sicherlich, dass bei der Formulierung nur von Montageplänen und nicht auch von Werkstattplänen gesprochen wird. Im Leistungsbild TGA wurde aus der vormals Besonderen Leistung die Grundleistung „Prüfen und Anerkennen der Montage- und Werkstattpläne der ausführenden Unternehmen auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung" [2].

4 Behandlung der Schalpläne des Tragwerksplaners durch den Architekten

Das Anfertigen der Schalpläne ist eine Grundleistung des Tragwerksplaners. Ein Prüfen und Anerkennen von Schalplänen auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung durch den Architekten ist der HOAI weder als Grundleistung noch als Besondere Leistung zu entnehmen. Lediglich für den TGA-Planer ist ein Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners auf Übereinstimmung mit der Schlitz- und Durchbruchsplanung als Besondere Leistung geregelt [1], [2].

Ungeachtet dieser Leistungsbilder der HOAI verlangen Auftraggeber vom Architekten vielfach, dass er die Schalpläne des Tragwerksplaners prüfen und freigeben soll, ohne sich festzulegen, ob sie diese Leistung als Koordination bzw. Integration der Fachplanung Tragwerk oder als eine Art Überprüfung von Montageplänen sehen. Unklar bleibt, ob die kosten- und zeitintensive Prüfung als Grundleistung oder Besondere Leistung angesehen und vergütet werden soll. Anhand des unter Abschnitt 2 dargestellten Ablaufs der Ausführungsplanung ist zu untersuchen, ob und in welchem Umfang der Architekt eine Koordination, Integration und/oder Prüfung und Anerkennung der Schalpläne des Tragwerksplaners nach den Leistungsbildern der HOAI schuldet:

Die Erarbeitung der Ausführungsplanung erfolgt auf der Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung [2], das heißt sowohl unter Berücksichtigung der integrierten Entwurfsplanung als auch der statischen Bemessung und der Positionspläne. Diese Ergebnisse sind gemäß HOAI Voraussetzung für die erste Stufe der Ausführungsplanung, mit der der Architekt die Grundlagen für die Erstellung der Fachplanungen Tragwerk und Technische Ausrüstung zur Verfügung stellt (Ausführungsplan 1). Für die beiden Fachplanungen ist analog genannt das „Erarbeiten der Ausführungsplanung auf Grundlage der Ergebnisse der Leistungsphasen 3 und 4" und das „Durcharbeiten der Ergebnisse der Leistungsphasen 3 und 4", jeweils „unter Beachtung der durch die Objektplanung integrierten Fachplanungen". Für die Planung der Rohbauarbeiten besteht eine wesentliche Grundleistung des TGA-Planers im „Anfertigen von Schlitz- und Durchbruchsplänen". Im Leistungsbild Tragwerksplanung ist das „Anfertigen der Schalpläne in Ergänzung der fertig gestellten Ausführungspläne des Objektplaners" genannt. Da die Schlitz- und Durchbruchsplanung auch in die Schalplanung zu integrieren ist, werden die beiden Grundleistungen, bezogen auf die Überprüfung der Schalpläne des Tragwerksplaners, im Leistungsbild Technische Ausrüstung ergänzt durch die Besondere Leistung „Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners auf Übereinstimmung mit der Schlitz- und Durchbruchsplanung" [2].

Die Schlitz- und Durchbruchspläne der TGA sind durch den Architekten zu koordinieren und zu integrieren, das heißt in die Ausführungsplanung einzuarbeiten (Ausführungsplan 2, Bild 1). Die Grundleistung der Integration der Beiträge bis zur ausführungsreifen Lösung beinhaltet auch die Überprüfung der Schlitz- und Durchbruchspläne als Leistungspflicht, da ein falscher bzw. nicht auf die eigenen Leistungen und die der anderen an der Planung fachlich Beteiligten abgestimmter Schlitz- und Durchbruchsplan keine ausführungsreife Lösung darstellt. Da der TGA-Planer seine Ausführungszeichnungen mit den Fachplanern abzustimmen hat, gilt diese Abstimmung implizit auch für die Schlitz- und Durchbruchspläne, ohne dort gesondert erwähnt zu sein [2]. Der Architekt hat im Rahmen seiner Koordinationspflicht dafür zu sorgen, dass die Abstimmung zwischen TGA- und Tragwerksplaner stattfindet [22].

Die Erstellung der Schalplanung durch den Tragwerksplaner hat der Architekt zu koordinieren, in dem er seine Ausführungsplanung Rohbau (Ausführungsplanung 2) dem

Tragwerksplaner rechtzeitig als Grundlage zur Verfügung stellt und ihm zeitliche Vorgaben für die Erstellung der Planung und Weiterleitung an den Prüfstatiker macht. Eine Integration der Schalplanung sieht die HOAI nicht vor. Die Integration der Leistungen der anderen an der Planung fachlich Beteiligten erfolgt zeitlich vor Abschluss der Tätigkeit des Architekten bei der Erstellung einer ausführungsreifen Rohbauplanung [2]. Dahingegen zeigt die Formulierung „Anfertigen der Schalpläne in Ergänzung der fertig gestellten Ausführungspläne des Objektplaners", dass diese Leistung zeitlich nach der Ausführungsplanung Rohbau liegt, nämlich „in Ergänzung der fertig gestellten". Gemäß HOAI setzt das Anfertigen der Schalpläne eine bereits integrierte, ausführungsreife Lösung voraus und ist nicht deren Grundlage bzw. integraler Bestandteil [6]; (Für den in Abschnitt 2 geschilderter Fall, dass der „Schalplan 1" des Tragwerksplaners vor der fertig gestellten Ausführungsplanung Rohbau des Architekten erstellt wird, muss letzterer die Informationen aus dem Schalplan 1 integrieren, was auch eine entsprechende Prüfung auf Konsistenz mit bzw. Abweichungen von seiner Ausführungsplanung beinhaltet. Analog zur Tragwerksplanung stellt dieses von den HOAI-Grundleistungen abweichende Vorgehen auch für den Architekten eine Besondere Leistung dar.). Da die ausführungsreife Lösung des Architekten bereits vorliegt und in den Leistungsbildern der HOAI nur solche Grundleistungen erfasst sind, die „zur ordnungsgemäßen Erfüllung eines Auftrags im Allgemeinen erforderlich sind" [2], kann die Prüfung der Schalpläne keine Grundleistung des Architekten sein. Die Aufzählung der Grundleistungen ist abschließend, während die Besonderen Leistungen nur beispielhaft aufgeführt sind. Leistungen, die nicht in den Grundleistungskatalogen aufgeführt sind, können nach der Systematik von § 3 Abs. 2, 3 HOAI 2013 entweder nur Besondere Leistungen oder von der HOAI nicht erfasst sein. Dies wurde in der Neufassung der HOAI 2013 nochmals klargestellt. Die in den einzelnen Leistungsbildern der HOAI aufgeführten Besonderen Leistungen können wiederum auch für Leistungsbilder vereinbart werden, denen sie nicht zugeordnet sind, sofern sie dort keine Grundleistungen darstellen [2], [6], [7]. Für den Fall der Prüfung der Schalplanung des Tragwerksplaners durch den Architekten wäre gemäß der vorstehenden Ausführungen und mit Bezug auf den Wortlaut der HOAI hierfür die Besondere Leistung des TGA-Planers „Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners auf Übereinstimmung mit der Schlitz- und Durchbruchsplanung" heranzuziehen, ergänzt um „und der Ausführungsplanung Rohbau".

Ein angemessenes Honorar für die oben definierte Besondere Leistung des Objektplaners bei der Prüfung der Schalpläne kann sich an dem Honorar für die Teilleistung für die Überprüfung der Montageplanung orientieren, das Simmendinger mit 2,5 v. H. des Grundleistungshonorars bewertet [34]. Einen weiteren Orientierungswert liefert die Besondere Leistung des TGA-Planers „Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners auf Übereinstimmung mit der Schlitz- und Durchbruchsplanung", die der AHO mit 2–4 v. H. des Grundhonorars bewertet [35]. Da die Prüfung durch den Architekten demgegenüber eine erweiterte Leistung ist, erscheint für die oben genannte Besondere Leistung des Architekten ein Honorar von 3 bis 4 v. H. seines Grundhonorars angemessen.

Mit der vorstehenden Beschreibung der Leistungsbilder der HOAI lässt sich in erster Linie die Frage beantworten, ob für eine beauftragte und ausgeführte Leistung ein bestimmtes Honorar geschuldet ist [2], [36], [37]. Die Leistungsbilder der HOAI begründen aber keine unmittelbaren Leistungspflichten, weil die HOAI als Verordnung lediglich die typischerweise für die Erfüllung eines bestimmten Honoraranspruchs notwendigen Leistungen beschreibt. Dennoch hat das jeweilige Leistungsbild Bedeutung sowohl für den notwendigen Leistungsumfang als auch für die Auslegung einzelner Leistungspflichten und Tätigkeiten [38], [39], [40]. Ob aber in werkvertraglicher Hinsicht eine bestimmte Leistung geschuldet ist oder ob der Architekt für eine fehlerhaft erbrachte Leistung haftet, ergibt sich aus dem Architektenvertrag und der Auslegung des Leistungsumfanges [41]. Hiernach schuldet der Architekt das Bewirken der Entstehung des Bauwerkes in technisch und wirtschaftlich einwandfreier Hinsicht. Die Leistungsbilder, die zunächst kein normatives Leitbild sind, haben somit bei der Bestimmung des Leistungsumfanges eine gewisse Bedeutung, insbesondere dann, wenn in einem schriftlichen Architektenvertrag die in der HOAI 2013 genannten Leistungen der Objektplanung Gebäude auch zum Gegenstand der Tätigkeit und damit zu Leistungspflichten gemacht werden [7], [22].

Die allgemeine werkvertragliche Erfolgshaftung [22] und die nicht eindeutige Differenzierung zwischen Koordination, Integration, Prüfung und Freigabe erfordern, dass in der Leistungsbeschreibung des Architektenvertrages eindeutig und detailliert festgelegt wird, welche Prüfungsschritte vom Architekten verlangt und wie diese vergütet werden [33]. Hinsichtlich der näher untersuchten Thematik der Behandlung von Schalplänen durch den Architekten ist daher vertraglich festzulegen, dass der Architekt nur eine Koordination der Schalpläne schuldet und deren Prüfung und Freigabe eine Besondere Leistung darstellt, die gegebenenfalls gesondert zu beauftragen und zu vergüten ist.

5 Haftung des Architekten im Zusammenhang mit der Koordination und Prüfung von Planungsleistungen

5.1 Fehlerhafte Leistungen der anderen an der Planung fachlich Beteiligten

Die Koordinations- und Integrationsverpflichtung des Architekten hinsichtlich der Beiträge der anderen an der Planung fachlich Beteiligten und die Erarbeitung der Grundlagen für deren Tätigkeit kann zu einer Haftung des Architekten führen, wenn er keine einwandfreien planerischen Unterlagen zur Verfügung stellt. Eine Haftung für eine unzureichende Koordination und Überprüfung der Planung eines Sonderfachmannes kann aber nur in dem Maße gefordert werden und demnach haftungsbegründend wirken, soweit die zu erwartenden Fachkenntnisse ohne Spezialkenntnisse beim Architekten reichen [11], [12], [22].

Für einen Architekten sind Mängel der Statik im Regelfall nicht erkennbar [42]. Deshalb haftet der Architekt in Bezug auf die Tragwerksplanung grundsätzlich nicht für die Richtigkeit der statischen Berechnung, sondern kann sich darauf verlassen, dass der Sonderfachmann ihn auf etwaige Bedenken hinweist, die in konstruktiver Hinsicht gegen die geplante Ausführung sprechen (so auch im Verhältnis zum TGA-Planer: [43]). Der Architekt ist nicht verpflichtet, die Berechnungen des Tragwerksplaners im Einzelnen nachzuprüfen. Er darf diesem aber auch nicht blindlings ver-

trauen. So muss er bei handwerklichen Fehlern, die sich ihm förmlich aufdrängen, eingreifen [44]. In jedem Fall muss der Architekt die statische Berechnung daraufhin überprüfen, ob der Tragwerksplaner von den örtlichen Gegebenheiten und der richtigen Bodenbeschaffenheit ausgegangen ist und ob er auch die in den Leistungsbereich des Architekten fallenden Pläne seinen Berechnungen tatsächlich zugrunde gelegt hat [7], [11]. Diese haftungsbegründenden Prüfungspflichten aus der Integrationspflicht des Architekten bestehen aber nur für Leistungen des Tragwerksplaners, die zur Erstellung einer Ausführungsplanung des Architekten notwendig sind. Wie bereits aufgezeigt, folgt die Schalplanung des Tragwerksplaners aber zeitlich auf die fertiggestellte Ausführungsplanung des Architekten, sodass den Architekten im Rahmen seiner dann nur bestehenden Koordinationspflichten keine haftungsbegründenden Prüfungspflichten der Schalplanung treffen.

Eine gesamtschuldnerische Haftung des Architekten mit dem Tragwerksplaner für fehlerhafte Schalpläne kommt nur in Betracht, wenn der Architekt neben dem Tragwerksplaner selbst haftet. Eine solche Haftung setzt voraus, dass der Architekt auch mit der Prüfung der Schalpläne als Besondere Leistung beauftragt wurde. Wird nun der Architekt oder der Tragwerksplaner vom Bauherrn gesamtschuldnerisch in Haftung genommen, stellt sich die Frage, ob der Belangte das Verschulden des jeweils anderen Planers anspruchsmindernd gemäß §§ 254, 278 BGB geltend machen kann. Im „Glasfassadenurteil" hatte der BGH entschieden, dass dem Auftraggeber in seinem Vertragsverhältnis zum bauaufsichtsführenden Architekten regelmäßig die Obliegenheit trifft, diesem einwandfreie Pläne zur Verfügung zu stellen. Der bauaufsichtsführende Architekt könne seine Aufgabe, eine mangelfreie Errichtung des Bauwerks herbeizuführen, nur auf der Grundlage mangelfreier Pläne sinnvoll wahrnehmen. Solche zu übergeben, liege daher im eigenen Interesse des Auftraggebers [45]; (Der BGH hat in diesem Urteil die Möglichkeit der Anwendung einer Obliegenheitsverletzung für die Haftung der Fachplaner untereinander ausdrücklich offengelassen.). In einer auf das „Glasfassadenurteil" folgenden Entscheidung vom 15. Mai 2013 urteilte der BGH, dass nichts anderes gelten könne, wenn der Auftraggeber dem Tragwerksplaner durch den von ihm mit der Planung beauftragten Architekten Pläne und Unterlagen zu den bei der Erstellung der Tragwerksplanung zu berücksichtigenden Boden- und Grundwasserverhältnissen überreiche oder dazu sonstige Angaben mache, die den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprechen. Verletze der Auftraggeber diese ihm gegenüber dem Tragwerksplaner bestehende Obliegenheit, trage er zu einer daraus resultierenden mangelhaften Tragwerksplanung bei und sei folglich für den daraus erwachsenden Schaden mitverantwortlich [46], [47].

5.2 Fehlerhafte Werkstatt- und Montagepläne

In Bezug auf die von den ausführenden Unternehmen zu erstellenden Werkstatt- und Montagepläne sieht das Leistungsbild der HOAI 2013 vor, dass der Architekt diese Pläne auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung überprüfen muss. Allerdings kann von ihm nicht erwartet werden, dass er sich in alle Details vertieft. Jedoch haftet er dafür, dass bei einer ordnungsgemäßen Überprüfung offenkundige Fehler und solche, die mit von ihm zu erwartender Fachkenntnis feststellbar sind, auch aufgedeckt werden [7], [11], [48]. Bleiben solche offenkundigen Mängel des ausführenden Unternehmens bei der Überprüfung unbemerkt und manifestieren sich anschließend in der Werkleistung des Unternehmers, so haften beide gesamtschuldnerisch dem Auftraggeber [49], [50].

Auch hier stellt sich die Frage, ob der in Anspruch genommene Bauunternehmer ein Mitverschulden des Auftraggebers einwenden kann, wenn der vom Auftraggeber beauftragte Architekt die Werkstatt- und Montagepläne nicht ordnungsgemäß geprüft hat. Die Berücksichtigung eines Mitverschuldens setzt voraus, dass der Architekt solche in seinem Verantwortungsbereich liegenden Pflichten oder Obliegenheiten verletzt hat, die den Bauherrn gerade gegenüber dem Bauunternehmer treffen [51], [52]. Allgemein anerkannt ist, dass im Verhältnis vom bauausführenden Unternehmen zum Bauherrn der planende Architekt Erfüllungsgehilfe des Bauherrn ist, da der Bauherr dem Bauunternehmen die Überlassung einer fehlerfreien Ausführungsplanung schuldet [45], [53], [54]. Handelt es sich hingegen um einen Fehler des ausführenden Unternehmens, den der bauaufsichtsführende Architekt nicht entdeckte, so ist der Architekt nicht Erfüllungsgehilfe des Bauherrn im Verhältnis vom Bauherrn zum Bauunternehmen, da der Bauherr dem ausführenden Unternehmen keine Überwachung seiner Arbeiten schuldet [51].

Hinsichtlich unzureichend geprüfter Werkstatt- und Montagepläne hat das OLG Hamm mit Urteil vom 12. April 2013 entschieden, dass das bauausführende Unternehmen kein Mitverschulden des Architekten gegenüber dem Bauherrn einwenden kann, da die Überprüfung der Werkstatt- und Montagepläne durch den planenden Architekten als Beaufsichtigung/Überwachung der vom Bauunternehmen im Vorfeld der eigentlichen Bauausführung zu erbringenden vertraglichen Leistungen zu werten ist [48]. In der Literatur wird aber kritisch gesehen, ob das Überprüfen der Werkstatt- und Montagepläne unter Beaufsichtigung/Überwachung zu subsumieren ist [55]. Schließlich bedürfe es der Freigabe der Werkstatt- und Montagepläne durch den planenden Architekten, bevor das ausführende Unternehmen mit seiner eigentlichen Bauausführung beginnen könne. Es wird daher in Frage gestellt, ob die herkömmliche Abgrenzung zwischen Fehlern in der Planung und Fehlern in der Bauüberwachung auf die Systematik der Prüfung von Werkstatt- und Montagepläne sinnvoll anwendbar ist. Zu erwägen ist, die sich nach dem „Glasfassadenurteil" des BGH entwickelten Obliegenheitsverletzungen als Mitverschulden des Auftraggebers zu berücksichtigen, wenn dessen Architekt die Werkstatt- und Montagepläne nicht prüft. Ob überhaupt eine Obliegenheit des Bauherrn begründet werden kann, hängt maßgeblich von Sinn und Zweck des Prüfens und der Freigabe von Werkstatt- und Montageplänen ab.

Das Erstellen von Werkstatt- und Montageplänen durch das bauausführende Unternehmen ist zwar ein notwendiger Bestandteil zur vertraglich geschuldeten Werkherstellung und deshalb bereits Teil der Werkleistung. Der Bauherr schuldet dem ausführenden Bauunternehmen daher auch nicht eine Korrektur und mangelfreie Freigabe der Werkstatt- und Montagepläne als Bestandteil der Übergabe einer fehlerfreien Ausführungsplanung. Allerdings sollen durch das Prüfen und die anschließende Freigabe die Vertragskonformität bzw. Übereinstimmung mit der Planung und den Zielen des Bauherrn sichergestellt und Widersprüche

mit anderen Gewerken und daraus resultierende Baumängel schon im Vorfeld verhindert werden [27], sodass es im Interesse des Bauherrn liegt, die Werkstatt- und Montagepläne zu prüfen und freizugeben. Das Prüfen und Anerkennen von Werkstatt- und Montageplänen könnte somit als eine Obliegenheit des Bauherrn anzusehen sein, deren Verletzung durch den mit der Prüfung beauftragten Architekten anspruchsmindernd vom ausführenden Unternehmen eingewendet werden könnte.

6 Fazit

Die Werkstatt- und Montagepläne der ausführenden Unternehmen sind vom Architekten auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung zu prüfen. In der HOAI 2013 ist nunmehr klargestellt, dass diese werkvertragliche Pflicht auch zum Grundleistungskatalog der Objektplanung Gebäude gehört. Diese Leistung ist kongruent mit den Regelungen der VOB/B, wonach die ausführenden Unternehmen ihre Werkstatt- und Montageplanung dem Auftraggeber vorzulegen haben. Das zumindest aus der Verkehrssitte resultierende anschließende Freigabeerfordernis bedingt eine vorherige Überprüfung der Pläne durch den Architekten. Das Ziel dieser Prüfung ist die Sicherstellung der Einhaltung des Planungsgedankens und der Wirtschaftlichkeit sowie die Vermeidung von Widersprüchen mit der Planung anderer Gewerke und somit von Baumängeln [27]. Die Planfreigabe im Verhältnis zum ausführenden Unternehmen (Ablauf und Inhalt der Prüfung) sollte vertraglich eindeutig geregelt werden.

In Bezug auf die Leistungen der anderen an der Planung fachlich Beteiligten ist gemäß HOAI jedoch nur eine Koordination und Integration vorgesehen. Hinsichtlich der Schalpläne des Tragwerksplaners besteht daher nur eine Koordinationspflicht, die die zeitliche und inhaltliche Abstimmung der Tätigkeiten beinhaltet sowie die Sicherstellung, dass der Tragwerksplaner die richtigen Pläne zugrunde legt. Eine Integrationsleistung der Schalpläne scheidet aus, da sie in Ergänzung der fertig gestellten Ausführungspläne des Objektplaners erstellt werden. Eine Integration oder Prüfung der Schalpläne ist für die Ausführung nicht mehr erforderlich, ausgenommen hiervon ist die vorgeschriebene statische Prüfung durch den Prüfstatiker.

Da es in der baubegleitenden Planung jedoch bis zum letztmöglichen Zeitpunkt vor Ausführung noch zu Änderungen kommen kann, ist es für eine effiziente Leistungserbringung unabdingbar, vor der Ausführung die Stimmigkeit der Planung nochmals durch die Planer prüfen zu lassen, um teure Mängelbeseitigungs- und Anpassungsmaßnahmen nach Ausführung zu vermeiden [27]. Hierbei handelt es sich für den Architekten allerdings um eine Besondere Leistung, die gesondert zu beauftragen und nicht mit dem Grundleistungshonorar abgegolten ist. Sie könnte – analog zum TGA-Planer – wie folgt formuliert werden: „Prüfen und Anerkennen von Schalplänen des Tragwerksplaners auf Übereinstimmung mit der Schlitz- und Durchbruchsplanung und der Ausführungsplanung Rohbau".

Die Überprüfung dieser Pläne wie auch der Werkstatt- und Montagepläne der bauausführenden Unternehmen ist für den Bauherrn aber auch deshalb von besonderer Bedeutung, weil er sich unter Umständen die Mitverursachung eines Schadens durch den von ihm beauftragten planenden Architekten als Obliegenheitsverletzung gegen sich selbst zurechnen lassen muss. Der Architekt hat zwar – wie eingangs dargelegt – als Entwurfsverfasser und bei der Koordination, Integration und Überprüfung der Planungsleistungen eine zentrale Rolle, seine Leistungspflichten sind allerdings nicht allumfassend und schützen den Bauherrn nicht, wo eigene Obliegenheiten eingreifen. Der Bauherr muss daher seine eigenverantwortliche, zentrale Rolle und seine Pflichten in der Bauwerksplanung wahrnehmen und gegebenenfalls durch die Beauftragung von Besonderen Leistungen und/oder Einschaltung von Projektsteuerern sicherstellen [22]. Hierbei ist im Sinne eines störungsarmen Planungs- und Bauprozesses zu empfehlen, dass Bauherr, Architekt, TGA-Planer und Tragwerksplaner die jeweiligen Leistungen, Planungsschnittstellen und Planläufe vor Planungsbeginn detailliert abstimmen und auch den Umfang der gegenseitigen Prüfpflichten festlegen.

Gekürzte und geringfügig überarbeitete Fassung des Aufsatzes „Koordination, Integration, Prüfung und Freigabe – was schuldet der Architekt in Bezug auf die Werkstatt- und Montagepläne der ausführenden Unternehmen und die Schalpläne des Tragwerksplaners?". In: BauR 46 (2015), Heft 3, S. 410–422.

Literatur

[1] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) v. 11.08.2009 (BGBl. I S. 2732).

[2] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) v. 10.07.2013 (BGBl. I S. 2276).

[3] Duden, Das Fremdwörterbuch. 10. Auflage, Mannheim, Zürich: Dudenverlag, 2010.

[4] Langenscheidt Online-Wörterbuch, Fremdwörterbuch, www.langenscheidt.de/fremdwb/, 2014.

[5] *Picot, A.; Dietl, H.; Franck, E.*: Organisation – Eine ökonomische Perspektive. 5. Auflage, Schäffer-Poeschl, Stuttgart, 2008.

[6] *Pott, W.; Dahlhoff, W.; Kniffka, R.; Rath, H.*: HOAI-Kommentar. 8. Auflage, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 2006.

[7] *Locher, H.; Koeble, W.; Frik, W.; Locher, U.*: Kommentar zur HOAI. 12. Auflage, Werner Verlag, Köln, 2014.

[8] Arge HOAI-GWT-TUD/Börgers/Kalusche/Siemon: Aktualisierungsbedarf zur Honorarstruktur der HOAI. Studie im Auftrag des BMWi. Dresden/Berlin/Cottbus/Kassel: 2012.

[9] *Kalusche, W.*: BKI-Handbuch HOAI 2013. BKI, Stuttgart, 2013.

[10] Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung (AHO) e.V. (Hrsg.): Projektmanagementleistungen in der Bau- und Immobilienwirtschaft. Heft 9, 3. Auflage, Bundesanzeiger-Verlag, Köln, 2009.

[11] OLG Köln, Urt. v. 17.08.2011 – 11 U 16/11, IBR (2011) 704.

[12] OLG Düsseldorf, Urt. v. 19.07.2007 – 21 U 38/05, IBR (2007) 502.

[13] *Fuchs, H.; Berger, A.; Seifert, W.*: FBS-Tabellen zu Stufenverträgen. ibr-online (modifizierter Auszug aus Fuchs, H.; Berger, A.; Seifert, W.: Beck'scher HOAI- und Architektenrechtskommentar.) [Erscheinungstermin Oktober 2015].

[14] *Will, L.*: Die Rolle des Bauherrn im Planungs- und Bauprozess. 2. Auflage, Peter Lang AG, Frankfurt a. M., Bern, New York, 1985.

[15] Bundesrat-Drucksache 270/76.

[16] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) v. 17.09.1976 (BGBl. I S. 2805) in der Fassung v. 10.11.2001 (BGBl. I S. 2992).

[17] AHO e.V. (Hrsg.): Projektmanagementleistungen in der Bau- und Immobilienwirtschaft. Heft 9, 4. Auflage, Bundesanzeiger-Verlag, Köln, 2014.

[18] *Mundt, A.*: Die Planfreigabe im Baurecht. NJOZ (2008) 3371–3385.

[19] *Kochendörfer, B.; Viering, M.; Liebchen, J.*: Bau-Projekt-Management. 2. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 2004.

[20] *Löffelmann, P.; Fleischmann, G.*: Architektenrecht. 6. Auflage, Werner Verlag, Köln, 2012.

[21] *Greiner, P.; Mayer, P.; Stark, K.*: Baubetriebslehre – Projektmanagement. 3. Auflage, Vieweg, Wiesbaden, 2005.

[22] *Fischer, C. F.*: Koordinierungspflichten der Planungsbeteiligten. *In*: BauR 45 (2014), Heft 12, S. 1998–2017.

[23] DIN 1356-1:1995-02 Bauzeichnungen Teil 1 – Arten, Inhalte und Grundregeln der Darstellung. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth, Berlin, 1995.

[24] Verordnung über bautechnische Prüfungen (BauPrüfVO) v. 06.12.1995.

[25] *Sommer, H.*: Projektmanagement im Hochbau. 3. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

[26] AHO e.V. (Hrsg.): HOAI – Besondere Leistungen bei der Tragwerksplanung. Heft 3, Bundesanzeiger-Verlag, Köln, 2010.

[27] *Jochem, R.; Kaufhold, W.*: HOAI-Kommentar. 5. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2012.

[28] *Seifert, W.*: Prüfen und Anerkennen von Werkstatt- und Montageplänen durch den Architekten. *In*: BauR 43 (2012), Heft 12, S. 1857–1867.

[29] DIN 18299:2012-09 (ff) VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth, Berlin, 2012.

[30] *Korbion, H.; Mantscheff, J.; Vygen, K.*: HOAI. 8. Auflage, Beck, München, 2013.

[31] *Pott, W.; Dahlhoff, W.; Kniffka, R.; Rath, H.*: HOAI-Kommentar. 9. Auflage, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 2011.

[32] *Irmler, H.-H.*: HOAI-Praktikerkommentar. Bundesanzeiger-Verlag, Köln, 2011.

[33] *Werner, U.; Siegburg, F.*: Die neue HOAI 2013. *In*: BauR 44 (2013), S. 1499–1582.

[34] *Simmendinger, H.*: Teilleistungstabelle Gebäude HOAI 2013. Abrufbar unter http://www.hoai-gutachter.de/pdf/TeilleistungstabellenGeb.pdf.

[35] AHO e.V. (Hrsg.): Besondere Leistungen bei der Planung von Anlagen der Technischen Ausrüstung. Heft 6, 3. Auflage, Bundesanzeiger-Verlag, Köln, 2014.

[36] Bundesrat-Drucksache 334/13.

[37] Gesetz zur Regelung von Ingenieur- und Architektenleistungen v. 04.11.1971 (BGBl. I S. 1745, 1749), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes v. 12.11.1984 (BGBl. I S. 1337).

[38] BGH, Urteil v. 26.07.2007 – VII ZR 42/05, NZBau 2007, 653.

[39] *Kniffka, R.*: Kürzung des Architektenhonorars wegen fehlender Kostenkontrolle. BauR 27 (1996), S. 773–779.

[40] *Meissner, K.*: Architektenvertrag: Leistungspflichten und Honorarordnung – Überlegungen zu einem (wieder) aktuellen Thema. *In*: Bauen – Planen – Recht. Aktuelle Beiträge zum privaten Baurecht – Festschrift für Klaus Vygen zum 60. Geburtstag. 23–43.

[41] OLG Celle, Urteil vom 12.02.2014 – 14 U 103/13, BauR 45 (2014) 1029.

[42] Leitsatz OLG Jena, Beschl. v. 12.03.2008 – 1 U 723/07, IBR (2008) 341.

[43] OLG Düsseldorf, Urt. v. 25.10.2012 – I-5 U 162/11, BauR 44 (2013) 1480.

[44] BGH, Beschl. v. 12.04.2012 – VII ZR 14/11, IBR (2012) 522.

[45] BGH, Urt. v. 27.11.2008 – VII ZR 206/06, BauR 40 (2009) 519.

[46] BGH, Urt. v. 15.05.2013 – VII ZR 257/11, BauR 44 (2013) 1468.

[47] *Schlemmer, M.*: „Annahmen" eines Tragwerksplaners zum Baugrund: Die Haftung der Baubeteiligten für eine fehlerhafte Statik. *In*: *Ganten, H.* (Hrsg.): Architektenrecht aktuell – Verantwortung und Vergütung bei Architektenleistungen. Festschrift zum 70. Geburtstag von Professor Rudolf Jochem. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014, S 285–302.

[48] OLG Hamm, Urt. v. 12.04.2013 – 12 U 75/12, BauR 44 (2013) 1688.

[49] BGH, Urt. v. 01.02.1965 – GSZ 1/64, NJW (1965) 1175.

[50] *Soergel, C.*: Die möglichen Gesamtschuldverhältnisse von Baubeteiligten. *In*: BauR 36 (2005), S. 239–250.

[51] BGH, Urt. v. 18.04.2002 – VII ZR 70/01, NJW-RR (2002) 1175.

[52] *Werner, U.; Pastor, W.*: Der Bauprozess. 14. Auflage, Werner Verlag, Köln, 2013.

[53] BGH, Urt. v. 13.09.2001 – VII ZR 392/00, NZBau (2002) 31.

[54] BGH, Urt. v. 24.02.2005 – VII ZR 328/03, BauR 36 (2005) 1016.

[55] *Hammacher, P.*: Obliegenheitsverletzung und Mitverschulden des Auftraggebers, wenn er die Werkstattpläne des Auftragnehmers nicht prüft? *In*: BauR 44 (2013), S. 1592–1596.

Denkschrift zum Innovations- und Facility Management

M. Thomzik

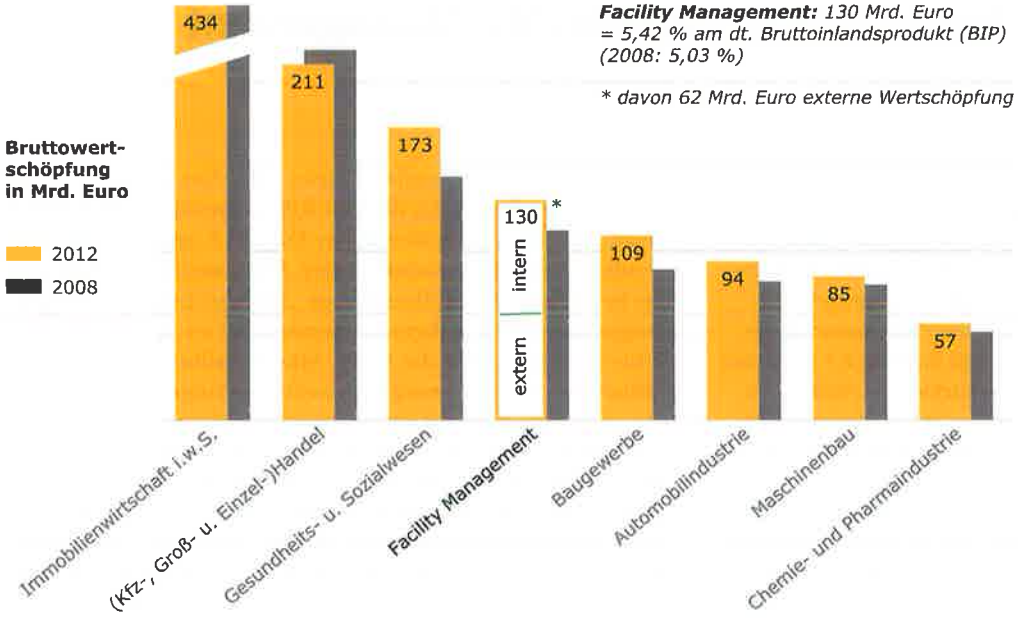
Die Phänomene Innovations- und Facility Management teilen in ihrer Genese ein ähnliches Schicksal: Wer in den 1970er-Jahren das Wort „Innovation" gebrauchte, erntete nur verständnisloses Kopfschütteln. Wer in den 1990er-Jahren das Wort „Facility Management" nutzte, erntete häufig zusätzlich noch ein borniertes Lächeln. Doch was begegnet uns heute in der Kombination dieser beiden Termini? Die Suchmaschine Google findet in 2,1 Sekunden über 8,5 Millionen Suchergebnisse. Die letzten (Un-)Wörter des Jahres, die die öffentliche Diskussion besonders bestimmt haben und für ein wichtiges Thema stehen sollen, werden in den Suchmaschinen jeweils nur einige hunderttausend Mal gefunden. Doch trotz dieser vordergründigen Bekanntheit und tausender phrasenhafter Werbebotschaften bleibt unklar: Was ist eigentlich innovatives Facility Management? Und ist die Facility Management-Branche innovativ oder verstecken sich in diesem Bereich die letzten Reste eines innovationsfeindlichen Establishments der 1970er-Jahre?

Bei der Analyse dieser beiden Phänomene beginnen Missverständnisse oft schon im Begrifflichen. Wurde Facility Management in den Anfangsjahren fälschlicherweise noch auf „Putzen" und „Hausmeisterdienste" reduziert, hat sich es mittlerweile rumgesprochen: Das Facility Management ist eine Managementdisziplin. Der Bereich umfasst als Querschnitts-(Dienstleistungs-)Branche neben den strategischen und taktischen Aspekten auf einer operativen Ebene vielfältige Unterstützungsleistungen, die sogenannten Facility Services, die in ausnahmslos allen Wirtschaftszweigen „dienen" und „leisten". Zugleich hat sich das Facility Management längst von dem Kristallisationspunkt „Immobilie" gelöst und ist auf dem Weg, wertschöpfende Problemlösungen rund um die Primärprozesse des internen oder externen Kunden zu formieren. Der Wertschöpfungsbeitrag des Facility Managements kann mit folgendem Beispiel aus einem Analogiefeld verdeutlicht werden (in Anlehnung an [3]): Während sich 1950 in Indianapolis der Formel-1-Pilot während eines Boxenstopps noch genüsslich eine Zigarette anzünden konnte, durchbrachen die Verantwortlichen für diesen Sekundärprozess im Jahr 2013 zum ersten Mal die magische Zwei-Sekunden-Marke. Bis heute werden die Mechaniker-Teams an diesem KPI gemessen. Zur Verbesserung der Rundenzeiten in der Formel 1 um nur eine Tausendstel bedarf es zudem einer Millioneninvestition. Zur Verbesserung der Zeiten dieses „unterstützenden" Boxenstopps um gleich mehrere Sekunden hat es „nur" ein wenig Fitness-Training für die Crew, eine detaillierte Prozessmodifikation und eine vergleichsweise geringe Investition in die „Facilities" und Kompetenzentwicklung der Mechaniker bedurft. Man(n) munkelt, dass sich die einstigen Erfolge eines Michael Schumachers zum Teil auch mit seinen Innovationen bei den Boxenstopps erklären lassen. Ein solcher Wertschöpfungsbeitrag durch „schlichte" Sekundärprozesse wäre übrigens auch in vielen Anwendungszusammenhängen für den Bereich des Facility Managements nachweisbar. Und: Sie stehen nicht im Rampenlicht und verdienen keine Millionen und doch würde nichts ohne sie laufen. Geht mal was schief, wird sofort mit dem Finger auf sie gezeigt. Läuft alles nach Plan, heimst jemand anderes die Lorbeeren ein: Der Pilot – oder nennen wir ihn doch an dieser Stelle den Verantwortlichen für den Primärprozess! Hier gibt es scheinbar einige Parallelen zwischen der Welt der Formel-1-Mechaniker und dem Facility Manager

So gilt die Facility Management-Branche mittlerweile als etabliert, sie wird jedoch weithin unterschätzt. Das mag auch daran liegen, dass lange Zeit keine verlässliche Einschätzung zu ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung vorlag. Zwei Probleme waren hier ursächlich: Zum Einen offenbart der Versuch, das gesamtwirtschaftliche Gewicht abzuschätzen, ein Dilemma dieser Facility Management-Branche: Sie ist in ihren Leistungen so breit gefächert und kleinteilig strukturiert, dass ihre (volkswirtschaftliche) Bedeutung wohl auch aufgrund der Vielstimmigkeit der Branche nur selten in Politik, Presse oder der Öffentlichkeit wahrgenommen wurde. Daneben lag die Problematik einer Quantifizierung dieses Wertschöpfungsbereiches auch in der unzureichenden Datenlage. Vor einigen Jahren konnte jedoch zumindest diese Statistiklücke für den Facility Management-Bereich geschlossen werden [4]: Die Facility Management-Branche ist mit einer Bruttowertschöpfung von 130 Milliarden Euro und einem Anteil von 5,42 Prozent am Bruttoinlandsprodukt eine Stütze der deutschen Wirtschaft. Zugleich ist sie mit jährlichen Wachstumsraten von durchschnittlich vier Prozent in Deutschland eine mehr als stabile und krisenresistente Schlüsselbranche. Dieser so heterogene Branchentanker gerät nicht so extrem durch externe Ereignisse (unverschuldet) in turbulentes Fahrwasser. Der Anteil der Erwerbstätigen konnte in konjunkturell schwierigen Zeiten sogar überdurchschnittlich zulegen: Knapp elf Prozent der Erwerbstätige in Deutschlang sind mittlerweile im Facility Management tätig (**Bild 1 und 2**).

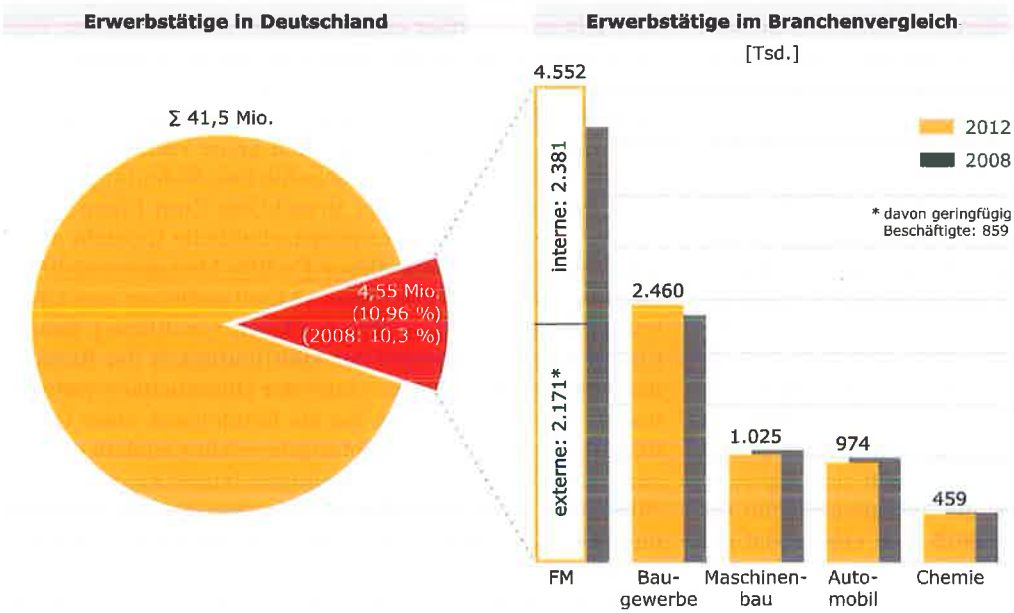
Vordergründig besteht rasch Einigkeit darüber, dass man auch in diesem Bereich des Facility Managements innovieren sollte – bei der Analyse dieses Innovationsphänomens und den damit verbundenen Herausforderungen bestehen jedoch zahlreiche Miss(t)verständnisse. Der Innovationsbegriff wird nicht selten mit reinen Produktinnovationen belegt und bezieht sich damit dominant auf technische Neue-

Prof. Dr. Markus Thomzik
Professor für Betriebswirtschaftslehre und Facility Management
Mitglied im VDI-Fachbeirat FM
Partner der Prof. Staudt Innovation-Consulting GmbH
Forschungsprofessor am Institut für angewandte Innovationsforschung (IAI) e.V. an der Ruhr-Universität Bochum
Mitglied der Gesellschaft für Immobilienwirtschaftliche Forschung e. V.
Mitglied im DIN Arbeitsausschuss Facility Management
Mitglied RealFM – Association for Real Estate- and Facility Managers
Mitglied im Deutschen Netzwerk für betriebliche Gesundheitsförderung (DNBGF)
Westfälische Hochschule
Neidenburger Str. 43, 45897 Gelsenkirchen
Markus.Thomzik@w-hs.de



Quellen: Statistische Bundesamt und Berechnungen des IAI;
(Die Wertschöpfung des Facility Managements bezieht sich auf die Jahre 2012/2008, die übrigen Wirtschaftsbereiche auf die Jahre 2011/2007)

Bild 1. Beitrag der Facility-Management-Branche zur Bruttowertschöpfung im Branchenvergleich in den Jahren 2012 und 2008



Quellen: Berechnungen des IAI auf der Datenbasis des Statistischen Bundesamtes, der Bundesagentur für Arbeit und der Minijob-Zentrale.
Die Zahlen des Facility Managements beziehen sich auf die Jahre 2012/2008, für die übrigen Wirtschaftsbereiche auf die Jahre 2011/2008.

Bild 2. Anzahl der Erwerbstätigen im Facility Management im Branchenvergleich in den Jahren 2012 und 2008

rungen. In einem weiteren Sinne umfassen Innovationen von und in Unternehmen aber nicht nur technologische Entwicklungen für neue Produkte und Dienstleistungen, sondern auch schlichte organisatorische Veränderungen bis hin zu ganzheitlichen „Change Prozessen". Dabei variiert der Neuheitsgrad auf einem Kontinuum von „inkrementell" bis „radikal": Betriebliche Neuerungen können sowohl tief greifende als auch kleinschrittige Veränderungen des Status quo bedeuten. Relativiert wird der Begriff Innovation darüber hinaus durch die subjektive Akteursperspektive: Maßgeblich ist bei der Betrachtung der Neuerung nicht die objektive Innovation im Sinne einer Markt-, geschweige denn Weltneuheit, sondern die Erstmaligkeit für den innovierenden Akteur. Das kann für eine einzelne Person das Bedienen einer neuen gebäudetechnischen Anlage sein oder für ein Unternehmen die Einführung eines CAFM-Systems, das in anderen Unternehmen bereits seit Jahren eingesetzt wird. Weitere Differenzierungen des Innovationsbegriffs sind zu gewinnen, wenn man fragt, woher der „erste Impuls" für einen Innovationsprozess stammt. Innovationsprozesse können mit vielfältig gearteten Innovationsimpulsen beginnen, zum Beispiel:

- mit einer neuen technologischen Entwicklung, entweder aus dem Unternehmen selbst oder aus dem Unternehmensumfeld („technology push"),
- mit neuen Bedürfnissen der Nachfrageseite (bedarfsorientierte Induktion bzw. „demand pull"),
- durch die Änderungen rechtlicher Rahmenbedingungen („regulatory push / pull") sowie
- mit einem neuen im Unternehmen entwickelten (Zufalls-)Produkt oder einem organischen Wachstumsschub des Unternehmens, das Maßnahmen der Organisationsgestaltung und -entwicklung erforderlich macht (sog. autonome Induktion).

Wie ist es also bestellt um Innovationen im Facility Management auf diesem Kontinuum von strategischen bis operativen Themen. Der Autor hat dazu bereits an anderer Stelle eine erste Einschätzung zu strategischen Aktivitäten in der Facility Management-Branche gegeben: In Herrn Psottas Rubrik „Fünf Fragen an..." durfte er im Immobilienteil der F.A.Z. vom 1. August 2014 seine Beobachtung skizzieren, dass in Teilen unserer Facility Management-Branche kein strategischer Innovationswettbewerb zu herrschen scheint. Wenn wir uns die wenigen Meldungen in den Wirtschaftsteilen überregionaler Zeitungen zu Akteuren der Facility Management-Branche anschauen, könnte man den Eindruck bekommen, da seien ausschließlich Konzernstrategen in der Verantwortung, die als Kinder zu viel Monopoly gespielt haben und

das für gute Unternehmensführung halten. Schließlich werden auch in der Facility Management-Branche nicht selten ganze Unternehmen zum Spielball einer M&A-Szene, weil sie nicht mehr zur Konzernstrategie passen oder die Vorgaben zur Konzernrendite nicht (mehr) erfüllen. Dabei kommt dann oft zu kurz, sich dem zugegeben aufwendigeren Prozess der Unternehmensentwicklung zu stellen und mit geänderten oder neuen Konzepten die Kundenprobleme (von morgen) zu lösen. Der interessierte Beobachter registriert an dieser Stelle, dass wirklich radikale Innovationen im Vergleich zu den kleinen Verbesserungen – und das übrigens nicht nur im Facility Management-Bereich – insgesamt höchst selten sind. Es ist allerdings zu konstatieren, dass so mancher Facility Service-Anbieter jenseits der Titelseiten von Fachzeitschriften eher durch „Entwicklungen" im Kleinen auffällt und dabei durchaus im wahrsten Sinne des Wortes Innovationen zur Mehrung des Kundennutzens vorantreibt.

Damit sind an dieser Stelle aber genug Blumen für die Facility Management-Dienstleister verteilt. Sicherlich gibt es auch hier noch zahlreiche Entwicklungsreserven in der Professionalisierung ihrer (Unterstützungs-)Leistungen. Dazu gehören nach den Analysen am Institut für angewandte Innovationsforschung an der Ruhr-Universität Bochum e.V. zum Beispiel interne Potenziale, die in vielen produzierenden Bereichen außerhalb des Facility Managements längst gehoben sind: Die Vermeidung von Verschwendung in den (internen) Prozessen. Die Frage, welche (Teil-)Prozesse der Facility Services keinen wirklichen Mehrwert bringen, wird im Tagesgeschäft des Regelbetriebes leider allzu oft nicht gestellt. Und mehr noch: Auch erkannte Probleme unproduktiven Arbeitens werden häufig nicht abgestellt. „Werte ohne unnötige Verschwendung schaffen" – welche Leitlinie wirtschaftlichen Handelns könnte besser in unsere Zeit passen, in der der verschwenderische Umgang mit knappen Ressourcen immer häufiger beklagt wird [1]. So könnte übrigens auch jenseits der *„Lamenti"* über die negativen Preisspiralen auf der Seite der Facility Management-Dienstleister (wieder mehr) Geld verdient werden.

Doch man kann nicht nur Entwicklungsreserven im Innovationsbereich auf Dienstleisterseite beobachten. Auch auf der Seite der Auftraggeber respektive Corporates werden in Teilen noch immer Probleme der Ressourcen und Kompetenzen vor sich hergeschoben und mancherorts ein Feindbild des bösen Dienstleisters kultiviert, um zum Teil von den eigenen Defiziten abzulenken (Stadlöder 2015). Die empirischen Erfahrungen der Innovationsforschung sagen allerdings dazu, das solche Beharrungsresistenzen gegenüber Neuerungen vor allem in saturierten Gesellschaften oder (quasi-)monopolistischen Unternehmen anzutreffen sind, in denen sich lieber jahrzehntelang auf die eigene Schulter geklopft wurde anstatt ernsthaft an der Weiterentwicklung des Geschäftes zu arbeiten. Wenn sich Großkonzerne also lange Zeit Facility Management-Spielwiesen ohne Erwartungen und ohne den Hauch von Handlungsdruck gegönnt haben, weil mit dem Kerngeschäft mehr als genug Geld verdient wurde, wenn die internen Facility Management-Abteilungen als Besenkammer für Schonarbeitsplätze eingerichtet wurden, weil den Sekundärprozessen als sogenannte „Eh-da-Kosten" keine (strategische) Bedeutung beigemessen wurde, dann haben sich dem einen oder anderen Facility Management-Missionar in der Vergangenheit schon mal die Zehennägel gekräuselt. Und womit? Mit Recht! Der Beobachter allerdings erkennt gerade in jüngster Zeit mal wieder, dass der Handlungsdruck (von außen) stets ein großer Treiber für Veränderungen ist, die wir aber in der Konsequenz ohne Probleme als innovative Entwicklungen (auf Seiten der Auftraggeber) charakterisieren können. Solche Innovationen werden allerdings – wie üblich – nicht per se von allen Beteiligten als positiv angesehen. Auf der einen Seite wird zum Beispiel so mancher (Facility Management-)Einkäufer – einst ein zahnloser Tiger, weil für seinen Vorgesetzten der Angebotspreis in den Ausschreibungsverfahren keine wirklich dominante Rolle gespielt hat – nun aufgewertet, weil er in Zeiten von Existenz bedrohenden Veränderungen der eigenen Wertschöpfungsarchitektur jetzt von „ganz oben" aufgefordert wird, doch bitte in den Servicebereichen ordentlich nachzuverhandeln. Auf der anderen Seite gibt es aber auch nicht wenige innovative Corporates, die sich von ihren Kompetenzträgern – nicht selten von Quereinsteigern oder Querdenkern im Team mit gut ausgebildeten jungen Facility Management-HochschulabsolventInnen – innovative Konzepte der Dienstleistungsteuerung entwickeln lassen und die unterstützenden Prozesse passgenau(er) an den Anforderungen der primären Aktivitäten des Unternehmens ausrichten. Als nächstes wird schon daran gearbeitet die strategische Relevanz des Facility Managements respektive ihren Wertschöpfungsanteil durch aussagefähige KPIs nachzuweisen. Damit würde man vielleicht endlich von dieser unsäglichen, aber dominat kostengetriebenen (Nicht-)Wertschätzung des Facility Management wegkommen. Doch diese Entwicklungen sind noch nicht in (Fach-)Zeitschriften nachzulesen – wie in frühen Phasen des Innovationsprozesses aber üblich!

Der Autor würde hier auch gerne auf die Nachhaltigkeitsdebatte im Zusammenhang mit Innovationen im Facility Management eingehen. Bei allen ehrenwerten Bemühungen diesen Megatrend (endlich?) für die Facility Management-Branche instrumentell umzusetzen, sollte hier folgende (kleine) Anmerkung erlaubt sein: Die Einführung eines Nachhaltigkeitszertifikates – gleich welcher Couleur – ist eine Umweltinnovation. Im Unterschied zu „normalen" Innovationen, die jeweils nur den Bezug zu spezifischen Zielen der innovierenden Akteure aufweisen, tritt bei Umweltinnovationen ergänzend die Bezugnahme zum Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung hinzu. Nachhaltige Innovationen enthalten nach diesem Leitbild stets eine ökologische, ökonomische sowie soziale Dimension und tragen in mindestens einem der drei Bereiche zur Verbesserung bei. Die These des Autors ist hier: (Umwelt-)Innovationen für nachhaltiges Wirtschaften setzen sich aber nicht allein schon dadurch durch, weil sie ökologisch sinnvoll und/oder technologisch machbar zu sein scheinen, sondern nur, weil sie zudem ökonomisch tragfähig und/oder zur Erfüllung von gesetzlichen Anforderungen notwendig sind. Zu (Umwelt-)Innovationen für nachhaltiges Wirtschaften kommt es also erst, wenn diese durch „marktseitige Sanktionen" oder gesetzliche Regelungen „verordnet" werden; mithin sind sie im Gegensatz zu „normalen", überwiegend dem Rentabilitätspostulat folgenden Innovationen oft keine Selbstläufer. Eine gesetzliche Verordnung ist in diesem diffusen Facility Management-Fall politisch nicht in Sichtweite. Eine „marktseitige Sanktion" ähnlich der Diffusion eines vermeintlichen Qualitätssicherungssystems mittels DIN ISO 9000 ff. ist grundsätzlich vorstellbar. Im Fall

der DIN ISO 9000 ff. bedeutet das Zertifikat aber sehr oft „nur“ (noch?) eine formale Zulassungsbedingung zu Ausschreibungsverfahren. Hier wird also ein faktischer Zwang zur Zertifizierung ausgeübt, ohne damit den originär intendierten Verbesserungsprozess wirklich verfolgen zu wollen und/oder zu können. In diesem Sinne besteht zumindest die Gefahr, dass ein Nachhaltigkeitszertifikat eventuell nicht zur Problemlösung beiträgt, sondern selber zum Teil eines Zertifizierungs(un)wesens, zu einer schlichten Arbeitsbeschaffungsmaßnahme für einen neuen Insiderkreis von Auditoren werden könnte und nebenbei zu einem „nachhaltigen“ Themenhype in Fachzeitschriften führt.

Es scheint also zur Zeit im Facility Management-Bereich modern zu sein, über Innovationen zu reden. Berater aber auch Manager, Chefredakteure, Verbandsvertreter und Veranstalter von Messen und Fachtagungen beschwören Innovationen als Garanten für die Entwicklung unserer Branche. Innovation – was immer darunter verstanden wird – wird zur Pflicht. Und selbst der Facility Service-Anbieter, der in einem als „nicht innovativ“ bezeichneten Feld erfolgreich ist und Arbeitsplätze schafft, gerät scheinbar unter Rechtfertigungszwang. Wenn aber „echte“ Innovationen anstehen, weichen die Bekenntnisse zur Veränderung allzu oft der Angst um die eigene Position [2]. Denn beim Innovieren wird sehr schnell klar, dass man bestehende Strukturen und Prozesse in Frage stellt, dass der Verlust lieb gewordener Privilegien droht, dass Bereiche aufgegeben werden müssen, in denen man kompetent war. Das ist ein schmerzhafter Prozess, den viele meiden und die kurzfristig bequemere Alternative der Besitzstandswahrung vorziehen. Echte Innovationen (im Facility Management) werden verschoben, solange es nur geht. Diese Besitzstandswahrung und eine oft über Benchmarking angesteuerte kurzsichtige Kostenorientierung drohen indes zu Lasten notwendiger Entwicklungen für die Zukunft zu gehen. Unter dem Druck von Downsizing oder Outsourcing laufen Unternehmen dabei Gefahr, sich in einen Zustand höchster Effizienz, aber auch höchster innovatorischer Inkompetenz hineinzumanövrieren. Eine „Schlankheitskur“ im Routinebereich (auch des Facility Management!) droht in eine krankhafte „Magersucht“ im Innovationsbereich umzuschlagen. Wenn Fach- und Führungskräfte nämlich ihrer letzten innovatorischen Freiräume beraubt werden, fehlt die Zeit, „über den Tellerrand“ eines Regelbetriebes zu schauen und Wege zu Neuem vorzubereiten. Wer aber, um im Preiswettbewerb der Facility Management-Branche zu bestehen, im Innovationswettbewerb gar nicht an den Start geht, – so die Prognose des Autors – wird in Zukunft kaum erfolgreich sein können. Auf der Suche nach einem Ausweg aus diesem Innovationsdilemma und in der Hoffnung auf Patentrezepte für Innovationen wenden sich viele Unternehmen an Großberater, geben Trendstudien und Benchmarkingprojekte (z.T. an Masterstudierende) in Auftrag – aber laufen doch nur im „Innovationskreis“. Denn wenn alle aufgrund der gleichen Datenlage den gleichen Modeströmungen folgen, dann führt dieser (auch methodische) Konsens nicht zu der angestrebten Innovationsführerschaft, sondern in Bereiche höchster Wettbewerbsintensität, für die in Teilen noch nicht einmal die erforderlichen Kompetenzen verfügbar sind und dann aufwendig durch externes Wachstum beschafft werden müssen. Unternehmensleitungen, die sich dem Mainstream verschreiben, machen aus ihrer Sicht zwar nichts falsch oder zumindest nichts, was nicht als durch Stäbe oder Berater abgesichert gilt, aber echte Innovationen und Differenzierung von der Konkurrenz schaffen sie nicht. Wer weder im „Zug der Lemminge“ den zum Teil ahnungslosen Trendsettern hinterherlaufen noch in klassischen Anbieterpositionen verharren will, ist daher gut beraten, sich selbst zu orientieren und Entwicklungspfade zu erschließen, die mit den aktuell verfügbaren oder entwickelbaren Kompetenzen des Unternehmens beschritten werden können. Doch Innovationen fallen nicht vom Himmel, sondern werden von Menschen gemacht. Erfahrungsgemäß sind es nicht mehr als zehn Prozent bis 15 Prozent der Fach- und Führungskräfte, die Innovationen jenseits des Mainstreams auch gegen (interne) Widerstände vorantreiben. Viele Manager tun sich aber schwer, dem innovatorischen Potenzial der eigenen Belegschaft zur Entfaltung zu verhelfen. Daran gewöhnt, das Bestehende zu optimieren, haben sie offenbar verlernt, wie man kreatives Engagement fördert und für die Unternehmensentwicklung nutzbar macht. Hier ist auch in den Unternehmen der Facility Management-Branche der Wandel der „Innovationskulturen“ dringend erforderlich. Was zeichnet aber solche Innovationskulturen für den Aufbruch zu Neuem aus? Und noch viel entscheidender, wie ist der Wandel zu einer Innovationen fördernden Organisation zu gestalten? An diesen Fragen ist aus der Sicht des Autors (auch im Facility Management-Bereich) endlich anzusetzen.

Unterschätzt werden dabei noch immer die Probleme der (künftigen) Personalgewinnung. Denn: Innovationen werden auch im Facility Management von Menschen gemacht! Um künftig im „War for Talents“ erfolgreich zu sein, muss die Attraktivität des Facility Managements jedoch noch deutlich gesteigert werden. Wer möchte schon als gut ausgebildeter Ingenieur in der Besenkammer eines Konzerns die wenig beachteten Sekundärprozesse verantworten, wenn er sich stattdessen für die Entwicklung des Automobils feiern lassen kann, das nebenan im Scheinwerferlicht vom Band läuft? Die Facility Management-Dienstleister haben es hier mit den Entwicklungsperspektiven für junge Fach- und Führungskräfte vermeintlich einfacher, müssen aber auch ihre Hausaufgaben machen. Dabei sind neue Wege wie beispielsweise ausbildungsintegrierte duale Studiengänge zu nutzen, um bislang wenig erreichte Zielgruppen für das Facility Management anzusprechen. Die weitere Profilierung von Berufsbildern unter einem gemeinsamen Dach des Facility Managements wie dem Dienstleistungssteuerer, Objektmanager etc. ist hier ein weiterer Schritt in die richtige Richtung. Die Unternehmen der Branche sind insgesamt gut beraten ihre künftigen Fach- und Führungskräfte möglichst frühzeitig über Maßnahmen des Hochschulmarketings an sich zu binden. Denn um als (Hoch-)Schulabsolvent im Facility Management handlungsfähig und damit letztlich für das Unternehmen und die Branche im wahrsten Sinne des Wortes „gewinnbringend“ werden zu können, muss man zusätzlich zum erlernten expliziten Wissen im Hörsaal oder Labor auch ein implizites Erfahrungswissen aufbauen. Schwimmen lernt man auch nicht auf der Schulbank, sondern im Wasser! Aber auch diese impliziten und expliziten Kompetenzbestandteile alleine reichen nicht aus: Der beruflich kompetente Mitarbeiter wird langfristig kaum einen Leistungsbeitrag in einem Facility Management-Unternehmen erbringen, wenn er nicht gleichzeitig auch gesund bleibt. Darum ist angesichts zunehmend schwindender Quantitäten mit innovativen Maß-

nahmen des betrieblichen Gesundheitsmanagements auch die Employability der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu sichern. Hier kann und muss auch das Facility Management-Unternehmen einen Beitrag leisten. Denn die Gestaltung von (gesunden) Verhältnissen sollte schließlich eine Kernkompetenz des Facility Managers sein.

Das Fazit der vorliegenden Denkschrift: Die Facility Management-Branche ist genauso (wenig) innovativ wie viele andere Branchenzuschnitte. Darum wird man hier auch künftig zahlreiche kleinteilige Verbesserungen des Status Quo und hin und wieder auch mal radikale Neuerungen beobachten können. Aber: Bei dem Versuch innovative Entwicklungen voranzutreiben, ist Scheitern nicht auszuschließen. Mehr als 80 Prozent der in Unternehmen gestarteten Innovationsprojekte werden erfolglos abgebrochen. Darum gilt das Lernen aus Erfahrung hier als eines der Erfolgsmaxime. Und: Am Besten lernt man nicht nur aus den wenigen erfolgreichen Projekten; am Besten lernt man aus Fehlern und – so sagt der schlichte Ökonom – am Günstigsten aus den Fehlern anderer! Doch (auch) im Bereich des Facility Managements lösen Appelle zur Steigerung der Innovationsfähigkeit oft nur Alibi-Aktionismus aus, weisen die Innovationskulturen in weiten Teilen noch große Entwicklungsreserven auf. Hier sind zusammen mit dem Kunden Entdeckungs- und Abstimmungsprozesse für Innovationen zu organisieren und die dafür notwendige personelle (Kompetenz-)Basis zu schaffen, um mit diesen innovativen Kräften und geeigneten Maßnahmen die Innovationskraft im Facility Management weiter zu fördern.

Literatur

[1] *Kerka, F.*: Abschied von Alibi-, Ersatz- und Ausweichhandlungen – Wie Manager wieder wertvolle Führungsfunktionen in Verbesserungsprozessen erfüllen, Bochum 2015.

[2] *Kriegesmann, B.; Kerka, F.*: Riskante Managementirrtümer – ein kritischer Blick auf den Kernkompetenzenansatz und die Mode der wahllosen Diversifikation, Bochum 2007.

[3] Peterka, H.: Wertschöpfungshebel für das Kerngeschäft dingfest machen, Vortrag auf dem Nutzerkongress 2015 in Oberhausen am 21.4.2015.

[4] Thomzik, M.: FM-Branchenreport – Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Facility-Management-Branche, Bonn 2014 und Bochum 2010.

Exklusiv für Leser der Bautechnik-Jahresausgabe

Jetzt Doppelprämie sichern

Werben Sie ein VDI-Mitglied und erhalten Sie zusätzlich zu Ihrer ausgewählten Prämie ein Bit-Set gratis dazu! Die Aktion ist nur bis zum 30. Oktober 2015 gültig.

So einfach geht's:
Füllen Sie den Online-Aufnahmeantrag aus und tragen Sie den Produktcode Ihrer Wunschprämie (www.vdi.de/praemien) ein. Bitte bei Schritt 3 im Feld „Kommentar" das Stichwort „Bauingenieur" eintragen.

Hier geht's direkt zum Online-Aufnahmeantrag

www.vdi.de/mitgliedschaft
Telefon: +49 211 6214-600
E-Mail: mitgliederservice@vdi.de

Die Dresdner Waldschlößchenbrücke

P. Hilbert

Ein Blick auf die 636 Meter lange Waldschlößchenbrücke. Wegen dem umstrittenen Bauwerk wurde dem Dresdner Elbtal der Unesco-Welterbetitel aberkannt.

Die Dresdner Waldschlößchenbrücke wird immer beliebter, allerdings gibt es an der Elbquerung auch einige Überraschungen. Die reichen von ausgefallenen LED-Leuchten bis zu welligem Asphalt.

Hoffnung, Streit und ein aberkannter Unesco-Welterbetitel fürs Dresdner Elbtal. Dies verbindet sich mit der Waldschlößchenbrücke. Die wurde im August 2013 mit einem großen Fest, zu dem 190.000 Besucher kamen, eröffnet. Sechseinhalb Jahre hatte der Bau der 636 Meter langen Stahlverbundkonstruktion gedauert. Der Überbau der Bogenbrücke ist 24,5 Meter breit. Das direkt über der Elbe liegende Stromfeld mit dem Bogen ist 140 Meter lang und 1.800 Tonnen schwer. Auf der rechtselbischen Seite mündet die Fahrbahn in ein Tunnelsystem mit zwei Hauptröhren sowie einer östlichen Aus- und einer westlichen Zufahrt. Seit 26. August 2013 rollt der Verkehr über die Elbquerung. Mittlerweile ist am Dresdner Waldschlößchen Alltag eingezogen. In ihrem zweiten Jahr wird die Waldschlößchenbrücke noch beliebter. Und das nicht nur bei Kraftfahrern, die sich schon immer für die umstrittene Elbquerung starkgemacht haben. Es gibt jedoch nach wie vor nicht nur Licht-, sondern auch Schattenseiten. Denn andererseits sorgen unerlaubte Eindringlinge im anschlie-

Dipl.-Journ., Dipl.-Ing. (FH) Peter Hilbert
Leiter Stadtteilredaktion Dresden
Sächsische Zeitung
Ostra-Allee 20, 01067 Dresden
hilbert.peter@dd-v.de
www.ddv-mediengruppe.de

Die vierspurige Brücke wird gut genutzt. An Spitzentagen rollen 37.000 Fahrzeuge darüber.

Immer mehr Radler erobern die Waldschlößchenbrücke für sich und kommen so schnell zum anderen Elbufer. Fotos: Marco Klinger

Ein Blick in den Haupttunnel. Alle technischen Anlagen in dieser und den anderen Röhren werden automatisch gesteuert. Foto: Peter Hilbert

Immer wieder dringen Fußgänger in den Waldschlößchentunnel ein. Deshalb musste Klaus Pohl als Abteilungsleiter Verkehrsüberwachung schon zusätzliche Sperrschilder anbringen lassen. Foto: Marco Klinger

Die LED-Lichtleisten sorgen für Diskussionen. Schon nach kurzer Zeit waren einige LED-Elemente ausgefallen. Foto: Marco Klinger

ßenden Waldschlößchen-Tunnel immer wieder für Gefahren, erläutert Dresdens Straßenbauamtschef Reinhard Koettnitz.

Die Schnellen: Verkehrsstrom wächst durch Sperrung der Nachbarbrücke

Stark zugenommen hat der Kfz-Verkehr auf der Waldschlößchenbrücke. Gebaut ist die vierspurige Trasse für bis zu 45.000 Fahrzeuge täglich. Denn sie soll die anderen, stark frequentierten Dresdner Elbebrücken entlasten. Nach der Eröffnung rollten nur rund 24.000 Autos darüber. Einen ersten großen Zuwachs auf bis zu 32.000 gab es, als die benachbarte Albertbrücke Mitte Mai 2014 zur Einbahnstraße wurde. Denn die 1877 übergebene Sandstein-Bogenbrücke wird saniert. „Nach der Vollsperrung im Juli 2014 sind noch einmal 4.000 bis 5.000 Fahrzeuge täglich dazugekommen“, resümiert Koettnitz. Dabei habe es sich eingepegelt. Wenn die Albertbrücke ab Juni 2016 komplett freigegeben ist, wird der Verkehrsstrom am Waldschlößchen aber wieder geringer.

Die Umweltfreunde: In Spitzenzeiten rollen fast 90.000 Radler im Monat

Auf den breiten Radwegen beiderseits der Elbe ist eine der insgesamt elf elektronischen Dresdner Zählstellen installiert. Die Waldschlößchenbrücke ist die am meisten frequentierte. „Gegenüber den ersten Monaten 2013 ist der Radverkehr deutlich gestiegen“, sagt Koettnitz und verweist auf die Statistik. Fuhren nach der Eröffnung im September 2013 noch knapp 63.000 Radler über die Brücke, so waren es ein Jahr später bereits rund 76.000. Im Sommer wurde sogar ein Spitzenwert von über 87.000 Radlern erreicht. Allerdings gibt es einige von ihnen, die zu Schwarzfahrern im für sie gesperrten Tunnel werden. Etwa einmal wöchentlich kommt ein Radfahrer bergab von der Stauffenbergallee durch den Haupttunnel auf die Brücke gebraust.

Die Verbotenen: Fußgänger dringen in Waldschlößchen-Tunnel ein

Rund um die Uhr werden die Neustädter Tunnel mit 33 Kameras in der Dresdner Verkehrsleitstelle überwacht. Elf Spezialisten haben auf ihren Bildschirmen Tunnel und Brücke im Blick. In dem hochmodern ausgestatteten, insgesamt 800 Meter langen Tunnelsystem erfassen 33 mit Video-Detektoren ausgestattete Kameras jede Ecke. Über eine Lautsprecheranlage können die Überwacher unerwünschte Eindringlinge warnen. Die sogenannten Grenzflächenhörner sind so gebaut, dass die Schallwellen im Gegensatz zu Bahnhofslautsprechern 100%-ig verständlich sind. Genutzt werden müssen sie schon gelegentlich. Anfangs gab es noch Geisterfahrer. So war einer von der angrenzenden Bundesstraße in die gesperrte Tunnelausfahrt gerollt. Glücklicherweise kam keiner entgegen. Auf der Brücke hatte er aber Pech und wurde geblitzt. „Das hat sich offenbar bis in die tiefste Lausitz herumgesprochen“, sagt Koettnitz. Denn die zwei bisherigen Falschfahrer kommen laut Nummernschild dorther. Denn seit Januar 2014 sichteten die Reicker Überwacher keinen Geisterfahrer mehr in den Tunneln.

Dafür dringen – trotz der Verbotsschilder – immer wieder Fußgänger in die Röhren ein. Die Zahl ist in diesem Jahr wieder angestiegen. Bisher wurden schon zehn Personen gesichtet.

Die Blendenden: LED-Welterbeleuchten sorgen immer wieder für Kritik

In den Geländer-Handläufen leuchten 1.322 LED-Lichtleisten. Die hochwertige Technik wurde speziell für die Waldschlößchenbrücke konstruiert. Denn sie war ein Bestandteil des Kompromissvorschlags für die umstrittene Elbquerung, mit dem die Stadt den später aberkannten Unesco-Welterbetitel retten wollte.

Den Auftrag für Lieferung und Montage hatte das Unternehmen Elektro Dresden-West erhalten. Dieses ließ die Leuchten bei der Firma Hess Lichttechnik herstellen, die über Standorte im badischen Villingen sowie in Löbau verfügte. Im sächsischen Werk sollten die Leuchten für die sächsische Waldschlößchenbrücke gefertigt werden, kündigte Firmenchef Christoph Hess einst an. Extra dafür baute er in Löbau ein millionenteures LED-Entwicklungs- und Produktionszentrum aus. Doch als es Anfang 2013 fertig war, meldete die Firma die Insolvenz an. Die LED-Lichtleisten für die Waldschlößchenbrücke wurden aber zuvor ausgeliefert.

Mit denen gibt es aber Ärger. Einerseits beschweren sich Radler und Fußgänger, dass die Leuchten zu sehr blenden. Andererseits sind mehrere LED-Elemente in den Lichtleisten ausgefallen. „Diese Beleuchtungsstärke wird aber gebraucht. Ändern können wir sie nicht", sagt Koettnitz. Zudem empfinde er sie nicht als zu stark blendend. Spezialisten können den von Passanten empfundenen Effekt erklären. So der Lichtforscher Christoph Schulze vom Lehrstuhl Verkehrspsychologie der Technischen Universität Dresden. Es gebe eine gefühlte Blendung, erläutert er am Beispiel der Brücke. Egal ob Autofahrer, Radler oder Fußgänger: Schauen sie beim Passieren der Elbquerung nach links oder rechts, sehen sie nur die grellweißen Lichtstreifen der Handlaufbeleuchtung und nichts dahinter. Das sei ein Indiz für eine Blendung. Die Geländer der Waldschlößchenbrücke sind zwar mit zukunftsweisender LED-Technik ausgestattet. Bewertungs- und Messmaßstäbe gebe es für diese Art der Leuchten jedoch noch nicht. „Hier hat die Entwicklung der Technik Wissenschaft und Prüfmöglichkeiten überholt", sagt der Fachmann. Die ausgefallenen Einzelteile werden im Zuge der Gewährleistung von der Elektromontagefirma ersetzt.

Die Ärgerlichen: Stadt will Asphalt-Wellen dieses Jahr noch einmal vermessen

Für weiteren Ärger hatten auch Wellen gesorgt. Ursache ist der Gussasphalt auf der Brücke. Seine Vorteile: Er hat eine wesentlich höhere Dichte und ist mit bis zu 25 Jahren länger haltbar als herkömmlicher Walzasphalt. Er ist wasserundurchlässig und muss nicht von Walzen verdichtet werden. So kann die empfindliche Brückendichtung nicht beschädigt werden. Allerdings hat er auch Nachteile: Er verformt sich im Nachhinein kaum. Zulässig sind bis zu vier Millimeter hohe Wellen. An einigen Stellen ragen sie aber neun Millimeter empor, räumt Dresdens Straßenbauamtschef Koettnitz ein. Für die Mängel hatte die Stadt der Baufirma bereits rund 10.000 Euro von der Rechnung abgezogen. Koettnitz hofft, dass der Verkehr die Wellen glattwalzt. Experten sehen dafür jedoch kaum eine Chance. Das bestätigt auch Peter Rode, Geschäftsführer der Bonner Beratungsstelle für Gussasphalt. „Hier ist wahrscheinlich der Wunsch der Vater des Gedankens", widerspricht der öffentlich bestellte Sachverständige. „Die Wellen werden bei den Verkehrsbelastungen auf der Waldschlößchenbrücke nicht herausgewalzt", sagt er. Die sehr dichte Masse ohne Hohlräume wird mit einer Temperatur von 220 Grad eingebaut. „Der Asphalt müsste sich zunächst erst einmal so weit erwärmen, dass er verformbar ist. Und das nicht nur im Bereich einer Welle, sondern auf der gesamten Brücke", erklärt der Experte. „Im günstigsten Fall könnte nur im Bereich der Rollspuren eine Rückverformung erfolgen. Ich halte das aber für unrealistisch."

Eigentlich wollte die Stadt Ende 2014 überprüfen, ob die Wellen kleiner geworden sind. „Wir warten aber ein weiteres Jahr ab, denn das vergangene war nicht sonderlich warm", sagt Koettnitz. Nachgearbeitet werde auf der Fahrbahn auf jeden Fall nicht mehr. Es gehe nur noch darum, ob und wie sich die Wellen verändern.

Die Tierischen: Biber nagt an der Waldschlößchenbrücke

43 Tierarten soll es rund um die Waldschlößchenbrücke geben. Am berühmtesten wurde die kleine Fledermausart Kleine Hufeisennase, genannt Hufi. Wegen ihr wurde die Elbquerung zu Deutschlands berühmtester Tempo-30-Zone. Beiderseits der Elbe werden die Feldermäuse sicher unter der Brücke hindurch geleitet. Angelegt sind autobahnbreite, 350 Meter lange Strauchreihen, für die rund 220.000 Euro investiert wurden.

Gesichtet wurde eine der nachtaktiven Hufeisennasen am Waldschlößchen aber bis heute nicht. Zwar hatte eine Fußgängerin schon ein Foto von einer Fledermaus an der Brücke geschossen. Dabei soll es sich aber nicht um Hufi, sondern um eine Kleine Rauhaut oder eine Zwergfledermaus handeln.

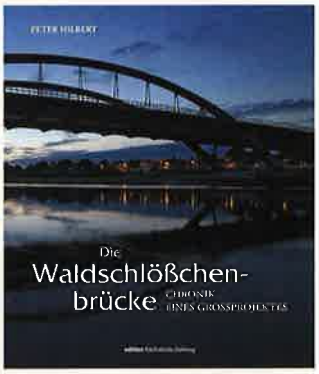
Für Aufsehen sorgte jedoch nicht nur die Kleine Hufeisennase. Kurz vorm Herrentag im Mai 2010 sorgte dafür ein kleiner Biber. Den hatten Tiefbauamtsleiter Reinhard Koettnitz und Bauoberleiter Hans-Joachim Kummert entdeckt, als sie am Neustädter Ufer unterwegs waren.

Das Tier machte es sich im Treibgut an einem stählernen Hilfspfeiler gemütlich. „Wir hatten überhaupt nicht damit gerechnet, dass wir auf der Baustelle solchen Besuch bekommen", sagte Koettnitz. Nachdem ich darüber berichtet hatte, zogen Schaulustige dorthin, um den Biber zu sehen. Im Extremfall hätte die Stadt eine Ausnahmegenehmigung beantragen müssen, um das streng geschützte Tier umzusiedeln. Doch das hatte bereits selbst gehandelt und die Brückenbaustelle den Rücken gekehrt.

Allerdings ist das nicht der einzige Biber, der sich in der Innenstadt wohlfühlt. Als ich damals mit dem städtischen Biberexperten Harald Wolf an der Waldschlößchenbrücke und im Umfeld umsah, entdeckte er direkt unterhalb der Staatskanzlei ein staatliches Exemplar. Für ihn ein Beleg, dass die Biberdichte in Dresden immer mehr zunimmt.

Der Brückenbiber ist in diesem Frühjahr offenbar wieder aufgetaucht. Am linkselbischen Ufer, nur wenige Steinwürfe von der Brücke entfernt, wurde ein Biberpärchen im Ufergehölz von Anwohnern gesichtet. Dresdens städtischer Experte Wolf vermutet jedoch, dass es sich um den 2010 noch sehr jungen Brückenbiber handelt. „Ich glaube, dass das Tier damals einfach ein paar Meter weiter nach unten gezogen ist", sagt er.

Das Buch:
Die Waldschlößchenbrücke – Chronik eines Großprojekts



Hoffnung, Streit und eine gestrichener Welterbetitel. Dies und vieles mehr verbindet sich mit dem Bau der Dresdner Waldschlößchenbrücke. Jetzt überspannt die Realität aus Stahl und Beton die Elbe. Doch bis dahin war es ein langer Weg, der bereits im 19. Jahrhundert begann. Fast sechs Jahre lang hat der Dresdner Journalist Peter Hilbert recherchiert. Der 56-Jährige hat im Buch „Die Waldschlößchenbrücke – Chronik eines Großprojekts" die über 140-jährige Vorgeschichte mit mehreren Anläufen für den Bau dargestellt.

Vor allem aber drehen sich die spannenden Brückengeschichten um Tiefschläge und Besonderheiten bei den Arbeiten. Schließlich platzten die Endtermine im Dauer-Rhythmus. Hilbert berichtet im neuen Buch jedoch auch über die Brückenbauer, den Brückenbiber, die Fledermaus Hufi, den Schutzheiligen Nepomuk sowie die Vollendung der Brücke unter den schweren Bedingungen der Elbeflut 2013. In dem mit 157 Fotos, Plänen und Grafiken illustrierten Buch ist auf 160 Seiten ein Stück Dresdner Geschichte festgehalten, das zu den aufregendsten der vergangenen Jahre zählt.

Spannende Brückengeschichten enthält dieses 160-seitige Buch von Peter Hilbert, das in der Edition SZ erschienen ist. Preis: 12,90, ISBN: 978-3-943444-03-2, Kostenlose Lieferung: www.editionsz.de

Die schier unendliche Geschichte der Waldschlößchenbrücke – eine Chronik

15. August 1996 – Baubeschluss. Der Stadtrat beschließt den Bau einer Brücke am Waldschlößchen. Zuvor waren verschiedene Standorte sowie Brücken- und Tunnelvarianten untersucht worden. Die PDS versucht dieses Projekt zu verhindern. Sie strebt ein Bürgerbegehren für den Bau mehrerer kleinerer Brücken an und sammelt dafür 23.000 Unterschriften. Das Regierungspräsidium Dresden erklärt das Bürgerbegehren nach langem Streit 1997 für rechtswidrig.

16. Dezember 1997 – Wettbewerbssieger. Eine Jury kürt den Sieger im Realisierungswettbewerb – eingereicht von den Architekten Kolb/Ripke und den Ingenieuren Eisenloffel/Sattler aus Berlin. Experten loben vor allem den stählernen Bogen über der Elbe. Nur die Betonrampe als Tunnelauffahrt stößt auf Ablehnung.

29. November 2000 – Erster Spatenstich. Dresdens Oberbürgermeister Herbert Wagner und Sachsens Wirtschaftsminister Kajo Schommer (beide CDU) vollziehen am Johannstädter Elbufer den symbolischen Bauauftakt. Es bleibt vorerst bei der Symbolik. Denn eine Baugenehmigung für die Brücke gibt es noch nicht. Zuvor war das Vorhaben mehrmals umgeplant worden. Dennoch war das Planfeststellungsverfahren wegen Überschreitung der Lärmschutzgrenzen gescheitert.

25. Februar 2004 – Baugenehmigung. Das Regierungspräsidium genehmigt mit dem Planfeststellungsbeschluss den Bau der Waldschlößchenbrücke. Weitere Proteste und Mahnwachen folgen. Gegner kontern zudem mit 47 Klagen.

2. Juli 2004 – Weltkulturerbe. Das Welterbekomitee der Unesco erklärt das Dresdner Elbtal zum Weltkulturerbe. Die Pläne für die Waldschlößchenbrücke werden vom Gutachter des Weltdenkmalrates Icomos als unbedenklich eingestuft.

27. Februar 2005 – Bürgerentscheid. Bei einem Bürgerentscheid stimmen 67,9 Prozent der Dresdner für den Bau der Waldschlößchenbrücke. Initiiert hatten die Abstimmung ADAC, CDU und FDP. Von 398.274 Wahlberechtigten nehmen 50,8 Prozent teil. 137.152 sprachen sich für die Brücke aus.

24. Juni 2005 – Unesco-Urkunde. Der Direktor des Pariser Welterbezentrums, Francesco Bandarin, überreicht in Dresden offiziell die Welterbeurkunde. Kritik, dass die Brücke den Blick auf die Elbe und die Stadtsilhouette einschränkt, gibt es damals noch nicht.

4. November 2005 – Unesco-Kritik. Die Unesco kritisiert in einer Stellungnahme die Waldschlößchenbrücke. Damit beginnt der Streit um fehlerhafte Angaben im Unesco-Antrag.

9. März 2007 – Gerichtsentscheidung. Das Oberverwaltungsgericht Bautzen entscheidet letztlich, dass die Stadt die Bauaufträge vergeben muss. Zwar versucht das Rathaus, über eine Beschwerde beim sächsischen Verfassungsgericht die Entscheidung zu kippen. Doch das lehnen die Richter ab. Die Stadt lässt danach alternative Brückenentwürfe ausarbeiten. Mit einem schlankeren Modell soll die Unesco umgestimmt werden.

25. Juni 2007 – Unesco-Drohung. Das Unesco-Welterbe-Komitee entscheidet im neuseeländischen Christchurch, dass Dresden seinen Welterbetitel behalten darf. Allerdings wird der Stadt eine letzte Gnadenfrist gesetzt. Vorgelegt werden sollen alternative Pläne. Setzt Dresden den alten Entwurf um, verliert es den Titel.

9. August 2007 – Fledermaus-Mahnung. Die vom Aussterben bedrohte Fledermausart Kleine Hufeisennase wird zum Hauptakteur im Brückenstreit. Das Dresdner Verwaltungsgericht sieht deren Belange nicht genügend berücksichtigt. Vier Tage vor dem geplanten Baubeginn werden die Arbeiten gestoppt.

14. November 2007 – Gerichtsentscheidung. Das Oberverwaltungsgericht Bautzen hebt den Baustopp auf. „Hier gehen vom Brückenbauwerk selbst keine Gefahren für die prioritär geschützte Kleine Hufeisennase aus", heißt es in der Begründung.

19. November 2007 – Baustart. Am Johannstädter Elbufer beginnen die Bauarbeiten für die Waldschlößchenbrücke. Danach werden bis Jahresende Bäume rings um die Bautzner Straße und am Käthe-Kollwitz-Ufer gefällt. Dagegen protestieren Bürger und Prominente.

28. Januar 2008 – Schlankere Brücke. Die Stadt präsentiert den Entwurf einer schlankeren Brücke. Er war unter Federführung des Baudirektors der Frauenkirche, Professor Eberhard Burger, ausgearbeitet worden. Damit soll der Welterbetitel gerettet werden.

Ein Blick zum Neustädter Ufer nach dem Baubeginn im August 2008. Im Vordergrund sind die stählernen Spundwände des Altstädter Fundaments für die Bogenfüße zu sehen, am anderen Ufer das für das Neustädter Pendant. Foto: Hans-Joachim Kummert

Juni 2008 – Erste Fundamente stehen. Die Fundamente der sieben V-Stützen und der beiden Bogenfüße sind fertiggestellt. Bis September werden die beiden Widerlager gebaut, die die Kräfte des Brückenüberbaus aufnehmen.

4. Juli 2008 – Unesco-Gnadenfrist. Das Unesco-Welterbe-Komitee fordert bei seiner Sitzung im kanadischen Quebec den Tunnelbau. Sonst wird der Welterbetitel gestrichen. Gewährt wird eine einjährige Gnadenfrist.

20. Februar 2009 – Kostenspirale. Der Stahlbau der Waldschlößchenbrücke wird um 14,9 Millionen Euro teurer als geplant. Nur so ist der zu dem Zeitpunkt noch vorgesehene Endtermin im Juni 2011 zu halten. Unter anderem durch Stahlpreissteigerungen, Lieferengpässe, verspäteten Baubeginn und Umplanungen ist der Stahl- und Brückenbau Niesky in die Klemme geraten. Nun wird die Stahlbaufirma Buyck aus dem nordbelgischen Eeklo die Stahlteile fertigen. Somit summiert sich der Stahlbau auf

25,1 Millionen Euro. Die Gesamtkosten für Brücke und Tunnel sind zu dem Zeitpunkt noch auf 156,7 Millionen Euro veranschlagt.

25. Juni 2009 – Welterbetitel verloren. Das Unesco-Welterbekomitee streicht das Dresdner Elbtal von der Liste der Welterbestätten. Bei der Abstimmung waren 14 Teilnehmer dafür und fünf dagegen. Zwei Stimmberechtigte enthielten sich.

10. Juli 2009 – Erste Brückenteile. Kurz nach Mitternacht trifft der erste Schwerlasttransport mit zwei Stahlträgern am Johannstädter Elbufer ein. Die 25 Meter langen Träger wurden über fast 1.000 Kilometer aus dem nordbelgischen Eeklo nach Dresden transportiert.

27. Juli 2009 – Umplanung. Nach Aberkennung des Welterbetitels werden Details der Waldschlößchenbrücke umgeplant. So wird sie, wie vor dem Burger-Entwurf vorgesehen, wieder um einen Meter breiter. Nun sollen auch wieder Treppen zu den Wegen am Elbufer gebaut werden.

8. Januar 2010 – Zeitplan platzt. Der Brückenzeitplan ist geplatzt. Das Bauwerk kann nicht wie geplant am 1. Juni 2011 übergeben werden, teilt das Rathaus mit. Die Wirren um die Lieferung der Stahlteile und verspätetes Einschwimmen des Mittelteils hätten unter anderem dazu geführt. Freiwillig verzichtet die Stadt auch auf den Weiterbau im Strombereich. Sie will die Genehmigung fürs nötige Abbaggern des geschützten Elbgrunds abwarten. Die Grüne Liga hatte zuvor ihr Veto eingelegt. Die geplante Brückenübergabe wird erst auf September, dann auf Ende 2011 und letztlich auf Frühjahr 2012 verschoben.

29. März 2010 – Kosten steigen. Aufgrund der Schwierigkeiten steigen die Baukosten um 25 Millionen Euro, räumt das Rathaus ein. Somit verteuert sich das Gesamtprojekt auf rund 181 Millionen Euro.

Binnen zwei Stunden wurde das Mittelteil der Waldschlößchenbrücke am Vormittag des 3. Dezember 2010 an den Hubtürmen zwei Meter nach oben gehievt. Foto: Peter Hilbert

30. Juli 2010 – Erster Pfeiler. Am Johannstädter Ufer wird mit einer V-Stütze der erste Pfeiler der Waldschlößchenbrücke montiert. Vier V-Stützen-Paare kommen auf die linke Elbseite.

19. Dezember 2010, 10.30 Uhr. Der Brückenbogen hat sein Ziel erreicht. Eine Stunde später schwimmt er in die Brückenmitte. Das Team der holländischen Spezialmontagefirma Mammoet hat Präzisionsarbeit geleistet. In drei Stunden wurde der stählerne Koloss vom Ufer in die Lücke bugsiert. Foto: Hans-Joachim Kummert

19. Dezember 2010 – Brückenschluss. Die Waldschlößchenbrücke überspannt die Elbe. Das Mittelteil schwamm erst Richtung Neustädter Ufer und dann noch das letzte Stück in die Lücke.

5. Mai 2011 – Lückenschluss. Der letzte der jeweils 100 Tonnen schweren vier Hauptträger wird in die Lücke am Neustädter Elbufer gehoben. Damit ist die Stahlkonstruktion der Waldschlößchenbrücke geschlossen.

9. Juni 2011 – Stahlkonstruktion komplett. Der letzte kleine Randträger ist eingebaut. Damit ist die Stahlkonstruktion komplett. Der Bau der Fahrbahnplatte beginnt.

Am 24. August 2011 wird die Fahrbahnplatte zwischen den Bögen der Waldschlößchenbrücke betoniert. Foto: Hans-Joachim Kummert

26. September 2011 – Namensvergabe. Bürger favorisieren den Namen Waldschlößchenbrücke. Denn der muss auch offiziell vergeben werden. Bei einer Umfrage der Sächsischen Zeitung sprechen sich 64,1 Prozent der Teilnehmer dafür aus. Am 19. Januar 2012 bestätigt auch der Stadtrat diesen Namen.

Die Tunnelbauer sind flotter als ihre Kollegen auf der benachbarten Waldschlößchenbrücke. Das 750 Meter lange Tunnelsystem ist deutlich früher fertig. Foto: Peter Hilbert

31. Dezember 2011 – Tunnel fertig. Das knapp 750 Meter lange Tunnelsystem am Waldschlößchen ist weitgehend fertiggestellt. Der letzte Beton vorm Portal des Haupttunnels wurde eingebaut. Die letzten Montagearbeiten werden 2012 ausgeführt.

12. Juni 2012 – Klage scheitert. Die Stadt scheitert vorm Landgericht Dresden. Dieses wies die sogenannte Feststellungsklage als unzulässig ab. Damit wollte das Rathaus klären lassen, wer zusätzliche Kosten in Höhe von rund zwei Millionen Euro übernimmt. Die waren durch den komplizierten Einschwimmvorgang des Bogenteils entstanden. Die Stadt bleibt auch bei der Berufung erfolglos.

28. Juni 2012 – Fahrbahnplatte fertig. Der letzte Teil der Fahrbahnplatte überm Neustädter Ufer ist betoniert, 550 Tonnen Beton wurden an diesem Tag eingebaut. Nun beginnt der Bau der sogenannten Kappen für Geh- und Radwege. Auf beiden Seiten der künftigen Fahrbahn stellen die Bauleute einen jeweils 4,80 Meter breiten Stahlbetonstreifen her.

Ein Blick auf die betonierte Fahrbahnplatte im September 2012. Foto Peter Hilbert

Lackierer Peter Hilpert. Im Stahlkasten unter der Brückenfahrbahn sprüht er im September 2012 die letzte Farbschicht auf. Foto: Peter Hilbert

Dieses Bild hätte sich an der Waldschlößchenbrücke bieten können, wenn die Stadt dem Vorschlag des katholischen Bistums Dresden-Meißen zugestimmt hätte. Die Kirche hatte vorgeschlagen, eine Figur des heiligen Nepomuk an der Elbebrücke aufzustellen. Doch das hat die Dresdner Kunstkommission abgelehnt. Foto: Peter Hilbert

Unterm Schutz dieses großen Zeltes, das mit Heizlüftern erwärmt wird, bringen die Bauleute im kalten März 2013 die Fahrbahndichtung auf. Das Zelt musste aufgestellt werden, da diese Arbeiten nur bei Temperaturen über acht Grad möglich sind. Foto: Peter Hilbert

20. März 2013 – Fußwege fertig. Der letzte Abschnitt der Betonkappen der Geh- und Radwege ist in der Brückenmitte betoniert worden.

Die schwere Walze verdichtet Mitte Mai 2013 den Asphalt am Neustädter Brückenende. In drei Tage ist die Fahrbahndecke im 90 Meter langen Abschnitt bis zum Tunnelportal fertig. Foto: Marco Klinger

19. Juni 2013 – Fahrbahn fertig. Ein Deckenfertiger hat die letzte Asphaltschicht auf der Fahrbahn aufgetragen. Damit ist der Rohbau der Brücke fertiggestellt. Montiert werden nun noch die LED-Leuchten an den Geländern und die Blitzer.

Über diese Brücke musst du gehen, dachten sich die Massen am 24. Und 25. August 2013. Am Eröffnungswochenende kamen rund 190.000 Besucher, um die Waldschlößchenbrücke zu testen. Foto: Marco Klinger

26. August 2013 – Freigabe. Nach einem Brückenfest am Wochenende mit 190.000 Besuchern wird die Waldschlößchenbrücke in der Nacht zum 26. August 2013 freigegeben.

Franziska Prenzel (r.) und Peggy Häntzschel warten ungeduldig an der Altstädter Brückenzufahrt. Nach über zwei Stunden rollen sie dann kurz nach eins als Erste im Auto-Konvoi über die Waldschlößchenbrücke. Foto: Marco Klinger

In der Nacht zum 26. August 2013 testen viele Kraftfahrer die neue Waldschlößchenbrücke. Doch der Verkehr ist nicht so stark wie prognostiziert. Geplant ist die Brücke für bis zu 45.000 Fahrzeuge. Anfangs fahren aber nur rund 24.000 Autos an Werktagen darüber. Foto: Marco Klinger

Innerstädtischer Neubau des Stockholm Continental

B. Hauke

Zusammenfassung Das Stockholm Continental ist ein innerstädtischer Neubaukomplex mit variierender Geometrie über einem U-Bahnhof. Die anspruchsvolle Bauaufgabe wird mit einer leichten und flexiblen Stahltragkonstruktion gelöst, welche Just-in-time angeliefert und montiert wird.

1 Architektonischer Kontext

Das in Bau befindliche Stockholm Continental liegt zentral in Stockholm, direkt gegenüber dem Hauptbahnhof und wird ein Multifunktionsgebäude sein (**Bild 1**). Der Ausgangspunkt für den Entwurf des Gebäudes war der Wunsch nach einem respektvollen und angepassten Umgang mit dem umgebenden urbanen Gebäudebestand. Durch die Einteilung des Gebäudevolumens in vier kleinere Einheiten mit variierender Höhe zwischen 34 Meter und 62 Meter (**Bild 2**) ist das Gebäude in der Lage, eine 360-Grad-Anpassung an die Größe und die Erscheinung der benachbarten Straßen und Gebäude vorzunehmen (**Bild 3**).

Das Stockholm Continental wird ein Eingang zum Stadtzentrum sein und gleichzeitig ein eigenes kleines Viertel. Auf der untersten Ebene der Haupteinkaufsstraße besteht ein integrierter direkter Zugang zur darunter liegenden U-Bahnstation der neuen "City-Line" (**Bild 4**) und zum Hauptbahnhof von Stockholm. Das Stockholm Continental beherbergt das namensgebende Hotel mit einer Lounge, Restaurants und Bars sowie Apartments, Läden und eine Roof Top-Bar, von wo aus jeder den fantastischen Ausblick genießen kann. Durch die zentrale Lage und die überwiegende öffentliche Zugänglichkeit wird das Stockholm Continental der neue Treffpunkt in Stockholm sein.

Mit dem Stockholm Continental wird das Ziel verfolgt, das gesamte Areal mit heute nicht existenten positiven Eigenschaften aufzuwerten und einen Gebäudekomplex voller Leben zu schaffen, der mit seinen vielen unterschiedlichen Angeboten ein Treffpunkt im Stadtzentrum wird. Drei der vier Baukörper werden begrünte Dachterrassen haben (Bild 3). Eine davon wird mit einer Bar öffentlich zugäng-

Dr. Bernhard Hauke
bauforumstahl
Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf
zentrale@bauforumstahl.de

Bild 1. Bild 1 Das Stockholm Continental vom Hauptbahnhof aus gesehen – Rendering
Grafik: 3XN

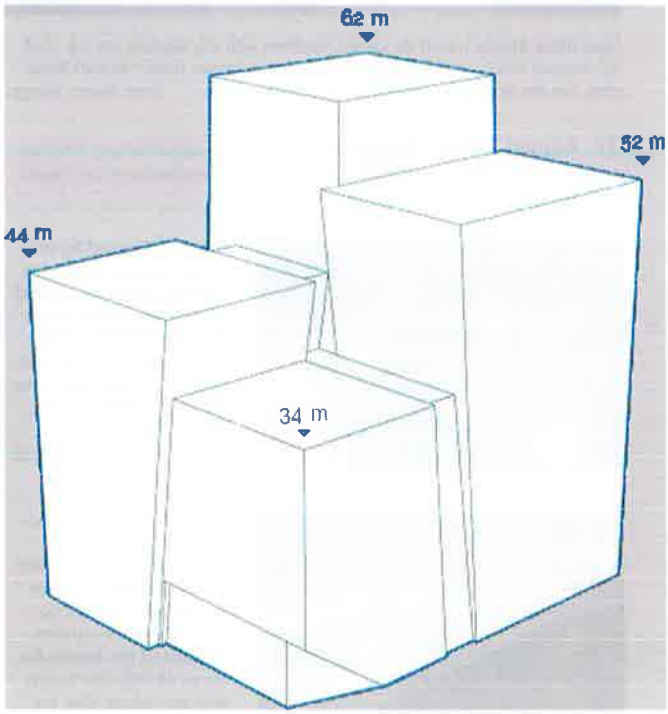


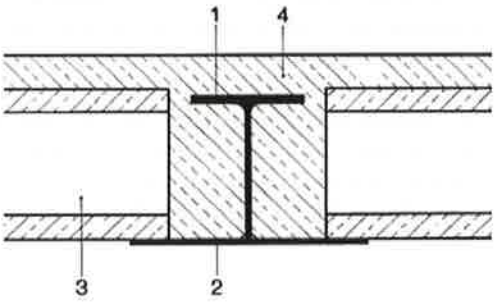
Bild 2. Einteilung des Gebäudevolumens in vier kleinere Einheiten mit variierenden Höhen
Grafik: 3XN

Bild 3. Städtebaulicher Kontext des Stockholm Continental, vorne der Hauptbahnhof, Rendering
Grafik: 3XN

Bild 4. Direkter Zugang zur darunter liegenden U-Bahnstation der neuen "City-Line", Rendering
Grafik: 3XN

Bild 5. Megastrukturen aus Stahlrohren in den unteren Geschossen

Bild 6. Stahlskelettkonstruktion



1 1/2 I-Profil
2 Unterflansch, angeschweißt
3 Hohldiele
4 Ortbeton/Estrich

Bild 7. IFB-Flachdeckenträger mit Spannbetonhohlplatten

lich sein. Von hier werden die Besucher einen atemberaubenden Blick auf Schwedens Hauptstadt haben. Die anderen beiden Dachterrassen werden von Hotel und den Apartments genutzt.
Das Stockholm Continental wird mit den verwendeten Materialien und der städtebaulichen Einbindung einen klaren Bezug zu den Traditionen und ortstypischen Formen der Stockholmer Architektur aufnehmen. Die Fassade ist wie ein Relief geformt, sodass der Anblick sich je nach Betrachtungswinkel ändert (Bild 1). Das Stockholm Continental wird Anfang 2016 eröffnet. Die integrierte neue U-Bahn-Station öffnet dann 2017, wenn die neue City Line in Betrieb gehen soll.

2 Die Baukonstruktion

Der Baukörper des Gebäudekomplexes ist durch die Aufteilung in Teilvolumen mit unterschiedlichen Höhen (Bild 2), mit Zwischenbereichen und Einschnitten (Bild 1) unregelmäßig gestaltet. Durch die unter dem Komplex befindliche U-Bahn-Station (Bild 4) ist auch die Gründungssituation unregelmäßig und anspruchsvoll. Dazu kommt eine beengte innerstädtische Baustellensituation mit begrenzten Anfahrtswegen und Lagerflächen. Deshalb wurde eine leichte und flexible Stahltragkonstruktion gewählt, welche Just-in-time angeliefert und montiert werden kann.
Für die offenen Untergeschosse (Bild 4) kommt teilweise eine Megakonstruktion aus Stahlrohren für Stützen und Diagonalen (**Bild 5**) zum Einsatz. In den darüber liegenden Geschossen kommt eine regelmäßigere Skelettkonstruktion zum Einsatz. Die teilweise leicht geneigten Stützen sind Quadratrohre oder Rundrohre (**Bild 6**).
Im Hotelbereich kommt eine Flachdeckenkonstruktion mit Spannbetonhohlplatten und Integrated Floor Beams (IFT) zum Einsatz (**Bild 7**). IFT-Träger bestehen aus halbierten Doppel-T-Trägern mit angeschweißtem breiterem Unterflansch, sodass die Hohlplatten aufgelegt werden können [1]. Das IFB-System ermöglicht wirtschaftliche Stützenraster von bis zu 8 m x 12 m. Sinnvollerweise sollte das größere Rastermaß mit den Spannbetonhohlplatten und das kürzere

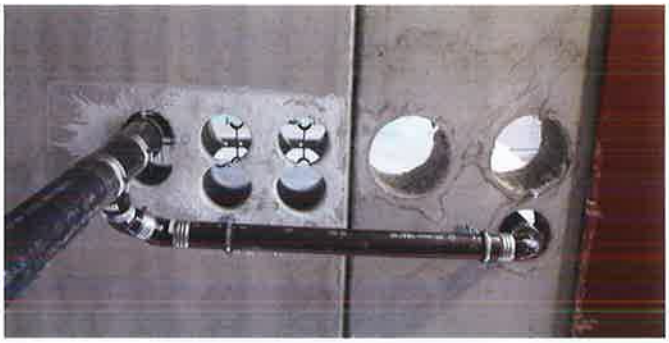


Bild 8. Auf der Baustelle durchgeführte Durchbrüche durch die Spannbetonhohlplatten

mit den Stahlträgern überspannt werden. Dadurch erhält man eine nahezu gleiche Bauhöhe von Träger und Deckenelement und minimiert gleichzeitig den Stahlverbrauch. Im Bereich besonders großer Spannweiten der IFB-Träger über den Verkaufsgeschossen wurde statt dem Unterflanschblech ein flacher, geschweißter Rechteckquerschnitt zusammen mit dem halbierten Doppel-T-Träger verwendet. Anders als in Deutschland üblich wurden für die Leitungsführung zahlreiche Durchbrüche durch die Spannbetonhohlplatten auf der Baustelle durchgeführt (**Bild 8**). Dabei wurden mit entsprechendem statischem Nachweis auch Spannglieder durchtrennt.

Im Bereich der Apartments wurden Ortbetondecken zwischen den Stahlträgern gespannt (**Bild 9**). Aufliegend sind Rohrleitungen verlegt und zum Schutz mit Beton ummantelt (Bild 9). Darüber wird eine Leichtbetonauffüllung aufgebracht.

Das Stockholm Continental ist ein architektonisch anspruchsvoller Gebäudekomplex, bei dem die Vorzüge der Stahlgeschossbauweise voll zum Tragen kommen: ein leistungsfähiges, leichtes und flexibles Tragwerk (**Bild 10**) mit baulogistischen Vorteilen.

Bild 9. Ortbetondecke zwischen Stahlträgern mit aufliegender Leitungsführung und folgender Leichtbetonauffüllung

Bild 10. Das Stockholm Continental im Rohbau

Literatur

[1] bauforumstahl e.V. (Hrsg.): Stahlgeschossbau – Deckensysteme. Dokumentation 614. Eigenverlag, Düsseldorf, 2005.

Die Feste Fehmarnbeltquerung

K. Morgen, F. Hilgenstock

Zusammenfassung Seit über hundert Jahren wird von einer gut ausgebauten Verbindung zwischen Skandinavien und Zentraleuropa über Fehmarn, Deutschland, und Lolland, Dänemark, geträumt. Auch im aktuellen europäischen Verkehrsnetzplan hat der Ausbau der Verbindung eine hohe Priorität.
Die Umsetzung des Vorhabens soll nun als feste Verbindung in Form einer Absenktunnellösung ausgeführt werden. Auf Grund der Länge der Verbindung des Unterwassertunnels waren neuartige Entwicklungen für die wirtschaftliche Umsetzung erforderlich. Die angemessene Berücksichtigung der Umwelt und der Betroffenheiten bedingt ein umfangreiches Genehmigungsverfahren in beiden Ländern.
Dieser Beitrag gibt einen Überblick über Bedeutung, Historie und technische Umsetzung der Festen Fehmarnbeltquerung.

1 Einleitung

1.1 Lage und Bedeutung

Die direkte und kürzeste Anbindung Skandinaviens nach Zentraleuropa verläuft auf der sogenannten Vogelfluglinie, die auf einer fast geraden Achse Hamburg in Deutschland mit Kopenhagen in Dänemark verbindet. Dabei wird zwischen den Inseln Fehmarn in Deutschland und Lolland in Dänemark der Fehmarnbelt überquert. Diese Verbindung erfolgt momentan noch mithilfe eine Fährlinie.

Bild 1. Lage des Projektes Grafik: Femern A/S

Die Bedeutung dieser Verbindung und die Notwendigkeit einer leistungsfähigen und nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur wurden von der EU erkannt und seit den 1980er-Jahren gefördert. Dies beinhaltet auch einen Lückenschluss zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Anbindung in angemessener Verkehrsqualität.
Die Strecke ist somit prioritärer Teil des transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) und stellt den zentralen Teil der TEN-V Achse Nr. 20: „Eisenbahnachse Fehmarnbelt" (Fehmarnbelt Railway Axis) dar. Die TEN-V Achse 20 „Eisenbahn" umfasst den Ausbau der Bahntrasse von Hannover und Bremen über Hamburg (der sogenannten Y-Achse) bis nach Kopenhagen mit Anschluss über den Øresund an das schwedische Eisenbahnnetz (**Bild 2**).
Für die TEN-V Achse 20: „Straßenachse Fehmarnbelt" ist der Ausbau der Straßenverbindung über Fehmarn bis zum bereits ausgebauten Autobahnabschnitt auf Lolland vorgesehen.

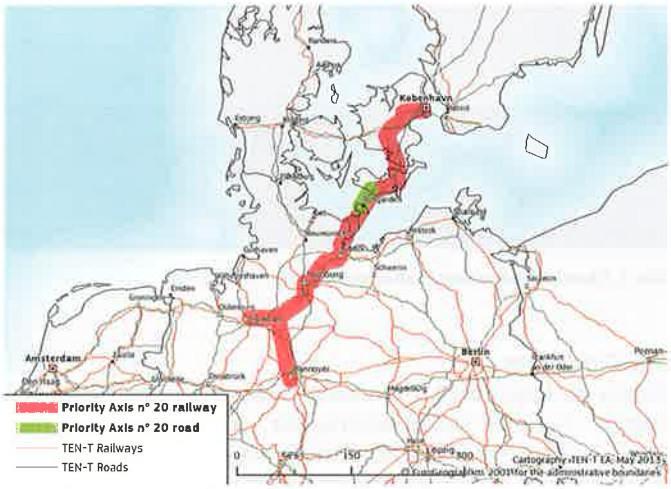


Bild 2. TEN-V Achse 20 Eisenbahn und Straße [2]

Beide Verkehrsachsen sehen den Lückenschluss im Fehmarnbelt mit einem Ingenieurbauwerk vor.
Der Lückenschluss ist zudem Teil des neuen vorrangigen Kernnetzkorridors 5 „Helsinki – Valletta" der EU und ergänzt die prioritären TEN-V Verkehrsprojekte Nr.11: „Feste Schienen- und Straßenverbindung über den Øresund zwischen Kopenhagen und Malmö" sowie Nr. 12, das „Nordische Dreieck", der Schienen- und Straßenverbindungen innerhalb Schwedens und Finnlands mit Verlängerung nach Norwegen (**Bild 3**).
Die Feste Fehmarnbeltquerung wird damit zentraler Teil des europäischen Infrastrukturnetzes und dient der Anbindung Skandinaviens an Zentraleuropa.
Vorgesehen ist die Feste Fehmarnbeltquerung als 18 Kilometer langer Absenktunnels auf einer Trasse parallel zu der bestehenden Fährverbindung [1].
Die feste Querung wird die Reisezeit zwischen Skandinavien und Kontinentaleuropa erheblich reduzieren: Während die aktuellen Fährverbindungen 45 Minuten (plus Wartezeit) dauern, werden Bahnreisende nur sieben Minuten und Autofahrer nicht mehr als zehn Minuten benötigen, um den Tunnel zu passieren. Die Dauer einer Zugfahrt zwischen Hamburg und Kopenhagen wird von etwa 4,5 Stunden auf unter drei Stunden verkürzt.

Dr.-Ing. Karl Morgen
Geschäftsführer, WTM Engineers GmbH
k.morgen@wtm-hh.de
Dipl.-Ing. Friedrich Hilgenstock
Prokurist, WTM Engineers International GmbH
f.hilgenstock@wtm-international.de
Johannisbollwerk 6–8, 20459 Hamburg
www.wtm-engineers.com

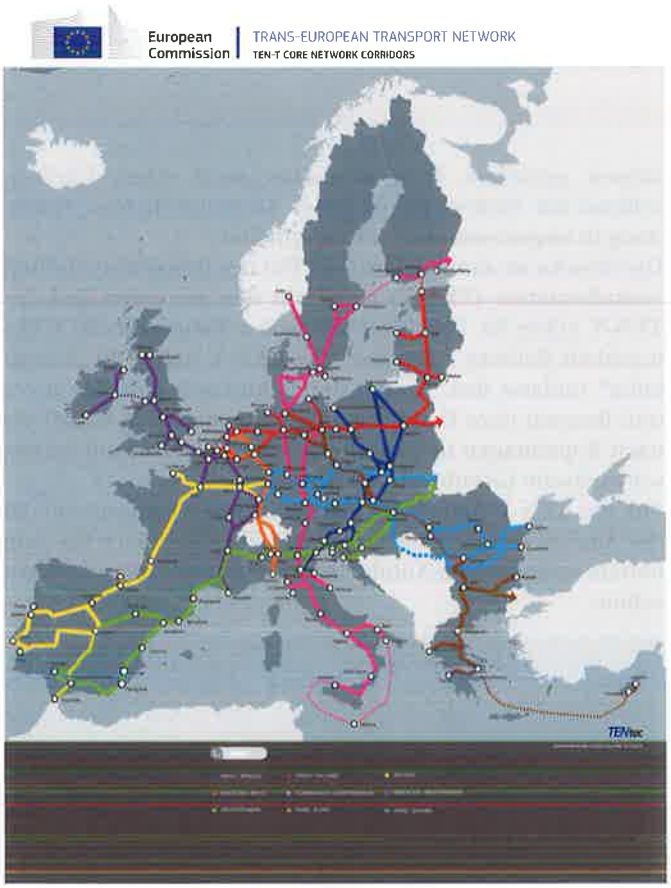


Bild 3. Übersicht Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V) [2]

1.2 Geschichte

Schon im Jahre 1910, Dänemark, Schweden und Norwegen waren bereits sechst-wichtigster Außenhandelspartner Deutschlands, wurde ein deutsch-dänisches Komitee zur Förderung der Fehmarnroute gegründet. Ziel war die Schaffung einer gut ausgebauten Eisenbahnstrecke als „Weltverkehrslinie".

Die beiden Weltkriege ließen dieses Vorhaben lange Zeit Theorie bleiben.

Erst im Jahre 1963 wurde die Vogelfluglinie als Schienen- und Straßenverbindung mit der Fehmarnsundbrücke und dem Fährhafen Puttgarden eröffnet. Die Verbindung nach Dänemark erfolgt seitdem in einem Fährbetrieb über den Fehmarnbelt.

Schon während der Planung des Fährhafens Puttgarden wurde aber davon ausgegangen, dass mittelfristig eine feste Querung den Fährverkehr ersetzen würde.

Planungen einer Brückenverbindung wurde in den 1970er-Jahren infolge der fehlenden Wirtschaftskraft und Bedenken bezüglich der Sicherheit im Schiffsverkehr wieder aufgegeben. In den 1980er-Jahren wurde zum ersten Mal eine mautfinanzierte Tunnelverbindung durch die Bauunternehmungen Hochtief und Philipp Holzmann gemeinsam mit der Deutschen Bank untersucht [3].

Anfang der 1990er-Jahre begannen die Planung und 1995 der Bau der festen Øresundquerung zwischen Kopenhagen in Dänemark und Malmö in Schweden, der im Jahr 2000 fertig gestellt wurde. Der in diesem Zusammenhang geschlossene Staatsvertrag zwischen den beiden Staaten beinhaltete bereits die Verpflichtung Dänemarks, sich auch für eine feste Querung des Fehmarnbelts einzusetzen.

Diese Verpflichtung führte im Januar 1999 zur Veröffentlichung der Machbarkeitsstudie zur Festen Fehmarnbeltquerung. Das Ergebnis dieser Studie schlug als favorisierte Lösung eine Schrägseilbrücke und als beste Alternative einen Absenktunnel vor.

In den folgenden Jahren wurden vertiefende Untersuchungen in umwelttechnischer, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht vorgenommen und die landseitigen Anbindungen untersucht.

Am 3. September 2008 schlossen der dänische und der deutsche Verkehrsminister einen Vertrag über die feste Querung über den Fehmarnbelt zwischen Lolland und Fehmarn.

Im Februar 2011 wurde nach einem umfangreichen Wettbewerb zwischen einer Brücken- und einer Tunnellösung der Tunnelentwurf vom dänischen Parlament für die weitere Entwicklung ausgewählt. Das Planungsteam des Tunnelentwurfs „Rambøll-Arup-TEC Joint Venture" führt mit Unterstützung durch WTM Engineers die Planung für dieses Projekt weiter.

2 Planungsgrundlagen

2.1 Geologie

Das geologische Längsprofil entlang des Tunnels zwischen Fehmarn und Lolland ist in **Bild 4** dargestellt. Sowohl auf der deutschen als auch auf der dänischen Seite fallen die küstennahen Bereiche seicht ab. Der zentrale Bereich im Belt ist annähernd eben. Im Tunnelverlauf besteht das Aushubmaterial aus oberen Schichten post- und spätglazialer Ablagerungen (Gyttja, Sand, Schluff und Ton), darunter liegenden Schichten aus glazialen Ablagerungen (Ton und Geschiebemergel), gefolgt von paläogenen Schichten, die aus stark bis extrem plastischem Ton bestehen.

Die deutsche Seite ist charakterisiert durch paläogenen Ton und Geschiebemergel und das Zentralbecken durch Gyttja, Sand, Schluff und Ton. Auf der dänischen Seite dominieren dicke Ablagerungen von Geschiebemergel [4].

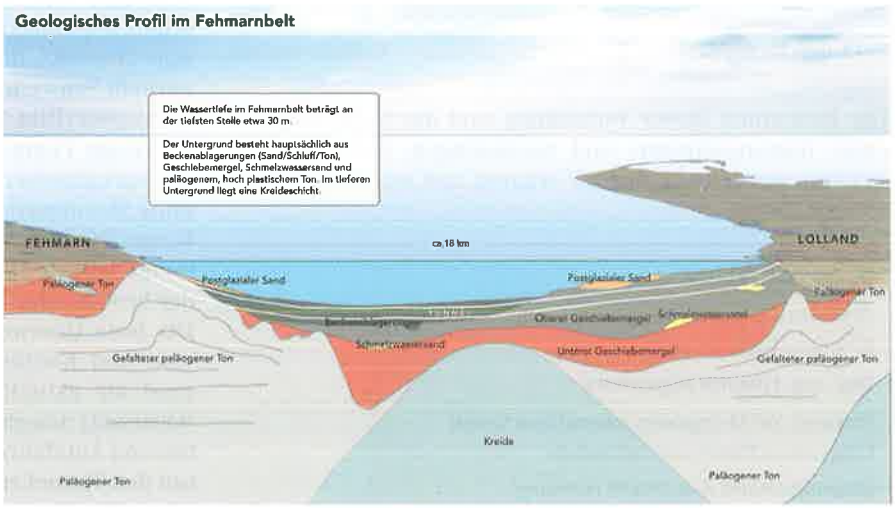


Bild 4. Geologisches Längsprofil

Grafik: Femern A/S

2.2 Umwelt

Die Tunneltrasse kreuzt im Bereich der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone das FFH-Gebiet „Fehmarnbelt“ (FFH = Flora Fauna Habitat). Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie wurden diese und alle anderen Umweltbelange bewertet und im landschaftspflegerischen Begleitplan berücksichtigt. Zahlreiche Gutachten, wie zum Beispiel zu Eingriffen in das Benthos, Einflüsse auf Meeressäugetiere, Wassertrübung durch Schwebstoffe, Auswirkungen auf Fische und Fischerei, Änderungen der Strömungsverhältnisse und Beeinträchtigungen der Schifffahrt, wurden für das Projekt erstellt.

3 Bauwerk

3.1 Allgemeines

Der Tunnel hat eine Länge von 18,1 Kilometern von Tunnelportal zu Tunnelportal. Auf der Fehmarnseite werden circa 400 Meter des Tunnels in offener Bauweise hergestellt, auf der Lollandseite sind es circa 100 Meter. Dazwischen befindet sich ein circa 17,6 Kilometer langer Abschnitt als Absenktunnel.

Die Trassierung, die fast gradlinig von Küste zu Küste verläuft, liegt in dem Korridor mit den geringsten ökologischen Auswirkungen. Vertikal passt sich die Gradiente dem Meeresboden an.

Der Tunnel besteht aus fünf Einzelröhren, zwei Röhren für eine zweigleisige Bahnverbindung auf der Ostseite, zwei Röhren für einen jeweils zweispurigen Straßenquerschnitt mit zusätzlichem Standstreifen auf der Westseite und einer Röhre als Service- und Fluchtröhre zwischen den Straßenröhren (**Bild 6**).

Der Tunnel ist als Absenktunnel in Stahlbetonbauweise geplant. Die geplante Lebensdauer beträgt 120 Jahre.

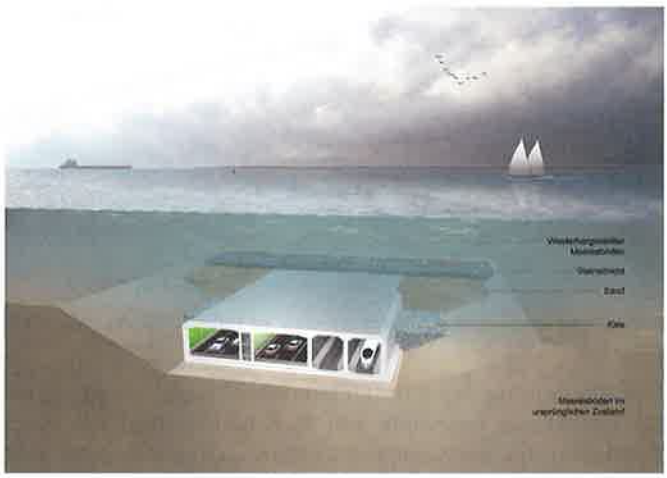


Bild 5. Absenktunnel Grafik: Femern A/S

Der Absenktunnel besteht aus 89 Elementen. Die Tunnelelemente werden in einem Graben unterhalb des Meeresbodens verlegt und durch eine circa 1,2 Meter dicke Steinschüttung abgedeckt. Diese dient als Schutz vor fallenden Ankern und sinkenden Schiffen (**Bild 5**). An seiner tiefsten Stelle wird sich die Grabensohle circa 40 Meter unter der Meeresoberfläche befinden.

Ein Tunnel dieser Länge erfordert besondere Maßnahmen. Neben einem Sicherheitskonzept, welches der Länge Rechnung trägt, bedingt auch die Versorgung des Tunnels mit Strom, Luft, Löschwasser und Entwässerung neue Konzepte. Bei einem Tunnel von 18 Kilometern Länge ist eine zentrale Versorgung von den Portalen allein aus nicht möglich. Da der Tunnelquerschnitt so optimiert ist, dass er vollständig für die reguläre Nutzung gebraucht wird, wurden daher neben den Standardelementen Spezialelemente entwickelt, die Räumlichkeiten außerhalb des normalen Querschnitts für eine dezentrale Unterversorgung bieten.

3.2 Standardelemente

Der Absenktunnel besteht aus 79 Standardelementen. Alle diese Elemente weisen die gleiche geometrische Form auf und werden in einer für diesen Zweck errichteten Produktionsstätte industriell gefertigt (Abschnitt 4.3).

Jedes Element weist eine Länge von circa 217 Metern, eine Breite von circa 42 Metern und eine Höhe von circa neun Metern auf.

Die Straßenröhren haben jeweils eine Breite von elf Metern und eine Lichtraumhöhe von 4,7 Metern. Es sind zwei Fahrstreifen, eine Standspur und Leitwände vorgesehen (Bild 6). Die Strahlventilatoren sind in speziell ausgebildeten Nischen an der Decke platziert.

Zwischen den Straßenröhren ist eine zentrale Galerie vorgesehen, die als vorübergehende Evakuierungsfläche von einer Röhre in die andere sowie der Aufnahme von Versorgungsleitungen dient.

Die zwei Bahnröhren haben beide eine Breite von circa sechs Meter und bieten Platz für jeweils ein Gleis auf einer „Festen Fahrbahn“. Neben den Gleisen sind Fluchtwege und Bereiche für Ausrüstung angeordnet.

Bild 6. Querschnitt Standardelement Grafik: Femern A/S

3.3 Spezialelemente

Alle circa 1,8 Kilometer werden insgesamt zehn sogenannte Spezialelemente vorgesehen. Diese Elemente haben eine Länge von circa 46 Metern, eine Breite von circa 45 Metern und eine Höhe von circa 13 Metern. Sie werden in einen tiefer ausgehobenen Grabenabschnitt abgesenkt. Das untere Geschoss befindet sich unterhalb der Fahrbahnebene. Der Querschnitt ist zudem aufgeweitet, sodass an der Westseite außerhalb des Standstreifens eine Haltebucht, Treppen und ein Aufzug angeordnet werden können (**Bild 7**).

Bild 7. Querschnitt Spezialelement Grafik: Femern A/S

Neben den Transformatorenräumen, den Zwischentanks für Abwasser, den Pumpenräumen und Elektroverteilungen befinden sich auch Aufgänge zur Zentralgalerie und den

Bild 8. Technikebene Spezialelement Grafik: Femern A/S

Bahntunnelröhren, um eine Zugänglichkeit aller Tunnelquerschnitte für Wartungszwecke sicher zu stellen, ohne dass der laufende Verkehr gequert werden muss (**Bild 8**).

3.4 Portalbauwerke

Auf beiden Seiten des Tunnel befinden sich in den Portalbauwerken Versorgungseinrichtungen und Leitstände. Die Hauptverkehrsüberwachungs- und Sicherheitszentrale befindet sich auf der Seite Lollands im Bereich der Mautstation. Diese Zentrale ist durchgehend besetzt und überwacht den Verkehr und alle technischen Einrichtungen. Auf Fehmarn sind erdüberdeckte Technikräume für die Tunnelversorgung, eine Notsicherheitszentrale zur Redundanz und Speichertanks für die Entwässerung vorgesehen.

4 Bauablauf

4.1 Grabenaushub

Es sind im großen Umfang Nassbaggerarbeiten notwendig. Den Hauptanteil macht dabei der Aushub des Grabens aus, in den der Absenktunnel verlegt werden soll. Weitere Nassbaggerarbeiten sind für die Tunnelabschnitte in offener Bauweise im Küstenbereich sowie die temporären Hafen- und Produktionsanlagen auf Lolland erforderlich.
Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, zeigt das geologische Längsprofil in den oberen Schichten post- und spätglaziale Ablagerungen (Gyttia, Ton, Schluff und Sand) und darunter glaziale Ablagerungen (Geschiebemergel und Ton). Ein großer Teil des auszuhebenden Bodens besteht infolgedessen aus sehr feinen Bestandteilen in einer festen Konsistenz. Die Aushubarbeiten werden daher überwiegend mithilfe von auf Stelzenpontons montierten Löffel- und Greifbaggern erfolgen.

4.2 Landgewinnung

Das Aushubmaterial kann für Landgewinnungszwecke auf Lolland und auf Fehmarn genutzt werden. Es sind mehrere Landgewinnungsflächen vorgesehen. Die Landgewinnungsflächen ziehen sich im Windschatten der Molen der Fährhäfen von Puttgarden und Rødbyhavn an der Küste entlang, ohne den Strömungsquerschnitt im Fehmarnbelt einzuengen (**Bild 9** und **Bild 10**).
Aus Umweltschutzgründen ist die Landgewinnungsfläche auf Fehmarn auf den Bereich beschränkt, der zum Schutz des ansteigenden Tunnels notwendig ist.

Bild 9. Landgewinnungsfläche und Portalbereich auf Lolland Grafik: Femern A/S

Bild 10. Landgewinnungsfläche und Protalbereich auf Fehmarn
Grafik: Femern A/S

Diese Flächen werden abschließend naturiert und einer öffentlichen Nutzung zugeführt.

4.3 Tunnelproduktion

Parallel zum Grabenaushub soll die Produktion der Tunnelelemente in einer zu diesem Zweck errichteten Produktionsanlage erfolgen (**Bild 11**). Diese Flächen befinden sich östlich der Tunneltrasse teilweise an Land und teilweise im Bereich der vorgesehenen Landgewinnungsflächen.

Bild 11. Produktionsanlage für Tunnelelemente auf Lolland Grafik: Femern A/S

Die Herstellung der Tunnelelemente erfolgt in kontrollierter Umgebung innerhalb von Werkhallen (**Bild 12**). Zum Erreichen der notwendigen Fertigungsfrequenz sind acht parallele Fertigungsstraßen für die Standardelemente und eine neunte Straße für das Spezialelement vorgesehen.
In jeder Fertigungsstraße werden die Elemente in Segmenten auf Schaltischen bewehrt und als Vollquerschnitt ohne Arbeitsfugen betoniert, um Temperatur- und Schwindspannungen zu minimieren. Danach wird das Segment im Taktschiebeverfahren verschoben und ein weiteres Segment produziert. Nach Erreichen der vollen Elementlänge werden die Segmente untereinander vorgespannt. Das fertige Element wird in den flachen Teil eines Aufschwimmbeckens geschoben, möglichst umfangreich ausgerüstet sowie mit Ballasttanks und Abschottungen an den Elementenden versehen.

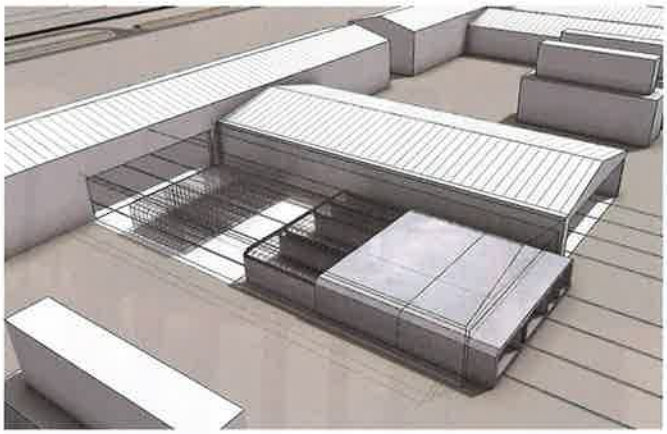


Bild 12. Elementproduktion in einer Produktionshalle Grafik: Femern A/S

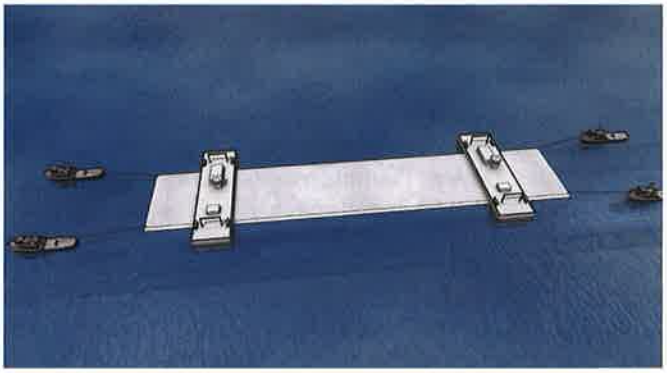


Bild 13. Schleppvorgang eines Elementes zum Absenkposition
Grafik: Femern A/S

Nach Verschluss des Beckens wird dieses geflutet und das Element in den tiefen Teil des Aufschwimmbeckens geschwommen. Sobald der Wasserspiegel des Beckens wieder auf Meereshöhe abgesenkt ist, werden die Elemente ausgeschwommen. Der flache Teil des Aufschwimmbeckens steht wieder für das nächste Tunnelelement zu Verfügung. Die Elemente werden aus dem Produktionsbereich in eine Warteposition nahe der Absenkstelle geschleppt.
Die notwendigen Materialien sollen überwiegend auf dem Seeweg direkt zur Produktionsstätte gebracht werden.

4.4 Einschwimm- und Absenkvorgang

Sobald der Graben ausgehoben ist, können die Elemente abgesenkt werden. Dafür wird die Grabensohle von Sedimenten befreit und mit einer Bettungsschicht aus Kies versehen. Der Kies wird mithilfe von Fallrohren eingebracht und mit hoher Genauigkeit verteilt.
Vor dem Absenken wird das Tunnelelement mit sogenannten Absenkpontons verbunden. Die Einheit wird mit Schleppern zum Absenkort gezogen und mithilfe von Ankern sehr genau positioniert (**Bild 13**).
Der eigentliche Absenkvorgang erfolgt durch das Fluten der Ballasttanks, bis ein Gewicht erreicht wird, welches ein langsames Absenken ermöglicht. Über Trag- und Führungsseile wird der Absenkvorgang kontrolliert und geführt (**Bild 14**).

Bild 14. Absenkvorgangs eines Elementes auf das Fundamentbett
Grafik: Femern A/S

Das Element wird dicht neben das vorherige Element platziert und über Pressen herangezogen. Durch das Leerpumpen des Raumes zwischen den Schotten wird das Element fest an das vorherige gedrückt. Die primäre Abdichtung erfolgt dabei durch die GINA Dichtung, einem speziellen Dichtprofil, an der Stirnseite der Elemente (**Bild 15**).
Zusätzliches Fluten der Ballasttanks stabilisiert die Lage des abgesenkten Elementes. Nach einem letzten Ausrichten wird seitlich eine Haltefüllung in den Graben eingebracht, die das Element fixiert. Abschließend erfolgt die vollständige Grabenauffüllung und Abdeckung mit einer Schutzschicht aus Steinen.
Im Nachlauf kann in den abgesenkten Elementen von jedem Portal aus bereits der Endausbau der Fugen und der Tunnelröhren beginnen. Dafür werden die Schotten zwischen den benachbarten Elementen geöffnet und die Ballasttanks im Austausch gegen Ballastbeton entfernt.
Die zweite Fugenabdichtung erfolgt mittels eines angeflanschten Omega-Profils.

4.5 Portalgebäude und landseitige Anbindung

Parallel zu den Offshore-Arbeiten erfolgt die Herstellung der Rampenbauwerke, der Portalgebäude und der landseitigen Anbindung über Brücken. Die Herstellung der Tunnelabschnitte in offener Bauweise erfolgt am Übergang zum Absenktunnel in einer der ersten Phasen des Projektes. Sie dienen als Widerlager für die ersten Absenktunnelele-

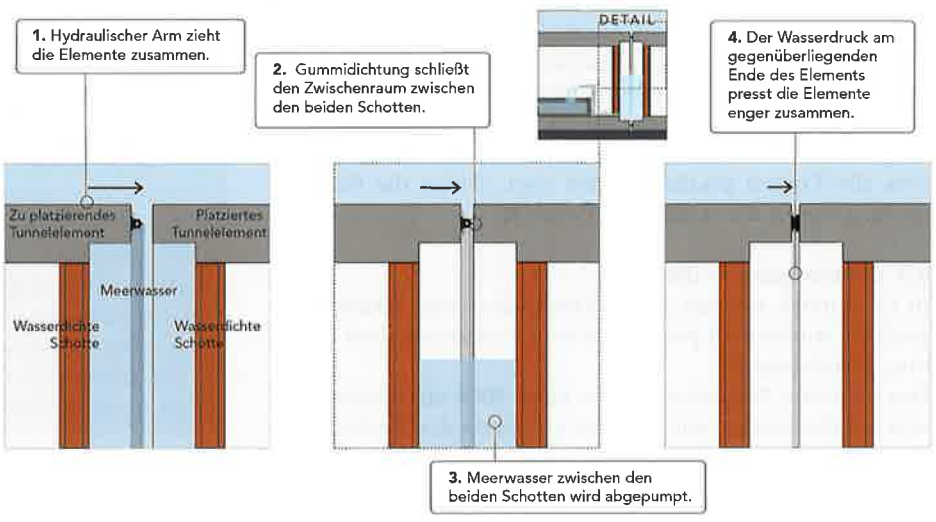


Bild 15. Fuge zweier Elemente mit GINA Dichtung, Dichtschotten und Ballasttank Grafik: Femern A/S

mente. Der Bau dieser Bauwerke erfolgt in klassischer Stahlbetonbauweise jeweils vor Ort.

5 Genehmigungsprozess

5.1 Allgemeines

Alle Großvorhaben wie die Feste Fehmarnbeltquerung erfordern aufwendige Genehmigungsverfahren.

Im Falle der Festen Fehmarnbeltquerung treffen eine Reihe von Faktoren aufeinander, welche den Vorgang besonders komplex werden lassen:

- Als Verbindung zwischen Dänemark und Deutschland sind zwei nationale Genehmigungsverfahren erforderlich.
- Infolge der Querung der Ostsee werden auch internationale Vereinbarungen (Espoo-Konvention, Helsinki-Konvention) betroffen, die Genehmigungsverfahren erfordern.
- Die Tunneltrasse quert das FFH-Gebiet „Fehmarnbelt".
- Durch die Kombination einer Straßen- und Bahnverbindung in einem Tunnelbauwerk treffen zwei Vorhaben aufeinander, die in einem gemeinsamen Verfahren genehmigt werden müssen.
- Die Betrachtung der Umweltverträglichkeit wiederum ist nicht auf nationale Grenzen beschränkt. Ein Abgleich der nationalen Umweltuntersuchungen ist daher notwendig.

Bild 16. Einreichung Planfeststellungsunterlage Foto: Femern A/S

5.2 Genehmigung in Deutschland

Die Genehmigung in Deutschland erfolgt über ein Planfeststellungsverfahren. In diesem Zusammenhang wurden umfangreiche Umweltuntersuchungen vorgenommen und die Auswirkungen aus Bau und Betrieb der Festen Fehmarnbeltquerung auf die Umwelt ermittelt, wo möglich vermieden oder reduziert und wo nicht völlig vermeidbar, durch umweltverbessernde Maßnahmen kompensiert. Im Sommer 2014 wurden die Planfeststellungsunterlagen eingereicht und ausgelegt (**Bild 16**).

Im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung wurden daraufhin circa 3.100 Einwendungen eingereicht mit circa 50.000 sich allerdings häufig wiederholenden, vereinzelt aber auch sehr umfangreichen Einzelargumenten. Zu allen Einwendungen wurden von den Vorhabenträgern Stellung genommen, sodass im 2. Halbjahr 2015 die Anhörungstermine vorgenommen werden können. Wenn im Anhörungsprozess alle Fragen geklärt worden sind, erfolgt die Planfeststellung durch die zuständige Behörde.

5.3 Genehmigung in Dänemark

In Dänemark werden große Eisenbahn- und Straßenbauprojekte traditionell per Gesetz vom Parlament, dem Folketing, genehmigt [6].

Das dänische Parlament hat im März 2009 ein Planungsgesetz verabschiedet, mit dem der zwischen den Verkehrsministern der beiden Staaten vereinbarte Staatsvertrag ratifiziert wurde. Dieses Planungsgesetz bildet zugleich die Grundlage für die Vorbereitungen des Projekts, darunter auch der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

Die Anhörung zur Umweltverträglichkeitsstudie fand bereits im 3. Quartal 2013 in Rødbyhavn statt. Im Rahmen der Anhörung gingen von dänischen Behörden, Unternehmen und Bürgern insgesamt 42 Stellungnahmen ein.

Auf Basis der Unterlagen wurde im April 2015 im Folketing das Baugesetz verabschiedet, welches die endgültige umweltrechtliche Genehmigung des Vorhabens in Dänemark darstellt.

6 Aussicht

Die Grundlagen sind geschaffen und nach erfolgter Genehmigung kann mit der Verwirklichung eines lang gehegten Traumes begonnen werden. Die parallel zum Genehmigungsprozess verlaufende Ausschreibung ermöglicht einen kurzfristigen Baubeginn.

Spätestens im Jahre 2024, rechtzeitig zu den Olympischen Spielen, um die sich Hamburg bewirbt, soll die Verbindung eröffnet werden.

Literatur

[1] *Morgen, K.; Hilgenstock, F.*: Aktueller Planungsstand der festen Fehmarnbeltquerung – ein 18 km langer Unterwassertunnel. *In*: Bautechnik 89 (2012), Heft 7, S. 492-501.

[2] Europäische Kommission: Trans-European Transport Network TENTEC. http://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/site/en/maps.html, 2015-07-10.

[3] *Hainrich, M.*: Das Projekt Fehmarnbelt – Ein Stück Weg nach Europa. *In*: Die Bundesbahn 65 (1989), Heft 6, S. 472–474.

[4] Femern A/S: Konsolidierter technischer Bericht. Kopenhagen, 2011.

[5] Femern A/S: Die Feste Fehmarnbeltquerung: Projekt und Region. 2011.

[6] Femern A/S: Genehmigung in Dänemark. www.femern.de.

Das BIM-Pilotprojekt Filstalbrücke – Modellbasierte Zusammenarbeit zwischen Bauherr und Bauunternehmer

M. Schreyer, Ch. Wörner, B. Schütt

Zusammenfassung Im Rahmen des Neubaus der Bahnverbindung Stuttgart–Ulm entsteht am Rand der Schwäbischen Alb ein technisch anspruchsvolles Brückenbauwerk als direkte Verbindung zweier Tunnelabschnitte. Aufgrund der Komplexität des Bauwerks wurde bereits in der Planung ein präzises 3D-Modell der Brückengeometrie erstellt. Durch die Verfügbarkeit dieses objektorientierten 3D-Modells, Max Bögl als Generalunternehmer mit langjähriger Erfahrung in der BIM-Anwendung (Building Information Modeling) sowie eines progressiven Bauherrn DB Projektgesellschaft Stuttgart-Ulm, qualifizierte sich die Filstalbrücke als eines von vier BIM-Pilotprojekten des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) [1]. Im Vergleich zu den anderen BIM-Pilotprojekten des BMVI liegt der Schwerpunkt bei diesem Pilotprojekt in der Ausführungsphase. Diese ist gekennzeichnet durch besondere Anforderungen an robuste und intuitiv zu benutzende BIM-Werkzeuge, viele Projektbeteiligte und einer entsprechend höheren Informationsmenge. Die modellbasierten Methoden sollen hier die Koordinationsprozesse effektiver sowie die Berichtsprozesse effizienter gestalten, um die gewonnenen Einsichten und Freiräume ergebnisorientiert für eine optimierte Projektabwicklung einzusetzen.

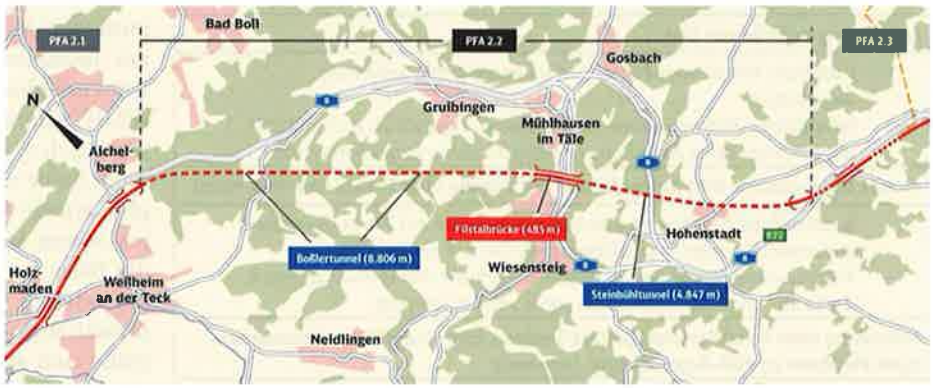


Bild 1. Planfeststellungsabschnitt (PFA) 2.2

Bild 2. Die Filstalbrücke mit ihren markanten Y-Stützen Visualisierung: Aldinger & Wolf

1 Das Bauwerk Filstalbrücke

Die Eisenbahnüberführung Filstal besteht aus zwei eingleisigen Brücken (Länge: 485 m und 472 m; Höhe: bis 85 m) und ist Teil des Planfeststellungsabschnitts (PFA) 2.2 „Albaufstieg“ [2] (**Bild 1**). Die beiden Brücken liegen unmittelbar zwischen den Portalen des Boßlertunnels und des Steinbühltunnels bei Wiesensteig und werden auf Grund der bestehenden Sicherheitsanforderungen für lange Tunnel (Entgleisungsschutz, Fahrbahnquerschnitt hindernisfrei zur Selbstrettung) und Trassierungsparametern als zwei getrennte Fahrbahnen ausgeführt. Die Baumaßnahme „Filstalbrücke“ umfasst neben dem Brückenbauwerk ebenfalls die Erstellung der Portalhauben der angrenzenden Tunnel Steinbühl und Boßler.

Die zwei eingleisigen Brücken werden als filigrane Y-Brücken mit wenigen Stützen mittels Vorschubrüstung ausgeführt (**Bild 2**). Diese Tragwerksvariante einer Y-Brücke wurde aufgrund der gefälligeren Einbettung in das Landschaftbild des Filstals gewählt. Zudem kommt sie mit weniger Stützen aus als andere Tragwerkstopologien und minimiert dadurch auch den Eingriff in die dortigen Waldflächen. Ein weiterer Vorteil für eine Tragkonstruktion mit wenigen Stützen sind die geringeren Kosten für Inspektion und Wartung.

Die Eisenbahnüberführung wird als sechsfeldriges, gevoutetes Durchlaufträgerbauwerk hergestellt. In Längsrichtung wird der Hohlkastenquerschnitt des Durchlaufträgers vorgespannt. Um das Seitenwindrisiko zu reduzieren wer-

Dr.-Ing. Marcus Schreyer
Firmengruppe Max Bögl
Postfach 11 20, 92301 Neumarkt
Tel.: 09181 909 11229
mschreyer@max-boegl.de
Dipl.-Ing. Christian Wörner
DB Projekt Stuttgart Ulm GmbH
Dipl.-Ing. Bastian Schütt
DB Projekt Stuttgart Ulm GmbH

Tabelle 1. Das Pilotprojekt Filstalbrücke des BMVI beinhaltet vier BIM-Maßnahmen

4D-Bauablauf und Statusmeldung
– 4D-Bauablaufplan basierend auf dem aktuellem 3D-Modell und dem verknüpften Bauzeitenplan – Darstellung von Einzelobjekten wie Bauwerke, Bauabschnitte, Hilfsgerüste, Baugruben und Baustraßen – Bereitstellung des 4D Bauablaufmodells und der Projektstatusmeldung
Abrechnung mithilfe von BIM
– Pauschale Teillose werden mit BIM transparent und vollständig abgerechnet – Einheitspreis-Teillose werden parallel sowohl klassisch als auch mit BIM abgerechnet. Beide Abrechnungsmethoden sollen verglichen werden
Mobile cloud-basierte BIM Anwendungen mit Zugang über Tablets und Web-Portal
– Bereitstellung der Modelle und Eingabeformulare auf Tablet Computern – Dokumentation der Bauausführung vor Ort auf der Baustelle – Prozessunterstützung bei Qualitätsmanagement, Mängelmanagement, Zustands- und Teilfeststellungen sowie Arbeitssicherheit
Anbindung einer bereits im Bahnprojekt Stuttgart-Ulm eingeführten Planmanagement-Plattform an BIM-Anwendungen (optional)
– Verknüpfung zwischen dem 3D-Modell und den zugehörigen Plandokumenten auf Bauteilebene – Erweiterung des Projektstatus auf den Planlauf

den beidseitig jedes Überbaus Windschutzwände angeordnet.

Die Bauaufgabe wurde in vier Vergabelosen teilpauschaliert vergeben. Aus Sicht des ausführenden Bauunternehmens liegen die wirtschaftlichen Risiken des Projekts daher zum Einen bei dem Mengenrisiko, vor allem für Bewehrung und Beton, da zum Beispiel mit der Wahl des Bauverfahrens in Zusammenhang stehende Mengenmehrungen zu Lasten des Ausführenden gehen. Die Abbildung der wesentlichen Gewerke im objektorientierten Modell, ermöglicht es, Änderungen dieser Mengen schnell und sicher erkennen, bewerten und gegebenenfalls optimieren zu können. Ein weiteres Risiko bilden Störungen und unvorhergesehene Änderungen des dem Angebot zugrunde liegenden Bauablaufs mit seinen Festlegungen zu Bauverfahren, Hilfsgründung, Schalungskonzept, Traggerüsten etc. Wenn darüber hinaus Unklarheiten über die Verantwortlichkeiten bestehen und Entscheidungen zum weiteren Vorgehen verspätet oder nicht im Bewusstsein aller Konsequenzen getroffen werden, kann sich dies auch signifikant negativ auf die Projektkosten und –termine auswirken. An dieser Kommunikationsebene setzen die Visualisierungen und Simulationen im Rahmen des Building Information Modeling an: Studien an BIM-Projekten [3] haben gezeigt, dass die Modelle die Validierung und Bewertung von Terminplanungen im Team beträchtlich verbessern und dadurch einen Beitrag zur Senkung bauablaufbezogener Projektrisiken leisten können.

2 Zielsetzungen des BIM-Pilotprojekts

An die Projektabwicklung mit BIM-Methoden werden vielfältige Erwartungen geknüpft. Tatsächlich eröffnen sich in einem durchgängig digitalisierten Prozess auf Grundlage standardisiert strukturierter Daten, die fortlaufend aktualisiert und koordiniert werden, immense Optimierungspotenziale. Um diese Potenziale ausschöpfen zu können, müssen neben technischen auch organisatorische Voraussetzungen erfüllt und auch von entsprechend qualifizierten Projektbeteiligten umgesetzt werden. Auf staatlicher Ebene sollen die hierzu erforderlichen Modell- und Vergabestandards über die von den Branchenverbänden getragene Planen Bauen 4.0 GmbH [4] initiiert werden.

Das Pilotprojekt Filstalbrücke befand sich zum Zeitpunkt der Auswahl als Pilotprojekt bereits zu Beginn der Realisierungsphase, sodass Potenziale aus der Entwurfsphase wie zum Beispiel die Vergabe von BIM-Planungsleistungen sowie eine umfassende technisch-wirtschaftliche Optimierung am Modell nicht mehr realisiert werden können. Vor Projektbeginn wurde für die Durchführung des BIM-Pilotprojektes von AG und AN grundsätzlich vereinbart, dass die Basis der Zusammenarbeit auf Transparenz, einer offenen Kommunikation und einem offenen Informationsaustausch beruhen muss. Hierbei unterstützt und stärkt die Anwendung der BIM-Methode die bereits bestehende partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen der DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH und der Firmengruppe Max Bögl. Als gemeinsame Zielsetzungen wurden folgende Punkte formuliert:

- Risikominimierung, insbesondere der Termin- und Kostenrisiken,
- Prozessanalyse und Effizienzsteigerungen in den Bereichen Bauüberwachung, Bauabrechnung, Termin- und Kostensteuerung, Berichts- und Besprechungswesen, Dokumentation,
- Analyse und sammeln von Erfahrungen bei der Entwicklung und Veränderung von Rollenbildern, Organisation und Zusammenstellung von (BIM-)Projektteams, Zusammenarbeit zwischen AG und AN, Einsatz von neuer Hard- und Software,
- Verbesserung der Kommunikation (intern / extern) und Vernetzung der Projektbeteiligten.

Aus diesen Zielsetzungen wurden vier BIM-Maßnahmen abgeleitet und als Ergänzung des bereits geschlossenen Vertrags über die Bauleistung vereinbart (**Tabelle 1**).

3 Eingesetzte BIM-Methoden

Bei den BIM-Methoden wurde eine Mischung aus bereits erprobten sowie neuen Technologien gewählt, um eine möglichst reibungslose und wirtschaftliche Projektabwicklung zu gewährleisten. Es galt dabei ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Innovation und Implementierungsrisiken zu finden. Dabei musste auch berücksichtigt werden, dass das Projektteam aus Vertretern der DB PSU, Max Bögl aber auch der Nachunternehmer, bauüberwachenden Büros etc. in die Lage versetzt werden muss, mit den Soft- und Hardwarewerkzeugen sowie Ablaufänderungen auch produktiv umzugehen. Es zeichnet sich auch bereits ab, dass bei Themen wie der elektronischer Signatur oder der Anwendung von cloud-basierenden Technologien auch juristische Fragestellungen berücksichtigt werden müssen. Überträgt man die Entwicklung der vergangenen drei Jahre auf die geplante Projektlaufzeit, so ist es zudem absehbar, dass im Rahmen des Projekts über die heute vereinbarten BIM-Methoden hinaus noch weitere zum Einsatz kommen werden.

3.1 Modellerstellung und Modellinhalte

Damit BIM-Prozesse möglichst umfassend abgebildet werden können und die Notwendigkeit zur Kommunikation auf Zeichnungen zurückgreifen zu müssen, minimiert wird, wurde die Abbildung möglichst aller Fachgewerke im Modell angestrebt.

Das Ingenieurbüro Schmitt Stumpf Frühauf (SSF) als der Ersteller des zentralen 3D-Modells setzt ebenfalls seit mehreren Jahren modellbasierte Methoden in der Planung ein. Im Fall der Filstalbrücke wurde ein geometrisch präzises Modell der Betonbauteile des Bauwerks in der CAD-Software Siemens NX erstellt, welches im weiteren Prozess als das führende Modell für die weiteren Fachgewerke verwendet wird. Während des Entwurfs wurde dort die mit Max Bögl abgestimmte Aufteilung in die geplanten Herstell- und Betonierabschnitte eingearbeitet. Im Zuge der Arbeitsvorbereitung wurde dieses Modell dann von mehreren Autoren bei Max Bögl mit weiteren Teilmodellen und Informationen für die Bauausführung ergänzt.

Neben dem Modell von SSF entstehen so Modelle für Ausführungsplanungen und -konzepte der Baubehelfe und temporärer Hilfskonstruktionen wie zum Beispiel der Hilfsstützen, der Baustelleneinrichtung und Großgeräten wie Kränen und Bohrgeräte je nach Bedarf. Die **Tabelle 2** zeigt eine Übersicht der erstellten Fachmodelle, Planer sowie der eingesetzten BIM-CAD-Systeme.

Um die Abrechnung gemäß der Struktur im Leistungsverzeichnis mit BIM-Methoden mit der etablierten vereinfachten Abrechnung nach REB (Regelungen für die Elektronische Bauabrechnung) vergleichen zu können, wurden auch Baugruben einschließlich der Verbauten modelliert. Das Gelände wurde hierfür als Volumenkörper modelliert und nicht wie üblich als 3D-Ebene in dem Modell dargestellt. Dies ermöglicht beispielsweise die für die Bauausführung essentielle Auswertung von Mengeninformationen und Bodenschichten.

Diese von verschiedenen Autoren, mit teils unterschiedlichen CAD-Systemen erzeugten Teilmodelle werden regelmäßig in dafür geeigneten Programmen wie ceapoint desite oder Autodesk BIM 360 zusammengeführt und koordiniert (**Bild 3**).

Der Detaillierungsgrad der Modelle wird maßgeblich durch die Anforderungen aus der Ableitung der Ausführungspläne bestimmt. Insgesamt werden in der Ausführungsphase deutlich höhere Anforderungen gestellt als an oft konzeptionell angelegte Modelle in früheren Projektphasen. Um ein 3D-Geometriemodell dabei weder optisch noch von der Datenmenge her zu überladen, muss definiert werden, was im Detail als 3D-Körper abzubilden ist und wo eine symbolische oder 2D-Abbildung in der Zeichnungsdarstellung ausreichend ist. Bei solchen Vereinfachungen ist zu berücksichtigen, dass geometrische Eigenschaften eines Bauteils zum Beispiel für eine Mengenermittlung natürlich nur am modellierten Körper ermittelt werden können. Die hierfür erforderliche Abstimmung zwischen Modellersteller und Modellnutzer ist einer der Gründe, warum eine phasenübergreifende Zusammenarbeit von Planern und Ausführenden durch einen BIM-Prozess befördert werden muss.

Wird BIM nicht bereits vom Bauherrn in frühen Planungsphasen berücksichtigt, erfordert die Erstellung einer ausführungsorientierten 3D-Modellierung heute noch zusätzliches in der Regel nicht vergütetes Eigenengagement der Baufirmen. Mit zunehmender Kenntnis der Möglichkeiten, die sich aus einer BIM-Planung ergeben und mit einer Standardisierung der Modellierung werden Modelle künftig als Grundlage von Fachplanungen im Planungsteam erstellt, sodass heute noch übliche Arbeitsschritte wie die Überführung von 2D-Zeichnungen in ein Modell entfallen.

Tabelle 2. Übersicht zu Fachmodellen, Autoren sowie den eingesetzten BIM-CAD-Systemen

Fachmodell	Autor	CAD
Pfeiler und Überbauten	Schmitt Stumpf Frühauf (SSF)	Siemens NX
Widerlager und Überfahrtsbauwerke	Max Bögl (MB)	Siemens NX
Gelände	SRP-Consult & MB	RIB Stratis, Siemens NX
Baugrundschichtung	MB	Siemens NX
Baustraßen und Verbauten	SRP-Consult & MB	akg Vestra, Siemens NX
Baustelleneinrichtung	MB	Siemens NX
Vorschubrüstung	Strukturas AS	Tekla Structures
Hilfsstützen	Sarens GmbH & MB	Siemens NX
Sonstige Hilfskonstruktionen	MB	Siemens NX
Schalung	MB	PERI CAD, Siemens NX

Bild 3. Die verschiedenen Teilmodelle aus den Fachplanungen werden in BIM-Viewern und Koordinationssoftware zu ganzheitlichen Darstellungen zusammengeführt

3.2 Planableitung und Modellkoordination

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben wird die Filstalbrücke nicht als monolithisches Gesamtmodell, sondern in mehreren Fachmodellen von verschiedenen Projektbetei-

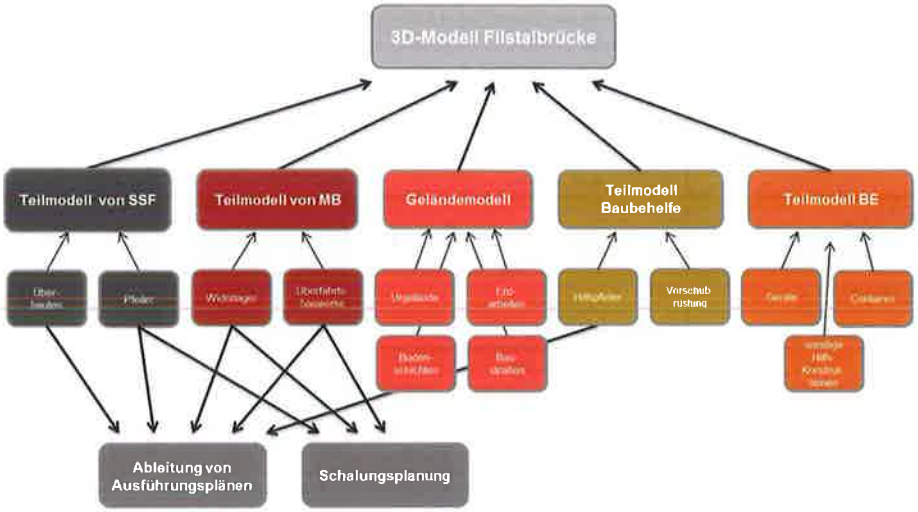


Bild 4. Die Teilmodelle des Projekts Filstalbrücke und ihre Abhängigkeiten

ligten erstellt (**Bild 4**). Eine solche, aus dem Vergabeverfahren resultierende, verteilte Modellerstellung erfordert eine proaktive IT-technische Koordination der Teilmodelle, eine Beherrschung der technischen Schnittstellen sowie Daten- und Informationsmanagementleistungen, die in der Regel als „BIM-Management" [5] Leistungen bezeichnet werden. Im Grunde handelt es sich dabei um typische Projektmanagement-Dienstleistungen basierend auf BIM-Methoden.

Wenn das führende Modell des Planers und die meisten der Teilmodelle in demselben CAD-System erstellt werden, vereinfacht dies den Modellaustausch zwischen den Beteiligten, es stellt jedoch keine Notwendigkeit mehr dar. Mit entsprechender Erfahrung im Umgang mit den Schnittstellen der CAD-Systeme und einer Auswahl von Programmen mit breiter Schnittstellenunterstützung ist es heute fast immer möglich, für Modelldaten Wege von einer in eine andere Software zu finden. Bei CAD-Software für den Hochbau hat sich die Unterstützung des offenen Modellstandards Industry Foundation Classes (IFC) inzwischen derart verbessert, dass dieser in der Regel den Anforderungen für den Datenaustausch genügt. Lediglich in Sonderfällen wie der Bereitstellung von Geometriedaten von Freiformkörpern für die maschinelle Fertigung, wie sie auch zum Beispiel beim Schalungsbau von Pfeilerkopf- oder Widerlagerschalungen vorkommen, sind heutige IFC-Schnittstellen noch überfordert. Auch sind die Bauteile von Infrastrukturbauwerken wie eben Brücken, Tunnels, aber auch Verkehrswegen und Erdbauwerken noch nicht Bestandteil des IFC-Standards.

Im Ingenieurbüro SSF sowie bei Max Bögl wird das aus der Fertigungsindustrie stammende CAD System Siemens NX zur Modellierung eingesetzt. Diese hochparametrische Konstruktionssoftware bietet gegenüber etablierten Bau-CAD Anwendungen vor allem Vorteile bei der Erzeugung, Bearbeitung und Fertigung komplexer Freiformgeometrien.

Auch die Planableitung für die Schalpläne der Pfeiler und Überbauten erfolgte in der Software direkt aus dem Modell. Dabei ist der für Planungsbüros fundamentale Prozess der Zeichnungsableitung leider noch keine vorkonfigurierte „out of the box" Funktion. Vielmehr mussten sowohl von SSF als auch von Max Bögl in der Vergangenheit ein beträchtlicher Aufwand investiert werden, um mittels Anpassungen an Plan- und Modellvorlagen sowie der Entwicklung und Einführung entsprechender Arbeitsweisen Pläne nach deutschen Standards aus den Modellen zu erzeugen. Dieser initiale Aufwand ist leider noch immer kennzeichnend für die Anfangsphase der BIM-Einführung in planenden Unternehmen, unabhängig von der verwendeten Software. Auch temporäre Hilfskonstruktionen, zum Beispiel Schwerlaststützen, Treppentürme sowie Pfeilerschalungen werden detailliert geplant und in daraus abgeleiteten Ausführungszeichnungen dargestellt (**Bild 5**). Dabei wird auf Bauteilbibliotheken zurückgegriffen, um den Aufwand mit der Zeit zu minimieren.

Für die Fertigung von Sonderschalungen werden in der Regel bei Max Bögl die Modelldaten über das Computer Aided Manufacturing (CAM) Modul an die Bearbeitungsmaschinen übertragen. Bei Standardschalungen erfolgt die Planung hingegen im AutoCAD-basierten Peri CAD, welches den kompletten Prozess der regelbasierten Schalungsplanung bis zur Abrechnung derselben abdeckt. Bei der Bewehrungsplanung hingegen erfolgte ein gewisser Bruch, da Siemens NX nicht über Funktionen zur Bewehrungsplanung verfügt. So musste zur Erstellung der Bewehrungspläne die Schalungsgeometrie in das auf AutoCAD basierende 2D-System SofiCAD der Sofistik AG übertragen und dort bewehrt werden.

Um die vom Vermessungsingenieur für das Digitale Geländemodell (DGM) erstellten Daten verwenden zu können, mussten ebenfalls Umwege gegangen werden. So wurden die DGM-Daten zunächst mit der CAD-Software RIB Stratis im REB-Datenformat importiert und von dort im LandXML-Format für das Zielsystem Siemens NX exportiert. Weiterhin wurde die Tiefbau-Planungssoftware Stratis verwendet, um die Baustraßen zu planen und ebenfalls in LandXML zu Siemens NX zu übertragen. Dort wurde die Baustelleneinrichtungsplanung mit den temporär ins Gelände geplanten Baustraßen zu einem Gesamtmodell der virtuellen Baustelle ergänzt und verschnitten. Das kombinierte Modell wurde in der Arbeitsvorbereitung dazu genutzt, um Bauzustände wie zum Beispiel Auf- und Umbauphasen der Vorschubrüstung darstellen zu können und die Planableitung für die Montage- und Bauzustandspläne über das 3D-Modell zu erstellen.

Für die Integration der Teilmodelle in der Cloud-Software Autodesk BIM 360 zeigen sich bereits heute einige Vorteile gegenüber den bisher verwendeten Modelserver-Lösungen. So vereinfacht die Nutzung cloud-basierter Software die Zusammenarbeit über Grenzen der Unternehmensnetzwerke hinweg, eröffnet auf der anderen Seite jedoch Diskussionen zu Aspekten der Datensicherheit und Datenschutz. Die cloudbasierte Software funktioniert als gemeinsame Plattform für die Modelle und bietet auf dieser Datenbasis auch zentrale Auswertungen über sogenannten Controlling Dashboards. Die einfache zentrale Bereitstellung und Koordination der Modelle reduziert im Alltag die Zahl der Mehrfachspeicherungen und somit die Gefahr damit einhergehender Versionsfehler in der Planung. Für die Akzeptanz der Modelle als Abstimmungsgrundlage auf der Baustelle ist diese Zuverlässigkeit der Modelldaten wichtig.

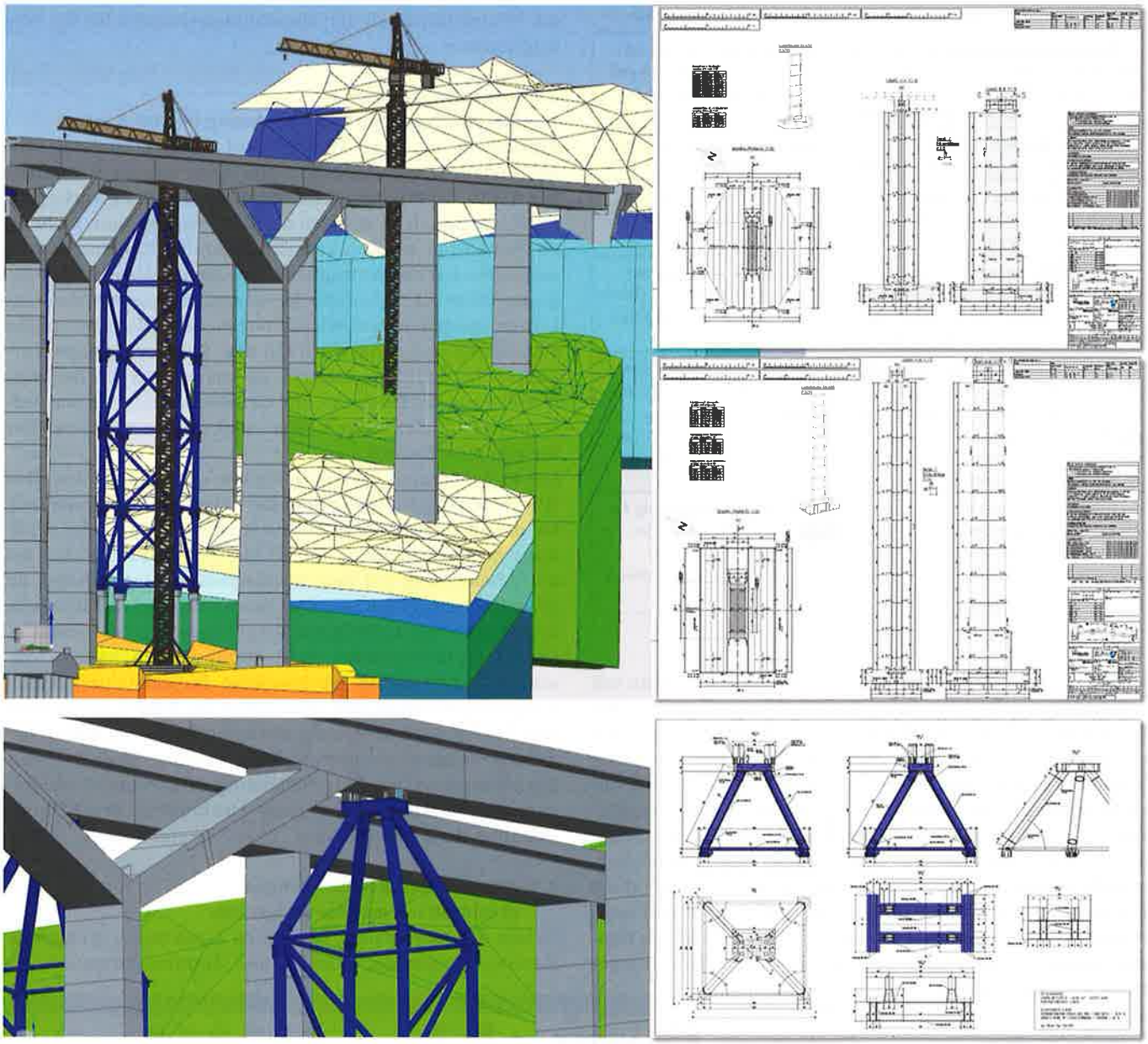


Bild 5. Konstruktion und Planableitung der Ausführungs- und Werkpläne der Brückenpfeiler (oben) sowie von Hilfskonstruktionen (unten) in Siemens NX

Das Modell muss immer den aktuellen Planungsstand abbilden. Kommen Zweifel an der Aktualität der Modelle auf, wenn zum Beispiel Modelle einer 2D-Planung nachgeführt werden, dann greifen die Verantwortlichen auf der Baustelle zwangsläufig auf die vertrauten Zeichnungen als Arbeitsgrundlage zurück und das Modell wird ignoriert. **Tabelle 3** fasst nochmals die wesentlichen Punkte der Modellierung zusammen.

3.3 Terminmanagement – 4D-Bauablauf und Projektstatus

Die Terminplanung ist zentraler Bestandteil des Bauprojektmanagements. Die Anwendung der BIM-Methode auf das Terminmanagement erfolgt im Pilotprojekt mit der Software desiteMD des Unternehmens ceapoint aec technologies (**Bild 6**). Diese Software aus dem Bereich des BIM-Managements ermöglicht die Darstellung eines 4D-Bauablaufs durch Import des Terminplans und dessen Verknüpfung mit den 3D-Objekten des Modells.

Die Verknüpfung lässt sich auf verschiedenen Wegen herstellen: Zum Einen ist es möglich Objekte manuell mit Vorgängen zu verknüpfen, zum Anderen kann eine semi-automatische Vorgehensweise angewandt werden, bei der manuell entsprechend indizierte Vorgänge und Objekte nachfolgend automatisch miteinander verknüpft werden. Bei dem mit circa 2.000 Vorgängen ausdetaillierten Terminplan wurde die semi-automatische Vorgehensweise zur Erzeugung des 4D-Modells gewählt, auch um Varianten der Terminplanung effizienter darstellen zu können.

Um auf dem Terminplan aufbauende Prozesse wie 4D-Bauablaufvisualisierung, Projektstatusmeldung und der Abrechnung mit BIM zu ermöglichen, wurde das Modell in Herstellabschnitte aufgeteilt und die Vorgänge diesen 1:1 zugeordnet. Durch die zeitliche Zuordnung zum Terminplan lassen sich nun auch die Bauteileigenschaften, zum Beispiel mit der softwareinternen Berechnung des Volumens, zeitbezogen auswerten. Über die Kombination Vorgänge + Herstellabschnitte + Mengen + Material kann so aus dem 4D-Modell auch eine zeitabhängige Auswertung der verarbeiteten Betonmengen über den Projektverlauf erzeugt werden.

Tabelle 3. Wichtige Punkte für die Modellierung in der Ausführungsphase

– **Assoziative Planableitung** in einem BIM-Planungsprozess sichert die Übereinstimmung von Zeichnungs- und Modellstand, da die Zeichnungen „aus dem Modell assoziativ abgeleitet" werden. Änderungen am Modell schlagen sich so sofort in den Zeichnungen nieder.
– **Mehrere Autoren erstellen** in einem koordinierten Prozess, analog zur konventionellen Fachplanung, **Teilmodelle** des Brückenprojekts.
– **Unterschiedliche CAD-Systeme** für die Teilmodelle sind die Regel. Erforderlich sind Erfahrung im Umgang mit CAD-Schnittstellen und eine Auswahl von Programmen mit breiter Schnittstellenunterstützung.
– Die **Referenzierung** von Modellen Dritter ist für einen **koordinierten Planungsprozess** meist die bessere Alternative als ein Modellimport. Dabei vernetzen die Planer die relevanten Teilmodelle anderer in Ihren CAD-Systemen, ohne diese bearbeiten zu können.
– **Gesamtheitliche Sichten** des Projekts werden zum Beispiel für Besprechungen in der Regel nicht in den CAD-„Autorensystemen" erzeugt, sondern in einem sogenannten **BIM-Viewer oder BIM-Koordinationsprogramm**. Diese Programme können die Fachmodelle zu performanten Gesamtsichten zusammenfassen und sind auch von nicht-CAD-erfahrenen Anwendern schnell erlernbar.
– Eine modellbasierte Ausführungsplanung erfordert eine **Abwägung für die Darstellung von Details. Nutzungsabhängig** muss definiert werden, was im Detail als 3D-Körper abzubilden ist und wo eine vereinfachte, symbolische oder 2D-Abbildung in der Zeichnungsdarstellung ausreichend ist.

Durch eine Ergänzung der Soll-Termine im Terminplan mit regelmäßigen Ist-/Prognose-Rückmeldungen durch die Bauleitung, erhalten die Bauteile die Information über den tatsächlichen Fertigstellungstermin. Während klassische Terminmanagementsoftware sich in der Regel auf eine alphanumerische Auswertung dieser Daten in Tabellen oder Diagrammform beschränkt, ermöglicht die Verknüpfung dieser Informationen mit dem Modell eine schnell verständliche Darstellung durch Einfärbung der Bauteile nach ihren unterschiedlichen Zuständen. Auf diese Weise können stichtagbezogene Auswertungen zum Beispiel von Bauablaufänderungen, einem Terminvorsprung oder Verzögerungen visuell mithilfe des 4D-Modells dargestellt und bewertet werden.

BIM ermöglicht hier vor allem im Bereich des Terminncontrolling respektive in der Fortschrittskontrolle eine neue Sicht auf das zu leistende Soll im Vergleich zum geleisteten Ist und vereinfacht die Kommunikation des Baustands mit Projektbeteiligten innerhalb und außerhalb des Baustellenbereichs. Durch diese transparente Vorgehensweise einer regelmäßigen Bauablaufvisualisierung sowie darauf aufbauend einer Projektstatusvisualisierung erhöht sich die Verständlichkeit der Darstellungen zum Terminmanagement. Zusätzlich erhöht sich die Übersichtlichkeit der Abrechnungssituation für die Vertragspartner.

3.4 Kostenmanagement – 5D-Zahlungspläne und Abrechnung im BIM-Kontext

Aufbauend auf den Modell- und Terminplandaten des 4D-Modells werden zusätzlich die Werte aus der in der Software RIB iTWO erstellten Arbeitskalkulation verknüpft. Konkret handelt es sich um die Budgets (geplante Kosten), die Sollkosten aus den Vergaben und den Prognosewerten sowie den aus der vertraglichen Vergütung abgeleiteten Erlösen. Diese Elemente des Kostencontrollings werden einzelnen Bauteilen und wo sinnvoller auch Bauabschnitten zugeordnet und damit auch mit den Terminvorgängen verknüpft. Im Ergebnis entsteht daraus eine grobe Ressourcenplanung des Personal- und Geräteeinsatzes aus den Aufwandswerten sowie der Kosten- und Erlösausplanung über die geplante Bauzeit.

Vor Projektbeginn erfolgte zwischen der DB PSU und Max Bögl eine Verständigung über die Leistungen im Bauablauf, bei denen abrechenbare Kosten entstehen. Durch die Abbildung dieser Festlegung im 5D Modell kann der Fokus bei der Abrechnung auf den anschaulichen Vergleich des im Modell dargestellten mit dem tatsächlich auf der Baustelle dokumentierten Leistungsstand gerichtet werden (**Bild 7**).

Dieser Ist-Projektstatus wird durch die im vorigen Abschnitt beschriebene wöchentliche Projektstatusrückmeldung dokumentiert und farbcodiert im Modell dargestellt. Das Modell wird im Projekt zwischen Bauherrn und Generalunternehmer als Abrechnungsgrundlage über den Fertigstellungsgrad bei Pauschalleistungen verwendet und fördert eine kontinuierliche, enge Abstimmung der Termine mit allen Projektbeteiligten.

3.5 Baustellenprozessanbindungen in Echtzeit mit mobilen Endgeräten

Neben der Aggregation von Daten hinsichtlich dreidimensionaler Geometrie, Kosten- und Termininformation hin

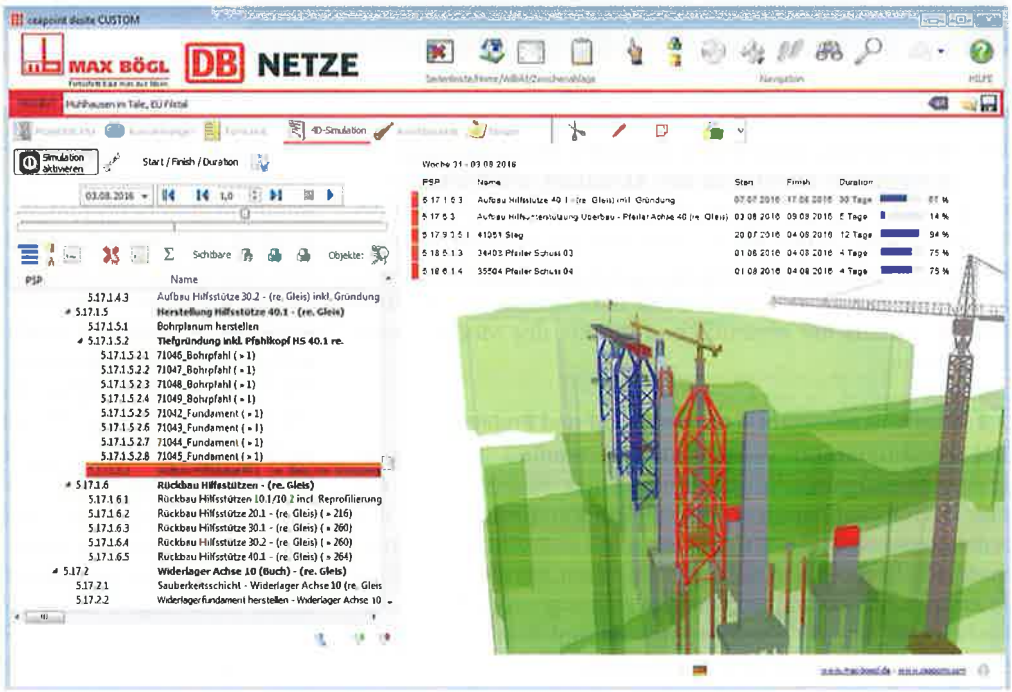


Bild 6. 4D-Bauablauf in ceapoint desite mit Darstellung der auf Vorgangsebene verknüpften Terminplan- und Modellsicht.

zur 5D-Projektabwicklung, wird im Rahmen des Pilotprojektes eine direkte Baustellenprozessanbindung mit mobilen Endgeräten zum Einsatz kommen.

Das Ziel besteht hierbei zunächst darin, bereits vorhandene Information aus dem BIM-Prozess, wie etwa das 3D-Modell und dessen Information in Form von Attributen, an jedem Ort, zu jeder Zeit und in seiner aktuellsten Version so einfach wie möglich mobil zur Verfügung zu stellen. Das 3D-Modell wird hierfür zentral von einem neutralen Cloud-Speicherdienst verwaltet und steht in seiner aktuellsten Form allen Projektbeteiligten via der App Autodesk BIM 360 zur Verfügung. Das Projekt kann lokal auf dem Tablet synchronisiert werden, um sämtliche Daten auch ohne Internetverbindung überall griffbereit zu haben.

Um eine schnelle Navigation zu ermöglichen wurden 3D-Schnitte, vordefinierte Ansichtspunkte und QR-Codes vorbereitet. Wie in **Bild 8** dargestellt, kann durch das Scannen eines QR-Codes am Bauteil das entsprechende virtuelle Bauteil im 3D-Modell inklusive Attributen aufgerufen werden.

Um die angestrebte Baustellenprozessanbindung allerdings tatsächlich zu erreichen, muss das 3D-Modell nicht nur mobil verfügbar sein, sondern auch mit weiteren relevanten Informationen angereichert werden können. Aus diesem Grund können jedem 3D-Objekt Checklisten, Abstimmungspunkte, Aufgaben, Pläne, Fotos und Kommentare zugewiesen werden. Während Checklisten eines Bauteils beispielsweise präventiv zu prüfende Qualitätspunkte enthalten, können mit Abstimmungspunkten offene, zu klärende Themen verfolgt werden.

Während sämtliche Informationen den Projektbeteiligten über ein Webportal als Dashboard-Controllingoberfläche aufbereitet werden, sorgen im Hintergrund regelbasierte Workflows für ein automatisiertes Berichtswesen. Hierbei werden anhand eines vordefinierten Filters zum Beispiel einmal pro Woche alle offenen Sicherheitsthemen inklusive Fotos, Kommentaren und Planausschnitt in einer PDF zusammengefasst und per Email an alle relevanten Projektbeteiligten versandt – ein Prozess welcher auf manuelle Art üblicherweise mehrere Stunden in Anspruch nimmt.

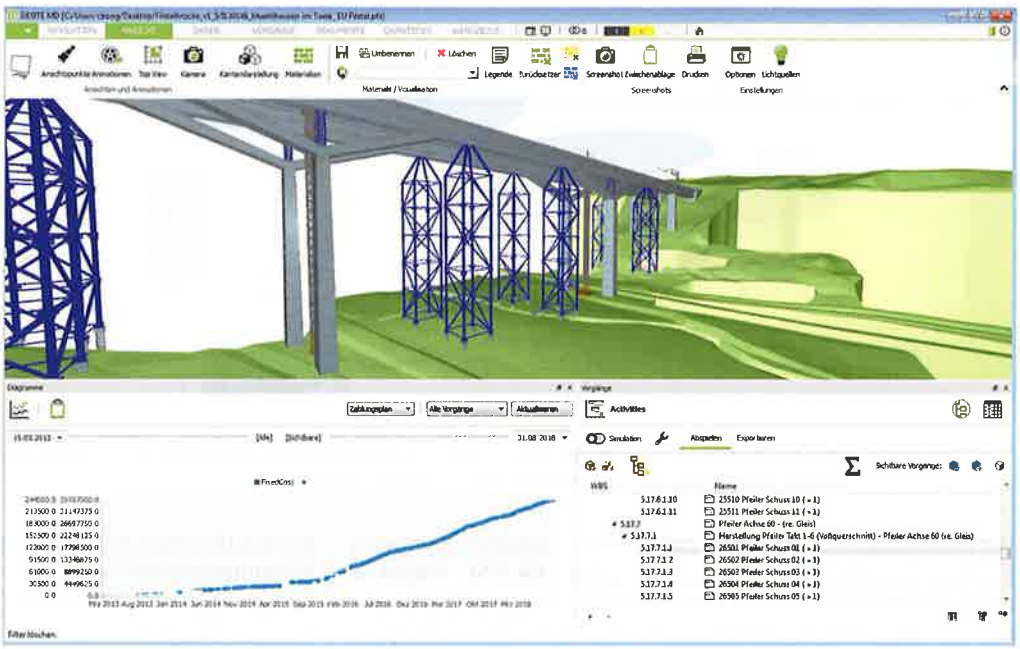


Bild 7. 5D-Auswertung des Leistungsstands mit Bauwerksmodell, Terminplanung und vernetztem Zahlungsstand

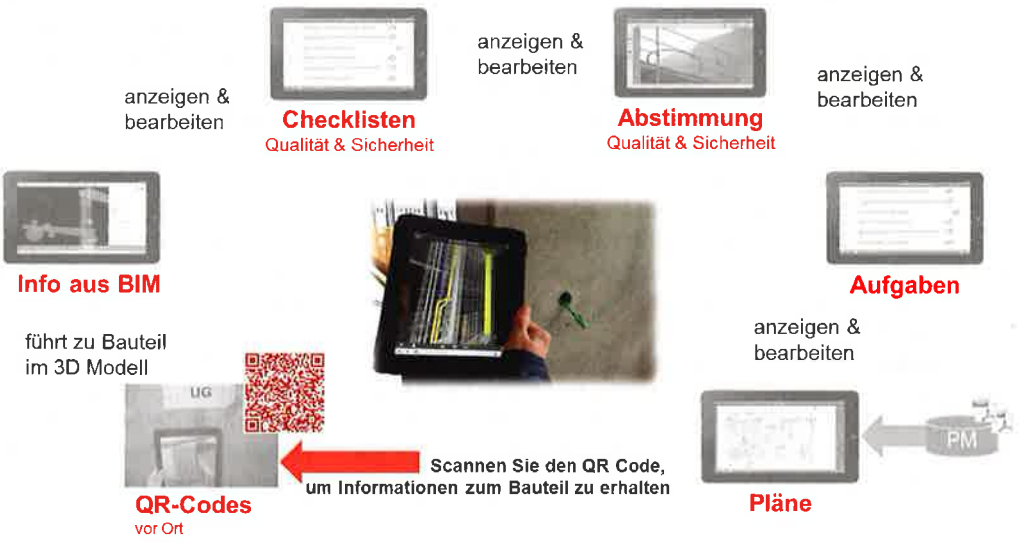


Bild 8. Funktionsübersicht Autodesk BIM 360 bei Max Bögl [6]

Über diese Funktionen wird es also demnach möglich Prozesse wie Baustellenbegehungen zur Arbeitssicherheit, Qualitätssicherung oder Abnahme in den BIM-Prozess zu integrieren. Dies bedeutet nicht nur eine enorme Steigerung an Effizienz, sondern auch ein Zugriff auf Daten und Übersichten, wie sie in dieser Form vorher nur mit sehr viel Mehraufwand erreichbar gewesen wären.

3.6 Mobile Planbereitstellung im BIM Kontext

Etablierte Übergabe- und Genehmigungsprozesse sowie die nicht modellierte Inhalte wie zum Beispiel Bewehrung machen eine parallele Nutzung von Zeichnungen und Modellen auf der Baustelle bis auf weiteres erforderlich. Die Zeichnungsdateien werden dabei von sogenannten Planmanagementsystemen bereitgestellt und teilweise workflow-gesteuert verwaltet. Die Sicht auf Plandokumente beschränkt sich in diesen Systemen jedoch auf tabellarische Ansichten der Zeichnungsdateien, ergänzt mit einer Dokumentenvorschau und diversen Filtermöglichkeiten. Durch

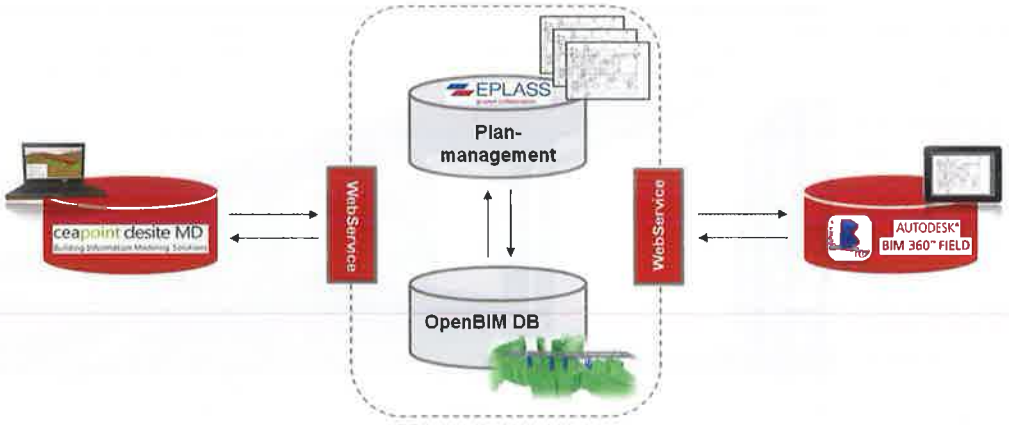


Bild 9. Datenaustauschema für die Bereitstellung von digitalen Planunterlagen und deren Freigabestatus über das BIM mittels Webservices, auf PCs/Notebooks oder Tablet-Rechnern

Bereitstellung der Modelle auf Tabletcomputern entstand bei den Anwendern der Wunsch, neben den Modelldaten auch auf die zugehörigen Zeichnungen, idealerweise direkt aus der Modellsicht, mobil auf der Baustelle und in Besprechungen zugreifen zu können. Um dies zu realisieren wird das bereits im Projekt verwendete Planmanagementsystem EPLASS über eine Webservice-Schnittstelle an modellbasierte Systeme angebunden (**Bild 9**). Die logische Zuordnung zwischen virtuellen Bauteilen im Modell und den Plandokumenten erfolgt dabei auf Basis der Metainformationen des Planmanagementsystems und der Bauteile.
Damit diese Vorgehensweise zukünftig auch auf andere Softwarekombinationen im Sinne des OpenBIM übertragen werden kann, wird eine Datenbank als neutrale Zwischenschicht integriert. Über diese erfolgt der Transfer der Dokumente und Dokumentenlinks vom Planmanagementserver an die BIM Systeme, in diesem Fall ceapoint desiteMD und Autodesk BIM360. Darüber hinaus wird auch der Status der in EPLASS verwalteten Planungsworkflows übertragen, sodass neben dem Abruf bauteilspezifischer Pläne im 3D-Modell auch der Planfreigabestatus modellbasiert visualisiert werden kann. Durch die Verbindung des 3D-Modells mit den für die Ausführung relevanten Plandaten ist BIM voll in den Bauprozess integriert.

4 Organisatorische Anpassungen

Für die Durchführung des BIM-Pilotprojektes wird ein BIM-Projektteam geschaffen, welches mit Personal DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH als auch der Firmengruppe Max Bögl besetzt sein wird. Das Team bearbeitet alle Themen, die für die Einführung und Durchführung des BIM-Pilotprojektes relevant sind und stellt auch die erforderliche Betreuung und Schulung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sicher. Das BIM-Projektteam setzt sich nicht nur mit Fachleuten der verschiedenen BIM-Methoden zusammen, sondern wird auch seitens der DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH durch Personal aus dem Bereich „Change Management" ergänzt, um alle Beteiligten in veränderte und neue Arbeitsabläufe optimal zu integrieren.
Ein zentraler Aspekt von BIM – die partnerschaftliche Zusammenarbeit – spiegelt sich sowohl in dem gemeinsam eingesetzten BIM-Projektteam als auch in gemeinsam durchgeführten Schulungen und einem zentral gesteuerten BIM-Informationswesen wieder. Ein BIM-Besprechungsraum dient dazu, optimale Voraussetzungen für ein partnerschaftliches Miteinander zu schaffen und eine offene Kommunikation über aktuelle Problemstellungen und Schwierigkeiten bei der Bauausführung zu fördern. Auch werden Besprechungsabläufe an den Einsatz der BIM-Modelle angepasst und neu strukturiert. Durch die Eingabe von „Echtzeitdaten" auf der Baustelle können Projektbeteiligte jederzeit und ortsungebunden entsprechende Informationen abrufen, das heißt die Informationszeiten werden dadurch deutlich verkürzt.

5 Ausblick

Im Zuge des Pilotprojektes soll nachvollzogen werden, inwieweit digitalisierte, veränderte Arbeitsabläufe und Prozesse Einfluss auf bisherige Rollen- und Berufsbilder haben. Ebenso sollen weitreichende Erkenntnisse des Einflusses der BIM-Methode auf die Projektorganisation eines Bauherrn oder eines Generalunternehmers gewonnen werden. Auch sollen die Erfahrungen aus der partnerschaftlichen Zusammenarbeit mit BIM-Methoden künftig auf weitere Schnittstellen übertragen werden. So bietet die Einbeziehung von Nachunternehmern, Vermessern sowie Produktherstellern weitere Potenziale, die Prozesse zu vereinfachen und dabei die Qualität der Leistungen zu sichern.
Um solche Potenziale als Handlungsempfehlungen für künftige Projekte herauszuarbeiten, wurde vom BMVI für die Pilotprojekte eine wissenschaftliche Begleitung beauftragt [7]. Langfristig erwarten die Beteiligten von DB PSU und Max Bögl aus der Projektarbeit Impulse für umfassende organisatorische Optimierungen hin zu partnerschaftlich gelebten Arbeitsweisen nach Lean Management Prinzipien [8]. Dafür stellen die Methoden des Building Information Modeling mit ihrer Transparenz, Messbarkeit und interdisziplinären Optimierungen die richtigen Werkzeuge bereit.

Danksagung

Für Ihre Unterstützung des BIM-Pilotprojekts sowie bei der Entstehung dieses Beitrags möchten wir uns beim Projektteam der Filstalbrücke bedanken, insbesondere auf Seiten der DB PSU bei den Herren M. Breidenstein, B. Sievers, sowie I. Zaidman und auf Seite Max Bögl bei den Herren H. Beyer, C. Boog, A. Jung, A. Kropp, R. Plank sowie M. Schütz

Literatur

[1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Pressemitteilung Nr. 022/2014 des BMVI, Bundesminister Dobrindt lag mit Expertenkommission", 13.10.2014, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015-07-23.

[2] *Zaidman, J.*: EU Fistel – ein spektakuläres Ingenieurbauwerk im Zuge der Alpaufstiege (Kiss Wendlingen – Ulm), Beitrag zum 17. Münchener Massivbau Seminar, 2013.

[3] *Fischer, M.; Kunz, J.*: The Scope and Role of Information Technology in Construction. Stanford, Stanford University, CIFE Technical Report #136, 2004.

[4] Planen Bauen 4.0 GmbH, http://www.planen-bauen40.de, 2015-07-23.

[5] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: BIM-Leitfaden für Deutschland, http://www.bbsr.bund.de, 2014.

[6] *Schulz, M.*: Application, results and outlook of BIM to Field methods on Max Bögl projects. Third Middle Eastern BIM Conference Dubai (2015)

[7] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Reformkommission Bau von Großprojekten – Endbericht, http://www.bmvi.de, 2015.

[8] *Davis, P.; Koskela, L.; Kiviniemi, A.; Owen, R.; Tzortzopoulos, P.*: Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM. CIRIA C725 UK, 2013.

Schrägseilbrücke Raunheim: effektiv, partnerschaftlich und innovativ gebaut

S. Schröther

Zusammenfassung Im hessischen Raunheim hat WOLFF & MÜLLER innerhalb von zwei Jahren (März 2013 bis Januar 2015) im Auftrag der Stadt Raunheim einen beschrankten Bahnübergang beseitigt und eine neue Schrägseilbrücke (Bild 1) errichtet. Die 130 Meter lange Straßenbrücke überspannt die Bahnstrecke Frankfurt-Mainz und erschließt das Gewerbegebiet Airport Garden im Osten der Stadt Raunheim. Das Gesamtbild wird von dem rund 52 Meter hohen Pylon und seinen Seilabspannungen (Bild 2) bestimmt. Die Brücke befindet sich in der Einflugschneise des Frankfurter Flughafens und prägt als weißes, elegantes Bauwerk das Stadtbild Raunheims. Der folgende Beitrag beleuchtet die Entstehung der Brücke. Die Bauausführung und die technischen Details werden anhand von drei Faktoren beschrieben, die für das Gelingen des Bauprojektes entscheidend waren: Effektivität, Partnerschaftlichkeit und Innovation.

1 Ausgangssituation und Auftragsvergabe

Das Gewerbegebiet Airport Garden (ehemals Resart-Ihm-Gelände) bietet eine circa 15 Hektar große Entwicklungsfläche für hochwertigen Bürobau. Vor dem Bau der Schrägseilbrücke war das Gelände nur über einen beschrankten Bahnübergang zugänglich. Auf der Strecke fahren täglich bis zu 300 Züge, sodass die Bahnschranke an manchen Tagen bis zu 13 Stunden geschlossen war. Um ins südliche Stadtgebiet zu gelangen, mussten alle Verkehre die nördlich der Bahn gelegenen Wohngebiete durchfahren. Im Interesse der Sicherheit und Abwicklung des Verkehrs entschlossen sich die Stadt Raunheim und die DB Netz AG, den Bahnübergang aufzuheben. Das Los 3 der Maßnahme umfasste die Herstellung der Straßenüberführung als Schrägseilbrücke mit einem Trogbauwerk für die nördliche Straßenrampe sowie alle erforderlichen Straßen- und Erdbaumaßnahmen südlich der Bahnstrecke bis zum Anschluss an das vorhandene Straßennetz. Mit Zuschlagschreiben vom 14. März 2013 erhielt die Niederlassung Brückenbau der WOLFF & MÜLLER Ingenieurbau GmbH den Auftrag zur Beseitigung des Bahnübergangs 25, Rudolf-Ihm-Straße, Los 3 Straßenüberführung, Raunheim.

2 Die Brücke in Zahlen

Die neue Schrägseilbrücke überquert die Bahnanlage mit einem Kreuzungswinkel von 63,20 gon. Das Brückenbauwerk ist als asymmetrische Schrägseilbrücke mit einer Gesamtstützweite von 130 Metern sowie einer Breite von 13,36 Metern ausgeführt, wobei die Fahrbahnplatte nur 0,60 Meter stark ist. Der knapp 52 Meter hohe A-Pylon steht südlich der Bahnanlage. Das nördliche Feld mit 95 Meter Stützweite überspannt die Bahnanlage sowie den neu hergestellten Kreisverkehr. Das Südfeld hat eine Stützweite von 35 Meter. Auf der Südseite bildet der Straßendamm eine Rampe. Auf der Nordseite war wegen der beengten Platzverhältnisse auf Grund der Ortseinfahrt nach Raunheim mit rund 10.000 Kfz pro 24 Stunde unter Aufrechterhaltung des Verkehrs ein Kastendamm mit einer geplanten Längsneigung von s = 8 % zu errichten.

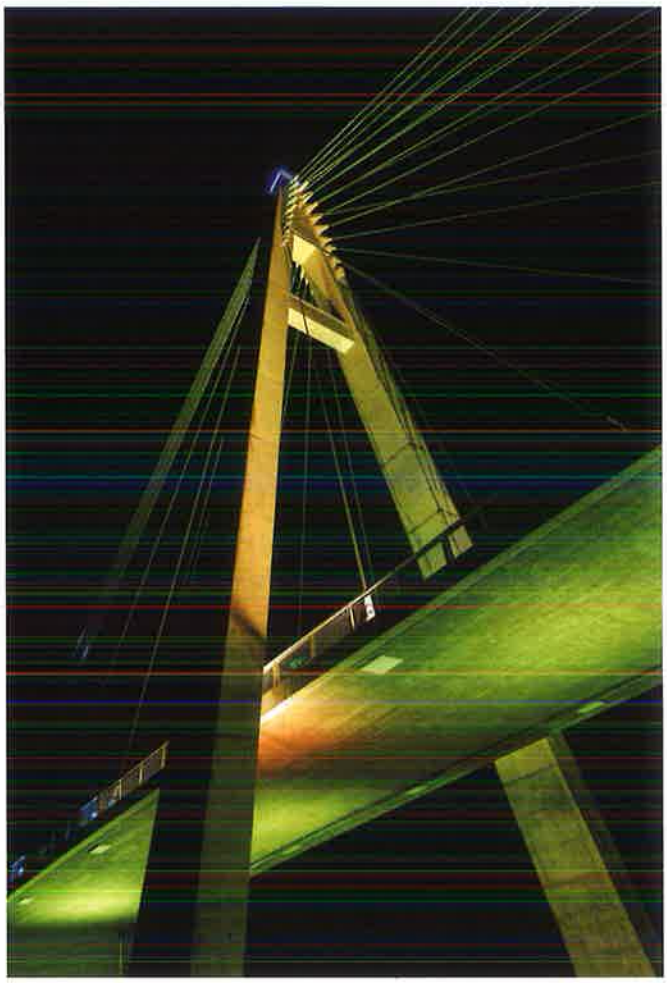


Bild 1. Schrägseilbrücke in Raunheim Foto: Stadt Raunheim

3 Gestaltungskonzept

Da die neue Schrägseilbrücke stadtbildprägend sein sollte, entschloss sich die Stadtverwaltung, ihr ein anspruchsvolles Gestaltungskonzept zu Grunde zu legen. Zum Konzept gehörte, die Brücke als „weißes" Bauwerk erscheinen zu lassen. Entsprechend war für die Überbauten und den Pylon ein möglichst heller Beton zu verwenden, für die Unterbauten dagegen – einschließlich des Rampentroges im Norden – möglichst dunkle Betone. Nur die vor den Rampenträ-

Dipl.-Ing. Stephan Schröther
Leiter Niederlassung Brückenbau
WOLFF & MÜLLER Ingenieurbau GmbH
Theodor-Heuss-Straße 21, 70174 Stuttgart
stephan.schroether@wolff-mueller.de
www.wolff-mueller.de

Bild 2. Fahrbahn bei Nacht

Foto: Martin Starl

ger gesetzte „Welle“ sollte ebenso hell wie die Unterbauten gestaltet sein. Ebenso tragen die weiß gestrichenen Stahleinbauteile der Seilverankerungen sowie das weiß gestrichene Sondergeländer aus Flachstählen mit Gitterfüllung zu diesem Erscheinungsbild bei.

4 Effektive Bauausführung

4.1 Unterlagen und technische Bearbeitung

Gemäß Bauvertrag erstellte der Auftraggeber die Ausführungsunterlagen auf Grundlage der Entwurfspläne für den Endzustand und übergab sie an WOLFF & MÜLLER. Das Bauunternehmen übernahm dann folgende Aufgaben: die abschließenden Bestandsunterlagen gemäß ZTV-Ing. Teil 1, Abschnitt 2, Punkt 4 (ZTV-Ing. = Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten), das Bauwerksbuch nach der Datenstruktur der Anweisung Straßeninformationsbank (ASB) des BMVBW mit dem Programmsystem SIB-Bauwerke und eine Reihe technischer Bearbeitungen.

Hierzu gehörte die technische Bearbeitung der Seile und Seilaufhängungen, einschließlich der Montage des vom Auftragnehmer vorgesehenen Systems und aller dafür erforderlichen Montagehilfskonstruktionen, Standsicherheitsnachweise und detaillierter Ausführungszeichnungen. Ein weiterer Punkt war die technische Bearbeitung aller Baubehelfe, mit Ausnahme des Traggerüstes über dem Bahnbereich: Diese Leistung erbrachte der Auftraggeber bereits im Vorfeld, weil der Zeitkorridor bis zur 1. Sperrpause im April 2013 sehr eng war.

Für einige Baugehelfe erstellte WOLFF & MÜLLER die Ausführungsunterlagen nach ZTV-Ing. entsprechend den Bauzuständen. Dazu gehörten unter anderem die ergänzenden Arbeits- und Traggerüstpläne sowie die Verbaupläne für alle Bauzustände. Ferner lieferte das Bauunternehmen noch die Werkstattpläne sowie die Standsicherheitsnachweise für Fahrbahnübergangskonstruktionen, Lager, Geländer und den Berührungsschutz.

4.2 Pylon

Im Folgenden werden die Bauverfahren und Bauhilfszustände im Zusammenhang mit der Erstellung des Pylons beschrieben (**Bild 3**), die ebenfalls statisch durch WOLFF & MÜLLER nachgewiesen werden mussten. Der A-förmige Pylon hat eine Höhe von 51,40 Meter über GOK. Die geneigten, sich nach oben hin gradlinig verjüngenden Pylonstiele haben einen rechteckigen Querschnitt von 3,50 m x 1,50 m. Sie verbinden sich im Kopfbereich. Unterhalb des Pylonkopfes sind die Stiele durch einen Querbalken miteinander gekoppelt. Am Pylonkopf sind insgesamt 36 Seile befestigt. Davon dienen 24 Seile der Aufhängung der Fahrbahnplatte, und zwölf Seile als Nackenseile der Abspannung des Pylons.

Bild 3. Errichtung des Pylons

Foto: Martin Starl

Die Pfahlkopfplatten der Pylonstiele sind über ein elastisch gebettetes Zugband miteinander verbunden und auf jeweils neun bis zu 15 Meter langen mit D = 120 cm lotrechten Bohrpfählen gegründet. Auf Grund der Vorgaben aus der Entwurfsplanung wurde der Pylon in 14 Betonierabschnitte eingeteilt, wobei die Regelhöhe eines Betonierabschnitts 4,306 Meter betrug. Die Taktung konnte bis einschließlich des 9. Taktes eingehalten werden. Lediglich für die Stiele, die sich auf der Pylonspitze auf 1,50 m x 1,258 m vereinigen, mussten für die letzten fünf Betonierabschnitte unterschiedliche Takthöhen gewählt werden. Ein separater Bauabschnitt war außerdem der Querträger im 9. Betonierabschnitt mit den Querschnittsmaßen 1,00 m x 1,50 m und einer mittleren Länge von circa fünf Meter. Um möglichst effektiv und zugleich wirtschaftlich vorzugehen, entschloss sich WOLFF & MÜLLER, die beiden Stiele soweit wie möglich parallel herzustellen. Umlaufende Arbeitsbühnen an den Kletterschalungen auf zwei Ebenen ermöglichten eine parallele Herstellung bis zum einschließlich 8. Betonierabschnitt. Da sich die Stiele in ihrer Ansicht ständig verjüngen, war eine ausgeklügelte Schalungskonzeption und für jeden Betonierabschnitt eine gesonderte Planung erforderlich. Sie ermöglichte dem Baustellenteam, die Schalung mit wenigen, sich ständig wiederholenden Arbeiten an den nächsten Betonierabschnitt anzupassen. Dies gelang im Wesentlichen durch die Verwendung einer Trägerschalung mit aufgelegten Doppel-T-Trägern vom Typ S 250 x 480, veränderlichen Riegeln VKZ und SVRZ sowie Richtstützen des Typs SLS.

Arbeitsunfälle zu vermeiden, hat für WOLFF & MÜLLER oberste Priorität. Deshalb entschloss man sich, parallel zur Herstellung der Stiele ein Layher-Raumgerüst aufzubauen. Dieses Gerüst im Innenbereich des Pylons bestand im Endzustand aus 24 Etagen. Ein innen liegender Treppenturm sicherte jeweils den Zugang zu der Kletterschalung der einzelnen Betonierabschnitte. Das Gerüst wurde circa alle vier Meter über einen einbetonierten Wellenanker im Pylonstiel verbunden. Daran wurde ein L-Winkel mit einer Bohrung für Schraube M 16 und aufgeschraubter Kombikupplung zur Aufnahme der Drehkupplung angebracht, die dann über eine Rohrdiagonale mit den Vertikalstielen des Raumgerüstes verbunden wurde.

Ein weiterer Zweck des Raumgerüstet: Es sollte die Vertikal- und Horizontallasten des Querriegels ableiten, der in circa 35 Meter über OK Gelände herzustellen war. Zudem wurden Ausweichebenen ins Gerüst integriert – so konnte das Baustellenpersonal auf- und absteigen, ohne sich gegenseitig zu behindern. Netze und Fallschütze im Bereich der Kletterschalung vervollständigten das Sicherheitskonzept, das WOLFF & MÜLLER mit der BG Bau, der Gewerbeaufsicht und den eigenen Fachkräften für Arbeitssicherheit erarbeitet hatte. Um Unfälle zu vermeiden, wurde auch eine Übung durchgeführt. Ziel der Übung war die Höhenrettung eines kollabierten Arbeiters aus der Bewehrung eines fast vollständig bewehrten Betonierabschnittes. All diese Maßnahmen führten dazu, dass es beim Bau der Schrägseilbrücke zu keinen meldepflichtigen Arbeitsunfällen kam.

Für die Bauzustände des Pylons war es wichtig, auch die Lasten der Kletterschalung zu berücksichtigen. Dem statischen Nachweis lagen die folgenden Annahmen zu Grunde:

- Länge der Pfähle
- seitliche Bettung (gemäß Bestandsstatik)

Dabei wurden folgende Lasten angesetzt:

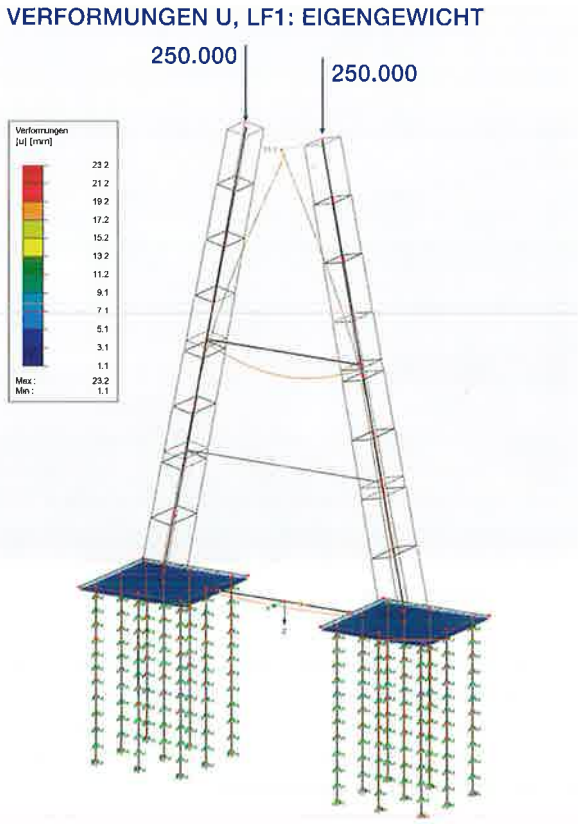


Bild 4. Grenzwerte für die Verformung des Pylons unter Eigengewicht Grafik: Ingenieurbüro Eisele

LF1: Eigengewicht des Pylons (**Bild 4**)
Eigengewicht der Kletterschalung (25 Tonnen je Stiel)

LF2. Wind quer nach DIN Fachbericht 101: 2009–03 Anhang N IV

LF3: Wind längs nach DIN Fachbericht 101: 2009–03 Anhang N IV

Folgende Bauzustände wurden nachgewiesen:

Bauzustand I: Die Pylonabschnitte BA1 bis BA4 sind betoniert, die Pylonstiele kragen frei aus. Danach erfolgt der Einbau von 2 x HEB 400 S235 auf circa 10,75 Meter Höhe über OK Gelände.

Bauzustand II: Die Pylonabschnitte BA1 bis BA6 sind betoniert. Der Pylon ist in der Ebene auf circa 10,75 Meter durch 2 x HEB 400 S236 horizontal gehalten. Danach erfolgt der Einbau von 2 x HEB 300 S235 auf circa 19,37 Meter Höhe.

Bauzustand III: Die Pylonabschnitte BA 1 bis BA 8 sind betoniert. Der Pylon ist in der Ebene auf 19,37 Meter Höhe durch 2 x HEB 300 S235 auf circa 27,98 Meter Höhe.

Bauzustand IV: Die Pylonabschnitte BA 1 bis BA 10 sind betoniert. Der Pylon ist in der Ebene auf circa 27,98 Meter durch den HEB 260 S235 horizontal gehalten.

Um die zusätzlich zu berücksichtigenden Überhöhungen aus Eigengewicht und Wind zu minimieren, entschloss man sich, bei größeren Windstärken auf Betonagen zu verzichten. So wurden einzig die sowieso maßgebenden Verformungen aus dem Lastfall Eigengewicht berücksichtigt. Die zusätzlich aufzubringende Überhöhung wurde jeweils am Schalungskopf angegeben und betrug je nach Bauabschnitt zwischen fünf Millimetern und zehn Millimetern.

Bild 5. Spannvorrichtung Foto: Martin Starl

Bild 6. Bewehrungsdetail Seilverankerung Foto: WOLFF & MÜLLER

Um die Abspannungen möglichst einfach ein- und später wieder ausbauen zu können, wählte man je Abspannung eine zweigeteilte Konstruktion. Sie wurde in Pfeilerachsen sowie am Anschluss an den Pylon biegesteif über Kopfplatten und Verschraubungen realisiert. Damit die Abspannungen ohne Beschädigung an der Pylon-Oberfläche ausgebaut werden konnten, wurde eine 15 Millimeter starke BFU-Platte unter der pylonseitigen Kopfplatte angeordnet. Der Anschluss an die Pfeiler erfolgte mittels 2 x 2 Klebeankern in Edelstahlausführung. Die oben genannten Aspekte führten zu einer Bauzeit des Pylons von nur fünf Monaten.
Außer dem Bau des Pylons gab es natürlich noch eine ganze Reihe weiterer technischer Herausforderungen. Dazu gehörte zum Beispiel die Verspannung der 36 Seile (**Bild 5**) mit Stückgewichten von bis zu sechs Tonnen und Spannkräften bis zu 3.500 kN, ebenso das Ablassen des Überbaufeldes im Bahnbereich.

5 Partnerschaftliche Zusammenarbeit

Der Erfolg jedes Bauprojektes hängt maßgeblich davon ab, wie die am Bau Beteiligten miteinander umgehen. WOLFF & MÜLLER setzt sich sehr für ein partnerschaftliches Miteinander ein. Das zeigte sich unter anderem, als sich die Vergabe des Loses 3 (Schrägseilbrücke) wegen eines Nachprüfungsverfahrens verspätete. WOLFF & MÜLLER bekam den Zuschlag nicht wie beabsichtigt Mitte Februar 2013, sondern erst einen Monat später Mitte März. Nach dem aktuellen Stand der Rechtsprechung hätten die Vertragspartner nun einvernehmlich neue Termine festlegen müssen. Die ersten Vertragstermine konnten jedoch nicht mehr verschoben werden: Sie waren an Bahnsperrpausen gekoppelt, die eine lange Vorlaufzeit haben. Die Pausen waren nötig, um das Traggerüst über der stark frequentierten Bahnstrecke Frankfurt-Mainz zu errichten. So blieben von der Auftragserteilung bis zur Fertigstellung des Traggerüstes über die Bahn gerade mal fünf Wochen Zeit – inklusive der erforderlichen Rodung und Gründungsmaßnahmen. Die einzige Lösung war eine Beschleunigung der Baumaßnahmen. Im Sinne der VOB/B § 2 Abs. 5 verständigten sich die Stadt Raunheim und WOLFF & MÜLLER vor der Ausführung der erforderlichen Beschleunigungsmaßnahmen über die vertraglichen Regelungen.
Im Rahmen der Ausführungsplanung kam es außerdem zu erheblichen Massenmehrungen, zum Beispiel beim einzubauenden Betonstahl des Überbaus. So stieg etwa der Betonstahlgehalt der nur 60 Zentimeter starken Überbauplatte von 133 kg/m³ auf circa 300 kg/m³. Auch hier zeigte sich die gute Zusammenarbeit von Auftraggeber, Planer und ausführendem Unternehmen: Zusätzlich zu den zeichnerischen Darstellungen in den Plänen fertigte der Planer eine visualisierte Animation an, die den Arbeitern als Verlegeanleitung, vor allem im Bereich der höchstbewehrten Seilverankerungen der Fahrbahnplatte (**Bild 6**), diente.
Strittige Punkte wie zum Beispiel die Anordnung und Bauteilgröße der Fertigteilwellen entlang des Troges wurden oftmals in den wöchentlichen Baubesprechungen kontrovers diskutiert. Doch auch hier wurden stets einvernehmliche Lösungen erzielt. Auf Grund der ergriffenen Beschleunigungsmaßnahmen und dem äußerst konstruktiven Handeln der beteiligten Fachplaner und Projektsteuerer gelang es, die Brücke fristgerecht fertigzustellen.

6 Innovative Lösungen

Bei öffentlichen Ingenieurbauten, gibt es eine Vielzahl von zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen – Normen, Richtzeichnungen des BMVI und bauaufsichtliche Zulassungen –, die sicher ihre Berechtigung haben. Allerdings führen sie auch dazu, dass die beteiligten Unternehmen ihre Innovationsstärke oft nur anhand der Baubehelfe zeigen können.

6.1 Einbauteile Pylonspitze

Wichtig bei Schrägseilbrücken sind jene Baubehelfe, die den passgenauen Einbau der Seilverankerung gewährleisten (**Bild 7**). Am Überbau bedeutet dies den exakten Einbau von 24 Seileinzelverankerungen mit Stückgewichten von bis zu 2,5 Tonnen. Auf Grund der bauaufsichtlichen Zulassung der verwendeten vollverschlossenen Seile sowie den verwendeten ermüdungsfesten Gabelseilhülsen durfte das angeschweißte Augenblech mit einer Stärke von bis zu 100 mm und aufgeschweißten Aufdopplungen im Bereich der Augenringe nur um $\Delta a_{max} = 1°$ von der Seilachse abweichen. Dies wurde im Werk und auf der Baustelle über ein umfangreiches Mess- und Montagekonzept erreicht und sichergestellt. Im Bereich der Flügelwände wurden die sechs Seilverankerungen einer Flügelwand in einer 14 Tonnen schweren Konstruktion zusammengefasst.

Für die Stirnplatten der Seilverankerungen kam Stahl der Güte S355J2 + N mit Z-Güten bis Z25 zur Ausführung. Knotenbleche, Verbindungsbleche und Augenbleche waren aus S355 NL/ML, sämtliche verwendeten Stähle mussten das Abnahmeprüfzeugnis 3.2 besitzen. Die Allgemeintoleranz für Schweißkonstruktionen gemäß EN ISO 13920 musste der Klasse A entsprechen. Die größte Herausforderung stellte hierbei die Montage und Ausrichtung der 36 Seilverankerungen an der Pylonspitze dar, die wie folgt aufgeteilt waren:

2 x 5 Stück Seilverankerungen je Pylonstiel West
2 x 5 Stück Seilverankerungen je Pylonstiel Ost
1 x 16 Stück Seilverankerungen im Pylonkopf

Um die Einbautoleranzen einhalten zu können, wurden die sich noch in getrennten Pylonstielen befindlichen Einbauteile über eine zug- und druckfeste Konstruktion miteinander verbunden und als ein Stück eingehoben. Das eingebaute Rundrohr an der Unterseite der zug- und druckfesten Verbindung bildete zusammen mit der im vorangegangenen Betonierabschnitt einbetonierten Gegenvorrichtung die Einheit. So wurde sichergestellt, dass sich die Einbauteile während der umfangreichen Bewehrungsarbeiten und darauf folgenden Betonagen nicht verschieben. Über die geschaffene Drehachse sowie die gewählte Konstruktionsart ergab sich somit die Möglichkeit, millimetergenaue Unterlagscheiben einzubringen.

Bild 7. Seilverankerung in der Werkstatt (links) und Befestigung an der Pylonspitze Foto: WOLFF & MÜLLER

6.2 Montage der Welle

Durch den vorgegebenen Bauablauf konnten die eingangs beschriebene „Welle“ (**Bild 8**) am Rampentrog erst im Anschluss an die Kragarm- und Kappenherstellung montiert werden. Weil beidseits neben dem Rampenbauwerk der öffentliche Verkehr floss, beschloss die Stadt Raunheim, dass die Montagearbeiten ausschließlich in verkehrsarmen Zeiten ausgeführt werden sollten, sprich in den Nachtstunden. Bei den Wellenelementen handelt es sich um bis zu sieben Meter hohe Fertigteilkonstruktionen aus Stahlbeton, die über eine Ankerkonstruktion mit den Trogwänden verbunden wurden. Die Schwierigkeit: Weil Kragarm und Kappe bereits hergestellt waren, mussten die Elemente nun unter die vorgenannten Auskragungen gebracht und dort lagegenau aufgerichtet werden. Hierzu wurde ein Montagewagen konstruiert (**Bild 9**) und während der Nachtstunden auf der Fahrbahn platziert. Auf den Wagen konnte jeweils ein Fertigteilelement aufgelegt werden. Die Fertigteile hatten auf Grund der Abwicklung des Troges unterschiedliche Höhen und Breiten. Ebenfalls Einfluss auf deren Größe hatten die Blockfugen des Trogbauwerkes, da diese mit den Stößen der Welle übereinstimmen mussten. Zuerst positionierte ein Mobilkran das Fertigteil auf dem Versetzwagen. Dann wurde der Verschubschlitten, der sich auf den Verschubblechen befand, mithilfe von Zylinderpressen unter den Kragarm verschoben. Der Verschubweg betrug hierbei circa 1,40 Meter. Das Fertigteilelement konnte nun mit Richtstützen in seiner Lage ausgerichtet werden. Anschließend wurde es proviso-

Bild 8. Fertigteilwelle entlang des Trogs Foto: Martin Starl

Bild 9. Montage der Welle mithilfe eines Verschubwagens Foto: WOLFF & MÜLLER

Bild 10. Festliche Einweihung Foto: Martin Starl

risch unterbaut und über Ankerbefestigungen mit der Trogwand verbunden. Auf Grund der präzisen Arbeitsvorbereitung gelang es WOLFF & MÜLLER, in den sieben Stunden einer Nachtschicht bis zu fünf Elemente zu versetzen.

Fazit

Die Schrägseilbrücke in Raunheim zeigt beispielhaft, wie die Unternehmensgruppe WOLFF & MÜLLER ihre Leitwerte – Effektivität, Partnerschaftlichkeit und Innovation – ganz konkret mit Leben füllt. Die Schrägseilbrücke wurde am 17. Januar 2017 mit einer fulminanten Musik- und Lasershow vor 4.000 Besuchern feierlich eingeweiht (**Bild 10**). Sie reduziert die Verkehrsbelastung der Innenstadt um bis zu 50 Prozent und verschafft dem neuen Gewerbegebiet Airport Garden direkten Zugang zu den Autobahnen – ein großer Pluspunkt bei der Vermarktung. Der Raunheimer Bürgermeister Thomas Jühe bezeichnete das anspruchsvolle Bauwerk sogar als das „neue Wahrzeichen" der Stadt. Gleichzeitig konnte er seiner Bürgerschaft die freudige Nachricht überbringen, dass die veranschlagten Kosten für Bauwerke und Straßenverbindungen um eine halbe Million Euro unterschritten wurden. Projekte mit der öffentlichen Hand müssen also nicht zwangsläufig den Kostenrahmen sprengen und länger dauern als geplant. Voraussetzung ist die Möglichkeit und der Wille aller Beteiligten, konstruktiv zusammenzuarbeiten.

Projektbeteiligte

Auftraggeber/Bauherr
Magistrat der Stadt Raunheim,
Am Stadtzentrum 1, 65479 Raunheim

Projektsteuerung/Bauüberwachung
Ingenieurbüro Wanderer,
Robert-Bosch-Straße 9, 63225 Langen

Planer AG Brückenbau
Schüssler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH,
Lindleystraße 11, 60314 Frankfurt

Planer AG Straßenbau
Ingenieurbüro R. Sehring GmbH,
Friedhofstraße 20 A, 65451 Kelsterbach

Prüfstatiker (Prüfingenieur Straßenüberführung)
IGM Ingenieurplanung GmbH,
Dwight-D.-Eisenhower-Straße 9, 65197 Wiesbaden

Gestaltungskonzept
K + R Plan Architekten,
Frankfurter Straße 44, 64293 Darmstadt

Planer Baubehelfe
Dipl.-Ing. Manfred Eisele,
Felix-Wankel-Straße 6, 73760 Ostfildern

Tunnelbau im Karst – Erfahrungen beim Bau des Steinbühltunnels

M. Frahm, L. Langer

Zusammenfassung So wie kein Berg dem anderen gleicht, gleicht kein Tunnelbauprojekt dem anderen. Dabei ist der Baugrund, mit seinen Inhomogenitäten und tunnelbautechnischen Herausforderungen maßgebend. Beim Bau des Steinbühltunnels stellt das Auftreten von Karststrukturen eine große Herausforderung dar. Die Inhomogenität ergibt sich aus dem möglichen schnellen Wechsel von festem Fels zu, durch Verkarstung „durchlöchertem" Gebirge. Zum Umgang damit wurde bereits in der Ausschreibungsphase ein umfangreiches Erkundungsprogramm entwickelt. Nach nun 26 Monaten Bauzeit, insgesamt 8045 m Vortrieb in Spritzbetonbauweise und dem bereichsweisen Abschluss der Karsterkundungsverfahren kann von der Umsetzung berichtet werden. Sowohl für die Vortriebsarbeiten, als auch im Bezug auf einen sicheren Bahnbetrieb, geben die angewendeten Methoden gute Hinweise. Dabei zeigt sich, dass ein Vergleich der Karstprognose mit der angetroffenen Realität eine gute Korrelation aufweist.

Bild 1. Übersicht Albaufstieg [1]

1 Einleitung

Der Albaufstieg besteht aus drei herausragenden Ingenieurbauwerken, dem Bosslertunnel, der Filstalbrücke und dem Steinbühltunnel. Die Strecke beginnt mit dem Bosslertunnel welcher eine Länge von 8.806 Metern aufweist und an die beiden Filstalbrücken mit einer Länge von 485 Metern anschließt. Abgeschlossen wird das ingenieurtechnische Herzstück der Neubaustrecke mit dem Steinbühltunnel, welcher eine Länge von 4.847 Metern hat [1]. Der Steinbühltunnel, der sicherheitstechnisch gemäß internationaler und nationaler Standards als Zweiröhrentunnel mit neun Verbindungsbauwerken konzipiert ist, beginnt geographisch im Filstal bei Mühlhausen im Täle. Vom Portal Todsburg steigt er dann zum Portal Hohenstadt mit Neigungen von maximal 24 ‰ um 105 Höhenmeter an (**Bild 1**).

Die Vergabe der Tunnelbauarbeiten erfolgte im Oktober 2012. Im Januar 2013 begannen die ersten Arbeiten wie Ober- und Unterbodenabtrag und Erstellung der Baustelleneinrichtungsfläche (BE). Der offizielle Tunnelanschlag wurde am 19. Juli 2013 bereits im Tunnel gefeiert. Nach circa zwei Jahren Tunnelbau sind 86 Prozent der Vortriebsarbeiten im zyklischen Sprengvortrieb erbracht. Der Vortrieb am Steinbühltunnel erfolgt aus einer 137 Meter langen und 60 Meter breiten Baugrube. Die Vortriebsarbeiten unterteilen sich von der Baugrube aus in zwei Vortriebsrichtungen, die sogenannten Südvortriebe 430 Meter und 440 Meter steigend in Richtung Portal Hohenstadt und die Nordvortriebe 4.200 Meter fallend in Richtung des Filstales. Ein steigender Vortrieb aus Richtung des Filstales wurde im Rahmen der Planfeststellung aufgrund eines FFH-Gebietes und eines dabei durch die Baulogistik stark betroffenen Wohngebietes ausgeschlossen. Die Südvortriebe mit einer mittleren Überdeckung von 20 Metern sind bereits abgeschlossen. Die Nordvortriebe sind bei Durchlaufbetrieb in vollem Gange und befinden sich derzeit bei je 3.590 Metern (Stand 15. Juli 2015). Aufgrund des prognostizieren Karstvorkommens, hat sich bereits in den frühen Planungsphasen die Spritzbetonbauweise als das geeignete Vortriebsverfahren herauskristallisiert. Der Tunnelbau erfolgt maßgeblich in sechser Vortriebsklassen mit gestaffelter Ortsbrust und vier Metern SN-Spießen in der Firste zur Sicherung von partiellen Instabilitäten im Hangenden. Der Abstand zwischen Kalottenortsbrust und letztem Querschlag beträgt aus Sicherheitsgründen (Fluchtweglänge) maximal 700 Metern.

Die BE weist eine Fläche von 33 Hektar auf (**Bild 2**). Zu den markantesten Einrichtungen gehören das Betonmischwerk (2 Anlagen), mehrere große Retentions- und Versickerungsbecken zur Einleitung von bis zu 270 l/s, als auch die an der A 8 auf Höhe der Gemeinde Hohenstadt liegende Seitenablagerung F 8 mit einem Soll-Volumen von 874.000 Kubikme-

Dipl.-Ing., M. Eng. Michael Frahm
Teamleiter Tunnelbau, Abschnitt 2.2, Albaufstieg
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH
Am Seebach 3, 73101 Aichelberg
Michael.Frahm@deutschebahn.com

M.Sc. Larissa Langer
Projektingenieurin Tunnelbau, Abschnitt 2.2, Albaufstieg
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH
Am Seebach 3, 73101 Aichelberg
Larissa.Langer@deutschebahn.com

Bild 2. Luftbild Baustelleneinrichtungsfläche Steinbühltunnel

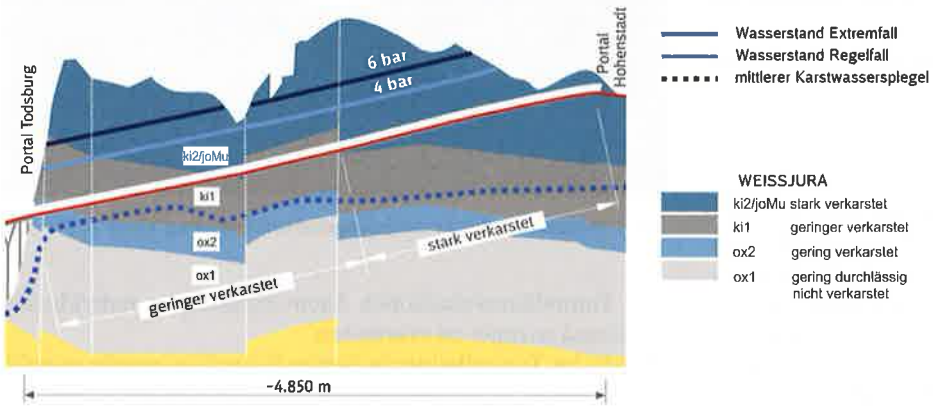


Bild 3. Geologie Steinbühltunnel [1]

tern Festmasse. Das Ausbruchmaterial aus dem Steinbühltunnel wird Untertage mittels einer Brecheranlage zerkleinert und anschließend über ein Förderband auf die Seitenablagerung verbracht. Die Belüftung des Tunnels erfolgt über eine Umluftbewetterung mit Zu- und Abluftröhre und Wetterschotts an Portalen und Verbindungsbauwerken, welche um eine saugende Bewetterung zur Absaugung von Sprenggasen ergänzt ist [2], [3].

2 Geologische Verhältnisse

Der gesamte Steinbühltunnel kommt im Weißjura zu liegen. Bei den Gesteinen des Weißjuras handelt es sich vorwiegend um Kalk- und Mergelsteine, die grundsätzlich als verkarstungsfähig gelten. Karststrukturen wie Karsthöhlen oder –spalten entstehen im Zuge von Verwitterungs- und Lösungsprozessen in Karbonatgestein, wobei das Gestein durch Kohlensäure im Wasser gelöst wird.
Folgende geologische Einheiten des Weißjuras werden beim Vortrieb durchteuft (**Bild 3**): Das Kimmeridgium 2 (ki2), die Unteren Massenkalke (joMu), das Kimmeridgium 1 (ki1) und das Oxfordium 2 (ox2). Auf den ersten 2.200 Metern fallend ab Portal Hohenstadt liegen gebankte Kalke (ki2) und Massenkalkfazies (joMu) mit einander verzahnt vor. Dieser Abschnitt gilt als stark verkarstet, wobei vor allem im oberflächennahen Bereich Verkarstung ausgeprägt ist. Im ki1 liegt das obere Karststockwerk, sodass hier offene Strukturen zeitweise und in Abhängigkeit von Niederschlägen wasserführend sein können. Das ki1, das mit zum Teil dolomitisierten Kalksteinen und Kalk-/Mergelsteinen ansteht zeigt eine horizontale Wechselfolge und ist weitestgehend unverkarstet. Die gleichförmig gebankten Kalksteine mit Mergelzwischenlagen im ox2 unterliegen potenzieller Verkarstung. Das darunter liegende Oxfordium 1 (ox1) wird durch den Steinbühltunnel nicht berührt [4].

3 Hydrologische Verhältnisse

Der zusammenhängende Hauptkarstaquifer liegt im ox2 und ist niederschlagsabhängig. Während bei mittleren Wasserverhältnissen von einem Karstwasserspiegel unterhalb der Tunnelsohle ausgegangen wird, kann im Fall von starken Niederschlägen dieser bis zu mehreren Zehnermetern schwanken und das Tunnelniveau erreichen. Das im ki2 liegende obere Karststockwerk ist mit dem unteren im ox2 lediglich über singuläre Klüfte oder Karststrukturen verbunden. Da der dazwischen liegende ki1 sonst weitestgehend undurchlässig ist, ist die Aufrechterhaltung dieser verbindenden Strukturen im Zuge des Tunnelbaus für die Sicherstellung des natürlichen Grundwasserhaushaltes wichtig. Auch wenn der mittlere Karstwasserspiegel tiefer liegt, können Karststrukturen im oberen Karststockwerk (ki2) temporär Wasser führend sein. Es ist zu beobachten, dass zeitversetzt zu starken Niederschlägen die Feuchtigkeit im Tunnel und die Wasserzutritte an der Ortsbrust zunehmen. Aufgrund der stärkeren Verkarstung, vor allem in Form von aufgeweiteten Klüften, existieren im ki2/joMu vielfach Wasserwegigkeiten. Das in diesem Bereich prognostizierte schwebende Grundwasser wurde im Vortrieb nicht angetroffen.
Für den gesamten Tunnel ist für Abdichtung und Innenschale ein Bemessungswasserstand von 40 Meter oberhalb der Tunnelsohle (4 bar), und ein worst-case Bemessungswasserstand von 60 Meter oberhalb der Tunnelsohle (6 bar) vorgegeben. Da im Nahbereich des Portals Hohenstadt keine Vorfluter zur Verfügung stehen, sind wie oben stehend erläutert, zur Einleitung von Tunnel- und Betriebswässern große Absetz- und Versickerbecken gebaut worden. Über diese wird sichergestellt, dass nach einem Absetz- und Reinigungsvorgang die Wässer unter permanenter Kontrolle der Einleitwerte (pH-Wert, Trübung, etc.) dem Grundwasserhaushalt wieder zugeführt werden.
Der Steinbühltunnel liegt im Einzugsgebiet mehrerer Quellen. Neben der ständigen Kontrolle über ein umfassendes

Monitoring an Grundwassermessstellen entlang der Tunneltrasse, werden auch diese Quellen beobachtet und beprobt. Die zur Trinkwasserversorgung genutzten Quellen wurden vereinbarungsgemäß während der Vortriebsarbeiten und bis zum Einbau der Innenschale vom Versorgungsnetz getrennt. Relevante Einflüsse des Tunnelvortriebs auf Grundwasserstände oder Quellen wurden bisher nicht festgestellt.

Tabelle 1. Typisierung und Prognose von Karststrukturen im Steinbühltunnel

Abmessung/Lage	Typ S ≤ 1 m² bzw. Typ S ≤ 1 m³	1 m² < Typ M ≤ 25 m² bzw. 1 m³ < Typ M ≤ 125 m³	25 m² < Typ L ≤ 100 m² bzw. 125 m³ < Typ L ≤ 500 m³
Firstbereich (F)	Typ S – F	Typ M – F	Typ L – F
Ulmbereich (U)	Typ S – U	Typ M – U	Typ L – U
Sohlbereich (S)	Typ S – S	Typ M – S	Typ L – S
Prognose Anzahl Steinbühltunnel [5]	115	76	19

4 Planung Karst

Ab der Entwurfsplanung fanden intensive Abstimmungen mit den Planern, Beratern, der Bauüberwachung und zuständigen Behörden statt. Insbesondere die Abstimmungen mit den Oberen und Unteren Wasserbehörden erwiesen sich als äußerst nützlich. So wurde durch den Auftraggeber (AG) auf dieser Grundlage zunächst ein zwei stufiges Karstkonzept zur Bewältigung des Karstvorkommens im Zuge der Planung entwickelt [5].

- Phase 1 – Sichere Bauzustände
- Phase 2 – Sicherer Bahnbetrieb

Diese Phasen werden nachfolgend detailliert erläutert:

Phase 1-Sichere Bauzustände: Das Konzept sieht eine vortriebsbegleitende direkte Erkundung des umgebenden Gebirges zu Gewährleistung eines sicheren Vortriebes vor. Dabei werden zur Beurteilung der Verkarstungserscheinungen und zur Festlegung der Stütz- und Ausbaumaßnahmen während des Vortriebs im aufgefahrenen Abschnitt der Ortsbrust bis zu 20 Meter vorlaufend folgende direkte Erkundungen durchgeführt:

1. Reguläre Vortriebsbohrungen: Das heißt Spreng – und Ankerbohrungen, welche sowieso ausgeführt werden und Auskunft über vorgesehenen Abschlagsraum und vorhandenen Gebirgstragring geben.

2. Entwässerungsbohrungen: Vollbohrungen zur voreilenden Entwässerung im Vortrieb werden ebenfalls zur Erkundung genutzt.

3. Erkundungsbohrungen: Dabei wird abhängig von der Einstufung der Karstwahrscheinlichkeit eine Erkundungsdichte festgelegt.

Die allgemeine Bewertung der Bohrungen erfolgt über ein Measurement-While-Drilling-System (MWD) welches die relevanten Bohrparameter, wie zum Beispiel den Bohrwiderstand erfasst.

Bei Hohlraumgrößen bis 500 Kubikmetern werden die Erkundungs- und Sicherungsmaßnahmen Vorort auf Grundlage von vorher geplanten „Karstertüchtigungsmaßnahmen" festgelegt – ein diesbezüglicher Maßnahmenkatalog war bereits Grundlage der vorhergehenden Planungen.

Die Volumenbestimmung erfolgt dabei per visueller Abschätzung bzw. über Kamerabefahrungen und Punktlasermessungen. Werden Hohlräume > 500 Kubikmetern angetroffen, so ist der Vortrieb einzustellen und unter Beteiligung der Wasserbehörden und der weiteren Prüfinstanzen wie dem EBA (Eisenbahnbundesamt) Prüfingenieur und des Tunnelbautechnischen Sachverständigen individuelle Lösungskonzepte zu erarbeiten.

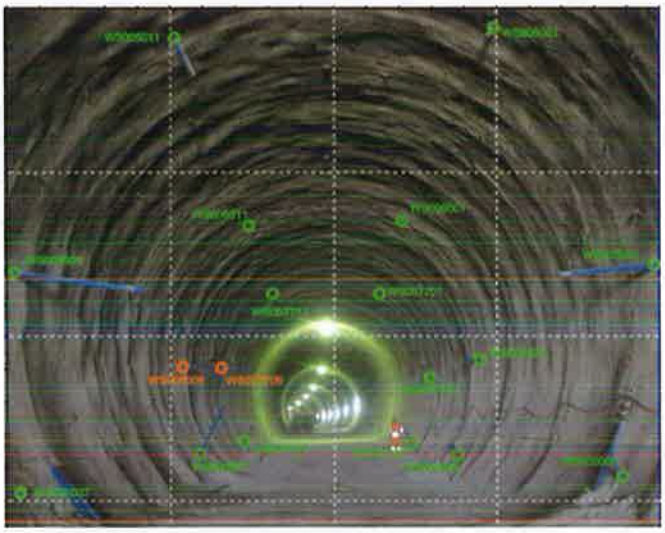


Bild 4. Bohransatzpunkte für die geophysikalische Erkundung, Phase 2

Bereits im Tunnelbautechnischen Gutachten wurde sowohl eine Typisierung festgelegt, als auch die Anzahl zu erwartender Karsthohlräume prognostiziert (**Tabelle 1**). Diese Prognose wurde in der Ausschreibungsplanung aufgrund von Erfahrungswerten anderer Karstprojekte weiter validiert. Eine konkrete Aussage über Art und Anzahl von Karsthohlräumen zu treffen, ist trotz geologischer Erkundung schwierig. Dem Bauvertrag Albaufstieg wurde eine in Abwägung von Wirtschaftlichkeit und Risikomanagement ein „Base Case" Betrachtung zugrunde gelegt.

Phase 2 – Sicherer Bahnbetrieb: Sieht auf Basis der Erkenntnisse aus Phase 1 eine direkte als auch eine indirekte Erkundung im Tunnelnahbereich vor. Diese wird vor Einbau der Innenschale durchgeführt um die Standfestigkeit und die Gebrauchstauglichkeit für 100 Jahre sicheren Eisenbahnbetrieb gewährleisten zu können. Dafür werden vortriebsbegleitend sowohl geophysikalische Methoden angewandt, als auch direkte Bohrungen abgeteuft. Als geophysikalische Untersuchungen werden in einem ersten Schritt Durchstrahlungs- als auch Reflexionsmessungen mittels Georadar (100 MHz- und 20 MHz-Sonde) durchgeführt (**Bild 4**). Zur Kalibrierung des Messverfahrens wurden im Vorfeld In-Situ Messungen beim Herstellen der Baugrube Pfaffenäcker und beim Tunnelvortrieb in Phase I durchgeführt. Hierbei zeigte sich eine solide Korrelation zwischen der direkten und geophysikalischen Erkundung.

Des Weiteren wird die indirekte Erkundung im Sohlbereich mittels Mikrogravimetriemessungen als redundantes Verfahren validiert. Hierbei können über die Erdschwerebe-

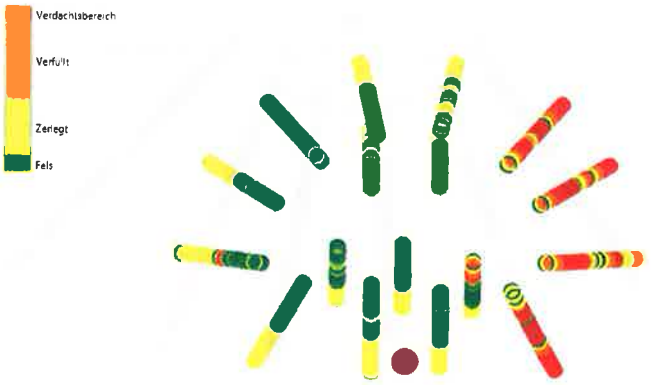


Bild 5. Darstellung MWD-Auswertung Phase 1 mit Verdachtsbereich, Tm 2.436

Bild 6. Angetroffener, lehmgefüllter Karstschlot in rechter Ulme, Tm 2.440

schleunigung Bereiche höherer und niedrigerer Dichte erkannt werden. Hohlräume spiegeln sich in diesen Messungen als Schwereminium wieder.
Darüber hinaus erfolgen systematische Strossensohlbohrungen im fünf Meter Raster à zwölf Meter Tiefe in prognostiziert verkarstetem Gebirge. Auch hierbei kommt das MWD-Verfahren zum Einsatz.
Phase 3 – tiefliegende Hohlräume: Im Zuge der Planungsabstimmungen während der Erstellung der Ausführungsplanung stellte sich die Frage nach sehr tiefliegenden großen, wasser- oder luftgefüllten Karsthohlräumen (> 100 m³) und deren Einfluss bei Verstürzen auf den fertigen Tunnel.
Der potenziell verkarstete Bereich wurde im Zuge dessen in einen speziell für dieses Szenario relevanten Bereich eingeteilt. Dieser umfasst die ersten 1.400 Meter des ki2/joMu. Hier werden in einem Abstand von 20 Metern, parallel in jeder Tunnelröhre, vertikale Erkundungsbohrungen abgeteuft und Parameter wie Bohrgeschwindigkeit, Drehmoment und Anpressdruck zur Beurteilung der Geologie erfasst. Die tiefen Bohrungen werden bis circa zehn Meter oberhalb der Grenzfläche zum ki1 abgeteuft und sind somit im Mittel circa 30 Meter tief.
Sollte im Zuge dessen ein solch großer Hohlraum lokalisiert werden, ist geplant diesen genauer zu erkunden und per Einzelfallbetrachtungen geeignete Maßnahmen zu entwickeln, um dem potentiellen Einfluss begegnen zu können. Hier kann sowohl eine Ertüchtigung des Hohlraumes, als auch eine Verstärkung der Innenschale in Frage kommen.

5 Erfahrungen Karst

5.1 Ausführung Phase 1

Die Karsterkundungsbohrungen die ausschließlich diesem Zweck dienen sind acht Meter lang, 76 Millimeter im Durchmesser und überlappen die vorherigen Karsterkundungsbohrungen mit mindestens drei Metern. In der Regel werden diese bei jedem dritten Abschlag durchgeführt. In prognostiziert verkarstetem Gebirge werden 17 Bohrungen, sonst acht Bohrungen pro Erkundungsebene gebohrt. Das begleitende, automatisierte MWD Programm stellt die Ergebnisse farblich (rot, orange, gelb, grün) dar, sodass schnell erkannt werden kann, wo Inhomogenitäten wie Karst- oder Störungszonen auftreten. Mit dieser Unterlage kann im Vortrieb frühzeitig zum Beispiel mit einer Reduzierung der Abschlagslänge reagiert werden. Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass die Erkundungsbohrungen gute Hinweise auf vorausliegende Karstverdachtsbereiche und Störungszonen liefern. **Bild 5** zeigt beispielhaft eine Auswertung des MWD Programms im prognostiziert verkarsteten joMu. Hier wurde im Zuge der Erkundung auf Höhe Tm 2.436 ein Verdachtsbereich ausgewiesen, der im Fortgang, wie auf **Bild 6** zu sehen angetroffen wurde (Tm 2.440).

5.2 Ausführung Phase 2

Ein Schwerpunkt der Phase 2 ist das oben beschriebene Bohrloch-Georadar. Hierfür werden nach Auffahren des gesamten Tunnelquerschnitts alle 15 Meter je sechs Bohrungen sternförmig in den Bereich um den Tunnel herum hergestellt und mit einer PVC-Verrohrung offen gehalten. Nach Fertigstellung der Bohrlöcher für einen Abschnitt wird dieser per Georadar untersucht. Das bedeutet, dass diese Untersuchung mit einem zeitlichen Versatz zu den Vortriebsarbeiten und den Erkenntnissen aus der Phase 1 stattfindet. Hier kann bereits auf ein großräumigeres, zusammenhängendes Bild der Geologie und der angetroffenen Verkarstungen zurückgegriffen werden, was für die Interpretation der Geophysik von Vorteil ist.
Das ausführende Unternehmen erstellt sowohl für die geophysikalischen als auch für die Gravimetriemessung einen zusammenfassenden, abschnittsweisen Bericht. Da die gravimetrischen Untersuchungen im Nachgang zur Geophysik durchgeführt werden kann in diesem Bericht bereits eine Korrelation beider Methoden erfolgen. In den vollständig untersuchten Südvortrieben konnte jede Schwereanomalie mit den Ergebnissen des Georadars korreliert werden. Die **Bilder 7, 8** und **9** stellen einen Verdachtsbereich bei ca. Tm 285 in der Öströhre des Steinbühltunnels (Südvortrieb) dar, der in allen Verfahren der Phase 2 detektiert wurde (siehe gelber Kreis). Hier zeigt sich eine gute Korrelation der drei Methoden.
Dort wo Verdachtsbereiche nicht eindeutig in Lage und Größe detektiert werden, wird ein Vorschlag zur Nacherkundung gemacht, um diese zu konkretisieren. Ein Formular „Ausbaufestlegung Nacherkundung Karst", das die prognostizierte Lage, Größe und Beschaffenheit (z. B. luftgefüllt) zusammenfasst, dient zur Abstimmung der Erkundung. Nach Durchführung der Nacherkundung dokumentiert ein Aufmaßblatt die tatsächlich erfolgten zusätzlichen Untersuchungen und Maßnahmen. Hier wird auch festgehalten, ob der Hohlraum zum Beispiel durch Kamerabefahrung weiter erkundet und/oder gegebenenfalls anschließend verfüllt wurde.

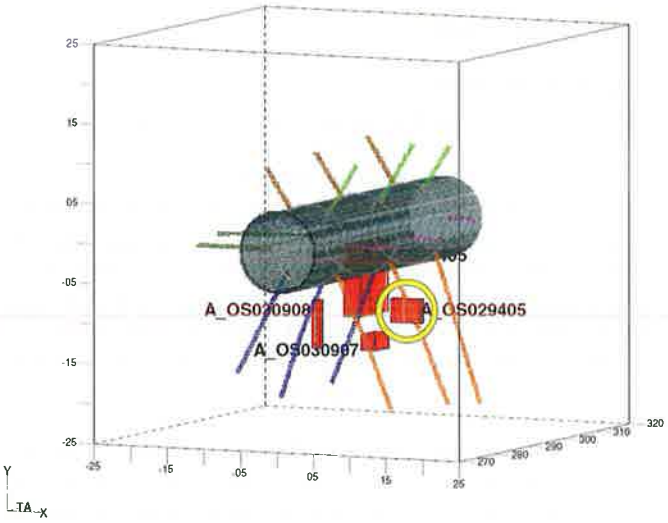


Bild 7. Verdachtsbereich Bohrloch-Georadar, Phase 2

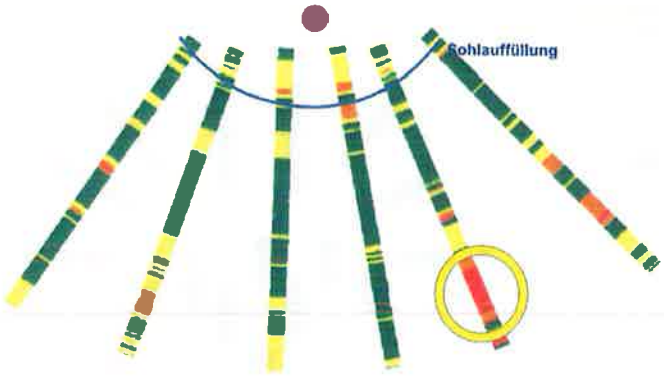


Bild 8. Verdachtsbereich Strossensohlbohrung, Phase 2

5.3 Ausführung Phase 3

Die Phase 3 mit ihren tiefen Bohrungen ist bereits abgeschlossen. Eine abschnittsweise Zusammenfassung weist alle Verdachtsbereiche größer 0,5 Meter aus. Wenn sich alle beteiligten Prüfinstanzen darüber einig sind, dass es keinen Hinweis auf tiefe Hohlräume größer fünf Meter (ebene Betrachtung) gibt, wird diese Unterlage freigezeichnet. Dies ist Voraussetzung für die Freigabe eines Bereiches im Bezug auf den Einbau der Innenschale und die dazugehörenden vorbereitenden Arbeiten.

5.4 Angetroffene Karststrukturen Phase 1–3

Während der Vortriebsarbeiten (Phase 1), wurden bisher auf insgesamt 8.045 Meter (Stand 15.06.2015) in den Nord- und Südvortrieben

- 6 Typ S-Strukturen,
- 108 Typ M-Strukturen,
- und 4 Typ L-Strukturen direkt im Querschnitt angetroffen oder angeschnitten.

Im Vergleich zur Prognose zeigt sich eine geringere Anzahl an S- und L-Typen und eine deutliche Überschreitung der M-Typen. Die geringe Zahl an S-Strukturen begründet sich darin, dass diese während der Vortriebsarbeiten keine Einflüsse haben und nicht dokumentiert werden.

Phase 2 ist noch nicht abgeschlossen. Bisher bestätigt die Geophysik das Bild der Verkarstung, das sich aus Phase 1 ergibt. Dort wo der Vortrieb vielfach Verkarstung angetroffen hat, zeigt die Phase 2 solche Strukturen auch im Tunnelnahbereich auf. Bereits aus der Phase 1 war eine Häufung von vertikalen, durch Verkarstung erweiterte Klüfte, festgestellt worden. Diese vertikale Orientierung zeigt auch die Phase 2. Grundsätzlich fällt es schwer im Rahmen der Geophysik Karststrukturen mit S-Typ Maßen zu erkennen und von unverkarsteten Klüften zu unterscheiden. Da diese außerdem statisch keinen Einfluss haben, werden Verdachtsbereiche erst ab Größe M ausgewiesen. Eine zusammenfassende Aussage zur Art und Anzahl der Strukturen im Steinbühltunnel ist erst nach Abschluss der Vortriebsarbeiten und Auswertung der Phase 2 möglich.

Die mit am stärksten von Verkarstung betroffenen Südvortriebe (insgesamt 870 Tm) sind bereits vollständig erkundet. Beispielhaft werden die Ergebnisse (Phase 1–3) im Folgenden betrachtet. Während der Phase 1 wurden aus-

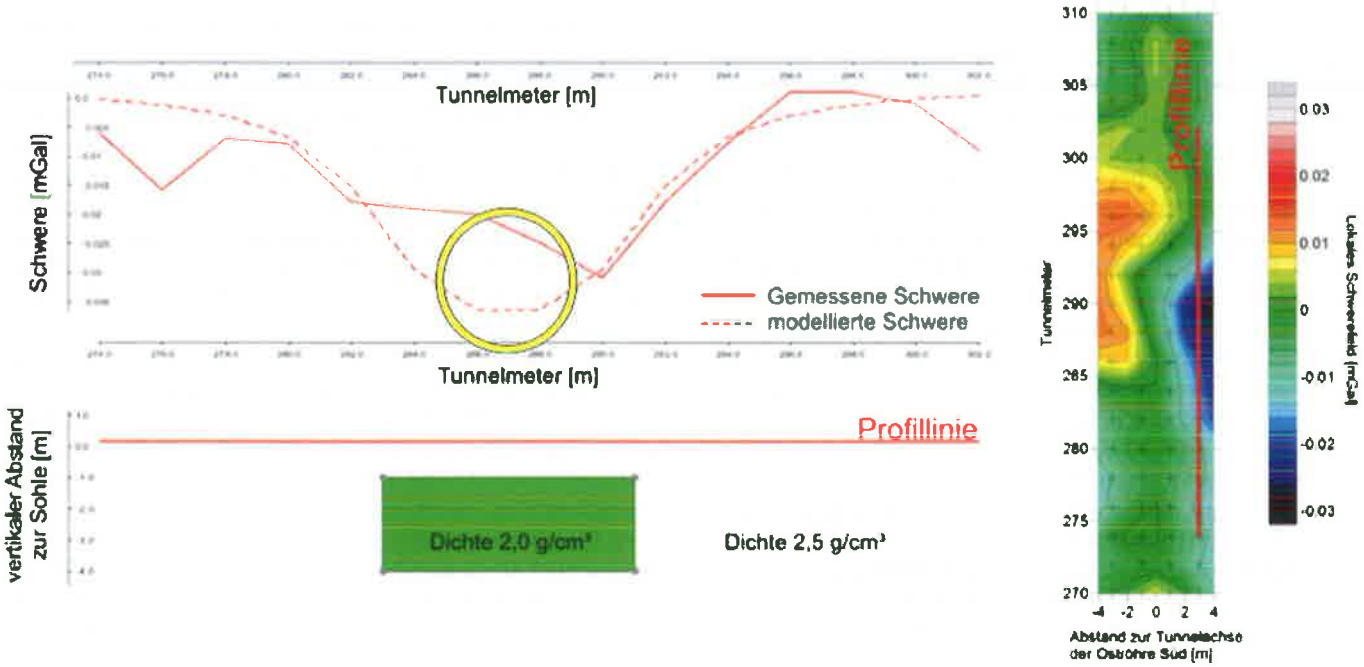


Bild 9. Verdachtsbereich Gravimetrie, Phase 2

Tabelle 2. Karststrukturen in den vollständig erkundeten Südvortrieben des Steinbühltunnels

Karststruktur	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Σ Phase 1–3
Typ S	Irrelevant	Irrelevant	Irrelevant	Irrelevant
Typ M	31	76	Irrelevant	107
Typ L	0	10	0	10

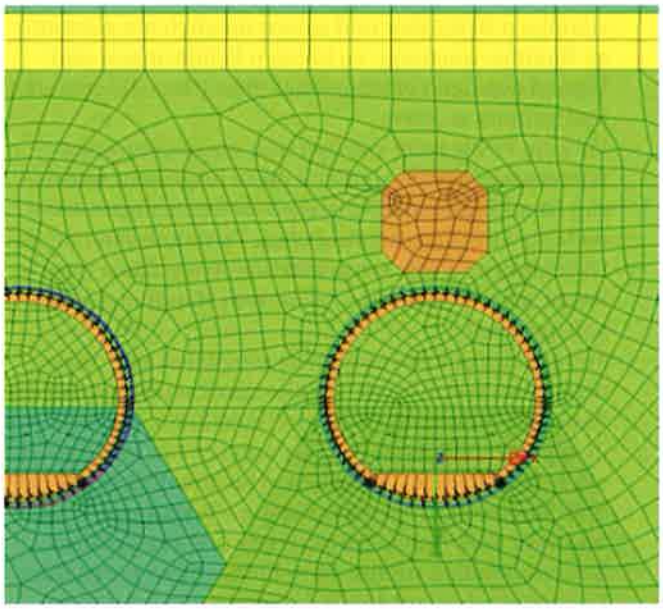


Bild 10. Karsttyp M-F im 2D FE Modell [6]

schließlich M-Typ Strukturen registriert, wohingegen im Rahmen der Phase 2 im Tunnelumfeld 76 M-Typen und 10 L-Typen detektiert wurden (**Tabelle 2**). Nacherkundungen ergaben hier zum Teil, dass es sich bei zunächst als L-Typ eingestufte Strukturen um mehrere M-Strukturen handelt, die eng beieinander zunächst als eine Struktur interpretiert wurden. Hohlräume größer der L-Typisierung wurden wie auch im Zuge des Vortriebs, in Phase 2 nicht festgestellt. Insgesamt zeigt sich bei Anzahl und Art der Karststrukturen eine gute Übereinstimmung der Phase 2 mit den Erkenntnissen aus dem Vortrieb, nämlich eine überwiegende Anzahl an M-Typ Strukturen mit Lehmfüllung.

Die Phase 3 ist vollständig abgeschlossen. Es wurden keine Verdachtsbereiche größer fünf Meter festgestellt, sodass tief liegende Hohlräume unterhalb der Tunnelsohle ausgeschlossen werden können.

6 Planung Innenschale

Es erfolgt der Einbau einer Innenschale mit einer Wanddicke im Regelbereich von 40 Zentimetern (C 30/37) und im Bereich der Verbindungbauwerke mit einer Wanddicke von 50 Zentimetern (C 35/45). Das Abdichtungssystem besteht aus hauptsächlich aus WUBK + KDB und in Teilbereichen aus WUBK oder KDB. Die konkrete Umsetzung der Erkenntnisse aus der Erkundung für die Planung der Innenschale wurde zunächst für die Abschnitte der Südvortriebe durchgeführt. Anhand dieses, von Verkarstung stark betroffenen Bereichs, wurde mit allen Beteiligten ein Vorgehen erarbeitet, Kriterien definiert und Art und Umfang von Dokumentation und Prüfvorgehen festgelegt. Im Folgenden wird der aktuelle Arbeitstand vorgestellt.

6.1 Statik Innenschale

Um die Auswirkungen von Verdachtsflächen im Tunnelnahbereich auf die Innenschale untersuchen zu können, wurden diese durch den Auftragnehmer und dessen Planer in standardisierte Fälle zusammengefasst. Dies soll es ermöglichen, die Vielzahl an ausgewiesenen Karststrukturen zu kategorisieren.

Für die Untersuchung der Auswirkung auf die Innenschale relevant sind Karststrukturen, die im Nahbereich des Tunnels liegen aber vom Vortrieb nicht angetroffen oder nur angeschnitten wurden und somit nicht planmäßig ausgeräumt und verfüllt werden konnten. Es wurde statisch nachgewiesen, dass Karststrukturen auch mit Größe L, in einer Entfernung > 3 m keinen Einfluss auf die Innenschale haben. Der Nahbereich wird somit durch einen maximalen Abstand von drei Metern zur Innenschale definiert.

Es erfolgte die Betrachtung des Einflusses von Karststrukturen in diesem Nahbereich auf die Statik der Innenschale. Dies in Anlehnung an die Typisierten Karststrukturen (Tabelle 1) mit ihren unterschiedlichen Größen und Lagen im Verhältnis zum Tunnelquerschnitt (**Bild 10**) [6].

Die statischen Untersuchungen sind noch nicht vollständig abgeschlossen. Es zeichnet sich aber ab, dass drei sogenannte „Schubladen"-Planungen ausreichen um die detektierten Strukturen im Normalfall

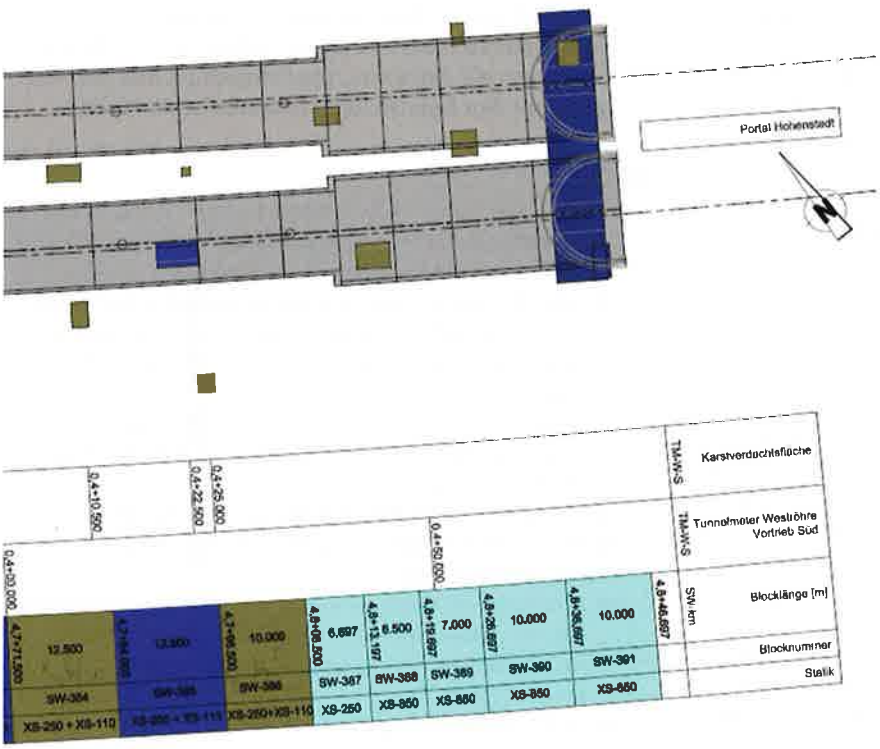


Bild 11. Auszug Entwurf Statische Bewertung, Lageplan [7]

mit einer Regelbewehrung und im Sonderfall mit einer Zusatzbewehrung abzudecken.
Die statische Zuordnung der Innenschalenblöcke wird in einem Lageplan, der zu einem Blockbuch gehört, dargestellt. **Bild 11** zeigt einen Auszug des Entwurfs dieser statischen Bewertung. Oben werden die Tunnelröhren und im Verhältnis dazu die detektierten Karstverdachtsflächen dargestellt, darunter die darauf basierende statische Einteilung der Blöcke. Hellblau zeigt die im unverkartsteten Bereich gültige Regelbemessung. Braun entspricht der Schublade 1, die dort gewählt wird, wo Karststrukturen des Typs M im Nahbereich, aber mit einem Abstand von einem Meter und 1,5 Meter zur Innenschale liegen. Die dunkelblaue Schublade 2 greift ebenfalls für Typ-M-Strukturen, die durch den Tunnel angeschnitten wurden oder näher als einem Meter an der Innenschale liegen. Schublade 3 ist dunkelblau schraffiert und deckt L-Typen ab, die angeschnitten wurden oder in Entfernung von einem Meter und 1,5 Meter zur Innenschale liegen [7]. Die Berechnungen zeigen, dass lediglich in Schublade 2 bei einer M-Struktur zwischen Ulme und Sohle, an der Innenseite der Sohle Mehrbewehrung nötig wird [8]. Für alle anderen Fälle ist die Regelbemessung maßgebend.

6.2 Blockbuch Innenschale

Alle für die Innenschale relevanten Erkenntnisse aus der Erkundung werden in einem Blockbuch und dem oben beschriebenen Lageplan zusammengefasst. Um die Entscheidung welcher Block welcher Statik zu geordnet wird nachvollziehbar zu gestalten, erfolgt eine blockweise Prüfung der im jeweiligen Abschnitt detektierten Karststrukturen. Hierfür wird pro Block ein Formular „Karstauswertung" erstellt, das die für diesen Block relevanten Dokumente der Karsterkundung aufführt. Auf Basis dieser Unterlagen erfolgt ein Vorschlag für die hier anzuwendende Statik durch den AN. In regelmäßigen Abstimmungsterminen zwischen AN, Bauüberwachung und Tunnelbautechnischen Gutachter erfolgt die Prüfung dieser Unterlage und die Bestätigung der Blockstatik durch die Unterschrift der Beteiligten. Diese blockweise Festlegung erfolgt auf der Baustelle im Vorlauf für mehrere Blöcke und wird anschließend ins Blockbuch übertragen. Das auf diese Weise sukzessive fortgeschriebene Blockbuch wird vom EBA – Prüfingenieur abschließend geprüft. Neben der Information ob ein Block im Einflussbereich von Karst liegt und darum zum Beispiel stärker bewehrt wird, sind hier auch alle Angaben zur Betongüte, Eisenbahntechnischen Ausrüstung und Erdung enthalten. Das Blockbuch und der dazugehörige Lageplan stellen die zusammenfassende Dokumentation zur Ausführung der Innenschale dar.
Durch den beschriebenen Prozess wird sichergestellt, dass alle vorliegenden Erkenntnisse für die statische Betrachtung der Innenschale berücksichtigt werden. Die Gründe für welchen Block welche Schublade gewählt wurde, werden auf diese Weise nachvollziehbar dokumentiert.

7 Empfehlungen

Insgesamt wurden am Steinbühltunnel bislang gute Erfahrungen mit dem ausgeschriebenen Karstkonzept und dessen Umsetzung gemacht. Ergänzt durch das Know-how der Beteiligten, konnte der Geologie sicher und wirtschaftlich begegnet werden. Der Durchschlag wird nach aktueller Prognose circa sieben Monate früher als geplant, im Oktober 2015 erfolgen.
Basierend auf den Erfahrungen werden nachfolgend aus AG-Sicht Empfehlungen zum Umgang mit Karst im Tunnelbau abgeben:

- Die Thematik Karst ist bereits in sehr frühen Planungsphasen mit zunehmendem Reifegrad zu untersuchen. Dabei empfiehlt es sich nicht nur die Planer und Gutachter mit einzubinden, sondern auch die zuständigen Behörden und sofern möglich die zukünftige Bauüberwachung. So können Erfahrungen und Wissen aus den verschiedenen Bereichen eingebracht und genutzt werden.
- Was die Festlegung von Typ und Anzahl der Karsthohlräume betrifft, so bleibt diese insgesamt schwierig. Hier können die Nutzung von Erfahrungswerten anderer Strecken mit ähnlichen Verhältnissen und die Durchführung von Sensitivitätsanalysen (Best Case – Base Case – Worst Case Szenarien) Handlungssicherheit schaffen.
- Mit den Aufsichtsbehörden ist möglichst eine Vorgehensweise festzulegen, welche den Fachleuten auf der Baustelle innerhalb eines gewissen Rahmens (z. B. wie in gegenständlichem Fall das Agieren bis zum Typ L) ein selbstständiges Vorgehen ermöglicht. Dazu ist primär langfristiges Vertrauen nötig – dieses wurde in unserem Fall, durch Transparenz und regelmäßige Kommunikation mittels Berichterstattung geschaffen.
- Es ist eine phasenweise Erkundung durchzuführen. Dabei kann zum Beispiel folgende Einteilung vorgenommen werden: Phase 1 – Sicherer Vortrieb, Phase 2 – Sicherer Bahnbetrieb und Phase 3 – tief liegende Hohlräume. Darüber hinaus empfiehlt sich eine redundante Erkundung, bestehend aus direkten und indirekten Erkundungsverfahren.
- Es ist eine in sich geschlossene Dokumentation zu erstellen, welche zum einen alle Erkundungsergebnisse für die statische Betrachtung ins Verhältnis setzt und zum anderen einem Dritten ermöglicht (z. B. Anlagenbetreiber) die Konzepte, die Erkundung und den Umgang mit den Karststrukturen nachzuvollziehen.

Literatur

[1] Bahnprojekt Stuttgart-Ulm e.V.: Albaufstieg | PfA 2.2. http://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/details/nbs-neubaustrecke-wendlingen-ulm/die-bauabschnitte-pfa/albaufstieg/, 2015-06-03.

[2] *Frahm M.; Langer L.*: Herausforderung Kast am Beispiel des Steinbühltunnels – Herangehensweise und Erfahrungen beim Tunnelbau durch die Schwäbische Alb. *In*: Der Eisenbahningenieur 66 (2015), Heft 04, S. 28–32.

[3] *Esslinger, C.; Kainrath-Raumayer, S.; Aldunger, M.*: Bewetterung – eine Herausforderung beim Bau des Steinbühltunnels. *In*: BauPortal 127 (2015), Heft 3, S. 2–11.

[4] WBI: Steinbühltunnel Tunnelbautechnisches Gutachten, 2012.

[5] Deutsche Bahn AG (DB): PFA 2.2 Albaufstieg, Bauvertrag/ Ausschreibungsunterlagen, 2012.

[6] ARGE Tunnel Albaufstieg: Innenschale SBW, StT 6, Karst Standardisierte Fälle, Teil 1: Nahbereich Tunnel, bindig verfüllt, 2015.

[7] ARGE Tunnel Albaufstieg: Geophysikalische Erkundung, Statische Bewertung, 2015.

[8] ARGE Tunnel Albaufstieg: Innenschale SBW, StT 6, Karst Standardisierte Fälle, Teil 3: Nachbereich Tunnel, bindiger Materialanteil, 2015.

Der Stahlbau der Elbphilharmonie

St. Böhling, B. Klaas, T. Socher

Zusammenfassung Bei der Elbphilharmonie in Hamburg kann man ohne Übertreibung von einem Projekt mit hohem architektonischen Anspruch sprechen. Zahlreiche technische und konstruktiv innovative Lösungen sind Teil der Architektur und ermöglichen erst den neuen, aufgesetzten Gebäudekörper auf dem historischen Kaispeicher mit dem integrierten Großen Konzertsaal. Ohne Baustellenzugang oder näherer Projektkenntnisse wird dabei dem Außenstehenden gar nicht ersichtlich sein, in welchen Bereichen der Stahlbau eine tragende Rolle bei diesem Megaprojekt spielt.
Dieser Artikel soll zeigen, wie die herausfordernde Bautechnik gerade in zahlreichen stahlbauspezifischen Konstruktionen im Bereich des Rohbaus in der Ausführung planerisch gelöst und umgesetzt worden sind. Geschildert werden diese Erfahrungen anhand einiger herausragender Beispiele aus Sicht des ausführenden Generalunternehmers Hochtief zusammen mit der zurzeit ausführenden Stahlbaufirma, der Firma Spannverbund GmbH.

1 Allgemeines

Bild 1. Elbphilharmonie Gesamtgebäude Foto: Verena Meier

Bauherr der Elbphilharmonie ist die Elbphilharmonie Hamburg Bau GmbH & Co. KG, die durch die ReGe Hamburg Projekt-Realisierungsgesellschaft mbH vertreten wird. Als Generalplaner wurde eine ARGE aus Herzog & de Meuron und Höhler+Partner beauftragt. Die mit der Tragwerksplanung beauftragte Schnetzer Puskas Ingenieure AG ist Subplaner dieser ARGE. Die Adamanta KG, eine gemeinsame Gesellschaft aus Hochtief und CommerzLeasing, ist als Baudienstleister unter anderem für den Bau beauftragt und vor allem mit Finanzierung und Management sowie der Begleitung und Abwicklung von Pachtverträgen betraut. Hochtief ist wiederum von der Adamanta KG als Generalunternehmer mit der Bauausführung und bestimmten Planungsleistungen wie der Ausführungsplanung für das Tragwerk beauftragt. Die Ausführungsplanung und die Ausführung des Stahlbaus wurde an die Firmen Haslinger Stahlbau und Spannverbund weiter vergeben.

Stefan Böhling
spannverbund GmbH
stefan.boehling@spannverbund.de
Boris Klaas
boris.klaas@hochtief.de
Tino Socher
tino.socher@hochtief.de
HOCHTIEF Solutions AG

Aber zunächst einmal ein paar Worte zum Gebäude selbst. Die Elbphilharmonie, von dem Schweizer Architekturbüro Herzog & de Meuron entworfen, liegt an der westlichen Spitze der neuen HafenCity, mitten im Strom der Elbe und markiert damit einen Ort in der Stadt, der bisher zwar bekannt war aber nicht wirklich erlebt werden konnte. Der Neubau des Konzerthaus ist auf dem alten historischen Kaispeicher A platziert, aus dessen Form extrudiert und passgenau mit identischer Grundfläche auf den Backsteinblock des Kaispeichers aufgesetzt. Die wellenförmige Gebäudedachstruktur mit einer maximalen Höhe von 110 Metern an der Kaispitze ist bereits von weitem sichtbar. Im Gegensatz zur stoischen Backsteinfassade des Kaispeichers verwandelt die Glasfassade den aufgesetzten Baukörper der Elbphilharmonie in ein kristallines Glasvolumen mit immer wieder neuem Erscheinungsbild: Es fängt die Reflexionen des Himmels, des Wassers und der Stadt ein und fügt sie zu einem Vexierbild der Umgebung zusammen. Das Gebäudeinnere beherbergt fünf verschiedene Nutzungsbereiche, die im nachfolgenden Übersichtsschnitt dargestellt und kurz beschrieben werden.

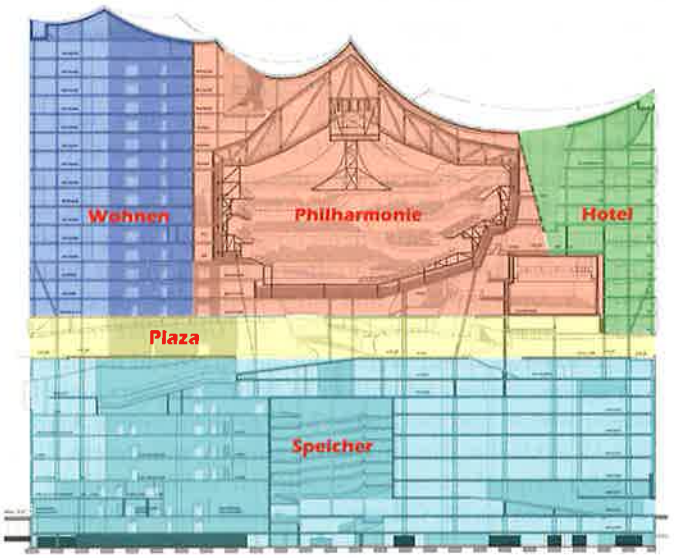


Bild 2. Schnitt durch das Gesamtgebäude mit Angabe der Nutzungsbereiche

Das Herzstück der Elbphilharmonie bildet mitten im Gebäudeinneren der Große Konzertsaal, in dem bis zu 2.150 Zuschauer Platz finden werden. Dem Prinzip der „WeinbergTypologie“ folgend, befindet sich das Orchester in der Mitte des Saales auf Höhe des 12. Obergeschosses, während sich darüber in dem ovalen Kessel mit einem Durchmesser von bis zu 55 Meter umlaufend ineinander verschachtelte

Balkone in fünf Ebenen bis ins 19. Obergeschoss hinaufschwingen. Damit dieser Konzertsaal später auch klangtechnisch zu einem der weltbesten Konzertsäle zählt, wird dieser durch ein sogenanntes Raum-in-Raum Konzept mit insgesamt 342 Federelementen schalltechnisch vom Gesamtgebäude entkoppelt. Mit dem gleichen Funktionsprinzip, aber mit der klassischen „Schuhkarton-Typologie" in seiner Geometrie wesentlich schlichter, folgt der Kleine Konzertsaal im 10. Obergeschoss mit Platz für rund 550 Zuschauer.

Aber das Gebäude der Elbphilharmonie bietet ja noch viel mehr. Ein gelungener Konzertbesuch in der Elbphilharmonie könnte folgendermaßen ablaufen. Bei einer Anreise mit dem Auto findet der Besucher im ehemaligen Speichergebäude vom 1. Untergeschoss bis hoch zum 5. Obergeschoss auf sechs Geschossen Parkmöglichkeiten für insgesamt 500 Fahrzeuge vor. Der ehemalige Kakaospeicher war mit seiner relativ engen Stützenstellung für diese Nutzung nicht geeignet, sodass nach Entkernung und Ertüchtigung der alten Pfahlgründung mit circa 1.100 Pfählen um rund 650 weitere Betonpfähle ein kompletter Neubau innerhalb der alten Klinkerfassaden des Speichers zu errichten war. Als fußläufiger Besucher gelangt man dagegen zunächst über den Eingangsbereich im Erdgeschoss und durch den 82 Meter langen, mit Glaspailletten bestückten, leicht gekrümmten Rolltreppentunnel auf die Plaza im 8. Obergeschoss. Als frei zugängliche Aussichtsplattform ermöglicht die Plaza, auf einer Höhe von 37 Metern, ein 360-Grad-Panorama über die ganze Hansestadt. Außerdem lädt sie mit Cafés und einem Restaurant zum Verweilen vor dem eigentlichen Konzertbesuch ein. Lässt einen das Gebäude auch nach dem Konzertbesuch noch nicht los und möchte man auch die Nacht über der beleuchteten HafenCity verbringen, bieten die insgesamt 243 Hotelzimmer des integrierten Vier-Stern-Plus Hotels ideale Möglichkeiten. Das Hotel erstreckt sich, über die Hotellobby im Erdgeschoss und 8. Obergeschoss, einem Wellnessbereich im 6. Obergeschoss, einem Restaurant im 7. Obergeschoss und einer Lounge im 19. Obergeschoss, auf der gesamten Ostseite des Gebäudes bis unter das Gebäudedach. Für diejenigen, die sich nicht nur mit einem gelegentlichen Aufenthalt in der Elbphilharmonie begnügen wollen und das nötige Kleingeld vorweisen, stehen rund 45 exklusive Eigentumswohnungen, mit freiem Blick die Elbe stromabwärts, im westlichen Gebäudeteil im 11. Obergeschoss bis 26. Obergeschoss zum Erwerb bereit.

2 Stahlbaukonstruktionen in der Elbphilharmonie

Die Konzeption und Geometrie der innovativen Tragkonstruktion wurde in enger Zusammenarbeit zwischen Herzog & de Meuron sowie Schnetzer Puskas Ingenieure aus Basel entwickelt. Das Ingenieurbüro Rohwer Ingenieure übernahm die komplizierte Gründung und den Umbau und Neubau des Kaispeichers. Das Tragwerk des Neubaus, aufgehend vom 7. Obergeschoss bis zum 24. Obergeschoss, mit allen Sonderbereichen, angefangen mit den beiden Konzertsälen bis hin zum Gebäudedach und der Außenfassade, wurde bis zur Genehmigungsplanung durch die Basler Ingenieure bearbeitet.

Gerade in vielen Bereichen oberhalb des alten Speichergebäudes bildet der Stahlbau die tragende Konstruktion. Viele dieser Stahlkonstruktionen werden nach Abschluss des Innenausbaus des Saales bei einem Konzertbesuch nicht mal mehr zu erahnen sein. Daher stellt dieser Artikel auch einen Blick hinter die schicken Fassaden auf die geometrisch und technisch sehr anspruchsvollen Stahlbaukonstruktionen dar, die im Folgenden erläutert werden:

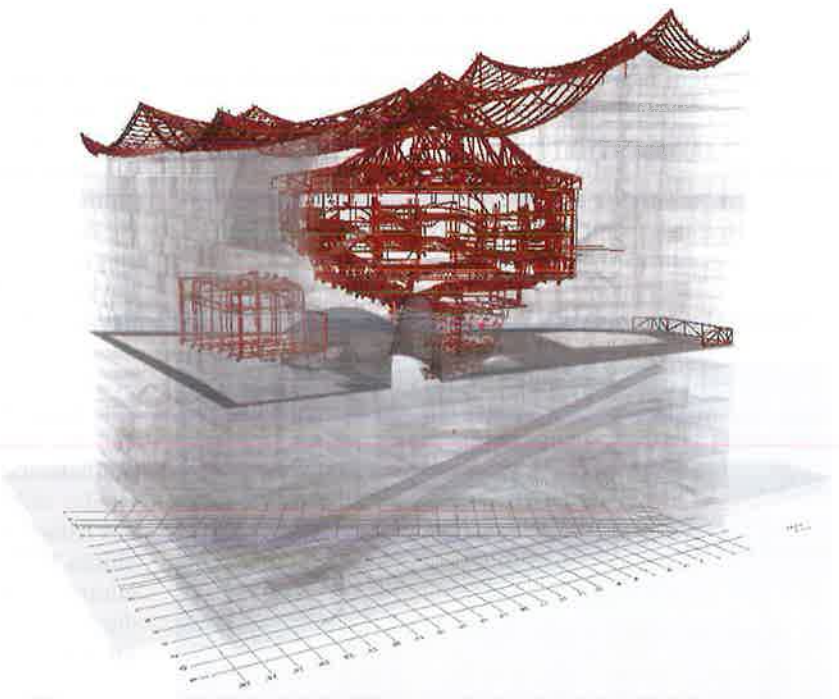


Bild 3. Die wesentlichen Stahlkonstruktionen im Überblick Grafik: 2014, HOCHTIEF

Wir beginnen mit dem aus gebogenen Schweißprofilen bestehenden wellenförmigen Gebäudedach. Weiterhin stellt der Konzertsaal eine Fülle an anspruchsvollen stahlbauspezifischen Konstruktionen. Näher beschrieben wird hier das hutförmige Raumtragwerk mit Verbundwirkung – das Saaldach, sowie die einem Schiffsrumpf ähnliche Innenschalenkonstruktion, die gleichzeitig die verschachtelten Balkone des Konzertsaals trägt.

2.1 Gebäudedach

Das Gebäudedach besteht geometrisch aus acht wellenförmig angeordneten Kugelteilflächen, die an einen schmelzenden Eisblock erinnern.

Die auf den Grundriss projizierte Dachfläche beträgt 5.600 Quadratmeter, der tiefste Punkt des Daches liegt bei 79,1 Meter, der höchste Punkt bei 110,0 Meter. Die maximale Dachneigung beträgt 55 Grad.

Der trapezförmige Gebäudegrundriss hat die Außenkantenlängen von 21 / 108 / 85 / 126 Meter.

Die verbaute Stahlmenge beträgt circa 800 Tonnen. Jeder der 1.000 Dachträger ist ein Unikat, es gibt nicht zwei gleiche Träger und kein Raster, auf dem eine Montage aufgebaut werden konnte. Zwischen den gekrümmten Stahlträgern spannen Trapezbleche TR 85 mit einer Stärke von 1,0 Millimeter bis 1,25 Millimeter.

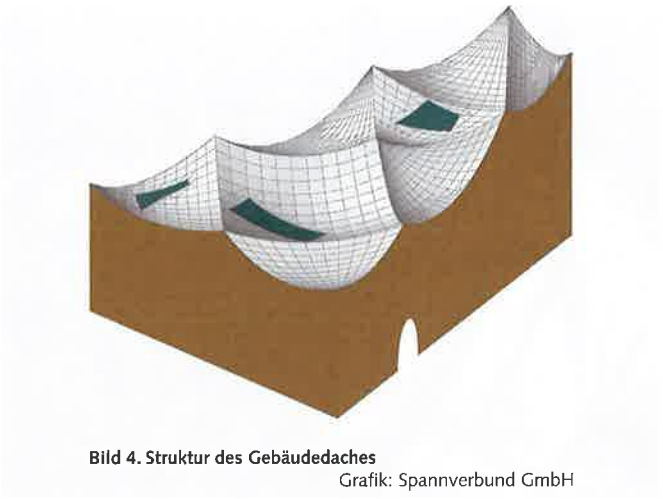


Bild 4. Struktur des Gebäudedaches
Grafik: Spannverbund GmbH

Die horizontalen Lasten werden maßgeblich in drei Treppenhauskerne eingeleitet, die an der ungünstigsten Stelle 70 Meter auseinander stehen. Für die vertikalen Lasten stehen neben den Treppenhauskernen unregelmäßig verteilte Innenstützen und regelmäßige Randstützen im Abstand von 4,30 Meter bis 5,00 Meter zur Verfügung. Um jederzeit präzise Aussagen über das Verhalten der Konstruktion machen zu können, wurde ein genaues 3D-Statikmodell entwickelt, mit dem zum einen die unterschiedlichen Laststellungen der Windgutachten berücksichtigt werden konnten und mit dem zum anderen neben den Kräften in den Stahlprofilen auch Aussagen zu den Kräften in den Trapezblechen möglich waren. Auf der Grundlage dieses Modells wurden weiterhin zahlreiche Bauzustände untersucht sowie die Anschlüsse für die maximalen Kombinationen aus Bauzustand und Endzustand typisiert und bemessen. Aufgrund der Vielzahl der Knoten eine zeitintensive Arbeit.

Vor der Entwicklung des statischen Modells wurde in einem ersten Schritt der Verlauf der Dachebene, bezogen auf die Oberkante der Trapezbleche, ermittelt. Darauf aufbauend konnten die Konstruktionskorridore für den Stahlbau exklusive Brandschutz und den weiteren Dachaufbau festgelegt werden. Der genaue Verlauf der Dachebene diente dem Dachdecker als weitere Planungsgrundlage und war Grundlage für das 3D-Statikmodell.

Der Dachaufbau oberhalb der Trapezbleche besteht aus einer aufgeklebten Dampfsperre, einer 185 Millimeter dicken Dämmung und einer abschließenden zwei Millimeter dicken Dachabdichtung. Oberhalb dieses Dachaufbaus ist eine Aluminium Rohrkonstruktion vorhanden, die als Unterkonstruktion für sichtbare runde Aluminiumlochbleche, den sogenannten Pailletten, dient. Die Rohrunterkonstruktion selbst wird auf thermisch getrennten Haltern befestigt, die auf den Trapezblechen aufstehen und die 185 Millimeter dicke Dämmung überbrücken. Das Dach ist übersäht mit 10.000 Pailletten, mit Durchmessern von 90 Zentimeter und 110 Zentimetern, die von den Architekten in 3D exakt so ausgerichtet wurden, dass auch diese 5. Fassade ein einheitliches Bild ergibt. Der Konstruktionskorridor von Oberkante Dämmung bis Oberkante Paillette beträgt 340 Millimeter. Dies ist aufgrund der teilweise starken Dachkrümmung ein sehr geringer Wert, der eine starke Abstufung der Unterkonstruktion erforderte.

Unterhalb des Trapezbleches sieht es vom Raumangebot her zunächst entspannter aus. Hier beträgt der Konstruktionskorridor 425 Millimeter von Oberkante Trapezblech bis Unterkante Stahlbau und es gibt keine architektonischen Vorgaben hinsichtlich der Ausbildung der Träger, da diese später im Brandschutz verschwinden und in der Stahlbauebene keine weiteren Gewerke vorhanden sind. Die Herausforderungen sind jedoch der Konstruktionskorridor an sich, die Lasten, die Dachgeometrie und die Anbindung zur Fassade.

Die Anbindung der Fassade war der wesentliche geometrische Zwangspunkt, da die Fassade in den unteren Ebenen bereits vor dem Stahlbau montiert war. In den oberen Ebenen hängt sich die Fassade in die Randträger ein, sodass die dafür vorgesehenen Bohrungen sehr genau positioniert sein mussten +/- 1,5 Zentimeter. Aufgrund der Geometrie ist dies eine sehr geringe Toleranz, die jedoch eingehalten werden konnte. Man muss an dieser Stelle bedenken, dass im letzten Montageabschnitt, dem Bereich über dem Konzertsaal, noch nicht einmal Platz war, eine Hebebühne zu platzieren. Jeder Quadratmeter war zugebaut mit dem bereits montierten Technikstahlbau (300 Tonnen Stahlbau zwischen dem Saaldach und dem Gebäudedach zur Aufnahme der TGA-Lüftungszentrale) und den teilweise montierten und zwischengelagerten TGA-Großgeräten, die nach dem Schließen des Gebäudedaches nicht mehr hätten eingefahren werden können.

Da war viel Klettern erforderlich und zwei sehr gute Gerüstbaufirmen, die Hidden-Champions dieses Projektes.

Die geometrischen Vorgaben konnten nur mit geschweißten Blechträgern umgesetzt werden. Aufgrund des Korridors und der räumlichen Krümmung mussten die Unterflansche schmaler und dicker ausgeführt werden als die

Bild 5. Dachflächen mit Grat-/ und Randträgern Foto: 2014, HOCHTIEF

Obergurte. Auf den Oberflanschen wurden trapezförmige Rippen angebracht, auf denen so das beliebig geneigte Auflager- und Kraftdurchleitungsblech für die Trapezbleche aufgeschweißt werden konnte. Die Stegbleche sämtlicher Träger wurden in der globalen Z-Richtung ausgerichtet. Die normalen Dachträger waren quasi gekrümmte Doppel-T-Querschnitte.

Die Dachflächen wurden untereinander durch die sogenannten Gratträger getrennt, dies sind geschweißte Hohlkästen mit komplizierten inneren Steifen, um die Kräfte der teilweise sehr schräg zulaufenden Dachträger aufnehmen und verteilen zu können. Ein Teil der Anschlüsse konnte geschraubt werden, der Rest wurde geschweißt, da es geometrisch nicht möglich war, eine Schraube unterzubringen.

Besonders interessant waren die Dachrandträger, an denen die Fassade anschließt. Diese Träger haben eine Transportlänge von bis zu 14,8 Meter und ein Stückgewicht von bis zu zehn Tonnen. Soweit harmlos. Die Stückliste des kompliziertesten Trägers wies jedoch 1.000 (!) Stahlbau-Positionen auf und wurde auf fünf DIN A0-Plänen dargestellt. Die Dachrandträger bestehen aus zwei parallel verlaufenden Stahlträgern. An dem äußeren Randträger, einem torsionssteifen Kastenträger, schließt die Fassade an. Gelagert wird dieser Träger durch die Kragarme des inneren Randträgers. Diese Kragarme sind die Fortführung der Dachträger, die an den inneren Randträger anschließen. Der innere Randträger ist ein Doppel-T-Querschnitt der auf den Gebäuderandstützen auflagert. Die beiden Randträger sind über Bin-

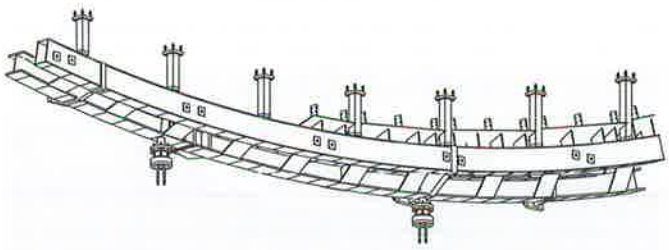


Bild 6. Dachrandträger Grafik: Spannverbund GmbH

debleche miteinander verbunden, sodass sich in der Draufsicht ein steifes Trägerpaar ergibt, in welches sich die Trapezbleche mit ihren Längskräften einhängen können. Aufgrund der starken Ausmitte des Schwerpunktes der Doppelträger, bezogen auf die Stützenachse, drohen die Dachrandträger bei der Montage über den Gebäuderand zu kippen. Es waren deshalb besondere Maßnahmen zum Halten der Träger erforderlich. Zu allem Unglück fiel während der Montage des steilsten Trägers der Kran mit einem Getriebeschaden für mehrere Tage aus und der Träger musste bei einem inzwischen tobende Sturm in 95 Meter Höhe an allem was zu finden war angebunden werden. Wenn es dann wieder geht, vergesst bitte die Toleranzen zur Fassade nicht!

Ein weiteres Problem für die Dachrandträger bestand in den auf den Kästen aufgeschweißten lotrecht stehenden sogenannten „Pupsies", an denen sich später zum Reinigen der Fassade Industriekletterer befestigen. Diese Pupsies kragen lotrecht, teilweise 1,5 Meter über den Schwerpunkt der Doppelträger hinaus und bilden den nächsten geometrischen Zwangspunkt der Randträger zur Fassade.

Die größte Herausforderung bestand in dem letzten zentralen Bauabschnitt über dem Konzertsaal aufgrund der fehlenden Baufreiheit und des Einpassens des Stahlbaus in die bereits zu unterschiedlichen Jahreszeiten montierten Bauabschnitte sowie den vierwöchigen Schweißarbeiten an dem Zentralpeak, dem Zentralen Knotenpunkt, an dem sich vier Dachflächen in einem Punkt treffen (der Spitzname des brandenburger Schweißers war anschließend Wilhelm „Peak"). Es konnte dennoch im dritten Montageabschnitt terminlich eine Punktlandung erreicht werden, die nur durch eine Fertigung und Montage rund um die Uhr möglich war.

Bild 7. Peak am zentralen Punkt über dem Saaldach Foto: 2014, HOCHTIEF

Bild 8. Fertiggestellte Dachfläche mit Paillettenbekleidung Foto: 2014, HOCHTIEF

2.2 Der Große Konzertsaal

2.2.1 Die Konstruktion des Großen Konzertsaals – Außen- und Innenschale

Der Große Konzertsaal erstreckt sich, eingerahmt von den Hotelgeschossen im Osten und den Wohngeschossen im Westen, vom 11. Obergeschoss bis zum 22. Obergeschoss inmitten des gläsernen Neubaus oberhalb des Speichergebäudes. Mit seinem ovalen Grundriss und maximalen Ausdehnungen von 50 Meter in N/S-Richtung und 55 Meter in O/W-Richtung nimmt er gut ein Drittel der gesamten Geschossfläche ein.

Gemäß dem Funktionsprinzip eines Raum-in-Raum-Konzeptes wurde die Außenkontur des Konzertsaals in zwei unabhängige Schalen aufgelöst, eine Außen- und eine Innenschale. Die Außenschale aus Stahlbeton ist als Teil des Gesamtgebäudes mit diesem fest verbunden. Die Innenschale

ist innerhalb dieser auf insgesamt 342 Federpaketen aufgelagert und durch diese schalltechnisch entkoppelt. So dringen keine Außengeräusche in den Saal. Weder der Trubel auf der Plaza noch die Schiffe im Hafen stören den Konzertgenuss. Auch der Hotelgast nebenan wird während eines Konzertes nicht um seine Nachtruhe gebracht.
Somit kann das Tragwerk des Großen Saals grob in die vier Bereiche – Saaltopf und Saaldach der Außenschale sowie Saaltopf und Saaldach der Innenschale – aufgeteilt werden.

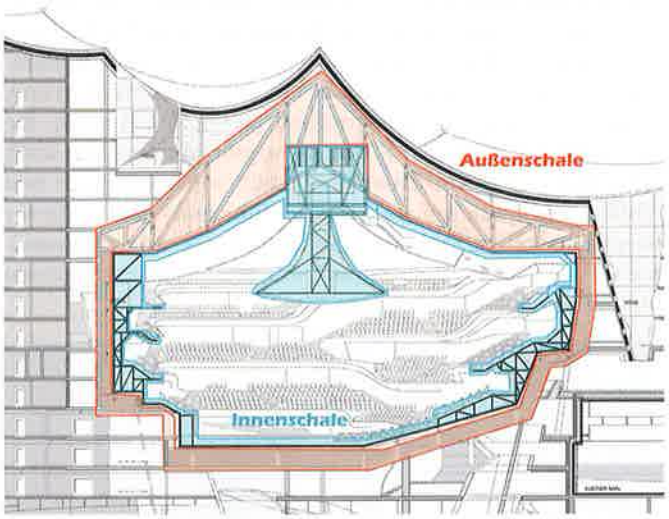


Bild 9. Schnitt durch Außen-/ und Innenschale des Großen Konzertsaal

Außenschale

Die Außenschale ähnelt in ihrer Struktur einem Schiffsrumpf mit einer durchgehenden, 20 Zentimeter bis 40 Zentimeter dicken äußeren Betonschale und insgesamt 21 innen aufsitzenden Betonrippen. Die von den Architekten und Ingenieuren entwickelte Geometrie der Tragkonstruktion ergibt sich aus der Winkelhalbierenden des trapezförmigen Gebäudegrundrisses. Die Betonrippen stehen rechtwinklig zu den Längsfassaden und treffen sich im Kiel. Bei den Querfassaden werden die Rippen jeweils von Kiel aus radial aufgefächert. Der Kiel ist der Hauptträger der unteren Schale. Von außen wird diese Betonschale durch die horizontal einbindenden Geschossdecken sowie durch vertikale und oftmals schräg stehende Betonstützen im Gebäude gehalten.

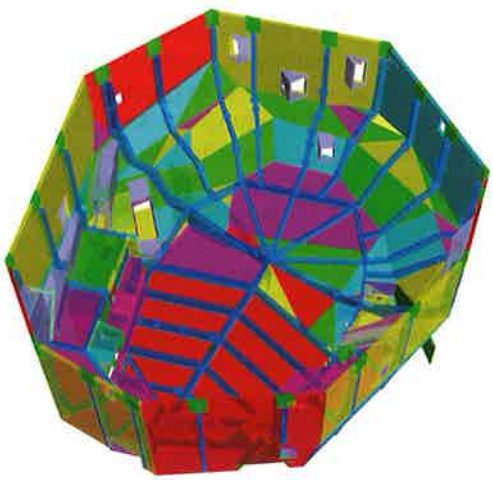


Bild 10. Massiver Außenschalentopf des Großen Konzertsaales Grafik: 2014, Herzog & de Meuron Basel

Ab dem 19. Obergeschoss geht die Außenschale in die aufliegende Saaldach-Außenschale über (Abschnitt 2.2.2). Das Saaldach steigt hutförmig bis unter das Gebäudedach auf. Selber nimmt es die Lasten aus Auflagerstützen des darüber schwingenden Gebäudedaches sowie die Auflagerlasten von bis zu drei Technikgeschossen auf. Von unten werden zudem die Lasten aus der Saaldach-Innenschale samt Ausbaulasten aus dem Konzertsaalinneren angehängt. Beim Saaldach handelt es sich um eine besondere Stahlverbundkonstruktion. Deckungsgleich zur Geometrie der Betonrippen im Saalboden verlaufen 21 unregelmäßige Stabwerksbinder. Diese treffen sich wiederum in den zwei Sternpunkten. Ähnlich einem Speichenrad werden sie mit einem umlaufenden Stabwerkring und durch eine als Biege-Zugring wirkenden Betonschale, der sogenannten Krempe, miteinander kraftschlüssig verbunden. Auf dem stärker aufsteigenden Teil der Stabwerksbinder wird eine 20 Zentimeter dicke, hutförmige Betonschale geführt, die auch über Kopfbolzendübel mit den Obergurten im Verbund steht.
Besonderheiten zur Ausführungsplanung, Fertigung und Montage der Stahlverbundträgerkonstruktion wird nachfolgend im Abschnitt 2.2.2 beschrieben.

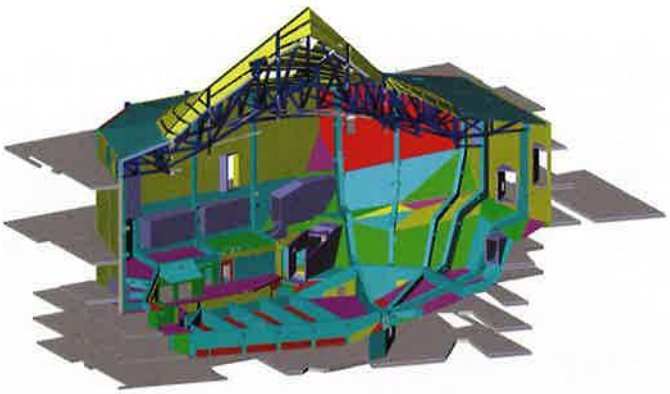


Bild 11. Außenschale mit Saaldach des Großen Konzertsaales Grafik: 2014, Herzog & de Meuron Basel

Innenschale

Das Haupttragwerk der gesamten Innenschale im Bereich des Saals und des Saaldaches ist eine sehr unregelmäßige und stark zergliederte Stahlkonstruktion. Im Bereich des Saalbodens und der Ränge ist das Tragwerk so konzipiert, dass es sich über Federpakete auf den Betonrippen der Außenschale abstützt. Im Bereich des Saaldaches hängt es sich über Federpakete an das Saaldach.
Die Stahlkonstruktion der Saaldach-Innenschale folgt hierbei als Verbundträgerkonstruktion dem Verlauf des Raumstabwerkes der Saaldach-Außenschale. Die Hauptrippen der Saaldach-Innenschale spreizen sich im Übergang an den unteren Saaltopf in die vertikale Rahmenkonstruktionen der Primärstahlrippen auseinander. Von diesen kragen Auflagerarme für die verschachtelt angeordneten Ränge in das Saalinnere aus. Aus akustischen Gründen wurde eine durchgehende 20 Zentimeter starke Betonschale zwischen die Primärstahlrippen eingebaut. Dabei durchdringt die Betonschale den Stahlbau geometrisch in nahezu willkürlicher Art und Weise. Die Stahlkonstruktion der Innenschale wird im Abschnitt 2.2.3 näher erläutert.
Gerade der Große Konzertsaal stellt höchste geometrische Anforderungen an die Planung und Ausführung. Außen-

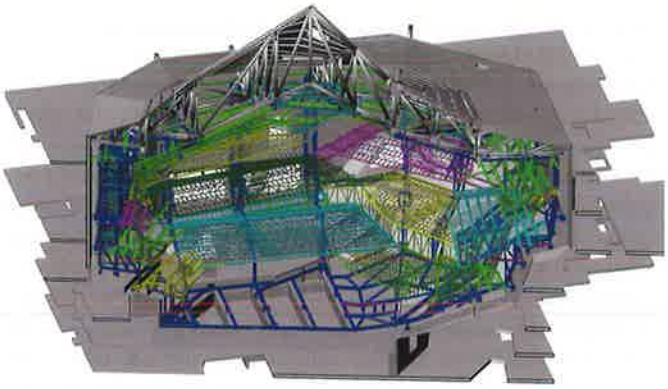


Bild 12. Stahlbau der Innenschale mit Saaldach-Innenschale (farbig)
Grafik: 2014, Herzog & de Meuron Basel

und Innenschale nähern sich einander bis auf wenige Zentimeter, dürfen sich aufgrund der zu unterbindenden Schallübertragung jedoch unter keinen Umständen berühren.

2.2.2 Das Saaldach – Das Dach unter dem Dach

Bild 13. Stahlkonstruktion der Saaldach-Außenschale Foto: 2014, HOCHTIEF

Die Saaldach-Außenschale überspannt den Konzertsaal der Elbphilharmonie mit einer Stützweite von 50 m x 55 m. Die Ausführung beruht auf dem statischen Entwurf von Schnetzer Puskas Ingenieure, Basel. Die Konstruktion besteht aus einem 600 Tonnen Stahlverbund-Raumfachwerk bzw. –Raumstabwerk mit veränderlichen Konstruktionshöhen zwischen 2,0 Meter und 9,0 Meter und einer aufgelagerten Betonschale. Das Raumfachwerk besteht aus insgesamt 21 Einzelfachwerken, einem Innenring-Fachwerk (max. Nd = 22.000 kN), zwei markanten Sternknoten und einem die Sternknoten verbindenden Firstfachwerk (max. Nd = 30.000 kN). An den Sternknoten schließen in einem Bereich von 180 Grad sechs Fachwerkgurte an, die im Gleichgewicht mit dem Firstfachwerk stehen. Da es sich um ein Raumfachwerk handelt, gibt es die Sternknoten jeweils für den Druck- und Zuggurt. Die Konstruktion liegt in der Höhe bei 72,48 Metern auf schweren Einbauteilen auf, der höchste Punkt liegt bei 91,5 Meter, sodass sich eine Höhe von 19,02 Metern ergibt.
Belastet wird die Konstruktion durch das Gebäudedach, die Technikebene die den Raum zwischen dem Gebäude- und dem Saaldach ausfüllt, die angehängte sogenannte Innenschale, an der wiederum die im Konzertsaal sichtbare Weiße-Haut sowie das trompetenförmige Abluftbauwerk hängen. Das Raumfachwerk des Saaldaches gehört zur Außenwelt, die angehängte Innenschale mit dem Abluftbauwerk zum entkoppelten Konzertsaal. Die Hänger, mit denen die Innenschale angehängt wird, bestehen quasi aus Klauen (Klammern), die mit Federpaketen auf Konsolen des Raumfachwerkes aufliegen. Da es sich vom Grundgedanken her um eine Fachwerkkonstruktion handelt, befinden sich die Konsolen natürlich rechnerisch genau in den Knotenpunkten des Raumfachwerkes, an denen ohnehin schon mehreren Stäbe aus verschiedenen Richtungen anschließen. Die Entzerrung und konstruktive Ausgestaltung dieser Knotenpunkte war der entscheidende Punkt bei der Ausführung, denn es musste eine Konstruktion geschaffen werden, die nicht nur einen klaren Kraftfluss ergibt, sondern die auch fehlerfrei in der Werkstatt hergestellt werden konnte und einfach zu montieren war. Die Ausführungsplanung dieser anspruchsvollen Knotendetails musste in enger Zusammenarbeit und in Abstimmung mit den Tragwerksplanern und den Architekten erfolgen.

Bild 14. Knotenpunkt für die Untergurte der Ostfachwerke
Foto: 2014, HOCHTIEF, Robert Schymalla

Die Konstruktion wurde komplett aus geschweißten Blechträgern hergestellt. Da die Transportbreiten für den Straßenverkehr und die Hebegewichte der Baukräne auf maximal zwölf Tonnen begrenzt waren, mussten zusätzliche Montagestöße vorgesehen werden. Die Montagestöße konnten überwiegend als Schraubstoß ausgeführt werden (32.000 Bohrungen). An bestimmten Stellen im Firstfachwerk waren aufgrund der großen Kräfte jedoch Schweißstöße erforderlich. Auf den Vormontageplätzen konnten die Fachwerke bis zur Ausschöpfung der Krankapazitäten vormontiert werden, der Rest wurde „kleinteilig“ eingebaut. Um die gewaltige Konstruktion überhaupt montieren zu können, war vorab ein Montagetisch (ca. 150 Tonnen Stahl, Stützenhöhe 20 m) als Basisebene für weitere Gerüste und das Abluftbauwerk errichtet worden. Einzelne Schwerlasttürme des Montagetisches kragten bis zu 20 Meter über die Basisebene hinaus. Auf diesen Schwerlasttürmen konnten die Sternknoten, das Firstfachwerk sowie andere kritische Teile des Saaldaches für die Montage abgesetzt werden. Die Montage des Tisches hat bei den gewerblichen Arbeitern zunächst für etwas Aufsehen gesorgt, da sie sich Sorgen wegen der späteren eingeschränkten Sicht im Konzertsaal machten. Der Montagetisch wurde aber natürlich nach Abschluss der Arbeiten an der Weißen-Haut zurückgebaut, in

kleinere Teile zerlegt und über den vorhandenen Lastenaufzug hinaustransportiert.
Nachdem das Saaldachfachwerk montiert worden war, kam der spannende Augenblick des Ziehens der Schwerlasttürme und des von nun an wirkenden freitragenden Zustands. Es konnte nun mit der Herstellung der 20 Zentimeter dicken Betondecke begonnen werden. Diese Decke besteht zum Teil aus vorgespannten Betonfertigteilen, die von Fachwerk zu Fachwerk spannen und Bereichen, die nur in Ortbetonbauweise hergestellt werden konnten. Nach dem Herstellen der Betondecke musste nach dem statischen Konzept von Schnetzer Puskas Ingenieure eine Auflagerabsenkung zur Entlastung bestimmter Fundamente erfolgen, in dem bei sieben Fachwerken die Endauflager temporär entfernt wurden und so eine Eigengewichtsumlagerung stattfand.
Das räumliche Saaldachfachwerk ist was den Stahlbau betrifft, mit allen Komponenten das Herzstück des Gebäudes. Die angehängte Innenschale ist jedoch aufgrund der kompakteren Bauweise in den Knotenpunkten teilweise noch schwieriger umzusetzen gewesen. Da die den Stahlbau umgebenden Räume für die weiteren Gewerke eingeplant sind, wurde um jeden Millimeter gerungen und teilweise sogar Stirnplatten und Knotenbleche gefast, um Raum zu gewinnen.

Bild 15. Massive Außenschale Saaltopf Foto: 2014, HOCHTIEF

Bild 16. Erste Stahlbaumontage Saaltopf-Innenschale Foto: 2014, HOCHTIEF

2.2.3 Die Innenschale des Großen Saals trägt 2.150 mit der Musik wippende Zuschauer

Zu Beginn der ersten Montagearbeiten an der Innenschale Großer Konzertsaal im Dezember 2009 bildeten die bereits fertiggestellten, über sechs bis sieben Geschosse meist senkrecht aufsteigenden Betonwände der Konzertsaalaußenwände einen imposanten, tiefen Kessel mitten im Gebäude aus.
In diesen grauen Kessel galt es nun, das stählerne Traggerüst der Konzertsaalinnenschale zu montieren. Arbeitsflächen standen im Saal so gut wie keine zur Verfügung. Daher mussten Stück für Stück 660 Tonnen Primärstahlbau, 480 Tonnen Sekundärstahlbau und 28 Tonnen Tertiärstahlbau vor dem Gebäude vormontiert und in das Gebäude eingehoben werden. Ausführendes Unternehmen für die Ausführungsplanung, Fertigung und Montage des Stahlbaus der Saaltopf-Innenschale war die Stahlbau Haslinger GmbH.

Planerische Umsetzung der 3D-Geometrie

Lage und Dimensionierung der Stabstahlkonstruktion von Primär-/ und Sekundärstahlbau wurden mit der Genehmigungsplanung durch die 3D-Modelle des Architekten Herzog & de Meuron und des Tragwerksplaners Schnetzer Puskas Ingenieure vorgegeben. Weiterhin lagen 3D-Modelle zur Geometrie der Innenschale, der Außenschale, der Anordnung der Federpakete und der Gebäudetechnik (allem voran der Lüftungstechnik) vor. Mit Übernahme der Ausführungsplanung Tragwerk durch den Generalunternehmer Hochtief und der Stahlbau-Ausführungsplanung durch die Stahlbaufirma galt es nun, diese dreidimensionalen Vorgaben zu detaillieren und dabei die geometrischen Abhängigkeiten zwischen den 3D-Modellen zu berücksichtigen. Hauptanspruch lag hier in der Wahrung der geometrischen Vorgaben. Überdimensionale Lüftungskanäle schlängeln sich durch jeden freien Raum zwischen Innen- und Außenschale, oftmals auch durch den Primärstahlbau. Jeder Zentimeter Überstand im Stahlbau, seien es Kopfplatten, Knotenbleche oder Schrauben, musste akribisch auf die teilweise extrem beengten Konstruktionsräume abgestimmt werden.

Primärstahlbau

Der Primärstahlbau besteht aus 21 Stahlfachwerkrippen mit Auskragungen für die Balkonränge, die in den meisten Fällen aus mächtigen Schweißprofilen oder, wenn die Geometrie es zuließ, in einen Doppelrahmen aus Walzprofilen aufgelöst sind. Die Struktur einer Primärstahlrippe folgt jeweils den unten zuerst schräg und dann vertikal aufsteigenden Betonrippen der Außenschale. Das Bauteilgewicht der einzelnen Primärstahlrippen variiert zwischen 15 Tonnen und 40 Tonnen. Aufgrund einer maximalen Krananhängelast von zwölf Tonnen bei maximaler Ausladung bis zum Einhebeort mitten im Gebäude mussten die Primärstahlrippen in zwei bis drei Montageabschnitte unterteilt werden. Zuerst wurden die ersten unteren Bauabschnitte der Primärstahlrippen eingehoben und auf den Konsolen mit den zumeist paarweise angeordneten Federpaketen entlang der Betonrippen aufgesetzt.

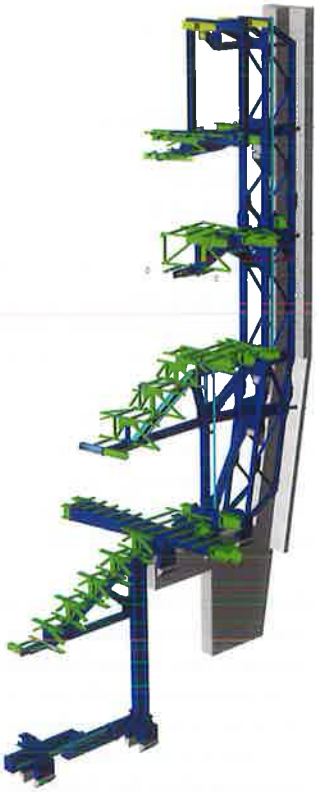


Bild 17. Werkstattplanungsmodel einer Primärstahlrippe
Grafik: Stahlbau HASLINGER GmbH

Bild 18. Fertigung einer Primärstahlrippe bei Stahlbau HASLINGER GmbH
Foto: 2014, HOCHTIEF, Robert Schymalla

Bild 19. Stahlbau der Balkone Foto: 2014, HOCHTIEF, Robert Schymalla

Sekundärstahlbau

Von jeder Primärstahlrippe kragen bis zu drei Kragarme horizontal in den Konzertsaal hinein und bilden die Auflagerarme für den Sekundärstahlbau, der die Balkonränge ausbildet. Die Balkone werden nachlaufend zur umlaufenden Montage der ersten Bauabschnitte der Primärstahlrippen eingesetzt und spannen als horizontales Bindeglied zwischen den auskragenden Auflagerarmen. Die Balkonkonstruktion kann in einzelne sogenannte Sitzstufenfachwerke aufgelöst werden, die treppenförmig von der vordersten Brüstung der Balkone nach außen hin ansteigen. Das vordere, oft zweiachsig gebogene Brüstungsrohr bildet den vorderen Abschluss der Balkone und verbindet zwei benachbarte höhenmäßig versetzte Balkone untereinander. Später folgt diesem Verlauf der Brüstungsrohre die „Weiße Haut" und bildet die organisch geformte Akustikhaut aus, die für eine optimale Verteilung des Schalls im Saal sorgen soll.

Mit fortschreitender Montage der aufsteigenden Bauabschnitte ergaben sich aufgrund der großen Auskragungen der Balkone in den Saalinnenraum beachtlichen Horizontalkräfte an den Konsolenauflagerungen, die über die Federpakete nicht in die Außenschale übertragen werden konnten. Aus diesem Grunde wurden an den Federaufla-

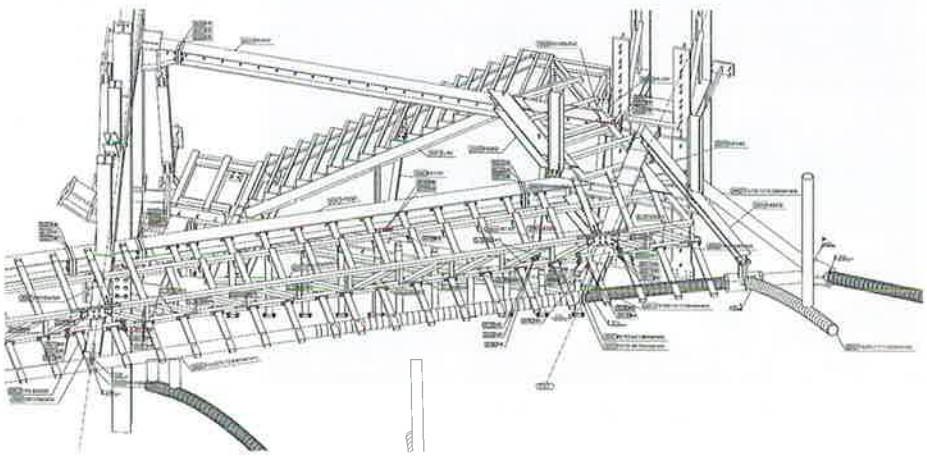


Bild 20. Ausschnitt aus Werkstattplanübersicht zu einer Tribüne Grafik: Stahlbau HASLINGER GmbH

gern zusätzliche horizontale Koppelstäbe zwischen den Rippen und der massiven Außenschale angeordnet, die spätestens mit Fertigstellung der geschlossenen Saaldach-Innenschale wieder entfernt werden konnten.

Tertiärstahlbau

Zur baulichen Umsetzung der in 600 Einzelflächen triangulierten Betoninnenschale wurde der Tertiärstahlbau ergänzt. Die bauliche Umsetzung einer konventionell mit Schalung hergestellten Betonschale war aufgrund des rückseitigen engen Schalenzwischenraumes in vielen Bereichen nicht möglich. Man entschied sich daher für eine verlorene Schalung aus Trapezblechen, welches auf den Tertiärstahlprofilen aufgelegt wurde. Gerade im unteren geneigten Innenschalenbereich bildeten diese zusätzlichen Auflagerprofile die zusätzlichen Knickkanten der stark facettierten Einzelflächen aus.

Das Schwingungsverhalten der federnd gelagerten Innenschale

Das Schwingungsverhalten war eines der grundlegenden Aspekte für die Tragwerkskonzeption des Großen Saals und wurde früh mithilfe von zwei- und dreidimensionalen Stabwerksmodellen untersucht. Denn der auf Federn ruhende Saal ist ein großes Masse-Feder-System, das sich über die auskragenden Balkone leicht zum Schwingen anregen lässt. Zwei Anforderungen stellten sich dabei im Bezug auf das dynamische Verhalten des Konzertsaals als gegenläufig dar und waren miteinander zu vereinbaren. Auf der einen Seite sollte der Konzertsaal zur akustischen Abschirmung vom übrigen Bauwerk durch ein Federsystem abgekoppelt werden. Gefordert wurde hier vom Akustiker Yasuhisa Toyota eine tiefe Systemeigenfrequenz von kleiner als 5 Hz. Auf der anderen Seite begünstigen jedoch diese Federpakete die Schwingungsanfälligkeit der Konstruktion selbst. Bei üblichen Zuschauerbauwerken ist zur Reduzierung von menscheninduzierten Schwingungen eine Eigenfrequenz von größer als 8 Hz gefordert. Mit einer Abstimmung der Federpakete auf eine Frequenz von 4,5 Hz und der entsprechenden Steifigkeitsverteilung in der Stahlkonstruktion konnte eine entsprechend optimale Konstruktion gefunden werden. Zusätzliche sind Schwingungstilger im Bereich der Brüstungen geplant. Damit kann nach der Fertigstellung des Saals eine schwingungstechnische Feinabstimmung erfolgen.

2.3 Die Große Foyertreppe – Der Aufgang zum Großen Konzertsaal

Der Konzertbesucher gelangt von der Plaza im 8. Obergeschoss über die Große Foyertreppe in den eigentlichen Konzertbereich des Gebäudes. Auch die organisch gewölbten Seiten- und Deckenverkleidungen dieser Treppe werden später nicht mehr erahnen lassen, dass sich dahinter eine tragende Struktur aus Stahl verbirgt.

Die Grundform ist eine sich verjüngende Spirale, die in einer 180 Grad Wende die nächste Geschossdecke durchdringt und im 10. Obergeschoss in einer sich teilenden Freitreppe ausläuft. Dabei werden die innere und äußere Seitenwand aus einer Fachwerkkonstruktion gebildet, die mit Querträgern verbunden wurden und als Auflager für die Ortbeton-Treppenlauf-Platte dienen.

Im statischen System hängt die Treppe teilweise an der oberen Geschossdecke und damit quasi am Boden des Großen Konzertsaales direkt darüber, teilweise trägt sie ihre eigenen Lasten und die der durchstoßenen Zwischendecke und steht auf der unteren Decke auf.

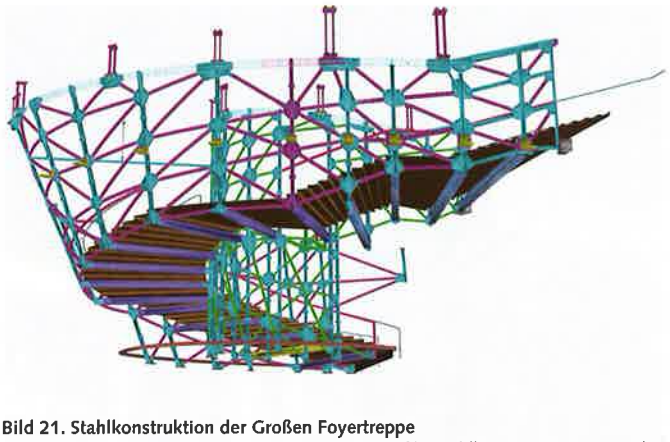


Bild 21. Stahlkonstruktion der Großen Foyertreppe
Grafik: Stahlbau HASLINGER GmbH

Bild 22. Große Foyertreppe im Rohbau Foto: 2014, HOCHTIEF

Da die Seitenwände zudem stark nach außen geneigt sind und sich die Krümmung der Spirale kontinuierlich ändert, haben jeweils benachbarte Stiele immer eine andere Neigung. In der ursprünglich vorgesehenen Ausführung mit Doppel-T-Walzprofilen wären zur Krümmung der Horizontal- und Diagonalstäbe eine Verwindung um ihre Achse oder kontinuierlich wechselnde Anschlusswinkel an den Stielen hinzugekommen, sodass man sich entschied, für die Quer- und Diagonalstäbe auf einachsig gebogene Rohre zurückzugreifen, die mit der erforderlichen Genauigkeit gebogen werden konnten.

Da die Montage der Konstruktion zu einem Zeitpunkt erfolgen musste, als der Rohbau schon einige Geschosse darüber erreicht hatte und die Einbaustelle damit nicht mehr mit schwerem Hebezeug von außen zugänglich war, musste die Große Foyertreppe in Einzelbaugruppen mit überschaubarem Stückgewicht vorgefertigt werden, die dann mit Kettenzügen in ihre Endposition gebracht werden konnten. Dazu wurden die Stiele in jeweils zwei U-Profile geteilt, zwischen je zwei benachbarte halbe Stiele bereits in der Werkstatt alle anschließenden Stäbe eingeschweißt und so zu steifen Einzelsegmenten verbunden.

Der zur Verfügung stehende Konstruktionskorridor der Stahlkonstruktion innerhalb der Ausbauschalen ließ keine großen Möglichkeiten für Montagetoleranzen zu, sodass die gesamte schlanke Konstruktion vor Auslieferung zur Baustelle auf dem Werkstatt-Gelände der ausführenden Firma

Bild 23. Montage Große Foyertreppe Foto: 2014, HOCHTIEF

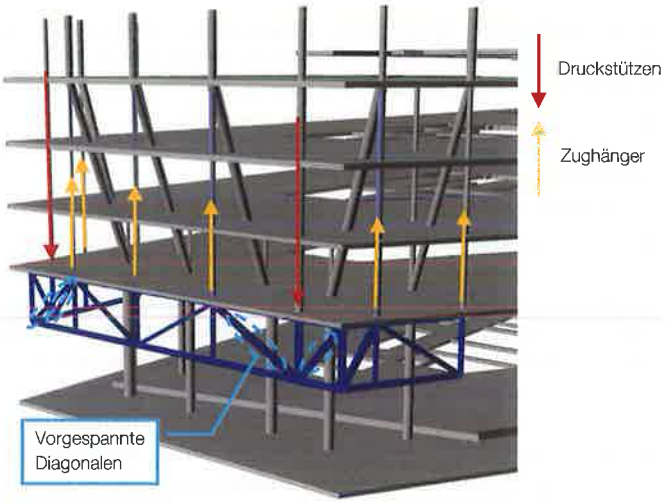


Bild 24. Statisches System des Eckabfangträgers im Endzustand
Grafik: 2014, HOCHTIEF

HASLINGER Stahlbau in Feldkirchen/Österreich probemontiert wurde, um eine gute Passung zu gewährleisten.

2.4 Der Eckabfangträger West – Auflast aus 16 Geschossen

An der Schnittstelle zwischen der historischen Kaispeicher-Backstein-Fassade und dem oberen glasummantelten Neubau befindet sich der öffentlich zugängliche Plaza-Bereich, von dem aus man den Ausblick auf Hamburg genießen kann. Dieser Übergang ist als Fuge ausgebildet, sodass die äußerste Stützenreihe am Gebäuderand komplett fehlt. Die Vertikalkräfte mussten also über einen Umweg in die Fundamente gebracht werden. Die Tragwerksplaner haben dies durch Hochhängen von zwei Geschossdecken über Stahlrohr-Zughänger gelöst. An den Aufhängepunkten werden die Zuglasten unten und die Drucklasten der Geschosse darüber eingesammelt und über schräge Stahlverbundstützen nach unten auf die zweite Stützenreihe hinter dem Gebäuderand zurückgeführt.

In den Gebäudeecken ergibt sich die geometrische Schwierigkeit, jeweils drei Randstützen auf eine einzige dahinterliegende Stütze zu konzentrieren. Um hier nicht drei Druckdiagonalen mit einer Vertikalstütze in einem Punkt verschmelzen zu müssen, haben die Ingenieure an der schmalen Westseite des Gebäudes einen um die Gebäudeecken verlaufenden drei Meter hohen Fachwerkträger entwickelt. Dieser ist unter dem Rand der darüberliegenden Geschossdecke aufgehängt, ohne jegliche Abstützung auf die darunterliegende Geschossdecke. Die Eckstützen, welche die Lasten der 16 Geschosse darüber zu tragen haben, stehen auf dem Fachwerkträger. Diese Lasten werden durch den Fachwerkträger querverteilt, über die benachbarten Knotenpunkte wieder drei Geschosse nach oben gehängt und von dort über Druckdiagonalen in Form von Stahlverbundstützen (Rohre bis zu &559 mm mit eingestellten Voll-Rundquerschnitten &160 mm) in die zweite Stützenreihe abgeleitet.

Eine besondere Herausforderung stellte auch die Montage der verformungsempfindlichen Glas-Fassade dar, die bereits erfolgen musste, während die Rohbauarbeiten in den oberen Geschossen noch in vollem Gange waren. Durch die während des Baufortschrittes ständig steigenden Eigengewichtslasten waren entsprechende Verformungszuwächse im Stahlbau des Eckabfangträgers zu erwarten, die nicht mehr durch Nachjustieren der bereits montierten Fassadenelemente aufgefangen werden können. Das Tragwerkskonzept sah ein gezieltes Vorspannen von vier Fachwerkdiagonalen vor. Damit wurde diesen Verformungen aktiv entgegengewirkt. Zur Vorspannung der betreffenden Stäbe verblieb zunächst eine Lücke im jeweiligen Stab, die durch überlappende Jochkonstruktionen so überbrückt wurde, dass mit Druck auf die eingesetzten Hydraulikzylindern genau definierte Stab-Zugkräfte aufgebracht werden konnten. Da die Geschosse oberhalb des Eckabfangträgers über einen Zeitraum von etwa 15 Monaten erstellt wurden, war es erforderlich, die Vorspannung der Stäbe in mehreren Etappen zu erhöhen. Nach Erstellung von jeweils drei Geschossen wurde die Vorspannung so weit erhöht, dass ein rechnerischer Ausgleich der Verformung aus dem Eigengewichtszuwachs geschaffen wurde. Nach insgesamt sechs Vorspann-Vorgängen wurden so in den einzelnen Diagonalstäben Zugkräfte von bis zu 2.100 kN aufgebracht. Nach Abschluss der Rohbauarbeiten wurden die freien Enden der Diagonalen verschweißt und die Hydraulikzylinder mit den Jochen ausgebaut.

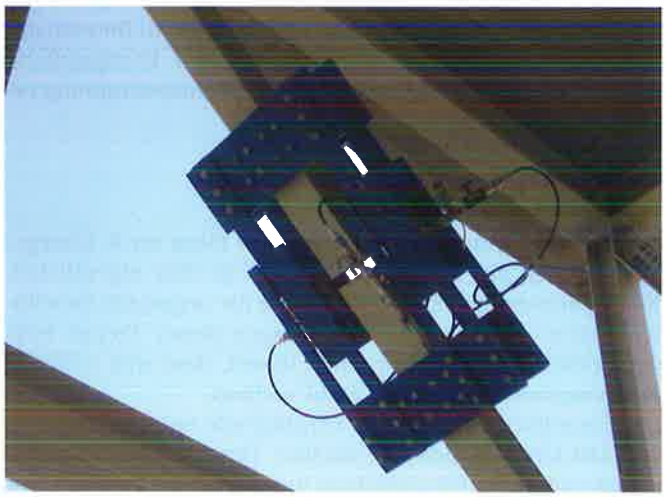


Bild 25. Hilfskonstruktion mit Hydraulikpressen zum Vorspannen
Foto: 2014, HOCHTIEF

Eine enge vermessungstechnische Überwachung der Deckenränder konnte in der Ausführungspraxis zeigen, dass mit dieser Maßnahme die Verformungen tatsächlich in einem gut verträglichen und erwarteten Bereich lagen.

Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens und der Erfolgsgeschichte des Dresdner Brückenbausymposiums

M. Curbach, J. Stritzke, S. Scheerer

Zusammenfassung Im vorliegenden Beitrag wird die vielfältige Bedeutung des Begriffes „Brücke" thematisiert. Der Bogen spannt sich vom Ingenieurbauwerk über die Kunst bis zum Symbolhaften. Zudem wird von der deutschlandweit bedeutendsten Veranstaltung zum Brückenbau berichtet, dem Dresdner Brückenbausymposium, welches seit 1991 jährlich stattfindet und in diesem Jahr sein 25-jähriges Jubiläum beging.
Vorab: Vorlagen des vorliegenden Beitrags sind die Beiträge von Curbach [1] und Stritzke [2] auf dem diesjährigen Dresdner Brückenbausymposium. Die Autoren möchten darauf hinweisen, dass diese Quellen nicht in jedem Fall im Text zitiert werden.

1 Die Bedeutung von Brücken

1.1 Der Versuch einer Begriffsbestimmung

Brücken sind allgegenwärtig. Die meisten Leser dieser Zeitschrift denken mit Sicherheit zuerst an das Bauwerk, würden sie nach der Bedeutung des Wortes „Brücke" gefragt werden. Denkt man darüber hinaus aber weiter nach, fallen jedem sicher noch weitere Beispiele ein:

- Die Brücke als Bezeichnung für Atome, Atomketten und Bindungen, die Teile von Molekülen verbinden. Durch Wasserstoffbrückenbindungen werden beispielsweise die beiden Stränge der Doppelhelix der DNA zusammengehalten [3], [4].
- Brücke ist der Name einer bedeutenden expressionistischen Künstlergruppe, die 1905 in Dresden gegründet wurde, [5],
- Luftbrücken, zum Beispiel für die Versorgung von Menschen in Krisengebieten oder nach Naturkatastrophen,
- eine Brücke als eine Form des Zahnersatzes,
- der Brückentag, zum Beispiel alljährlich nach Himmelfahrt oder
- Brückenschaltungen wie die Wheatstone'sche Messbrücke zur Messung von elektrischen Widerständen [6].

Diese Aufzählung – die bei weitem nicht vollzählig ist – belegt, dass Brücken an den unterschiedlichsten Stellen in unserem Leben auftauchen. Und sie zeigt eindrücklich die reale und symbolische Vielfalt, die wir mit dem Begriff verbinden. Klar wird aber auch: das Verbinden von Orten, Dingen, Gedanken, das Überwinden von Trennungen ist allen diesen Beispielen intrinsisch.
Auf einige ausgewählte Aspekte soll im Folgenden eingegangen werden.

1.2 Das Ingenieurbauwerk

Das Wort „Brücke" für ein Bauwerk hat für die meisten Bauingenieure sicher die größte Bedeutung. Ohne Brücken ist unser heutiges Leben nicht denkbar. Sie sind unentbehrlicher Bestandteil unserer Infrastruktur. Leben und Arbeiten, Industrie und Handel, Erholung und internationaler Austausch, um nur einige Aspekte zu nennen, sind ohne Brückenbauwerke nicht möglich.
Für Ingenieure und Bauschaffende sind Brückenbauwerke zudem jedes Mal wieder eine besondere fachliche Herausforderung. Sie bieten dem Bauingenieur aber auch die Chance, seine Umwelt nachhaltig zu gestalten, womit aber gleichzeitig auch die Verantwortung einhergeht, kluge Lösungen finden zu müssen, also dauerhafte, effiziente und ästhetische Bauwerke zu schaffen. Als herausragend empfundene Brücken sind zumeist beeindruckende Solitäre. Sie wurden beispielsweise nach einem besonderen Konstruktionsprinzip gebaut, es wurden neu entwickelte Materialien verwendet oder sie stellen Rekorde hinsichtlich Spannweite, Höhe oder Gesamtlänge dar. Solche Bauwerke gehören aber eher selten zum Alltag des Bauingenieurs. Umso wichtiger ist es, dass wir versuchen, auch für kleine Brücken bestmögliche Lösungen aus ingenieurtechnischer Sicht zu finden, um unserer Verantwortung als Brückenbauer gerecht zu werden [7], **Bild 1**.

1.3 Brücken in der Kunst

Brücken kommen in der Kunst in vielfältigster Weise vor – als Abbild realer oder erdachter Bauwerke vor allem in Malerei und Grafik, in realem oder symbolischem Sinn in der Literatur und auch der Musik.
Oft ist ein Bild oder ein Musiktitel bekannt, aber nicht immer kennt man die Hintergründe, die zur Entstehung führten. Die Geschichte zu dem bekannten Lied „Über sieben Brücken musst du gehn", welches in der DDR durch die

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Institut für Massivbau der
Technischen Universität Dresden,
Institutsdirektor und Professur für Massivbau,
01062 Dresden
manfred.curbach@tu-dresden.de
www.massivbau.tu-dresden.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke
Institut für Massivbau der
Technischen Universität Dresden,
ehemals Professur für Massivbrückenbau
01062 Dresden
juergen.stritzke@tu-dresden.de
www.massivbau.tu-dresden.de

Dr.-Ing. Silke Scheerer
Institut für Massivbau der
Technischen Universität Dresden,
Geschäftsführende Oberingenieurin
01062 Dresden
silke.scheerer@tu-dresden.de
www.massivbau.tu-dresden.de

Bild 1. Brückenbaukunst in kleinem Maßstab
links: elegante Straßenbrücke über die BAB 17 bei Pirna/Sachsen
rechts: die „Blaue Welle" in Flöha, ausgezeichnet mit dem Deutschen Brückenbaupreis 2012

Foto: Silke Scheerer
Foto: DEGES / R. Legrand

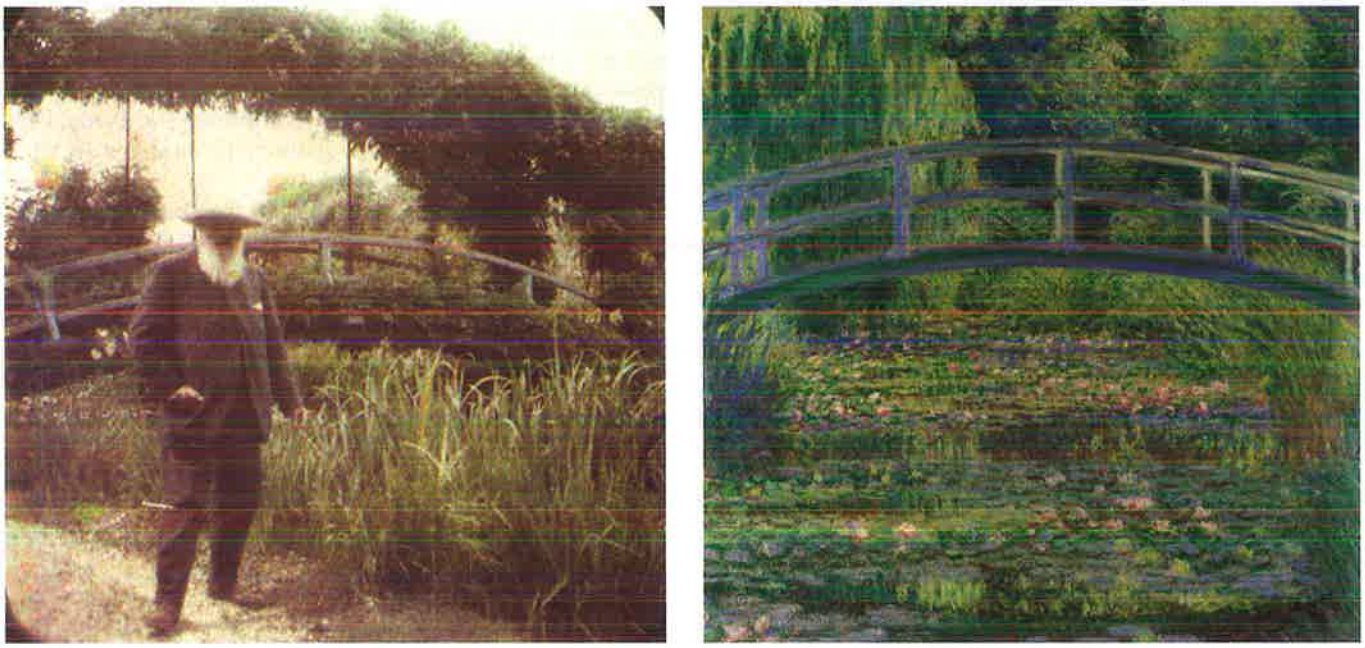


Bild 2. Claude Monet und seine Gärten (links), stereoskopische autochrome Amateuerfotografie
rechts: Die japanische Brücke von Claude Monet 1899, heute: National Gallery in London

Foto: Étienne Clémentel, ca. 1917
Abb.: [9]

Gruppe Karat und in den alten Bundesländern später durch Peter Maffay bekannt wurde, ist ein Beispiel für politische Zensur und die Umwege, die mancher deshalb auf sich nehmen musste, [1].

Beispiele für Brücken in der Malerei gibt es unzählige. Zu den berühmtesten Malern überhaupt gehört sicherlich Claude Monet (1840–1926), einer der Hauptvertreter des Impressionismus, [8], **Bild 2**. Neben vielen anderen Motiven hat er einige Male auch Brücken als Gegenstand seiner Bilder gewählt. Eines der sicherlich populärsten Motive ist die japanische Brücke in seinem Garten in Giverny. In mehreren Jahren entstand um die Jahrhundertwende eine ganze Serie mit Gemälden dieser Brücke über einen Seerosenteich. Eines der berühmtesten ist rechts in Bild 2 zu sehen. Das Motiv beschäftigte Monet viele Jahre bis kurz vor seinem Tod.

Etwa zur selben Zeit, genauer im Juni 1905, also vor 120 Jahren, schlossen sich in Dresden vier Studenten der Architektur zur Künstlervereinigung „Brücke" zusammen. Die Gruppe, der sich später noch weitere Künstler anschlossen, zählt als Wegbereiter des Expressionismus in Deutschland. „Die „Brücke" war der große Beschleuniger der expressiven Malerei im gesamten deutschsprachigen Raum, ...", fasste Wolfgang Henze treffend zusammen [10]. Die Reduzierung von Motiven auf wenige, oft auch geometrische Formen, Abstraktion und häufig das Verwenden ungemischter Farben prägen expressionistische Werke in der Malerei, was somit konträr zum Impressionismus Monets ist. Der Hintergrund zur Namensgebung ist bis heute nicht ganz geklärt. In [11] wird beispielsweise Heckel zitiert, demzufolge Schmidt-Rottluff den Namen „Brücke" vorschlug, da der Begriff vielschichtig, aber nicht programmatisch eingrenzend sei und „gewissermaßen von einem Ufer zum anderen" führe. Bleyl schreibt die Namensfindung Heckel zu und hier mit Bezug auf Nietzsche, der „das Wort Brücke als Metapher für die Erneuerung des Menschen" sehe [11]. Nicht zuletzt werden in [12] auch die vielen Brücken Dresdens als möglicher Namensursprung genannt. Zusammenfassend müssen wir sagen: der Grund für den Namen einer der bedeutendsten Künstlergruppen

Bild 3. Firth of Tay Bridge, Ansicht von Norden (1878/79) Foto: [15]

Deutschlands wird vielleicht nie eindeutig geklärt werden. Eindrücklich ist aber, dass in den verschiedenen Thesen die Vielgestaltigkeit des Begriffes „Brücke", wie er zuvor schon dargelegt wurde, eindeutig zur Geltung kommt.

Zu den bekanntesten literarischen Texten mit Brückenbezug dürfte „Die Brück' am Tay" von Theodor Fontane (1819–1898) gehören. Veranlassung für dieses Gedicht war der Einsturz der Firth-of-Tay-Brücke in Schottland. Diese war mit rund 3.000 Meter Länge die erste Brücke über den Firth of Tay [13]. Sie wurde von 1871 bis 1878 mit insgesamt 85 Feldern mit Spannweiten bis 74,68 Meter aus unterschiedlich hohen, außerordentlich filigranen Gitterträgern nach einem Entwurf von Thomas Bouch gebaut (**Bild 3**). Die Ursachen für den Einsturz kurz vor Silvester 1879 waren vielfältig und wesentlich komplexer, als dies häufig dargestellt wird und sollen hier nicht näher beleuchtet werden [13], [1]. Theodor Fontane hatte am Tag nach dem Unglück aus der Vossischen Zeitung von diesem erfahren [14]. Die letzten Zeilen des Gedichts „Die Brück' am Tay", in denen die Shakespeare'schen Hexen aus Macbeth: „...Tand, Tand, | Ist das Gebilde von Menschenhand!" raunen, legen nahe, dass Fontane zu Bescheidenheit mahnen möchte, denn die Natur sei letztlich stärker als der Mensch und das von Menschenhand Geschaffene.

Der Ingenieur von heute sollte sich davon natürlich nicht einschüchtern lassen. Wichtig und hoch aktuell ist aber die in dieser Ballade inbegriffene Mahnung, bei jedwedem Tun die Schöpfung zu achten, und dies im weitesten Sinne. Übertragen auf den Brückenbau sind wir hiermit auch wieder bei der Verantwortung des Ingenieurs für die Sicherheit seiner Bauwerke einerseits, gegenüber der Natur und nachfolgenden Generationen andererseits angelangt, womit sich der Kreis zum anfänglich thematisierten Verantwortungsbewusstsein des Bauingenieurs für sein Tun wieder schließt.

1.4 Brücken als Symbol

Wir sehen, der Gedanke der Brücke ist vielgestaltig. Er wird von Malern ebenso bemüht wie von Schriftstellern und Philosophen. Und selbst der Papst ist – betrachten wir den Titel „Pontifex Maximus" – nichts anderes als ein Brückenbauer.

Doch auch in unserer täglichen Umgangssprache kommt der Begriff „Brücke" oft vor. Besonders schön ist es, wenn wir es schaffen, eine Brücke zu unseren Mitmenschen zu bauen, wenn man selbst eine goldene Brücke gebaut bekommt, wenn einem eine Eselsbrücke auf die Sprünge hilft. Demgegenüber hofft man, dass man nie alle Brücken hinter sich abbrechen muss.

Der Symbole gibt es viele, positive wie negative. Zu den letzteren zählt die „Alte Brücke" (Stari Most) über den Gebirgsfluss Neretva in Mostar (**Bild 4**). Dieses herausragende Ingenieurbauwerk entstand bereits im 16. Jahrhundert und galt als ein Meisterwerk osmanischer Baukunst, [16], [17]. Sie hatte schon seit langem neben ihrer primären Funktion als Überbrückung einer Schlucht und als Handelsweg vor allem für Salz und Erz eine symbolische Bedeutung, als Verbindung zwischen Ost und West und auch als Verbindung – quasi Brückenschlag – zwischen unterschiedlichen Glaubensrichtungen, dem Christentum, aus dessen Zeit noch die Fundamente der beiden Brückentürme stammten, und dem Islam, aber auch zwischen Kroaten und Serben und somit zwischen Katholizismus und orthodoxer Weltanschauung. Am 9. November 1993 wurde die Brücke während des Bosnienkrieges gezielt zerstört und damit zum Sinnbild der Völkertrennung. Als Zeichen der Hoffnung und des Friedens galt daher nach dem Ende des Bürgerkrieges der Wiederaufbau dieser Brücke im Jahr 2004. Dies zeigt einmal mehr, welchen, auch symbolischen, Wert Brücken für uns besitzen.

Bild 4. Stari Most in Mostar
links: in den 1970er-Jahren
Mitte: temporäre Hängebrücke nach der Zerstörung während des Bosnienkrieges
rechts: neu errichtete Brücke in Mostar

Foto: Josephine W. Baker
Foto: Npatm, cc by-sa 3.0
Foto: Alistair young, cc by-sa 2.0, [17]

Bild 5. Auditorium im Audimax des Hörsaalzentrums der TU Dresden beim 19. Dresdner Brückenbausymposium 2009 Foto: Ulrich van Stipriaan

Die Einweihung der nach historischem Vorbild wiedererrichteten Brücke fand in Anwesenheit von Vertretern aus 60 Staaten statt. 2005 wurde das Bauwerk in die Liste des Weltkulturerbes der UNESCO aufgenommen. Die Brücke ist heute wieder Verbindung zwischen den Stadtteilen zu beiden Ufern des Flusses. Es bleibt zu hoffen, dass sie auch zur Versöhnung der unterschiedlichen Volksgruppen in Mostar und auf dem gesamten Balkan beitragen kann.

2 Das Dresdner Brückenbausymposium

2.1 Eine kurze Entstehungsgeschichte

Von der symbolischen Bedeutung des Begriffes „Brücke" soll nun zum Ingenieurbauwerk und zur mittlerweile wichtigsten Veranstaltung zum Thema Brückenbau in Deutschland übergeleitet werden. Jede Erfolgsgeschichte hat ihren Anfang. Am 21. Februar 1991 wurde zum ersten Mal ein Brückenbausymposium in Dresden unter dem Titel „Erfahrungen bei der Vorbereitung, Konstruktion, Realisierung, Erhaltung und Kontrolle von Betonbrücken" durchgeführt. Es nahmen 123 Teilnehmer vorwiegend aus den neuen Bundesländern teil. Das Symposium wurde schnell größer und war schon bald keine regionale Veranstaltung mehr. Schon seit Jahren werden nun regelmäßig mehr als 1.300 Teilnehmer begrüßt, wodurch die Veranstaltung die größte und bedeutendste Brückenbautagung in Deutschland ist [18], [19], **Bild 5**. Hinzu kommt, dass seit seiner erstmaligen Auslobung durch die Bundesingenieurkammer und den Verband Beratender Ingenieure unter der Schirmherrschaft des BMVBS im Jahr 2006 der deutsche Brückenbaupreis im Rahmen des Dresdner Symposiums verliehen wird. Dies ist eine hohe Ehre für uns als Veranstalter und dem Renommee der Tagung mit Sicherheit nicht abträglich.

In den ersten Jahren lag das Hauptaugenmerk zunächst auf Vorschriften, Richtlinien, den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und den Neuerungen, die durch die Wiedervereinigung vor allem auf die Ingenieure der DDR zukamen. Dies betraf auch die für die neuen Bundesländer anderen Bauprodukte, wie zum Beispiel andere Spannglieder und auch Spannverfahren. Neben dem Neubau von Brücken und deren Instandhaltung wurden – in Anbetracht des Bauzustandes der Brücken in den neuen Bundesländern – insbesondere die Instandsetzung und Ertüchtigung der Bauwerke thematisiert.

Im Laufe der Zeit hat sich das Themenspektrum erweitert. Schon längst tragen Referenten aus dem gesamten Bundesgebiet und auch aus dem Ausland zum Gelingen der Tagung bei. Es geht um Brücken aus den unterschiedlichsten Baustoffen, Methoden zur wirklichkeitsnahen Erfassung des Tragverhaltens, Entwurf und Gestaltung, innovative Bauverfahren, um Forschung und die Brückenbaukunst im Kleinen wie im Großen. Es geht auch verstärkt um die Verantwortung von uns Ingenieuren hinsichtlich der Beeinflussung und Gestaltung der Landschaft und um die Integration unserer Bauwerke in unseren Lebensraum. Seit 2012 gibt es zudem alljährlich einen englischsprachigen und einen historischen Vortrag rund um den Brückenbau. Mit den einzelnen Vortragsthemen haben die Referenten stets einen gelungenen Querschnitt aus Wissenschaft und Praxis zur Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken vermittelt und somit dazu beigetragen, den Stand der Technik zu verbreiten.

2.2 Einige Highlights

Im Laufe der vergangenen 25 Jahre gab es insgesamt über 270 Fachvorträge im Rahmen des Dresdner Brückenbausymposiums (DBBS). Einige wenige Highlights seien kurz benannt.

Chronik des Brückenbaus

Seit dem 5. Dresdner Brückenbausymposium wurde regelmäßig über neue Brückenbauwerke zunächst in den neuen Bundesländern, ab dem 16. DBBS dann in ganz Deutschland berichtet. An diese Stelle ist 2012 eine fortlaufende Chronik des deutschen Brückenbaus im Tagungsband getreten, die vor allem in Zusammenarbeit mit Bauherren, Ämtern, Verwaltungen und Organisationen entsteht und die zumindest einen Einblick in die Bautätigkeit des jeweils vorangegangenen Jahres bietet.

Entwurf und Gestaltung

Natürlich muss eine Brücke in erster Linie ihre Funktion als Überführungsbauwerk erfüllen. Aber mittlerweile wird es wieder selbstverständlicher, dass viel Wert auf eine ansprechende Gestaltung gelegt wird. Je nachdem, wie weit das dem Planer, Architekten, Konstrukteur gelang, üben Brücken eine besondere Faszination auf die Menschen aus. Zugegebenermaßen wird der Beitrag zur Baukultur, den die Ingenieure leisten, von der Öffentlichkeit nicht immer so wahrgenommen und deshalb lag und liegt es an uns, immer wieder auf den Zusammenhang zwischen Ingenieurtätigkeit und Baukultur hinzuweisen und uns selbst aber auch diese unsere Aufgabe immer wieder neu bewusst zu machen.

Bild 6. In Österreich entwickeltes Brückenklappverfahren im Großversuch

Fotos: [28]

Bild 7. Weltweit erste Textilbetonbrücke für die Landesgartenschau in Oschatz; links: Brücke beim Tragfähigkeitstest im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden rechts: Einheben der Brücke vor Ort

Foto: [31]
Foto: Ulrich van Stipriaan

Stellvertretend für alle bisherigen Beiträge zu dieser Thematik seien folgende herausgegriffen, die in jedem Fall Anregung für zukünftige Projekte sein können:

- Über „Die Bedeutung der Kreativität beim Brückenentwurf" sprach 2006 der weltweit anerkannte Fachmann für ästhetisch ansprechende Brücken, Christian Menn [20],
- René Walther [21] und Holger Svensson [22] sprachen über ihre Erfahrungen beim Entwurf und Bau von Schrägkabelbrücken weltweit,
- Jörg Schlaich, Schöpfer unkonventioneller Brückenbauwerke und filigraner Fußgängerbrücken, regte zum Nachdenken über Brückenbau und Baukunst an [23],
- Michel Virlogeux [24] schlug im März diesen Jahres anhand vieler Beispiele aus seinem Schaffen den Bogen zwischen Tragwerk und Eleganz und
- Andreas Keil berichtete im selben Jahr über Entwurf und Konzeption moderner Fußgängerbrücken [25].

Neue Entwicklungen

Auf dem Symposium wurden auch immer wieder Innovationen vorgestellt und diskutiert. Beispielsweise wurden die unterschiedlichsten Bauverfahren, wie das außergewöhnliche Taktschiebeverfahren in Breslau [26], das Austauschen von verbundlosen Spanngliedern bei der Labertalbrücke [27] oder das Brückenklappverfahren aus Österreich [28], [29], **Bild 6**, vorgestellt. Es gab Beiträge zur externen und zur internen verbundlosen Vorspannung, zum Freivorbau von Balken- und Bogenbrücken, zu integralen und semi-integralen Brücken, zu Brückeninstandsetzungen und Monitoring, zum Beispiel [30].

Berichtet wurde auch über neue Entwicklungen im Hinblick auf die Baumaterialien. In Dresden darf natürlich der Textilbeton nicht fehlen. 2006 wurde auf dem Dresdner Brückenbausymposium die weltweit erste textilbewehrte Brücke, errichtet für die Landesgartenschau in Oschatz, vorgestellt [31], **Bild 7**. Weitere Beiträge zum Potenzial von Textilbeton für Neubau und Sanierung folgten. In Erinnerung geblieben ist auch der Vortrag von Urs Meier, der für die breitere Anwendung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen im Brückenbau warb [32]. Auch wenn Carbon bis heute den Durchbruch als alternative Bewehrung im Bauwesen noch nicht geschafft hat, ist seine Leistungsfähigkeit in der Fachwelt unbestritten und man kann gespannt sein, was die Zukunft bringen wird [33], [34].

Historie

Unser heutiges Wissen, unsere heutigen Leistungen wären ohne die jahrhundertelange Arbeit und Erfahrung unserer Vorgänger nicht denkbar. Deshalb wurde bei nahezu jedem Symposium auch Rückschau auf die Historie gehalten, seit 2012 dann als fester Programmpunkt jeder Veranstaltung. Als bedeutende Brückenbauer und Ingenieure standen bisher beispielsweise Robert Maillart [35], Franz Dischinger [36], der Gerüst- und Seilriesenbauer Richard Coray (**Bild 8**, [37]) und Gustave Magnel [38] im Mittelpunkt.

Besondere Bauwerke

Hier die „richtige" Auswahl zu treffen ist eigentlich unmöglich, denn in den Augen jedes Vortragenden, jedes Teilneh-

Bild 8. Gerüst der Brücke über die Tara von Richard Coray Foto: [39]

Bild 9. Sachsenbrücke Pirna Foto: Jürgen Stritzke

Bild 10. Elbebrücke Niederwartha Foto: LAP CONSULT

mers und jedes Lesers ist ein anderes Bauwerk von besonderer Bedeutung. Dennoch seien einige sehr wenige Beispiele aus den neuen Bundesländern angeführt.

In und um Dresden sind in den vergangenen Jahren sehr viele Brücken errichtet worden. Elbaufwärts war dies beispielsweise die Sachsenbrücke Pirna (1997–1999, **Bild 9**). Das 135 Meter weit gespannte Hauptfeld über der Elbe mit den anschließenden Seitenfeldern wurde als in sich verankerte Bogenbrücke mit insgesamt vier unter der Fahrbahn liegenden Halbbögen hergestellt, wobei sich jeweils zwei Halbbögen mit dem Überbau als Zugband selbstverankern. Die Stahlbetonbögen sind 1,40 Meter dick. Trotz seiner Größe und beachtlichen Länge ist es hervorragend gelungen, das Bauwerk in die Landschaft einzufügen. Zudem wurde eine deutliche Reduzierung des Durchgangsverkehrs in Pirna erreicht.

Elbabwärts ist in jedem Fall die neu gebaute Elbebrücke Niederwartha zu nennen (**Bild 10**, [40]). Die Verbindung zwischen den Ortslagen Cossebaude und Radebeul / Coswig war 1945 unterbrochen worden und sollte wiederhergestellt werden. Zwangspunkte waren die Pfeilerstellungen der benachbarten Bahnbrücke und die pfeilerfreie Überbrückung der Elbe. Errichtet wurde eine einhüftige Schrägseilbrücke mit A-Pylon und zwei Seilebenen. Die größere der beiden Spannweiten beträgt 192 Meter. Linkselbisch schließt sich eine vierfeldrige Vorlandbrücke an. Mit dem Bau wurde im Dezember 2005 begonnen. Heute ist die neue Elbebrücke Niederwartha die erste Schrägseilbrücke in Sachsen und die längste Schrägseilbrücke Deutschlands mit einem Verbundüberbau.

Ein besonders anspruchsvolles Brückenprojekt ergab sich im Zuge der Baumaßnahmen an der BAB 4, dessen Realisierung den Ingenieuren ein Höchstmaß an Kreativität abverlangte. Um die bestehende Autobahn auf die gewünschte Breite mit drei Fahrspuren pro Richtung ausbauen zu können, musste das historische, denkmalgeschützte Bahrmühlenviadukt unterfahren werden [41], **Bild 11**. Der Eisenbahnviadukt war 1872 fertiggestellt worden und überführt mit 15 Bögen die Bahnstrecke Chemnitz–Leipzig über das Tal des Bahrebachs. Das Bauwerk ist ein herausragendes Beispiel für die Eisenbahnviadukte des 19. Jahrhunderts und ist wegen seiner exponierten Lage und der freien Einsehbarkeit von allen Seiten ein Bauwerk von besonderer Bedeutung. Als beste Lösung für die Bauaufgabe wurde schließlich eine Abfangung von drei Viaduktpfeilern geplant, womit das Gesamtbild des Viaduktes bewahrt werden konnte. Die Realisierung erfolgte in den Jahren 2000 bis 2002 durch eine Stahlbeton-Rahmenkonstruktion bestehend aus zwei Widerlagerwänden, einer Mittelunterstützung und der 1,50 Meter dicken und 40,50 m × 30,25 m großen „Tischplatte". Gegründet wurde die Abfangung auf dem jeweiligen Pfeilerfundament und zusätzlich eingebrachten Großbohrpfählen von 1,50 Meter Durchmesser. Die Verkehrsfreigabe erfolgte am 3. November 2003.

Als letztes Beispiel sei das große Wasserstraßenkreuz Magdeburg genannt [42], **Bild 12**. Es ist das Kernstück des VDE 17 und verbindet den Mittellandkanal mit dem Elbe-Havel-Kanal und somit die Kanalnetze in Ost- und Westdeutschland. Dies war vor allem für die Binnenschifffahrt

Bild 11. Unterfangung des Bahrmühlenviaduktes nach der Fertigstellung 2003 Foto: Jürgen Stritzke

Bild 12. Kanalbrücke Magdeburg Foto: wna-magdeburg.wsv.de

ein Meilenstein. Man muss bedenken, dass ein einziger Schubverband die Ladung von bis zu 400 Eisenbahnwaggons bzw. 650 Lastkraftwagen aufnehmen kann. Damals mussten Schiffe von Hannover nach Berlin das Schiffshebewerk Rothensee (Nutzlänge des Troges: 82 Meter) und die Schleuse Niegripp passieren. Das war einerseits ein Umweg und andererseits konnten die Schiffe bei Niedrigwasser der Elbe nur einen Teil ihrer Ladung transportieren. Mit dem neu errichteten Brückenbauwerk ist heute eine vom Elbewasserstand unabhängige Querung über die 690 Meter lange Vorlandbrücke und die 228 Meter lange Strombrücke zur neuen Doppelschleuse Hohenwarte möglich, wo der Abstieg zum Elbe-Havel-Kanal erfolgt. Die ausladend geschwungene Form der Vorlandbrücke erinnert an Schiffsspanten und liefert symbolisch einen Bezug zum Nutzer, der Schifffahrt. Die stählerne Fachwerkkonstruktion der Strombrücke hat eine Hauptspannweite von 106 Metern. Die nutzbare Trogbreite beträgt 32 Meter bei einer Wassertiefe von 4,25 Metern. Die Bauzeit betrug sechs Jahre. Am 10. Oktober 2003 wurde das Bauwerk für die Binnenschifffahrt und auch für die Freizeitschifffahrt freigegeben.

Dieser kurze Überblick hat sicher gezeigt, welch ein Fundus an Wissen und Erfahrung anlässlich der Symposien präsentiert und ausgetauscht wurde. Für alles Weitere muss auf die Tagungsbände verwiesen werden, die es dann ab dem 3. DBBS 1993 gab.

3 Schlusswort

„Brücke" – ein Wort mit vielen Bedeutungen. Jede Brücke ist eine Verbindung von A nach B. Für den Ingenieur ist die Planung und der Bau einer Brücke immer eine besondere Aufgabe: Er muss nicht nur Verantwortung für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit übernehmen, sondern auch für den Umgang mit Ressourcen und eine überlegte Einordnung in das bauliche Umfeld.

Eine Brücke ist aber oft auch eine Metapher, zum Beispiel für die Verbindung zwischen Menschen, Nationen und Kulturen. Abgesehen von Brückenbauwerken, die Mobilität und Handel gewährleisten, brauchen wir Brücken zwischen Menschen, zwischen Ländern, zwischen Kontinenten und Kulturen. Brücken sorgen damit auch für Weltoffenheit und heißen die Menschen willkommen, die über sie hinweg schreiten. Damit haben Brücken immer auch eine soziale und natürlich auch eminente politische Bedeutung.

Wenn wir unsere Mitmenschen verstehen wollen, brauchen wir einen Draht zu ihnen; eine Brücke, die Begegnung und Gespräch erlaubt. Daraus ist unsere Welt gebaut, daraus resultieren Bewegung und Entwicklung. Wir haben es in der Hand, ob dabei etwas Gutes entsteht. Begegnung und Austausch schaffen Vielfalt, Ideen und – was vielleicht das Wichtigste ist – Verständnis. Und aus Verständnis erwachsen Toleranz und Akzeptanz.

Und dies alles kann durch das Bauen von Brücken gelingen.

Literatur

Anmerkungen:

1.: Alle Internetquellen wurden am 23.6.2015 auf ihre Gültigkeit geprüft.

2.: Für alle Beiträge aus Tagungsbänden zum Dresdner Brückenbausymposium (DBBS) gelten folgende Ergänzungen: Titel der Veranstaltung: Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken; Veranstaltungsort: Dresden; Verlag: Eigenverlag Institut für Massivbau der TU Dresden; Erscheinungsjahr = Jahr der Tagung.

[1] *Curbach, M.*: Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 25. DBBS, 10.3.2015, 15–30.

[2] *Stritzke, J.*: 25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 25. DBBS, 10.3.2015, 37–60.

[3] https://de.wikipedia.org/wiki/Brücke_(Chemie).

[4] https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffbrückenbindung.

[5] *Lorenz, U.*: Die Brücke. Taschen, Köln, Nachdruck 2013.

[6] *Schrüfer, I.; Reindl, L.; Zagar, B.*: Elektrische Messtechnik – Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen. 10., neu bearb. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 2012.

[7] *Curbach, M.; Scheerer, S.*: Die Verantwortung des Brückenbauingenieurs – Ein Plädoyer für kleine Brücken. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 22. DBBS, 13.3.2012, 13–28.

[8] *Heinrich, Ch.*: Monet. Taschen, Köln, 2006.

[9] https://de.wikipedia.org/wiki/Claude_Monet.

[10] *Henze, W.*: Das Phänomen „Brücke" – Ein erstaunliches Resümee nach hundert Jahren. *In*: *Gerlinger, H.; Schneider, K.* (Hrsg.): gemeinsames ziel und eigene wege – Die „Brücke" und ihr Nachwirken, Hirmer, München, 2009, 9–13.

[11] *Presler, G.*: Die Brücke. Rowohlt Taschenbuch, Hamburg, 2007.

[12] https://de.wikipedia.org/wiki/Brücke_(Künstlergruppe).

[13] *Koerte, A.*: Two Railway Bridges of an Era – Firth of Forth and Firth of Tay. Birkhäuser, Basel, 1992.

[14] *Beck, A.*: Bau auf, bau auf! Poetische Ingenieurskunst in Theodor Fontanes *Die Brück' am Tay* (1879/80). http://staff.germanistik.rub.de/andreas-beck/files/2012/08/Beck_Vortragsvorschlag_3_Fontane_BaT.pdf.

[15] old photography; originally scanned and uploaded by Peterrhyslewis in 2007, https://de.wikipedia.org/wiki/Die_Brück'_am_Tay#/media/File:Original_Tay_Bridge_before_the_1879_collapse.jpg.

[16] *Willeke, S.*: Ein Brückenschlag gegen den Hass. Dossier, Zeit online, 13.3.2003, http://pdf.zeit.de/2003/12/Mostar_2.pdf.

[17] https://de.wikipedia.org/wiki/Stari_most.

[18] http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_bauingenieurwesen/imb/veranstaltungen/dbbs/index_html.

[19] http://baublog.tu-dresden.de/index.php/tag/bruckenbausymposium/

[20] *Menn, Ch.*: Die Bedeutung der Kreativität beim Brückenentwurf. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 16. DBBS, 14.3.2006, 65–78.

[21] *Walther, R.*: Entwicklung und Probleme moderner Schrägseilbrücken. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 17. DBBS, 13.3.2007, 73–83.

[22] *Svensson, H.*: 40 Jahre Erfahrungen mit Großbrücken in aller Welt. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 19. DBBS, 10.3.2009, 79–93.

[23] *Schlaich, J.*: Brückenbaukunst – Wieso? Wie? *In*: Lehrstuhl für Massivbau, TU Dresden, und Freundes des Bauingenieurwesens der TU Dresden e.V. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. DBBS, 11.3.1999, 31–43.

[24] *Virlogeux, M.*: Bridge Architecture – from Structure to Elegance. Vortrag, gehalten auf dem 25. DBBS, 10.3.2015.

[25] *Keil, A.*: Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 25. DBBS, 10.3.2015, 69–80.

[26] *Biliszczuk, J.; Kosza, P.*: Außergewöhnliches Taktschieben in Breslau für die Fußball-EM 2012. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 21. DBBS, 8.3.2011, 169–181.

[27] *Goj, K.; Fritsche, Th.*: Erfahrungen beim Spanngliedaustausch bei der im Zuge der B 15 neu abschnittsweise mit verbundloser Vorspannung hergestellten Labertalbrücke. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 22. DBBS, 13.3.2012, 81–87.

[28] *Kolleger, J.; Gmainer, S.; Wimmer, D.*: Großversuch mit einer 50-m-Klappbrücke. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 21. DBBS, 8.3.2011, 243–250.

[29] *Kolleger, J.; Foremniak, S.; Kromoser, B.*: Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 25. DBBS, 10.3.2015, 193–214

[30] *Budelmann, H.; Holst, A.*: Brückenmonitoring im Rahmen des Lebensdauermanagements. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 21. DBBS, 8.3.2011, 149–165.

[31] *Curbach, M.; Weiland, S.; Jesse, D.*: Eine Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton für die Landesgartenschau 2006 in Oschatz. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 16. DBBS, 14.3.2006, 143–157.

[32] *Meier, U.*: Haben kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe im Brückenbau eine Zukunft? *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 19. DBBS, 10.3.2009 in Dresden, 191–208.

[33] *Curbach, M.; Scheerer, S.*: Carbon im Brückenbau. *In*: *Curbach, M.*: (Hrsg.): Tagungsband zum 24. DBBS, 11.3.2014, 15–28 | Zweitabdruck: Bauingenieur – VDI-Jahresausgabe (2014), 109–118.

[34] http://www.bauen-neu-denken.de/.

[35] *Marti, P.*: Robert Maillart – Ingenieur, Unternehmer, Betonbauer. Vortrag zum 22. DBBS, 13.3.2012.

[36] *Lorenz, W.; May, R.*: Franz Dischinger – Visionär des Brückenbaus. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 23. DBBS, 12.3.2013, 101–128.

[37] *Conzett, J.*: Gerüst- und Seilriesenbauer Richard Coray und die Anfänge des ingenieurmäßigen Holzbaus. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 24. DBBS, 11.3.2014, 129–144.

[38] *Taerwe, L. R.*: Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise. *In*: *Curbach, M.* (Hrsg.): Tagungsband zum 25. DBBS, 10.3.2015, 113–128.

[39] *Kessler, A.*: Salginatobelbrücke, Werdegang eines Meisterwerks. Buchdruckerei Schiers, Schiers, 2011.

[40] *Eilzer, W.; Richter, F.*: Die Elbebrücke Niederwartha – die erste Schrägseilbrücke in Sachsen. *In*: *Stritzke, J.* (Hrsg.): Tagungsband zum 16. DBBS, 14.3.2006, 121–140.

[41] *Reintjes, K.-H.*: Die Unterfangung des Bahrmühlenviadukts Erfahrungen aus der Bauabwicklung. *In*: Lehrstuhl für Massivbau der TU Dresden (Hrsg.): Tagungsband zum 12. DBBS, 14.3.2002 in Dresden, 145–163.

[42] *Grassl, M.; Mündecke, M.; Menzel, Th.*: Kanalbrücke Magdeburg – Entwurfsplanung, Ausschreibung und Stand der Bauausführung. *In*: Lehrstuhl für Massivbau, TU Dresden, und Freundes des Bauingenieurwesens der TU Dresden e.V. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. DBBS, 11.3.1999, 91–109.

Interaktion von Boden und Bauwerk bei großflächigen Plattengründungen – Monitoring und Simulation

R. Harte, D. Placzek, C. Pohl, K. Stopp, B. Titze, F. Wehr

Zusammenfassung Der Beitrag befasst sich mit der Konzeption und Durchführung eines Monitoringprogramms für die Beobachtung der Bodenplatte des Kraftwerkblocks Boxberg R der Vattenfall Europe Generation AG im Bau- und Betriebszustand für den Zeitraum 2006 bis 2014. Die Messdaten sollten Aufschluss geben über das Setzungsverhalten und dessen Auswirkungen auf die Gesamtkonstruktion. Neben den direkten Informationen über das Tragverhalten dieser Bodenplatte sollten Erkenntnisse für die numerische Simulation der Boden-Bauwerks-Interaktion gewonnen und daraus Rückschlüsse für eine optimierte Planung zukünftiger Kraftwerke gezogen werden.

1 Darstellung des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens

1.1 Motivation

Die Wirtschaftlichkeit von Kraftwerksbauten wird wesentlich von der zweckmäßigen Wahl der Gründungskonstruktion bestimmt. Aus den aufgehenden Konstruktionen müssen große Lasten in den Baugrund abgetragen werden, wobei äußerst geringe Setzungsdifferenzen einzuhalten sind, um den Forderungen der Anlagentechnik zu entsprechen. Dies gilt insbesondere für das Kesselgerüst. So bewirkt nach [1], [2] eine stärkere Absenkung eines der vier Gerüstfußpunkte erhebliche Lastumlagerungen auf andere Bauglieder des Kesselgerüstes. Die betreffende Stütze entzieht sich teilweise der Lastabtragung und es findet eine Lastumlagerung statt. Die Größe dieser Umlagerung ist abhängig von der Steifigkeit der an die Stütze anschließenden Riegel und Diagonalen. Dabei wird das Kesselgerüst umso mehr beansprucht, je steifer es ist. Aber gerade bei Großkesselanlagen ist eine große Steifigkeit erforderlich, um die Verformungen aus Lasteinwirkungen im Hinblick auf die zulässigen Verformungen der Kesseldecke gering zu halten.

Ähnliches gilt für das Maschinenhaus und den federnd gelagerten Turbinentisch. Die Lagerstellen der Maschinenwellen und der Gehäuse dürfen sich während des Betriebes nur begrenzt gegeneinander verschieben. Insofern ist auch hier eine setzungsarme Gründungskonstruktion angezeigt. Zudem lösen außerplanmäßige Setzungsdifferenzen Zwangbeanspruchungen aus, die die Dauerhaftigkeit der Tragkonstruktionen und damit die gesicherte Verfügbarkeit des Kraftwerks nachteilig beeinflussen können. Der realitätsnahen Setzungsprognose kommt damit eine entscheidende Bedeutung zu.

Die große Sensibilität des Dampferzeugers gegen außerplanmäßige Differenzsetzungen in Kombination mit dem geringen Informationsgehalt zum Setzungsverhalten des Bodens und zu dessen Interaktion mit dem Bauwerk führte bisher dazu, dass zur Vermeidung von Differenzsetzungen aufwendige Bodenersatz- oder Bodenverbesserungsmaßnahmen, Tiefgründungen (Pfähle) oder massige Bodenplatten ausgeführt wurden. Für die in den letzten Jahrzehnten errichteten Kraftwerke der Vattenfall AG (vormals VEAG) hat sich die letztgenannte Maßnahme bewährt. Den damaligen Berechnungen lagen allerdings konservative Abschätzungen der Lasten und der Setzungen zugrunde, sodass die später gemessenen Setzungen zum Teil deutlich geringer waren als die berechneten.

1.2 Überblick

Das von der Vattenfall Europe Generation AG beauftragte F+E-Vorhaben befasste sich mit der Konzeption und Durchführung eines Monitoringprogramms für die Beobachtung der Bodenplatte des Kraftwerkblocks Boxberg R im Bau- und Betriebszustand. Die Messdaten sollten Aufschluss über das Setzungsverhalten und dessen Auswirkungen auf die Gesamtkonstruktion geben, um daraus Rückschlüsse für eine wirtschaftlich optimierte Auslegung zukünftiger Kraftwerke zu ziehen.

Bild 1, links zeigt den Grundriss der messtechnisch untersuchten Bodenplatte. Sie hat eine Ausdehnung von 138,90 Metern in Nord-Süd-Richtung und im Kesselhausbereich eine Breite von 83,00 Metern sowie eine Dicke von 3,80 Metern. Die Hauptbelastung resultiert aus dem Kessel-

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte
Bergische Universität Wuppertal
Lehr und Forschungsgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke
Pauluskirchstr. 7, 42285 Wuppertal
Harte@uni-wuppertal.de

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Placzek
ELE Beratende Ingenieure GmbH
Erdbaulaboratorium Essen
Susannastr. 31, 45136 Essen
Dietmar.Placzek@ele-e.de

Dr.-Ing. Carsten Pohl
ELE Beratende Ingenieure GmbH
Erdbaulaboratorium Essen
Susannastr. 31, 45136 Essen
Carsten.Pohl@ele-e.de

Dr.-Ing. Kirsten Stopp
EZI Eusani-Hortmanns-Zahlten Ingenieurgesellschaft mgH
Remscheider Str. 37, 42659 Solingen
K.Stopp@ezi-tragwerke.de

Dipl.-Ing. Bernd Titze
Vattenfall Europe Generation AG
Vom-Stein-Straße 39, 03050 Cottbus
Bernd.Titze@vattenfall.de

M.Sc. Franziska Wehr
Bergische Universität Wuppertal
Lehr und Forschungsgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke
Pauluskirchstr. 7, 42285 Wuppertal
FWehr@uni-wuppertal.de

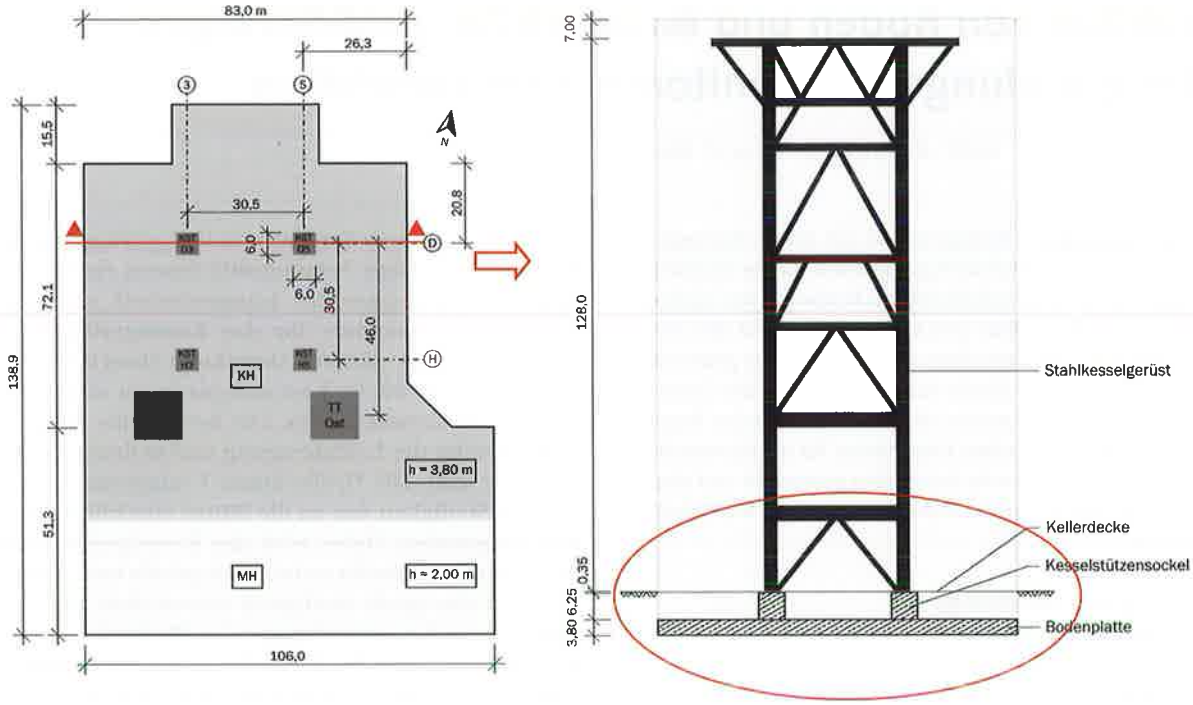


Bild 1. Grundriss und Querschnitt der Bodenplatte der Hauptkomponenten

Bild 2. Bodenplatte in der Bauphase 2006 / 2007

gerüst (Bild 1, rechts). Die in den Kesselgerüststützen gebündelten Lasten werden über vier 6 m x 6 m x 6 m große Stahlbetonsockel in die Bodenplatte eingeleitet. Das Maschinenhaus befindet sich unter dem südlich gelegenen zwei Meter dicken Bereich der Bodenplatte. Hier weist die Bodenplatte mit 106,0 Metern Breite ebenfalls überdurchschnittlich große Abmessungen auf (**Bild 2**).

1.3 Projektbeteiligte

Die Projektbeteiligten waren:

- BUW – Bergische Universität Wuppertal, Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Harte
- ELE – Beratende Ingenieure GmbH Erdbaulaboratorium Essen, Prof. Dr.-Ing. D. Placzek
- GMB – Gesellschaft für Montan- und Bautechnik mbH
- UL – Technische Universität Leipzig, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. N.V. Tue (nur in Projektphase Pos. 1, danach eigenständiges F+E-Vorhaben)

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgte in den Projektphasen:

- Pos. 1: Konzeption und Planung des Messprogramms (10/2006 – 05/2007; Federführung: BUW)
- Pos. 2: Sensorik – Vergabe, Installation und Inbetriebnahme (12/2006 – 05/2008; Federführung: BUW)
- Pos. 3: Auswertung – Herleitung von Kennwerten und Modellbildung (11/2007 – 12/2010; Federführung: ELE)
- Pos. 4: Langzeitmessungen (11/2012 – 11/2014; Federführung: BUW)

2 Beschreibung des Messprogramms

2.1 Beanspruchung des Baugrundes

Der Baugrund besteht bis in große Tiefe aus Fein- bis Grobsanden. Nur vereinzelt sind Feinkiese und Schluffe eingelagert, sodass insgesamt die Baugrundverhältnisse weitestgehend homogen sind.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden drei unterschiedlich große Flächengründungen im Hinblick auf ihr Trag- und Verformungsverhalten unter Berücksichtigung der jeweiligen Überbausteifigkeit messtechnisch beobachtet. Im Vordergrund dieses Beitrags steht nur die in Abschnitt 1.2 beschriebene Kesselhausgründung auf einer Stahlbetonplatte 138,9 m x 83 m mit einer Dicke von 3,80 Metern. Die Betrachtung der kleineren Gründungen des REA-Schaltanlagengebäudes (Fläche 41 m x 12 m) und der Kohlebrandbrücke (Fläche 8 m x 3 m) bleibt späteren Veröffentlichungen vorbehalten.

Messtechnisch wurden sowohl die Spannungen im Bauwerk und unter der Gründung als auch die Verformungen des Bauwerks und des Baugrundes erfasst. Die Messperiode umfasste dabei im Zeitraum 2006 bis 2014 alle Bau- und Betriebszustände vom Aushub der Baugruben und Bau des Kraftwerks bis zur Inbetriebnahme und schließlich zum Dauerbetrieb. Vergleichende Messungen im Winter und Sommer nach der Inbetriebnahme dienten zur Gewinnung von Informationen über den Einfluss von Temperatureinflüssen auf die Bauwerksbeanspruchungen.

Das geotechnische Messprogramm bestand, wie in **Bild 3** dargestellt, neben umfangreichen Höhennivellements im Wesentlichen aus Messungen der Sohldrücke mit 25 Sohldruckgebern sowie Messungen der räumlichen Verschiebungen im Baugrund mittels sechs Stangenextensometern und 19 Bohrungen mit einer Verrohrung für die Bohrlochstreckenmesssonde (BES), System Glötzl. Die Kombination aus Inkrementalextensometern und Inkrementalinklinometern der BES-Messungen ermöglichten dabei die Messung der vertikalen und horizontalen Verschiebungen im Baugrund über die Tiefe mit einer Tiefenauflösung von einem Meter. Durch die zusätzliche Anordnung der Stangenextensometer wurde das Messprogramm zur Identifizierung möglicher Messfehler redundant ausgebildet [3].

Die Systemlänge der Stangenextensometer und der BES-Rohre wurden in Abhängigkeit von der Fundamentbreite so gewählt, dass am Fußpunkt keine nennenswerten Einflüsse aus dem Bauwerk und seiner Herstellung zu erwarten waren. Entsprechend band die Messtechnik bis zu 70 Meter in den Baugrund unterhalb der Gründungsebene ein. Die Sohldruckgeber (**Bild 4**) wurden wenige Zentimeter unterhalb der Sauberkeitsschicht eingebaut und arbeiteten nach dem Prinzip eines Druckkissens mit manueller Auslesung.

Die Messtermine richteten sich nach dem Baufortschritt und nach einwirkungsabhängigen Bauzuständen, zu denen Laständerungen eintraten (z. B. Aushub der Baugruben, Betonage der Sohlplatte etc.).

2.2 Beanspruchung der Bodenplatte

Erkenntnisse über den Lastabtrag aus der Kesselstütze über die massige Bodenplatte in den Baugrund wurden anhand von Dehnungsverteilungen über den Querschnitt an maßgebenden Stellen erlangt. Die Dehnungsverteilung wurde mittels Schwingsaitenaufnehmern aus Messwerten der Stahldehnung in der Biegebewehrung und der Betondehnung in der Plattenmitte und an der Bauteiloberkante bestimmt (**Bild 5**). Die Stahldehnungen wurden in beiden Richtungen des Bewehrungsnetzes gemessen. Die Betondehnungen wurden zusätzlich in der Dickenrichtung der Platte gemessen. Zur Untersuchung des räumlichen Abtrags wurden Messungen in drei Achsen vorgenommen – ausgehend vom Mittelpunkt des Kesselstützensockels D5 jeweils um 45° versetzt. Zur Untersuchung der Durchstanzbeanspruchung im Gebrauchslastbereich wurden zusätzlich Stahldehnungssensoren an der Durchstanzbewehrung appliziert. An jedem Messpunkt wurde zusätzlich die Temperatur ermittelt. An einer Messstelle wurde die geplante Sensorik durch die Übernahme der Sensorik aus dem Kurzzeitmessprogramm der TU Leipzig [4] ersetzt. Hierdurch standen neben acht Schwingsaitenaufnehmern über die Höhe auch zwei Stressmeter zur Messung der Betonspannungen zur Verfügung.

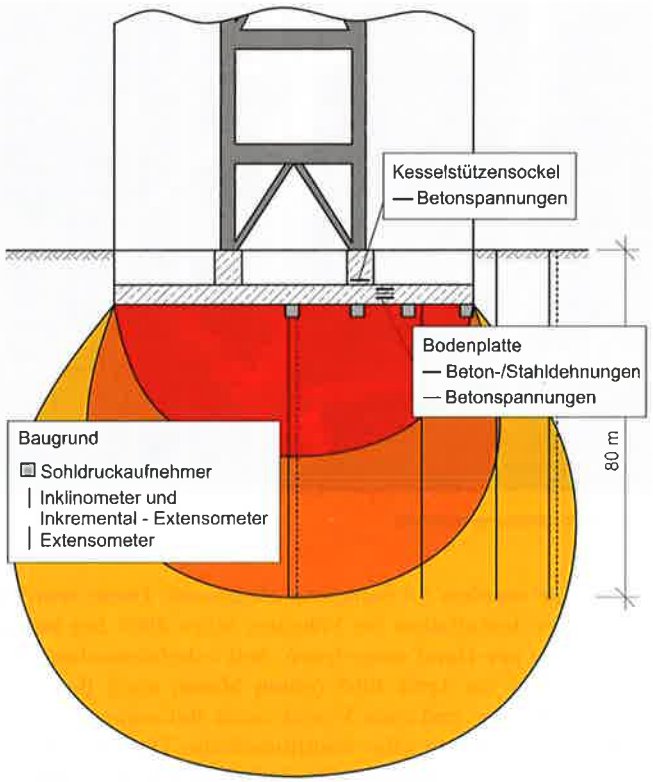


Bild 3. Messbereiche

Bild 4. Sohldruckgeber

Bild 5. Betondehnungssensoren

Bild 6. Druckkissen im Mörtelbett

Insgesamt wurden 45 Sensoren eingebaut. Diese wurden nach ihrer Installation im Februar/März 2007 bei jedem Ortstermin per Hand ausgelesen. Seit Inbetriebnahme des Datenloggers im April 2007 (einen Monat nach Betonage der Bodenplatte und eine Woche nach Betonage des Stützensockels) erfolgte eine kontinuierliche Datenauslesung über ein analoges Modem. Die Aufschaltung der zehn zusätzlichen Sensoren der MST7 erfolgte Ende Juni 2007.

2.3 Erfassung der Kesselstützenlast

Die Lasten, die aus dem Kessel über die Gerüststützen abgetragen werden, wurden exemplarisch am Stützensockel D5 messtechnisch bestimmt. Dies diente der Verifikation der in der statischen Berechnung angesetzten Anlagenlasten gemäß [5] sowie gleichzeitig der Ermittlung der den Verformungsmessungen gegenüberzustellenden Einwirkungen.

Zur Bestimmung der Lasten der Kesselgerüststütze wurden im Übergangsbereich von Sockel zu Bodenplatte neun Druckkissen installiert (**Bild 6**), um die ungleichmäßige Spannungsverteilung detektieren zu können. Aus dieser Druckverteilung wurde anschließend durch Integration die Kesselstützenlast abgeleitet. Allerdings werden die Messergebnisse erheblich durch die Verformungen der Bodenplatte aus den saisonalen Temperaturschwankungen beeinflusst, wie in Abschnitt 3.3 näher ausgeführt werden soll.

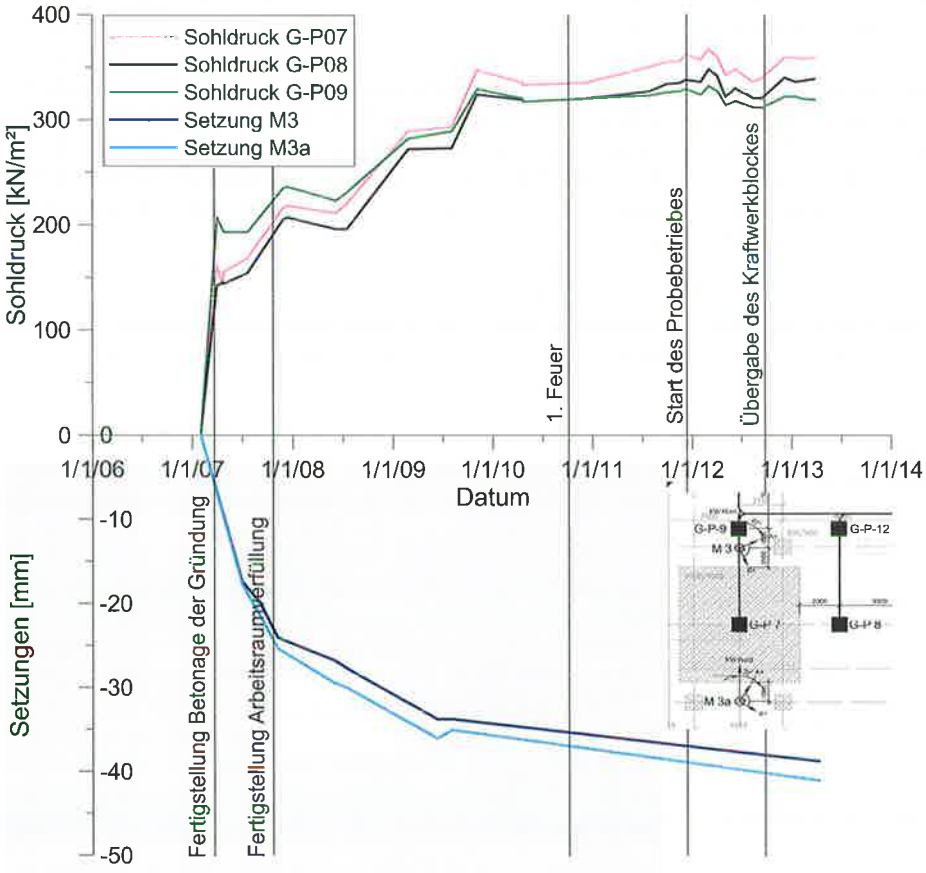


Bild 7. Gemessene Sohlnormaldrücke und gemessene Setzung im Bereich einer Kesselgerüststütze unter der Bodenplatte

3 Ergebnisse

3.1 Baugrund

Mit den Messungen wurde das Spannungs-Verformungsverhalten des in situ vorliegenden Baugrundes im Einflussbereich der Fundamente in Interaktion mit der Gründung und den Fundamentlasten erfasst. Exemplarisch sind in **Bild 7** die im Bereich einer Kesselhausstütze unter der großen Bodenplatte gemessenen Sohldrücke und Setzungen den Bauzuständen zugeordnet worden.

Deutlich erkennbar ist der signifikante Einfluss der ständigen Lastanteile aus dem Eigengewicht der Bauwerksstruktur und aus der Bauaktivität gegenüber den betrieblichen Einwirkungen. Der Vergleich der unmittelbar unterhalb der Kesselstütze gemessenen Sohldrücke (Sohldruckgeber G-P 7) mit den benachbarten Sohldruckgebern (G-P 8 und G-P 9) gibt Aufschluss über die Lastausstrahlung. Der zeitliche Verlauf der Setzungen zeigt eindeutige Paralle-

len zu den Belastungszuständen. Hebungen infolge des Baugrubenaushubs waren zu verzeichnen, sind aber in dem in Bild 7 wiedergegebenen Zeitraum nicht enthalten.

Aus den Messungen wurde gegenüber der klassischen, stichprobenartigen Ermittlung von Bodenkennwerten mittels Laborversuchen für die Grundgesamtheit des Baugrundes im Einflussbereich der Gründungen eine geringere Zusammendrückbarkeit und damit eine höhere Steifigkeit des Baugrundes am Standort Boxberg abgeleitet.

Darüber hinaus bestätigten die Verformungsmessungen, dass der überwiegende Anteil der Setzungen bei den vorliegenden Baugrundverhältnissen in einem Zeitraum von drei bis sechs Monaten abklingt. Nennenswerte saisonale Setzungen oder Hebungen der Fundamente durch den Einfluss der Witterung wurden im Betriebszustand nicht festgestellt.

Für die Gründungssituation wurde ein numerisches Baugrundmodell entwickelt (**Bild 8**), dessen physikalische Kennziffern anhand des Vergleiches von zweidimensionalen numerischen Berechnungsergebnissen mit den gewonnenen Messdaten für den Standort Boxberg kalibriert wurden. Insbesondere konnten die Kennziffern des physikalischen Modells einheitlich für die drei unterschiedlich belasteten und unterschiedlich großen Gründungskonstruktionen verifiziert werden. Erwartungsgemäß dominierten die Belastungsschwerpunkte im Bereich des Treppenturmes und der Kesselhausstützen das Last-Verformungsverhalten der Kesselhausplatte.

Neben der zutreffenderen Bestimmung der Eigenschaften des in situ vorliegenden Baugrundes wurde mit der Kombination aus umfangreichen Messungen und numerischen Berechnungen auch eine Verbesserung der Modellbildung zur Abschätzung der Setzungen und der Bettung vergleichbarer Bauwerke vorgenommen. Die Erfassung des räumlichen Lastabtrags im Boden bleibt der ganzheitlichen Finite-Elemente-Modellierung in Abschnitt 3.4 vorbehalten.

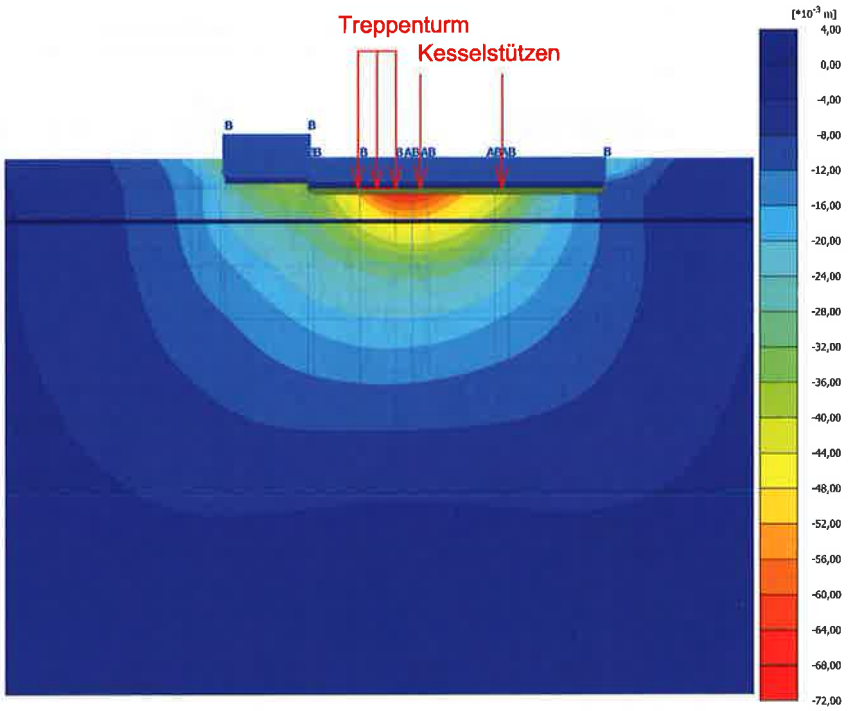


Bild 8. Berechnete Vertikalverschiebungen im Betriebszustand, Kesselhaus, Längsschnitt

3.2 Bodenplatte

Bei der Untersuchung der Plattenbeanspruchung stellte sich heraus, dass die Bodenplatte erheblichen saisonalen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist (**Bild 9**). Diese bestehen hauptsächlich aus einem linearen Temperaturgradienten [6]. Im Bauzustand treten Differenzen zwischen der Temperatur an Unter- und Oberkante von etwa $T_{Bau} = +8\,K/-5\,K$ auf. Im Betriebszustand heizt sich der Keller auf, wodurch es zu einer Abminderung des Gradienten auf etwa $T_{Betrieb} = +2\,K/-5\,K$ kommt. Entgegen der Erwartung, dass sich im laufenden Betrieb ein konstanter Gradient einstellt, ist auch nach drei Jahren der saisonale

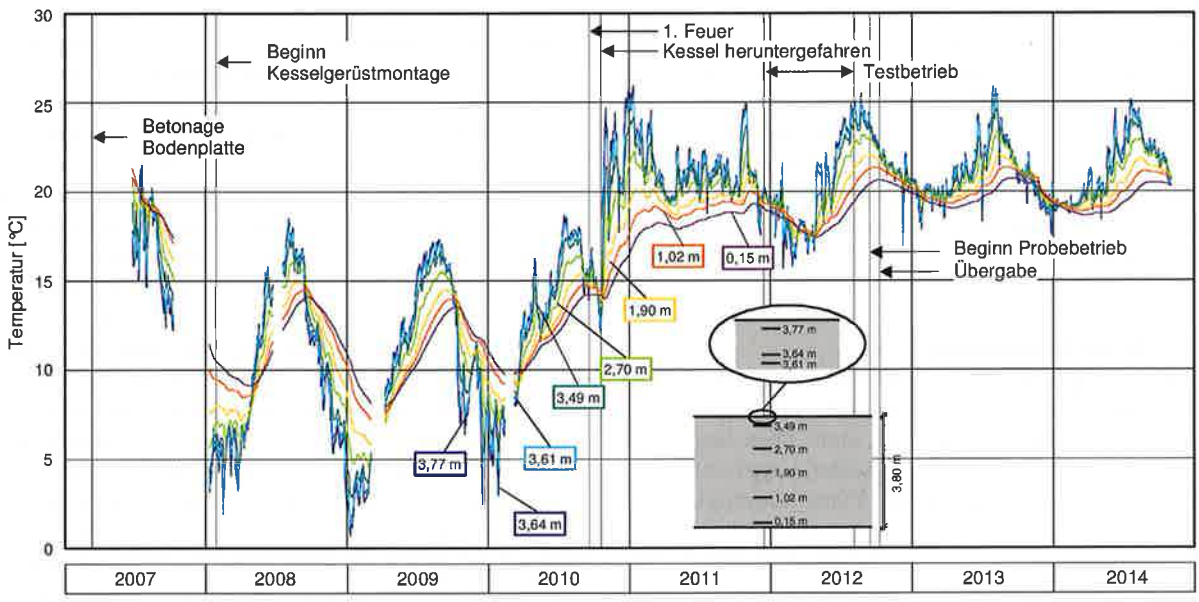


Bild 9. Temperaturganglinie im ausgewerteten Zeitraum

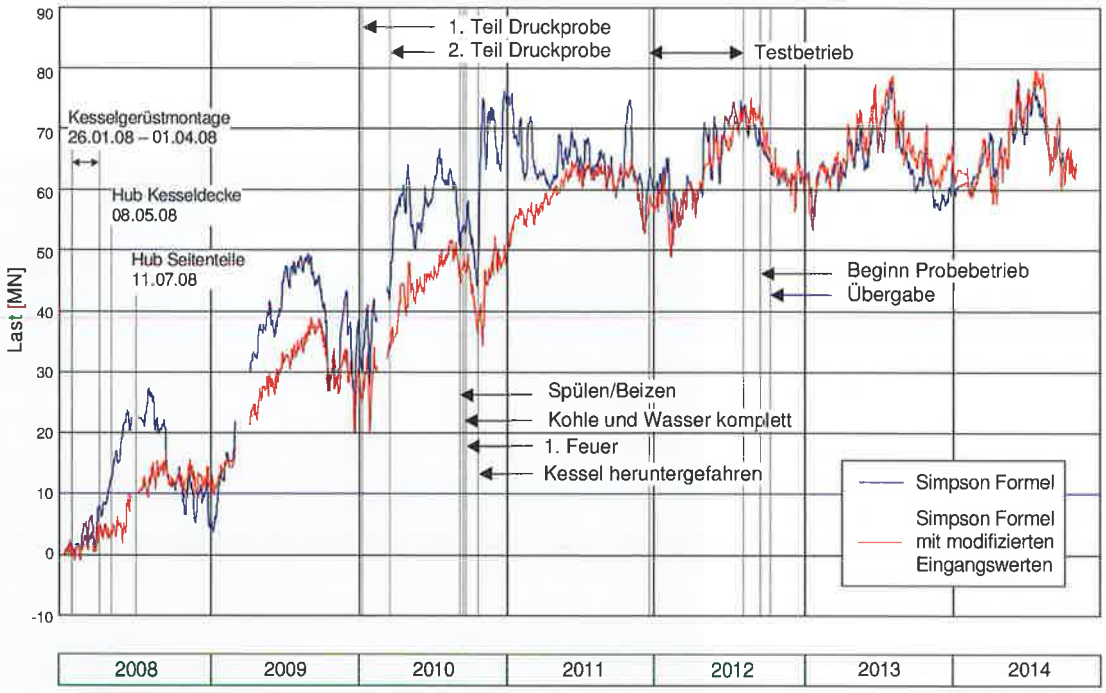


Bild 10. Abgeleiteter Lastverlauf Kesselgerüststütze D5

Temperaturgang immer noch messbar, allerdings nun bei kleineren Amplituden.

Aufgrund der Massigkeit der Platte ist eine Verkrümmung der Platte infolge des Temperaturgradienten nicht möglich, wodurch eine Biegezwangbeanspruchung resultiert. Diese ist bei der Bemessung zu berücksichtigen. Etwa 50 Prozent der ermittelten Zwangspannungen relaxieren, wobei für einen positiven Temperaturgradienten eine größere Relaxation beobachtet wird als für einen negativen Gradienten. Im Vergleich zu den Lastbeanspruchungen stellen sich die reduzierten Zwangbeanspruchungen jedoch immer noch als deutlich größer heraus. Hingegen kann sich eine horizontale Ausdehnung der Platte zwängungsfrei einstellen.

Durch den Hydratationsprozess wird an der Plattenober- und -unterkante eine Druckspannung in den Querschnitt eingeprägt. Diese wird im Biegezugbereich an der Plattenunterkante erst allmählich durch die Lastbeanspruchung reduziert. Dies in Kombination mit den in der Statik rechnerisch höher angesetzten Lasten führt dazu, dass die Platte im untersuchten Bereich vorwiegend im ungerissenen Zustand verbleibt.

Aus dem Vergleich der Mess- und Rechenergebnisse lässt sich die Annahme eines plattenartigen Tragverhaltens auch für massige Querschnitte mit entsprechend großen Längenabmessungen bestätigen. Die lokale Lasteinleitung im Bereich der Kesselgerüststützen ist mit einem Volumenmodell bestimmbar.

3.3 Lastermittlung Kesselstützen

Die Einleitung der Kesselstützenlast aus dem Sockel in die Bodenplatte findet hauptsächlich über die Außenbereiche, insbesondere über die Eckbereiche, statt. Dies begründet sich in der größeren Steifigkeit des Sockels gegenüber der Bodenplatte, wodurch dieser in die Platte hineingedrückt wird und dort eine Setzungsmulde hervorruft.

Bei der Ermittlung der Stützenlast ist eine Separation der temperaturinduzierten Anteile aus den gemessenen Spannungen nicht ohne weiteres möglich, da eine Überlagerung mehrerer nichtlinearer Einflüsse vorliegt. Durch einen pragmatischen Ansatz konnten jedoch die Zwangspannungen eliminiert und die Last bestimmt werden.

Die aus den Messergebnissen der Druckkissen abgeleitete Last beträgt nur etwa 50 Prozent der charakteristischen Berechnungslast der Kesselstütze von etwa $N_k = 160\,MN$ (**Bild 10**) und liegt somit in der Größenordnung der als setzungswirksam geltenden Lasten (nach Statik max. 99 MN).

3.4 Ganzheitliche Modellierung

Um zu überprüfen, ob sich die ermittelten Messwerte durch eine FE-Berechnung prognostizieren lassen, wurde ein dreidimensionales Modell von Bodenplatte und Bodenhalbraum erstellt (**Bild 11**). Der Boden wird hierbei durch Volumenelemente idealisiert. Für die Berücksichtigung der nichtlinearen Materialeigenschaften im Rahmen dieses ganzheitlichen Modells ist ein Stoffgesetz heranzuziehen, das die Verfestigung aufgrund volumetrischer Dehnung zutreffend beschreibt, wie etwa das verwendete Hardening-Soil-Modell. Zur Abbildung der Bodenplatte ist eine Modellierung mittels Plattenelementen mit einem linear-elastischen Materialgesetz ausreichend. Bei großflächigen Lasten wie etwa den Kesselstützenlasten ist darauf zu achten, dass diese auf die Mittelfläche verteilt angesetzt werden. Über die Genauigkeit der numerischen Abbildung der Lasteinleitung können deutliche Reduktionen des berechneten Stützmoments in einer Größenordnung von etwa 40 Prozent erzielt werden. Ebenso ist eine Abbildung der Kesselstützensockel durch Volumenelemente sinnvoll, um den Setzungsverlauf der Bodenplatte im Bereich des Kesselgerüsts genauer zu beschreiben. Das Kesselgerüst selbst wie auch die Kellerwände und -decken haben keinen signifikanten Anteil an der Aussteifung. Insofern kann die numerische Modellierung auf die Bodenplatte reduziert werden. Bei Bauwerken, bei denen hingegen die Bauwerkssteifigkeit im Vergleich zur Bodenplattensteifigkeit deutlich größer ist, ist eine Berücksichtigung des aussteifenden Überbaus im FE-Modell angeraten.

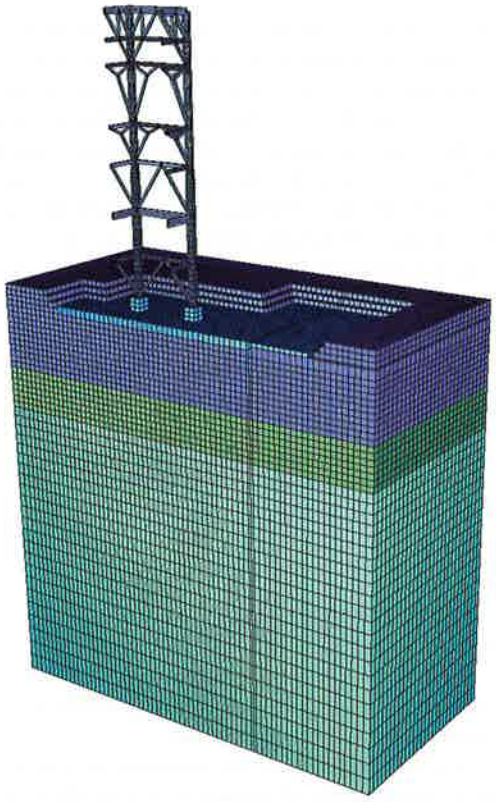


Bild 11. FE-Modell der Bodenplatte mit Bodenhalbraum

Mit dem entwickelten ganzheitlichen Modell konnten die gemessenen Setzungen nachvollzogen werden. In **Bild 12** sind die geodätisch gemessenen Setzungen markiert. Die Linien geben den im FE-Modell berechneten Setzungsverlauf wider. In anschließenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Einflüsse aus nebenstehenden Gebäuden, Anlagen oder Kranen für die Setzungen der Bodenplatte vernachlässigbar sind. Die Sohlspannungen stellen sich bei dem vorliegenden Steifigkeitsverhältnis zwischen Bodenplatte und Baugrund als wenig sensitiv dar.

Eine Änderung der angesetzten Bodensteifigkeit wirkt sich annähend linear auf das Setzungsergebnis aus. Die schraffierten Bereiche in Bild 12 veranschaulichen die möglichen Setzungsverläufe bei Änderung der Bodensteifigkeit um ±10 %. Bei einem Baugrund mit einer um zehn Prozent höheren Bodensteifigkeit werden auch annähernd um zehn Prozent kleinere Setzungen ermittelt. Die Bodensteifigkeit ist zusammen mit der angesetzten Tiefe des Baugrundausschnitts die entscheidende Größe für die Berechnung der Setzungen, beides Angaben, die nur vom Sachverständigen für Geotechnik geliefert werden können.

4 Erkenntnisse

Aus dem Forschungsvorhaben sind vielfältige Erkenntnisse zum Baugrundverhalten, zu den Einwirkungen, zur Messtechnik und zur numerischen Modellierung erwachsen, von denen hier die wichtigsten wiedergegeben werden sollen:

Baugrund

Die Einwirkung aus der Gründung reicht bis zu einer Tiefe von etwa der 4-fachen Plattenbreite.

Für die Setzungsberechnung mit geschlossenen Formeln und Annahme rein elastischer Materialeigenschaften werden bei einer Grenztiefe in der Größenordnung der 2-fachen Plattenbreite bei Ansatz eines mit der Tiefe zunehmenden Steifemoduls zutreffende Ergebnisse erzielt. Bei Ansatz eines nicht tiefenabhängigen Steifemoduls sollte die Grenztiefe gleich der 3-fachen Plattenbreite angesetzt werden.

Für numerische Analysen ist eine Modellierungstiefe des Baugrundes über das 3-fache der Plattenbreite hinausgehend zu empfehlen.

Die Einwirkungen aus der Gründung beeinflussen den Baugrund nur bis zur 0,2-fachen Plattenbreite seitlich über die Bodenplatte hinaus. Für numerische Analysen ist eine Modellbreite in Größe der 0,5-fachen Plattenbreite über die Gründungsstruktur hinaus zu empfehlen.

Der überwiegende Anteil der Setzungen ist bei den Baugrundverhältnissen am Standort Boxberg in einem Zeitraum von drei bis sechs Monaten nach vollständiger Lastaufbringung abgeklungen.

Kesselstützenlast und Beanspruchung Platte

Die aus den Messergebnissen abgeleitete Last beträgt nur etwa 50 Prozent der charakteristischen Berechnungslast der Kesselstütze, wie sie in der statischen Berechnung zugrunde gelegt worden ist.

Der Stützensockel ruft eine „Setzungsmulde“ in der Bodenplatte hervor. Der Lastabtrag findet deshalb hauptsächlich über die Außenbereiche (im Besonderen die Ecken) statt. Die Mitte bleibt annähernd lastfrei.

Die Bodenplatte unterliegt einem bemessungsrelevanten Biegezwang aus saisonalen Temperaturänderungen. Durch die rechnerisch höher angesetzten Lasten und die eingeprägte Druckbeanspruchung verbleibt die Platte im

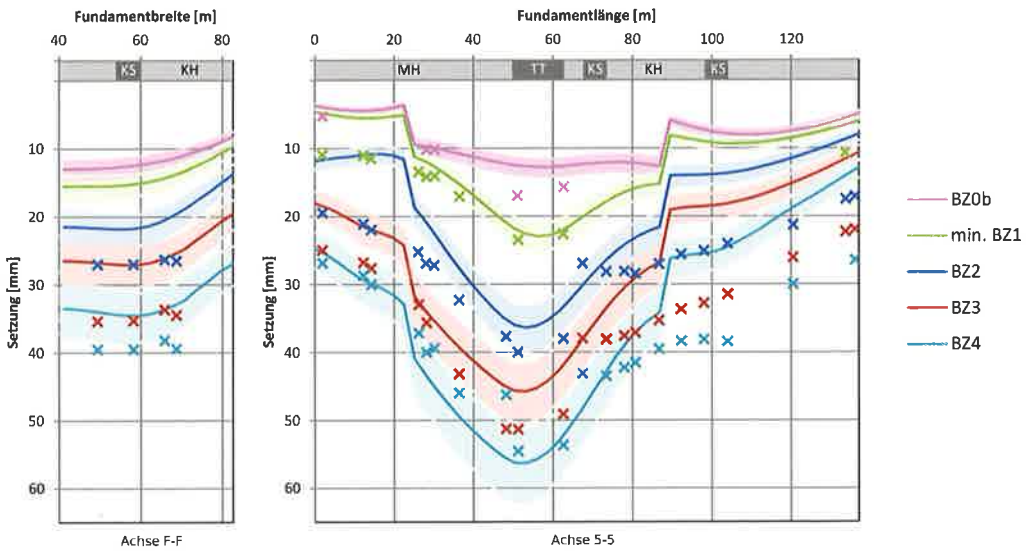


Bild 12. Setzungsentwicklung bei Veränderung der Bodensteifigkeit

untersuchten Bereich vorwiegend im ungerissenen Zustand.

Ganzheitliches FE-Modell

Für eine realitätsnahe Abbildung des interaktiven Tragverhaltens zwischen Boden und Bauwerk ist eine 3D-Modellierung notwendig.

Als Stoffgesetze können angesetzt werden:

- Boden: Hardening-Soil-Modell
- Bauwerk: linear-elastisch

Trotz ihrer großen Dicken kann die Bodenplatte aufgrund der gleichfalls großen Längenabmessungen nach der Plattentheorie idealisiert werden.

Die Lastflächen für die Kesselstützen sind auf die Mittelfläche der Platte zu beziehen, wobei eine Lastausbreitung von 45° angesetzt werden kann.

Der Beitrag der Überbausteifigkeit aus Kesselgerüst und Kellerwänden und -decken zur Aussteifung der Bodenplatte ist vernachlässigbar.

5 Schlussfolgerungen

Mithilfe des entwickelten ganzheitlichen Modells kann in Zukunft das Baugrundrisiko vermindert werden. Setzungen können zutreffender abgeschätzt werden, weil die Lastausbreitung im Baugrund realistischer abgebildet werden kann. Zudem verkürzt sich durch den Wegfall iterativer Berechnungsschleifen zwischen dem Sachverständigen für Geotechnik und Tragwerksplaner die Planungszeit.

Eine genauere Ermittlung der Lastansätze der Kesselstützenlasten führt zu einer deutlichen Einsparung bei der Bemessung der Bodenplatte sowohl hinsichtlich Dicke als auch Bewehrungsgrad. Der Ansatz einer deutlich erhöhten Bodensteifigkeit gegenüber den bisherigen Annahmen kann zu einer weiteren Bewehrungsreduktion führen. Jedoch sind andererseits die saisonalen Temperatureinflüsse bei der Bemessung der Bodenplatte zu beachten, die im Bauzustand zu erheblichen Zwangbeanspruchungen führen und die selbst bei konstantem Kraftwerksbetrieb immer noch abgeschwächt auftreten.

Letztlich können mit einem ganzheitlichen Modell auch die Folgen aus anderen Belastungszuständen zutreffender abgeschätzt werden. Während die am Bauwerk durchgeführten Messungen systembedingt nur Aussagen über den Gebrauchszustand der Gründung erlauben, nicht aber über den Grenzzustand der Tragfähigkeit des Baugrundes, lassen sich die Einwirkungen im numerischen Modell fiktiv bis zum Bruchzustand des Bodens steigern. Somit leistet das Modell sowohl einen Beitrag zur Instandhaltung der bestehenden Kraftwerkskomponenten als auch zur Bemessung künftiger Gründungsmaßnahmen am Standort Boxberg, sowohl im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit als auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Die Verfasser danken der Vattenfall Europe Generation AG für die Finanzierung und Förderung der Forschungsarbeiten.

Literatur

[1] *Gräfer, H.; Knopf, E.*: Ermittlung und Verfolgung von Setzungen. *In: Krolewski, H.* (Hrsg.): Bautechnik in Wärmekraftwerken. Band 09, VGB PowerTech Service GmbH, Essen, 1993.

[2] *Knopf, E. et al.*: Verformungen von Gründungskonstruktionen großer Dampferzeugergerüste und ihre Auswirkungen. *In*: VGB Kraftwerkstechnik 77 (1997), Heft 10, S. 867 – 873.

[3] *Placzek, D.; Vittinghoff, T.; Schneider, H.*: Berücksichtigung der Interaktion Baugrund / Bauwerk bei großflächigen Plattengründungen. *In: Harte, R.; Pulsfort, M.* (Hrsg.): Bauen auf gutem Grund – Die Bemessung von Gründungen nach neuer Normengeneration. Tagung der Ingenieurkammer West e.V., Dortmund 30. November 2007.

[4] *Tue, N. V.; Schlicke, D.; Schneider, H.*: Zwangbeanspruchung massiver Kraftwerks-Bodenplatten infolge der Hydratationswärme. *In*: Bautechnik 86 (2009), Heft 3, S. 142 – 149.

[5] *VGB-R 602 U*: Angabe und Verarbeitung von Lasten beim Bau konventioneller Kraftwerke. VGB-Verlag, Essen, 2005.

[6] *Stopp, K.*: Trag- und Verformungsverhalten großflächig gegründeter Stahlbetontragwerke unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion. Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau, Heft 16, Bergische Universität Wuppertal, 2010.

Bauen mit Mietsystemen und Raummodulen

G. Jösch

Zusammenfassung Mietsysteme, auch als Container bezeichnet, werden dort eingesetzt, wo für eine begrenzte Zeit Wohn-, Nutzraum oder Büroflächen zur Verfügung gestellt werden muss. Sie bestehen in der Regel aus einer Stahlrahmenkonstruktion mit Wandausfachungen, die außenseitig mit einer Trapezblechbekleidung abschließen. Neben diesen Mietsystemen werden mittlerweile weiterentwickelte Systeme für das modulare Bauen eingesetzt. Raummodule werden individuell und objektbezogen geplant. Diese Gebäude müssen in Qualität, Ausstattung und Lebensdauer keinen Vergleich mit konventionell errichteten Gebäuden scheuen. Auch hier ist die Basis meist eine Stahlrahmenkonstruktion mit Abmessungen, die sich aus dem Objekt ergeben und Wand-, Decken- und Bodenaufbauten nach Vorgaben der Planung. Alternativ zu den Stahlkonstruktionen stehen mit einem sehr geringen Marktanteil Module aus Holz oder Beton zur Verfügung.
Mietsysteme stehen in ihrem Lebenszyklus für mehrere Nutzungsdauern zur Verfügung und lassen sich beim Rückbau nahezu sortenrein trennen. Diese positiven Eigenschaften spiegeln sich auch beim Bauen mit Raummodulen wieder, wobei dort in der Regel eine einmalig Nutzungsdauer über den gesamten Lebenszyklus gegeben ist. Alle Systeme bieten einen hohen Grad der industriellen Vorfertigung mit optimierten Prozessabläufen, kurzen Bauzeiten und dadurch bedingt einem frühen Kapitalrückfluss.

1 Geschichtlicher Rückblick

Die Ursprünge des Behältertransports gehen zurück bis auf das späte 18. Jahrhundert. In den Kohleminen Mittelenglands eröffnete Benjamin Outram im Jahr 1795 die Little Eaton Gangway, auf der Kohle mittels speziellen Wagen transportiert wurden. Die mit Kohle beladenen Pferdefuhrwerke hatten die Form von Container und wurden anschließend über den Derby Kanal verschifft.
Ende der 1930er-Jahre setzte Malcom McLean, ein ehemaliger Fuhrunternehmer, als einer der ersten die Idee einheitlicher Behälter für Transport und Lagerung um und entwickelte dieses System kontinuierlich weiter. So verlud er erstmals komplette Lkws unterschiedlicher Größe auf Schiffe. Daraus wurden dann einheitliche Behälter mit dazu passendem Trailer entwickelt, wodurch das Beladen der Schiffe optimiert wurde. In einer nächsten Entwicklungsstufe konzipierte man dann Trailer und Behälter so, dass sie voneinander trennbar waren und nur noch die Behälter transportiert werden mussten. Als weltweit erstes Containerschiff ist die Ideal X zu bezeichnen, die am 26. April 1956 Newark (New Jersey) verließ und 58 Behälter nach Houston (Texas) transportierte [1]. Damit war der Grundstein für eine neue Transportform gelegt, die den weltweiten Warenaustausch in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts revolutionierte. Aktuell verfügen die 20 größten Reedereien weltweit über circa 2.500 Containerschiffe mit einer Transportkapazität von circa 11,5 Millionen 20-Fuß-Container [2]. Die Mehrzahl der verwendeten Container entspricht heute der ISO Norm, die neben den Standard- und Maximalabmessungen wesentliche Details für Transport- und Hebeeinrichtungen sowie den zu verwenden Materialien beinhaltet. Dabei haben sich mittlerweile zwei Containertypen und zwar die 20-Fuß- und 40-Fuß-Frachtcontainer (L x B x H: 6,095 m / 12,192 m x 2,438 m x 2,591 m) durchgesetzt, die auch mit unterschiedlichen Höhen wie beispielsweise 2,60 Meter und 2,40 Meter bis hin zu Höhen von 2,90 Metern erhältlich sind. Der Standardcontainer besteht in der Regel aus einer Konstruktion mit normierten langsam-rostendem Stahlprofilen und tragenden Wänden (COR-TEN-Stahl). Der Neupreis für 20-Fuß-Container beträgt circa 2.500 Euro, in gebrauchtem Zustand sind sie für circa die Hälfte des Neupreises erhältlich. Die meisten Transportcontainer werden in Asien produziert und zur Kostenersparnis bereits bei der Auslieferung mit entsprechender Fracht bestückt.
Diese Frachtcontainer wurden auch relativ bald zweckentfremdet und anfänglich in unveränderter Form und Ausstattung als Geräteschuppen oder Lager eingesetzt. Dabei überzeugten die sehr niedrigen Kosten für ein vorgegebenes Tragwerk mit einer Witterungsschutzhülle von circa 200 Euro / m² sowie circa 60 Euro / m³. Die Weiterentwicklung in Verbindung mit Umbauten und Ergänzungen von Einbauteilen führte zu neuen Nutzungsarten, die einen dauernden Aufenthalt von Menschen zuließen. Im Vordergrund stand dabei die Nutzung als temporärer Wohn- und Büroraum. Der Umbau des Frachtcontainer-Rohlings war seinerzeit mit relativ hohen Kosten verbunden und erforderte eine besondere Berücksichtigung der statischen Konstruktion des Gebildes. Die Erfüllung bauphysikalischer Mindestanforderungen war zur damaligen Zeit nur bedingt gegeben.

2 Temporärer Containeranlagen und Modulgebäude

Der ursprüngliche Frachtcontainer wird bei den Mietsystemen in seinen Abmessungen, zum Teil auch in seinem Aussehen, beibehalten und als temporäre Containeranlage für Baustellen, Unterkünfte für Flüchtlinge und in Katastrophengebieten, Eventgebäude sowie als Interimsgebäude eingesetzt, wenn beispielsweise das eigentliche konventionell errichtete Gebäude einer Sanierung und Modernisierung unterzogen wird. Dabei steht im Vordergrund, dass die Nutzungsdauer zeitlich begrenzt ist und die dafür vorgesehenen einfachen Genehmigungsverfahren greifen.
Im Rahmen der industriellen Fertigung sieht der Aufbau meist eine tragende Rahmenkonstruktion vor. Die nichttragenden oder aussteifenden Flächenelemente beinhalten

Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Günter Jösch
Geschäftsführer Bundesverband Bausysteme e. V.
Leiter Fachverband Vorgefertigte Raumsysteme
Sachverständiger für Schäden an Gebäuden und Bewertung von bebauten und unbebauten Grundstücken
Alexanderstraße 29, 56075 Koblenz
Tel.: 0261 / 95229070
guenter.joesch @bv-bausysteme.de, www.bv-bausysteme.de
info@joesch.eu, www.joesch.eu

Fenster- und Türöffnungen, die haustechnischen Installationen und erfüllen bauphysikalische Anforderungen. Diese Anforderungen sind dabei in erster Linie durch die Landesbauordnungen und die Energieeinsparverordnung gegeben, die in Abhängigkeit von der Größe (bis zu 5 m² je Raumzelle) zwischen begrenzten Nutzungsdauern von zwei und fünf Jahren (meist Mietsysteme) und darüber hinausgehenden, bis zu Nutzungsdauern von mehreren Jahrzehnten (Modulbauweise) unterscheiden.

Mietsysteme sind in der Regel auf bis zu drei Geschossen stapelbar, mit verstärkten Konstruktionen können auch vier Geschosse zulässig sein. Werden die einzelnen Container nebeneinander gereiht oder aufeinander gestapelt, so sind in der Regel Dopplungen von Bauteilen vorgegeben. Lässt man diese Bauteile weg, zum Beispiel um einen größeren Raum zu erhalten, ist das statische Verhalten nachzuweisen. Temporäre Container können mehrfach, in unterschiedlicher Dauer und für verschiedene Zwecke genutzt werden. Dagegen können sie in Bezug auf Anordnung von Türen und Fenster nur bedingt an die Interessen der einzelnen Nutzer angepasst werden. Die nichttragenden Füllungen, sprich Wände und Deckenböden, sind austauschbar und garantieren diesbezüglich eine maximale Flexibilität und Variabilität der Module für die unterschiedlichsten Einsätze. Container im Mietbereich sind extrem nachhaltig, da sämtliche Bauteile nach dem Rückbau entweder sortenrein getrennt oder in einem weiteren Einsatz wiederverwendet werden können.

Bild 1. Eventgebäude Foto: Zeppelin Rental

Demgegenüber steht das modulare Bauen, das objektbezogen und individuell geplant wird. Das Prinzip des ehemaligen Frachtcontainers wurde dabei immer mehr auf dem Modulrahmen übertragen, wobei Größen unabhängig der ISO Vorgaben vorzufinden sind. Sie werden meist für einen einmaligen Einsatz über den kompletten Lebenszyklus geplant und sind nach den Bedürfnissen des Investors oder Nutzers ausgestattet. Die modularen Gebäude verfügen häufig über einen industriell in der Werkhalle vorgefertigten Kern. Auf der Baustelle werden die einzelnen Module zu einem Gebäude montiert, endausgebaut und nach den planerischen Vorgaben mit einer durchgängigen Fassade ergänzt.

Eine häufig genutzte Alternative ist die Kombination von modularen und konventionellen Bauteilen beispielsweise in der Form, dass das Kellergeschoss und/oder das Treppenhaus und Aufzugsanlagen konventionell hergestellt werden und alle sonstigen Räume als Module angedockt werden. Durch die Anordnung der Containern im Bereich des modularen Bauens ergibt sich eine Bandbreite von Raumlösungen, wobei sich eine leichte Disparität dadurch ergibt, dass die ursprünglich mobilen Container nun einen festen Standort haben, der den örtlichen Ansprüchen angepasst wurde.

Bild 2. Modulares Bauen; Modulares Gebäude in Kombination mit konventionellen Bauteilen, 6.300 m² Nutzfläche, 7 Monate Bauzeit Foto: KLEUSBERG

3 Wirtschaftlichkeit des modularen Bauens

Bei der Frage nach der Wirtschaftlichkeit des modularen Bauens sind sowohl die direkt dem Bauwerk zuzuordnenden Kosten (reinen Baukosten) wie beispielsweise die Kosten der Gründung, der Herstellung der Hausanschlüsse, der Errichtung und Ausstattung des Gebäudes ebenso in Betracht zu ziehen (hauptsächlich die Kostengruppen 300 und 400) wie die Kosten der Finanzierung und Vorfinanzierung und der Planung, die sich aus dem Zeitraum von der Idee bis zur ersten Nutzung ergeben. Dabei ist festzustellen, dass diese Kosten einen wesentlichen Anteil an der Gesamtfinanzierung eines Bauvorhabens ausmachen. Sie können grundsätzlich durch die Entscheidung, Gebäude in modularer Bauweise zu errichten, reduziert werden.

Die höchste wirtschaftliche und zeitliche Effizienz wird beim modularen Bauen dann erzielt, wenn die Planung frühzeitig darauf ausgelegt wird. Dies beinhaltet für den Investor und die Planer bereits zu einem frühen Stadium die Festlegung aller Details, um somit zu einer zielgerichteten, wirtschaftlich qualitativ hochwertigen Durchführung des Bauvorhabens beizutragen.

Bei nahezu gleichhohen Kosten für konventionelles und modulares Bauen in den Kostengruppen 300 und 400 ergeben sich beim modularen Bauen Einsparpotenziale durch eine bis zu 50 Prozent kürzere Bau- und damit Vorfinanzierungszeit. Dazu muss die Planung einschließlich der haustechnischen- und Ausstattungsplanung bei Baubeginn allerdings nahezu abgeschlossen sein. Zeitgleich zu der witterungsunabhängigen Herstellung der einzelnen Module im Werk können zudem auf der Baustelle bereits die Erdarbeiten, Gründung und Hausanschlüsse durchgeführt werden. Die werkseitige Vorfertigung gewährleistet durch technisch und wirtschaftlich optimierte Ablaufmechanismen eine rationelle, zeitoptimierte Produktion mit einem hohen Qualitätsstandard. Nachdem die Vorbereitungen auf der Baustelle abgeschlossen sind, können die vorgefertigten Modulare direkt dorthin geliefert, montiert und endaus-

gebaut werden. Der Endausbau kann bereits nach der Montage der ersten Module beginnen, sodass bei der Montage der letzten Module der übrige Teil des Gebäudes schon fertiggestellt ist.

In **Tabelle 1** sind die Vorteile und Nachteile des modularen Bauens denen der konventionellen Bauweise gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, dass in den meisten Bereichen das modulare Bauen im Vorteil ist.

Die frühzeitig abgeschlossene Planungsphase gewährt Planungs- und Kostensicherheit. Es besteht die Möglichkeit vor Beginn der Serienproduktion Musterräume zu fertigen, die den Investoren eine Auswahlmöglichkeit und die Option einer einfacheren Vermarktung geben.

Bezogen auf die reinen Baukosten besteht im oberen Qualitäts- und Ausstattungsbereich bei den erforderlichen Aufwendungen pro Quadratmeter Grundfläche oder pro Kubikmeter umbauten Raums sicherlich ein Gleichgewicht zwischen modularem und konventionellem Bauen. Je nach Ausführung und Ausstattung können die Quadratmeter- und Kubikmeter-Kosten in modularer Bauweise auch über denen bei konventioneller Bauweise liegen. Das Einsparpotenzial beim modularen Bauen ist aber vor allem auch im Lebenszyklus des Gebäudes zu sehen. Maßgebende Faktoren in diesem Sinne sind kürzere Vorfinanzierungszeiten, frühere Fertigstellung und Nutzbarkeit und der damit verbundene Kapitalrückfluss aus Vermietung, Leasing, Verpachtung oder Verkauf.

Tabelle 1. Vorteile und Nachteile des modularen Bauens und des konventionellen Bauens

		modulares Bauen			konventionelles Bauen		
Faktoren	**Bewertung**	+	•	-	+	•	-
Angebot	Preis		•				
	Lieferbereitschaft		•				
Finanzierung	Eigenkapital		•			•	
	Zinsen während der Bauzeit	+					
	Fremdfinanzierung	+					
	Leasing	+					
Bauzeit	Logistik	+					
	Ausführung (Baustelle/Werk)	+					
	Montage, Installation	+					
	Folgearbeiten bis Abnahme	+					
Herstellung	Energie		•				
	Rohstoffe		•			•	
	Ausstattung	+					
	Mitarbeiter	+				•	
	Koordination	+					
	Verantwortung	+				•	
Bauprozess	Planung			-		•	
	Koordination	+				•	
	Überwachung	+					
	Abnahme	+					
Wirkung	Optisch	+					
	Dauerhaft	+					
	Bekanntheit			-			

Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie sich die Kosteneinsparung beim Bau eines Hotels in modularer Bauweise darstellt:

Hotelneubau, 160 Zimmer [3]

Rechnungsannahmen:

- Bauzeitverkürzung 90 Tage
- Durchschnittlicher Zimmerpreis 80,00 €/Übernachtung
- Hotelauslastung 50 %
- Bausumme 12 Mio. €
- Anteil Eigenkapital 3,0 Mio. €
- Erf. Anteil Fremdkapital 9,0 Mio. €
- Durchschnittlicher Zinssatz 2,0 %

Zusätzlich Einnahmen, die sich aus der Bauzeitverkürzung ergeben
160 Zimmer x 90 Tage x 80,00 €/Übernachtung x 50 % Auslastung
= 576.000 €

Einsparung durch frühere Nutzungsmöglichkeit (Zinseinsparung)
(9.000.000,00 € x 90 Tage x 2,0 %) / 360 Tage
= 45.000,00 €

Einsparungen gesamt = 621.000 €

In **Tabelle 2** sind exemplarisch einzelne Gewerke für die Herstellung eines Gebäudes in konventioneller Bauweise mit circa 40 Arbeitsgängen zu Grunde gelegt. Bei der Darstellung der einzelnen Gewerke in einem Bauzeitenplan lässt sich erkennen, dass häufig nur wenige Arbeitsgänge parallel ausgeführt werden können oder nur die Arbeiten eines Gewerkes durchgeführt werden können. Gründe dafür sind unter anderem Baufeuchte, Trocknungsphasen und beengte Platzverhältnisse, um nur wenige Beispiele zu benennen.

4 Bauphysik

Die Bauphysik eines Gebäudes trägt maßgeblich zum Wohlbefinden und zum Schutz seiner Bewohner/Nutzer bei. Dabei geht es die Vorgaben wie beispielsweise des Brand- und Schallschutzes, der Energieeinsparverordnung (EnEV) zu erfüllen. Diese Bestimmungen und Verordnungen werden beim Bauen mit modularen Raumsystemen in gleicher Weise wie bei konventionellem Bauen eingehalten oder auch, je nach Anforderungen des Investors oder Planers, in höherer und verbesserter Weise erfüllt.

Dazu stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Als Beispiel soll hier aufgeführt werden, dass der Brandschutz einerseits mit baulichen Maßnahmen oder alternativ mit technischen Einrichtungen, die jeweils mit dem Bauherrn, der genehmigenden Behörde und der Feuerwehr abzustimmen sind, erbracht wird. Technische Einrichtungen sind dabei Rauch- und Feuermelder, Löschanla-

Tabelle 2. Vergleich der Leistungserbringer beim konventionellen bzw. modularen Bauen

	konventionelles Bauen															modulares Bauen						
	Gewerke																					
Leistung	Rohbauer	Maurer	Gerüstbauer	Putzer, Stukkateur	Trockenbauer	Hzg./San. Installateur	Fensterbauer	Estrichleger	Elektriker	Lüftungsbauer	Fliesenleger	Maler	Verfuger	Bodenleger	Schreiner	Rohbauer	Leistung im Werk	Gerüstbauer	Hzg./San. Installateur	Fassadenbauer, Stukkateur	Maler bauseits	Schreiner bauseits
Erschließung	•															•	•					
Gründung	•															•	•					
Medienanbindung	•															•	•					
Wände herstellen		•															•					
Decken einschalen, stützen	•																•					
Decken bewehren	•																•					
Decken betonieren	•																•					
Treppen einschalen	•																•					
Treppen bewehren	•																•					
Treppen betonieren	•																•					
Heizung + Sanitär Rohinstallation						•											•					
Fenster einbauen							•										•					
Innenputz aufbringen				•													•					
Innenwände im Trockenbau					•												•					
Kabelrohinstallation									•								•					
Estrich-Dämmung aufbringen								•									•					
Estrich herstellen								•									•					
Türzargen einbauen															•		•					
Lüftungen einbauen									•								•					
Außengerüst erstellen			•							•								•				
Ausmauerungen, Fensterbänke		•															•					
Außenputz/Fassade herstellen				•													•			•		
Feininstallation Heizung						•											•					
Anschluss Ver- und Entsorgung						•											•					
Untergrundvorbereitung Fliesenleger											•								•			
Fliesen Wand/Boden verlegen											•						•					
Fliesen Wand/Boden verfugen											•						•					
Wände/Decken spachteln				•								•	•				•					
Wände/Decken grundieren												•					•					
Vor- und Deckanstrich o. Tapezieren												•					•					
Dauerelastische Versiegelungen herstellen													•				•					
Feininstallation Elektro									•								•					
Feininstallation Sanitär						•											•					
Kosmetische Feinarbeiten												•									•	
Untergrundvorbereitung Bodenleger														•			•					
Bodenbelag aufbringen														•			•					
Türen einsetzen															•							•
Qualitätskontrolle	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Logistik	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Schallschutz DIN 4109	Modulbau-Standard	Anforderung nach DIN Bürogebäude
Außenwand	45-60 dB	40 dB
Decke	66 dB	52 dB
Dach	47 dB	40 dB
Innenwand Modulstoß	60 dB	45-55 dB
Wärmeschutz nach EnEV	**Modulbau-Standard**	**Referenzwerte**
Außenwand	0,24 W/m²K	0,24 W/m²K
Dach	0,17 W/m²K	0,20 W/m²K
Boden	0,29 W/m²K	0,30 W/m²K
Brandschutz	**Modulbau-Standard**	**F30 – F90**

Bild 3. Bauphysikalische Kennzahlen Grafik: KLEUSBERG

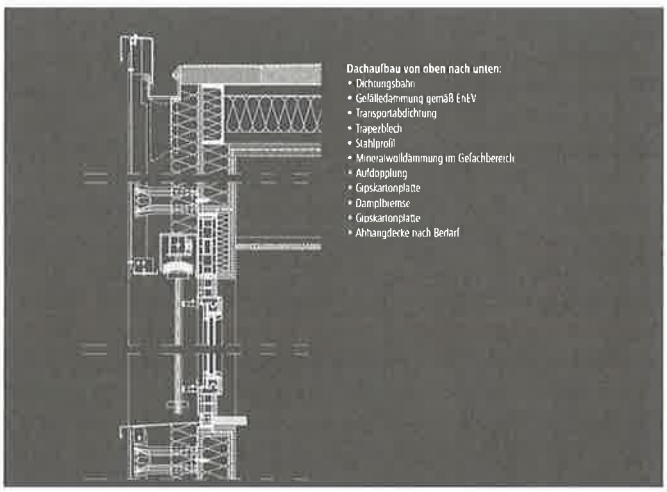
gen und ein gut konzipiertes Fluchtwegesystem. Weitere Maßnahmen ergeben sich beispielsweise durch Bauteildopplungen, die schalltechnisch voneinander getrennt sind. Als einfaches Beispiel ist das Übereinanderstapeln von Modulen zu nennen, die für jedes Geschoss eine separate Decken – und Bodenkonstruktion vorhalten.

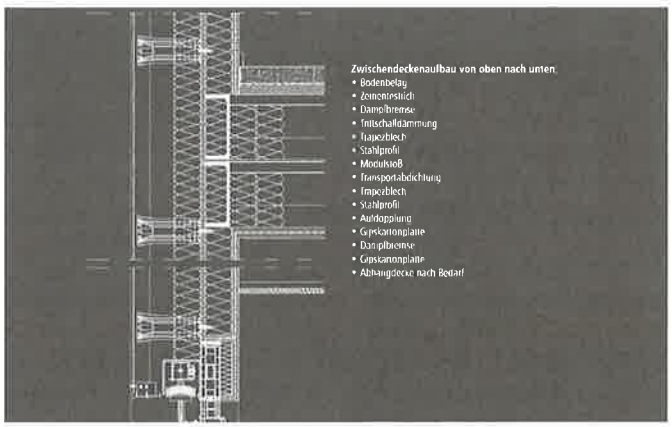
5 Zusammenfassung

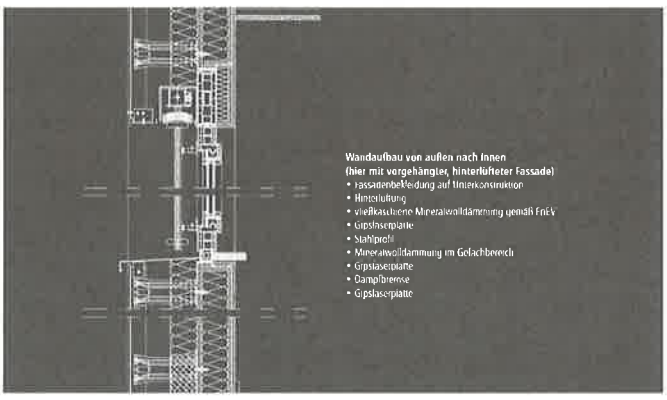
Es ist zu unterscheiden zwischen Mietsystemen, die als Interimslösungen für eine begrenzte Zeit eingesetzt werden und vom Aussehen an einen Frachtcontainer erinnern und modularen Systembauten, die objektbezogen geplant und individuell entsprechend den Vorgaben von Architekt und Investor ausgestattet sind.

Die Mietsysteme müssen aufgrund der jeweils begrenzten Nutzungsdauer geringere Anforderungen an die Bauphysik erfüllen, sind in der Regel bis dreigeschossig stapelbar und individuellen Wünschen nur bedingt anpassbar. Der Vorteil liegt in der schnellen Bereitstellung und der ebenso schnellen Demontage / Rückholung.

Die Nutzung modularer Gebäude ist langfristig in der Regel über mehrere Jahre zu sehen. Die reinen Baukosten sind mit den Herstellungskosten von konventionellen Gebäuden vergleichbar. Die eigentliche Einsparung zeigt sich in der industriellen Werksfertigung der Module und den parallel laufenden Arbeiten auf der Baustelle. Dadurch lässt sich die Bauzeit um bis zu 50 Prozent reduzieren und gewährleistet somit einen früheren Kapitalrückfluss. Bauphysikalisch werden alle Anforderungen erfüllt, wobei zum Teil Bauteildopplungen und technische Einrichtungen genutzt werden. Mietsysteme und Raummodule sind nachhaltig, da bei den Mietsystemen mehrere unterschiedliche Nutzungen mög-







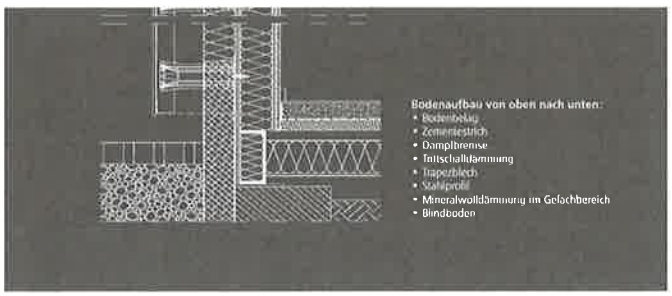


Bild 4 Systembeispiele für Decken-, Wand- und Bodenaufbauten
Grafik: KLEUSBERG

lich sind und sich die Bestandteile beim Rückbau einer neuen Nutzung zuführen lassen oder sortenrein am Ende des Lebenszyklus trennbar sind. Bei Raummodulen ist eine vergleichbare Nachhaltigkeit gegeben, wobei der Lebenszyklus nahezu immer mit einer einmaligen Nutzungsdauer gleichzusetzen ist.

Nachdem die Nachfrage nach Systemen aus Holz lange Zeit rückläufig war, ist im Hinblick auf Nachhaltigkeit und ressourcenschonender Bauweisen ein neuer Trend zu Holzmodulen erkennbar. Systeme in Beton sind eher in abgewandelter Form beispielsweise als fertiginstallierte Bäder vorzufinden.

Literatur

[1] *Slawik, H.; Bergmann, J.; Buchmeier, M.; Finney, S.:* Container Atlas: Handbuch der Container-Architektur. Gestalten Verlag, Berlin, 2010.

[2] Informationsplattform Wikipedia: Container schiff. https://de.wikipedia.org/wiki/Containerschiff, 2016-07-16.

[3] Vorgefertigte Raumsysteme im Bundesverband Bausysteme e. V.: Wirtschaftliche Vorteile bei der Verwendung vorgefertigter Raumsysteme. Koblenz.

Produktionsplanung und Produktionssteuerung im Spezialtiefbau
Prozessorientierter Ablauf von Bauprojekten im Spezialtiefbau

K. Nübel, A. Geiss, F. Sommer, M. Pielmeier, M. Heinrich, B. Rehfeld

Zusammenfassung Bauleistungsanbieter sind davon abhängig, wie effizient die Wissensarbeit bei einem Projekt zusammenwirkt. Aus dieser Wissensarbeit generieren die Organisationen einen großen Teil der Wertschöpfung. Die verschiedenen Komponenten, angefangen von der Hardware Baustoffe über Maschinen bis hin zu Dienstleistungen wie Planung müssen dabei möglichst effizient interagieren. Was zählt ist intelligente, kooperative Informationsarbeit. Anders gesagt: Ein großer Wertschöpfungsfaktor liegt bei gut ausgebildeten Mitarbeitern, ihrer Problemlösungswertschöpfung und deren strukturierte Zusammenarbeit.

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Die globale Bauindustrie befindet sich in einer Phase des rasanten Wandels. Aus Sicht eines ursprünglich mittelständischen Bauunternehmens, das sich aus seinem einstigen Kernmarkt Deutschland herausentwickelt hat, sind permanente Anpassungsprozesse notwendig. Ausgehend von einem Direct Export Geschäft in den 1950er-Jahren bis 1970er-Jahren, über Joint Ventures mit lokalen Partnern in den 1980er-Jahren, ist im Unternehmen seit Beginn der 1990er-Jahre eine starke Internationalisierung mit Bildung regionaler Netzwerke vorangetrieben worden. Die zunehmende Regionalisierung wurde erforderlich, um dem wachsenden Kostendruck in den Auslandsmärkten gerecht zu werden, da auch lokale Firmen inzwischen anspruchsvolle Bauleistungen anbieten. Um auch weiterhin wettbewerbsfähig bleiben zu können sind zukünftig außer den technischen Kompetenzen effektive und effiziente Prozessabläufe innerhalb einer internen Vernetzung im gesamten Unternehmen mitentscheidend.

Durch die starke Internationalisierung und Dezentralisierung ist der Bauleistungsanbieter mit sehr unterschiedlichen länderspezifischen Charakteristika – und Kundendiversifizierung konfrontiert. Eine Vielzahl an unterschiedlichsten Rahmenbedingungen müssen daher insbesondere in der Vorbereitung von Projekten berücksichtigt werden. Dadurch entsteht ein erheblicher technischer und organisatorischer Abstimmungsbedarf, der meist unter sehr hohem Zeitdruck und mit hoher Präzision stattfinden muss. Kleinste Details können auch bei großen Projekten starke Wirkungen entfalten. Entscheidend ist das Zusammenspiel von Technik, Organisation und Prozessen.

Dr.-Ing. Konrad Nübel
Senior Project Manager
Tel.: 08252 973656
konrad.nuebel@bauer.de
Dipl.-Ing. Axel Geiss
Leiter Qualitätsmanagement
Dipl.-Ing. Frank Sommer
Projektleiter
Dipl.-Ing. (FH) Martin Pielmeier
Teamleiter Arbeitsvorbereitung und Bauausführung
Dipl.-Ing. Martin Heinrich
Abteilungsleiter Projects and Services, Ausland
Dipl.-Ing. Bettina Rehfeld
Referentin der Geschäftsführung
Bauer Spezialtiefbau GmbH
Bauer Straße 1, 86522 Schrobenhausen

1.2 Besonderheit bei der BAUER Spezialtiefbau GmbH

Die Herstellung von Bauprodukten des Spezialtiefbaus, wie zum Beispiel Pfahlgründungen, Bodenverbesserungen, Baugrubenumschließungen, sind gekennzeichnet von einem hohen Anteil an spezieller Gerätetechnik sowie sehr spezifischen geotechnischen und verfahrenstechnischen Kenntnissen aus Praxis und Theorie. Der hohe Anteil an Spezialkenntnissen führt üblicherweise zu einer hohen Fertigungstiefe, was wiederum die Möglichkeit eröffnet die spezifischen Prozesse der Wertschöpfungskette des Spezialtiefbaus In-House zu gestalten.

Da BAUER auch gleichzeitig Spezialtiefbaugeräte entwickelt und herstellt, können noch weitere Synergien genutzt werden. So fließen nicht nur Erkenntnisse aus der Baupraxis in die Gerätetechnik ein, sondern auch spezifische Kenntnisse aus der Baumaschinen-Produktion in die Baupraxis. Bei der BAUER Maschinen GmbH werden innerhalb eines Bauer-Produktionssystems Prinzipien der schlanken Fertigung (Lean Production) sukzessive umgesetzt und weiterentwickelt. So liegt es nahe, Erkenntnisse daraus in die Bauproduktion der Bauer Spezialtiefbau GmbH zu übertragen.

1.3 Zusammenspiel von Technik und Organisation

Entscheidend für die ökonomische Herstellung eines Spezialtiefbau-Produkts sind zum einen die Leistungsparameter der Spezialtiefbaugerätschaft, zum anderen aber auch Eigenschaften die den ganzen Produktionsprozess beeinflussen. Ein großer Teil der Produktionszeit wird für Prozessschritte benötigt, die mit der direkten Herstellung des Produkts gar nichts zu tun haben: Unterbrechung des Produktionsprozesses durch Wartung, Reparatur, die Logistik der Gerätschaft selbst [1]. Letztere Kriterien können durchaus noch von einer effizienten Gerätetechnik beeinflusst und verbessert werden, die über die reinen Leistungsparameter hinausgehen [1]. Die Auswahl des „optimalen" Bauverfahrens muss jedoch schon Kriterien berücksichtigen, die sich nicht allein auf Leistungsparameter zurückführen lassen. Zieht man den Einflusskreis noch weiter, erkennt man Produktionswartezeiten, die von der gesamten Baustellenorganisation abhängig sind, wie beispielsweise Logistikprobleme bezüglich des Materials, Eintaktung der Produktion, Freigabeprozesse für die Planung.

Selbstverständlich ist das tief greifende technische Verständnis über die „Physik" der Produktion eine grundsätzli-

che Voraussetzung für eine den Projekterfordernissen genügende Produktherstellung. Für eine effiziente Bauabwicklung ist dies aber nicht ausreichend. Ausgehend von der direkten Produktion wird klar, dass die Effizienz einer (Spezialtiefbau) Baustelle auch wesentlich durch die **gesamtheitliche Gestaltung der Bauprozesse** beeinflusst wird. Hardware (Baugeräte und Bauverfahren) und Software (Bauprozesse) müssen in ausgewogener Weise aufeinander abgestimmt werden. Eine großzügig ausgelegte Hardware verliert ihre Wirkung, wenn die Software die vorhandenen Ressourcen gar nicht effizient ausnutzen kann. Der Schlüssel zur weiteren Effizienzgewinnung liegt daher in der gesamtheitlichen Optimierung der Planungs- und Bauprozesse. Um dies zu erreichen müssen die Prozesse mit Fokus auf die eigentliche Produktherstellung beschrieben, verstanden und Kriterien für deren Optimierung hinsichtlich Kosten und Zeit gefunden werden.

1.4 Prozesse und Prozessebenen

Nach DIN EN ISO 9000/9001:2008 [2] ist ein Prozess eine Reihe von aufeinanderfolgenden Handlungen (Tätigkeiten), die durch ein definiertes Ereignis angeregt werden und aus den Eingaben zu einem definierten Ende ein (messbares) Ergebnis erstellen. Am plastischsten lässt sich dies auf Ebene der Produktion veranschaulichen. Die Herstellung eines Bohrpfahls lässt sich in einzelne Arbeitsschritte zerlegen, die nacheinander, das heißt in Reihe oder auch teils parallel ablaufen und durch eine Arbeitsanweisung oder Prozessanweisung beschrieben werden können. Während eine Arbeitsanweisung im herkömmlichen Sinne die einzelnen Arbeitsschritte beschreibt, geht eine Prozessanweisung etwas darüber hinaus. Sie weist jedem einzelnen Arbeitsschritt eine Verantwortlichkeit zu und verknüpft die einzelnen Prozessschritte miteinander, in dem das Ergebnis des vorgelagerten Prozesses gleichzeitig die Eingabe des darauf folgenden Prozessschrittes bildet.

Prozesse können nicht nur nacheinander oder parallel ablaufen, sie können sich auch in verschiedenen Abstraktionsebenen überlagern. So ist es möglich die komplette Herstellung einer Bohrpfahlwand auf der Ebene der einzelnen Arbeitsschritte zu beschreiben. Eine solche „Step by Step" Beschreibung wird jedoch schnell unübersichtlich wenn es um ganze Bauteile geht, da sie dann auch durch zahlreiche Wiederholungen und Schleifen gekennzeichnet ist. Wesentlich sinnvoller ist es, die Herstellung auf der Abstraktionsebene der Bauteile als Prozess zu beschreiben, das heißt die Herstellung der primären Bohrpfähle, folgt der Herstellung der sekundären Bohrpfähle, dem Teilaushub der Baugrube, der 1. Ankerlage, dem nächsten Teilaushub.

Der Bauablauf der gesamten Baustelle kann auf der Prozessebene der Bauabschnitte beschrieben und in Phasen-Terminplänen dargestellt werden. Auch hier können Verantwortlichkeiten, Eingangsvoraussetzzungen und Ergebnisse zugeordnet werden.

1.5 Prototyp- oder Serienfertigung?

Unter dieser Sichtweise ist klar zu erkennen, dass sich auch bei Bauprojekten viele Prozessschritte immer und immer wieder in gleichartiger Weise wiederholen, sich also vom Kern her nicht wesentlich von Prozessen der stationären industriellen Fertigung unterscheiden. Dies ist nicht nur der Fall auf der Ebene der Arbeitsschritte sondern auch auf Ebene der Bauteile. Selbstverständlich wird das Design eines Bohrpfahls nicht für jedes Bauwerk neu erfunden, sondern orientiert sich an einer Typen-Einteilung, deren Auswahlprozess auf standardisierte Kriterien (z. B. Beschreibung des Baugrunds, Lasten) zurückgreifen kann. Obwohl also das Bauendprodukt einen Prototypen-Charakter aufweist, sind die einzelnen Bauteile und die zugehörigen Arbeitsschritte eher einer Serienproduktion zuzuordnen, die aber unter Umständen einer viel größeren Variabilität durch wechselnde bautechnische Randbedingungen, zum Beispiel schlechtes Wetter, wechselhafte Bodeneigenschaften, unterliegt. Insofern wäre es nicht die richtige Strategie industrielle Fertigungsprinzipien eins-zu-eins in die Bauproduktion zu übertragen. Vielmehr müssen die sehr variablen Randbedingungen von Bauprojekten sowie die Dynamik in der Bauproduktion durch abstrahierte und adaptierte Produktionsprinzipien [3] berücksichtigt werden.

1.6 Lean Production / Lean Management

Unter dem Begriff „Lean Production" oder „Lean Management" wird im Allgemeinen ein Konzept verstanden, anhand dessen eine gesamtheitliche Optimierung von Produktionsprozessen ausgerichtet werden kann. Die Ursprünge liegen in der Produktionsgestaltung von Toyota unter Führung des Ingenieurs Ohno. Im Bauwesen hat sich hierfür der Begriff Lean Construction etabliert [4], [5], [6].

So vielfältig die Landschaft der industriellen Fertigung ist, so vielfältig sind die unterschiedlichen Ausprägungen zum Verständnis von Lean Production und Lean Management. Eine der gängigsten Erläuterungen ist wie folgt:

„Werte ohne Verschwendung zu schaffen" das heißt „Alle Aktivitäten, die für die Wertschöpfung notwendig sind, optimal aufeinander abzustimmen und überflüssige Tätigkeiten zu vermeiden". Dies wird unterstützt durch stetige Prozess- und Produktinnovationen innerhalb eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP).

Dabei werden die Prozesse anhand der folgenden Prinzipien optimiert [6]:

- Fließ Prinzip
  Ausrichtung und Kopplung von Ressourcen-, Material- und Informationsfluss
- Takt Prinzip
  Abstimmung und Harmonisierung von Kapazitäten
- Zieh Prinzip
  Ressourcen und Material werden zeitgenau in den Prozess gezogen
- Null Fehler Prinzip
  Standardisierung und Stabilisierung von Prozessen

An dieser Stelle soll nicht tiefer in das Thema „Lean" eingestiegen werden. Eine ausführliche Erklärung dieser Prinzipien kann in [6] nachgelesen werden. Ein weiterer interessanter Aspekt sind die Hauptarten der Verschwendung, „der Anteil der Tätigkeiten, der offensichtlich keinen Wertzuwachs für das Produkt bringt" [6] sowie der Versuch der Übertragung dieses Gedankens in die Bauproduktion und Bauproduktionsplanung (**Tabelle 1**).

2 Produktionsplanung

2.1 Von der Arbeitsvorbereitung zur Produktionsplanung

Wesentlicher Hebel für eine effiziente und qualitativ hochwertige Abwicklung einer Baustelle ist die Produktionsplanung. Das termingerechte planerische und koordinative Vorbereiten macht sich in der Produktion vielfach bezahlt.

Tabelle 1. Sieben Arten der Verschwendung und Übertragung in den Baubereich

Sieben Arten der Verschwendung	Bauproduktion	Produktionsplanung
Überproduktion	Überdimensionierung	Planungsaktionismus
Transport	unnötige Materialbewegung	unnötige Planungsschnittstellen
Bestände	Material- und Gerätebestände	überflüssige Anforderungen
Bewegung	unnötige Prozessschritte	Suchen von Informationen
Warten	Ausfallzeiten	nicht synchrones Planen
Falsche Technologie	unproduktives Bauverfahren	falsche Planungstiefe
Nacharbeit	durch Fehler in der Produktion	durch Fehler in der Planung

Wir verwenden den Begriff der Produktionsplanung, da er über das klassische Verständnis der Arbeitsvorbereitung hinausgeht. In der Bauindustrie wird die klassische Arbeitsvorbereitung eher als themenbezogene Aufgabenliste verstanden und nicht als Planungsprozess, in dem es um die gedankliche Gestaltung des Produktionsablaufs in Prozessen und die **systematische Festlegung von Planungsparametern** für die spätere Produktionssteuerung geht. Dies bedingt eine Produktionsplanung, die schon in einer sehr frühen Projektphase eingreift.

Die Analogie zur stationären Industrie ist in der Fabrikplanung zu sehen. Das heißt die Planung einer Baustelle ist analog zur Einrichtung einer Produktionsstraße, bei der versucht wird durch standardisierte Produktionsschritte, schlanke Prozessabläufe und produktionssynchrone Materialzulieferung eine möglichst hohe Effizienz und Auslastung zu erzielen. Vom Grundsatz her sind die Planungsaufgaben in Industrie und Bau recht ähnlich. Unterschiedlich ist jedoch die erzielbare Planungsschärfe. Durch die sehr dynamischen Randbedingungen in einem Bauprojekt ist die Erfordernis der Nachsteuerung sehr viel höher als in der stationären Industrie. Folglich müssen die Planparameter und Steuerungsinstrumente so gestaltet werden, dass möglichst schnelle und effiziente Reaktionen möglich sind. Hierzu gab und gibt es in den letzten Jahren einige Entwicklungen, insbesondere das Last Planner® System [7], [8]. Der Fokus der Entwicklung liegt dabei auf der Weiterentwicklung der Steuerung von komplexen Projekten unter Berücksichtigung der Prinzipien des „Lean Managements". Wenig im Fokus waren bisher jedoch die vorauslaufenden Planungsprozesse für die Produktion. Unbestritten wird in dieser Planungsphase ein entscheidender Beitrag für den Erfolg eines Bauprojekts geleistet, indem bereits schon frühzeitig verschwendungsarme Prozesse aufgesetzt werden.

Ein sehr typisches Phänomen aus der Praxis ist das „Einschwingen" eines Produktionsablaufes. Bei der Herstellung einer Bohrpfahlwand dauert das Abteufen, Bewehren und Betonieren der ersten Pfähle oft erheblich länger, als im weiteren Verlauf. Ein guter Polier und Projektleiter versucht in möglichst kurzer Zeit Störungseinflüsse zu beseitigen, indem er die Mannschaft in eine Regelmäßigkeit eintaktet, gegebenenfalls die Technik optimiert, die Materialzulieferung mit der Produktion synchronisiert und versucht mögliche Störeinflüsse von außen vorab abzuwenden. Er bedient sich offensichtlich Lean-Prinzipien ohne dass diese expliziert werden. Dieses Phänomen tritt selbstverständlich in allen Prozessabläufen, auch in Management Prozessen, auf. Ziel der Produktionsplanung ist es somit auch diese initiale Einschwingphase zu minimieren und der Projektleitung Steuerungsinstrumente in die Hand zu geben sowie methodisch bei der Implementierung zu unterstützen.

Zieht man den Vergleich zur Produktionsplanung der stationären Industrie, wird ein weiterer evidenter Unterschied offensichtlich. Während die Neu- oder Umplanung eines neuen Produktionsstandortes in der stationären Industrie gewöhnlicher Weise eine relativ lang angelegte Planungsphase aufweist, hat die Bauindustrie häufig die Herausforderung von sehr kurzen Planungszeiträumen. Nicht selten, muss selbst eine Großbaustelle nach der Auftragsvergabe in wenigen Wochen angefahren werden, was einen enormen Zeitdruck auf die Projektbeteiligten auslöst. Die Komplexität erhöht sich nochmals bei internationalen Großbaustellen, bei denen eine Vielzahl von länderspezifischen Randbedingungen und Regularien zu beachten sind.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass sich vom Grundsatz her die Abläufe bei einer Produktionsplanung für eine Spezialtiefbaubaustelle denen in der stationären Industrie stark ähneln, die Dynamik in Planung und Produktion aber sehr viel höher ist. Dies schließt aber die Übertragbarkeit der methodischen Entwicklungen in der industriellen Produktionsplanung nicht aus, sondern unterstreicht eher die Notwendigkeit.

2.2 Planungsablauf und Planungsphasen

Das Erfolgsrezept für die Umsetzung einer rationellen / effizienten Fertigung in einem komplexen und dynamischen Umfeld im Bereich der industriellen Produktion ist nicht nur das Standardisieren von Produkten, sondern das sukzessive Verbessern der **kompletten Prozesskette** mithilfe von Standards. Methodisch wird die Planung selbst als Prozess verstanden. Dabei wird versucht einen „Meta-Standard" für die Struktur- und das Gestaltungskonzept der Planung zu beschreiben. Der Prozessablauf in der Produktions(fabrik)planung wird typischerweise als Sequenz von Phasen dargestellt [9], die sich wie folgt gliedern:

Vorbereitung > Grobplanung > Detailplanung > Ausführungsplanung > Ausführung

Üblicherweise wird der Abschluss einer Phase an spezifische Entscheidungskriterien geknüpft oder Meilensteine festgelegt. Innerhalb der Phasen sind aber auch phasenübergreifend Rekursionen zugelassen. Das heißt gibt es signifikante Änderungen in den Randbedingungen, kann und muss in eine frühere Planungsphase zurückgesprungen werden. Vor der Ausführungsplanung wird aber ein **Point-of-no-Return** festgelegt, nachdem keine weiteren signifikanten Änderungen mehr zugelassen werden. Dies zwingt alle Planungsbeteiligten dazu, alle erforderlichen Details vor diesem wichtigen Meilenstein zu klären.

Die zahlreichen zeitlichen Abhängigkeiten, das heißt das Erarbeiten von bestimmten Voraussetzungen, bevor ein nächster Arbeitsschritt begonnen werden kann, liegt insbesondere in der spezifischen Erfahrung des Arbeitsvorbereiters. Mit Zunahme der Größe der Projekte nehmen die Anzahl der Projektbeteiligten in der Arbeitsvorbereitung / Pro-

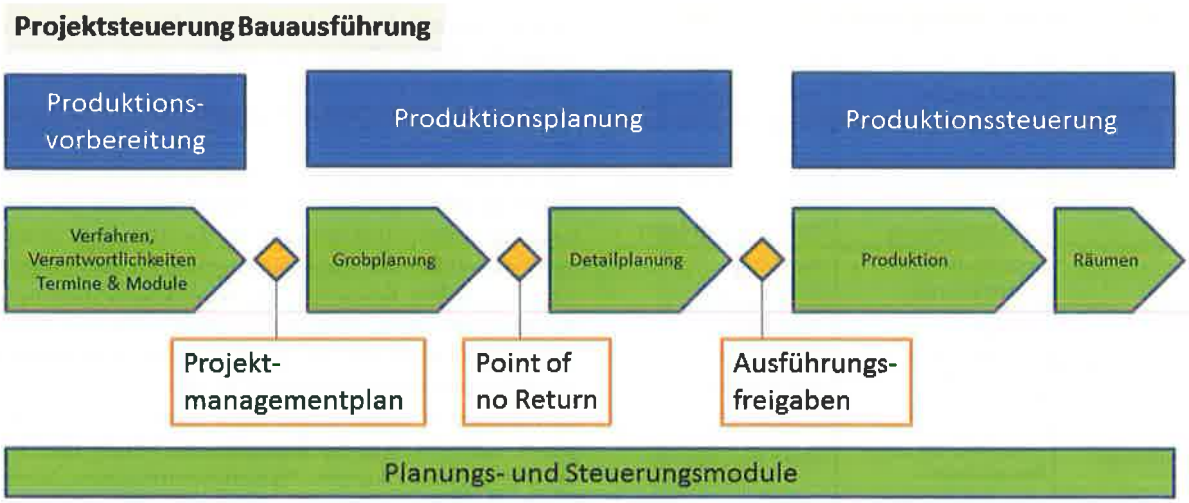


Bild 1. Prozessablauf Produktionsplanung und Produktionssteuerung

duktionsplanung stark zu und damit auch die gegenseitigen Abhängigkeiten. Für ein effizientes Arbeiten in den interdisziplinären Teams sind aber klare Strukturen erforderlich. Die Entwicklung eines Struktur- und Gestaltungskonzeptes und die Übertragung in eine Prozesslandschaft ist dazu ein wirkungsvolles Hilfsmittel.

Die Erarbeitung eines solchen Gestaltungskonzeptes ist alles andere als trivial. Zunächst geht es darum, die gelebten Strukturen zu explizieren. Da die Arbeiten jedoch üblicherweise einer starken Aufgabenteilung unterliegen und sich über unterschiedliche Abteilungen erstrecken, sind die Sichtweisen auf die gelebte Praxis sehr unterschiedlich. Daher kann die Erarbeitung einer Prozesslandschaft nur in einem Team erfolgen, in das unterschiedliche Sichtweisen mit eingebracht werden.

Die Autoren haben in diesem Prozess die Struktur in **Bild 1** erarbeitet.

In der **Produktionsvorbereitung** werden die wesentlichen Festlegungen zum Bauverfahren, zur technischen und terminlichen Umsetzung und zur Zuteilung von Verantwortlichkeiten getroffen. Vom Grundsatz her, beinhaltet diese Phase die Vertriebs- und Akquisitionsphase, konkretisiert sich jedoch mit der Auftragserteilung. Die Phase wird abgeschlossen mit einem Projektmanagementplan, in dem die wesentlichen Eckpunkte zur Organisation und Prozessumsetzung getroffen werden.

Es folgt die Phase der **Produktionsplanung**, die sich in Grobplanung und Detailplanung gliedert und mithilfe von spezifischen Ausführungsfreigaben in die Phase der **Produktionssteuerung** übergeht.

Nach der Übergabe des Endproduktes an den Kunden erfolgen nachlaufende Arbeiten bis zum Projektschluss.

Jede Projektphase unterliegt einer spezifischen Prozessgestaltung unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien:

- Koordination und Organisation,
- Partizipative Planung in Teams,
- Klären von Schnittstellen,
- Planen und Parallelisieren von Prozessen,
- Anforderungsgerechte Prozessgestaltung,
- Gemeinsame Datenbasis,
- Qualitätssicherung der Prozesse und Ergebnisse,
- Kontinuierliche Verbesserung.

Das Planen in Phasen synchronisiert und taktet die verschiedenen Tätigkeiten der Teams und kann gegenüber dem Kunden transparent kommuniziert werden. Schon allein dies ist ein großer Gewinn zur Vermeidung von Doppelarbeit („Verschwendung“) oder Planungen ohne Klärung der Voraussetzungen. Zwischen der Grob- und der Detailplanung in der Produktionsplanung gibt es einen „Point-of-no-Return“. Bis zu diesem Meilenstein müssen alle wesentlichen Eckpunkte des Bauprojekts geklärt und geplant sein. Da sich die verschiedenen Planungsaufgaben in der Produktionsplanung gegenseitig beeinflussen, ist die Festlegung eines solchen Meilensteins sehr wichtig. Zu diesem definierten Zeitpunkt wird das Projekt „scharfgestellt“. Für die einzelnen Aufgabengruppen (Module) wird festgelegt, in welcher Planungstiefe bestimmte Aufgaben bis zu einem bestimmten Termin bearbeitet werden müssen, um dann synchron die Detailplanung zu beginnen. Möglicherweise werden solche Meilensteine auch mit Kunden kommuniziert, um vertragliche Regelungen zu treffen, denn große Kostentreiber von Bauprojekten sind späte und unkoordinierte Änderungswünsche.

2.3 Modularer Aufbau der Bauproduktion

Die Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben, die in der Produktionsplanung unter hohem Zeitdruck und Detailierungsgrad sowie unter Berücksichtigung aller spezifischen Bedingungen durchgeführt werden müssen, erfordert eine klare Segmentierung der einzelnen Aufgaben.

Bei der Konzeptgestaltung kann daher auch hier auf Ansätze zurückgegriffen werden, die sich in der stationären Fabrikplanung bewährt haben. Als vorrangigstes Gestaltungsprinzip kann das Konzept der prozessorientierten Modularisierung identifiziert werden. Modularität und Modularisierung bedeutet allgemein die Strukturierung eines Systems in kleine, teilautonome und übersichtliche Subsysteme [5]. Die gesamte Konzeption einer Baustelle ist ideal geeignet für das Gestaltungsprinzip der Modularisierung und wird vielfach auch so schon umgesetzt, ohne dies explizit als solches zu definieren.

Module, die die Kernprozesse einer Baustelle abbilden sind in **Bild 2** dargestellt. Zudem kommen Steuerungsmodule hinzu, wie beispielsweise **Bild 3** zeigt.

Die verschiedenen Planungs- und Steuerungsmodule sind sicherlich für unterschiedliche Unternehmensstrukturen und Organisationseinheiten individuell zu erarbeiten.

Bild 2. Planungs- und Steuerungsmodule für die Kernprozesse einer Baustelle, (z. B.)

Bild 3. Weitere baustellenbezogene Steuerungsmodule, (z. B.)

In der Phase der Produktionsplanung werden diese standardisierten Module für die projektspezifischen Erfordernisse der Baustelle konfiguriert, das heißt die erforderlichen Prozesse auf der Baustelle aufgesetzt. Jedes Modul kann wiederum durch eigenständige Prozesse abgebildet werden.

Ausgangspunkt der Produktionsplanung ist das Modul „Bauproduktion & Bauablaufplanung" sowie das Design. In diesen beiden Modulen werden die Konstruktion und das technische Konzept sowie die Umsetzung, das heißt Produktionsmittel / Geräte festgelegt, optimiert und verfeinert. Dies erfordert eine enge Abstimmung zwischen den Planungsbeteiligten, da beispielsweise in der Designphase „Ausführungsplanung" nicht nur die Konstruktion unter Berücksichtigung der statischen Erfordernisse optimiert wird, sondern dabei auch streng auf die bautechnische Ausführbarkeit geachtet werden muss. Weitere Kernmodule sind beispielsweise die Baustellenversorgung mit Geräten oder die Baumaterialversorgung. In beiden Modulen wird der Prozess der Zulieferungslogistik aufgesetzt.

Das Konzept der Modularisierung beinhaltet aber noch wesentlich mehr als eine segmentierte Aufgabenliste. Zum einen werden mithilfe der übergeordneten Phasenplanung die Module in eine zeitliche Reihenfolge gebracht und synchron vorbereitet, das heißt sie durchlaufen die Phasen der Produktionsvorbereitung, der Produktionsplanung und gehen dann in die Ausführung über. Gibt es Abhängigkeiten mit anderen Modulen, müssen diese an den Synchronisationspunkten, den Meilensteinen, in einer vorher bestimmten Detailtiefe abgeklärt sein. Module die nahezu unabhängig sind, können vollständig parallelisiert werden. Zum anderen wird man dazu gezwungen sich über die Schnittstellen Gedanken zu machen. Ziel ist es an den Modulschnittstellen standardisierte „Objekte" zu übergeben, die mithilfe von „Attributen" an die spezifischen Baustellenerfordernisse angepasst sind.

Die Vorgehensweise eröffnet die Möglichkeit, dass die Baustelle von der Projektleitung über Service-Plattformen konfiguriert wird und in der Phase hohen Termindrucks die Detailarbeit an Spezialisten delegiert werden kann. Wichtig dabei ist, dass das Prinzip der Dezentralität bestehen bleibt und die Produktion die Anforderungen bestimmt (Zieh – Prinzip), zentral aber auf einen definierten Standard zurückgegriffen werden kann (Fließ – Prinzip und Null-Fehler-Prinzip).

2.4 Beispiel: Baustellenversorgung mit Großgeräten

Das Struktur- und Gestaltungsprinzip soll an dem Modul der Baustellenversorgung mit Großgeräten veranschaulicht werden.

Gemeinsame Planungs- und Datenbasis des Moduls „Baustellenversorgung" ist bei BAUER ein sogenannter Gerätekonfigurator. Darin sind alle Großgeräte (Objekte) weltweit erfasst, in Produktgruppen zusammengefasst (Objektstandard) und Daten über Standort, Zustand, etc. (Attribute) festgehalten.

Vorbereitungsphase

In der Vorbereitungsphase, das heißt bereits in der Akquisition, von Projekten, werden frühzeitig die Geräteverfügbarkeiten abgefragt und mit dem Produktionsverfahren und der Terminplanung sowie den Transportmöglichkeiten abgestimmt. Die Grundlage sind Phasenterminpläne auf Basis von Mengen (Geräte, Material etc.) sowie die verfügbaren Ressourcen. Dies geschieht in Kooperation mit hausinternen Fachdienstleistern, wie zum Beispiel Logistik oder Maschinentechnik. Schnittstelle und gemeinsame Datenbasis ist der beschriebene Gerätekonfigurator.

Grobplanung

Mit Auftragsvergabe beginnt dann die Phase der Grobplanung. Darin werden vorab festgelegte Geräteeinsatzplanungen konkretisiert, optimiert und über den Gerätekonfigurator mithilfe von Objekten und Attributen mit den Fachdienstleistern abgesprochen. Die Fachdienstleister kümmern sich um die Aufgaben:

- Konkrete Gerätebereitstellung,
- Transportmittel, Transportzeit, Transporttakt,
- Kommissionierung, Materialhandling, Verpackung,
- Zoll, Behördenfreigaben, Embargokonditionen, sonstige Restriktionen.

Sind alle Planungsparameter auf „grün" beginnt die Detailplanung.

Detailplanung

Mit Eintritt in die Detailplanung sollten sich die wesentlichen Planungsvoraussetzungen nicht mehr ändern. Durch

die klare Kommunikation eines „Point-of-no-Return“ werden, wie bereits beschrieben, die unterschiedlichen und parallel laufenden Modulplanungen synchronisiert. Das heißt Planungsvoraussetzungen auch aus anderen Modulen (z. B. Bauverfahren, Phasenterminplanung) müssen zu diesem vorab festgelegten und klar kommunizierten Zeitpunkt erarbeitet sein, da ansonsten eine Detailplanung wegen zu vieler unbekannter Parameter keinen Sinn ergibt.
In der Phase der Detailplanung wird die Ausführbarkeit der Grobplanung unter Berücksichtigung verschiedener Störszenarien und Unsicherheiten analysiert, final festgelegt und der Ressourcingprozess ausgelöst. Gleichzeitig erfolgt die Ersatz- und Verschleißteilplanung.

2.5 Wandlungsfähigkeit der Baustellenmodule

Das Konzept der Modularisierung in diesem Baustellenkontext erfordert eine sogenannte Wandlungsfähigkeit der Module [10], [11], das mehr ist als die Bereitstellung von flexiblen Instrumenten. Die Anforderungen, insbesondere im internationalen Baugeschäft, sind so vielseitig, dass es vermutlich niemals gelingen wird vollständig standardisierte Prozesse abzubilden. Schon allein die Größe der Baustelle hat einen erheblichen Einfluss auf den Ablauf der Produktionsplanung. Während große Baustellen in interdisziplinärer Teamarbeit vorbereitet werden, werden bei kleinen Baustellen die Prozesse in einer sehr schlanken Struktur aufgesetzt. Dennoch müssen auch bei kleinen Baustellen alle relevanten Prozesse professionell vorbereitet werden. Für die praktische Umsetzung bedeutet dies, dass ein Projektleiter je nach Bedarf zum Beispiel auf ein einzelnes Formular oder auf ein ganzes Planungsteam zurückgreifen kann. Das heißt die Planungsdienstleistungen müssen skalierbar und anpassungsfähig sein sowie klare personengebundene Verantwortungsstrukturen festgelegt werden.
Werden Planungsaufgaben von denselben Personen wiederholt bearbeitet, sinkt die Fehleranfälligkeit erheblich, zudem verbessern sich die Ergebnisse, wenn zwischen den vielen Beteiligten eine gemeinsame Prozessstruktur und Kommunikationskultur vereinbart wird.

3 Produktionssteuerung

Der Kern der Baustellensteuerung im Spezialtiefbau ist die Produktionssteuerung. Wir unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen Produktionssteuerung und Projektsteuerung und verstehen unter Projektsteuerung Prozesse, die nicht direkt in die Produktion eingreifen. Zur Produktionssteuerung benötigt es Prozesskennzahlen für die Steuerungsparameter. Wesentliche Steuerungsparameter sind:

- Terminlich eingetaktete Vorgaben für die Produktionsleistung
  (Prozesskennzahl z. B. Herstellung der Pfähle pro Tag)
- Prozessqualität
  (Prozesskennzahl z. B. Schwankungen in der avisierten Tagesleistung)
- Produktqualität
  (Prozesskennzahl z. B. Vertikalität der Pfähle)

Mithilfe der Prozesskennzahlen können sogenannte Key Performance Indicators (KPI's) definiert werden, die gezielte Informationen zu den genannten Steuerungsparametern geben. So kann beispielsweise die Erfassung einer Geräteleistung hilfreiche Zusatzinformationen zur Produktionsleistung und bei der Ableitung von Maßnahmen bei Abweichung geben. Weitere Prozesskennzahlen in diesem Kontext sind Wartungszeiten, Ausfallzeiten, Verschleißraten.
Das heißt die Verknüpfung von Produktionskennzahlen zu KPI's kann einen erheblichen Erkenntnisgewinn in der Produktionssteuerung bringen. Allerdings ist die Selektion von wesentlichen Kenngrößen äußerst wichtig, da ansonsten kostenrelevante Datenfriedhöfe („Verschwendung“) generiert werden. In der stationären Industrie kann inzwischen im Bereich der Fertigung auf normierte KPI's zurückgegriffen werden [12], was dadurch auch ein Vergleichbarkeit ermöglicht.
Konzeptionell lässt sich der Regelkreis der Produktionssteuerung beschreiben mit:

Plan > Do > Check > Act

Plan: Festlegen aller in der Produktion als Steuerungsparameter zu verwendeten Produktionskennzahlen (in der Produktionsplanung und adaptiv in der Ausführung)
Do: Produktherstellung, Ermittlung des Ist-Zustands sowie Vorwärtsterminierung
Check: Soll-Ist-Vergleich der Steuerungsparameter und Vorwärtsvergleich zur rechtzeitigen Beseitigung von Hindernissen
Act: Bei Abweichung Justierung der Produktion, Optimierung der Leistung, Prozess- und Produktqualität unter Berücksichtigung des Baustellentaktes. Die Optimierung und Justierung der Produktion kann nach den in Abschnitt 1.6 genannten Lean-Production / Lean-Management Prinzipien sowie der Last Planner® – Steuerung erfolgen. Insbesondere müssen bei Bauprojekten die Steuerungsprozesse so gestaltet werden, dass sie auf ungeplante und nicht vorgedachte Ereignisse schnell reagieren können, da Bauprozesse niemals streng deterministisch sind.

Ein wesentliches Instrument zur Entflechtung von komplexen Produktionsprozessen hinsichtlich Lean-Production ist das Gruppieren der Produktion in vergleichsweise kleine, überschaubare und steuerbare Einheiten, die in flexibler Weise auf veränderte Randbedingungen, wie zum Beispiel veränderliche Bodenverhältnisse, reagieren können. Nur so ist eine Steuerung anhand von Produktionsparametern überhaupt möglich. Diese Produktionseinheiten müssen mit Personen besetzt werden, die das entsprechende technische Verständnis haben und bei Abweichungen schnell reagieren und lösungsorientiert handeln können. Somit wird ein Teil der Steuerungsverantwortung direkt und dezentral ausgeübt. Das heißt die Projektsteuerung und die technischen Dienstleistungen sollten dabei die Produktion unterstützen anstatt reine Leistungsvorgaben zu fordern und zu kontrollieren.

4 Zusammenfassung

Klassische, meist hierarchisch gegliederte Organisationsstrukturen von Bauprojekten sind zwar für die Abwicklung hilfreich, sie schaffen aber aus sich heraus keine Wertschöpfung. Die eigentliche Wertschöpfung eines Bauprojektes liegt in den Prozessabläufen. Zur effizienten Abwicklung müssen alle Prozesse an der Wertschöpfung ausgerichtet und Verschwendungen minimiert werden. Die Kenntnis und Darstellung der Prozessabläufe ist daher eine Grundvoraussetzung zur Optimierung von Prozessen. Die Prozessabläufe einer Baustelle werden in der Produktions-

planung aufgesetzt, die wiederum selbst einen Prozess darstellt. Die Einteilung der Produktionsplanung in die Phasen Vorbereitung, Grobplanung, Detailplanung und Ausführung systematisiert die Planung und ermöglicht eine synchrone Bearbeitung von Aufgaben durch die Zusammenführung von Planungszwischenergebnissen an Meilensteinen. Planungsparameter die in der Produktionsplanung erarbeitet werden sind für die Produktionssteuerung elementar wichtig. Überschaubare Produktionseinheiten mit variablen Geräten und hochqualifizierten Mannschaften erleichtern die Steuerung von komplexen Projekten im Spezialtiefbau und können sich schneller an veränderte Randbedingungen anpassen.

Literatur

[1] *Bauer, S.*: Entwicklung der Bohrtechnik. *In*: Tiefbau (2001), Heft 6, S. 411ff.

[2] DIN EN ISO 9000/9001:2008 „Qualitätsmanagement".

[3] *Meijnen, P.; Nübel, K.*: Wie steht es mit der Prozessorientierung im Bauwesen im Vergleich zur Automobilindustrie. *In*: TU München (Hrsg.): Beiträge zum 12. Geotechnik-Tag in München, Geotechnik und industrielle Verfahren, Heft 56, 2013, S. 3ff.

[4] *Howell, G. A.*: Was ist Lean Construction?. Übersetzung; englischer Orlginalbericht erschien *In*: Proceedings IGLC-7, 1(1999).

[5] *Koskela, L.*: Application of the new production philosophy to construction. Stanford, Stanford University, CIFT Technical Report #72, 1992.

[6] *Friedrich, T., Meijnen, P., Schriewersmann, F.*: Lean Construction – die Übertragung der Erfolgsmodelle aus der Automobilindustrie. *In*: *Motzko, Ch.* (Hrsg.): Praxis des Bauprozessmanagements: Termine, Kosten und Qualität zuverlässig steuern. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2013, S. 37ff.

[7] *Ballard, H. G.*: The Last Planner System of Production Control. Birmingham, University of Birmingham, School of Civil Engineering, Dissertation, 2000.

[8] *Ballard, G.; Howell, G.*: Implementation Lean Construction: Stabilizing Work Flow. *In*: *Alarcon, L.* (Hrsg.): Lean Construction. A.A. Balkema, Rotterdam, 1997, S. 101-110.

[9] *Bergholz, M. A.*: Objektorientierte Fabrikplanung. Aachen, RWTH Aachen, Fakultät für Maschinenwesen, Dissertation, 2005.

[10] *Nyhuis, et.al.*: Wandlungsfähige Produktionssysteme. Bericht des Bundesministerums für Bildung und Forschung, Ergebnisse der BMBF-Vorstudie, 2009.

[11] *Günthner, W. A.*: Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen. Abschlussbericht Projekt-Nr. 14021N, Bundesministerium für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke" e.V. (AiF)., München, TU München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Abschlussbericht, 2006.

[12] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V: MES-Kennzahlen nach VDMA-Einheitsblatt 66412–1. Frankfurt a. M., 2009.

SmartSite: Smarte Technologien für den intelligenten Straßenbau

A. Blickle, H. Karstedt, A. Paulitsch, J. Teizer, M. Müller

Zusammenfassung Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt SmartSite adressiert das Problem vermeidbarer Mängel im Bereich der Straßenfertigung – und dort insbesondere bei der Deckschichtfertigung. Bei großen Infrastrukturprojekten entstehen hierdurch langfristig signifikante wirtschaftliche Schäden. Zur Lösung dieser Probleme entwickelt SmartSite hocheffiziente, offene und flexible Plattformen für intelligente autonome Baumaschinen und Anlagen, intelligente autonome Baustellennetze und Umgebungen und die intelligente Bauprozesssteuerung. Dazu werden neuartige, dezentrale und mobile Lösungen auf der Basis von SmartX-Technologien entwickelt und Konzepte des Internets der Dinge und Dienste auf den Straßenbau übertragen. Das Projektkonsortium, bestehend aus allen relevanten Innovationsketten zur Entwicklung, Realisierung und marktnahen Erprobung der angestrebten Lösungen, wird im Rahmen des Technologieprogramms „Autonomik für Industrie 4.0" im Zeitraum von 2013 bis 2016 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

1 Hintergrund

Wertschöpfungsnetzwerke im Straßenbau zeichnen sich durch eine hohe Dynamik und Komplexität von Produkt, Produktionsprozess und Umwelt aus. Demgegenüber steht eine nur äußerst geringe Fehlertoleranz bezüglich der zu fertigenden Qualität. Mängel im Bereich der Straßenfertigung – und dort insbesondere bei der Deckschichtfertigung – sind stets mit hohen finanziellen und zeitlichen Aufwänden verbunden, da das bereits gefertigte Produkt aufwendig rückgebaut und von neuem gefertigt werden muss. So entstehen bei großen Infrastrukturprojekten Schäden durch die Beseitigung vermeidbarer Mängel oftmals in Höhe von bis zu fünf Prozent der Bausumme. Pro Jahr fallen damit allein in Deutschland mehr als zwei Milliarden Euro zusätzliche Instandsetzungsaufwände durch mangelnde Qualität im Straßenbau an [1]. Die volkswirtschaftlichen Schäden (u. a. Staukosten) sind noch ungemein höher [2].

Ursächlich für das Auftreten der Mängel sind das Zusammentreffen einer Vielzahl rechtlich und wirtschaftlich selbständiger Akteure und ein heute noch sehr geringer Automatisierungsgrad mit inflexiblen, zentralen Steuerungs- und Rückmeldungssystemen. Es fehlen eine automatisierte Erhebung, logistische Verknüpfung und anwenderbezogene Aufbereitung prinzipiell vorhandener Daten sowie deren rechtzeitiger Rückgabe in den Fertigungsprozess. Bisherige Erkenntnisse aus Forschungs- und Entwicklungsarbeiten [3], [4], [5], [6], [7], [8] weisen darauf hin, dass durch eine Erhöhung des Automatisierungs- und Autonomiegrades hin zu einer wertschöpfungssystemweit koordinierten und Roboter-gestützten Fertigung und Logistik mit Verfahren der Built-In-Quality [9] erhebliche Beiträge zur Verbesserung der Qualität und der ökonomischen sowie ökologischen Effizienz der Straßenfertigung erzielt werden können.

2 Bisherige Prozesse im Asphalteinbau

Unter der Lean Construction Methodik werden verschiedene Programme für die Planung, die Umsetzung und die Auswertung von Baumaßnahmen verstanden. Heutzutage werden mithilfe von Checklisten alle relevanten Informationen, sonstige Randbedingungen und offenen Punkte, die für die Planung und Durchführung eines Projektes notwendig sind, eingeholt und geklärt [10]. In der Bauablaufplanung werden alle für die Baustelle wichtigen Daten visuell aufbereitet, sodass dem Bauleiter klare und eindeutige Vorgaben für einen reibungslosen Einbau zur Verfügung stehen. Daten wie, Baufeldlänge, Baufeldbreite, Bauanfang, Bauende, einzubauende Schichtdicken, sowie die Art des Asphaltmischguts, sind auf einen Blick sichtbar zusammengefasst. Ein wesentlicher Vorteil einer graphischen Darstellung der Bauablaufplanung ist das Erkennen von etwaigen Unklarheiten, Störpotenzialen und sonstigen kritischen Randbedingungen. Sie ist zudem eine eindeutige Kommunikationsgrundlage für alle Baubeteiligten.

Ein weiteres Tool dient der Leistungsermittlung der Asphaltmischanlagen. Hier werden Mischleistungen unterschiedlicher Asphaltmischgutsorten und Silokapazitäten zusammen mit den für die Baustelle zur Verfügung stehenden Mischgutmengen je Stunde und pro Tag übersichtlich dargestellt. Die Ermittlung des Mischgut- und Fuhrparkbedarfs erfolgt oftmals mit einem einfach bedienbaren manuellen Excel-Tool. Durch die Eingabe relevanter Einbauparameter wie Einbaudicke, -breite und -gewicht sowie Einbaugeschwindigkeit wird der erforderliche Mischgutbedarf automatisch errechnet.

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Blickle
Ed. Züblin AG
Albstadweg 3, 70567 Stuttgart
alexander.blickle@zueblin.de
www.zueblin.de

Heiko Karstedt
STRABAG AG
Siegburger Straße 241, 50679 Köln
heiko.karstedt@strabag.com
www.strabag.de

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Paulitsch, M.Eng.
Ed. Züblin AG
Albstadweg 3, 70567 Stuttgart
alexander.paulitsch@zueblin.de
www.zueblin.de

Dr.-Ing. Jochen Teizer
Ed. Züblin AG
Albstadweg 3, 70567 Stuttgart
jochen.teizer@zueblin.de
www.zueblin.de

Dipl.-oec. Marcus Müller
Universität Hohenheim, Wirtschaftsinformatik 2
Schwerzstr. 35, 70599 Stuttgart
marcus.mueller@uni-hohenheim.de
www.uni-hohenheim.de/wi2

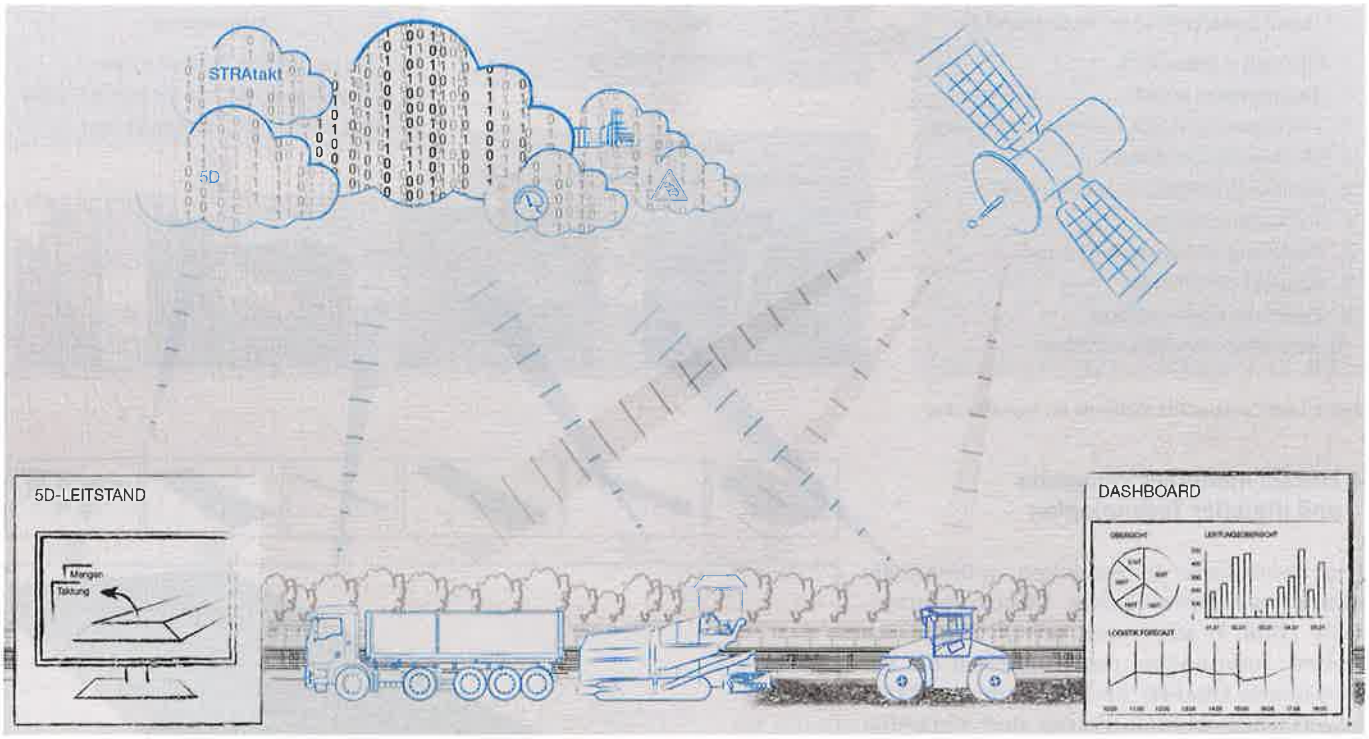


Bild 1. Systemarchitektur der Informationstechnologien zum intelligenten Straßenbau

Die Ermittlung der Lastkraftwagen (Lkw)-Rundenzeiten errechnet sich aus einzelnen Zeitdauern wie beispielsweise Verweildauer eines Lkw auf der Asphaltmischanlage und der Fahrt des Lkw zur Baustelle. Unter Berücksichtigung des Mischgutbedarfs und der Lkw-Rundenzeiten wird die Anzahl der benötigten Lkw errechnet. Basierend auf den bereits ermittelten Planungsergebnissen wird mit einer genauen Taktplanung ein Einbau- und Lkw-Fahrplan generiert, um die Prozesskette, Herstellung, Transport und Asphalteinbau harmonisch aufeinander abzustimmen.
Durch die Abstimmung und Eintaktung dieses Gesamtprozesses Asphalteinbau ist eine Steuerung und somit ein kontinuierlicher Einbau möglich. Unter Berücksichtigung des Einbaubeginns sowie der Pausenzeiten (Ruhe- und Lenkpausen) können somit automatisch jede einzelne Be- und Entladezeit aller Lkw-Fuhren berechnet werden. Diese Taktplanung mit der Auflistung aller Fahrten wird an den Mischmeister, an den Asphaltpolier und an jeden Lkw-Fahrer übergeben. Alle Beteiligten sind dadurch über den gesamten Einbauablauf mit den jeweiligen Be- und Entladezeiten informiert. Durch die gleichmäßige Verteilung der Lkw werden hohe Lkw-Spitzen und somit Wartezeiten an der Asphaltmischanlage oder vor dem Fertiger vermieden. Um mögliche Störungen zu vermeiden, wird jeder Lkw durchnummeriert und mit einer Anfahrtsskizze mit Angabe von Einbaurichtung, Zufahrts- und Wendmöglichkeiten ausgestattet.
Verzögert sich jedoch zum Beispiel die Anlieferung des Asphaltmischguts auf die Baustelle aufgrund eines hohen Verkehrsaufkommens zwischen Mischanlage und Baustelle, stoßen die vorhandenen manuell koordinierten Prozesse an ihre technischen Grenzen sowie überfordern sie oft die koordinativen Fähigkeiten des Baustellenpersonals.

3 Ziele des Vorhabens

SmartSite führt daher interdependente, interagierende und bereits einzeln jeweils sehr erfolgreiche Wertschöpfungsketten aus den Bereichen Baumaschinen, Baustellenumgebung und Baustellennetze sowie Bauprozessüberwachung zusammen und vernetzt diese, um wichtige nächste Innovationsschritte auf dem Sektor des Straßenbaus einzuleiten und zu befördern [2], [11], [12]. SmartSite erhebt und dokumentiert dazu die auswertbaren Daten für Umwelt, Baumaschine und Bauprozesssteuerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette Straßenbau, von der Mischanlage über die Transportlogistik bis hin zum voll automatisierten Fertiger und Walzenzügen (**Bild 1**).
Die SmartSite-Plattform führt dabei die Maschinensteuerung mit den 5D-Planungsdaten, den Baugeräte-IST-Daten, mit der über Netzwerke angebundenen digitalen, modellbasierten Bauprozesssteuerung zusammen. Ziel ist eine dynamische, bidirektionale und Internet Protokoll (IP)-basierte Ende-zu-Ende-Kommunikation zwischen Maschinen und Bauprozesssteuerung.
Im beschrieben Anwendungsfall einer Störung in der Kette des Asphalteinbaus würde durch SmartSite das System sofort Anweisungen und Vorschläge errechnen, um einen möglichst behinderungsfreien Bauablauf zu sichern (**Bild 2**). Diese beständen beispielsweise in der Reduzierung der Geschwindigkeit des Asphaltfertigers und/oder der Umleitung der Fahrtroute der Lkws. Durch die Erfassung der sensorbasierenden Maschinen, werden Baufortschritt und Qualität in Echtzeit in der SmartSite-Cloud erfasst, wodurch zu jedem Zeitpunkt SOLL- und IST-Daten miteinander verglichen und diese am 3D-Modell visualisiert werden können.

Bild 2. Lean Construction Methodik im Asphalteinbau

4 Einsatz moderner vernetzter und digitaler Technologien

Um diese Ziele zu erreichen, müssen die existierenden räumlichen Infrastrukturmodelle (**Bild 3**) strukturell erweitert und um weitere Information, unter anderem die Dimensionen Qualität und Leistungsmeldung, angereichert werden. Ferner sind Methoden der Datensammlung durch Sensoren, der computergestützten intelligenten Datenverarbeitung und der Integration qualitätsrelevanter Daten in die Maschinensteuerung neu zu entwickeln [13], [14]. Die Bauprozesssteuerung wird damit unmittelbar mit Daten direkt von der Baustelle versorgt. Die Überwachung der Prozessausführung sowie die Visualisierung der Information erfolgen über Geräte wie SmartPhones und SmartTablets. Diese zukünftigen Arbeitsgeräte der Maschinisten und Bauleiter sind untereinander vernetzt und bieten jederzeit Zugang zu den relevanten digitalisierten Daten.

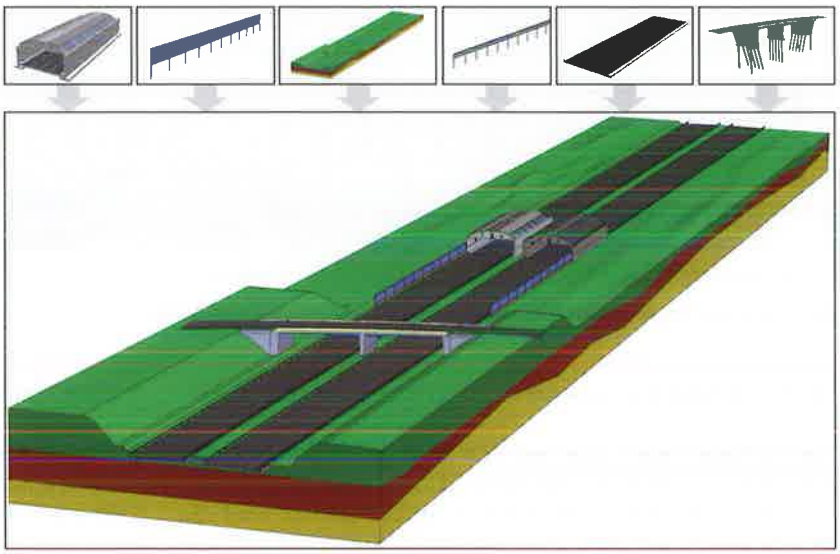


Bild 3. Gewerkeübergreifende BIM-Planung und Steuerung von Verkehrsinfrastrukturprojekten

Bild 4. Cockpit-Lösung für die Echtzeit Datenvisualisierung der Asphaltverdichtung auf einer Walze [2]

SmartSite entwickelt damit den Autonomie-Gedanken wesentlich weiter als bisherige Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Hierfür werden neuartige, flexible und offene Plattform-Lösungen für intelligente autonome Baumaschinen („Service Roboter"), intelligente autonome Baustellenumgebungen und Netze („Smart Networks") sowie intelligente, wertschöpfungssystemweite Bauprozesssteuerung und -überwachung auf Basis dezentraler SmartX-Technologien entwickelt. Dies erfolgt unter anderem durch die Erweiterung und Übertragung von Konzepten des Internets der Dinge und Dienste auf Tiefbaustellen [2].

SmartSite bezieht in die Datenlieferkette vorgelagerte, baustellenexterne Anlagen (Asphaltmischwerke), die Baustellenumgebung („Smart Dust") sowie externe Daten (u. a. Stau-informationen) mit ein. Dadurch wird eine weit in die Zukunft orientierte Bauprozesssteuerung möglich. Unter Einbezug serviceorientierter sowie Cloud-basierter Architekturen und dem Einbezug mobiler Smart-Technologien wird ein ortsunabhängiger Zugriff auf steuerungsrelevante Daten für Mensch und Maschine (Rückkopplung der Daten in die Maschinensteuerung) möglich. Dies setzt intelligente Authentifizierung und Autorisierungsverfahren voraus.

Die angestrebte Architektur des SmartSite-Systems sieht eine Cockpit-Lösung vor (**Bild 4**). Hierfür werden die 5D-Planungsdaten (BIM / 3D-Modell, Terminpläne und Logistiksteuerung) in einer Cloud verwaltet, auf die die an der Baumaßnahme beteiligten Unternehmen, wie Auftraggeber, Auftragnehmer, die Baustelle, Mischwerke, Baumaschinen und Transport- und Bauunternehmen, angebunden sind. Über eine auf sie angepassten rollenbasierten Programmoberfläche auf einem Computer oder Mobilgerät haben sie Zugriff auf die Informationen im SmartSite-System und können gegebenenfalls in Echtzeit steuernd eingreifen. Das bereits in einem früheren Forschungsprojekt AUTOBAULOG [3] entwickelte SiteLink-System für die Maschinensteuerung wird dabei direkt an die SmartSite-Cloud ange-

bunden und in das SmartSite-System integriert. Unter Nutzung serviceorientierter sowie cloud-basierter Architekturen und dem Einbezug mobiler, smarter Sensoren wird ein ortsunabhängiger Zugriff auf steuerungsrelevante Daten auch für die Maschine möglich. Eine Rückkopplung der Daten in die Maschinensteuerung setzt intelligente Authentifizierungs- und Autorisierungsverfahren voraus.

5 Projektstatus

Für die weitere Entwicklung des SmartSite-Projekts wurde bisher ein kompletter Planungsdatensatz als Informationsmodell in Form einer drei Kilometer langen Straße erstellt, um einen mehrtägigen Asphalteinbau zu simulieren [2]. Darin sind alle relevanten Daten modellbasierend enthalten, zum Beispiel 3D-BIM-Modell, Leistungsverzeichnis, Kalkulation, Terminplanung und Lkw-Taktplanung. Diese Daten werden mit den zu entwickelnden Technologien anderer Partner (z. B. Mischwerk-, Maschinen- und Logistiksteuerung) ergänzt, um allen am Straßenbauprojekt Beteiligten sichere, genaue und personifizierte Informationen Cockpit-Lösungen zur Verfügung zu stellen und den Baufortschritt oder Störungen jederzeit problemlos erfassen und überprüfen zu können.
Mit einer multimodell-basierten Bauprozesssteuerung und Dokumentation der einzelnen Prozesse einer Baustelle wird an Pilotprojekten und einer realen Asphaltbaustelle die neu entwickelte Technologie bis 2016 getestet. Somit stehen bei Projektabschluss alle relevanten Informationen für die Bauprozesssteuerung zur Verfügung. Unter anderen werden folgende Fachmodelle zugrunde gelegt: Bauwerksmodell, Mengenmodell, Kostenmodell, Vorgangsmodell und Qualitätsmodell.

6 Vorläufiges Fazit

Durch die Vernetzung über die Cloud werden Mischwerk, Maschinen, Planungsleitstand und Baustellenleitstand so miteinander vernetzt, dass diese bidirektional ihre Daten austauschen können. Durch die Erhebung der sensorbasierten Daten, welche auch die Qualität des gelieferten und eingebauten Materials erfassen (z. B. Fahrgeschwindigkeiten, Verdichtungskennwerte, Anzahl der Überrollungen und die Temperatur des Mischgutes), können diese in einem multimodell-basierten Bautagebuch in der Cloud dokumentiert und an die angebundenen Systeme zur Auswertung herangezogen werden. Die erhobenen Baustellendaten werden aufbereitet in mobilen, App-basieren Cockpit-Endgeräten situationsadäquat präsentiert und bieten so dem Nutzer (u. a. Bauleiter) die Möglichkeit einer völlig neuartigen Arbeitsorganisation. Das intelligente autonome System schafft die Möglichkeit, Baumaschinen weitgehend autonom zu steuern, welche die Qualität und den Ablaufprozess optimiert. Des Weiteren schafft das autonome System auf Grundlage der Daten eine optimierte Lieferkette zwischen Mischwerk, Lieferung und Einbau. Durch die in der Cloud erfassten Ist- und Soll-Daten wird ermöglicht, dass auch weitere Systeme, wie zum Beispiek die vorzeitige Simulation der Logistik erstellt und durch die Soll-Daten ausgewertet werden kann [15], [16], [17].

Literatur

[1] *Ramsauer, P.*: 2,2 Milliarden Euro für Erhalt der Autobahnen und Bundesstraßen. Pressemitteilung des Bundesverkehrsministeriums, 10. Januar 2011.

[2] *Mueller, M.; Kuenzel, R.; Teizer, J.; Blickle, A.*: SmartSite: Intelligent And Autonomous Environments, Machinery, And Processes To Realize Smart Road Construction Projects. Proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Oulu, Finland, 2015.

[3] *Frantzen, C.; Kirn, S.; Kaak, M.; Sturm, A.*: Research Project AutoBauLog – Autonomy and Multi-Agent systems for job-site. Proceedings of the International Conference Machine Control & Guidance (MCG), Bonn, 2010.

[4] *Heikkilä, R.; Jaakkola, M.*: Automation of road construction--the state of the art in Europe. 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC, 2006.

[5] *Jaselskis, E .J.; Han, H. C.; Grigas, J.; Tan, L.; Fahrion, D.*: Status of roller mountable microwave asphalt pavement density sensor. *In*: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 127 (2011), Iss. 1, pp. 46-52.

[6] *Krishnamurthy, B. K.; Tserng, H. P.; Schmitt, R. L.; Russell, J. S.; Bahia, H. U.; Hanna, A. S.*: AutoPave: towards an automated paving system for asphalt pavement compaction operations. *In*: Automation in Construction, Vol. 8 (1998), Iss. 2, pp. 165–180.

[7] *Navon, R.*: Automated project performance control of construction projects. *In*: Automation in Construction, Vol. 14 (2005), Iss. 4, pp. 467–476.

[8] *Scherer, R. J.; Tauscher, H.; Schapke, S.-E.*: MEFISTO: Management – Führung – Information – Simulation im Bauwesen – Tagungsband. Institut für Bauinformatik, Technische Uni Dresden, Dresden, 2011.

[9] *Leung, S.; Mak, S.; Lee, B. L. P.*: Using a real-time integrated communication system to monitor the progress and quality of construction works. *In*: Automation in Construction, Vol. 17 (2008), Iss. 6, pp. 749–757.

[10] *Kirn, S.; Müller, M.*: Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik – Modelle, Methoden und Werkzeuge für den autonomen Erdbau. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2013.

[11] *Pitzler, D.; Cremer, M.*: Maschinentechnische Optimierungen an Asphaltverarbeitenden Maschinen. 41. VDBUM Seminar, 2012, pp. 24–29.

[12] *Minchin, R. E.; Thomas, H. R.*: Validation of Vibration-Based Onboard Asphalt Density Measuring System. *In*: Journal of Construction Engineering & Management, Vol. 129 (2003), Iss. 1, pp. 1-7.

[13] *Golparvar-Fard, M.; Bohn, J.; Teizer, J.; Savarese, S.; Peña-Mora, F.*: Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. *In*: Automation in Construction, Vol. 20 (2011), Iss. 8, pp. 1143–1155.

[14] *Günthner, W.; Borrmann, A.*: Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Springer Verlag, Heidelberg, 2011.

[15] *König, M.; Thewes, M.; Rahm, T.; Scheffer, T.; Sadri, K.; Conrads, A.*: Prozesssimulation von maschinellen Tunnelvortrieben. Verfügbarkeitsanalysen der Leistungsprozesse unter Berücksichtigung von Stillständen. *In*: Bauingenieur 89 (2014), Heft 11, S. 467–477.

[16] *Pradhananga, N.; Teizer, J.*: Cell-based Construction Site Simulation Model for Earthmoving Operations using Real-time Equipment Location Data. *In*: Visualization in Engineering, Vol. 3 (2015), Iss. 12.

[17] *Vasenev, A.; Pradhananga N.; Bijleveld, F.; Ionita, D.; Hartmann T.; Teizer, J.; Dorée, A.*: Information Fusion Approach to Increase the Quality of GNSS Data Sets in Construction Equipment Operations. *In*: Advanced Engineering Informatics, Vol. 28 (2014), pp. 297–310.

Innovative Fassadenfertigteile aus Bioverbundwerkstoffen

J. Wurm, G. Carra

Zusammenfassung Im Rahmen des BioBuild-Forschungsprojektes entstand das weltweit erste selbsttragende Elementfassadensystem aus Bioverbundwerkstoffen. Für dessen Herstellung wird bis zu 50 Prozent weniger Energie benötigt als für herkömmliche Systeme, ohne dass zusätzliche Kosten für den Kunden anfallen.

Gesetzliche Umweltauflagen, verbesserte haustechnische Systeme und effizientere Hüllsysteme haben den Energieverbrauch von Gebäuden in den vergangenen Jahrzehnten stark reduziert. Bei den Verbrauchsberechnungen bleibt die für die Herstellung der Baumaterialien benötigte Energie, die sogenannte graue Energie, unberücksichtigt. Sie ist für die Beurteilung der Umweltauswirkungen jedoch wichtig, da sie rund 35 Prozent der Kohlenstoffbilanz eines Gebäudes zu verantworten hat. Durch Lebenszyklusanalysen, die Herstellung und Rückbau von Bauwerken und Bauteilen mit berücksichtigten, rücken bei der Entwicklung von Bausystemen die Themen von Material- und Ressourceneffizienz immer mehr in den Vordergrund.

Die Baumaterialien der Zukunft werden angebaut

Vor diesem Hintergrund haben sich dreizehn Partner aus sieben Ländern für das von der EU geförderte BioBuild-Forschungsprojekt zusammengeschlossen. Ihr Hauptanliegen ist es, innovative Baumaterialien auf Basis natürlicher, schnell nachwachsender Rohstoffe zu entwickeln. Besonders gut geeignet für ein solches Vorhaben sind Bioverbundwerkstoffe aus natürlichen Fasern wie Flachs, Hanf und Jute sowie natürlichen Harzen, die im Zuge der landwirtschaftlichen Verarbeitung als Nebenprodukte von Mais und Zuckerrohr gewonnen werden. Sie lassen sich zu leichten, haltbaren und leistungsfähigen Produkten verarbeiten, die Kohlendioxid speichern und damit die Nachhaltigkeit von Bausystemen noch weiter verbessern.

Nach einer dreieinhalbjährigen Entwicklungsphase präsentierte das BioBuild-Konsortium Anfang dieses Jahres je zwei innovative Bausysteme für Innen- und Außenanwendungen. Die Produktpalette umschließt neben Trennwand- und Deckensystemen auch ein Bausystem für hinterlüftete Vorhangfassaden und ein Elementfassadensystem aus Bioverbundwerkstoffen.

Dr. Jan Wurm
Associate Director
Arup Deutschland GmbH

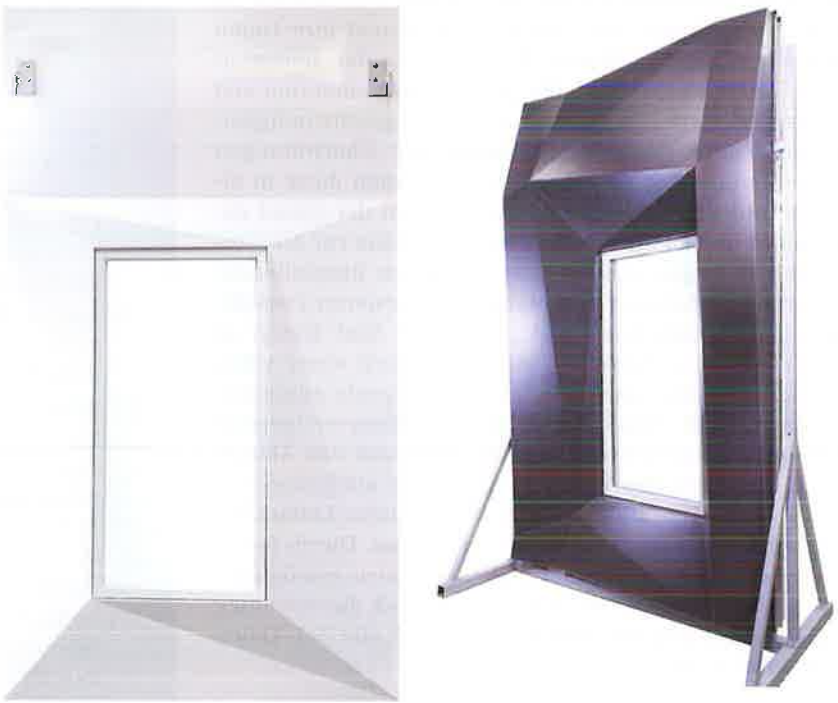
Dr. Guglielmo Carra
Senior Engineer
Arup Deutschland GmbH

Das vom weltweit tätigen Planungs- und Beratungsbüro Arup in enger Zusammenarbeit mit GXN Innovation, der internen Forschungsabteilung des dänischen Architekturbüros 3XN entwickelte und als Prototyp von Fiber-Tech umgesetzte Fassadensystem wurde bereits im Februar dieses Jahres, kurz nach seiner Fertigstellung, mit dem JEC Innovation Award als innovativstes Produkt im Bausektor ausgezeichnet.

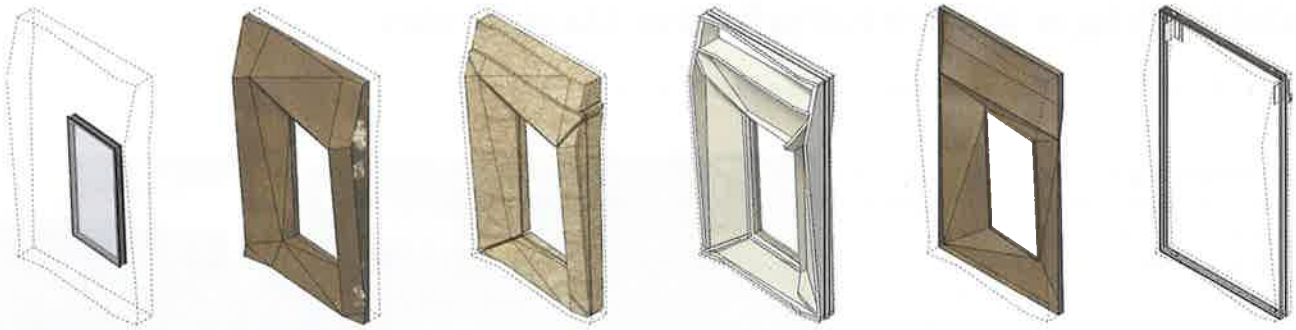
Vorgefertigte hochleistungsfähige Fassadensysteme

Die einzelnen Fassadenpaneele dieses Systems sind 2,30 Meter breit und 4,00 Meter hoch, mit einem integrierten Fensterelement. Jedes Element besteht aus zwei Bioverbundwerkstoffschalen aus einem mit Bio-Polyester imprägnierten Textil aus Flachsfasern. Die Außenschale hat eine nass aufgetragene transparente Schutzschicht, die das natürliche Gewebe sichtbar lässt; die Innenschale ist dagegen weiß lackiert, um die abstrakte formale Qualität des Elementes zu zeigen. Für die Oberflächen können je nach Anforderung unterschiedliche Farben und Lacke für die Beschichtungen ausgewählt werden. Zwischen den beiden Schalen befindet sich ein nicht brennbarer Dämmstoff, der die akustische und thermische Leistungsfähigkeit der Fassade erhöht. Die Dicke ist dabei variabel.

Die Fassadenelemente werden vorgefertigt auf die Baustelle geliefert. Dies ermöglicht die schnelle Montage und einen entsprechend effizienten Baufortschritt. Das System ist für den Wohn- als auch den Gewerbebau geeignet; aufgrund des geringen Gesamtgewichts bietet es sich auch für Fassadensanierungen an.



Innen- und Außenansichten der Prototyp BioBuild-Elementfassade Foto: lichtzelt.com



Technischer Aufbau des BioBuild-Fassadensystems

Grafik: GNX Innovation

Vielfältige architektonische Gestaltungsmöglichkeiten

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Bioverbundwerkstoffe: Die Parametrisierung der selbsttragenden Geometrie bietet einen großen gestalterischen Spielraum bei Integration zusätzlicher Funktionalitäten. Die facettierte Geometrie des Fassadensystems kann die Energieeffizienz des Gebäudes optimieren: Der vorspringende obere Teil der Paneele kann je nach Gebäudelage und Fassadenausrichtung variieren. Als außen liegende Verschattung werden so die Kühllasten in den Sommermonaten reduziert. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit von Bioverbundwerkstoffen ermöglichen diese integrierten Verschattungselemente eine hochgedämmte und wärmebrückenfreie Außenhaut, die dem Passivhausstandard entspricht.

Das BioBuild-Fassadensystem wurde nach dem Lebenszyklus-Modell entwickelt. Sämtliche Bestandteile des Systems können leicht voneinander getrennt und am Ende des Lebenszyklus entweder recycelt oder wiederverwendet werden.

Entwicklung nach europäischen Standards

Es wurden zahlreiche Tests durchgeführt, um sicherzustellen, dass Bioverbundwerkstoffe für den Einsatz in der Bauindustrie geeignet sind. Für sämtliche Materialtests und Untersuchungen an den Fassadenelementen im Originalmaßstab wurden die jeweils relevanten ISO-Standards, European Standards (EN) und European Technical Assessment (ETA) Normen berücksichtigt. Die Testergebnisse bestätigen, dass Bioverbundwerkstoffe dank ihrer mechanischen Eigenschaften als tragende Elemente im Fassadenbau eingesetzt werden können. Das Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht ist vergleichbar mit dem von konventionellen Verbundwerkstoffen und Metallen. Langzeittest belegen, dass die Wasserabsorption kontrollierbar ist und die Bioverbundwerkstoffe eine gute Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen aufweisen. Folglich besitzen Bioverbundwerkstoffe eine hohe Altersbeständigkeit. In statischen Belastungsversuchen konnten hohe Festigkeiten unter Wind- und Anpralllasten nachgewiesen werden.

Die biologischen Bestandteile von Bioverbundwerkstoffen sind insbesondere für die Brandschutzeigenschaften und den Abbau und die Kompostierung entscheidend. Die gewählten Faser- und Harzmaterialien wiesen in der Erprobungsphase eine niedrige Entflammbarkeit auf und sind daher für die vorgesehene Verarbeitung besonders gut geeignet. Sie erfüllen die europäischen Auflagen. Auch wenn die Testphase für Feuersicherheit und Haltbarkeit noch andauert, scheint eine Lebensdauer von 40 Jahren realistisch. Damit wäre die Langlebigkeit des BioBuild-Fassadensystems mit der von Vorhangfassaden aus Aluminium vergleichbar.

Das BioBuild-Forschungsprojekt wurde vom 7. Forschungsprogramm der Europäischen Union gefördert.

Visualisierung einer BioBuild-Fassadenansicht

Grafik: GNX Innovation

Das BioBuild Konsortium

Dreizehn Partner aus sieben europäischen Ländern sind an dem BioBuild-Gemeinschaftsprojekt beteiligt: ACCIONA Infrastructures (Spanien), Amorim Cork Composites (Portugal), Arup Deutschland (Deutschland), Exel Composites (Großbritannien), Fiber-Tech Construction (Deutschland), GXN Innovation (Dänemark) Institut für Verbundwerkstoffe Kaiserslautern (Deutschland), Katholieke Universiteit Leuven (Belgien), Laboratorio Nacional De Engenharia Civil (Portugal), NetComposites (Großbritannien), SHR (Niederlande), TransFurans Chemicals (Belgien), Nederlandse Organisatie voor Togepast TNO (Niederlande).

Lochstegträger als wirtschaftliche Dachbinder

B. Hauke, R. Siebers, M. May, H. Girkes, F. Olitzscher, W. Wiegel

Zusammenfassung Aus Walzprofilen gefertigte Lochstegträger werden insbesondere für Dachbinder aufgrund ihrer wirtschaftlichen Vorteile und einfachen Anwendbarkeit von Planungsbüros und ausführenden Unternehmen wiederentdeckt. Der im Vergleich zu anderen Bauweisen optimierte Materialverbrauch, mit geringerem Eigengewicht der einzelnen Träger, ermöglicht eine vereinfachte Anlieferung der einbaufertigen Bauteile auf die Baustelle und eine Montage mit relativ kleinen Kränen. Aus dem geringen Materialverbrauch resultiert neben den entsprechend geringen Bauteilkosten auch eine günstige Beurteilung der Nachhaltigkeit, welche, kombiniert mit einer hohen Flexibilität und Anpassbarkeit an die Projektbedingungen einen Zusatzvorteil bedeutet. Hier werden der wirtschaftliche Einsatz von Lochstegträgern als Dachbinder und der Umgang mit Brandschutzanforderungen beschrieben sowie ein Vergleich mit Spannbetonbindern bezüglich Ökobilanz, Transport und Montage vorgestellt.

Bild 1. Lochstegträger als geneigter Dachbinder bei der Verladung Foto: ArcelorMittal

1 Lochstegträger für wirtschaftliche Hallendachbinder

Durch seine hohe Festigkeit und seine leichte Bearbeitbarkeit ist Stahl für vielfältige Arten von Tragstrukturen gut geeignet und oft sehr wirtschaftlich einsetzbar. Die Auswahl von optimalen Querschnittsabmessungen in Kombination mit der geeigneten Stahlgüte führt zu leichten und kostengünstigen Lösungen für Tragstrukturen aus Profilstahl. Für den Einsatz als Dachbinder besonders für Hallen werden im folgenden Lochstegträger beschrieben. Diese können bei geringem Eigengewicht große Spannweiten erreichen und erzielen durch die ansprechende Geometrie der Öffnungen eine hohe Transparenz und Lichtdurchlässigkeit und damit ein angenehmes Raumgefühl für die Nutzer der Halle.

Besonders Stahlrahmenkonstruktionen mit Dach- und Wandelementen aus Trapez- oder Sandwichprofilen sind kostengünstig, bewährt und weit verbreitet. Ein weiterer Hallentypus ist eine Konstruktion mit eingespannten Stützen und Dachbindern als Einfeldträgern. Metalldacheindeckungen sind auch hier aus vielfältigen Gründen die Regel, für Wandelemente sind auch andere Bauweisen bekannt. Insbesondere für diesen Hallentypus bieten sich Lochstegträger als Dachbinder als ideale Lösung an, sowohl als gerade Träger als auch als geneigte Träger, welche durch eine spezielle Herstellungsmethode sehr gut an die Dachform anpassbar sind (**Bild 1**).

Die wesentlichen Vorteile von Lochstegträgern sind der geringe Materialeinsatz in Verbindung mit geringen Materialkosten, die einfache Anarbeitung in Verbindung mit günstigen Herstellungskosten und die montagefertige Anlieferung auf die Baustelle, welche eine wirtschaftliche Montage ermöglicht. Durch die konstruktionsbedingt vorhandenen Öffnungen können zudem einfach und effektiv Leitungen, Rohre und technische Installationen geführt werden. Im Vergleich zu anderen Bauweisen ist der Transport der Elemente zur Baustelle wesentlich einfacher (**Bild 2**). Schwertransporte sind selten erforderlich, sowohl bei Transport in ganzen Längen als auch bei verschraubten Baustellenstößen, welche häufig als mittige Kopfplattenstöße konstruktiv einfach und montagefreundlich ausgeführt werden. Des

Dr. Bernhard Hauke
bauforumstahl
Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf
zentrale@bauforumstahl.de

Raban Siebers, M.Sc.
Universität Duisburg-Essen
Institut für Baubetrieb und Baumanagement
Universitätsstr. 15, 45141 Essen
raban.siebers@uni-due.de

Dipl.-Ing. Marc May
ArcelorMittal Europe – Long Products
66, rue de Luxembourg
4221 Esch-sur-Alzette, Luxembourg
marc.may@arcelormittal.com

Dipl.-Ing. Hans Girkes
bauforumstahl
Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf
brandschutz@bauforumstahl.de

Dipl.-Ing. Frank Olitzscher
Olitzscher & Rothe Ingenieurstahlbau
Prüfeninger Str. 35, 93049 Regensburg
info@olitzscher.com

Waldemar Wiegel
ZBN Civil Engineers Ltd.
Coubertin Str. 1, 48301 Nottuln
ww@zbn.de

Bild 2. Transport mehrerer Lochstegträger-Dachbinder – Lieferlänge 29,8 m.
Foto: ArcelorMittal

Bild 3. Lochstegträger als Dachbinder in Hamburg – Spannweite 19,6 m.
Foto: ArcelorMittal

Weiteren ist aufgrund des geringen Trägergewichts die Montage auf der Baustelle mit vergleichsweise kleinen Baustellenkränen möglich, was wiederum mit Kostenvorteilen einhergeht.

Für einen wirtschaftlichen Einsatz von Lochstegträgern ist die Auswahl des am besten geeigneten Walzprofils und der günstigsten Geometrie zur Optimierung der Anarbeitung in der Stahlbauwerkstatt von Bedeutung. Verschiedene Konfigurationen von Lochstegträgern wie gerader Stahlträger mit konstanter Höhe, einseitig oder beidseitig geneigte Träger, gekrümmte Träger und gerade oder geneigte Kragträger sind möglich. Entsprechende Vorbemessungsprogramme werden zum kostenfreien Download angeboten [1], mit denen die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt und die Verformungen im Gebrauchszustand ermittelt werden können.

Als meist wirtschaftlichste Stahlgüte wird S 355 für Walzträger und insbesondere für die daraus gefertigten Lochstegträger empfohlen. Die Stahlgüten S235 und S275 sind im Allgemeinen weniger wirtschaftlich. Darüber hinaus besteht häufig durch den Einsatz von S460 eine Möglichkeit zur weiteren Querschnitts- und damit Kostenoptimierung.

In den Anarbeitungszentren der Hersteller werden die typischen Spannweiten zwischen rund 15 Metern und 35 Meter bearbeitet. Sowohl kleinere als auch größere Spannweiten sind sinnvoll und können wirtschaftlich ausgeführt werden. Beispielhaft für solche Projekte steht eine vor kurzem in Betrieb genommene Halle für Verpackung und Logistik auf dem Gelände des Hamburger Hafens. Für die Dachkonstruktion ermöglichen Lochstegträger eine ästhetische, leichte und praktische Lösung. Die technischen Installationen konnten sehr einfach integriert und durch die Öffnungen im Träger geführt werden. Um im Halleninneren weniger störende Stützen anordnen zu können, wurde der Abstand der Innenstützen im Vergleich zum Abstand der Stützen an den Außenwänden vergrößert (**Bild 3**). Insgesamt circa 100 Tonnen Profilstahl aus dem Ausgangsprofil IPEA550 wurden zu Lochstegträgern mit 19,60 Meter-Spannweite angearbeitet. Der Lieferumfang enthielt neben den erforderlichen Trenn- und Schweißarbeiten auch die Oberflächenbehandlung, hier Feuerverzinkung, Lackierung und teilweise Brandschutzanstrich.

2 Brandschutz nach Muster-Industriebau-Richtlinie für Hallen mit Lochstegträgern

Mit der Muster-Industriebau-Richtlinie [3] können Hallen mit Lochstegträgern als Hallenbinder über vereinfachte Nachweise ohne Brandschutzanforderungen an die tragende Konstruktion errichtet werden. Nach der M-IndBauRL können maximal zulässige Brandabschnittsflächen in Abhängigkeit der erforderlichen Feuerwiderstandsklasse der Bauteile und der vorhandenen brandschutztechnischen Infrastruktur bestimmt werden. Dies ist für den Baustoff Stahl von großer Bedeutung, da nun nicht mehr der Feuerwiderstand einzelner Bauteile allein die Sicherheit im Brandfall bestimmt. Brandschutzmaßnahmen werden berechenbar. Ziel dieser Richtlinie ist es, die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Industriebauten zu regeln.

Bei eingeschossigen Hallen mit Lochstegträgern können die Bauteile ohne Anforderung an den Brandschutz ausgeführt werden. Diese Erleichterung ist jedoch an Nebenbedingungen geknüpft. Sie gelten sowohl für Brandabschnitte nach Abschnitt 6 als auch für Brandabschnitte nach Abschnitt 7. Die zulässige Fläche der Brandbekämpfungsabschnitte richtet sich dabei nach der äquivalenten Branddauer und der brandschutztechnischen Infrastruktur (Sicherheitskategorie).

Nach Abschnitt 6 ist es möglich eingeschossige Hallen mit Lochstegträgern in der Sicherheitskategorie K1 ohne Brandschutzanforderungen bis zu einer Größe von 1.800 Quadratmeter, nach Abschnitt 7 bis zu 9.000 Quadratmeter und unter Umständen sogar darüber hinaus, zu erstellen. Bei Hallen mit Brandschutzanforderungen, zum Beispiel F30 ist eine Heißbemessung der Lochstegträger technisch

Tabelle 1. Zulässige Größe der Brandabschnittsflächen in m² nach M-IndBauRL

	Maximale Brandabschnittsfläche [m²]	
Sicherheitskategorie	ohne Anforderung an den Feuerwiderstand F0	mit Anforderung an den Feuerwiderstand F30
K1 ohne besondere Maßnahmen	**1800***	**3000**
K2 Mit automatischer Brandmeldeanlage	**2700***	**4500**
K3 mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr	**3200–4500***	**6000**
K4 Mit selbsttätiger Feuerlöschanlage	**10000**	**10000**

* Wärmeabzugsfläche 5% und Breite des Gebäudes 40 m

Tabelle 2. Zulässige Größen der Flächen von Brandbekämpfungsabschnitten erdgeschossiger Industriebauten ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile in m² nach M-IndBauRL

Sicherheitskategorie	Äquivalente Branddauer t_a in Minuten			
	15	30	60	90
K1	9000	5500	2700	1800
K2	13500	8000	4000	2700
K3	16000–22500	10000–13500	5000–6800	3200–4500
K4	30000	20000	10000	10000
Mindestgröße der Wärmeabzugs- flächen in % nach DIN 18230–1	1	2	3	4
Zulässige Breite des Industriebaus in m	80	60	50	40

möglich. Deutlich wirtschaftlicher sind jedoch meist dämmschichtbildende Brandschutzanstriche [4], [5].

2.1 Vereinfachtes Nachweisverfahren nach Abschnitt 6

Das vereinfachte Nachweisverfahren nach Abschnitt 6 basiert auf der Einhaltung zulässiger Größen der Brandabschnittsflächen in Abhängigkeit von der Sicherheitskategorie, der Anzahl der Geschosse und der Feuerwiderstandsklasse der Bauteile.

Bei Einhaltung der allgemeinen Anforderungen nach Abschnitt 5 der MIndBauRl können erdgeschossige Industriebauten bis zu einer Grundfläche von 1.800 Quadratmetern (**Tabelle 1**) ohne Anforderung an den Feuerwiderstand der Bauteile errichtet werden.

2.2 Nachweisverfahren nach Abschnitt 7

Für Hallen mit Lochstegträgern, die nicht nach dem vereinfachten Verfahren beurteilt werden können, wird auf der Grundlage der ermittelten Brandlasten durch das Rechenverfahren nach DIN 18230–1: die äquivalente Branddauer t_a zur Bestimmung der zulässigen Fläche und die rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer erf t_f zur Bestimmung der Anforderungen an die Bauteile nach den Brandsicherheitsklassen für einen Brandbekämpfungsabschnitt bestimmt.

Erdgeschossige Hallen sind ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile zulässig, wenn die Flächen des Brandbekämpfungsabschnittes nicht größer, die Wärmeabzugsflächen im Dach nicht kleiner und die Breite des Industriebaus nicht größer sind, als die Werte in **Tabelle 2** und die äquivalente Branddauer weniger als 90 Minuten beträgt.

3 Vergleich Lochstegträger mit Spannbetonbindern

Betrachtet wird eine typische Halle mit einer Länge von circa 60 Metern. Die Binderstützweite beträgt 25 Meter. Die Binder werden auf statisch geeignete Stahlbetonstützen aufgelagert. Der Wandaufbau wird mit horizontal verlegten Sandwichprofilen ausgeführt, welche direkt auf den Stützen befestigt werden. Verglichen werden zwei verschiedene Dachbinder: Spannbetonbinder (**Bild 4**) und Lochstegträger (**Bild 5**). Die Bemessung des Spannbetonbinders wird [6] entnommen. Die Bemessung des Lochstegträgers erfolgt mit dem ACB+ Programm [1]. Die lichte Höhe unter den Bindern beträgt 9,50 Meter. Einschließlich der Höhe der Dachbinder ergeben sich Gesamthöhen von 11,5 Meter mit Spannbetonbindern oder 10,5 Meter mit Lochstegträgern. Eine weitere Bauhöhenreduktion kann erfolgen, wenn technische Installationen durch die Öffnungen der Lochstegträger geführt werden anstatt unter der Trägerebene. Im vorliegenden Beispiel wird diese Möglichkeit nicht weiter betrachtet oder bewertet. Aber bereits mit der geringeren Bauhöhe von einem Meter bei gleicher lichter Höhe unter den Bindern ergibt sich für die Variante mit Lochstegträgern eine Ersparnis von 175 Quadratmeter Fassadenfläche oder rund 10.000 Euro. Die erforderliche

Bild 4. Typische Halle mit Spannbetonbindern

Bild 5. Typische Halle mit Lochstegträgern

Heiz- und Kühlenergie pro Jahr verringert sich ebenfalls entsprechend.
Bei den Lochstegträgern wird aufgrund ihrer Schlankheit eine Trapezblechdachbedeckung als Schubfeld ausgeführt und als Biegedrillknickhalterung heran gezogen.

3.1 Ökobilanzieller Vergleich

Die Ökobilanzierung ist unter anderem durch die Einführung des Gütesiegels der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) und dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundes zu einem festen Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden geworden. Methodisch gesehen ist die Ökobilanzierung eine Lebenszyklusbetrachtung. Das heißt ein Produkt, ein Bauteil oder ein Gebäude wird über die gesamte Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung und Aufbereitung, über die Herstellung und Nutzung bis hin zu Recycling oder Entsorgung betrachtet. Potenziellen Wirkungen auf die Umwelt, zum Beispiel das Treibhauspotenzial und der Energiebedarf, werden für die Abschnitte des Lebensweges zusammengestellt. Quelle für diese Umweltwirkungen sind Durchschnittsdatenbanken wie die ÖKOBAUDAT des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und die Herstellerspezifischen Umwelt-Produktdeklarationen (EPD). Hier werden die Umweltdaten für eine Bezugsgröße wie ein Kilogramm oder ein Kubikmeter angegeben. Je nach konkreter Situation müssen jedoch die kompletten funktionalen Einheiten, also ein gesamtes Tragwerk oder eine grundlegende Baugruppe verglichen werden. Durch die unterschiedlichen Baustoffmassen, die sich aus den Materialeigenschaften der eingesetzten Bauprodukte ergeben, lässt sich so eine objektive Aussage treffen. In diesem Beispiel werden nur die Dachbinder einer Halle betrachtet. Stützen, Fundamente oder Dach- und Fassadenkonstruktion werden vernachlässigt.

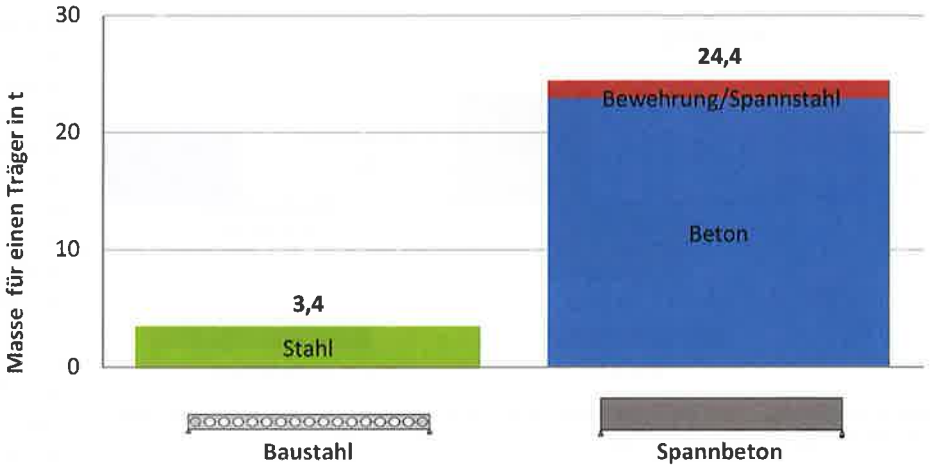


Bild 6. Massenvergleich Lochstegträger und Spannbetonbinder

Nachdem das Gebäude sein Lebensende erreicht hat und abgerissen oder demontiert wurde, werden die Bauprodukte in verschiedene Materialfraktionen sortiert und, falls möglich, einer neuen Nutzung zugeführt. Hier müssen je nach Baustoff verschiedene Szenarien betrachtet werden. Nach dem neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz ist hier die Wiederverwendung allen anderen Entsorgungsarten vorzuziehen. Die nächste Stufe der im Gesetz vorgegebenen Abfallhierarchie ist das Recycling der Materialien, vorzugsweise ohne Qualitätsverluste. Untergeordnet ist die Verwertung (stofflich wie energetisch) und die Deponierung. Jedes dieser Szenarien ist mit Gutschriften oder Belastungen verbunden, die berücksichtigt werden müssen und die sich je nach eingesetzten Baustoffen nicht unerheblich auf die Ökobilanz des Gebäudes auswirken. Durch den Materialwert und die besonderen Eigenschaften sind für Stahlprodukte das Recycling und die Wiederverwendung die etablierten Wege: 88 Prozent des Baustahls werden Recycelt und elf Prozent Wiederverwendet. Das dadurch entstehende Recyclingpotenzial ist in der EPD-BFS-20130094 für Baustähle ausgewiesen [7]. In der EPD für den verwendeten Beton wird davon ausgegangen, dass 96 Prozent des Betons verwertet und vier Prozent deponiert werden. Im Zuge der Verwertung wird der Betonabbruch aufbereitet, um danach als Substitut für Schotter aus Primärmaterial zum Einsatz zu kommen.

Für die Ökobilanzierung werden für den Baustahl die EPD-BFS-20130094 und für Beton die EPD-IZB-2013441 nach ISO14025 und EN 15804 herangezogen. Für schlaffe Bewehrung und Spannstahl werden die Durchschnittsdaten aus der ÖKOBAUDAT verwendet. Nach einer Massenermittlung aus den Konstruktionsplänen lassen sich so die Umweltwirkungen ermitteln

Vergleicht man die Baustoffmassen der verschiedenen Ausführungen (**Bild 6**), so zeigt sich, dass Baustahl wegen seiner hohen Festigkeit besonders schlanke und damit materialeffiziente, leichte Konstruktionen erlaubt. Damit einher geht nicht nur ein geringerer Materialbedarf für ein konkret betrachtetes Bauteil, in diesem Fall der Lochstegträger, oft sind auch zum Beispiel weniger Stützen, geringer dimensionierte Fundamente oder weniger Materialtransporte zur Baustelle erforderlich. Eine Betrachtung der Transporte findet ebenfalls in diesem Beitrag statt. Um die Ergebnisse der Ökobilanz darzustellen werden nun Beispielhaft für alle Umweltwirkungen einer vollständigen Ökobilanz die nicht erneuerbare Primärenergie und das Treibhauspotenzial (GWP) für die beiden Trägervarianten abgebildet. (**Bild 7, Bild 8)**

Werden die Gutschriften oder Belastungen, die durch Wiederverwendung und Recycling von Baustahl oder durch das Verwerten und die Deponierung von Beton entstehen, in der Bilanzierung berücksichtigt, so zeigen sich deutlich die Vorteile der Recycling- und der Wiederverwendungsfähigkeit von Baustahl. Einwirkungen auf die Umwelt werden reduziert und Ressourcen effizient genutzt. Auch die Verwendung von gebrochenem Beton als Schotterersatz zeigt sich als Vorteil in der Ökobilanz. Bei Betrachtung des nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauchs liegen die beiden Dachbindervarianten fast gleichauf (Bild 7). Beim Treibhauspotenzial werden Vorteile für den Lochstegträger deutlich (Bild 8). In diesem Konstruktionsvergleich kommt zum Tragen, dass Baustahl nach einem Nutzungszyklus wieder eingesammelt und ohne Einbußen bei den Materialeigenschaften vollständig recycelt wird. Außerdem ist in dem Massenvergleich deutlich zu sehen dass Baustahl wegen seiner hohen Festigkeit besonders leichte und damit materialeffiziente Konstruktionen erlaubt.

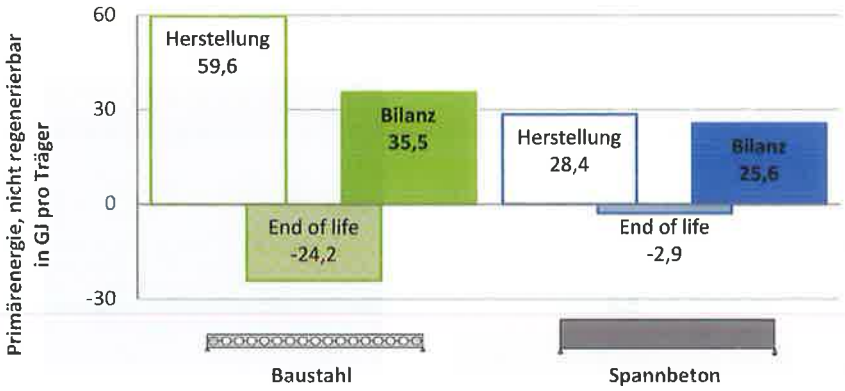


Bild 7. Primärenergie, nicht erneuerbar für Herstellung und End of Life: Recycling (Stahl) oder stoffliche Verwertung (Beton) in GJ pro Träger

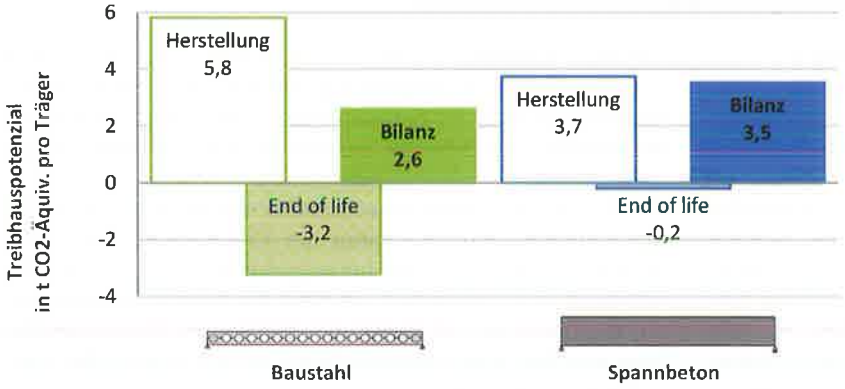


Bild 8. Treibhauspotenzial (GWP) für Herstellung und End of Life: Recycling (Stahl) oder stoffliche Verwertung (Beton) in t CO2-Äquiv. pro Träger

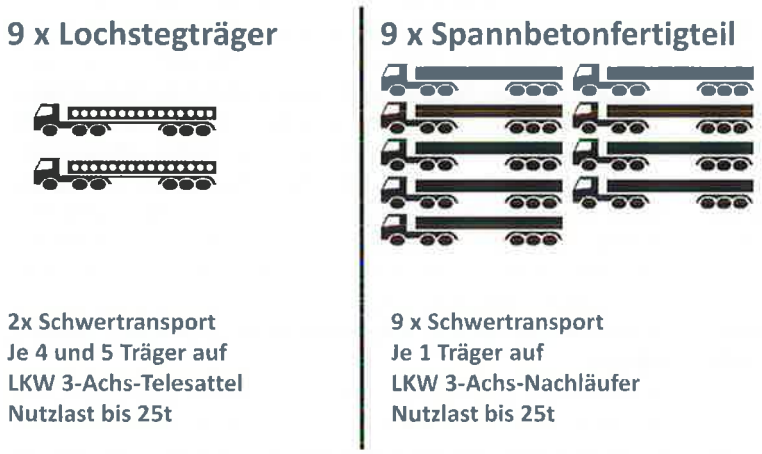


Bild 9. Einfluss der Bauweise auf den Transport zur Baustelle

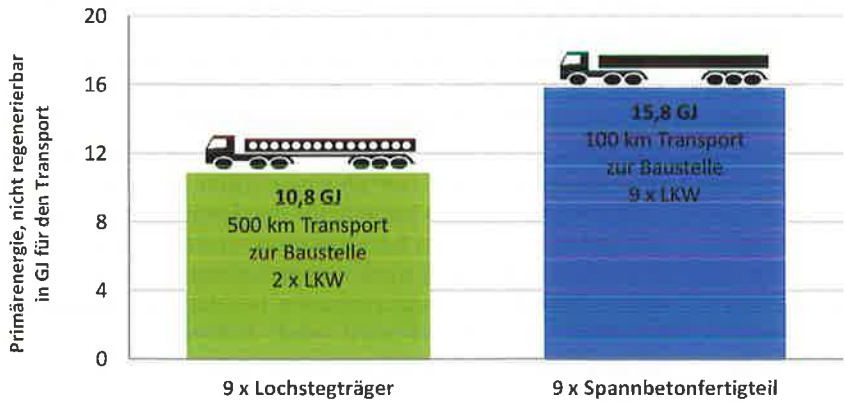


Bild 10. Primärenergie, nicht regenerierbar in GJ für den Transport der 9 benötigten Dachbinder

3.2 Transportaufwendungen und Montage

Am Beispiel eines möglichen Einsatzes der betrachteten Träger für eine Halle von circa 60 Meter Länge lassen sich die oben angesprochene Vorteile für den Materialtransport zur Baustelle verdeutlichen. Während für die neun benötigten Lochstegträger aus Baustahl nur zwei Schwertransporte mit einer Nutzlast bis 25 Tonnen benötigt werden, müssen die Spannbetonfertigteile mit neun einzelnen Schwertransporten bis 25 Tonnen bewegt werden. (**Bild 9**). Schwertransporte mit höheren Nutzlasten über 25 Tonnen und somit weniger Fahrten wären theoretisch machbar, sind aber Aufgrund der geringen Verfügbarkeit der benötigten Fahrzeuge in Deutschland nicht üblich und unwirtschaftlich.

Pro Tonne der transportierten Bauteile ergeben sich ab dem Werkstor zusätzlich Belastungen, je nachdem woher das Bauteil kommt. Überschlägig wird für die Stahlbauteile eine Entfernung von 500 Kilometern angenommen und für die Spannbetonfertigteile eine Transportentfernung von 100 Kilometern. Für den Transport von einer Tonne Material über eine Strecke von einem Kilometer (= 1 Tonnenkilometer „tkm“) können der ÖKOBAUDAT die entsprechenden Umweltdaten entnommen werden. So lassen sich für den Transport der neun Träger der Halle die Umweltdaten ermitteln. Beispielhaft wird hier nur die nicht regenerierbare Primärenergie für den Transport der Träger abgebildet. Die anderen Umweltkennzahlen verhalten sich analog (**Bild 10**). Es wird deutlich, dass sich selbst bei der hier angenommenen fünfmal höheren Entfernung eine geringere Umweltbelastung durch den Transport der Stahlbauteile ergibt.

Betrachtet man die Einbausituation auf der Baustelle, so spielen die Kosten für das benötigte Hebezeug eine erhebliche Rolle. Für die Montage von vier Lochstegträgern aus einer Stellung kann ein 60 Tonnen Mobilkran verwendet werden. Die Spannbetonbinder müssen mit einem 200 Tonnen Mobilkran eingebaut werden und es können nur drei Binder aus einer Stellung eingehoben werden. Hinzu kommen für den 200 Tonnen Mobilkran höhere Rüstzeiten, da bei diesem Bauteilgewicht der Aktionsradius eingeschränkt ist. Alternativ müsste man einen Mobilkran anderer Bauart einsetzen, wodurch die Kosten allerdings noch weiter in die Höhe getrieben werden. Bei dem Einbau der Fertigteile können die Arbeit der Monteure sowie die Kosten der Gerätevorhaltung, Arbeitsbühnen für beide Trägerarten als gleich angesehen werden. **Tabelle 3** stellt die Kosten für die Montage dar.

4 Zusammenfassung

Tabelle 3. Vergleich der Montageaufwendungen für Lochstegträger und Spannbetonbinder

	Lochstegträger	Spannbetonbinder
Mobilkran	60 Tonnen	200 Tonnen
Kosten inkl. Schwerlastversg.	ca. 75€/h	ca. 250€/h
Kosten für An/Abfahrt + Auf/Abbau	ca. 200€	ca. 2.000€

Lochstegträger aus Walzprofilen höherer Stahlgüten ermöglichen leichte und weitspannende Dachbinder für Hallen und vergleichbare Bauwerke. Entsprechende Bemessungstools stehen zur Verfügung. Brandschutzanforderungen sind für entsprechende Hallen nicht zu stellen oder können wirtschaftlich mit Brandschutzanstrichen gelöst werden. Bei ökobilanziellen Vergleichen und besonders bei Transport und Montage sind Lochstegträger vergleichbaren Spannbetonbindern aufgrund ihres optimierten Tragverhaltens deutlich überlegen. bauforumstahl und besonders die Hersteller von Walzprofilen unterstützten in der Projektentwicklungsphase durch eine kostenfreie technische Beratung zur wirtschaftlichsten Auslegung und in der Ausführungsphase mit den Möglichkeiten ihrer Anarbeitungszentren. So können mit innovativen und projektspezifisch optimierten Lösungen mit Lochstegträgern gemeinsam maximale Vorteile genutzt werden.

Literatur

[1] ArcelorMittal Commercial Sections: ACB+ v3.07. ArcelorMittal Lochstegträger mit kreisförmigen Öffnungen. sections.arcelormittal.com/de/downloadcenter/entwurfssoftware/lochstegtraeger.html, 2015-07-17.

[2] ArcelorMittal Commercial Sections: Typenprüfung für Lochstegträger, Landesdirektion Leipzig. sections.arcelormittal.com/library/articles-publications/angelina-cellular-beam.html, 2015-07-17.

[3] Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (MIndBauRL), Stand Juli 2014

[4] Interessengemeinschaft Stahl-Brandschutzbeschichtung: Brandschutzbeschichtung im Stahlbau. IGSB-INFO 1. Eigenverlag, Düsseldorf, 2014.

[5] Interessengemeinschaft Stahl-Brandschutzbeschichtung (IGSB): Brandschutzbeschichtung. www.bauforumstahl.de/brandschutzbeschichtung, 2015-07-17.

[6] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (Hrsg.): Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 2. Band 1: Hochbau. Beispiel 8 Spannbetonbinder. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2011.

[7] EPD-BFS-20130094-IBG1-DE, Umwelt-Produktdeklaration Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche, Institut Bauen und Umwelt, Berlin, 2013

Der Einfluss von nachgiebigen Rahmen auf Dimensionierung und Fertigung von Hallentragwerken

R. Kocker

Zusammenfassung Rahmentragwerke dominieren seit jeher die Stahlbauweise. Der Begriff des Portalrahmens ist als ihr prägendes Markenzeichen allseits bekanntes Synonym für den klassischen Zweigelenkrahmen. Auf seine aussteifende Funktion wird in keiner anderen Bauweise so häufig zurückgegriffen.
Im Stahlhallenbau mittlerer Spannweite erfolgt üblicherweise die Queraussteifung über Zweigelenkrahmen. Auf die Ausbildung der Rahmenecken muss zur Erzielung dieser Anforderung besonderes Augenmerk gelegt werden. Wie dabei konstruktiver Aufwand und statischer Nutzen durchaus wirtschaftlich abgestimmt werden können, soll der folgende Beitrag verdeutlichen. Es werden die in DIN EN 1993–1–8 neu eingeführten Begrifflichkeiten der Nachgiebigkeit und Teiltragfähigkeit beleuchtet. Anhand eines konkreten Beispielprojektes wird erläutert, wie mithilfe der Komponentenmethode nach DIN EN 1993–1–8 Rahmentragwerke mit nachgiebigen Rahmenecken einfach und wirtschaftlich bemessen werden können. Die üblichen Vorurteile einer zu komplizierten Vorgehensweise werden diskutiert. Auf den zielführenden Einsatz am Markt verfügbarer Software wird eingegangen. Die Vorteile von nachgiebigen Rahmen gegenüber herkömmlichen Rahmen mit biegesteifen Rahmenecken hinsichtlich einer ausgewogenen Tragwerksdimensionierung und einer fertigungsfreundlichen Konstruktion werden erläutert.

Bild 1. Montage einer „Bauforumstahl-Typenhalle“ in Würselen

1 Einführung

Seit Mitte vergangenen Jahres sind die Eurocodes verbindlich in Deutschland eingeführt. Damit ist innerhalb der EU der Weg für einen problemlosen Verkehr von Bauprodukten, deren Planung und Fertigung geebnet worden.
Trotzdem gibt es viel Unmut bei den Tragwerksplanern vor allem wegen des gewaltigen Umfangs des neuen Regelwerks. Verschiedene Initiativen arbeiten deshalb schon längere Zeit daran, ein praxisgerechtes „Exzerpt“ zusammenzustellen.
Nun, man kann darüber sicher geteilter Meinung sein. Fakt ist, dass im Eurocode 3 im Gegensatz zur bisher gültigen DIN 18800 neben den üblichen Nachweiskonzepten mit den entsprechenden Bemessungsbeiwerten zusätzlich auch viele Lösungsansätze sowie deren Alternativen angegeben werden. Häufig kann deshalb bereits ein Blick in die Anhänge des Eurocodes weiterhelfen, ohne dass viel Zeit in die Suche nach passenden Fachartikeln investiert werden muss.
Teil 1–8 des Eurocode 3 wird besonders kritisch gesehen. Stein des Anstoßes sind die momententragfähigen Verbindungen und deren auf den ersten Blick sperriges Nachweiskonzept. Wer sich damit etwas intensiver auseinandersetzt, wird schnell auch die Möglichkeiten dieser neu eingeführten Bemessungsmethode erkennen. Hat man erst mal das Prinzip dieses Nachweiskonzeptes verstanden, lassen sich Anschlüsse in der Regel wesentlich effizienter gestalten.
Die bei bauforumstahl seit 2009 zur Verfügung stehenden „Typenstatiken“ für Stahlhallen mittlerer Spannweite (www.bauforumstahl.de/typengepruefte-hallen) basieren auf dieser Bemessungsmethode. Mit über 2.000 Downloads, davon drei bekannten tatsächlichen Ausführungen (**Bild 1**), können sie als erfolgreiches Praxisbeispiel gelten, das zur Verdeutlichung des Sachverhalts an den entsprechenden Stellen zitiert werden wird.
Die relativ neuen „Musterstatiken nach EC 3“ (http://www.bauforumstahl.de/typengepruefte-hallen) enthalten die vollständige Bemessung der Hallen nach den aktuellen Eurocodes.

2 Was sind momententragfähige Anschlüsse?

Ausgangspunkt der ingenieurmäßigen Tragwerksplanung ist immer die Festlegung eines klar erkennbaren Konzepts des Lastabtrags. Danach gilt es geeignete Stabilisierungsmaßnahmen zu treffen, um möglichst effizient die Standsicherheit zu gewährleisten. Während für den ersten Teil passende Raster, Spannrichtungen, Haupt- und Nebenträger, Pfetten, Wandriegel und deren Kombinationen untersucht werden, spielen sich im zweiten Teil die weniger trivialen Planungsentscheidungen ab. Eine kostengünstige und damit wirtschaftliche Konstruktion ist nämlich nicht zwangsläufig an der Stahlmenge oder der Dimensionierung

Dipl.-Ing. Ronald Kocker
Fachberater bauforumstahl e. V.
Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf
Tel.: 0211 6707 842
ronald.kocker@bauforumstahl.de

von Stahlprofilen ablesbar. Vielmehr kann die gezielte Wahl von Anschlussbedingungen die Kosten deutlich beeinflussen. Die der Bemessung eines Tragwerks zugrunde liegenden Modellannahmen sind immer mehr oder weniger starke Vereinfachungen der real ausgeführten Konstruktion. In der Definition von Anschluss- und Knotenpunkten wird dies besonders deutlich. Traditionell gibt es in der Mehrzahl der Stabstatiken lediglich Gelenke und Einspannungen. Federn werden, wenn überhaupt, dann am ehesten noch bei den Lagerungsbedingungen vorgesehen um wirklichkeitsnahe Baugrundbedingungen und deren Wechselwirkung mit dem Tragwerk (Boden-Bauwerksinteraktion) abbilden zu können.

Die Ursachen dafür sind sicherlich vielschichtig. Zum einen gibt es genügend Standardlösungen für die Realisierung von Gelenken und biegesteifen Anschlüssen, zum anderen fehlte es bisher an fundierten Annahmen und einer entsprechenden Bemessungsmethodik für alle außerhalb dieser Grenzen liegenden Verbindungen. So werden im traditionellen Stahlbau Anschlüsse oft als Gelenke behandelt, obwohl es deren Ausführung durchaus zulassen würde, Momente zu übertragen oder es werden biegesteife Anschlüsse dimensioniert, die sich häufig als „überbemessen" und damit unwirtschaftlich darstellen.

Mit der DIN EN 1993–1–8 gibt es nun ein eingeführtes Regelwerk, welches diese Bemessungslücke schließt. Der gesamte Abschnitt 6 der Norm widmet sich den momententragfähigen Anschlüssen.

Gleichung (1) definiert die Mindestanschlusssteifigkeit, ab der Momente von Stabverbindungen übertragen werden können.

$$S_{j,ini} > 0{,}5\ EI_b/L_b \qquad (1)$$

Mit:

EI_b – Biegesteifigkeit des angeschlossenen Trägers

L_b – Trägerlänge

Alle Anschlusskonstellationen, deren Steifigkeit geringer ist können statisch als reine Gelenke behandelt werden. Wichtig ist, dass sich die unter Belastung einstellenden Drehwinkel der Stabenden auch konstruktiv möglich sein müssen. Das zugehörige Tragfähigkeitskriterium zur Definition gelenkiger Anschlüsse liefert der Eurocode mit **Gleichung (2)**:

$$M_{j,Rd} \leq 0{,}25\ M_{pl,Rd} \qquad (2)$$

Mit:

$M_{pl,Rd}$ – plastisches Moment des angeschlossenen Trägers bei Rahmenecken

Damit ist auch schon das prinzipiell Neue der DIN EN 1993–1–8 dargelegt. Mit Rücksicht auf die strukturelle Bemessungsmethode müssen nun nämlich Verbindungen hinsichtlich ihrer Steifigkeit und Tragfähigkeit klassifiziert werden (**Tabelle 1**).

Ob es sich bei einer momententragfähigen Verbindung um einen biegesteifen, volltragfähigen Anschluss handelt kann mit den **Gleichungen (3), (4)** und **(5)** abgeklärt werden.

Biegesteif bzw. starr, wenn:

$$S_{j,ini} \geq K_b\ EI_b/L_b \qquad (3)$$

Mit:

$K_b = 8$ für ausgesteifte, unverschiebliche Rahmen und

$K_b = 25$ für alle anderen

E, I_b, L_b – E-Modul, Trägheitsmoment, Länge des Rahmenriegels

Rahmenecken gelten als volltragfähig, wenn:

$$M_{j,Rd} \geq \text{Min}\,(M_{b,pl,Rd};\ M_{c,pl,Rd}) \qquad (4)$$

Trägeranschlüsse an durchlaufenden Stützen sind volltragfähig wenn:

$$M_{j,Rd} \geq \text{Min}\,(M_{b,pl,Rd};\ 2M_{c,pl,Rd}) \qquad (5)$$

Der große Bereich der Verbindungen dazwischen deckt die nachgiebigen Anschlüsse ab, die entweder volltragfähig oder teiltragfähig sein können.

Tabelle 1. Anschlussmodelle nach DIN EN 1993–1–8

Berechnungsverfahren	Klassifizierung des Anschlusses		
elastisch	gelenkig	biegesteif	nachgiebig
starr-plastisch	gelenkig	volltragfähig	teiltragfähig
elastisch-plastisch	gelenkig	biegesteif und volltragfähig	nachgiebig und teiltragfähig nachgiebig und volltragfähig biegesteif und teiltragfähig
Anschlussmodell	**gelenkig**	**biegesteif**	**nachgiebig**

3 Bemessungsmodell – Komponentenmethode

Die Entwicklung der Komponentenmethode begann bereits in den 1980er-Jahren in den Niederlanden. Das letztendlich in der DIN EN 1993–1–8 veröffentlichte Bemessungsmodell kann als Ergebnis erfolgreicher EU-weiter wissenschaftlicher Zusammenarbeit gelten.

Namensgebend ist das Prinzip der gedanklichen Zerlegung des Anschlusses in Komponenten des Zug- und Druckbereichs sowie der Schubübertragung. Die Identifizierung der entsprechenden Komponenten ist mithilfe von Tabelle 6.1 der DIN EN 1993–1–8 leicht möglich. Ein weiterer Schritt ist die Ermittlung der Tragfähigkeiten und der Steifigkeiten der einzelnen Komponenten. Ist dies geschehen werden mithilfe einfacher Gleichgewichtsbetrachtungen die übertragbaren Kräfte mit deren zugehörigen Hebelarmen bestimmt. Abschließend kann das Tragmoment der Verbindung leicht durch ausmultiplizieren ermittelt werden. In ähnlicher Weise vollzieht sich die Ermittlung der Drehfedersteifigkeit. Ein leicht verständliches Ingenieurmodell, das durch zahlreiche Versuche bestätigt worden ist. Nichtsdestotrotz verbirgt sich dahinter ein recht hoher Rechenaufwand. So ist es durchaus nicht ungewöhnlich mehr als zehn A4 Seiten für einen vollständigen Anschlussnachweis zu beschreiben.

Das Ingenieurmodell bietet aber deutlich mehr Vorteile. So lässt sich aufgrund der berechneten Komponententragfähigkeiten der Lastabtrag innerhalb des Anschlusses eindeutig nachvollziehen. Die schwächsten Komponenten sind so leicht identifizierbar. Reicht das Tragvermögen nicht aus, können gezielt entsprechende Verstärkungen vorgenommen werden. Damit ist es möglich den Anschluss in Bezug auf den Fertigungsaufwand optimal an das erforderliche Tragvermögen anzupassen.

4 Rahmen mit nachgiebigen Ecken

Der Lastabtrag erfolgt im Stahlbau überwiegend durch Rahmenkonstruktionen. Zweigelenkrahmen werden in der Regel zusätzlich noch zur Aussteifung des Gesamttragwerks herangezogen. Die Schnittkraftermittlung am Zweigelenkrahmen mit biegesteifen Rahmenecken führt in den maßgebenden Lastkombinationen üblicherweise dazu, dass die Bemessungsmomente in den Rahmenecken am größten werden. Der ausgeführte biegesteife „Vollanschluss“ ist im Nachgang mit sehr hohem konstruktiven Aufwand verbunden, was ihn wiederum teuer macht.

Was passiert, wenn man diesen „Vollanschluss“ nicht ausbildet? Dann muss das statische Modell um jeweils eine adäquate Drehfeder zwischen Stütze und Binder erweitert werden. Das führt zu einem „Steifigkeitsverlust“ in den Rahmenecken, der wiederum eine Abnahme der Eckmomente und einen Zuwachs des Feldmomentes zur Folge hat.

In Abhängigkeit von der Drehfedersteifigkeit können die Verschiebungen des Biegemomentenverlaufs beträchtlich sein. In diesem Zusammenhang muss immer auch die Zunahme der Verformungen beachtet werden, die allerdings gesondert für den Gebrauchslastfall mit der bis zu zweimal höheren Drehfedersteifigkeit berechnet werden dürfen.

Bei der „Typenstatik“ für Stahlhallen war es wichtig, eine maximale Höhenlage der Rahmeninnenecke bei vorgegebener Traufhöhe zu erzielen. Für die vorgesehene Kranbahn konnte dadurch eine maximale Hakenhöhe erzielt werden. Des Weiteren sollte eine ungestörte Rahmenaußenlinie erreicht werden. Beide Vorgaben konnten schließlich nur durch den Verzicht auf Vouten sowie eine Ausführung mit bündigen Kopfplatten umgesetzt werden (**Bild 4**).

Die Drehfedersteifigkeit des letztlich konstruierten Anschlusses fällt offensichtlich in den nachgiebigen Bereich. Gegenüber einer biegesteifen Rahmenecke beträgt der Steifigkeitsverlust im Mittel aller Typenhallen etwa 20 Prozent.

Das mechanische Modell des Lastabtrags zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit der Verbindung lässt unschwer erkennen, dass der Hebelarm der inneren Kräfte durch den Abstand der Schraubenreihen vom Druckpunkt, nämlich der Schwerachse des Binderuntergurtes, bestimmt wird. Damit wird deutlich, dass es sich bei diesem Anschluss nur um eine teiltragfähige Verbindung handeln kann. Im konkreten Fall, (Bild 3, Stütze/Binder: IPE400/IPE360) können in der Rahmenecke circa 60 prozent des vollplastischen Momentes des angeschlossenen Binders übertragen werden.

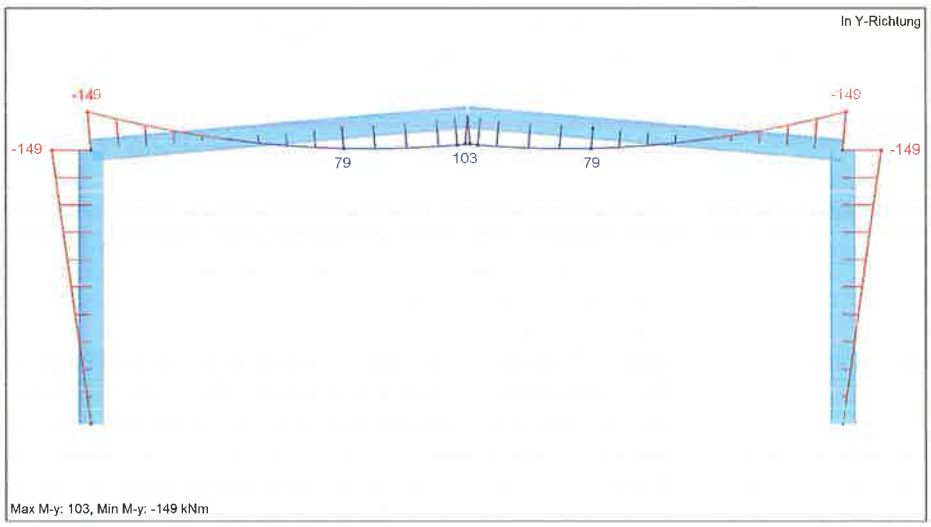


Bild 2. Biegemomentenverlauf bei starren Rahmenecken

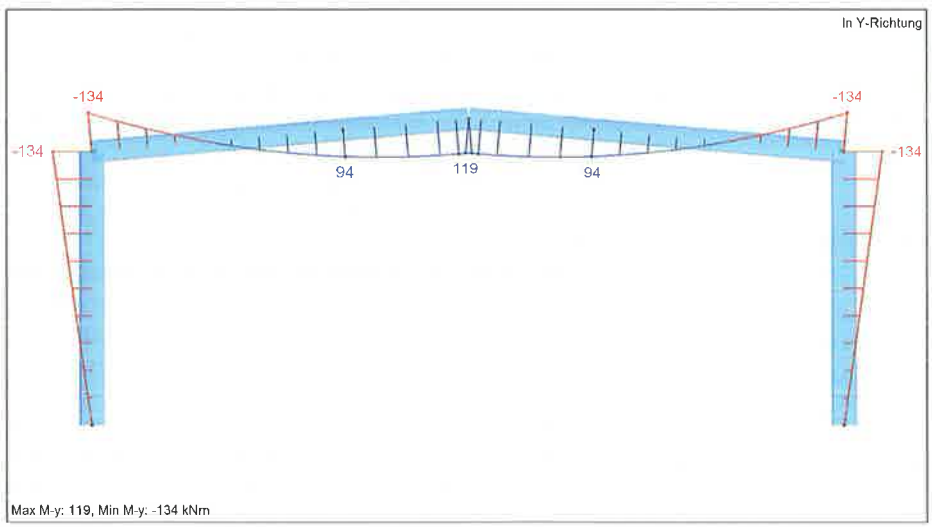


Bild 3. Biegemomentenverlauf mit Berücksichtigung der Nachgiebigkeit

5 Anforderungen an den Tragwerksplaner

Die Möglichkeit der Planung und Bemessung von Tragwerken mit nachgiebigen Verbindungen hat wesentlichen Einfluss auf den Planungsprozess. War es bisher üblich, das Ingenieurbüro lediglich mit der „Stabstatik“ zu beauftragen und die Anschlussbemessung dem Stahlbauer zu überlassen, so ist diese Vorgehensweise bei nachgiebigen Verbindungen aufgrund der Wechselwirkung mit dem restlichen Tragwerk nicht mehr zulässig. Alternativlösungen des Stahlbaubetriebs müssen also immer mit der Gesamtstatik abgeglichen werden.

Eurocode 3 stellt drei Verfahren der Gesamttragwerksbemessung zur Auswahl. In Abhängigkeit von den Querschnittsklassen der Stahlprofile können Systeme plastisch, elastisch-plastisch oder rein elastisch bemessen werden. Für die Anschlussbemessung heißt das, bis zur Querschnittsklasse 2 ist für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit in der Regel eine plastische Verteilung der Anschlusskräfte möglich. Ab Querschnittsklasse 3 müssen diese Kräfte

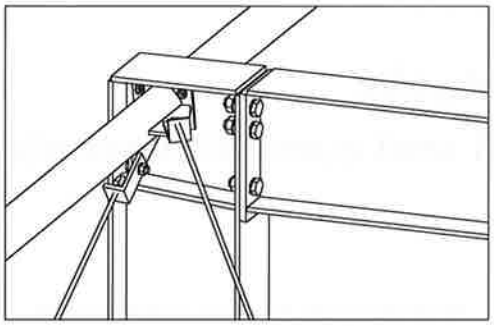


Bild 4. Detail der Rahmenecke

proportional zu ihrem Abstand zum Druckpunkt linear verteilt werden.
Die der Bemessung zugrundeliegende Nachgiebigkeit hat entsprechende Drehwinkel zur Folge. Mit dem neu eingeführten Begriff der Rotationskapazität werden im Eurocode Bedingungen angegeben die der Tragwerksplaner bei der Anschlussgestaltung primär beachten sollte. Insbesondere für geschraubte Stirnplattenverbindungen wird mit **Gleichung (6)** formuliert, dass der Durchmesser der eingesetzten Schraube mindestens 35 Prozent größer sein sollte als die kleinste damit verbundene Blechdicke.

$$d \geq 2{,}78\, t \sqrt{\frac{f_y}{f_{ub}}} \qquad (6)$$

Mit:
- d – Nenndurchmesser der Schraube
- t – kleinste Dicke der verbundenen Bleche
- f_y – Streckgrenze des Blechs
- f_{ub} – Bruchgrenze der Schraube

Damit wird sichergestellt, dass sich die Verdrehungsanteile über die Blechverformung einstellen können. Das widerspricht teilweise der bisherigen Empfehlung [1], wonach der Schraubendurchmesser in der Regel nicht größer als die kleinste Blechdicke sein sollte.

6 Hilfsmittel

Um ein gewisses Verständnis für diese neue Bemessungsmethode von momententragfähigen Verbindungen zu entwickeln, ist es natürlich sinnvoll und angeraten, ein Beispiel selbst durchzuarbeiten. Dafür stellt bauforumstahl auf seiner Homepage mit den „Musterstatiken für Stahlhallen nach Eurocode 3“ ausführliche Berechnungsbeispiele zur Verfügung.
Für den planerischen Einsatz gibt es Softwarelösungen wie zum Beispiel die Programme Rstab, csJoint und SCIA, die dieses Bemessungsmodell bereits implementiert haben.

Mit diesen Softwarelösungen wird es dem Tragwerksplaner sehr einfach gemacht, die passende Anschlusskonstruktion zu finden. Neben den Tragfähigkeiten werden auch die Drehfedersteifigkeiten des Anschlusses ausgewiesen. Ohne viel Hintergrundwissen kann man damit relativ schnell, einfach durch Probieren, die geeignete Konfiguration des Anschlusses finden. So lassen sich auch die Schwachstellen der Verbindung ausmachen.
Für den versierten Office-Programm-Nutzer sollte es auch kein Problem darstellen, eine entsprechende Tabellenkalkulation zielführend einzusetzen. Einen breiten Pool stahlbautypischer vollständig bemessener Verbindungen sind in den „Typisierten Anschlüssen“ [2] zu finden.

7 Fazit

Nachgiebige Verbindungen sind durchaus als Chance zu sehen, Stahlbau kostengünstiger anbieten zu können. Die neue Komponentenmethode gibt dem Tragwerksplaner die Möglichkeit, den Fertigungsaufwand von Verbindungen auf ein erforderliches Maß zu beschränken. Dazu gehört in erster Linie das Weglassen von oftmals eher intuitiv angeordneten Steifen. Sollten sie erforderlich sein, dann ist es eher selten notwendig, diese einzupassen, sie also von Flansch zu Flansch einzubinden. Hallenrahmen werden überwiegend mit gevouteten Ecken ausgeführt. Ob sich dieser Aufwand tatsächlich rechnet kann mit der Komponentenmethode leicht verifiziert werden. Ein wichtiger Punkt bei Stirnplattenstößen sind die Schweißnähte. Die Empfehlungen sehen einen vollen Querschnittsanschluss für die Schweißnahtdimensionierung vor. Mit dem Bemessungsverfahren für nachgiebige Verbindungen kann gezeigt werden, dass in Abhängigkeit vom Versagensmechanismus wesentlich geringere Nahtdicken erforderlich sind.
Die Verantwortung für einen wirtschaftlichen Stahlbau verlagert sich mit den neuen Möglichkeiten der Bemessung von nachgiebigen Verbindungen deutlich vom Stahlbauer zum Tragwerksplaner.

Literatur

[1] *Petersen, Ch.*: Stahlbau. 3. Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg, 1993.

[2] *Weynand, K.; Oerder, R.*: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Gesamtausgabe 2013. Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Düsseldorf, 2013.

Das Land Baden-Württemberg als Gebäudeeigentümer und Bauherr – aktuelle Herausforderungen zur Nachhaltigkeit und zum Klimaschutz

R. Sutter, P. von Eichel-Streiber

1 Die Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg

Die Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung (VBV) ist Kompetenzzentrum und Serviceeinrichtung für alle Leistungen rund um die Immobilien des Landes und für die Bauaufgaben des Bundes in Baden-Württemberg. Zu ihren Aufgaben gehören insbesondere die Unterbringung der Landeseinrichtungen, die Steuerung und Betreuung aller Hochbaumaßnahmen des Landes, die Pflege der Baukultur und Bewahrung des kulturellen Erbes, die Vermarktung und Präsentation der Staatlichen Schlösser und Gärten sowie das Baumanagement für den Bund. Für diese unterschiedlichen Aufgaben gibt es zwei Landesbetriebe.

Der Landesbetrieb Vermögen- und Bau Baden-Württemberg erfüllt sämtliche Aufgaben des Immobilien-, Gebäude- und Baumanagements bei den landeseigenen Gebäuden über deren gesamten Lebenszyklus. Oberstes Ziel ist die zweckmäßige, bedarfsgerechte und wirtschaftliche Unterbringung der Landeseinrichtungen.

Die VBV nimmt auch die zivilen und militärischen Bauaufgaben des Bundes in Baden-Württemberg wahr, sowie Bauaufgaben für Dritte im Interesse des Bundes, etwa für die ausländischen Streitkräfte. Dafür ist der Landesbetrieb Bundesbau Baden-Württemberg zuständig [1].

Mit über 8.000 landeseigenen Gebäuden, 11,5 Millionen Quadratmeter Nettogrundfläche und 35.000 Hektar Grundstücksfläche ist das Land einer der großen Immobilieneigentümer Deutschlands. Die Substanz und Werterhaltung dieses Immobilienvermögens gewinnt vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit immer mehr Bedeutung.

Im Jahr 2014 betrugen die Ausgaben für Landesbaumaßnahmen inklusive Bauunterhaltung circa 650 Millionen Euro. Die Immobilien- und Mietumsätze betrugen circa 260 Millionen Euro, die Energiekosten für den Betrieb landeseigener Gebäude circa 230 Millionen Euro.

Die umfangreichen Aufgaben stellen hohe Anforderungen an die Beschäftigen. Qualifiziertes Personal und engagierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter werden immer gesucht. Die Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg bietet insbesondere Ingenieurinnen und Ingenieuren neben der Möglichkeit der Anstellung im Arbeitnehmerverhältnis einen Vorbereitungsdienst an. Der Vorbereitungsdienst ist mit einem Traineeprogramm vergleichbar, in dem die Arbeitsabläufe und Strukturen der Verwaltung vermittelt werden. Mit Abschluss des Vorbereitungsdienstes eröffnen sich den Absolventen die Laufbahnen als Beamtin oder Beamter des bautechnischen Verwaltungsdienstes. Den Anwärtern des höheren Dienstes wird mit abgeschlossener zweiter Staatsprüfung der Titel Regierungsbaumeister verliehen.

Bild 1. Struktur der Staatlichen Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg

2 Nachhaltiges Bauen in der Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg

„Nachhaltig Handeln in Baden-Württemberg heißt, Klimaschutz als Querschnittsaufgabe wahrzunehmen und umweltbezogene Gefahren infolge des Klimawandels zu minimieren." [2]

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg wurde das Projekt „Stärkung der Nachhaltigkeit im Staatlichen Hochbau" realisiert. Hierzu wurden für den Landesbau bereits im Jahr 2009 Handlungsleitlinien sowie Ziele eingeführt [3]. Seitdem werden die in den Handlungsfeldern enthaltenen Maßnahmen kontinuierlich umgesetzt und weiterentwickelt.

Unter anderem werden Pilotprojekte zur Erprobung und Anwendung nationaler Zertifizierungssysteme durchgeführt und Methoden der Lebenszyklusanalyse erprobt. Da-

Ministerialdirigent Rolf Sutter
Leiter der Abteilung Vermögen und Hochbau
Oberbaurat Patrick von Eichel-Streiber
Referent Gebäudetechnik und Technisches Gebäudemanagement
Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg

rüber hinaus werden beispielsweise Planungswettbewerbe zur Sicherung der architektonischen Qualität durchgeführt, innovative Technologien genutzt (z.B. Recycling-Beton) und verschiedenste Maßnahmen für einen wirtschaftlichen Gebäudebetrieb ausgeführt.
Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen des Bundes wurde Anfang 2015 im Landesbau Baden-Württemberg eingeführt. Er bildet die Grundlage der stufenweisen Einführung der Nachhaltigkeitsbewertung nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB).
Gemäß den Vorgaben des Bundesbauministeriums wird im Bundesbau Baden-Württemberg seit 2011 umfassend das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) angewendet. Wesentliche Grundlage hierfür ist ein intensives Schulungskonzept und die Einrichtung einer Leitstelle in der Betriebsleitung Bundesbau in Freiburg. Seit Juni 2014 wurde die Zuständigkeit als BNB-Konformitätsprüfungsstelle für Laborbauten für alle 16 Bundesländer an die Betriebsleitung Bundesbau übertragen.

3 Energie und Klimaschutzkonzept für landeseigene Liegenschaften

Das zentrale strategische Ziel ist die Reduzierung der durch Landesgebäude verursachten CO_2-Emissionen um 40 Prozent bis zum Jahr 2020 und um 60 Prozent bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Stand von 1990 (**Bild 3**). Entscheidend dabei ist die Entwicklung und Umsetzung von energetischen Sanierungsstrategien für den großen Immobilienbestand.
Daher wurde für den landeseigenen Immobilienbestand in Baden-Württemberg im Jahr 2012 ein umfassendes Energie- und Klimaschutzkonzept entwickelt. Dieses Konzept wurde am 11. Dezember 2012 von der Landesregierung beschlossen und bildet den Fahrplan der Vermögens- und Hochbauverwaltung für die nächsten Jahre.
Die Eckpfeiler des Energie- und Klimaschutzkonzepts für landeseigene Liegenschaften sind die energetische Sanierung der Bestandsgebäude, die Errichtung energieeffizienter Neubauten, die Optimierung des Gebäudebetriebs und der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien.
Die umfangreichen Aufgaben für die energetische Sanierung des landeseigenen Gebäudebestands, die sich aus dem Konzept ergeben, sind mit einem hohen Investitionsbedarf verbunden. Energetische Optimierungen werden dabei eng verzahnt mit den baulichen Instandsetzungsaufgaben zum Werterhalt der Gebäude. Seit 2011 weden für energetische Sanierungsmaßnahmen Haushaltsmittel in einem Umfang von durchschnittlich 60 Millionen Euro pro Jahr bereitgestellt.
Der Erfolg der bereits ergriffenen Maßnahmen zeigt sich in einer Senkung der absoluten CO_2-Emissionen des Landesgebäudebestands um 22 Prozent seit 1990. [5]

4 Pilotprojekte

4.1 Zertifiziertes Bauen

Erweiterungsneubau der Hochschule für Technik Stuttgart

Der Neubau mit Gesamtbaukosten in Höhe von 18 Millionen Euro wird in der Breitscheidstraße in Stuttgart errichtet. Er wurde als Pilot gewählt, um sowohl die Lebenszyklusanalyse als auch eine Zertifizierung zu erproben. [6]

Bild 2. Leitfaden Nachhaltiges Bauen Abb. A9, S.45 [4]

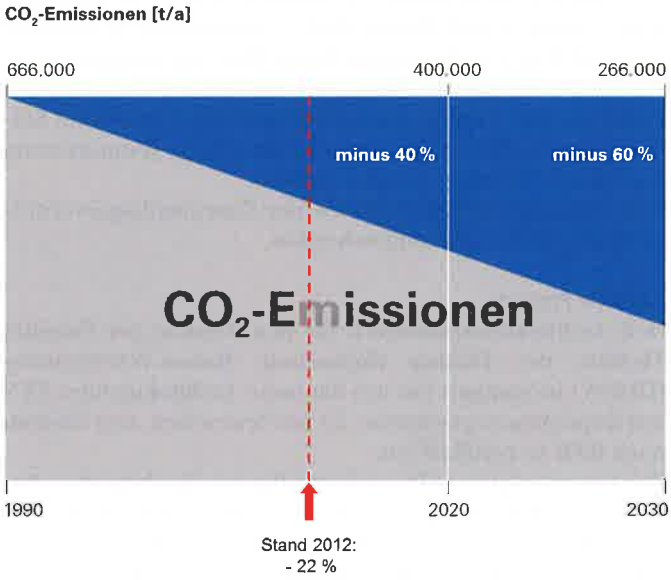


Bild 3. CO_2-Ziele für landeseigene Liegenschaften

Der Neubau zeichnet sich durch ein innovatives Energiekonzept aus. Erdwärme soll mithilfe von Wärmepumpen für die Beheizung sowie für die Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Darüber hinaus unterstützt umweltfreundliche Fernwärme die Wärmeversorgung. Die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen und die übrigen technischen Anlagen zeichnen sich durch eine hohe Energieeffizienz aus. In Verbindung mit einer sehr gut gedämmten Gebäudehülle werden dadurch die Anforderungen der Energieeinsparverordnung um fast 50 Prozent unterschritten.
Für den Neubau wird voraussichtlich die BNB Zertifizierung in Silber erreicht.

Neubau eines Laborgebäudes für die Hochschule Esslingen

Der Neubau für die Hochschule Esslingen mit Gesamtbaukosten in Höhe von sechs Millionen Euro soll ebenfalls zertifiziert werden.

Bild 4. Seminargebäude Hochschule Offenburg Foto: Bernhard Strauss Freiburg

Für den Neubau ist eine umfangreiche Nutzung regenerativer Quellen vorgesehen. So werden neben solarthermischen Anlagen und Photovoltaik Wärmepumpen, Heizkessel für Pellets und Holzhackschnitzel für eine klimaneutrale Wärmeerzeugung installiert, die parallel für Forschung und Lehre genutzt werden. Zusätzlich sollen Abwärme und Kälte aus dem Forschungs- und Lehrbetrieb zur Temperierung des Gebäudes weiter genutzt werden.
Das Gebäude soll die Vorgaben der Energieeinsparverordnung um 50 Prozent unterschreiten.

Aktuelle Projekte

Den Architektenwettbewerb für den Neubau der Fakultät Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) in Stuttgart hat das dänische Architekturbüro 3XN aus Kopenhagen gewonnen. Es ist vorgesehen, den Neubau nach BNB zu zertifizieren.
Der interdisziplinäre Wettbewerb für den Neubau eines Besucher- und Informationszentrums und eines Verwaltungsgebäudes für den Nationalpark Schwarzwald ist ebenfalls entschieden. Gewonnen hat das Planer Team um das Architekturbüro Sturm + Wartzeck GmbH aus Dipperz. Auch für diesen Neubau wird die Zertifizierung nach BNB angestrebt.

4.2 Passivhausbauweise

DHBW Mosbach, Neubau eines Seminar- und Laborgebäudes

Das Hochschulgebäude mit Gesamtbaukosten in Höhe von 7,7 Millionen Euro wurde als Passivhaus errichtet. Mit der hochwärmegedämmten und luftdichten Gebäudehülle und der optimierten technischen Ausstattung wird ein Heizwärmebedarf von nur 15 kWh/m²a sowie ein Gesamt-Primärenergiekennwert von 36 kWh/m²a erreicht.
Die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt fast ausschließlich über eine kontrollierte Lüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Außerdem wird die Frischluftzufuhr über die Messung von CO_2 in der Raumluft bedarfsabhängig geregelt. Die gesamte benötigte Frischluft des Gebäudes wird über einen Außenluft-Ansaugturm mit integriertem Vorfilter durch ein im Erdreich verlegtes Betonrohr (Länge ca. 75 m, Durchmesser 1,50 m) zur Vorwärmung und Vorkühlung angesaugt.
Das Gebäude hat seinen ersten Winter bereits gemeistert und steht unter besonderer Beobachtung durch das Gebäudemanagement, [7], im Rahmen der Vorgaben für technisches Monitoring.

Neubau Seminargebäude der Hochschule Offenburg

Auch der Neubau des Seminargebäudes an der Hochschule Offenburg mit Gesamtbaukosten in Höhe von 9,6 Millionen Euro wurde als Pilotprojekt in Passivhausbauweise errichtet. Der fünfgeschossige Neubau verfügt über rund 2.500 Quadratmeter Nutzfläche. In erster Linie sind in dem Gebäude Seminarräume und Hörsäle sowie Büroräume untergebracht.
Aufgrund des sehr hohen Dämmstandards sämtlicher Außenbauteile und der effizienten Anlagentechnik wird ein sehr geringer Wärmebedarf erreicht. Der für ein Passivhaus angestrebte Energiekennwert für die Heizwärme von 15 kWh/m²a wird eingehalten. Die RLT-Anlage für die Außenluftzuführung ist mit hocheffizienten Ventilatoren und Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die Temperierung der Räume erfolgt ausschließlich über Bauteilaktivierung. Zudem wird die Abwärme aus den EDV-Räumen genutzt und deckt somit einen Teil des Wärmebedarfs des Gebäudes [8].
Auch für das Seminargebäude der Hochschule Offenburg wird ein technisches Monitoring durchgeführt, um einen optimalen Betrieb der Anlagentechnik sicher zu stellen.

4.3 Virtueller Stromspeicher

Der „Virtuelle Stromspeicher" in der Polizeihochschule Biberach ist ein Pilotprojekt im Rahmen der energetischen Sanierung und Modernisierung von Gebäuden und Einrichtungen. Mit Gesamtbaukosten in Höhe von 2,5 Millionen Euro wurde ein innovatives Energiekonzept umgesetzt, das im März 2015 übergeben wurde.
Mit der neuen Energieversorgungsanlage wird die „Power to Heat"-Technologie mit einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (Blockheizkraftwerk) intelligent vernetzt. Der „Virtuelle Stromspeicher" nutzt den künftig im Überschuss vorhandenen regenerativ erzeugten Strom aus Wind und Sonne zur Erzeugung speicherbarer Wärme. Gleichzeitig wird Erdgas gespart und so im Erdgasnetz gespeichert.
Bestandteil des Projekts ist auch ein innovatives Stromeinkaufsmanagement. In Zeiten teuren Stroms kann der „Virtuelle Stromspeicher" mit den dynamischen Blockheizkraftwerken Strom zur Versorgung der Liegenschaft erzeugen. Überschüsse können in das Netz eingespeist werden. Das Gesamtsystem trägt damit zu einer sicheren und zuverlässigen Energieversorgung bei [9].
Das Pilotprojekt „Virtueller Stromspeicher" wird von der Hochschule Biberach sowie vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg wissenschaftlich begleitet.

4.4 Energie-Plus Liegenschaft in Aulendorf

Mit dem Ziel einer Energie-Plus-Liegenschaft wurde für das Landwirtschaftliche Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW) in Aulendorf ein ganzheitliches Energiekonzept entwickelt.
Die Nutzung der Liegenschaft als Staatliche Lehranstalt begann 1932 mit der Errichtung einer Viehzucht- und Melkerschule. Das Landwirtschaftliche LAZBW in Aulendorf um-

fasst aktuell einen Gebäudebestand mit circa 9.600 Quadratmetern Nutzfläche. In der Liegenschaft sind Schul-, Verwaltungs-, Unterkunfts-, Maschinengebäude und Einrichtungen für die Großtierhaltung untergebracht.
Die Energieversorgung der Liegenschaft erfolgt mit Erdgasheizkesseln und einem Biogas-Blockheizkraftwerk (BHKW). Es werden Bioabfälle für den Betrieb des Biogas-BHKW genutzt. Damit können zur Zeit 31 Prozent vom Wärme- und 39 Prozent vom Strombedarf aus erneuerbaren Energien gedeckt werden.
Zu Beginn der Untersuchungen im Jahr 2012 betrug der Wärmeverbrauch der Liegenschaft 1.000 MWh/a und der Stromverbrauch 450 MWh/a. Dies entspricht jährlichen CO_2-Emissionen von circa 225. Die Energiekosten beliefen sich auf rund 160.000 Euro/a.

Aus dem Konzept ergeben sich folgende Maßnahmen:
- Errichtung einer Photovoltaikanlage
- Optimierung der Warmwasserbereitung
- Verbesserung der Wärmeverteilung
- Erneuerung Beleuchtung

Diese Maßnahmen sollen dazu führen, dass die Liegenschaft eine positive Energiebilanz erreicht. Die eigene Energieerzeugung muss mindestens den Bedarf der Liegenschaft decken. Zudem werden durch die Maßnahmen jährlich rund 118 Tonnen CO_2 im Jahr eingespart.

Diese Auswahl an Maßnahmen in einem breiten Spektrum von Aufgaben und Handlungsfeldern zeigt, dass die Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg ihre Vorbildfunktion in besonderem Maße wahrnimmt.

Literatur

[1] Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg: Herzlich willkommen im Internet-Portal der Staatlichen Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg. 2007, http://www.vbv.baden-wuerttemberg.de/pb/,Lde/Startseite, 2015-06.10.

[2] Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg: Nachhaltigkeitsbericht 2014. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft. 2015, http://www.nachhaltigkeitsstrategie.de/fileadmin/Downloads/informieren/projekte/MFW_Nachhaltigkeitsbericht.pdf, S. 13 2015-05-29.

[3] Finanzministerium Baden-Württemberg: Stärkung der Nachhaltigkeit im Staatlichen Hochbau. Ziele, Strategien und Handlungsleitlinien. 2009, http://www.vermoegenundbau-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/mfw/PB5Documents/pdf/na/Nachhaltigkeit_im_Staatlichen_Hochbau.pdf, 2015-05-20.

[4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2013. 2013, http://www.nachhaltigesbauen.de/leitfaeden-und-arbeitshilfen-veroeffentlichungen/leitfaden-nachhaltiges-bauen-2013.html, 2015-06-01.

[5] Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg: Energiebericht 2013. Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg. 2014, https://mfw.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mfw/intern/Dateien/Publikationen/Bau_und_Immobilien/Energiebericht_2013.pdf, 2015-06-01.

[6] Hochschule für Technik Stuttgart: Richtfest an der HFT Stuttgart. http://www.hft-stuttgart.de/Aktuell/Nachrichten/j2014/m0114/Neubau-Richtfest/de, 2016-06-02.

[7] Vermögen und Bau Baden-Württemberg: DHBW Mosbach, Neubau eines Seminar- und Laborgebäudes. 2011, http://www.vermoegenundbau-bw.de/pb/,Lde/322084, 2015-06-02.

[8] Vermögen und Bau Baden-Württemberg: Neubau Seminargebäude Hochschule Offenburg. 2014, http://www.vermoegenundbau-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/mfw/Bauverwaltung/%C3%84mter%20VB-BW/Amt%20Freiburg/Projekte/2015_Seminargeb%C3%A4ude%20Hochschule%20Offenburg/Flyer_Neubau%20Seminargeb%C3%A4ude%20Hochschule%20Offenburg.pdf, 2015-06-02.

[9] Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg: Minister Schmid übergibt ersten „Virtuellen Stromspeicher" an die Hochschule für Polizei in Biberach. 2015, http://mfw.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/minister-schmid-uebergibt-ersten-virtuellen-stromspeicher-an-die-hochschule-fuer-polizei-in-bi/, 2015-06-02.

Sicherheitstechnische Planung von Hoch- und Ingenieurbauprojekten mithilfe von Bauwerksinformationsmodellen (BIM)

J. Teizer, J. Melzner

Zusammenfassung Meldungen über schwere und tödliche Arbeitsunfälle auf Baustellen gehören leider nach wie vor zum Berufsalltag. Die Statistiken über Arbeitsunfälle in der Baubranche verzeichnen über Ländergrenzen hinweg, eine um ein Vielfaches höhere Unfallquote als in den anderen Wirtschaftszweigen. Die zunehmende Digitalisierung in der Baubranche und die Anwendung moderner Informationstechnologien haben hierbei noch keine signifikante Verbesserung hervorgerufen. Dabei zeigen erste prototypische Anwendungen zum Beispiel bei der Verwendung von Bauwerksinformationsmodellen (BIM) in der Planung als auch in der Ausführung von Bauleistungen bemerkenswerte Ergebnisse. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über Forschungsaktivitäten zur Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes auf Baustellen auf der Grundlage von virtuellen Gebäudemodellen durch regelbasierte Modellabfragen. Dabei werden an identifizierten Gefahrenstellen semi-automatisch temporäre Baustellensicherungsmaßnahmen eingefügt und darüber hinaus unter Anwendung von Ontologien Gefährdungsanalysen durchgeführt.

1 Einleitung

1.1 Allgemein

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Bauindustrie einen großen Wandel erlebt. Die Herausforderungen an Planerteams und ausführende Firmen nehmen aufgrund von steigenden normativen und behördlichen Anforderungen stetig zu. Auch ändern sich die Methoden in Planung und Ausführung vor dem Hintergrund der voranschreitenden Digitalisierung im Bauwesen, die vor allem in der Kommunikation unter den Projektbeteiligten Anwendung finden. Gerade die technischen Möglichkeiten beeinflussen das moderne Arbeiten auf der Baustelle. Die Anwendung neuer Technologien soll bei immer kürzeren Projektlaufzeiten zu einer besseren Planungsqualität führen.

Die Arbeitssicherheit und der Gesundheitsschutz sind durch entsprechende nationale Richtlinien sehr gut definiert und fester Bestandteil des Bauprojektmanagements. Es fehlen jedoch Strategien und innovative technische Konzepte, um auf die veränderten Rahmenbedingungen und das Arbeitsumfeld präventiv einzugehen. Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung auf den Baustellen hat auch die Anforderungen an die Beschäftigten stark verändert. Arbeitsanweisungen stehen oftmals digital zur Verfügung und werden zur direkten Steuerung von Personen und Maschinen verwendet. Allerdings spielen die Arbeitssicherheit und der Gesundheitsschutz darin nur eine sehr kleine bis gar keine Rolle. Durch eine immer schnellere und notwendige Anpassung der Arbeitsvorbereitung in der Bauausführungsplanung werden Sicherheits- und Gesundheitsgefährdungen im Arbeitsbereich leider nicht immer erkannt. Dadurch steigen wiederum die Unfallgefahren und die langfristigen Auswirkungen der zu hohen oder schädlichen körperlichen Beanspruchung von Arbeitern auf Baustellen [1].

Ein Ansatz um bereits in den frühen Planungsphasen die Arbeitssicherheit mit in den Planungsprozessen zu berücksichtigen ist die Verwendung von neuen Technologien, wie zum Beispiel Bauwerksinformationsmodelle (BIM) (engl. Building Information Modeling). Diese ermöglichen den Projektbeteiligten modellbasiert integrierte Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzprogramme zu entwickeln, die den Bedürfnissen einer wettbewerbsintensiven Bauindustrie entsprechen [2]. Bei diesem Ansatz ist es besonders wichtig, dass die Arbeitssicherheit und der Gesundheitsschutz noch detaillierter und umfassender in der Planung im Sinne der Prävention (engl. „Prevention through Design, PtD") verankert werden. Wenn der moderne Arbeitsschutz als integraler Bestandteil der Bauprozesse verstanden wird, wirken sich die Vorteile dieser Programme auch finanziell auf das Unternehmensergebnis aus [3].

1.2 Unfallschwerpunkte im Hoch- und Ingenieurbau

Die Ursachen von Arbeitsunfällen und berufsbedingten Krankheiten in der Bauindustrie sind schon seit langem bekannt und wurden vielfach analysiert. National als auch international gehören die Arbeitssicherheit und der Gesundheitsschutz zu den wichtigsten Aufgaben während eines Bauprojekts. Aus den Statistiken der Arbeitsunfälle ist abzuleiten, dass Arbeitnehmer auf Baustellen in den untersuchten Ländern höheren Gefahren ausgesetzt sind als in anderen Industriezweigen. Auch Unfälle in der deutschen Bauindustrie ereignen sich im Durchschnitt doppelt so häufig wie in der übrigen Wirtschaft [4].

Bei Hochbauprojekten gehören unter anderem Abstürze von großen Höhen (ca. 33 % aller Todesfälle), der unsichere oder ungeschützte Umgang mit oder der zu nahe Arbeit an Baumaschinen (ca. 25 % aller Todesfälle), der unsachgemäße Umgang mit Baumaterialien und Geräten und der Kontakt zu gefährlichen Substanzen, zu den häufigsten Unfallkategorien die schwere oder tödliche Verletzungen nach sich ziehen [5]. Die Ursachenforschung zu dieser schlechten Unfallstatistik im Baugewerbe zeigt, dass oftmals die schwierigen Arbeitsaufgaben, das komplexe und sich ständig verändernde Arbeitsumfeld, die Organisationsstruktur des Unternehmens und menschliches Fehlverhalten Gründe dafür sind [6]. Oftmals sind es nicht die schweren oder tödlichen Unfälle die Unternehmungen Kopfzerbrechen bereiten, sondern es sind die kleineren Verletzungen, wie zum Beispiel das Umknicken aufgrund einer Bodenöffnung

Dr.-Ing. Jochen Teizer
RAPIDS Construction Safety and Technology Laboratory
Tel.: 0157 5476 9592
jochen@teizer.de
www.teizer.com

Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Melzner MBA
W. Markgraf GmbH & Co KG – Bauunternehmung
juergen.melzner@markgraf-bau.de
www.markgraf-bau.de

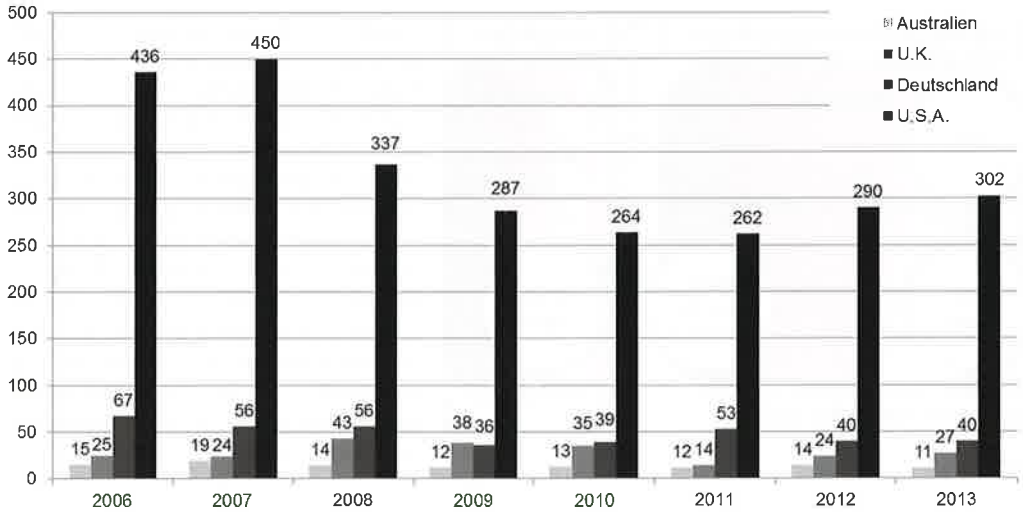


Bild 1. Tödliche Absturzunfälle auf Baustellen [4], [10], [11], [12]

die nicht sorgfältig abgedeckt wurde, die Fehltage verursachen. Die Vielzahl der kleineren Unfälle wird oft nicht gemeldet und geht daher nicht in die Statistiken ein [7].

Ein Ansatz, um den hohen Unfallraten auf Baustellen entgegen zu wirken, ist sich vorrangig auf die Hauptunfallschwerpunkte zu konzentrieren [8]. Gemessen an der Häufigkeit und der Schwere der Verletzungen gehören Absturzunfälle zu den bedeutendsten Unfallgruppen [9]. Obwohl die Raten geringfügig gesunken sind, verunglückten in 2013 immer noch 9.902 Arbeiter durch einen Absturz auf deutschen Baustellen. Die Anzahl der tödlichen Absturzunfälle ist zwar tendenziell rückläufig, jedoch starben in 2013 insgesamt 40 Arbeiter [4]. Vergleichbare Zahlen anderer Länder, zum Beispiel Australien, Großbritannien und den Vereinigten Staaten von Amerika, weisen im gleichen Zeitraum einen Rückgang der Unfallzahlen aus, der jedoch in einigen Ländern wahrscheinlich mehr durch konjunkturbedingte Umstände einer verringerten Bauaktivität und weniger durch Verbesserungen im Arbeitsschutz zu begründen ist (**Bild 1**).

Viele effektive Lösungen existieren, um das Niveau der Arbeitssicherheit zu erhöhen und die Unfallzahlen zu verringern. Dennoch sind Sicherheitsexperten und Forscher nicht zufrieden, weil das Ziel einer unfallfreien Baustelle bisher nicht erreicht werden konnte. Deshalb sind neue Methoden notwendig.

Building Information Modeling (BIM) bildet in der Hierarchie von Kontrollmaßnahmen einen weiteren Baustein, diese Problematik zu beherrschen. Dabei spiegelt sich der Grundgedanke wider, dass Gefahrenpotenziale schon vorab in der Planungsphase erkannt und beseitigt werden bevor sie auf der Baustelle auftreten. Damit ersetzt BIM in der präventiven Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz nicht eine persönliche Schutzausrüstung und andere gut funktionierende traditionelle Sicherheitsverfahren, trägt aber dazu bei, potenzielle Gefahrensituationen bereits vor der Ausführung effizient und effektiv zu erkennen und eliminieren (**Bild 2**).

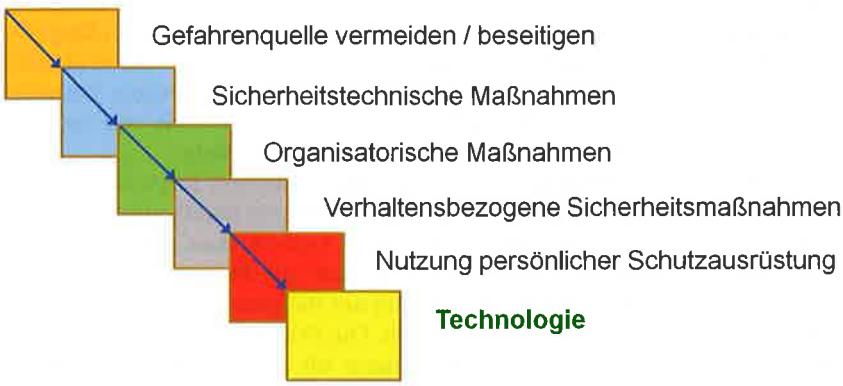


Bild 2. Stufen zu mehr Sicherheit auf Baustellen [13]

1.3 Prozessintegrierte Planungswerkzeuge für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz

Die Planung von sicherheitstechnischen Einrichtungen stellt eine mühsame und zeitaufwendige Aufgabe dar. Bei großen Hoch- und Ingenieurbauwerken haben solche Aufgaben einen iterativen Charakter. Jedoch sind bei großen Projekten Plansätze von über 1.000 Planeinheiten keine Seltenheit. Eine gute Planungsqualität ist oft direkt verknüpft mit dem räumlichen Vorstellungsvermögen des Ingenieurs und Sicherheitsbeauftragten. Diesen obliegt die Tätigkeit, die Ausführungspläne unterschiedlicher Gewerke gedanklich zusammenzuführen, um sich einen ganzheitlichen Überblick über die räumlichen Situationen auf der Baustelle und ihrer Gefahrenpotenziale zu verschaffen. Der dynamische Charakter der Baustellenbedingungen erschwert den sicherheitsdetaillierten Planungsprozess zusätzlich. In der aktuellen Baupraxis zeigt sich weiterhin, dass es für Menschen unangemessen ist, Bauprojekte anhand der Datenflut bezüglich der Arbeitssicherheit und dem Gesundheitsschutz zu analysieren, weil diese das Bauobjekt oftmals bereits im fertiggestellten Zustand repräsentieren. Selbst unter Verwendung von zweidimensionalen (2D) oder dreidimensionalen (3D) Modellen erschweren weitere Informationsquellen, zum Beispiel der Terminplan (4D) und die Mengenermittlung (5D), einen genauen Überblick über den Projektstatus zu erlangen.

International haben wissenschaftliche Untersuchungen gezeigt, dass die Verwendung von BIM als zentrales Element des Bauprojektmanagements erhebliches Potenzial aufweist diese Problematik zu lösen [14]. Allerdings sind Anwendungen von BIM in der Planung der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes noch relativ gering und selten.

Der Ausdruck BIM in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz wird benutzt, um drei Dinge zu verdeutlichen: (1) den verbesserten Prozess der Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutzplanung, (2) die effektivere Durchführung und effizientere Überwachung unter Nutzung von BIM und (3) die Anreicherung von BIM-Inhalten mit sicherheitstechnischem Wissen. Der folgende Text erläutert das Konzept von BIM mit seinen An-

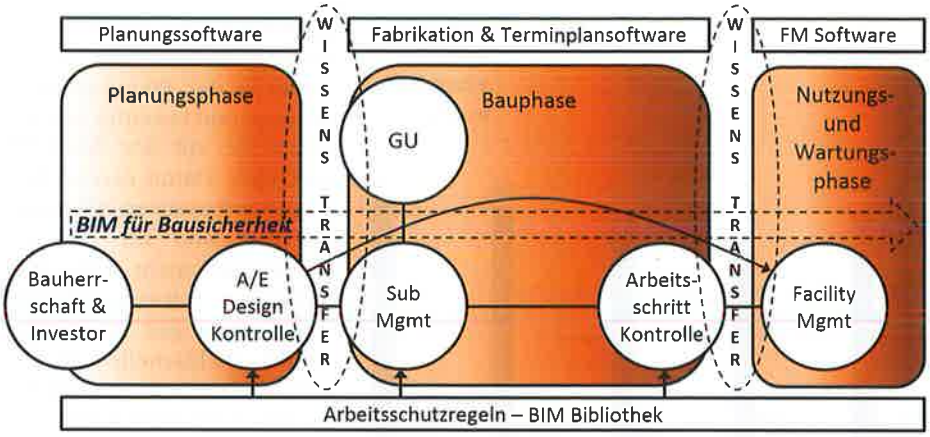


Bild 3. Arbeitsschutz im Projektlebenszyklus

wendungen und Vorteilen in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz.

Der gegenwärtige Industrietrend hin zur Nutzung von BIM führt zwangsläufig zur Frage, inwieweit BIM die Thematik Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz beeinflussen und verändern wird. Viele Studien belegen, dass Themen der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes eng mit den einzelnen Phasen eines Bauprojekts verbunden sind [15]. Obwohl Unfälle erst während der Bau- oder Wartungsphasen eines Projekts auftreten, werden Entscheidungen, die die Sicherheit und Gesundheit der Arbeiter beeinflussen, oftmals schon in der Entwurfs- oder Planungsphase getroffen. Die Rolle der Bauherrschaft spielt dabei eine zentrale Rolle, denn diese legt fest, wie der Arbeitsschutz eines Projekts gestaltet wird. Da der Bauherr oftmals nicht der spätere Nutzer des Gebäudes ist, bestimmen drei wesentliche Punkte ihre Rolle in Hinblick auf den Arbeitsschutz:

- Einfluss von Entwurfsrichtlinien auf die sichere Projektausführung und Wartung,
- Auswahl von Bauunternehmen, Subunternehmen, Herstellern und Zulieferern auf Basis ihrer Arbeitssicherheit- und Gesundheitsschutzbilanzen und mit der Auflage zur Anwendung sicherer und gesunder Arbeitsmethoden und
- Schließen von Bauverträgen, die Arbeitssicherheit- und Gesundheitsschutzbestimmungen über die gesetzlichen Mindeststandards hinaus und die aktive Teilnahme am Management der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes während der Projektausführung vertraglich festlegen.

Der Einfluss der Bauherrschaft auf die Arbeit der Architekten und Ingenieure hat damit auch maßgebliche Auswirkungen darauf, wie sicher und gesund Bau- und Wartungsarbeiten später ablaufen werden. **Bild 3** zeigt den Lebenszyklus des BIM-basierten Arbeitsschutzes in einem Projekt. Es zeigt, wie Bauherrschaft, Architekten und Ingenieure, Bau- und Subunternehmen sowie Facility Manager gemeinsam ein integriertes und ganzheitliches Arbeitsschutzprogramm ermöglichen können.

Obwohl der ganzheitliche, alle Projektphasen übergreifende Arbeitsschutz das allgemein anerkannte Ziel ist, gibt es bisher Unstimmigkeiten darüber, wie intelligente Projektinformationen unter allen Projektbeteiligten kommuniziert werden. Insbesondere sind Lösungen zum Austausch von sicherheitsrelevanten Informationen notwendig, die es in dieser Form in existierenden Arbeitssicherheit- und Gesundheitsschutzprogrammen bislang nicht gibt. So existieren bis heute nur manuell aufgestellte text- oder softwareunterstüzte Listen und subjektive Erfahrungswerte von Arbeitssicherheitsspezialisten, die in der bauausführenden Planung und Überwachung eingesetzt werden. Die Erarbeitung eines effektiven Arbeitsschutzprogramms beginnt jedoch schon in den frühen Phasen des Projektlebenszyklus und erstreckt sich ganzheitlich in die darauffolgenden Bauausführungs- und Objektwartungsphasen [3].

2 Ganzheitlicher Ansatz der modellbasierten Arbeitsweise in der Arbeitssicherheit

Die Gestaltung der Abläufe der Arbeitsprozesse nimmt eine immer wichtigere Stellung im Bauprozessmanagement ein. Als Gründe hierfür sind die Einführung des Lean-Gedankens in die Bauabläufe, die Wissensrepräsentation von Mitarbeitern, Know-how und die ganzheitliche IT-gestützte Projektabwicklung zu nennen. Diese Ansätze veranlassen eine Sensibilisierung für die detaillierte Arbeitsablaufplanung im Bauwesen. Hinzu kommt, dass durch die Komplexität und Beschleunigung der Geschäftsprozesse in Bauprojekten die Informationsverteilung gewährleistet sein muss. Daher ist die Bereitstellung der aktuellen Projektdaten ein Schlüsselfaktor für eine erfolgreiche Bauabwicklung. Bereits mehrfach hat sich der BIM-basierte Ansatz für diese verteilte Planungsaufgabe und Informationsbereitstellung unter Beweis gestellt [14].

Der vorgestellte BIM-basierte Ansatz für eine teilautomatische Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzplanung von Baustellen fügt sich in diese veränderten Arbeitsabläufe ein und fördert den kontinuierlichen Datenfluss über die verschiedenen Projektphasen hinweg. Traditionell erstellen Architekten 2D-Zeichnungen in ihrer Werksplanung, wobei bei dieser Arbeitsweise die Auswirkungen von Design-Entscheidungen auf die Arbeitsaufläufe und die sicherheitstechnischen Anforderungen noch nicht oder nur schwer evaluiert werden können. Auf Grundlage der fertiggestellten Pläne werden in der Arbeitsvorbereitung die Entscheidungen für die Wahl von Präventionsmaßnahmen für die gegebenen Bedingungen getroffen. Jedoch zeigt die Praxis, dass die Entscheidungen oft ad-hoc erst auf der Baustelle getroffen werden und deshalb nicht auf der Grundlage einer detaillierten Planung basieren. Daraus folgen oftmals falsche, unkoordinierte oder in falschen Mengen bestellte temporäre Baustellensicherungsmaßnahmen, wie Schutzgeländer, Abdeckplatten und Schutzgerüste.

Die Planung von sicherheitstechnischen Einrichtungen ist eine komplexe Aufgabe, bei der viele Randbedingungen zu berücksichtigen sind. Hinzu kommt, dass jedes Bauwerk ein Unikat darstellt und deshalb alle Planungen immer neu erstellt und auch während der Bauphase auf neustem Stand gehalten werden müssen. Die Praxis zeigt, dass die sicherheitstechnischen Planungen oft von der Arbeitsvorbereitung des Bauablaufs entkoppelt durchgeführt werden. Die-

se Teilung der Aufgaben verursacht sowohl technische als auch Koordinationsrisiken.

Planungs- und Koordinierungsaufgaben im Bereich der Baustellensicherheit basieren auf der individuellen Begutachtung von Ausführungsplänen [14]. Das bedeutet, dass derzeit nur ein Modell des fertigen Bauwerks analysiert wird. Diese Arbeitsweise birgt das Risiko, Zwischenzustände im Bauablauf und temporäre Einrichtungen nicht ausreichend zu berücksichtigen. Der ganzheitliche Grundgedanke der Baustellenverordnung als auch die Tatsache, dass der bisherige Arbeitsablauf in der Arbeitsvorbereitung Gefahren durch Informationsverluste birgt, kann in Zukunft durch die Verwendung von BIM zu einer verbesserten Sicherheitsplanung führen [17]. Beispiele aus der Praxis und Forschung zeigen dies.

Aktuelle verfügbare Softwareprodukte in BIM beschränken sich auf Projektvisualisierung, Koordination von Gewerken, Kollisionskontrolle, Bauablaufplanung, Simulation, Logistik und viele weitere Anwendungen mehr, beinhalten aber den Arbeitsschutz nicht in ausreichendem Maße. Falls überhaupt werden sicherheitsrelevante Objekte manuell von Experten modelliert die sich mit Sicherheitsregeln auskennen. **Bild 4** zeigt einige dieser Fallbeispiele in denen Geländer und Fangnetze an einem skandinavischen Hochbauprojekt exemplarisch modelliert wurden. Seither kommen diese Modelle in BIM zum Einsatz um die Kommunikation von Gefahrenpotenzialen unter allen Projektbeteiligten zu steigern.

Auf der anderen Seite gibt es bisher wenige existierende BIM-Entwicklungsprojekte aus der Forschung die sich in der Baupraxis bereits positiv auf die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz auswirken. Beispiele:

- Die Kollisionskontrolle von Gebäudeelementen vermeidet primär kostspielige und zeitintensive Nacharbeiten, verbessert aber auch die Arbeitsbereiche, die gemäß existierender Normen nun ausreichend groß genug ge-

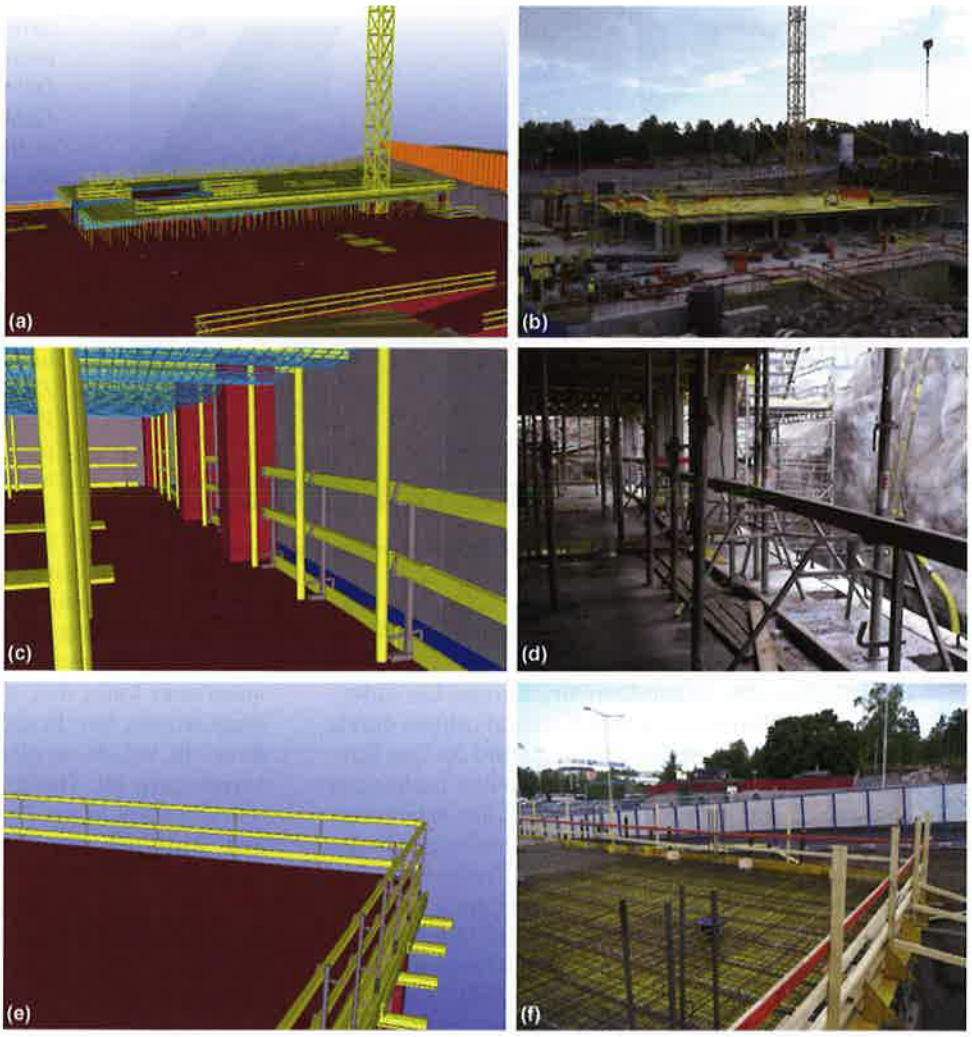


Bild 4. Manuelles Modellieren von Sicherheitselementen in einem Bauwerksinformationsmodell (BIM) und Ausführung auf der Baustelle [15]

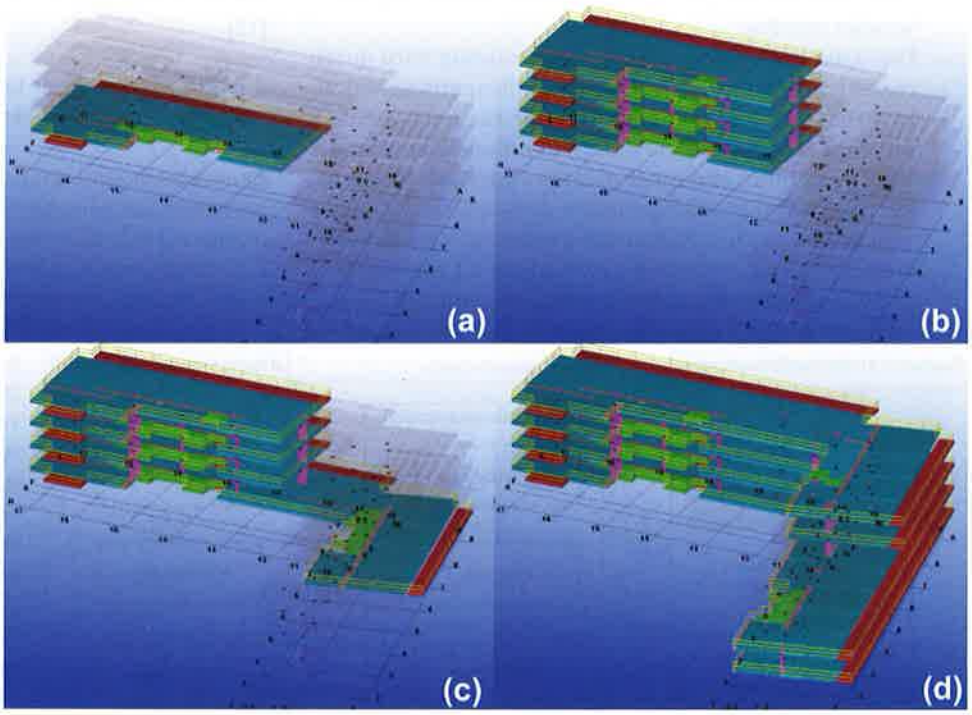


Bild 5. Taktplanung des Baufortschritts in BIM unter Rücksichtnahme der sich verändernden Sicherheitselemente [15]

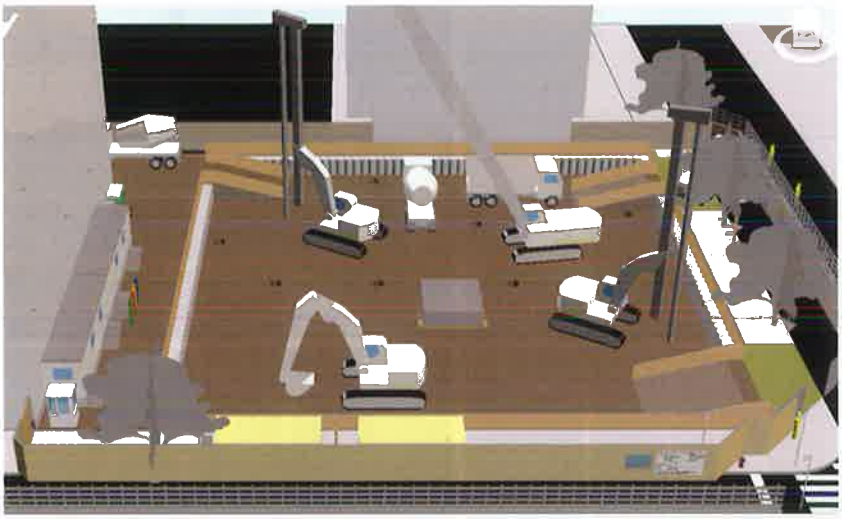


Bild 6. Modellbasierte Baustelleneinrichtungsplanung mit Sicherheitselementen und Logistikkonzept [16]

plant werden können, um die Installation und Wartung sicherer zu machen.

- Ein koordinierter Baustelleneinrichtungsplan unterstützt den reibungslosen Projektablauf mittels durchdachter Logistik und Taktplanung (**Bild 5**). Das Entfernen von potenziellen Gefahrenquellen funktioniert gleichzeitig mit anderen Aufgaben in der Arbeitsvorbereitung; zum Beispiel kann eine überlappende Ausführung von Gewerken am gleichen Ort zur gleichen Zeit vermieden werden; sicherheitstechnisches Material kann durch geeignete Ortungs- und Kommunikationstechnologie, zum Beispiel Quick Response (QR) und Radio Frequency Identification (RFID) angeheftet an Baugruppen und Komponenten, rechtzeitig bereitgehalten werden; der Baufortschritt kann in BIM anhand einer aktuellen Leistungsmeldung dokumentiert werden, sicherheitstechnische Daten können gespeichert und für ein pro-aktives Sicherheitstraining verwendet werden.
- Das Arbeitsschutz- und Sicherheitstraining wird durch realistische, interaktive Bauwerksinformationsmodelle verbessert. Insbesondere Arbeiter, die noch nicht mit dem Arbeitsumfeld einer neuen Baustelle vertraut sind, profitieren von einer detaillierten Einführung in komplexe und große Baustellen. Existierende Modelle sind besonders bei Wartungsaufgaben von großem Wert, um in einer virtuellen räumlichen Umgebung Gefahrenstellen frühzeitig zu erkennen und sichere Arbeitsabläufe zu erstellen und kommunizieren zu können.
- Die vorausschauende Erkennung von Gefahren in Bauabläufen hat das Ziel, sichere Arbeitsmethoden zu entwickeln die schnell in die Praxis umgesetzt werden. Die Erstellung von Baugruben zum Beispiel, wird von zahlreichen Gefahren begleitet. Mehrere Ursachen, die mit BIM entscheidend verändert werden können, sind hierfür verantwortlich: fehlende Absturzsicherung und Zugangs- und Fluchtwege, unsichere Platzierung von Kränen oder Ablageplätze für Erdmaterial und ungeschützter Einsatz von Arbeitern in der Nähe von Baumaschinen (**Bild 6**).

Die im System einmal generierten sicherheitsrelevanten Daten können mehrfach für unterschiedliche Zwecke, wie zum Beispiel Mengenermittlung oder Mitarbeiterunterweisung, verwendet und aktualisiert werden. Ein abgestimmtes Informationssystem kann den Arbeitsaufwand für die Planung der Maßnahmen zur Erzielung von Arbeitssicherheit auf der Baustelle bei einem gleichzeitig höheren Detailierungsgrad vermindern [8]. Durch das vorgestellte regelbasierte System erfordert es bei Planungsänderungen nur einen geringen Aufwand das Bauwerksinformationsmodell erneut nach möglichen Gefahren zu analysieren. Ein weiterer Vorteil der vorgestellten Methode ist die Zeiteinsparung in der Planungsphase durch den hohen Automatisierungsgrad. Hingegen erfordert es bei einer traditionellen Planung einen großen Personaleinsatz, um die Auswirkungen von Planungsänderungen auf verschiedene betroffene Gewerke zu erfassen. Die Ergebnisse der regelbasierten Sicherheitsplanung am Beispielprojekt sind bei einem akkurat modellierten Bauwerksinformationsmodell bereits in wenigen Minuten in einem hohen Detaillierungsgrad verfügbar (Bild 4) [15].

3 Methodik zu einer teilautomatisierten Regelabfrage von Sicherheitsrichtlinien

Bauprojekte sind dadurch charakterisiert, dass viele Informationen auf verschiedene Wissensträger verteilt und fragmentiert sind. Dies betrifft auch das Wissen im Bereich der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes. Noch fehlt eine Methode die ein formales Repräsentationssystem für Wissen in der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes aufbereitet. Im Folgenden wird eine Methode vorgestellt wie arbeitsschutzrelevantes Wissen formal und allgemeingültig erfasst, gespeichert und für die Wiederverwendung aufbereitet wird. Die zu erhebenden Daten werden in drei Modellen repräsentiert. Dem Bauwerksinformationsmodell, dem Prozessmodell und dem Sicherheitsmodell (**Bild 7**).

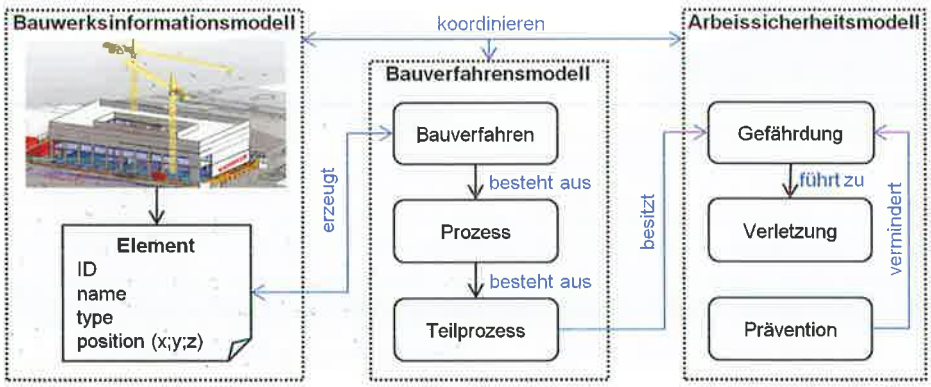


Bild 7. Vorgehen einer regelbasierten Modellabfrage

Das Bauwerksinformationsmodell enthält die objektbezogenen Daten der einzelnen Elemente. Durch das

Modell werden die zu erstellenden Objekte mit einer eindeutigen Identifikationsnummer, der Objekttyp (z. B. Wand, Stütze, Decke), der globalen Position des Objekts und weiteren Informationen ausgelesen. Das Prozessmodell ist ein hierarchisches Modell auf drei Ebenen. Es beschreibt die einzelnen Schritte die notwendig sind, um die im Bauwerksinformationsmodell enthaltenen Objekte herzustellen. Das Arbeitssicherheitsmodell beinhaltet das spezifische Wissen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz. Das Modell besteht weiterhin aus einer Datenbank die den Zusammenhang zwischen den Gefährdungen, Verletzungen, statistischen Kennziffern und den damit verbundenen Präventionsmaßnahmen herstellt.

Die entwickelte Analysemethode zerlegt das Gebäudemodell nach einem festgelegten Algorithmus [2]. Der geometrische Analyseprozess erfolgt in mehreren Schritten. Der hier gewählte Ansatz folgt analog dem Projektstrukturplan (PSP). Eine eigens für BIM entwickelte Ontologie [17], die die Schnittstelle von der BIM-Technologie hin zur Anwendung des Wissens im Bereich Arbeitssicherheit löst, ermöglicht es, technische Sicherheitsregeln ans Sicherheitsmanagement zu koppeln. Der Zweck einer solchen Ontologie ist es: standardisierte Vorgänge zu ermöglichen und das vorhandene Sicherheitswissen einfacher zu erweitern, zu vernetzen und zu teilen. Die Gründe zur Anwendung von Ontologien in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz sind vielfältig. Erstens können mehrere Wissensdomänen gleichzeitig geteilt und verwendet werden, um Information zu nutzen. Zweitens, Ontologien unterstützen Konsistenzüberprüfungen und Interpretationen intuitiv anhand von semantischer Beziehungen (Klassen und Eigenschaften). Zur eventuell manuellen Bewertung von Risikopotenzialen bei der Ausführung von Teilprozessen können dadurch nicht nur die genauen Gefahrenorte sofort angezeigt werden, sondern auch die genauen Zeitpunkte des Auftretens und Endes der Gefahrenstelle im Terminplan ermittelt werden. Strategien zur vorsorglichen Eliminierung der Gefahren ist der Einsatz eines entwickelten Softwaretools das vorhandene Sicherheitsregel teilauto-

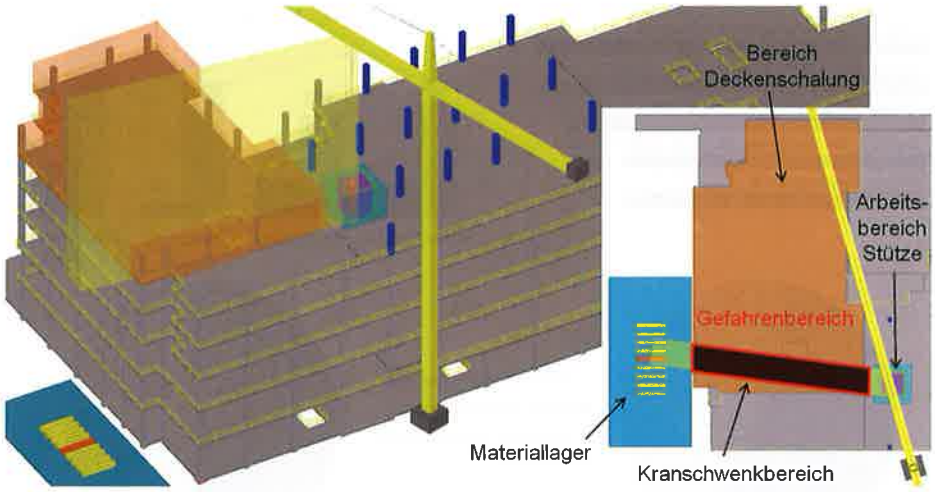


Bild 8. Schwenkbereich eines Krans mit Lasten zeigt potenzielle Gefahrenbereiche auf

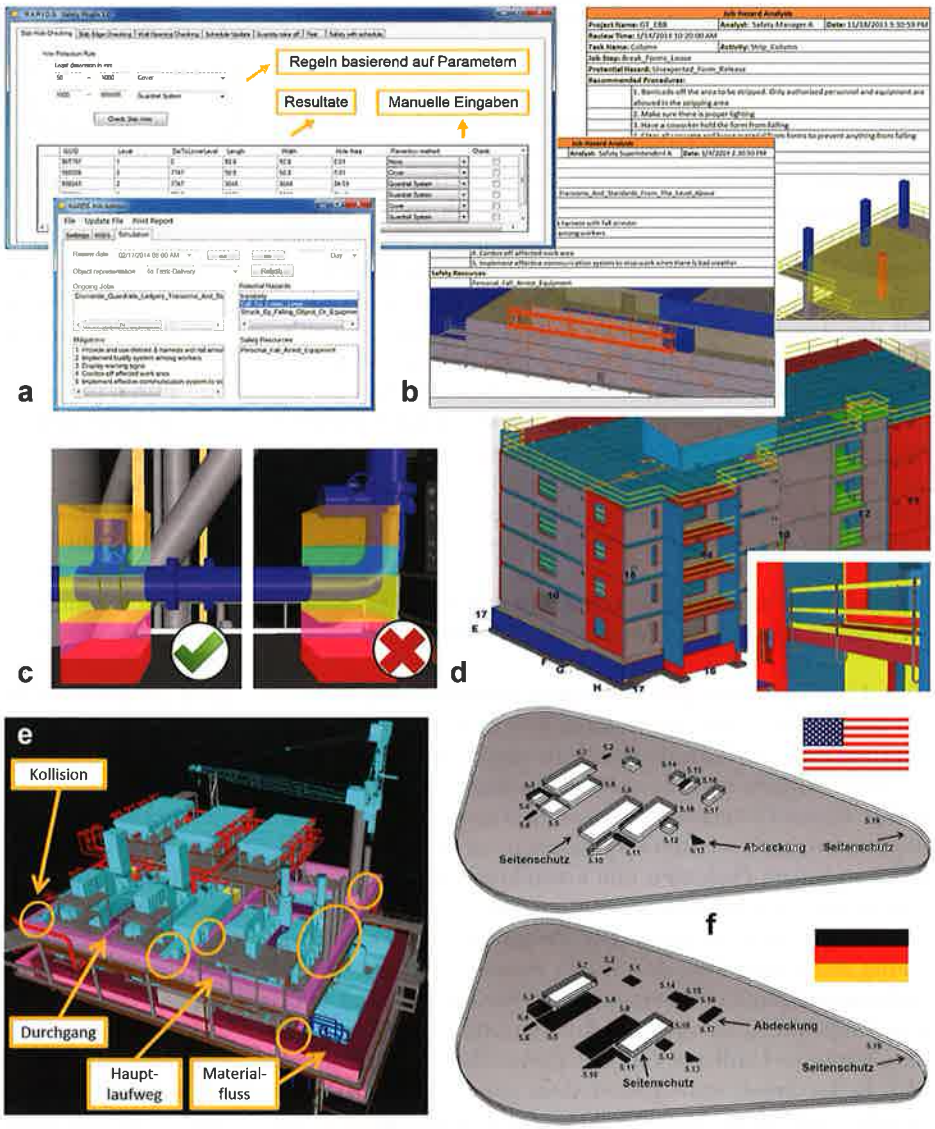


Bild 9. Anwendungsbeispiele des entwickelten regelbasierten Überprüfungswerkzeugs
(a) Benutzeroberfläche des entwickelten Software Modules (b) Job Hazard Analysis (JHA): Hinweise zur sicheren Arbeitsanweisung im vorbeugenden Arbeitsschutz, (c) Prüfung der ergonomisch korrekten Montagehöhe eines Ventilreglers in einer Raffinerie, (d) Automatisiertes Planen und Visualisieren von Geländern im mehrgeschossigen Wohnungsbau, (e) Kontrolle ausreichender, unblockierter Arbeits- und Fluchtwege auf einer Ölplattform und (f) Ergebnisse im Vergleich internationaler Normen [2], [8], [14], [15], [17], [18], [19], [20], [21]

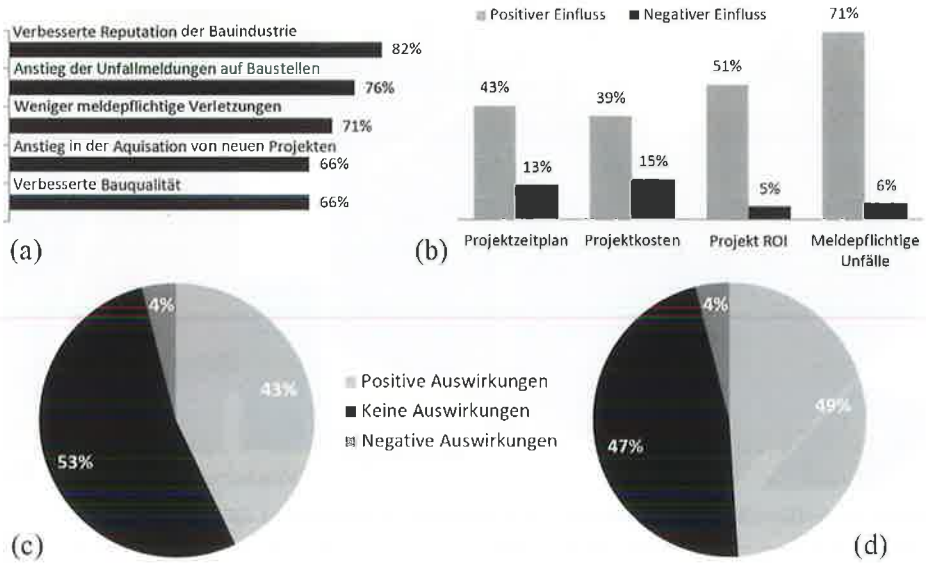


Bild 10. Umfrageergebnisse zur Anwendung von BIM in der Arbeitssicherheit
(a) Vorteile eines exzellenten Arbeitsschutzprogramms (in % von Firmen die eine positive Auswirkung melden), (b) Finanzielle Vorteile erreicht durch ein exzellentes Arbeitsschutzprogramm, (c) Auswirkungen von BIM auf den Arbeitsschutz einer Baustelle und (d) Auswirkung von Vorfertigung und Modularisierung auf den Arbeitsschutz.

matisiert überprüft [2]. Dieses unterstützt die konventionellen Sicherheitsbesprechungen auf einer Baustelle die Führungskräfte und Arbeiter über Gefahrenstellen und -potenziale sensibilisieren. Letzteres wird heutzutage auf modernen Baustellen vor der Ausführung jedes Teilprozesses durchgeführt (engl., Job Hazard Analysis, JHA). **Bild 8** zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer modellbasierten Analyse mit der Ausgabe der möglichen Gefährdungen beim Einsatz eines Krans. Aus der Schwere und Häufigkeit der Gefährdung lassen sich Risikowerte errechnen die farblich codiert im Modell dargestellt werden. Anwendung komplexer Projekte und Vergleiche mit internationalen Normen lassen sich ebenso darstellen. **Bild 9** zeigt weitere Beispielanwendungen auf, wie das entwickelte regelbasierte Überprüfungswerkzeug sinnvoll eingesetzt werden kann [3].

4 Ergebnisse durch die Anwendung von Safe Building Information Modeling (Safe-BIM)

Eine Umfrage unter 263 führenden Sicherheitsexperten in der Bauindustrie zur Anwendung von BIM in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz ergab die folgenden Ergebnisse. Durch verbesserte Arbeitssicherheit und gestiegenen Gesundheitsschutz steigerten Bauunternehmen ihre Reputation, verbesserten ihre Möglichkeiten in der Akquisition von neuen Projekten und erreichten eine höhere Qualität in der Projektausführung. Generell wurde der Einsatz positiv gesehen, obwohl zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Ergebnisse der Studie zunächst nur die bereits vorhandenen und eingesetzten BIM-Verfahren, unter anderem Kollisionskontrolle und Kollaboration, bewertet wurden. Wichtige Umfrageresultate sind in **Bild 10** verdeutlicht [22]. Es ist davon auszugehen, dass eine teilautomatisierte Regelüberprüfung, Modellierung und Kommunikation von Risikopotenzialen und Lösungen zu weiteren Vorteilen in der Sicherheitsplanung und -überwachung führen wird.

5 Fazit und Ausblick

Auch wenn bereits in einem konventionellen zweidimensionalen Plan alle Informationen für die Errichtung des Gebäudes enthalten sind, können in Bauwerksinformationsmodelle (BIM) weiterführende Daten für den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes integriert werden. Die Vorteile des Einsatzes von BIM für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz können wie folgt zusammengefasst werden:

- Identifikation von Sicherheitsrisiken basierend auf einem einheitlichen Bauwerksmodell, bevor die Bauphase beginnt (u. a. durch Kollisionskontrollen),
- Bessere und schnellere Kommunikation von Sicherheitsrisiken (u. a. durch die Visualisierung von Gefahrenorten anhand perspektivischer 3D-Modelle),
- Teilautomatisiertes Erkennen von Gefahrenstellen, die vor der Bauausführung vermieden werden können (u. a. durch Vorfertigung),
- 4D-Visualisierung von Arbeitsabläufen (u. a. durch die Koordination von Gewerken),
- Effektivere Sicherheitstrainings und -schulungen (u. a. durch interaktive, projektbezogene und realistische Modelle inkl. Darstellung gemäß Bauablaufplan und Bauverfahrensmethoden) [23], [24]

Die gezeigten praxisbezogenen Entwicklungs- und Forschungsansätze zeigen auf, dass die Gefahrenstellen und Schutzeinrichtungen in 3D-Modellen visualisiert werden können, zum Teil bereits teilautomatisiert und in Abstimmung mit einem Terminplan. Diese tragen entscheidend zur Verbesserung der Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten bei. Dabei spielen sowohl der Ausbildungsgrad als auch die Muttersprache der Anwender eine untergeordnete Rolle. Durch die Integration des Bauzeitenplans in das Bauwerksinformationsmodell lassen sich bereits potenzielle räumliche Konflikte beteiligter Gewerke darstellen und zügig lösen, bevor es zu kosten- und zeitaufwendigen Konflikten auf Baustellen kommt. Mobile Leistungsmeldung durch moderne Erfassungsmethoden auf Baustellen ermöglicht zudem eine rasche Meldung und Lösung von Gefahrenpotenzialen, die es auf einer sicheren und gesunden Baustelle so eigentlich nicht geben darf. Daran gekoppelt findet sich ein pro-aktives Sicherheitsmanagement auf Seiten der Bauherrschaft und Bauunternehmen, welches das Sammeln und Analysieren von zeitnahen Sicherheitsstatistiken zur schnellstmöglichen Verbesserung unter Rücksicht aller sicherheitsrelevanten Szenarien erlaubt.

Literatur

[1] *Garrett, J. W.; Teizer, J.*: Human Factors Analysis Classification System Relating to Human Error Awareness Taxonomy in Construction Safety. *In*: ASCE Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 135 (2009), Iss. 8, pp. 754–763.

[2] *Zhang, S.; Teizer, J.; Lee, J.-K.; Eastman, C.; Venugopal, M.*: Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *In*: Automation in Construction, Vol. 29 (2013), pp. 183–195.

[3] *Teizer, J.; Melzner, J.* (2015). Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Anwendungen: BIM im präventiven Arbeits-und Gesundheitsschutz. *In*: *Borrmann, A.; König, M.; Beetz, J.; Koch, C.* (Hrsg.), Springer, Heidelberg, 2015, S. 305–320.

[4] DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Statistische Daten Referat Statistik –Makrodaten, Arbeits- und Schülerunfälle, Abgerufen 06.07.2015

[5] *Teizer, J.; Bosche F.; Caldas, C.H.; Haas, C.T.; Liapi, K.A.*: Real-time, three-dimensional object detection and modeling in construction. International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), 2005.

[6] *Hinze, J.W.; Teizer, J.*: Visibility-Related Fatalities Related to Construction Equipment. *In*: Journal of Safety Science, Vol. 49 (2011), Iss. 5, pp. 709–718.

[7] *Migliaccio, G.; Gatti U.; Teizer, J.*: Remote Construction Worker Location Activity and Safety Monitoring, Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Seoul, Korea, 2011.

[8] *Melzner, J.; Zhang, S.; Teizer, J.; Bargstädt, H.-J.*: A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models *In*: Journal of Construction Management and Economics, Vol. 32 (2013), Iss. 6, pp. 661–674.

[9] *Schüler, T.; Röbenack, K.-D.; Steinmetzger, R.*: Untersuchung von Absturzunfällen bei Hochbauarbeiten und Empfehlungen von Maßnahmen zu deren Verhütung, Forschung Fb 922 – Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW. 2001.

[10] Safe Work Australia: Traumatic Injury Fatalities Report 2013. 2013, http://www.safeworkaustralia.gov.au, 2015-06-20.

[11] U.K. Health and Safety Executive: Slips & trips and falls from height in Great Britain, 2014. 2014, http://www.hse.gov.uk/statistics/causinj/slips-trips-and-falls.pdf, 2015-06-20.

[12] U.S. Buerau of Labor Statistics: Census of Fatal Occupational Injuries (CFOI) – Current and Revised Data. 2014, http://www.bls.gov/iif/oshcfoi1.htm#charts, 2015-06-20.

[13] *Marks, E.; Teizer, J.*: Safety First: Real-Time Proactive Equipment Operator and Ground Worker Warning and Alert System in Steel Manufacturing. *In*: Iron & Steel Technology, AIST, Vol. 9 (2012), Iss. 10, pp. 56–69.

[14] *Melzner, J, Teizer, J.; Zhang, S.; Bargstädt, H.-J.*: Objektorientierte sicherheitstechnische Planung von Hochbauprojekten mit Hilfe von Bauwerksinformationsmodellen. *In*: Bauingenieur 88 (2013), Heft 11, S. 471–479.

[15] *Zhang, S.; Sulankivi, K.; Kiviniemi, M.; Romo, I.; Eastman, C.M.; Teizer, J.*: BIM-based Fall Hazard Identification and Prevention in Construction Safety Planning. *In*: Journal of Safety Science, 72 (2015), pp. 31–45.

[16] *Santulli, C.M.*: Site Safety Plans: The BIM Advantage. 2013, http://www.nyc.gov/html/dob/downloads/pdf/site_safety_plans-BIM_advantage.pdf, 2015-06-20.

[17] *Zhang, S.; Boukamp, F.; Teizer, J.*: Ontology-Based Semantic Modeling of Construction Safety Knowledge: Towards Automated Safety Planning for Job Hazard Analysis (JHA). *In*: Automation in Construction, Vol. 52 (2015), pp. 29-41.

[18] *Melzner, J.*: Sicherheitstechnische Planung von Baustellen unter der Nutzung von Bauwerksinformationsmodellen. *In*: *Hollermann, S.; Melzner, J.* (Hrsg.): Tagungsband 24. Assistententreffen der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Bauhaus-Verlag, Weimar, 2013.

[19] *Zhang, S.; Teizer, J.; Boukamp, F.*: Automated Ontology-based Job Hazard Analysis (JHA) in Building Information Modelling (BIM), Proceedings of CIB W099 International Conference on Modelling and Building Health and Safety, 2012.

[20] *Kim, K.; Teizer, J.*: Automatic Design and Planning of Scaffolding Systems using Building Information Modeling. *In*: Advanced Engineering Informatics, Vol. 28 (2014), pp. 66–80.

[21] *Wang, J.; Zhang, S.; Teizer, J.*: Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. *In*: Automation in Construction, Vol. 49 (2015), pp. 250–261.

[22] McGraw Hill Construction: Safety Management in the Construction Industry: Identifying Risks and Reducing Accidents to Improve Site Productivity and Project ROI, SmartMarket Report, New York, 2013.

[23] *Cheng, T.; Teizer, J.*: Real-time data collection and visualization technology in construction, Proceedings of the Construction Research Congress. *In*: *Ruwanpura, J.; Mohamed, Y.; Lee, S.H.*: Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice. Banff, Canada, Alberta, 2010, S. 339–348.

[24] *Teizer, J.; Cheng, T.; Fang, Y.*: Location Tracking and Data Visualization Technology to Advance Construction Ironworkers' Education and Training in Safety and Productivity. *In*: Automation in Construction, Vol. 35 (2013), pp. 53–68.

BIM-basiertes Bauen mit RFID: Nutzung von konsistenten Informationen für RFID-gesteuerte Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsprozesse

J. Bredehorn, M. Helmus, P. Jehle, A. Kelm, J. Kortmann, L. Laußat, A. Meins-Becker, U. Rüppel, S. Wagner, U. Zwinger

Zusammenfassung Über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes entstehen große Datenmengen, die im Planungs- und Bauprozess sowie während der Nutzungsphase immer wieder abgerufen und verarbeitet werden. Diese Informationen stehen jedoch in der Regel nur sehr eingeschränkt, teils isoliert, teils nur für einzelne Beteiligte (zum Beispiel den Planungsbeteiligten, Betreibern oder Nutzern) zur Verfügung. Mangelnde Informationsverfügbarkeit erschwert ein effizientes und sachgerechtes Herstellen und Betreiben von Bauwerken. Kommt es zu einem Wechsel von beteiligten Unternehmen und Personal, geht bei dieser dezentralen Datenvorhaltung in der Praxis regelmäßig ein großer Teil der Informationen verloren. Um die Datendurchgängigkeit in Verbindung mit einer zentralen Verwaltung und unterstützende Lösungen für eine neue Form der Datenhaltung und -verfügbarkeit zu erlangen, beschäftigt sich die ARGE RFIDimBau innerhalb der Forschungsinitiative ZukunftBau bereits seit fast zehn Jahren im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte mit der Verknüpfung von digitalen Gebäudemodellen und dem Einsatz der RFID-Technik in der Bau- und Immobilienwirtschaft (weitere Informationen unter https://rfidimbau.de). Hierbei untersucht das Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal die Prozesse der Baulogistik bis zur Lagerung und den Transport auf der Baustelle. Das Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden untersucht die bauproduktionstechnischen Prozesse von der Lagerung auf der Baustelle über die Erstellung und Nutzung des Bauwerkes bis zum Abbruch. Das Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der Technischen Universität Darmstadt untersucht den Forschungsbereich Ortung und Navigation innerhalb von Gebäuden sowie die Verbesserung von Wartungsprozessen am Beispiel von Brandschutzobjekten. Gemeinsam wird seit 2012 das aktuelle Forschungsprojekt „BIM-basiertes Bauen mit RFID" basierend auf den bisherigen Ergebnissen bearbeitet, das Ende des Jahres 2015 abgeschlossen wird. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ein Standardisierungskonzept für die Verknüpfung der aus der Planung kommenden Soll-Daten mit den über den Lebenszyklus eines Bauwerks mittels RFID-Technik erfassten Ist-Daten entwickelt. Des Weiteren liegt die Öffentlichkeitsarbeit zur Etablierung der Ideen zum Einsatz der RFID-Technik im Zuge der Digitalisierung der Wertschöpfungsketten des Bauwesens im Fokus des Forschungsvorhabens.

1 Einleitung

Über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes entstehen große Datenmengen, die im Planungs- und Bauprozess sowie in der Nutzungsphase eines Bauwerkes immer wieder verwendet werden. So betrachtet in der frühen Planungsphase jeder Fachplaner zunächst seine eigene Fachdisziplin, konkretisiert dann seine Ideen iterativ und in Koordination der Fachplaner mit der Objektplanung entsteht eine integrierte Gesamtplanung. Durch diese Berücksichtigung der Abhängigkeit der einzelnen Fachplanungen untereinander und den Abgleich werden Diskrepanzen oder Überschneidungen, zum Beispiel zwischen Bauteilen, zu großen Teilen vorgebeugt. Es herrscht somit bereits in der Planungsphase ein reger Datenaustausch zwischen den Planungsbeteiligten. In der späteren Bauphase werden die, in der Planung entstandenen, Daten und Dokumente in der

Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
Universitätsprofessor, Bergische Universität Wuppertal

Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anica Meins-Becker
Akademische Rätin, Bergische Universität Wuppertal

M.Sc. Agnes Kelm
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Bergische Universität Wuppertal

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Lars Laußat
Mitarbeiter, Bergische Universität Wuppertal

M.Eng. Jens Bredehorn
Doktorand, Bergische Universität Wuppertal

Bergische Universität Wuppertal
Abteilung Bauingenieurwesen
Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft
Pauluskirchstr. 7, 42285 Wuppertal
Tel.: 0202 439–4114
Fax: 0202 439–4314
helmus@uni-wuppertal.de
www.baubetrieb.uni-wuppertal.de

Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle
Universitätsprofessor, Technische Universität Dresden
Professur für Bauverfahrenstechnik

Dipl.-Ing. Jan Kortmann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität Dresden

Dipl.-Ing. Steffi Wagner
Doktorandin, Technische Universität Dresden

Technische Universität Dresden
Fakultät für Bauingenieurwesen
Institut für Baubetriebswesen
Nürnberger Straße 31A, 01187 Dresden
Tel.: 0351 463–36315
Fax: 0351 463–34680
jan.kortmann@tu-dresden.de
www.tu-dresden.de/biwibb

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel
Universitätsprofessor, Technische Universität Darmstadt

Dipl.-Ing. Uwe Zwinger
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität Darmstadt

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen
Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt
Tel.: 06151 16–3744
Fax: 06151 16–5552
zwinger@iib.tu-darmstadt.de
www.iib.tu-darmstadt.de

Regel wieder aufgegriffen, teils von Bauunternehmen überarbeitet und detailliert, zum Beispiel durch konkretisierende Werkplanungen. Im Rahmen der Bauausführung erfolgt dann die Umsetzung in Form von realen Bauelementen, Bauteilen und Bauwerken. Der Entstehungsort der Bauteile liegt dabei nicht ausschließlich auf der Baustelle. In der Praxis sind die unterschiedlichsten Ausprägungen von Vorfertigung anzutreffen. So können Bauwerke als Ganzes außerhalb vorgefertigt und nur auf der Baustelle abgestellt und befestigt werden (z. B. Fertiggaragen). Oder es können Teile eines Bauwerkes in externen Produktionsstätten hergestellt und an die Baustelle transportiert werden (z. B. Stahlbeton-Fertigteile), die alternativ auch vor Ort, also „in situ", produzierbar sind (z. B. als Ortbetonbauteile). In dieser Zeit der Vorfertigung, Logistik und Bauausführung auf der Baustelle entstehen stets neue Daten, bereits bestehende Daten werden aufgegriffen, genutzt und fortgeschrieben. Ist das Bauwerk fertiggestellt und sind die Daten an den Eigentümer oder Nutzer übergeben, schließt sich die Nutzungsphase an. In dieser Phase greifen weitere Personen auf die bestehenden Daten und Unterlagen zu, sei es zur Nutzung von Grundrissen für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen oder als Grundlage für spätere Umbau- und Modernisierungsarbeiten. Den Abschluss des Lebenszyklus' eines Bauwerkes stellt der Abbruch und Rückbau des Bauwerkes oder Bauteils dar. Auch hier lassen sich die in der Vergangenheit entstandenen Daten nutzen, um beispielsweise die vollständige Kenntnis über die verwendeten Baustoffe zu gewinnen und so Möglichkeiten der Wiederverwendung einzelner Bauteile oder der Wiederverwertung der Baustoffe in Form des Recyclings bestimmen zu können.

Eine Nutzung aller Planungs-, Ausführungs- und Nutzungsdaten ist derzeit noch nicht konsistent möglich, da über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes verschiedene Beteiligte über einen langen Zeitraum die Daten in unterschiedlicher Art und Weise ablegen und so immer wieder Hürden in der Verfügbarkeit entstehen. Zwischen den einzelnen Akteuren sind zudem zahlreiche Medienbrüche feststellbar. Daten werden aus diesem Grund oft nur unvollständig weitergegeben und dezentral bei den einzelnen Beteiligten abgelegt. Viele Projektbeteiligte können nicht auf die vorhandenen Daten zugreifen und erstellen deshalb zum Beispiel Planungsunterlagen immer wieder neu. Infolge des Mangels in der Datenduchgängigkeit entstehen ein Mehraufwand durch Mehrfacheingaben und die Fehleranfälligkeit in den wiederkehrenden Medienbrüchen. Um Informationsverluste und Medienbrüche über den Lebenszyklus eines Bauwerks zu vermeiden und eine Datendurchgängigkeit zu erreichen, beschäftigt sich die ARGE RFIDim-Bau mit dem Einsatz der RFID-Technik zur Erfassung von physischen Ist-Daten in Verbindung mit der von digitalen Gebäudemodellen (BIM). Die RFID-Technik wird in diesem Zusammenhang für eine eindeutige Identifikation von Bauteilen auf unterschiedlichen Ebenen der digitalen Kennzeichnung genutzt. Diese Anwendung ermöglicht eine konsistente Nutzung der Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes hinweg. Im Folgenden werden Konzepte und Ergebnisse des aktuellen Forschungsprojekts „BIM-basiertes Bauen mit RFID-Technik" dargestellt.

2 Grundlagen der RFID-Technik und der BIM-Arbeitsweise

2.1 Grundlagen der RFID-Technik

Die RFID-Technologie (engl. radio frequency identification) bezeichnet die Identifizierung von Objekten mittels elektromagnetischer Wellen. Ein RFID-System ist ein Sender-Empfänger-System. Es dient dem berührungslosen und sichtkontaktfreien Identifizieren und Lokalisieren von Objekten und/oder dem Speichern von Daten an Objekten. Ergänzt um Sensoren kann es auch als kabelloses Messsystem eingesetzt werden. Für die Nutzung der RFID-Technik im Bauwesen werden Objekte mit einem eingebauten oder angebrachten Chip versehen – dem RFID-Transponder –, der mit einem RFID-Reader ausgelesen und/oder beschrieben werden kann. In der RFID-Technik stehen passive Transponder ohne eigene Energieversorgung und aktive Transponder mit eigener Energieversorgung zur Verfügung. Die Datenübertragung zwischen Reader und Transponder kann durch zwei Arten der Übertragung erfolgen: Über eine magnetische Kopplung (LF 135 kHz/HF 13,56 MHz) oder über elektromagnetische Wellen (UHF 868 MHz/MW 2,4 GHz). Im passiven Bereich können Systeme mit Lesereichweiten von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern aufgebaut werden. Bei der Verwendung aktiver Transponder können mehrere hundert Meter erreicht werden. Einen guten Überblick über die RFID-Technik gibt [2]. Erstmals wurde die RFID-Technik in Kontext mit dem Bauwesen in [1] gebracht.

2.2 Ansatz Building Information Modeling (BIM)

Schon heute lässt sich die Building Information Modeling Methode (BIM-Methode) insbesondere für die Phasen der Gebäudeplanung mit Standardwerkzeugen umsetzen. Einen Einstieg in die BIM-Methode bietet [3] und [4]. In den späteren Phasen der Realisierung und Bewirtschaftung von Gebäuden werden BIM-basierte Prozesse aktuell noch wenig eingesetzt. Das Ergebnis eines idealen BIM-basierten Projektes sind plausibilisierte, akkurate As-Built-Informationen (Revisionsdokumentation). Aufgrund der real existierenden Dokumentationskultur im Bauwesen werden heute jedoch auch in Projekten, in denen partiell mit BIM-Methoden gearbeitet wird, größtenteils Daten von nicht optimaler Qualität geliefert. Möchte der Betreiber diese Qualitätsmängel beseitigen und in sein Betreibermodell auch die geometrische Bauwerksdokumentation und die in der Realisierung entstandenen Informationen vorhalten, bedeutet dies einen erheblichen Aufwand in der Datenzusammenstellung und -aufbereitung. Damit der Bauherr sein Recht auf eine digitale Dokumentation in hoher Qualität künftig einfordern kann, sind neue Konzepte und Strategien erforderlich. Ein Eingriff in die Prozesse der Zusammenarbeit wird erforderlich sein, denn prozessbasierte, zwingende Mechanismen sind unabdingbar, um einen effizienten, nachhaltigen und konsistenten Informationsablauf ohne Medienbrüche zu gewährleisten. CAFM-relevante alphanumerische und geometrische Daten sollten bereits ab Start der Planungsphase erstellt und über die Phase der Ausführung ergänzt werden. Mit dem Ende dieser Phase lässt sich so ein gleitender Übergang in den Betrieb realisieren. Mobile Endgeräte ermöglichen es bereits während der Realisierungsphase, modellbasierte Informationen auf der Baustelle abzurufen, um Daten zu realen Prozessen und Objek-

ten zu ergänzen und diese Ist-Daten mit den Soll-Daten gemäß Planungsmodell abzugleichen. So können Daten aus einzelnen Phasen und Prozessen miteinander zu einem Gesamtmodell vernetzt werden, das alle für das Gebäudemanagement relevanten Informationen in erforderlicher Exaktheit beinhaltet.

3 Standardisierung

Um Datenmodelle in vorgenannter Qualität zusammen mit den vielen beteiligten Akteuren erstellen zu können, bedarf es diverser Vereinbarungen, sprich Standards, auf unterschiedlichsten Ebenen und für die unterschiedlichsten Bereiche. So müssen Rollen, Prozesse, Daten- und Datenaustauschformate, Schnittstellen, Katalogdaten, Klassifizierungssysteme etc. aufeinander abgestimmt werden. Kern des Projektes ist es dabei insbesondere, die Lücke zwischen zwei Datenwelten zu schließen: Auf der einen Seite steht die BIM-Datenwelt mit ihren eindeutig identifizierbaren virtuellen Objekten, die in der Planungs- und Bauvorbereitungsphase erzeugt werden. Auf der anderen Seite steht die Datenwelt rund um die realen, physischen, mit RFID-Tags gekennzeichneten Objekte, die mit oder aus denen in der Phase der Ausführung ein Bauwerk entsteht. Der Ansatz des Forschungsprojektes war es, möglichst offen zu arbeiten. Für den Lösungsvorschlag sollte von einer Systemvielfalt bestehender Standards und alternativer Konstellationen der Baubeteiligten ausgegangen werden, die es anzubinden gilt.

Für das Standardisierungskonzept wurde folgender Ansatz verfolgt:

1. Auf der Auto-ID-Kennzeichnungsseite wurde ein bereits nach ISO-Standard 18000–6-C verfügbares Nummernsystem verwendet, das um eigene, bauspezifische Nummernkreise ergänzt wurde. Diese Nummern werden auf den RFID-Tags gespeichert. Kern und Mindestinhalt der Nummern ist dabei eine eindeutige Identifizierungsnummer. Sie kann auf Tags aller Frequenzbereiche hinterlegt werden und ist zudem auch mit optionalen Auto-ID-Techniken wie Barcode darstellbar. So wird ein Größtmaß an Systemoffenheit bei gleichzeitiger Kompatibilität gewährleistet. Neben der Identifizierungsnummer können prozess- und bauteilbezogene Informationen mit standardisierten Schema und somit für jeden interpretierbar auf den Tags hinterlegt und auch in den Prozessen verändert werden.
2. Mit Blick auf Klassifizierungs-, Artikelkatalogdaten- und Produktdatenaustauschsysteme wurde davon ausgegangen, dass hier eine Systemvielfalt bestehen bleiben wird. Dies ist dem Gesamtsystem aber nach Einschätzung der ARGE RFIDimBau zunächst nicht hinderlich. Der Erste, in der Regel der Hersteller, der einen RFID-Tag mit der Identifizierungsnummer beschreibt, und die Anbieter der Klassifizierungssysteme müssen lediglich individuell vereinbaren, wie die Zuordnung der Identifizierungsnummer konkreter Bauteile mit den Klassifizierungsnummern allgemeiner Bauteiltypen in einfachen Matchingtabellen eingetragen wird. Langfristig ist zu erwarten, dass hier der Markt entscheidet, welches System am nutzerfreundlichsten ist, sodass sich dieses durchsetzen wird.
3. Auf der Seite der BIM-Datenwelt wurde zunächst auf das Konzept der Multimodellcontainer (MMC) des Forschungsprojektes „Mefisto“ [5], [6] aufgesattelt. Virtuelle Objekte der BIM-Datenwelt können über Links mit einer RFID-Identifizierungsnummer verknüpft werden. In eigenen Elementar- oder Fachmodellen können zu jeder RFID-Identifizierungsnummer beliebige Daten vorgehalten und fortgeschrieben werden, die somit unmittelbar mit dem BIM-Modell im MMC verknüpft sind. Auch die oben angeführten Klassifizierungsmodelle könnten als eigene Fach- und Elementarmodelle hinterlegt werden. Innerhalb des MMC könnte so auch ein Link zwischen RFID-Identifizierungsnummer und Klassifizierungsnummer(n) und/oder zwischen BIM-Objektnummer und Klassifizierungsnummern(n) angelegt werden.

4 Maßnahmen zur Etablierung der RFID-Technik im Bauwesen

Nur allein durch die Herleitung von Grundlagen und Standardisierungsansätzen werden sich die Projektidee und die daraus entwickelten Anwendungen nicht in der Praxis etablieren. Aus diesem Grund wurde ein Konzept erarbeitet, wie mithilfe der Praxispartner und der Bauverbände die Verwendung der RFID-Technik im Bauwesen propagiert werden kann, indem man die Chancen der Digitalisierung mithilfe von Demonstrationsapplikationen und Hardware zum Anfassen aufzeigt. Die aus diesem Konzept resultierende Öffentlichkeitsarbeit nimmt einen großen Anteil in der Projektbearbeitung ein. Ein wichtiger Bestandteil des Konzepts zur Öffentlichkeitsarbeit war die Entwicklung und Ausstattung eines durch Deutschland tourenden Raummoduls, in dem ausgewählte Applikationen auf verschiedenen Wegen vorgestellt werden:

- Durch Anschauungsobjekte kann der Besucher selbst einen Überblick über die Funktionsweise der RFID-Technik und die Projektideen gewinnen. Die Inhalte sind so aufgearbeitet, dass sie auch für Laien verständlich sind.
- Im Demonstrationsmodul wird ein eigens für das Projekt an einem Praxisversuch erarbeitetes Video gezeigt, das die Ideen veranschaulicht und vertieft.
- Wichtigstes Element ist das eigene Erleben der RFID-Technik. Hier werden verschiedene Handlesegeräte, mit Transpondern getaggte Elemente und dazu passende Applikationen ausgestellt, sodass der Besucher die einzelnen Anwendungsfälle selbst ausprobieren und praktisch erleben kann.

Die Kombination dieser drei Bausteine erlaubt es, unterschiedlichsten Besuchergruppen, vom Schüler über den Handwerker bis hin zum Vorstand von Bauunternehmen, Zugang zu den Ideen und Entwicklungen der ARGE RFIDimBau zu ermöglichen und den Nutzen zu erfahren. Das Demonstrationsmodul wurde bereits bei zahlreichen Veranstaltungen vorgestellt. (Veranstaltungskalender des Demonstrationsmoduls sowie Forschungsvideos sind unter https://rfidimbau.de abrufbar.)

Bild 1. ARGE RFID im Bau, Demonstrationsmodul mit RFID-Ortungsanlage

5 Schlussbetrachtung

Im Projekt „BIM-basiertes Bauen mit RFID" hat sich die Bedeutung digitaler Gebäudemodelle (Building Information Models, BIM) und integrierter Prozessmodelle für das computergestützte Planen und Bauen erneut bestätigt. Bei der Verknüpfung von BIM- und RFID-Daten sollte das jeweilige Interesse an der informationsbasierten Methode und Technik im Mittelpunkt stehen. Von Interesse sind die Daten und Informationen, die konsistent unter den Projektbeteiligten übergeben werden. Über die reine Datenübergabe hinaus interessiert aber auch zusätzlich die Datenverknüpfung: Die Information "Stütze", "C20/25" und "Pos. 103" sind jeweils für sich genommen schwer greifbar. Erst in Beziehung gesetzt werden diese Eigenschaften zu einer bedeutungsvollen, nutzbaren und verifizierbaren Aussage. Entscheidend sind somit nicht nur die Informationen, sondern ihre Beziehungen und Relationen zueinander. BIM ist somit eine inkrementelle Entwicklung, die Möglichkeiten, Prozesse, Technologien und Ressourcen aufzeigt und koordiniert. Die Definition von BIM wächst in seiner buchstäblichen Aufstellung mit den Phasen, Verantwortlichkeiten, Aufgaben und den Zielen von der Projektinitiierung bis hin zur Bewirtschaftung.

Das Forschungsprojekt hatte im Ursprung eine Projektlaufzeit von 24 Monaten (12/2012 – 11/2014). Aufgrund der positiven Resonanz und starken Nachfrage in Bezug auf die Präsentation des Demonstrationsmoduls wurde das Forschungsprojekt um ein weiteres Jahr verlängert, das heißt bis 11/2015. Die Ergebnisse zu den Vorschlägen der ARGE RFIDim-Bau in Bezug auf die Standardisierung von zum Beispiel Nummernstrukturen, Datenaustauschformaten und Ebenen der digitalen Kennzeichnung werden im Forschungsbericht veröffentlicht.

Literatur

[1] *Jaselkis, E. J.; Anderson, M. R.; Jahren, C. T.; Rodriguez, Y.; Njos, S.:* Radio-Frequency Identification Applications in Construction Industry. *In:* Journal of Construction Engineering Management, Vol. 121 (1995), Iss. 2, pp. 189–196.

[2] *Finkenzeller, K.:* RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. 6. Auflage. Carl Hanser Verlag, München, 2012.

[3] *Eastman, C. M.; Fisher, D.* et al.: An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50. PA.: Inst. of Physical Planning, Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, 1974.

[4] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K.: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. Auflage,John Wiley & Sons, Hoboken, 2011.

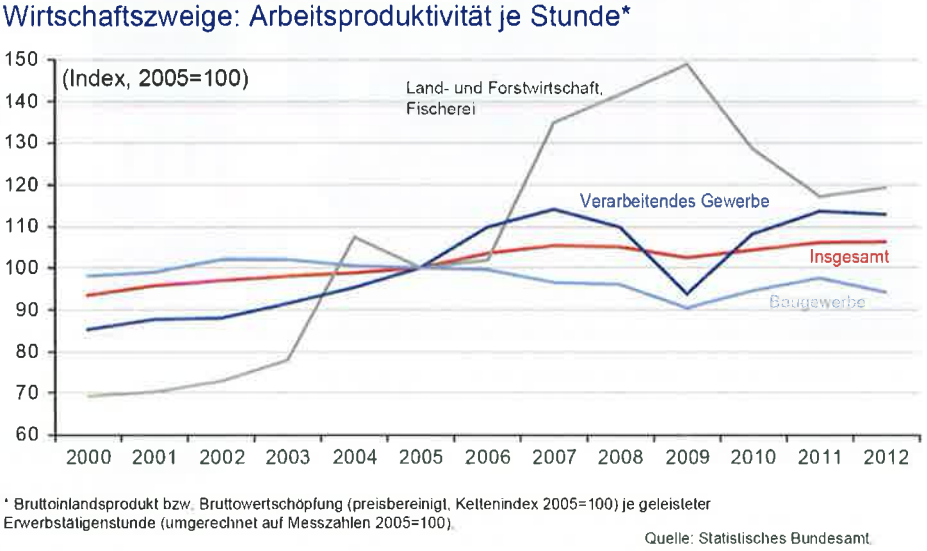
[5] *Scherer, R. J.; Schapke, S.-E.* (Hrsg.): Informationssysteme im Bauwesen 1 – Modelle, Methoden und Prozesse. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014. [Teilergebnisbericht Forschungsvorhaben Mefisto]

[6] *Scherer, R. J., Schapke, S.-E.* (Hrsg.): Informationssysteme im Bauwesen 2 – Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014. [Teilergebnisbericht Forschungsvorhaben Mefisto]

Wertschöpfungsorientierte Planung und Realisierung von Bauvorhaben durch Lean Construction

S. Haghsheno, M. Binninger, J. Dlouhy

Zusammenfassung Der Beitrag gibt einen Überblick über den Managementansatz Lean Construction. Ausgehend von der Darstellung der Situation der Bauwirtschaft und einiger aktueller Herausforderungen werden zunächst die Entwicklung und die Grundlagen des Lean Management erläutert. Darauf aufbauend wird Lean Construction als die Übertragung von Lean Management auf das Bauwesen beschrieben. Dabei werden die verschiedenen Ansätze in der Praxis und in der Forschung in einer Kategorisierung drei wesentlichen Strömungen zugeordnet und erläutert. Abschließend geht der Beitrag im Sinne eines Ausblicks auf den neu gegründeten Verein German Lean Construction Institute (GLCI) e. V. ein und beschreibt dessen Ziele.



* Bruttoinlandsprodukt bzw. Bruttowertschöpfung (preisbereinigt, Kettenindex 2005=100) je geleisteter Erwerbstätigenstunde (umgerechnet auf Messzahlen 2005=100).

Quelle: Statistisches Bundesamt

Bild 1. Produktivitätsentwicklung im Baugewerbe im Vergleich zu anderen Industriezweigen [2]

1 Ausgangssituation

In den letzten Jahren wurde in Deutschland eine deutliche Erhöhung des Bauvolumens verzeichnet. So liegt das prognostizierte Bauvolumen für das Jahr 2015 um circa 24 Prozent höher als die Vergleichsgröße für das Jahr 2008 [1]. Diese Entwicklung wird durch die starke konjunkturelle Entwicklung in Deutschland angetrieben. Hinzu kommen historisch niedrige Zinsen, die mangels Alternativinvestitionen die Nachfrage auf den Immobilienmärkten steigern. Trotz dieser für die Anbieterseite erfreulichen Entwicklung steht die Baubranche großen Herausforderungen gegenüber.

Bauherren stehen immer wieder vor der Frage, warum ihre Projektziele hinsichtlich Qualität, Termin und Budget verfehlt werden. Immer komplexere Gebäudestrukturen und höhere Anforderungen an die Baubeteiligten bringen diese an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. Planungs- und Bauunternehmen müssen sich mit vergleichsweise niedrigen Ergebnismargen zufrieden geben. Dies hat zur Folge, dass in den Unternehmen Investitionen in Forschung und Entwicklung, insbesondere hinsichtlich der Verbesserung der Leistungserstellungsprozesse, nicht in einem ausreichenden Maß getätigt werden können. Dieser Befund wird durch die Betrachtung der Produktivitätsentwicklung des Baugewerbes unterstützt. **Bild 1** beschreibt die Entwicklung der Arbeitsproduktivität verschiedener Industriezweige im Zeitraum zwischen den Jahren 2000 und 2012 [2]. Es ist zu erkennen, dass das Baugewerbe hinsichtlich der Arbeitsproduktivität deutlich hinter der Entwicklung des verarbeitenden Gewerbes zurückbleibt. Im hier betrachteten Zeitraum muss sogar ein Rückgang der Arbeitsproduktivität im Baugewerbe konstatiert werden. Im Gegensatz dazu weist der Gesamtindex eine stetige Steigerung der Arbeitsproduktivität aus.

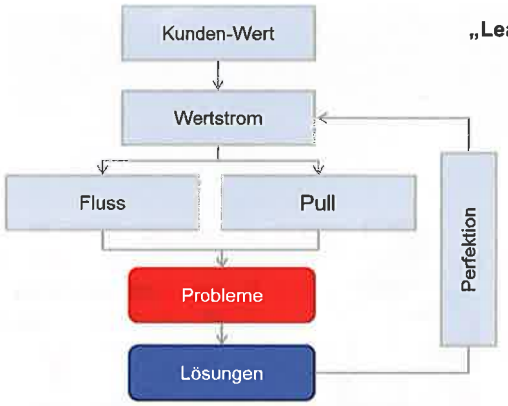
Die Herausforderungen im Bauwesen betreffen aber auch die kulturelle Ebene, auf der die Art der Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten definiert wird. Exemplarisch sei hier die negativ ausgeprägte Konfliktkultur im Bauwesen zu nennen. Diese schlägt sich in der Anzahl und Komplexität von gerichtlich ausgetragenen Auseinandersetzungen nieder. Eine Auswertung der Daten des Statistischen Bundesamts führt zu dem Ergebnis, dass zum Beispiel im Jahr 2012 vor deutschen Zivilgerichten 48.603 Verfahren in Bau- und Architektensachen erledigt wurden [3]. Über die Zahl von Schiedsgerichts-, Schiedsgutachter- und Schlichtungsverfahren sowie anderer außergerichtlicher Streitlösungsverfahren gibt es keine statistischen Erhebungen. Es ist zu vermuten, dass auch in diesen Verfahren erhebliche Ressourcen unproduktiv gebunden sind.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno
Institutsleiter
shervin.haghsheno@kit.edu

Dipl.-Ing. Marco Binninger
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Marco.binninger@kit.edu

Janosch Dlouhy, M.Eng.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Janosch.dlouhy@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
Fachgebiet Baubetrieb und Bauprozessmanagement
Am Fasanengarten, Geb. 50.31, 76131 Karlsruhe
www.tmb.kit.edu



„Lean Thinking" (*nach Womack und Jones*):

1. **Wert** aus Sicht des Kunden erkennen
2. **Wertstrom** identifizieren
3. „Produktion" entlang des Wertstroms nach dem **Fluss-Prinzip** organisieren
4. **Pull-Prinzip** statt Push-Prinzip – bedarfsorientiert produzieren
5. Streben nach **Perfektion** – Kontinuierliche Verbesserung

Bild 2. Grundprinzipien des Lean Thinking [6]

Wesentliche Ursachen für die hier skizzierten Befunde liegen nach Auffassung der Autoren in der mangelnden Integration der Leistungen im Planungs- und Bauprozess inklusive einer überwiegend strikten Trennung von Planung und Ausführung, in Vergabemodellen, die systembedingt Anreize für eine konfliktorientierte Projektabwicklung setzen und insbesondere darin, dass häufig keine ausreichende Planung der „Produktionsprozesse", sowohl in der Planungs- als auch in der Ausführungsphase, erfolgt. Diese strukturellen Probleme zeigen einen erheblichen Veränderungsbedarf und die Notwendigkeit, bisherige Abläufe und Verhaltensweisen in Frage zu stellen, auf.

2 Lean Management

Einer breiten Fachöffentlichkeit wurde der Begriff Lean erstmals durch eine Publikation von Wissenschaftlern des Massachusetts Institute of Technology (MIT) bekannt, in der diese die Ergebnisse einer Studie veröffentlichten, in der das Produktionssystem der Toyota Motor Corporation mit amerikanischen und europäischen Produktionskonzepten verglichen wurde [4]. Die folgenden Faktoren veranlassten die Autoren der Publikation das Produktionssystem von Toyota als Lean Production zu bezeichnen [5]:

- dreifache Produktivität mit der Hälfte an Mitarbeitern im Vergleich zu westlichen Produktionswerken,
- viermal kürzere Lieferzeiten,
- gleichzeitiges Angebot doppelt so vieler Modelle,
- um 50 Prozent kürzere Modellentwicklungszeiten,
- Rückgriff auf nur 20 Prozent der Lieferanten im Vergleich,
- Fertigung auf einer um 50 Prozent geringeren Montagefläche.

Darüber hinaus wurde zu Beginn der Neunzigerjahre festgestellt, dass die Grundprinzipien des Lean Production auch auf andere Geschäftsmodelle im Rahmen der Erstellung von Dienstleistungen und der Produktion von Gütern übertragen werden können [6]. Die Zusammenfassung dieser Grundprinzipien wird dabei als Lean Management oder Lean Thinking bezeichnet.

Im Zentrum des Lean Management Ansatzes steht die Fokussierung sämtlicher Aktivitäten auf den **Wert aus Sicht des Kunden**. Einen wesentlichen Beitrag hierzu leistet das Konzept der **Eliminierung jeglicher Art von Verschwendung im Produktionsprozess**. Zu den großen Herausforderungen gehört jedoch die Identifikation der Verschwendung. Häufig werden die folgenden wesentlichen Kategorien zur Einordnung der Verschwendung herangezogen [7]:

- Überproduktion,
- Warten,
- Transport,
- Übermäßige Bearbeitung,
- Lager,
- Unnötige Bewegung von Arbeitern,
- Herstellung von Teilen oder Produkten mit Mängeln.

Das Verständnis der Grundprinzipien des Lean Management spielt für die Übertragung auf das Bauwesen eine große Rolle. Diese können in fünf Punkten zusammengefasst werden, die auch für die schrittweise Umsetzung von großer Bedeutung sind [6]. **Bild 2** zeigt die fünf Grundprinzipien des Lean Thinking in einer Übersicht.

3 Verbesserungsansätze durch Lean Construction

Bei Lean Construction handelt es sich um die Übertragung des zuvor beschriebenen Lean Management Ansatzes auf das Bauwesen. Der Ansatz wird auch auf viele andere Wirtschaftszweige übertragen. Seit einigen Jahren werden vorwiegend im internationalen Rahmen, aber auch zunehmend in Deutschland, Prinzipien und Werkzeuge des Lean Construction in der Praxis eingesetzt und durch wissenschaftliche Untersuchungen begleitet. Dabei können im Rahmen einer groben Kategorisierung die verschiedenen Ansätze drei Strömungen zugeordnet werden, die im Folgenden näher erläutert werden. **Bild 3** gibt einen Überblick über diese drei wesentlichen Strömungen.

Bild 3. Wesentliche Strömungen in der Forschung und Praxis des Lean Construction

3.1 Gestaltung und Steuerung von Produktionssystemen

Im ersten Themenbereich steht die Gestaltung und Steuerung von Produktionssystemen im Rahmen der Umsetzung eines Bauprojekts im

Vordergrund. Als Basis zur Gestaltung eines Bauprozesssystems im Lean Construction lassen sich vier Prinzipien beschreiben [8]:

Fluss der Wertschöpfung
Im Rahmen der Verbesserung eines flussorientierten Wertstroms steht die Verzahnung der einzelnen Gewerke und Arbeitsschritte im Vordergrund. Die projektindividuell zu definierende Größe der Taktabschnitte soll ein sequenzielles Durchlaufen der einzelnen Gewerke (Arbeitsstationen) ermöglichen.

Taktung der Systemkapazitäten
Um einen gleichmäßigen Wertstrom zu erreichen, werden als Idealbild die Kapazitäten der einzelnen Gewerke dergestalt festgelegt, dass eine gleichmäßige Geschwindigkeit der Leistungserstellung durch alle Gewerke erreicht wird.

Bild 4. Projektbesprechung an einer Taktsteuerungstafel

„Pull" des Wertes
Das Pull-Prinzip führt zu der Maßgabe, dass in jedem Bauabschnitt nur ein Gewerk zur gleichen Zeit an der Produktion arbeitet. Der jeweilige Bauabschnitt wird erst freigegeben, wenn das betreffende Gewerk die Leistungen abgeschlossen hat.

Streben nach Perfektion
Das Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung wird dadurch umgesetzt, dass auf Basis der Erfahrungen in jedem einzelnen Bauabschnitt Defizite in Form von aufgetretenen Qualitätsfehlern oder anderen Problemen, die zu Störungen des Produktionssystems geführt haben, unmittelbar abgestellt werden.

Die hier systematisch dargestellte Vorgehensweise [8] zur Gestaltung von Produktionssystemen dominiert aktuell den in Deutschland vorzufindenden Praxiseinsatz von Lean Construction. Beispielhaft kann auf die Neugestaltung eines Produktionssystem bei einem mittelständischen Generalunternehmer verwiesen werden, das innerhalb von drei Jahren implementiert wurde: Direkt nach Auftragseingang wird die Produktionsplanung gestartet. Im ersten Schritt wird die Reihenfolge der Gewerke, auch Gewerkesequenz genannt, bestimmt (Fluss). Die Arbeitsinhalte und Zeitaufwände je Gewerk werden berechnet und in einem Arbeitspaket mit höchstens einer Woche Länge (Takt) im Produktionsplan abgebildet. Als eine Art Gewerkezug durchlaufen die Ausbaugewerke das Bauobjekt (Pull). Durch dieses Vorgehen entsteht ein sehr feingliedriger Produktionsterminplan, auf dem die Zulieferungsschritte wie Planungsleistungen, Kundenwünsche oder Logistik nach dem Just-In-Time Prinzip abgestimmt werden. Auf Grundlage dieses Vorgehens werden die vertraglich vereinbarten Termine abgeleitet. Durch kurzzyklische Besprechungen zwischen den an der Produktion Beteiligten wird der Bauablauf gemessen und gesteuert. Entdeckte Fehler und Mängel werden dabei sukzessive abgestellt und die Prozesse immer wieder verbessert (Streben nach Perfektion). Im Vordergrund steht dabei die Stabilität der Prozesse, aus der sich langfristig eine Effizienzsteigerung ableiten lässt. Jedes neue Projekt wird nach den gleichen Prinzipien konzipiert, was hohe Vergleichbarkeit und projektübergreifende Verbesserungen zur Folge hat.

3.2 Kooperative Arbeitsplanung

Der zweite Ansatz beschäftigt sich mit der Verbesserung von Arbeitsergebnissen mithilfe von Systemen und Werkzeugen, bei denen eine kooperative (Termin-) Planung der Arbeiten durch alle Beteiligten im Vordergrund steht. Exemplarisch wird hier auf das Last Planner System verwiesen [9]. Der Grundgedanke besteht darin, dass die Zuverlässigkeit des Ablaufs der Tätigkeiten durch die Kooperation aller Beteiligten im Rahmen der detaillierten Planung von Arbeitsprozessen wesentlich erhöht werden kann. Neben einer strukturierten Vorgehensweise spielen hierbei die frühzeitige Einbindung aller Beteiligten sowie eine vertrauensvolle Zusammenarbeit und eine Kultur des Lernens im Projektteam eine wesentliche Rolle.
Die Effektivität der Maßnahmen soll durch die Anwendung in einem Praxisbeilspiel verdeutlicht werden, bei dem die Arbeitsplanung durch Kooperation aller Projektbeteiligten, von der Projektleitung über die Bauleitung (Rohbau + TGA) bis hin zu den ausführenden Gewerken, erfolgte. Bei den betrachteten Arbeiten handelt es sich um den Ausbau einer Produktionsfläche von circa 60.000 Quadratmetern. Die Arbeiten starteten mit deutlichen Verzögerungen der Vergabeprozesse. Ein kritischer Faktor waren fehlende Informationen für die Bemessung der Bewehrung der Bodenplatte. Die Implementierung des Systemansatzes erfolgte durch einen Startworkshop mit allen Projektbeteiligten (Nutzer, Projektleitung, Projektsteuerer, Bauleitung und Einzelgewerke). Durch die hohe Integrationsfähigkeit von Projektleitung und Bauleitung wurden gemeinsam Arbeitspakete auf Wochen- und Rasterquadrantenbasis entwickelt. **Bild 4** zeigt eine Projektbesprechung an einer Taktsteuerungstafel. Kurzzyklische Soll/Ist-Vergleiche sowie Anpassungen der Arbeitspakete unter Einbindung des gesamten Teams ermöglichten im Endergebnis die Einhaltung des Terminrahmens und die Reduzierung auf acht Behinderungsanzeigen im Projektverlauf (Bei einem Vergleichsprojekt mit ähnlicher Größe, Organisationsstruktur, örtlicher Gegeben-

heiten und Terminvorgaben waren 400 Behinderungsanzeigen zu verzeichnen). Neben den messbaren Effekten bestimmten respektvoller Umgang und kollegiale Unterstützung die tägliche Arbeitskultur, so dass die eingeführte Systematik auch im anschließenden Anlagenbau (1.500 Roboter) umgesetzt wurde.

3.3 Integrierte Formen der Projektabwicklung

Den dritten Schwerpunkt der Entwicklungen der vergangenen Jahre im Lean Construction bilden Ansätze im Rahmen der Gestaltung von Projektorganisationsformen, bei denen eine integrierte Bearbeitung des Projekts durch die wesentlichen Projektbeteiligten vorgesehen wird. Zum Teil werden diese Modelle durch Mehr-Parteien-Vereinbarungen mit allen an einem "Risikopool" beteiligten Unternehmen begleitet.

An Bauprojekten wirken viele Beteiligte mit sehr unterschiedlichen Interessen mit. Dies führt zu einer hohen Anzahl von Schnittstellen, einem hohen Kommunikationsaufwand und dadurch auch einem höheren Risiko für Verschwendung. Die integrierte Form der Projektabwicklung zielt darauf ab, die Ursachen hierfür zu beheben.

Unter einer integrierten Form der Projektabwicklung werden Modelle zusammengefasst, die sich durch folgende Eigenschaften charakterisieren lassen:

- frühestmögliche Einbindung von Planungs- und Ausführungsbeteiligten mit dem Ziel der gemeinsamen Bearbeitung der Projektaufgabe,
- Vergütung der Projektbeteiligten in der Regel nach tatsächlich entstandenen Kosten und unter Berücksichtigung im Voraus verhandelter Zuschläge,
- vertragliche Mechanismen zur Angleichung der Ziele der Projektbeteiligten durch Regelungen zur Gewinn- und Verlustteilung und Risikoverteilung nach zuvor definierten Zielparametern,
- Implementierung von Maßnahmen zur Förderung von Kooperation und Vertrauen unter den Beteiligten.

Die Verknüpfung dieser Modelle zu Lean Construction entstand zunächst in den Vereinigten Staaten von Amerika, wo eine Kombination der Abwicklungsform Integrated Project Delivery (IPD) mit einigen Werkzeugen des Lean Construction unter dem Titel Lean Project Delivery vorgenommen wurde [10]. Auch die sogenannten Allianzmodelle, die ihren Ursprung in Australien haben, und nun auch in anderen Ländern zur Anwendung kommen, gehören zu diesen Projektorganisationsformen [11]. In einer ersten wissenschaftlichen Untersuchung in den USA wurde die Zielerreichung bei IPD-Projekten im Vergleich zu Projekten mit traditionellen Abwicklungsmodellen gemessen [12]. Hierbei wurden 12 IPD-Projekte mit 23 herkömmlich abgewickelten Projekten verglichen. Mithilfe statistischer Methoden konnte nachgewiesen werden, dass bei insgesamt 14 Kenngrößen eine signifikant bessere Zielerreichung bei IPD-Projekten erzielt werden konnte. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass bei IPD-Projekten signifikante Verbesserungen in den Qualitäts- und Terminzielen ohne signifikante Auswirkungen auf die Kosten erzielt werden konnten.

3.4 Ganzheitlicher Einsatz von Lean Construction

Erfahrungen bei der Einführung von Lean Construction zeigen, dass erste Erfolge unmittelbar sichtbar werden, weshalb die Akzeptanz in der Regel schnell steigt. Dies ist auch einer der wesentlichen Gründe, warum der Einsatz von Lean Construction in Deutschland mit großer Geschwindigkeit zunimmt. Eine Gefahr besteht jedoch darin, sich auf diesen ersten Erfolgen auszuruhen. Die radikalen Umstellungen der Produktionsprozesse aus Beispielen der Automobilindustrie zeigen, dass die Umsetzung einer „Light-Variante" des *Lean Construction* langfristig nicht zielführend ist. Nach Auffassung der Verfasser bietet erst die Kombination der drei oben genannten Ansätze im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes die Möglichkeit die vorhandene Verschwendung in den Prozessen zu eliminieren und damit signifikante Produktivitätsreserven im Rahmen der Erstellung von Bauvorhaben zu mobilisieren. Dabei muss jegliche Prozessverbesserung mit einer neuen Kultur der Zusammenarbeit aller Beteiligten einhergehen, in der der Wert aus Sicht des Kunden im Fokus steht und die kontinuierliche Verbesserung von Prozessen als eine selbstverständliche Haltung eingenommen wird. Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit der Beteiligten fördert diese Grundprinzipien.

4 German Lean Construction Institute

Die Verbreitung der Grundgedanken und Werkzeuge des Lean Construction in Deutschland und die Schaffung einer neuen Kultur erfordert erhebliche Kraftanstrengungen, da es sich bei den wesentlichen Ansätzen um die grundlegende Veränderung von über Jahrzehnten eingeübten Ablaufmustern und Verhaltensweisen im Bauwesen handelt. In zahlreichen anderen Ländern wurden in den vergangenen Jahren gemeinnützige Institutionen gegründet, um den Einsatz von Lean Construction in der Praxis und die Forschung und Lehre in diesem Bereich zu unterstützen. Um diesem vielversprechenden Ansatz auch in Deutschland zum Durchbruch zu verhelfen, wurde im Jahr 2014 das German Lean Construction Institute (GLCI) als gemeinnütziger Verein gegründet (www.glci.de). Das Ziel des Vereins besteht in der weiteren Verbreitung des hier vorgestellten Managementansatzes. Dem liegt die Überzeugung zugrunde, dass für signifikante Verbesserungen im Bauwesen radikale Änderungen von Prozessen und Systemen notwendig sind. Lean Construction bietet eine hervorragende Grundlage für die Umsetzung dieser Veränderungen.

Der Verein bietet hierbei eine Plattform unter anderem zum Austausch, zur Vernetzung, zur Qualifizierung sowie zur Forschungsförderung und Wissensverbreitung durch die Mitglieder. Aktuell stehen die Durchführung der ersten Konferenz des GLCI im Oktober 2015 in Frankfurt sowie die Etablierung von Regionalen Praxisgruppen im Vordergrund. Die Konferenz, die zukünftig jährlich stattfinden wird, dient zum Wissensaustausch und Vernetzung auf nationaler Ebene und steht allen interessierten Personen offen. Mit den Regionalen Praxisgruppen soll ein Forum geschaffen werden, in dem in kurzzyklischen Intervallen mit Beteiligten aus der jeweiligen Region praxisnahe Themenstellungen diskutiert und neue Wege der Zusammenarbeit entwickelt werden.

Alle interessierten Personen, Unternehmen und sonstigen Institutionen sind eingeladen, durch eine Mitgliedschaft die Ziele des GLCI zu fördern, sich in die Arbeit des Vereins einzubringen und damit einen Beitrag zur Verbesserung der Prozesse und der Kultur im Bauwesen zu leisten.

Literatur

[1] DIW Berlin: Entwicklung des Bauvolumens in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2015 (in Milliarden Euro). Statista, 2015. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167953/umfrage/bauvolumen-in-deutschland-seit-2008/, 2015-05-24.

[2] *Schneider, P.*: Geringe Produktivitätszuwächse in Deutschland. Economic Research Workingpaper 166. Allianz, München, 2013.

[3] Statistisches Bundesamt: Rechtspflege. Zivilgerichte, 2012. Fachserie 10 Reihe 2.1. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013.

[4] *Womack, J. R.; Jones, D. T.; Ross, D.*: The machine that changed the world. The story of lean production—Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry. Free Press, New York, 2007.

[5] *Zollondz, H.-D.*: Grundlagen Lean Management. Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme, Techniken sowie Gestaltungs- und Implementierungsansätze eines modernen Managementparadigmas. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2013.

[6] *Womack, J. R.; Jones, D. T.*: Lean thinking. Ballast abwerfen, Unternehmensgewinne steigern. 3. Auflage, Campus-Verlag, Frankfurt, 2013.

[7] *Ohno, T.*: Toyota production system. Beyond large-scale production. Productivity Press, Cambridge, Mass. 1988.

[8] *Kaiser, J.*: Lean Process Management in der operativen Bauabwicklung. Schriftreihe des Instituts für Baubetrieb, D 63. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Institut für Baubetrieb, Dissertation, 2013.

[9] *Schlabach, C.*: Last Planner System (LPS) als erfolgsversprechendes Steuerungsinstrument für anspruchsvolle Projektanforderungen. Projektmanagement Frühjahrstagung. Zukunftstrends im Bauprojektmanagement. DVP-Verlag, Berlin, 2013.

[10] *Smith, R. E.; Mossman, A.; Zamit, S.*: Editorial: Lean and Integrated Project Delivery. In: Lean Construction Journal (2011), Lean and Integrated Project Delivery Special Issue, pp. 1–16.

[11] *Schlabach, C.*: Untersuchungen zum Transfer der australischen Projektabwicklungsform Project Alliancing auf den deutschen Hochbaumarkt. Kassel, Universität Kassel, Institut für Bauwirtschaft, Dissertation, 2013.

[12] *El Asmar, M.; Hanna, A. S.; Loh, W.-Y.*: Quantifying Performance for the Integrated Project Delivery System as Compared to Established Delivery Systems. In: Journal of construction engineering and management, Vol. 139 (2013), Iss. 11.

Verbesserung der Prozessqualität beim Planen und Bauen – Das neue DBV-Merkblatt „Qualität der Planung“

H. Bastert

Zusammenfassung Die Ursachen von Kosten- und Terminüberschreitungen bei Bauprojekten liegen nicht nur in einzelnen Planungs- und Bauleistungen der Beteiligten sondern oft auch in der Projektorganisation. Daher gilt es, Fehlentwicklungen in der Prozessqualität bereits zu Projektbeginn vorzubeugen. Experten unterschiedlicher Fachrichtungen mit umfangreicher Projekterfahrung haben es sich unter Federführung des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e. V. (DBV) zur Aufgabe gemacht, alle Baubeteiligten, also auch Auftraggeber und Planer, in plausibler Weise von der Notwendigkeit einer strukturierten Bauplanung bereits in der Startphase zu überzeugen. Das Ergebnis liegt jetzt als DBV-Merkblatt „Qualität der Planung“ (Bild 1) vor. Es versetzt Entscheidungsträger von Bauprojekten in die Lage, von Anfang an geeignete Projektstrukturen zu verfolgen und durch Prozessoptimierung zeit- und kostenträchtigen Fehlentwicklungen vorzubeugen. Das neue DBV-Merkblatt verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz über den gesamten Bauplanungs- und Entscheidungsprozess hinweg. Es kann als Argumentationshilfe bei Diskussionen mit Projektbeteiligten herangezogen werden, wenn es darum geht, zum Beispiel Problemursachen und Defizite bei aktuellen Bauprojekten zu identifizieren und aufzuzeigen oder diesen rechtzeitig vorzubeugen.

1 Einleitung

Die tägliche Baupraxis zeigt, dass Kosten- und Terminüberschreitungen sowie Mängel an Gebäuden nicht (nur) aus einzelnen Planungs- und Bauleistungen der Beteiligten resultieren, sondern oft auch strukturelle Ursachen haben, die mit dem Sammelbegriff Prozessqualität bezeichnet werden können. Hierunter fallen alle organisatorischen Strukturen, von der ersten Projektidee oder dem vom Bauherrn erkannten Baubedarf über alle Phasen der Planung und Bauausführung bis hin zur Fertigstellung, Abnahme und Inbetriebnahme eines Gebäudes. Fehlentwicklungen bei Bauprojekten haben ihre Ursachen oft auch bereits in der Startphase, die häufig unzureichend strukturiert und ohne die rechtzeitige Einbindung von Fachleuten erfolgt. Die Gründe liegen zum Beispiel in der Unkenntnis über technische Abläufe oder auch in falsch verstandener Wirtschaftlichkeit.

Dipl.-Ing. Heinrich Bastert
Projektleiter Bauausführung und Instandsetzung
Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin
Tel.: 0 30 236096–20
bastert@betonverein.de
www.betonverein.de

Bild 1. Das neue DBV-Merkblatt „Qualität der Planung“, Fassung Februar 2015

2 Ursachen und Auswirkungen

Planungs- und Ausführungsmängel sowie Schnittstellenprobleme gehören zu den Hauptursachen von Kosten- und Terminüberschreitungen bei Bauprojekten. Fehlende Bauherrenentscheidungen und Änderungsanordnungen während der Planungs- und Bauphase tragen oft zur weiteren Verschärfung bei. Als letztem Glied der Wertschöpfungskette Bau tragen die bauausführenden Unternehmen meist das Hauptrisiko derartiger Fehlentwicklungen. Auswirkungen der Defizite aus den vorangegangenen Entscheidungs- und Planungsprozessen werden im ungünstigsten Fall noch durch eigene Fehler während der Bauausführung verstärkt. Ansätze zur Lösung und Vorbeugung derartiger Fehlentwicklungen liegen bereits zu Projektbeginn in einer funktionierenden Kommunikation und einer fundierten Planungsqualität und damit oft außerhalb des Einflussbereiches der eigentlichen Bauausführung. Der DBV-Hauptausschuss Bauausführung (HABA) hat zu diesem Themenfeld den Arbeitskreis „Qualität der Planung“ initiiert, zu dem zahlreiche Experten verschiedener Fachrichtungen mit meist jahrzehntelanger Projekterfahrung gewonnen werden konnten. Sie haben es sich zur Aufgabe gemacht, alle Baubeteiligten, also auch Auftraggeber und Planer, in plausibler Weise von der Notwendigkeit einer strukturierten Bauplanung mit definitiven Bauherrenentscheidungen bereits in der Startphase zu überzeugen. Die Entscheidungsträger werden dadurch in die Lage versetzt, von Anfang an geeignete Projektstrukturen zu verfolgen und durch Prozessoptimierung Fehlentwicklungen vorzubeugen.

3 Die Rolle des Bauherrn und seine Verantwortung für das Gelingen des Bauprojekts

Üblicherweise bestimmt der Bauherr, was er haben will. Anders als früher ist es jedoch heute nicht mehr selbstverständlich, dass der Bauherr auch der spätere Nutzer ist. An dessen Stelle treten zunächst auch häufig Investoren, und nicht immer steht der spätere Nutzer schon während der Planungs- und Bauphase fest. Es liegt auf der Hand, dass eine Baumaßnahme nur schwer umfassend und vollständig zu planen ist, wenn während der Planung und der Bauzeit die spätere Nutzung noch nicht oder nur unzureichend bekannt ist und festgelegt wurde. Fest steht: Der Bauherr hat die unverzichtbare und nicht delegierbare Aufgabe, zu entscheiden, was geplant und schließlich als Bauprojekt umgesetzt werden soll.

4 Fehlstarts von Bauprojekten vermeiden durch effizient strukturierte Planungs- und Entscheidungsprozesse von Anfang an

Zur Vermeidung von Fehlstarts ist es erforderlich, dass der Bauherr seine Anforderungen an das Bauvorhaben frühzeitig festlegt und ein Planungsteam zusammenstellt, das diese Aufgabe professionell und umfassend erfüllen kann. Neben den klassischen Planungsdisziplinen Bodenbegutachtung, Vermessung, Objekt-, Tragwerks- und Haustechnikplanung sind bei anspruchsvollen Aufgaben weitere Fachleute unverzichtbar, wie etwa für den Brandschutz oder die Bauphysik. Vor allem aber ist die Mitwirkung des Bauherrn in jeder Entstehungsphase des Projekts zum Gelingen notwendig. Kompetenzen, Aufgabenverteilung und Strukturen zur Bewältigung von Schnittstellen sowie Art und Umfang des Informationsaustausches zwischen den Projektbeteiligten müssen von Anfang an eindeutig und vollständig festgelegt und konsequent eingehalten werden. Abhängig von der Größe und Komplexität eines Bauprojekts kann zusätzlich die rechtzeitige Einbindung eines Planungskoordinators empfehlenswert sein.

5 Faktoren für eine hohe Planungsqualität

Hohe Planungsqualität dient dem Projekt. Sie verlangt:

- Planer mit ausreichender Qualifikation und Spezialisierung für die Bauaufgabe,
- auskömmliche Honorare,
- ausreichend Zeit zum Planen,
- eine fortlaufende Kommunikation aller Beteiligter (Bauherr, Planer und Ausführende), um Schnittstellenprobleme zu erkennen und zu bewältigen,
- die Kenntnis der Baustellenbedingungen,
- die Ausführbarkeit der Planung auf der Baustelle.

Planung verlangt den Blick über die Grenzen der eigenen Planungsaufgabe hinaus. Stets müssen alle Planer im Dialog mit dem Kollegen die Auswirkungen ihrer Festlegungen auf die Planung des Anderen berücksichtigen. Die notwendige Abstimmung aller Belange, die zu Plänen führen, mit denen die Baustelle arbeiten kann, ist eine Teamaufgabe, der sich alle verpflichtet fühlen müssen. Es ist vorrangig Sache des Bauherrn, hierfür die geeigneten Rahmenbedingungen zu schaffen.

6 Voraussetzungen für Termin- und Kostensicherheit

War es früher gang und gäbe, zunächst zu planen und dann mit dem Bau zu beginnen, ist inzwischen die baubegleitende Planung Realität geworden. Der vermeintliche Vorteil – verkürzte Planungs- und Bauzeit – wird teuer erkauft: Eine nicht abgeschlossene Planung enthält Lücken und häufig auch noch nicht aufeinander abgestimmte und damit widersprüchliche Details, aus denen die ausführenden Firmen nicht selten Nachtragsforderungen generieren können und müssen. Kommen dann noch Änderungswünsche oder -anordnungen hinzu, steigen die Termin- und Kostenrisiken gravierend an. Termin- und Kostensicherheit gewinnt der Bauherr nicht zuletzt durch Selbstdisziplin. Änderungswünsche nach der Entwurfsplanung sollten auf das unvermeidbare Maß reduziert werden.

7 Kooperation dient dem Bauprojekt

Bei Bauprojekten sind häufig unausgewogene Vertragsgestaltungen für Planungs- und Bauleistungen zu beklagen und führen dazu, dass die benachteiligte Seite von Anfang an darauf bedacht sein muss, die vertraglichen Regelungen zu unterlaufen. Dem Projekt ist das nicht dienlich und destruktive Auseinandersetzungen belasten es. Jeder Bauherr ist deshalb gut beraten, für faire Vertragsgestaltungen zu sorgen. Gleichwohl sind Konflikte nicht immer vermeidbar. Sie sollten zeitnah geregelt werden, um Verzögerungen zu vermeiden. Eine baubegleitende Rechtsberatung und die Vereinbarung baubegleitender Konfliktlösungsmechanismen (Schlichtung, Adjudikation u. a. m. [1]) gehören dazu.

8 Lösungsansätze des neuen DBV-Merkblatts „Qualität der Planung"

Obwohl jede Bauaufgabe eine neue Herausforderung ist und ihre eigene neue Konstellation hat, ähneln sich oft die strukturellen Erfordernisse für den Ablauf und das Gelingen. Angesichts der typischen Risiken bei der Projektvorbereitung und -planung sind Lösungsansätze in Form von Strukturen vonnöten, die ein systematisches Vorgehen in jeder Projektphase ermöglichen.

Das neue DBV-Merkblatt „Qualität der Planung" [2] (**Bild 1**) verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz über den gesamten Bauplanungs- und Entscheidungsprozess und versteht sich als Ergänzung zum vorhandenen DBV-Merkblatt „Schnittstellen Rohbau/TGA" von 2006 [3]. Als beispielhaft für eine gelungene und plausible Darstellung einer schlüssigen Prozessabfolge in der Bauplanung von Beginn an hat sich auch das Flussdiagramm im DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand – Leitfaden" von 2008 [4] erwiesen. Eines der Ziele, die das neue DBV-Merkblatt verfolgt, ist die Verwendbarkeit als Argumentationshilfe für Diskussionen mit Projektbeteiligten, wenn es darum geht, zum Beispiel Problemursachen und Defizite bei aktuellen Bauprojekten zu identifizieren und aufzuzeigen und diesen rechtzeitig vorzubeugen.

Das neue DBV-Merkblatt bietet schnell erfassbare und verständliche Übersichten über die in jeder Leistungsphase erforderlichen Planungsschritte und -inhalte von Objektplanung, Tragwerks- und TA-Planung (Technische Ausrüstung, früher: TGA) sowie der bedarfsweise einzusetzenden Sonderfachleute.

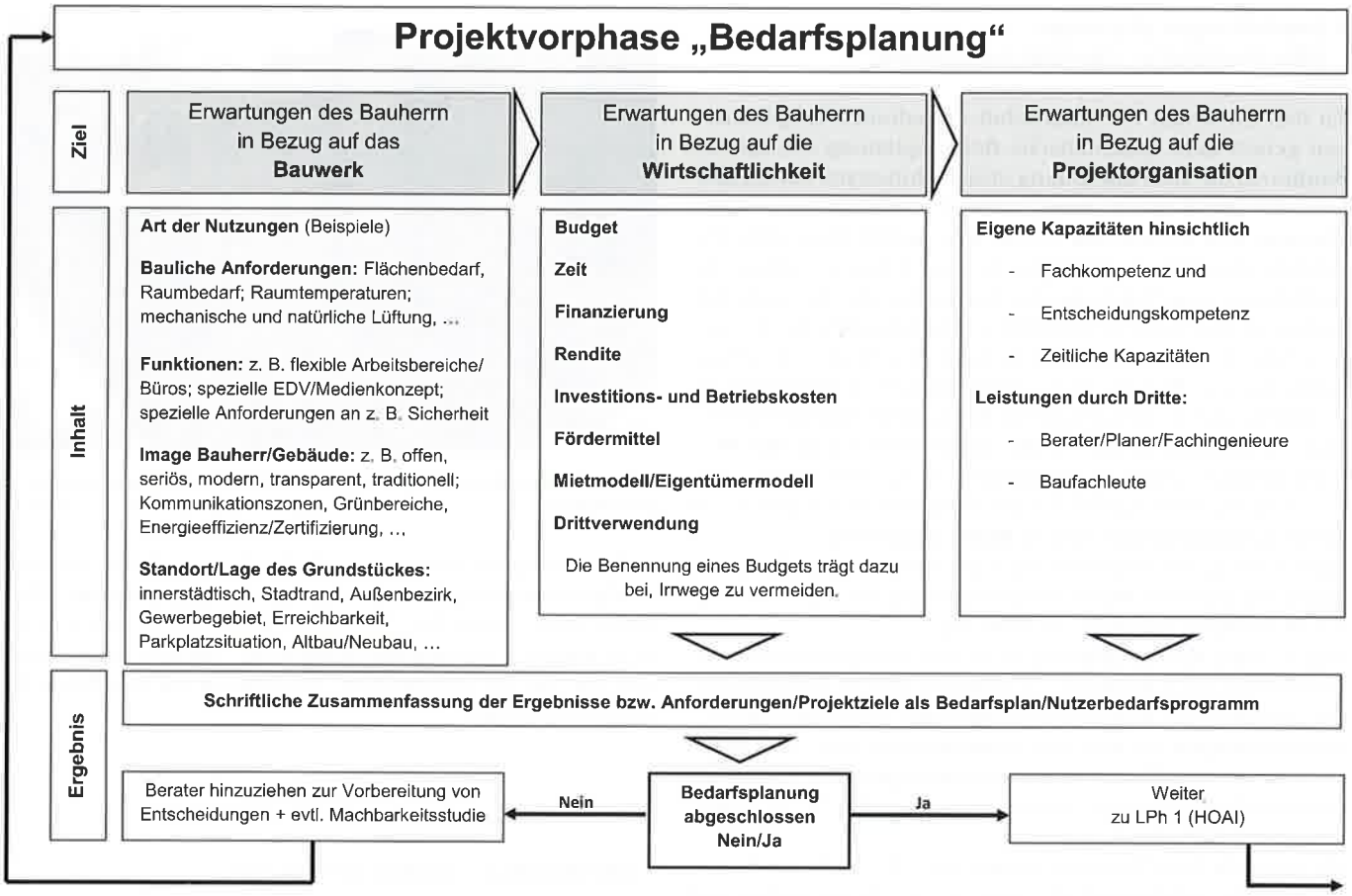


Bild 2. Planungsstufen, Inhalte, Aufgabenstellung und Ziele der Projektvorphase (Bedarfsplanung) Grafik: DBV

Um die Akzeptanz der Inhalte zu erhöhen, orientiert sich die inhaltliche Struktur des Merkblatts an den Leistungsphasen der HOAI [5], die jedoch an maßgeblichen Stellen bewusst erweitert oder gestrafft werden. Den sogenannten Planungsstufen innerhalb der einzelnen HOAI-Leistungsphasen werden im neuen Merkblatt in tabellarischer Form die jeweils Verantwortlichen und deren Planungsschritte und -ziele zugeordnet. Die Darstellung der Planungsinhalte wird teilweise durch beispielhafte Ablaufpläne und -diagramme ergänzt, um das Verständnis für logische Abläufe sowie für den objektiv erforderlichen Zeitbedarf der Planungsabfolge zu fördern. Die Problematik des Änderungsmanagements mit Auswirkungen auf möglicherweise bereits abgeschlossene Planungsschritte wird in einem separaten Kapitel anhand eines Ablaufdiagramms verdeutlicht.

Bild 3. Koordinierungsbedarf zwischen Rohbau und Technischer Ausrüstung Foto: Bilfinger SE

Bild 4. Koordinierungsbedarf zwischen Ausbaugewerken und Technischer Ausrüstung Foto: Ed. Züblin AG

9 Empfehlungen des neuen DBV-Merkblatts „Qualität der Planung"

Zu den im neuen DBV-Merkblatt enthaltenen Empfehlungen gehört eine systematische Bedarfsplanung seitens des Bauherrn, die stets am Anfang einer schlüssigen Prozessabfolge der Bauplanung stehen sollte. Um eine zielorientierte Planung und Errichtung sowie den optimierten späteren Betrieb eines Bauwerks erreichen zu können, sollten die Bedürfnisse und Wünsche des Bauherrn und der späteren Nutzer idealerweise rechtzeitig zu Planungsbeginn feststehen. Daher ist es erforderlich, die Erwartungen des Bauherrn an sein Projekt, also seinen Bedarf, systematisch zu ermitteln und als Grundlage für die weitere Projektbearbeitung zu definieren. Dies sollte sinnvollerweise in der Projektvorphase (auch: Leistungsphase 0) geschehen. Die Empfehlungen bezüglich des grundsätzlichen Vorgehens in dieser Leistungsphase sind in **Bild 2** dargestellt.

Hilfestellung zur Strukturierung der Bedarfsermittlung des Bauherrn gibt DIN 18205 „Bedarfsplanung im Bauwesen" in der derzeitigen Fassung von 1996 [6].

Das Ziel der Bedarfsplanung ist es, die übergeordneten Anforderungen des Bauherrn zu erfassen und zu formulieren. Die auf Basis der Ergebnisse getroffenen ersten Bauherrenentscheidungen dienen zur Formulierung der Aufgabenstellung an die Planer in der Leistungsphase 1 (Grundlagenermittlung) und als Vertragsgrundlage für die zu beauftragenden Planungsleistungen.

Die eigentlichen Planungsleistungen (z. B. Leistungsphasen nach HOAI) sollten mit der Analyse des Bedarfsplans auf mögliche Zielkonflikte (Grundlagenermittlung) und deren Lösung (Vorplanung) in Abstimmung mit dem Bauherrn beginnen.

10 DBV-Arbeitstagung zur Vorstellung des neuen DBV-Merkblatts

Die Veröffentlichung des neuen DBV-Merkblatts „Qualität der Planung" wird begleitet von einer DBV-Arbeitstagung zum Themenbereich der Prozessqualität beim Planen und Bauen, welche für Herbst/Winter 2015/2016 geplant ist. Zum Themenspektrum des DBV-Merkblatts werden Mitglieder des DBV-Arbeitskreises und externe Experten neben ihren Erfahrungen aus der Berufspraxis auch Empfehlungen zur praktischen Umsetzung der Merkblattinhalte vortragen. Näheres ab Spätsommer 2015 unter www.betonverein.de/Veranstaltungen.

11 DBV-Heft als Ergänzung zum neuen DBV-Merkblatt

Als Ergänzung zum neuen DBV-Merkblatt wird in der zweiten Jahreshälfte 2015 das neue DBV-Heft 32 [7] zum Themenbereich der Prozessqualität beim Planen und Bauen herausgegeben, in welchem unter anderem Möglichkeiten zur Lösung und Vorbeugung von kostenträchtigen Planungs- und Ausführungsmängeln aufgezeigt und vertieft werden. Das Heft enthält auch detaillierte Erläuterungen zu Planungsprozessen und stellt Qualitätsmaßstäbe für eine ausführbare Bauplanung vor. Unter dem Leitsatz „Was braucht die Baustelle?" liefert das DBV-Heft 32 unter anderem Angaben zu Planungsstrukturen, -umfang und -inhalten, die für die reibungslose Umsetzung auf der Baustelle erforderlich sind.

Bild 5. Auch beim Bauen im Bestand: Prozessqualität schafft Termin- und Kostensicherheit Foto: Ed. Züblin AG

DBV-Merkblatt „Qualität der Planung"

Fassung Februar 2015, 41 Seiten mit zahlreichen Abbildungen

Weitere Informationen und Bestellung bei:

Petra Rohde, Telefon: 030 236096–44, rohde@betonverein.de

www.betonverein.de → Schriften

Literatur

[1] Deutsche Gesellschaft für Baurecht e. V.; Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): Streitlösungsordnung für das Bauwesen (SL Bau). Fassung 1. Juli 2013. Frankfurt a. M., Berlin, 2013.

[2] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): DBV-Merkblatt Qualität der Planung. DBV-Eigenverlag, Berlin, 2015.

[3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): DBV-Merkblatt Schnittstellen Rohbau/Technische Gebäudeausrüstung – 2 Teile. DBV-Eigenverlag, Berlin, 2006.

[4] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Leitfaden. DBV-Eigenverlag, Berlin, 2008.

[5] Verordnung über die Honorare von Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI). Ausgabe Juli 2013.

[6] DIN 18205:1996-04: Bedarfsplanung im Bauwesen.

[7] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): DBV-Heft 32 Qualitätssicherung beim Planen und Bauen - Anforderungen und Empfehlungen.. DBV-Eigenverlag, Berlin, 2015.

Digitalisierung im Bauwesen – die internationale Lake Constance 5D-Conference

K. Kessoudis, J. Lodewijks, U. Rickers

Zusammenfassung Die Digitalisierung des Bauwesens bedeutet unwiderruflich eine Umstrukturierung der Bauindustrie und ist folglich eine gemeinsame Aufgabe aller Beteiligten. Die Lake Constance 5D-Conference wurde als internationale Austausch- und Informationsplattform für Interessierte und Anwender der neuen digitalen Arbeitsweisen initialisiert, um die Entwicklung und Einführung von Werkzeugen und Methoden auf diesem Gebiet voranzutreiben.
Nach den Veranstaltungen in den Jahren 2012 und 2013 fand im Mai 2015 zum dritten Mal die von der Hochschule Konstanz und der 5D-Initiative der europäischen Bauindustrie ausgerichtete internationale Lake Constance 5D-Conference statt. Mit rund 400 Teilnehmern bei der diesjährigen Konferenz kann die Veranstaltung, als eine der wichtigsten Konferenzen des Themenfeldes „Digitalisierung des Bauwesens" in Europa, am Markt als etabliert gelten. Demzufolge soll die Konferenz auch in Zukunft im zweijährigen Rhythmus fortgesetzt werden.

Bild 1. Begrüßung der Lake Constance 5D-Conference 2015 Teilnehmer durch Prof. Dr. Uwe Rickers.

1 Historische Entwicklung und Ziel der Konferenz

Nach der Berufung von Prof. Dr. Uwe Rickers auf die Professur Baubetrieb an der HTWG Konstanz hatte dieser das Ziel, die notwendige Digitalisierung von Bauprojekten zu einem der Schwerpunkte in der Lehre seines Zuständigkeitsbereichs zu machen. Darüber hinaus entstand die Idee, auf internationaler Ebene den aktuellen Stand bei der praktischen Anwendung von Building Information Modeling (BIM) bei Bauprojekten mittels einer wiederkehrenden Konferenz zu beleuchten. Ziel der Konferenzreihe ist es, den notwendigen Austausch praktischer, internationaler Erfahrungen im Bereich BIM in Form von Vorträgen, Firmenpräsentationen und persönlichen Diskussionen zu ermöglichen. Darüber hinaus wird interessierten Studierenden der Hochschule Konstanz die Gelegenheit geboten, bereits in der Ausbildung frühzeitig mit hochrangigen Industrievertretern in Kontakt zu kommen. Die Zielgruppe der Veranstaltungsreihe besteht aus Bauherren, Planern, Bauausführenden, Bauwerksbetreibern sowie Baudienstleistern ebenso wie Forschungseinrichtungen und Hochschulangehörigen.
Dieses Konzept passte perfekt zu den Bestrebungen einer internationalen BIM 5D Konferenz des Chairmans der 5D-Initiative der europäischen Bauindustrie, Herr Konstantinos Kessoudis, der für die Organisation als Mitveranstalter der Konferenz gewonnen werden konnte. Ebenfalls fand das Konferenzkonzept Unterstützung bei weiteren Unternehmen aus der Software- und der Schalungsindustrie, welche die Veranstaltungen finanziell und organisatorisch unterstützten. Ebenfalls organisatorisch unterstützt wurde die Veranstaltung durch den VDI. Weitere Informationen zur Konferenz, einschließlich zahlreicher Tagungsbeiträge, sind auf der Homepage der Konferenz unter www.htwg-konstanz.de/5d veröffentlicht.

2 Lake Constance 5D-Conference 2012

Wesentliches Ziel der im Mai 2012 veranstalteten ersten Konferenz war es, mit dem Thema BIM/5D die Bauwirtschaft zu sensibilisieren. Es sollte der Bauindustrie und allen weiteren potenziellen Anwendern gezeigt werden, dass

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rickers
Professur Baubetrieb
HTWG Konstanz
Brauneggerstraße 55, 78462 Konstanz
Tel.: 07531–206–716
urickers@htwg-konstanz.de
www.bi.htwg-konstanz.de

Jan Lodewijks M. Sc.
Direktion Bau Prozess Management (BPM), Construction Process Management BIM/5D, BIM/5D Projektingenieur
Ed. Züblin AG
Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart
Tel.: 0711 7883 – 8747
jan.lodewijks@zueblin.de
www.zueblin.de

Dipl.-Ing. Konstantinos Kessoudis
Direktion Bau Prozess Management (BPM), Construction Process Management BIM/5D, BIM/5D Bereichsleiter, Oberingenieur, BIM Direktor
Ed. Züblin AG
Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart
Tel.: 0711 7883 – 345
konstantinos.kessoudis@zueblin.de
www.zueblin.de

Bild 2. Chairman der 5D-initiative Konstantinos Kessoudis

die technologischen Rahmenbedingungen für eine Einführung dieser zeitgemäßen Arbeitsweise bereits geschaffen worden waren, und dass es sich bei der BIM/5D Arbeitsweise nicht um einen temporären Trend, sondern um eine nachhaltige Änderung und Umstrukturierung der Bauwirtschaft handelt.

Keynote Speaker Prof. Dr. Martin Fischer von der kalifornischen Stanford University zeigte in seinem einführenden Vortrag den aktuellen Stand der internationalen Forschung im Bereich BIM/5D auf und bettete die nachfolgenden praxisbezogenen Vorträgen damit in ein stabiles Gerüst nachhaltigen Fortschritts ein. Der Chairman der 5D-Initiative, Konstantinos Kessoudis, präsentierte die Weiterentwicklung dreidimensionaler Gebäudeinformationsmodelle (BIM) zu hochwertigen Werkzeugen für komplexe Bauprojekte durch die Integration der projektspezifischen Arbeitsabläufe (5D). Ferner zog er den Vergleich zur Automobilindustrie und wies darauf hin, dass die bevorstehende Umstrukturierung der Bauindustrie durch die BIM/5D-Methodik keine „Einfirmeninitiative" sein könne, sondern eine Industrieaufgabe ist, welche sich unter anderem die 5D-Initiative (www.5d-initiative.eu) angenommen hat.

Im Nachgang wurden von den Baukonzernen Bouygues (Frankreich), Sunway Group (Malaysia), Saudi Oger Ltd (Saudi Arabien), Boldt Company (USA), Royal BAM Group (Niederlande), Ballast Nedam (Niederlande), Ed. ZÜBLIN AG/STRABAG SE (Deutschland/Österreich), Max Bögl (Deutschland) und CCC (Griechenland) die Anwendung sowie der Nutzen modellbasierter Arbeitsweisen im Bauwesen bei der Bewältigung täglicher Aufgaben gezeigt. Damit waren BIM und 5D als international umsetzbare und hilfreiche Methoden platziert. Es wurde gezeigt, dass es keine technologischen Hindernisse zur ersten sinnvollen Einführung mehr gab.

Um mehr Einblick in Anwendungsherausforderungen zu bekommen und die Bauindustrie auf internationalem Level besser in strategischen Entwicklungsgesprächen mit der Softwareindustrie vertreten zu können, wurde ferner eine transatlantische Kooperation zwischen der 5D-initative und dem BIMForum (https://bimforum.org/) gegründet. Da BIM/5D als sinnvolle und zukunftssichere Methode auch entsprechend ausgebildeten Ingenieurnachwuchs in der Bauwirtschaft erfordert, wurde im gleichen Zuge eine nachhaltige Zusammenarbeit zwischen der 5D-initative und der HTWG Konstanz vereinbart, um gemeinsam Lehre und Forschung voranzubringen.

3 Lake Constance 5D-Conference 2013

Im Rahmen der im Oktober 2013 durchgeführten zweiten Konferenz wurde das Thema BIM/5D breiter und umfangreicher dargestellt und in fünf Themengebiete aufgeteilt: Legal Framework, Research & Education, Coordination of Trades, Facility Management und Construction.

Mit dem durch Dr. Jochen Teizer übernommenen Vortrag des verhinderten Prof. Charles Eastman des Georgia Institut of Technology (GeorgiaTech), wurde die Konferenz mit einer Keynote bereichert, welche 5D als eine unaufhaltbare „rolling revolution" darstellte. Dass diese Revolution in der Bauwirtschaft zu weitgreifenden qualitativen und wirtschaftlichen Verbesserungen führen kann, zeigte die Keynote Speech von Malcolm Taylor aus Großbritannien. An Hand des Crossrail Projekts in London, das im Kern die Untertunnelung von London zum Inhalt und insgesamt ein etwa doppelt so großes Investitionsvolumen wie das deutsche Bahnprojekt „Neubaustrecke Stuttgart-Ulm" (einschließlich „Stuttgart 21") hat, konnten eindrucksvoll die Vorteile einer konsequenten Anwendung von BIM/5D bei Bauprojekten dargestellt werden: Dreidimensionale prozessorientierte Bauwerksmodelle führen nicht nur zu stabilen und gut steuerbaren Termin- und Kostenplänen sowie zu einer guten Planungs- und Ausführungsqualität. Sie können unter anderem auch der betroffenen Bevölkerung geplanten Projektverlauf anschaulich darstellen und damit zu einem mehr entspannten Verhältnis zwischen dem Projektträger und der Öffentlichkeit beitragen.

Bild 3. Konferenzvortrag

Die vierzig folgenden Vorträge zeigten, dass eine strukturierte Arbeitsweise der wichtigste Baustein für erfolgreiche BIM/5D-Projekte darstellt. Um diese notwendige Strukturierung sowohl länderspezifisch als auch länderübergreifend einheitlicher und damit – in

einer stark zergliederten Industrie wie die der Bauwirtschaft – umsetzbarer zu gestalten, wurde die internationale Standardisierung und Normung für BIM/5D-basierte Bauprojekte thematisiert. Wissend, dass in Deutschland auf diesem Gebiet zu diesem Zeitpunkt dahingehend noch keine Aktivitäten stattfanden, wurden im Verlauf der Konferenzvorbereitungen über Peter Steinhagen (VDI) und Lynn Hiel (Ed. Züblin AG) der Kontakt zwischen dem NIBS (National Institute of Building Sciences), vertreten durch Dana K. Smith, Herausgeber und Ersteller der USA National BIM Standards, und dem VDI, vertreten durch Frank Jansen, hergestellt. Ziel war es, die Möglichkeiten deutscher Normungsaktivitäten zu erörtern. Aus dieser Aktivität entstand letztlich der „VDI-Koordinierungskreis Building Information Modeling“ (VDI KK-BIM), der im Jahr 2014 seine Tätigkeit aufgenommen hat.

Bild 4. Konzilgebäude

4 Lake Constance 5D-Conference 2015

Ziel der dritten Konferenz war eine im Vergleich zu den ersten zwei Veranstaltungen weitergehende Beleuchtung der Erfahrungen in der Bauwirtschaft bei der praktischen Umsetzung von BIM/5D. Nachdem in der ersten Konferenz die BIM/5D-Methode als sinnvolle und nachhaltig erstrebenswerte Änderung der Bauwirtschaft herangetragen worden war, die zweite Konferenz über die rein technologische Sicht heraus die Möglichkeiten und Herausforderungen organisatorischer Art aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet hatte, wurde in der dritten Konferenz die Umsetzung in den Mittelpunkt gestellt.

Praktische Umsetzung von BIM/5D bedeutete für die Veranstalter zum einen den Blick auf das jetzt Praktizierbare zu werfen, andererseits in die Zukunft zu blicken, um bereits heute für zukünftige Umstrukturierungen die richtigen Vorbereitungen treffen zu können.

Die erste Keynote Speech von Paul Morrell, UK government former Chief Construction Advisor, beschrieb diesen dualen Weg in ausgezeichneter Art und Weise. Auf der einen Seite der für die Umsetzung notwendige Pragmatismus zur sinnvollen und erfolgreichen Einführung existenter Methoden und Praxen, auf der anderen Seite aber auch der strategische Vorausblick, um zeitgerecht auf zukünftige Änderungen vorbereitet zu sein. Die zweite Keynote Speech von Prof Dr. Jörg Fischer der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, stellte dabei einen sehr konkreten und tiefgreifenden Änderungsfall vor, der unumkehrbar auf die Bauindustrie zukommt: Die Anwendung von PLM-Systemen und alle daraus folgenden akuten Konsequenzen heutiger, aber auch vergangener Entscheidungen zur Strukturierung und Formgebung der modellbasierten Arbeitsweisen.

In den 50 nachfolgenden Fachvorträgen wurden aus Sicht der Kunden, Planer und Baufirmen konkrete Praxisanwendungen und sinnvolle modellbasierte Maßnahmen im Bauwesen vorgeführt. Ferner konnten sich die Konferenzteilnehmer erstmalig in gut besuchten interaktiven Workshops und Labs eigenhändig anhand konkreter Beispiele einen Überblick in die Vorteile der modellbasierten Vorgehensweisen verschaffen.

In Anbetracht der aktuellen internationalen BIM/5D-Entwicklungen, insbesondere der Verpflichtung vieler Länder, Projekte der Öffentlichen Hand mittels BIM/5D abzuwickeln, der internationalen Normierungs- und Standardisierungstätigkeiten im Bereich BIM/5D und des zunehmenden Interesses öffentlicher und privater Kunden im europäischen Raum, wurde ebenfalls erstmalig ein europäisches „Executive Forum“ einberufen. In diesem internationalen Gremium wurden auf Einladung ausgewählte Vorstände großer Architekturbüros, Baufirmen, Bauherren und Beratungsunternehmen zusammengeführt, um angesichts der vorhandenen technologischen Möglichkeiten die in der Regel organisatorischen Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung von BIM/5D zu diskutieren.

Markante Schlussfolgerungen dieses Gremiums waren, dass die abwartende Haltung der Industrie dem Fortschritt im Weg stünde. Das sei Warten auf eine Regulierung respektive Standardisierung die ohne empirische Erfahrungswerte durch Umsetzung heutiger einsetzbarer Praxen nicht zu erlangen wäre. Zugleich wurde festgestellt, dass im Bereich BIM/5D viel Informations- und Aufklärungsbedarf besteht. Dies gilt insbesondere bei Kunden, welche im Initiierungsprozess eigentlich eine führende Rolle spielen sollten. Alle Beteiligten waren sich darüber einig, dass weitere interdisziplinäre Abstimmungen auf Vorstandsebene von großem Mehrwert für die beschleunigte Einführung dieser neuen Technologien in der Bauwirtschaft seien.

Bei allen drei Konferenzen standen jedoch nicht nur die Keynotes, Fachvorträge und Firmenpräsentationen im Vordergrund. Im Rahmen einer mehrstündigen abendlichen Schifffahrt auf dem Bodensee mit Abendessen, Live-Musik und Barbetrieb wurde ausreichend Gelegenheit für die Kontaktpflege geboten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Nach der dritten Veranstaltung hat sich die internationale Lake Constance 5D-Conference, die gemeinsam von der HTWG Konstanz und der 5D-Initiative der europäischen Bauindustrie durchgeführt wird, am Markt etabliert. Die Zusammenarbeit zwischen der Hochschule und der Industrie erfolgt zum gegenseitigen Vorteil: Auf der Konferenz tauschen sich die Praktiker der Bauwirtschaft zu einem der aktuell innovativsten Themen in der Bauwirtschaft aus. Dies befruchtet die Praxis ebenso wie die Lehre an der

Hochschule. Ferner dient der direkte Kontakt zwischen den Studierenden und der Berufspraxis dem Interesse der nach spannenden und zukunftsträchtigen Stellenangeboten suchenden Studierenden wie auch der nach qualifiziertem Nachwuchs suchenden Unternehmen.

Die nächste Konferenz ist für das Jahr 2017 angedacht. Ziel wird es sein, anhand weiterer Projektbeispiele aufzuzeigen, welche konkreten Schritte in den beteiligten Unternehmen und den Projekten selbst durchzuführen sind, um weiter messbaren Nutzen aus der Anwendung von BIM/5D generieren zu können. Der entsprechende „Call for papers" wird rechtzeitig auf der Homepage der Konferenz unter www.htwg-konstanz.de/5d veröffentlicht werden.

Zu den Lake Constance 5D-Conference 2013 und 2015 wurden Statements in kurzen Filmen festgehalten.

Über die QR-Codes gelangen Sie zu den Videos.

Die 5D-initiative (www.5d-initiative.eu) wurde 2008 von den Firmen Ballast Nedam, BAM, CCC, Max Bögl und STRABAG/Züblin gegründet. Sie ist eine unabhängige Task-Force aus der VCP (Virtual Construction Plattform) der ENCORD, die Weltweit größte Plattform für Forschung und Entwicklung in der Bauindustrie.

Die 5D-initiative hat sich zum Ziel gesetzt die Entwicklung und Einführung von modelbasierten Arbeitsweisen zu beschleunigen. Zum einen bedeutet dies die Anforderungen der Bauindustrie als Ganzes zu definieren und diese der Hard- und Softwareindustrie so zu vermitteln, dass für das Bauwesen sinnvolle und praxistaugliche Anwendungen entstehen. Zum anderen bedeutet dies die Industrie über konkrete Projekte und Konferenzen intensiv mit der Thematik in Berührung zu bringen.

Vom Weg unter der Themse zur Durchbohrung der Alpen – Der spektakuläre Durchbruch der Tunnel in der Technik und Gesellschaft des 19. Jahrhunderts

H. Beiche

Zusammenfassung Der Tunnel unter der Themse in London und die Eisenbahnen führten im 19. Jahrhundert zu einem spektakulären Aufschwung im Tunnelbau. Standardisierte Bauweisen sowie der Einsatz von Druckluft, Bohrmaschinen und Dynamit als Sprengstoff ermöglichten es, Tunnel schneller und in größerer Länge zu bauen. Der Tunnelbau wurde zum Motor beim Fortschritt in der Bautechnik. Ein Höhepunkt war die Überwindung der Alpen durch Tunnelstrecken der Eisenbahn. Die Gesellschaft nahm hieran regen Anteil und entdeckte den „Tunnel-Tourismus". In der Literatur wurden die Tunnel beliebte Schauplätze für außergewöhnliches Geschehen. Viele technische und gesellschaftliche Aspekte zeigen interessante Bezüge zu unserer Zeit.

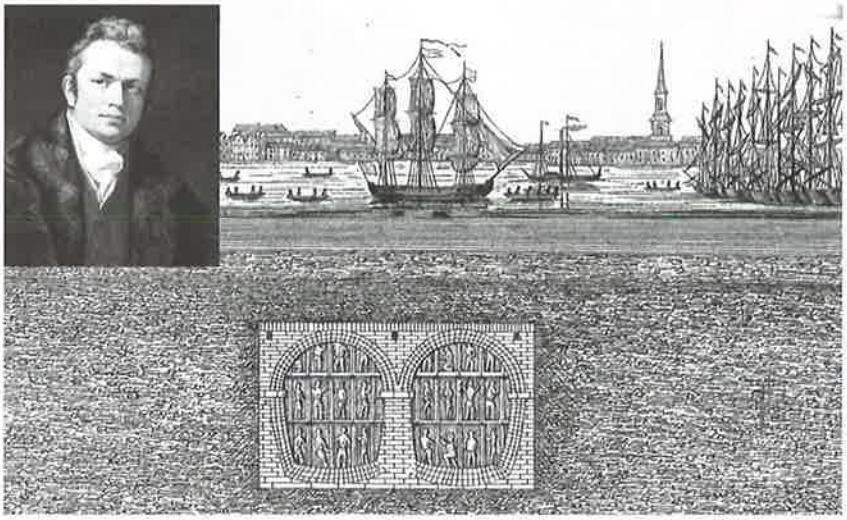


Bild 1. Marc Isambard Brunel und der Themsetunnel in London

1 Einleitung

Ein Weltwunder namens „Tunnel".
Mit seinem Vorhaben, unter der Themse in London einen Durchgang zu schaffen, versetzte der berühmte Ingenieur Marc Isambard Brunel [1] die Fachwelt und die Öffentlichkeit in Staunen. Er entwarf einen rechteckigen Schild (11 m breit und 6,50 m hoch), der aus zwölf nebeneinander stehenden Rahmen mit je drei „Zellen" übereinander bestand. Im Schutz des Schildes wurde das Bauwerk mit fast meterdicken Wänden aus Ziegelmauerwerk hergestellt (**Bild 1**).
Die Arbeiten waren durch Wassereinbrüche, Geldmangel und Bauunterbrechungen geprägt. Doch die Schwierigkeiten konnten Brunel nicht von seinem Ziel abbringen. Im März 1843 wurde das 370 Meter lange Bauwerk unter der Themse nach 18 Jahren Bauzeit feierlich eingeweiht.
Das Bauwerk war eine Touristenattraktion. Mit einer Gebühr von einem Schilling für den Besuch der Baustelle versuchte man die Finanzen aufzubessern. Auch der Dichter Franz Grillparzer ließ es sich nicht nehmen, bei seinem Besuch in London im Jahr 1836, die Baustelle zu besichtigen und sich ins Baustellenbuch einzutragen.
Im deutschen Sprachraum erschienen regelmäßig Fachartikel über den Stand des Vorhabens. Probleme hatte man, dem neuartigen Bauwerk einen verständlichen Namen zu geben. Man versuchte es mit den Bezeichnungen „Weg", „Bahn" oder gar „Brücke unter der Themse". Als Stilblüte empfinden wir heute die damalige Überschrift eines Artikels *„Das Loch in der Brücke unter der Themse"*! Ab 1828 setzte sich dann in Deutschland – wie auch in anderen europäischen Ländern – der englische Begriff „Tunnel" durch. Zeitlich steht der Themsetunnel zwar am Anfang des Tunnel-Booms der kommenden Jahre, doch technisch hatte er

Bild 2. Das Siegmundstor in Salzburg (Ostportal)

Prof. Dipl.-Ing. Hartwig Beiche, VDI
Bernsteinstr. 104, 70619 Stuttgart
Tel.: 0711–446409
hartwig.beiche@t-online.de

Bild 3. Die Wiege der Eisenbahntunnel in Edge Hill / Liverpool, Darstellung von T. T. Bury

auf die späteren Tunnel kaum Einfluss. Er gab aber den nachfolgenden Tunnelbauern sicher die Zuversicht, extreme Herausforderungen ebenso gut meistern zu können.

2 Die Eisenbahn und der Tunnel-Boom

Im 18. Jahrhundert entstanden lediglich kurze Bergdurchstiche für den Straßenverkehr, zum Beispiel das Urner Loch (64 m lang) an der Gotthardstraße oder das Siegmundstor (131 m lang) unter dem Mönchsberg in Salzburg (**Bild 2**). Heute ist nur wenig bekannt, dass seit dem 17. Jahrhundert mit dem Ausbau schiffbarer Kanalnetze in Frankreich und England zahlreiche unterirdische Verkehrsbauwerke entstanden. Manche dieser Tunnel waren mehrere Kilometer lang. Doch durch die neuen Eisenbahntunnel traten diese bemerkenswerten Bauwerke in den Hintergrund.

Die Station Edge Hill in Liverpool gilt als die Wiege des Bahn-Tunnelbaus. An diesem Punkt endete die erste Eisenbahn von Manchester in einem tiefen Einschnitt, und von hier aus wurden mehrere Tunnel unter dem Stadtgebiet von Liverpool hergestellt (**Bild 3**). Bemerkenswert ist vor allem der Gütertunnel, der die Station mit dem Liverpooler Umschlaghafen am Mersey-Fluss verbindet. Der sieben Meter breite und etwa zwei Kilometer lange Tunnel wurde unter großen Schwierigkeiten gebaut: *„Man grub an dem Weg fast in der dichtesten Finsternis im Wasser, welches von allen Seiten herzuquoll, und in beständiger Ungewissheit, ob auch die Stützen dem Gewichte der oberen Massen widerstehen würden“* [2].

1830 konnten hier die ersten beiden Tunnel für die Eisenbahn in Betrieb genommen werden. Zu dieser Zeit war der Tunnelbau noch der Lokomotivtechnik voraus. Der Tunnel für den Güterverkehr hatte eine Steigung von 2,1 Prozent, die die Lokomotiven damals noch nicht bewältigen konnten. Durch eine stationäre Dampfmaschine, deren beide Schornsteine das Bild von Edge Hill prägen, wurden die beladenen Wagen vom Mersey-Fluss mit einem Seil nach Edge Hill hochgezogen und von dort mit Lokomotiven nach Manchester weiter transportiert.

Die ersten deutschen Eisenbahntunnel entstanden bei Oberau auf der Strecke Leipzig – Dresden und bei Königsdorf für die Bahn von Köln nach Aachen. Beide Tunnel wurden später durch Geländeeinschnitte ersetzt. Dagegen dienen die kurz darauf entstandenen Tunnel, der Buschtunnel bei Aachen und der Burgbergtunnel bei Erlangen, noch heute dem Bahnverkehr (**Bild 4**).

Baute man die ersten Eisenbahnen bevorzugt in ebenem Gelände, so drangen die Bahnen bald auch in die bergige Landschaft vor. Hier gelang eine vernünftige Trassierung oft nur mit einer Streckenführung im Tunnel, denn beim System „Eisenbahn“ waren den möglichen Steigungen und Krümmungen viel engere Grenzen gesetzt als bei den damaligen Straßen. Neue Tunnel entstanden so mit der Ausdehnung der Bahnnetze quasi „am laufenden Band“. Es gibt keine Statistik über die in den ersten Jahrzehnten für die Eisenbahnen gebauten Tunnel, aber aus den Veröffentlichungen der damaligen Zeit lässt sich die Anzahl in der Größenordnung abschätzen. Danach entstanden in Deutschland bis 1870 über 150 Tunnel. Zusammen mit den Tunneln in Österreich-Ungarn, Frankreich, der Schweiz und anderen Ländern kann man im zentralen Europa zu diesem Zeitpunkt mit einer Gesamtzahl von etwa 500 Eisenbahntunneln rech-

Oberauer Tunnel
bei Dresden
(1837 - 39) 513 m lang
inzwischen abgebrochen

Königsdorfer Tunnel
bei Köln
(1837 - 41) 1623 m lang
inzwischen abgebrochen

Buschtunnel
bei Aachen
(1837 - 43) 691 m lang

Burgbergtunnel
bei Erlangen
(1842 - 44) 306 m lang

Bild 4. Die ersten Eisenbahntunnel in Deutschland

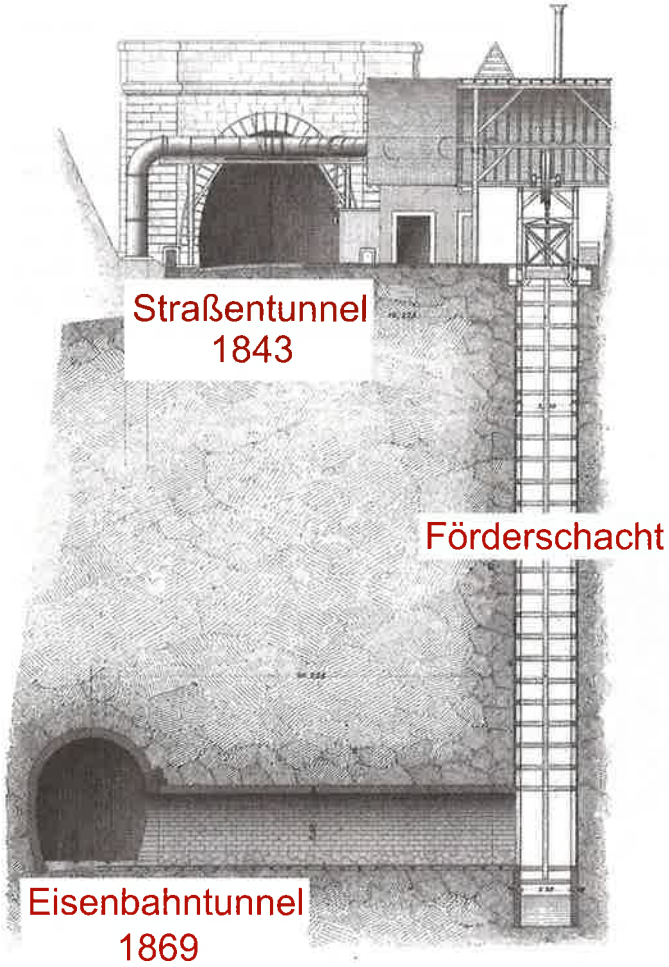


Bild 5. Straßen- und Eisenbahntunnel von Lioran in Frankreich, Schnittzeichnung

nen. Und in den folgenden Jahrzehnten hat sich diese Zahl dann weit mehr als verdoppelt.
Während dieser Zeit entstand nur ein nennenswerter Straßentunnel und zwar in den Jahren 1839 bis 1843 in der französischen Provinz bei Lioran im Zentralmassiv. Durch diesen 1,4 Kilometer langen Tunnel konnte die dortige Nationalstraße, die über einen Pass führte und im Winter oft mehrere Monate unpassierbar war, nun ganzjährig befahren werden.
Dennoch, warum gerade bei Lioran ein aufwendiger Straßentunnel gebaut wurde, wo doch das Winterproblem bei vielen Straßen in Europa mit weit höherer Bedeutung bestand, bleibt etwas rätselhaft. Dem aus Stuttgart stammenden Ingenieur Wilhelm von Nördling verdanken wir interessante Pläne von dem Tunnel [3]. Diese entstanden erst mit dem Bau eines Eisenbahntunnels bei Lioran, der 25 Jahre später unterhalb des Straßentunnels angelegt wurde. Nördling leitete diesen Eisenbahnbau und bezog den Straßentunnel geschickt durch Schächte zur Unterstützung des Vortriebs, zur Lüftung und zur Versorgung in sein Tunnelvorhaben ein (**Bild 5**). Dieser älteste neuzeitliche Straßentunnel wurde im Jahr 2007 durch einen modernen Tunnel ersetzt.

3 Der Wettstreit der Bauweisen

Die Vielzahl der Tunnelbauwerke führte zu Standardisierungen beim Tunnelvortrieb und bei den Holzzimmerungen als Sicherung.
Die Bauweisen wurden nach den Ländern benannt, in denen sie entwickelt wurden: Die „Deutsche Bauweise“ mit ihrem typischen Kern, die „Englische Bauweise“ mit längstragenden Balken, die „Österreichische Bauweise“ mit der in Querrichtung tragenden Sparrenzimmerung und die „Belgische Bauweise“ mit der Unterfangung des Gewölbes (**Bild 6**). Die ausführliche Beschreibung und Bewertung dieser Bauweisen in seinem Buch „Tunnelbaukunst“ [4] ist eine große Leistung von Franz Rziha, einem der bedeutendsten Tunnelbauer seiner Zeit.
„Schneller, länger, sicherer“: Diese Forderungen stellten sich mit den immer größeren Tunnelbauaufgaben.
Der Stand der Tunnelbautechnik war Anfang des 19. Jahrhunderts durch Handarbeit und den Einsatz von Schwarzpulver zum Sprengen geprägt. Eine Beschleunigung des Tunnelbaus ließ sich nur dadurch erreichen, dass an möglichst vielen Stellen gleichzeitig gearbeitet wurde. Hierzu legte man Schächte von der Oberfläche zum Tunnel an, über die gleichzeitig an mehreren Stellen der Vortrieb und der Materialtransport abgewickelt werden konnten (**Bild 7**).
Neue Methoden zur Beschleunigung brachte der erste große Alpentunnel am Mont Cenis.

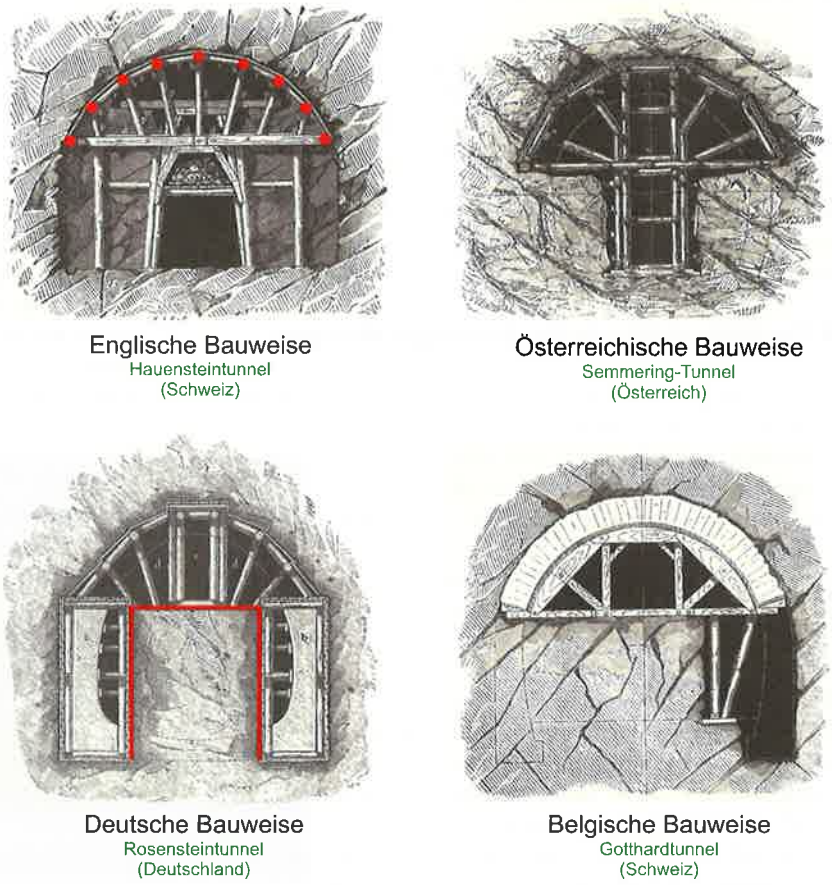


Bild 6. Die Tunnelbauweisen nach F. Rziha

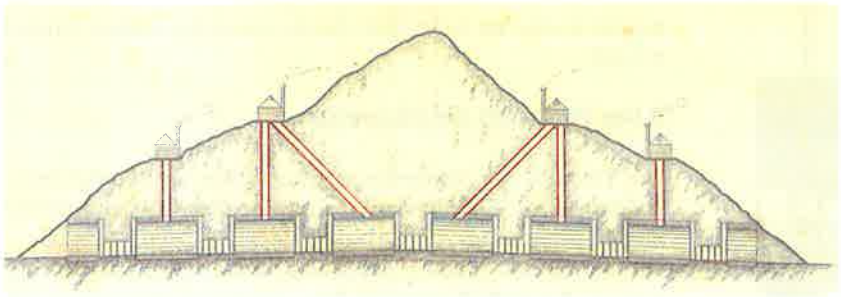


Bild 7. Vertikal- und Schrägschächte beim Semmeringtunnel

mals bergfähige Lokomotiven für 2,5 Prozent Steigung in den Alpen entwickelt.

Brennerbahn

Nach den Plänen von Carl von Etzel entstand in den Jahren 1864 bis 1867 die erste Bahnstrecke über die Zentralalpen. Sein Ausbauprinzip unterschied sich grundsätzlich von dem Ghegas. Etzel setzte auf eine geschickte Trassierung der Strecke bei der er große und aufwendige Bauwerke vermeiden konnte.

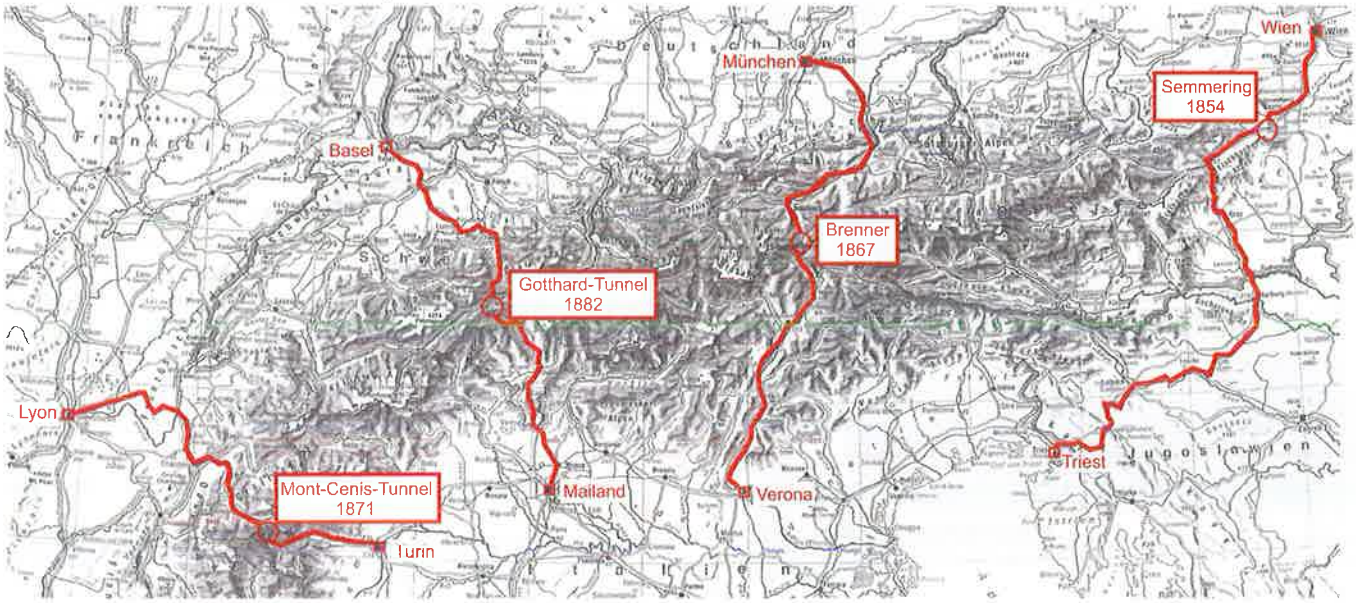


Bild 8. Die ersten Tunnelstrecken der Eisenbahn durch die Alpen

Nach den Vorschlägen von Jean-Daniel Colladon und Germain Sommeiller wurde bei diesem Tunnel erstmals Druckluft zum Betrieb maschineller Bohrer eingesetzt. Mit der Druckluft konnten auch die Lüftung verbessert und die Fahrzeuge für den Transport angetrieben werden. Damit war der Durchbruch für die Alpentunnel geschafft. Ein weiterer Schritt gelang Jahre später mit dem Einsatz von Dynamit, das den Tunnelausbruch enorm beschleunigte.

4 Der Höhepunkt – Tunnel bezwingen die Alpen

Mit der Ausdehnung der Eisenbahnen erfüllte sich auch der Traum der Menschen, gute Verbindungen zwischen Zentraleuropa und dem Süden zu schaffen. Die Realisierung war allerdings eine außergewöhnliche, extrem schwierige Aufgabe.
In der Zeit von 1848 bis 1882 wurden die vier ersten großen Eisenbahnstrecken über die Alpen gebaut (**Bild 8**).

Bahn über den Semmering

Carl von Ghega realisierte bis zum Jahr 1854 am östlichen Rand der Alpen die Überquerung mit der Bahn beim Semmering. Sein Werk, das heute als Weltkulturerbe geschützt ist, besteht in einer beeindruckenden Aufeinanderfolge von Viadukten und Tunneln. Auf der Semmering-Strecke wurden auch erstEr entwickelte für die Bahnstrecke die ersten Kehrtunnel, mit denen er in Seitentälern lange Kehrschleifen anlegte und so große Höhenunterschiede im Gelände überwand.

Mont-Cenis-Tunnel

Der erste große Alpentunnel entstand in den westlichen Alpen unter dem Mont Cenis. Dieses Projekt, das bei uns zu Unrecht gegenüber dem Gotthard-Tunnel in den Hintergrund tritt, Ist ein entscheidender Meilenstein im Gebirgstunnelbau [5]. Wegen der hohen Überdeckung war ein Vortrieb nur von den Portalen aus möglich. Als 1857 die Arbeiten an dem 12,2 Kilometer langen Tunnel begannen, rech-

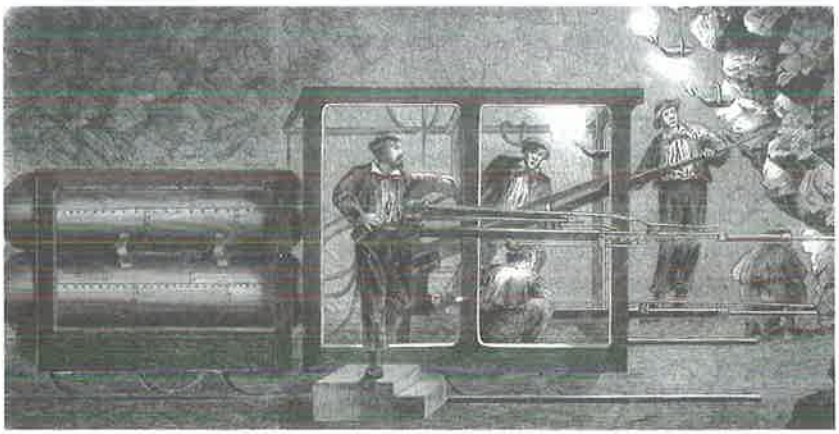


Bild 9. Mit Druckluft betriebene Bohrmaschine im Mont-Cenis-Tunnel

nete man mit einer Bauzeit von über 25 Jahren.
Entscheidende Entwicklungen, wie der oben beschriebene Einsatz von Druckluft und der ersten Bohrmaschinen, verkürzten die Bauzeit auf 14 Jahre (**Bild 9**). Am Mont Cenis stand als Sprengstoff nur Schwarzpulver zur Verfügung. Die Menge des hier verbrauchten Schwarzpulvers hätte zur Füllung von 200 Millionen Gewehrkugeln ausgereicht – so gesehen ist der Tunnel ein Friedenswerk!

Gotthard-Tunnel

Der Gotthard-Tunnel war für die Ingenieure im 19. Jahrhundert eine gewaltige Herausforderung [6]. Schon die Zufahrtsstrecken von Norden und Süden erforderten im schwierigen Gelände anspruchsvolle Brücken und Tunnel. In der Öffentlichkeit erregten vor allem die Spiraltunnel, in denen sich die Strecke nach oben schraubt, große Bewunderung.
Beim Bau des 15 Kilometer langen Scheiteltunnels konnte mit verbesserten Bohrmaschinen und den Tunneltransporten mit druckluftbetriebenen Lokomotiven ein rationeller Tunnelbetrieb eingerichtet werden (**Bild 10**).
Der Unternehmer Louis Favre trieb die Arbeiten mit großer Energie voran. Eine enorme Beschleunigung konnte er durch den Einsatz von Dynamit erreichen, das eine viel höhere Sprengkraft als Schwarzpulver hat. Allerdings waren die Lebensverhältnisse und die Entlohnung der Arbeiter so schlecht, dass es zu Arbeitsniederlegungen kam. Höhepunkt waren die Unruhen im Jahr 1875, bei denen auch Tote zu beklagen waren. Immerhin führte die allgemeine Empörung hierüber zu einer Verbesserung der Verhältnisse für die Arbeiter.
Die Fertigstellung der gesamten Gotthard-Strecke konnte 1882 nach zehn Jahren Bauzeit gefeiert werden.

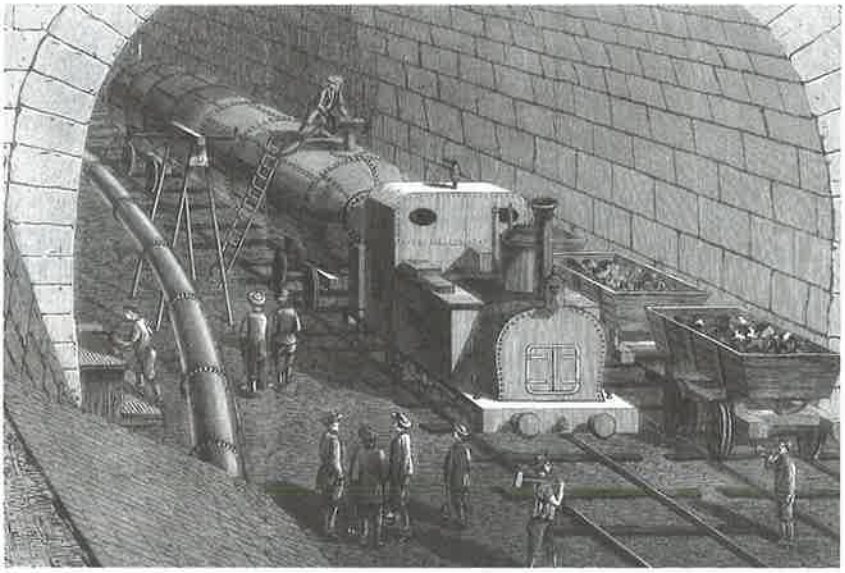


Bild 10. Transportbetrieb im Gotthard-Tunnel mit Druckluft-Lokomotiven

Carl von Ghega
(1802 - 1860)
Semmeringbahn

Carl von Etzel
(1812 - 1865)
Brennerbahn

Germain Sommeiller
(1815 - 1871)
Mont-Cenis-Tunnel

Louis Favre
(1826 - 1879)
Gotthard-Tunnel

Bild 11. Die Pioniere der Alpendurchquerungen

Alle vier Alpenüberquerungen sollen in unserer Zeit durch Ausbaustrecken mit einem Basistunnel ersetzt werden. Allerdings bestehen große Unterschiede bei den zeitlichen Perspektiven für die Planung und Realisierung der einzelnen Projekte.
Die Pioniere der ersten Alpentunnel (**Bild 11**) verdienen eine besondere Würdigung. Zusammen mit ihnen soll auch an die hervorragenden Ingenieure und die vielen Menschen erinnert werden, die mitgearbeitet haben, die Alpen zu bezwingen.

5 Die Tunnel und die Gesellschaft des 19. Jahrhunderts

Eine Reise mit den ersten Eisenbahnen faszinierte die Menschen. Höhepunkt war für sie dabei die Fahrt durch einen Tunnel mit dem neuen Erlebnis, in völliger Dunkelheit zu verschwinden und in Minutenschnelle wieder ins Tageslicht aufzutauchen. Die Reisenden ließen sich auch nicht durch Warnungen von Ärzten abhalten, Tunnelfahrten könnten Angstattacken, Ohrenbeschwerden, Katarrh oder andere Leiden hervorrufen.
Die Meinung, zu einer ordentlichen Eisenbahn gehöre auch ein Tunnel, hatte viele Anhänger. Einige Staatsoberhäupter sollen gedrängt haben, beim Eisenbahnbau in ih-

Bild 12. Johann Nestroy und der Tunnel bei Gumpoldskirchen

ren Ländern auch einen Tunnel anzulegen, selbst wenn ein solches Bauwerk nicht unbedingt notwendig war. So bekamen der sächsische König Friedrich August mit dem Oberauer Tunnel und der württembergische König Wilhelm mit dem Rosensteintunnel wunschgemäß „ihre Tunnel".

Den Bau des ersten, nur 165 Meter langen Tunnels in Österreich bei Gumpoldskirchen schrieb man dem besonderen Wunsch von Kaiser Ferdinand zu. Johann Nestroy spottet hierüber (**Bild 12**): *„Dieser Tunnel ist was Außerordentliches. Ein Tunnel, wo einer sein muss, das ist nix; aber da (in Gumpoldskirchen) haben sie mühsam vier Schuh Weingartengrund aufg´schottert, um nur unterirdisch fahren zu können, das ist a Riesenwerk!"* [7]

Auch Ingenieure waren nicht frei von dieser Tunnelmanie. In seiner Anweisung mit dem Titel *„Wo Tunnel erbauet werden müssen"* warnt der Fachmann A. Beyse im Jahr 1841 vor solchen Tunneln, die *„durch das bon plaisir des Ingenieurs entstehen möchten, welcher glaubt, eine Eisenbahn ohne Tunnel könnte nicht Ruhm genug eintragen"*. [8]

Dem Interesse der Gesellschaft an Tunneln trug die im 19. Jahrhundert führende „Illustrirte Zeitung" mit zahlreichen Berichten über Planung, Baustand und Fertigstellung der großen Tunnelprojekte Rechnung. Besonders ausführlich wurden die großen Alpentunnel behandelt. Man ist heute noch beeindruckt von den anschaulichen Bildern, die von Spezialzeichnern gefertigt wurden und die Atmosphäre und die Dramatik des Tunnelbaus anschaulich wiedergeben.

Es entwickelte sich ein „Tunnel-Tourismus". Vor allem durch die Berichte berühmter Persönlichkeiten wird das Interesse des Publikums am „Reiseziel Tunnel" belegt. Mark Twain fährt auf seiner Europareise durch den Mont-Cenis-Tunnel und vermerkt humorvoll: *„Wir fuhren ab nach Turin auf einer Bahnstrecke, die überreichlich mit Tunneln verziert war. Wir hatten vergessen eine Laterne mitzunehmen, deshalb entging uns die ganze Aussicht."* [9]

Einen ausführlichen Reise-Tunnelbericht verdanken wir dem Komponisten Felix Mendelssohn Bartholdy. Auf seiner Reise durch England und Schottland

Bild 13. Felix Mendelssohn Bartholdy im Liverpooler Tunnel

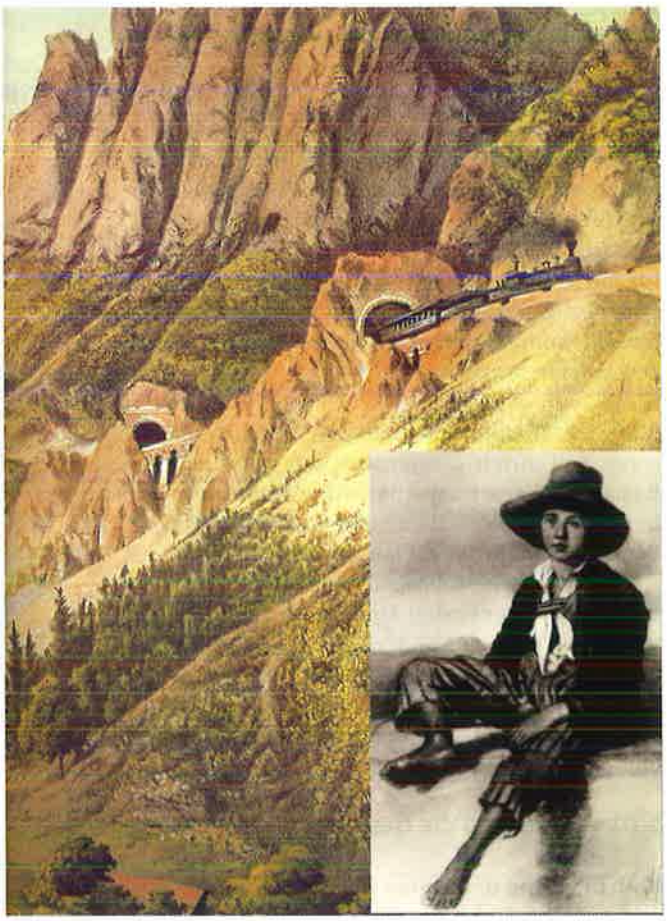


Bild 14. Der Waldbauernbub Peter Rosegger am Semmering

macht er im Jahr 1829 in Liverpool Station. Hier organisiert er für sich persönlich eine Besichtigung des fast fertigen Tunnels bei Edge Hill (**Bild 13**). Mit einem Wagen fährt er die abschüssige, zwei Kilometer lange Tunnelstrecke hinunter bis zum Hafen am Mersey-Fluss. Dabei durchlebt er den ganzen Nervenkitzel: *„Das Tageslicht verschwand, der Zug blies die Lichter aus und nun war dickste Finsterniß, ich habe zum ersten Mal in meinem Leben nichts gesehen, dazu raset der Wagen immer schneller... dann kam das rothe warme Tageslicht von ferne geströmt, und ich stand am Hafen.“* [10]

Viktor von Scheffel berichtet von einer missglückten amourösen Annäherung im Stuttgarter Rosensteintunnel auf seiner Reise nach Venedig. Ein Mädchen, das er von einer früheren Begegnung kannte und das in strenger Begleitung von Mutter und Tante reiste, wollte dem Dichter im Schutz des dunklen Tunnels einen Kuss geben. Doch Scheffel streckte gerade den Kopf aus dem Fenster und als er die Annäherung des Mädchens bemerkte, wurde es auch schon wieder hell. Er beklagt, *„es wird zeitlebens kein Tunnel mehr für mich kommen, wo ich das Antlitz statt zum Fenster hinaus ihren honigsüßen Lippen entgegen wenden darf...“* [11]

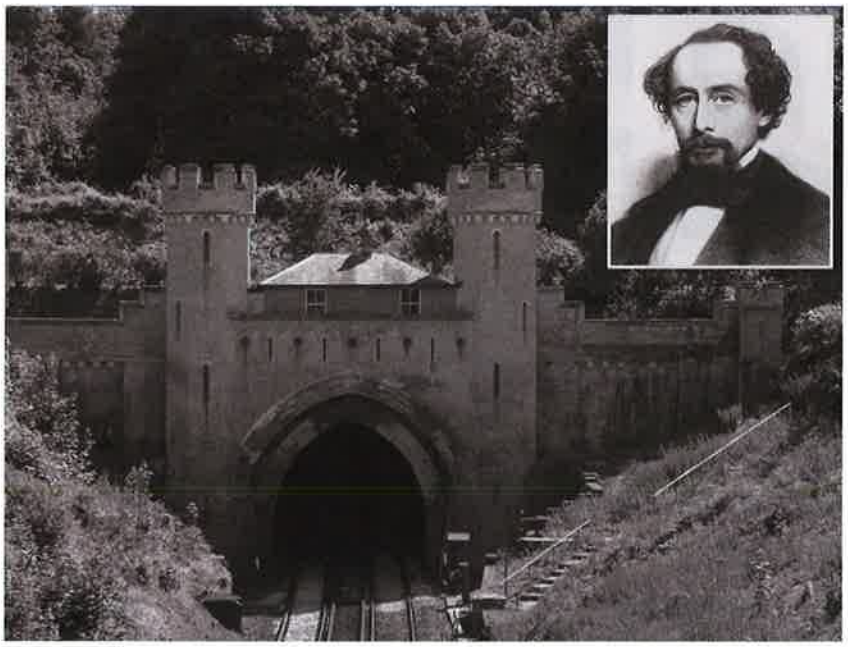


Bild 15. Das Eisenbahnunglück im Clayton Tunnel inspiriert Charles Dickens zu der Erzählung „The Signal-Man“

Bild 16. Emile Zola und der Mord im Tunnel

6 Tunnelgeschichten

Für einige Schriftsteller und Dichter im 19. Jahrhundert waren die neu gebauten Tunnel Schauplätze ihrer Erzählungen und Romane. Dabei drehen sich die Geschichten im Tunnel meist um die Themen Furcht, Liebe, Unglück oder Verbrechen.

Peter Rosegger schildert in seiner Erzählung *„Als ich das erste Mal auf dem Dampfwagen saß“* [12], wie er als Waldbauernbub zusammen mit seinem Paten voller Furcht und Faszination am Semmering die Züge im Tunnel verschwinden und dann wieder auftauchen sieht (**Bild 14**). Mit anrührender Naivität spricht er von einer *„Straße mit zwei eisernen Leisten“*, die *„schnurgerade in den Berg hinein“* geht. Doch die Neugier besiegt die Angst, und man kauft sich Billets für die Tunnelfahrt bis zur nächsten Station. Der Schaffner schiebt die noch Zögernden ins Coupé und als der Zug abgeläutet wird, murmelt der Pate: *„Das ist meine Totenglocke.“* Jetzt wird es finster und tost *„als wären wir von gewaltigen Wasserfällen umgeben, und ein- um´s anderemal hallten schauerliche Pfiffe. Wir reisten unter der Erde.“* Doch schon bald finden die beiden an der Fahrt Gefallen. Sie fahren weit über ihr Ziel hinaus und bekommen deshalb mit dem Bahnschaffner großen Ärger. Bei Dunkelheit müssen sie zu Fuß nach Hause zurückgehen.

Am 25. August 1861 kam es im Eisenbahntunnel von Clayton auf der Strecke von London nach Brighton zu einem Zusammenstoß zweier Reisezüge. Das Unglück forderte viele Menschenleben. Dieses Ereignis inspirierte Charles Dickens (**Bild 15**) zu seiner Gespenstergeschichte *„The Signal-Man“* [13]. Im Mittelpunkt der Erzählung steht ein Signalwärter, der in einem tiefen Geländeeinschnitt vor einem Tunnel postiert ist. An diesem unwirtlichen Ort endet der Ausblick *„am düsteren Tor eines schwarzen Tunnels, dessen massive Architektur eine barbarische, bedrückende und abweisende Atmosphäre verbreitete“*. Der Erzähler sucht das Gespräch mit dem Signalwärter und erst nach längerem Zögern berichtet dieser von einer Geistererscheinung: Vor einiger Zeit habe er vor dem Tunnel eine gespenstische Person gesehen, deren warnende Gebärden er nicht deuten konnte. Stunden danach passiert ein großes Eisenbahnunglück im Tunnel mit Toten und Verletzten. Und in letzter Zeit habe er wieder diese Erscheinung gesehen, könne sie aber nicht deuten. Der unglückliche Signalwärter weiß nicht, dass er diesmal persönlich betroffen ist!

Ein dramatisches und grausames Geschehen im Tunnel steht im Mittelpunkt eines der bekanntesten Romane (*„La bête humaine“*) von Emile Zola [14]. Ort des Verbrechens ist der 2,2 Kilometer lange Tunnel „Le Grand de Pissy-Poville“

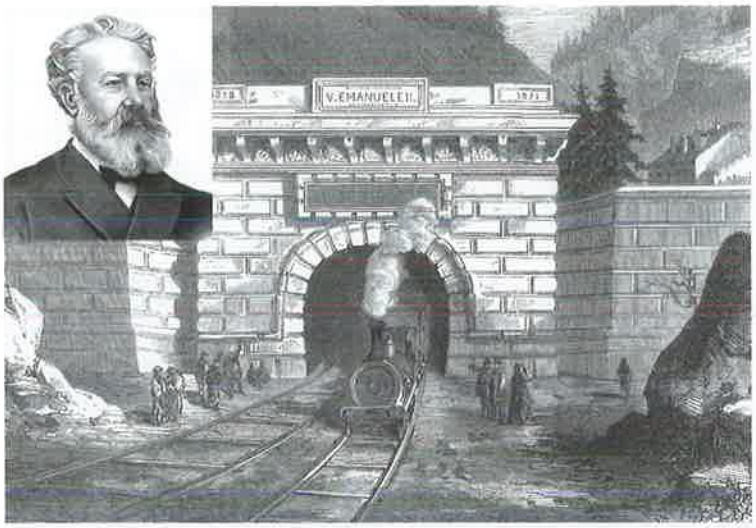


Bild 17. Jules Verne und der Mont-Cenis-Tunnel

auf der Strecke Rouen – Le Havre (**Bild 16**). Der Präsident Grandmorin wird von seiner Geliebten Séverine und ihrem eifersüchtigen Ehemann bei der Fahrt durch den Tunnel in seinem Abteil mit einem Messer grausam umgebracht und dann aus dem Zug geworfen. Es wird nicht der einzige Mord in dem Buch, das erfolgreich verfilmt wurde, bleiben!

Im Roman *„Reise um Erde in 80 Tagen“* von Jules Verne [15] bedeutet für den Held der Geschichte, Phileas Fogg, die Möglichkeit, mit der Eisenbahn durch den Mont-Cenis-Tunnel (**Bild 17**) zu fahren, gegenüber der früher notwendigen Passüberquerung eine erhebliche Zeitersparnis.
Der Roman hat hier einen sehr realen Hintergrund. Der Mont-Cenis-Tunnel wurde im September 1871 eröffnet und verkürzte die Reisezeit auf dieser Strecke erheblich. In Jules Vernes Roman fährt Phileas Fogg von Paris nach Turin in der Nacht vom 3. auf den 4. Oktober 1872 durch den neuen Tunnel am Mont Cenis. Jules Verne wurde zu seiner Geschichte sicher auch durch eine Broschüre der Reiseagentur Cook inspiriert, die im Sommer 1871 für eine Reise um die Welt warb mit zwei wichtigen Verbesserungen auf der Route, der Eröffnung des Suezkanals 1869 und der bevorstehenden Fertigstellung des Mont-Cenis-Tunnels.

Den Bau des Gotthardtunnels macht der schwedische Dichter August Strindberg zum Thema seiner Erzählung *„Das Märchen vom Sankt Gotthard“* [16]: Der Tessiner Andrea macht zu Fuß den beschwerlichen Weg über den Gotthard zum Schützenfest nach Göschenen im Kanton Uri. Obwohl er der beste Schütze ist, verweigert man ihm den Sieg und die Hand der schönen Amtmannstochter Gertrud, *„denn man liebte das schwarze welsche Volk von der anderen Seite des Berges nicht“*. Doch Andrea verspricht Gertrud wiederzukommen.
Er verdingt sich bei den Arbeiten am Gotthard-Tunnel und ist nach Jahren der Erste beim Durchbruch, als die Tunnel von Süden und Norden zusammentreffen (**Bild 18**). Reichlich entlohnt für seine jahrelange Arbeit kommt er wieder zu Gertrud, die treu auf ihn gewartet hat und ihn jetzt in seine Heimat begleitet.
In Strindbergs Erzählung ist der Gotthard-Tunnel auch ein Symbol für die friedliche Verbindung der Völker im Süden und Norden.

7 Schlussbetrachtung

Den Tunnel-Boom, der sich mit den Eisenbahnen im 19. Jahrhundert entwickelte, begleitete die Gesellschaft mit großem Interesse.
Anfangs war es vor allem das neuartige Erlebnis einer Tunnelfahrt, das die Menschen reizte.
Dann beeindruckten die Möglichkeiten, durch Tunnel auch in bergiger Landschaft schnelle Verbindungen zu schaffen

Bild 18. Der Tessiner Andrea als Erster beim Tunneldurchschlag in August Strindbergs „Märchen vom Sankt Gotthard“

Bild 19. Johann Wolfgang von Goethe schreibt über den Themsetunnel

und so auch den alten Traum zu realisieren, die Alpen zu durchqueren.

Die positive Bewertung der Tunnel wird durch die eingehende Berichterstattung in Zeitungen und Zeitschriften bestätigt. Noch heute ist es ein Vergnügen, die reich bebilderten Berichte zu lesen.

Auch viele Persönlichkeiten aus der Kultur verfolgten den Bau der Tunnel interessiert und machten Tunnel zum Thema ihrer Werke. Besonders bemerkenswert ist eine Äußerung von Johann Wolfgang Goethe, der den Bau des Themsetunnels mit großem Interesse verfolgte. Als es erhebliche Schwierigkeiten durch Wassereinbrüche gab, stellt er unter der Überschrift *„Für die Freunde großer technischer Unternehmungen"* (**Bild 19**) mit Befriedigung fest: *„Trotz allen Missgeschicks wird am Tunnel unter der Themse fortgearbeitet"*. Goethe lobt ausdrücklich die Beharrlichkeit, mit der alle Beteiligten in England trotz der aufgetretenen Problemen zu diesem Vorhaben stehen. [17]

In heutiger Zeit gibt es in der Gesellschaft viel mehr kritische Stimmen zu den aktuellen Tunnelprojekten. Vor allem Menschen aus dem Kulturbereich verhalten sich diesen Vorhaben gegenüber in ihrer Mehrzahl ablehnend.

Es ist hier nicht der Ort, die Gründe für die veränderte Einstellung der Gesellschaft zu Tunnelprojekten zu analysieren. Doch sicher wurde im 19. Jahrhundert die positive Haltung zu Tunneln vor allem von der technikfreundlichen Grundstimmung in der Gesellschaft getragen.

Der Beitrag wurde in gekürzter Fassung bei der Baugrundtagung 2014 in Berlin vorgetragen und im Tagungsband abgedruckt.

Literatur

[1] *Clements, P.*: Marc Isambard Brunel. Longmans, Green & Co, London, 1970.

[2] *Booth, H.*: Nachrichten von der Eisenschienen-Straße zwischen Liverpool und Manchester. *In*: Journal für die Baukunst von Crelle 6 (1833), S. 227.

[3] *Nördling, W. v.*: Der Liorantunnel, Allgemeine Bauzeitung 37 (1872), S. 84–124.

[4] *Rziha, F.*: Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst. Zweiter Band, Berlin, 1872, S. 9–188.

[5] Die Durchbohrung des Mont Cenis. Illustrirte Zeitung 38 (1862), S. 171–174.

[6] Die Arbeiten am St. Gotthardstunnel. Illustrirte Zeitung 65 (1875), S. 123–126, S. 147–149, S. 209.

[7] *Nestroy, J.*: Eisenbahnheirathen, Posse mit Gesang, Wien, 1844

[8] *Beyse, A. W.*: Beiträge zum practischen Eisenbahnbau. Zweiter Theil Tunnelarbeiten, Karlsruhe, 1841, S. 1.

[9] *Twain, M.*: Bummel durch Europa, 1880.

[10] *Mendelssohn Bartholdy, F.*: Briefe (Brief vom 25.8.1829), Hrsg.: R. Elvers, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt, 1984, S. 88.

[11] *Scheffel, V. v.*: Venezianische Epistel, 1865.

[12] *Rosegger, P.*: Als ich das erste Mal auf dem Dampfwagen saß, *In*: Waldheimat, 1877.

[13] *Dickens, C.*: The Signal-Man (Der Signalwärter), In: Mugby Junction, All the Year Round, 1866.

[14] *Zola, E.*: La Bête humaine (Die Bestie im Menschen), 1890.

[15] *Verne, J.*: Reise um die Erde in 80 Tagen, 1873.

[16] *Strindberg, A.*: Das Märchen vom Sankt Gotthard, *In*: Schweizer Novellen, Georg Müller Verlag, München, 1912.

[17] *Goethe, J. W. v.*: Briefwechsel zwischen Goethe und Zelter (Beylage zum Brief am 2. May 1828), Hrsg. F. Riemer, Fünfter Teil 1828 bis 1830, Berlin, 1834, S. 41.

Interna aus dem VDI

F. Jansen

Zusammenfassung In diesem Kapitel wird vorausschauend, aktuell oder rückblickend über Themen, Tätigkeiten, Entwicklungen, Veranstaltungen, Projekte und Ereignisse aus dem VDI-Fachbereich Bautechnik berichtet.

1 Personalia

1.1 Dipl.-Ing. Andreas Wokittel neuer Vorsitzender der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik

Den Vorsitz der VDI-GBG hat zum 1. Januar 2015 Dipl.-Ing. Andreas Wokittel (Jg. 1960) übernommen. Wokittel ist Mitglied der Geschäftsleitung der SPIE GmbH und ist in Personalunion auch Vorsitzender des VDI-Fachbereichs Facility-Management der VDI-GBG. Dieses Amt hat er von Prof. Dr.-Ing. Marten F. Brunk übernommen, der nach sechsjähriger Amtszeit turnusmäßig aus dem Amt ausscheidet.

Die Nachfolge von Prof. Dr.-Ing. Wilfried Clauß als Vorsitzender des Fachbereichs Bautechnik hat Dipl.-Ing. Peter Steinhagen von der Züblin AG in Stuttgart angetreten. Steinhagen gehört dem Vorstand der GBG seit 2009 an und war bisher für Sonderprojekte zuständig. Er hat maßgeblich die VDI-Initiativen „PartnerING am Bau“ und „Akzeptanz von Großprojekten“ für die VDI-GBG verantwortet.

Vorsitzender des Fachbereichs Architektur ist Prof. Dr.-Ing. Dirk Henning Braun von der RWTH Aachen. Braun ist Inhaber von Architekturbüros in Aachen und Stuttgart und hat die Nachfolge von Dipl.-Ing. Jürgen Koch angetreten, der seinen Wohn- und Arbeitsschwerpunkt ins europäische Ausland verlagert hat.

Vorsitzender des Fachbereichs Technische Gebäudeausrüstung ist weiterhin Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke vom ILK-Dresden. Franzke war von 2009 bis 2011 erster Vorsitzender der VDI-GBG und ist seitdem Vorsitzender des Fachbereichs TGA und des Fachausschusses Raumlufttechnik im VDI.

Ergänzt wird der Vorstand durch Vertreter der Querschnittsaufgaben und Querschnittsthemen:

- Prof. Dr.-Ing. Michael Bauer, Drees & Sommer verantwortet den Themenbereich GebäudeEnergetik als Querschnittsfunktion über die vier Fachbereiche der GBG.
- Prof. Rasso Steinmann von der Hochschule München verantwortet in gleicher Weise den Aufbau des Themenbereichs Building Information Modeling (BIM).
- Dr.-Ing. Franz-Hermann Schlüter ist gewählter Vertreter der regionalen Arbeitskreise des VDI und Mitinhaber des Ingenieurbüros SMP in Karlsruhe.
- RA Hartmut Hardt übernimmt die Zuständigkeit für technische Regelsetzung, er steht den ehrenamtlich arbeitenden Richtlinienausschüssen beratend zur Verfügung.
- Anastasia Zaluga ist gewählt als Vertreterin der Studenten und Jungingenieure und tritt die Nachfolge von Daniel Wehmeier an, der nach sechsjähriger Amtszeit ausscheidet.

Bild 1. Neuer Vorstand der VDI-GBG ab 2015: (v. l. n. r. Rasso Steinmann, Michael Bauer, Uwe Franzke, Andreas Wokittel, Hartmut Hardt, Peter Steinhagen, Dirk Hennig Braun, Franz-Herrmann Schlüter, Thomas Terhorst)
Foto: VDI

Daniel Wehmeier hat in seiner Amtszeit als Vertreter der Studenten und Jungingenieure maßgeblich an der Entwicklung des VDI-Wettbewerbs Integrale Planung mitgewirkt, der sich großer Beliebtheit erfreut. Zuletzt haben 89 Teams mit 297 Teilnehmern am VDI-Wettbewerb „Nachhaltiges Holzhotel“ ihr Können unter Beweis gestellt.

Einer der Aktionsschwerpunkte des neuen Vorstands sei die Stärkung und der Ausbau der Querschnittsthemen und die Darstellung der dabei erzielten Arbeitsergebnissen in diesen Bereichen. Innerhalb der VDI-GBG gelingt bereits heute eine Abstimmung zwischen Architekten, Bauingenieuren, Ingenieuren, der TGA und des FM. Hier besteht jedoch – und das zeigt die Praxis täglich – ein erheblicher Bedarf und wesentliche Chancen für die entsprechenden Branchen, so Andreas Wokittel.

Der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik gehören über 17.000 zugeordnete VDI-Mitglieder an. Die vier Fach-

Dipl.-Ing. (FH) Frank Jansen VDI
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik im VDI e. V.
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
jansen_f@vdi.de
www.vdi.de/gbg

bereiche der GBG sind Herausgeber von circa 200 VDI-Richtlinien zu unterschiedlichsten Themen des Bauens. Neben fachlichen Expertenforen ist die Jahrestagung die zentrale, jährliche Veranstaltung der VDI-GBG.

Bild 2. Der VDI-Fachbeirat Bautechnik auf der Jahrestagung der VDI-GBG 2014 in Bamberg (v. l. n. r.) W. Feldwisch, P. Theis, A. Säftel, P. Jehle, B. Praest (Gast). M. Hohenecker, U. Stewering, G. Funke, D. Glaser (Gast), F.-H. Schlüter, K. Nübel, P. Steinhagen, C.-D. Hauck, W. Clauß, R. Harte, F. Jansen, G. Jösch, N. Becker (Gast) Foto: VDI

1.2 Der VDI Fachbeirat Bautechnik stellt sich vor

Der Fachbeirat ist das Lenkungsgremium für den VDI-Fachbereich Bautechnik und kommt zweimal im Jahr zusammen. Nachfolgend finden Sie eine Übersicht der zur Zeit im VDI-Fachbeirat tätigen Ehrenamtlichen:

- Vorsitzender: Dipl.-Ing. Peter Steinhagen, Ed. Züblin AG, Stuttgart,
- Dipl.-Ing. Markus Bartsch, ISB Markus Bartsch, Buxtehude,
- Prof. Dr.-Ing. Wilfried Clauß, IQ Real Estate GmbH, Düsseldorf,
- Dipl.-Ing. Wolfgang Feldwisch, Wolfgang, DBahn Netz AG, Frankfurt,
- Univ. Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer, TU München,
- Dipl.-Ing. Günther Funke, Echterhoff Gmbh, Westerkappeln,
- Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte, KUP Bochum (stellv. Vorsitzender),
- Dipl.-Ing. Claus-Dieter Hauck, Tiefbauamt, Stuttgart,
- Dipl.-Ing. PhD Bernhard Hauke, bauforumstahl e.V. Düsseldorf,
- Dipl.-Ing. Eva-Maria Hinkers, Arup GmbH, Düsseldorf (bis Ende 2015),
- Michael Hohenecker, Flughafen Düsseldorf GmbH, Düsseldorf,
- Univ. Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle, Technische Universität Dresden,
- Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing Günter Jösch, Bundesverband Bausysteme e.V. Koblenz,
- Dr. Ulrich Klotz, TÜV Süd AG, München,
- Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann, Universität Stuttgart (bis Ende 2015),
- Dr.-Ing. Konrad Nübel, BAUER Spezialtiefbau GmbH, Schrobenhausen,
- Dipl.-Ing. Roland Pickhardt, InformationsZentrum Beton GmbH, Erkrath (ab 2016),
- Ministerialdirigent Dipl.-Ing. Ralf Poss, Bundesministerium Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bonn,
- Prof. Dr.-Ing. Uwe Rickers, HTWG Konstanz,
- Annika Saeftel (Vertreterin Studenten und Jungingenieure),
- Dr.-Ing. Franz-Hermann Schlüter,SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH, Karlsruhe,
- Dipl.-Ing. Peter Steinhagen, Ed. Züblin, Stuttgart,
- Prof. Dipl.-Ing. Rasso Steinmann, Hochschule München,
- Prof. Dr.-Ing. Uta Stewering, Hochschule Osnabrück,
- Patrick Theis, DS Consulting Process & Organisation, Stuttgart,
- Dipl.-Ing. Eike Vetter, Ingenieurbüro Salveter-Vetter, Netphen (bis Ende 2015),
- Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt, TU München (bis Ende 2015),
- Dr.-Ing. Dieter Werner, ARCUS Planung + Beratung Bauplanungsgesellschaft mbH, Cottbus.

1.3 Wolfgang-Zerna-Ehrenmedaille an Prof. Manfred Curbach verliehen

Hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der Bautechnik würdigt der VDI Verein Deutscher Ingenieure mit einer neuen Auszeichnung: Erstmals verlieh die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik auf ihrer Jahrestagung 2014 die Wolfgang-Zerna-Ehrenmedaille. Preisträger ist Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach von der TU-Dresden.

Geehrt wurde Curbach für seine besonderen wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Bautechnik. Dabei stellte Laudator Dr.-Ing. Franz-Hermann Schlüter, Mitglied im Fachbeirat Bautechnik, insbesondere den Betonbau als Betätigungsfeld heraus. Manfred Curbach war von 2003 bis 2008 Vorsitzender der damaligen VDI-Gesellschaft Bautechnik. In seiner Amtszeit wurde der erste VDI-Studentenwettbewerb zur Planung einer Rheinbrücke durchgeführt.

Die Wolfgang-Zerna-Ehrenmedaille des VDI wird von der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, in Würdigung der hervorragenden und beispielhaften Persönlichkeit des Namensgebers verliehen. Sie zeichnet besonders verdiente Mitglieder und ehrenamtlich Tätige oder Ingenieure aus, die sich auf den Gebieten der Bautechnik besondere Verdienste erworben haben.

Bild 3. Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach (Mitte) wurde im Beisein von Laudator Dr.-Ing. Franz-Hermann Schlüter und Prof. Dr.-Ing. Wilfried Clauß, Vorsitzender der VDI-GBG, die neue Medaille verliehen. Foto: VDI

2 Veranstaltungen der VDI-GBG

2.1 Jahrestagung 2015 der VDI-GBG

Die 7. Jahrestagung der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik findet vom 24. bis 26. September 2015 in Trier statt.

Im Rahmen der Jahrestagung der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik treffen sich traditionell nicht nur die vier Fachbeiräte Architektur, Bautechnik, TGA und Facility-Management, sondern auch die Leiter der regionalen Arbeitskreise, die Vorsitzenden der Richtlinienausschüsse sowie die Koordinierungskreise GebäudeEnergetik und Building Information Modeling.

Die Jahrestagung gibt die Gelegenheit zum fachlichen Austausch mit den Kollegen aus dem eigenen oder den verbundenen Fachbereichen. Hier können Architekten, Bauingenieure, Gebäudetechniker und Facility Manager gemeinsam die wichtigen Fragen des Berufsstandes diskutieren und das persönliches Netzwerk pflegen und ausbauen.

Neu in diesem Jahr ist eine Vortragssektion für den Nachwuchs. Die Kandidaten für die Nachwuchspreise bekommen so die Gelegenheit nicht nur vor einer kleinen Jury vortragen, sondern quasi coram publico.

Bild 4. Der Veranstaltungsort der 7. VDI Jahrestagung 2015 ist Trier
Foto: Bernd Peters /pixelio.de

Die Jahrestagung 2016 wird in Potsdam stattfinden.

Weitere Informationen erhalten Sie auch über die Geschäftsstelle der VDI-GBG (gbg@vdi.de) oder im Internet www.vdi.de/gbg-jahrestagung.

2.2 Expertenforum Lean Construction am 02. Dezember 2014 (Nachbericht)

Fast 80 Teilnehmern konnte die VDIGesellschaft Bauen und Gebäudetechnik am 2. Dezember 2014 zum VDI-Expertenforum „Lean Construction“ in Düsseldorf begrüßen.

Die eingeladenen Referenten konnten die Teilnehmer der Veranstaltung davon überzeugen, dass die „Lean Construction“-Methode ein wertvolles Werkzeug sein kann, um die Abläufe auf Baustellen zu optimieren, Zeitverluste zu vermeiden und letztendlich die Qualität von Bauwerken zu steigern. Methodische Grundlagen, Beispiele aus der Praxis und Ausblicke auf die zukünftigen Entwicklungen waren die Themen des Expertenforums. Den Teilnehmern bot sich die Gelegenheit zum Austausch zwischen „Lean-Experten“ und Planern/Ingenieuren, die sich zukünftig intensiver mit dem Thema beschäftigen möchten. In einem Grußwort betonte Dr. Michael Max Buehler vom World Economic Forum, dass auch das Weltwirtschaftsforum das Thema Lean Construction als eines der bedeutenden Zukunftsthemen für die Bauwirtschaft identifiziert hat.

Den Eröffnungsvortrag hielt Prof. Dr. Shervin Haghsheno vom Karlsruhe Institut of Technology (KIT). Er gab einen Überblick zum Thema „Lean Construction“ und beleuchtete dabei den Ursprung des „Lean“-Gedankens und die Perspektiven für die deutsche Bauwirtschaft.

Patrick Theis (Drees&Sommer, Stuttgart) konnte in seinem Vortrag anhand von Praxisbeispielen aufzeigen, wie Lean Construction-Management bereits bei über 120 Projekten erfolgreich eingesetzt und weiterentwickelt wurde.

Die Wechselwirkungen zwischen partnerschaftlicher Projektabwicklung und Lean Management im Bauwesen waren das Thema von Dr. Carina Schlabach (Ed. Züblin AG). Hierbei wurde klar, dass Lean Construction den Willen aller Beteiligten erfordert, aber diese Methode letztendlich auch für alle zu zufriedenstellenden Projektergebnissen führt.

Dr. Ailke Heideman (Boston Consulting Group) konnte mit dem Vortrag „Operative Exzellenz im Bauwesen“ die Anwendungsbereiche und Potenziale für Bauunternehmen bei der Anwendung von Lean Construction aufzeigen.

“Applied Lean Construction in the US” lautete der Titel des Vortrags von Major Mark Russell (US Air Force, Stuttgart). Er verdeutlichte, dass die richtige Beurteilung und Einteilung von Zeitfenstern für bestimmte Arbeitspakete unverzichtbar für den Erfolg von Bauprojekten sind.

Dr. Volkmar Hovestadt (digitales bauen GmbH, Karlsruhe) veranschaulichte in seinem Beitrag, dass eine dem „Lean“-Gedanken entsprechende intelligente Aufteilung von Gebäuden in einzelne, sich wiederholende Module die Kommissionierung, Logistik, Montage und Systemintegration vereinfachen und das, ohne die architektonische Qualität eines Gebäudes dabei zu reduzieren.

Im Vortrag „Schlanke Prinzipien und Methoden in Bauprozessen am Beispiel eines Pflegeheims“ stellte Dr. Gerhard Kracht (Kamü Projektbau GmbH) an einem konkreten Beispiel dar, dass Lean Construction es erleichtert, Bauprojekte im vorgesehenen Kostenrahmen, mit möglichst geringem ungeplantem Aufwand und in der gewünschten Qualität fertigzustellen.

Den Abschluss bildete der Vortrag von Cai von Velsen (Hochtief, Essen). Auch er vermittelte anschaulich, dass auf Baustellen prinzipiell großes Potenzial für Prozess- und Ergebnisverbesserungen besteht. Dazu müssen aber alle Beteiligten miteinander kommunizieren, um Prozesse transparent zu halten, Reibungsverluste zu minimieren und letztendlich den Gesamterfolg zu ermöglichen.

Bild 5. Die Referenten beim VDI-Expertenforum in Düsseldorf zeigten, wie Lean Construction die Arbeitsabläufe bei Bauprojekten vereinfacht.

Die vom Tagungsleiter Prof. Dr. Ing. Fritz Berner (Universität Stuttgart) moderierte Schlussdiskussion zeigte noch einmal, dass „Lean Construction" zweifelsfrei als ein wertvolles Instrument zur erfolgreichen Abwicklung von Bauprojekten gesehen wird, aber auch, dass es an einigen Stellen einen Wandel bei der Kommunikationskultur und den Prozessen geben muss, damit die „Lean Construction-Methode" vermehrt gelebt werden kann.

2.3 Die VDI-GBG auf der BAU 2015

Die VDI-Fachgesellschaft Bauen und Gebäudetechnik konnte auch auf der Weltleitmesse „Bau 2015" wieder wichtige Positionen beziehen und war Anlaufpunkt für die zahlreichen VDI-Mitglieder und diejenigen, die sich über die Aktivitäten des größten Deutschen Ingenieurvereins informieren wollten. VDI-Mitglieder, die sich den Fachbereichen Bautechnik oder Architektur zugeordnet haben, konnten auch in 2015 wieder kostenfrei eine Eintrittskarte für die BAU bekommen. Nachfolgend zwei Beispiele für die Aktivitäten des VDI auf der BAU 2015.

Pressekonferenz des VDI zur Digitalisierung der Baubranche

Building Information Modeling, kurz BIM, heißt seit mehreren Jahren das Zauberwort in der Baubranche. Mit einem digitalen Modell werden dabei Planung, Ausführung bis hin zur Nutzung und Bewirtschaftung eines Bauwerkes simuliert und bewertet. „In Deutschland gibt es noch einige Hürden zu überwinden, um die Akzeptanz des BIM soweit zu stärken, dass die Umsetzung in der Praxis über die Anwendung in Musterprojekten hinaus erfolgt", sagte Peter Steinhagen, Vorsitzender des VDI-Fachbeirats Bautechnik auf der Pressekonferenz des VDI auf der BAU 2015.

In einem BIM-Modell können neben geometrischen Informationen (3-D-Modell) weitere Komponenten wie Termine, Kosten und Informationen, die zum Betreiben der Gebäude benötigt werden, in das Modell eingepflegt und von allen Projektbeteiligten genutzt werden. Alle relevanten Gebäudedaten werden mithilfe spezifischer Softwarelösungen digital erfasst, kombiniert und vernetzt. Sie ermöglichen darüber hinaus eine Produktivitätssteigerung des Planungs- und Bauprozesses sowie des Facility-Managements hinsichtlich Kosten, Terminen und Qualität. „Bereits in naher Zukunft wird der Einsatz von BIM, gerade bei größeren Bauprojekten, eine Selbstverständlichkeit sein", so Steinhagen. Daraus resultieren drastische Veränderungen für alle am Bau Beteiligten – denn richtig eingesetzt werden viele kostenrelevante Entscheidungen, auch für das Facility Management bereits in der Entwurfsphase getroffen. Damit wird BIM zum Thema für alle an Planung, Bau und Betrieb beteiligten Personen.

2013 wurde im VDI der Koordinierungskreis Building Information Modeling ins Leben gerufen. Ziel seiner Arbeit, ist die Initiierung und Begleitung von Richtlinienprojekten zur Schaffung des normativen Rahmens für die Anwendung von BIM sowie Empfehlungen an die Politik auszusprechen. „In Deutschland ist das Thema BIM im internationalen Vergleich noch eher untergeordnet", sagt Prof. Rasso Steinmann, Vorsitzender des VDI-Koordinierungskreises. „Zwar sind die Werkzeuge und das Wissen vorhanden, die Nutzung von BIM wird allerdings dadurch erschwert, dass beispielsweise Begriffe nicht eindeutig definiert oder unterschiedlich verwendet werden, das Datenmanagement und die Datenrechte nicht transparent sind, Schnittstellen nicht beschrieben sind und Zuständigkeiten nicht geklärt sind."

Die Schaffung von VDI-Richtlinien sieht Steinmann als entscheidenden Schritt, um dem Thema BIM zum Durchbruch zu verhelfen. Nur mit anerkannten Standards haben sowohl Auftragnehmer als auch Auftraggeber die nötige Sicherheit, um BIM erfolgreich und letztendlich für alle Beteiligten auch gewinnbringend einzusetzen.

Mit der Verabschiedung der Richtlinienentwürfe durch die entsprechenden Gremien wird teilweise schon in 2016 gerechnet.

Bild 6. Prof. Rasso Steinmann, Vorsitzender des VDI-Koordinierungskreises BIM und Peter Steinhagen, Vorsitzender des VDI-Fachbeirats Bautechnik, auf der VDI-Pressekonferenz zum Thema BIM

Weitere Informationen zu den VDI-Aktivitäten zum Thema Building Information Modeling unter www.vdi.de/bim.

Akzeptanz von Großprojekten

Infrastrukturprojekte stoßen in Teilen der Bevölkerung zunehmend auf Kritik. Das gesellschaftliche Klima, in dem diese Projekte geplant und umgesetzt werden, ist im Wandel begriffen. Öffentliche Vorhabenträger und Unternehmen vieler Branchen müssen sich auf diese veränderten Rahmenbedingungen für Infrastruktur-, Industrie- und Bauprojekte einstellen. Der VDI hat dazu, basierend auf seiner Richtlinie VDI 7001 „Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten – Standards für die Leistungsphasen der Ingenieure" ein Schulungskonzept entwickelt.

In der Richtlinie VDI 7001 finden sich in komprimierter Form Grundprinzipien und Standards, wie eine „gute" Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Bau- und Infrastrukturprojekten gestaltet werden soll. Sie richtet sich vor allem an Vorhabenträger, Generalplaner, Ingenieur-/Planungsbüros, Projektsteuerer, ausführende Unternehmen, Behörden und Bauämter sowie an Verbände und Bürgerinitiativen. Die Richtlinie kann auch für kleinere Planungsvorhaben (beispielsweise Umgehungsstraßen) angewendet werden.

Neben den allgemeinen Regeln formuliert die Richtlinie VDI 7001 für jede einzelne Leistungsphase Standards für gute Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung. Sie orientiert sich dabei an den neun Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI).

Die Anwendung der Richtlinie VDI 7001 soll durch Schulungen unterstützt werden. Die Richtlinie VDI 7001 Blatt 1 soll dies erleichtern und gleichzeitig die Qualität von Schulungen sichern. Sie gilt für Schulungen zum Zweck der Weiterbildung von interessierten Personen im Bereich Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten. In der Richtlinie VDI 7001 Blatt 1 sind erforderliche Qualifikationen von Referenten beschrieben. Auch werden Qualitätsmerkmale für Schulungseinrichtungen und Schulungsinhalte formuliert.

Bild 7. Staatssekretär Rainer Bomba (Mitte), Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, informiert sich auf dem VDI-Stand zur Richtlinie VDI 7001
Foto: Messe München GmbH

Die Richtlinie ist im Februar 2015 erschienen und kann zum Preis von 51,60 Euro beim Beuth Verlag bestellt werden (www.beuth.de).Weitere Informationen auf www.vdi.de/7001

2.4 VDI als ideeller Mitträger des Deutschen Bautechnik-Tages 2015 in Düsseldorf

Der Deutsche Bautechnik-Tag, zu dem erneut rund 1100 Teilnehmer kamen, fand am 23. und 24. April 2015 im CCD Congress Center Düsseldorf statt. Im Fokus des zweitägigen Kongresses standen bautechnische Lösungen und Entwicklungen. Veranstalter ist der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV), der VDI unterstützte den alle zwei Jahre stattfindenden Bautechniktag erstmalig als ideeller Mitträger. Das Thema in diesem Jahr lautete: „Städte und Regionen im Wandel – Herausforderungen an Gesellschaft und Technik".

Vertreter von Auftraggebern und Bauherren, Bauunternehmen, Ingenieur- und Architekturbüros, Produktherstellern, Studierenden, Verwaltung und Wissenschaft referierten zu folgenden Themen:

- Wandel von Städten und Metropolregionen – Meine Stadt 2030,
- Umnutzung und Revitalisierung von Industrieflächen,
- Folgen von Konzentration und Zentralisierung: Stadtverdichtung, Urbanisierung,
- Bauen im innerstädtischen Bereich,
- Versorgungssituation (u. a. Folgen der Energiewende, kommunale Energieversorgung),
- Vernetzung von Verkehrsträgern (Straße, Schiene, Wasser, Flughäfen),
- Ertüchtigung der Infrastruktur (Brücken, Bahn, Ver- und Entsorgung),
- Abwicklung von Großprojekten,
- Beispiele aus Europa und der Welt,
- Besondere Bautechnik bei Industrieanlagen,
- Forschung, Entwicklung und Innovation,
- Veränderte Anforderungsprofile an Bauwerke aus Mobilität, Demografie und Arbeitswelt,
- Lebenszyklusbetrachtung von Bauwerken,
- Building Information Modeling – Paradigmenwechsel für Strukturen und Prozesse,
- Das Gebäude als „Maschine" – Vernetzung von Technikspärten,
- Kooperationsmodelle – Die Technik als verknüpfendes Element.

VDI-Direktor Ralph Appel war Mitglied im Programmjury des Bautechniktages und moderierte die Session „Großprojekte".

Bild 8. DBV-Vorsitzender Klaus Pöllath, VDI-Direktor Ralph Appel, Frank Jansen und DBV-Vorstandsmitgleid Dieter Straub (v. r. n. l) auf dem VDI-Stand beim Deutschen Bautechniktag
Foto: DBV/Dariusz Misztal

2.5 VDI als ideeller Mitträger des 3. Internationalen BBB-Kongress 2015 in Aachen

Am 17. September 2015 findet in Aachen der 3. Internationale BBB-Kongress statt. BBB steht für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement und umfasst das breite Spektrum der Baubetriebswissenschaften. Initiatoren, Organisatoren und Moderatoren der Internationalen BBB-Kongressreihe sind die Professoren des BBB-Netzwerks der Technischen Universitäten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Die VDI Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik ist ideeller Unterstützer des BBB-Kongresses.

Mit der Reihe der Internationalen BBB-Kongresse, die kontinuierlich alle zwei Jahre stattfinden, wurde ein besonderes Format geschaffen: Bauunternehmen, öffentliche und private Auftraggeber, Ingenieurbüros, Sachverständige, Baurechtler und wissenschaftlich Interessierte berichten und erfahren über Fragestellungen, Probleme, Chancen und Entwicklungen, die auf das Profil des jeweiligen Kongresses konzentriert sind. Angeregt wird dieser Prozess durch die Referate ausgewählter Experten. Die Professoren übernehmen die Programm- und Themengestaltung sowie die Moderation der externen Beiträge.

Die Ergebnisse werden in die Öffentlichkeit getragen (Tagungsband als Buchveröffentlichung) und leisten somit einen wertvollen Beitrag zur technischen, fachlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung für eine nachhaltig gestaltete und wertorientiert gebaute Umwelt.

Der 1. Internationale BBB- Kongress wurde 2011 mit großem Erfolg an der TU Dresden ausgerichtet, der 2. Internationale BBB-Kongress wurde 2013 mit noch größerer Resonanz von der TU Darmstadt organisiert. Für den 3. Internationalen BBB-Kongress in 2015 wurde die RWTH Aachen mit dem hochaktuellen Focusthema „Infrastruktur" als Veranstaltungsort ausgewählt.
Das bewährte Format der Kongressreihe wird fortgeführt: Ausgewählte Experten aus der Praxis berichten über aktuelle Fragestellungen, Probleme, Chancen, Entwicklungen und geben Best-Practice-Reports.

Weitere Informationen zum Kongress finden Sie hier: www.bbb-kongress.de

3 Nachwuchsförderung / VDI-Studierendenwettbewerbe

3.1 Hochschule Coburg gewinnt VDI-Wettbewerb „Energieeffizientes Hochhaus"

Nach einem halben Jahr intensiver Arbeit am VDI-Wettbewerb Integrale Planung „Energieeffizientes Hochhaus" haben die Studierenden am 22. Mai 2015 in der VDI-Garage in Leipzig ihre Entwürfe der Jury vorgestellt. Am Ende des Tages hatte das Team der Hochschule Coburg, bestehend aus Eva-Maria Ulrich, Ali Tarek Ali El-Elemi, Kevin Gallas-Mayer, Kai Hofmann und Sebastian Probst, mit seinem Entwurf die Nase vorn.

Bild 9. Siegerteam der Hochschule Coburg beim VDI-Wettbewerb „Energieeffizientes Hochhaus" in Leipzig Foto: Sven Winter

Ein sehr gelungenes integrales Gebäudekonzept mit einer guten städtebaulichen Integration und einer auf die unterschiedlichen Funktionen ausgerichteten Gestaltung, kombiniert mit einer durchdachten baulichen und technischen Planung, machten die Arbeit zum Siegerentwurf. Gleichzeitig berücksichtigte das Team der Hochschule Coburg die entscheidenden energetischen, nachhaltigen und innovativen Aspekte des modernen Bauens. So lautete das Urteil der Jury.
Den zweiten Platz sicherte sich das Team der Universität Karlsruhe (KIT) wiederum vor der Hochschule Coburg. Die Jury vergab zudem einen Anerkennungspreis an das Team der Universität Stuttgart für seinen innovativen Entwurf in einer Holz/Beton-Hybridbauweise.

Insgesamt haben 43 Teams von 13 Hochschulen ihre Entwürfe zum VDI-Wettbewerb „Energieeffizientes Hochhaus" eingereicht. Jedes Team musste drei Planwerke sowie einen Gebäudesteckbrief anfertigen, der die wichtigsten Informationen zum Entwurf enthielt. Die besten 21 Teams wurden zur Endausscheidung nach Leipzig eingeladen. Anhand ihrer erstellten Pläne bekamen die Studierenden-Teams dort zehn Minuten Zeit, die besten Aspekte ihrer Entwürfe der Fachjury zu präsentieren.
Die interdisziplinär besetzte Jury diskutierte lange und intensiv bevor die Preisträger feststanden. Direkt am Abend fand die Preisverleihung mit anschließendem Get-together statt. Die Siegerteams werden zusätzlich zur diesjährigen Jahrestagung der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik nach Trier eingeladen.
Der VDI-Wettbewerb Integrale Planung findet jährlich zu einem wechselnden Thema statt. Organisiert wird der Wettbewerb durch die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik. Die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) ist ideeller Träger. In diesem Jahr wurde der Wettbewerb zudem unterstützt durch die Caspar Ludwig Opländer Stiftung, bauforumstahl e.V., die Landeshauptstadt Düsseldorf, IQ Real Estate und die Firma Trox.
Die Aufgabenstellung in diesem Jahre lautete: Auf dem bisherigen Standort der Fachhochschule Düsseldorf in Düsseldorf-Golzheim soll ein gemischt-genutztes Hochhaus der neusten Generation entstehen. Für eine Belebung dieses Stadtteils, insbesondere in den Abendstunden, kommt der Entwicklung eines qualitätvollen neuen Wohnstandortes nahezu inmitten des Quartiers besondere Bedeutung zu. Die Baufläche befindet sich in einem von Büro- und Hotelnutzungen geprägten Gebiet, das in den 1960er-Jahren als Entlastung der Innenstadt unmittelbar nördlich von dieser entwickelt wurde. Umgeben wird das Gebiet von verschiedenen Wohnlagen, die teilweise aufgrund ihrer Nähe zum Rhein zu den bevorzugten Wohnquartieren in Düsseldorf gehören.
Voraussetzung zur Teilnahme beim VDI-Wettbewerb Integrale Planung ist, dass sich die Teams interdisziplinär aus Architekten, Bau- und TGA-Ingenieuren und Ingenieuren des Facility-Managements zusammensetzen.

3.2 VDI-Wettbewerb Integrale Planung WS 2015/2016

Hauptaufgabe des VDI-Wettbewerbes Integrale Planung für das Wintersemester 2015/2016 ist die Umgestaltung des Bahnhofs Köln-Deutz/Messe in einen modernen Umsteigebahnhof mit Optimierung der Umsteigebeziehungen und Verbesserung der Erschließung durch eine neue zentrale Erschließungsebene mit funktionaler Verknüpfung der drei Ebenen. Eine ganzheitliche, überfakultative Neuorganisation des Bahnhofs unter Einbindung des historischen Empfangsgebäudes auf der Südseite, die Neuorganisation der fußläufigen Erschließung des Bahnhofes unter Gesichtspunkten der Barrierefreiheit und die Entwicklung eines neuen Entréegebäudes unter den künftigen Gleisen im Norden als wegweisender Übergang zum Messequartier stehen dabei im Mittelpunkt der Aufgabe.
Teilnahmeberechtigt sind Studierende der Architektur, des Bauingenieurwesens, der Gebäudetechnik und des Facility-Managements oder verwandter Studienrichtungen an deutschsprachigen Universitäten und Fachhochschulen.
Zugelassen sind Teams von zwei bis sechs Personen bestehend aus mindestens zwei der genannten Fachrichtungen.

Bild 10. VDI Wettbewerb Integrale Planung 2015/2016 „Bahnhof Köln Messe/Deutz"

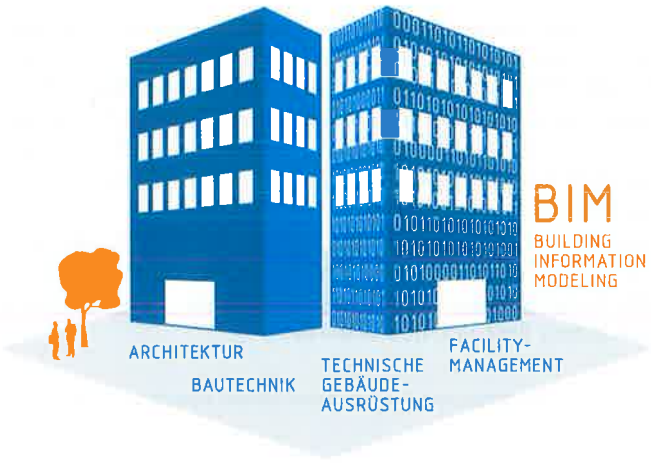


Bild 11. Im Koordinierungskreis BIM, arbeiten Vertreter aus allen Fachbereichen der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik mit.

Ein Team bestehend aus drei bis vier Studierenden wird empfohlen.
Die Teilnahme am Wettbewerb kann im Zusammenhang mit einer Studien-, Bachelor-, Master-, oder Diplomarbeit stehen. Dies ist jedoch nicht Voraussetzung zur Teilnahme.
Terminplan:

Ausgabe der Ausschreibungsunterlagen
Mitte August 2015
Kick-Off-Veranstaltung in Köln
06. November 2015
Anmeldung zum Wettbewerb
ab Februar 2016
Abgabe der Wettbewerbsbeiträge
31. März 2016

Weitere Einzelheiten zum Wettbewerb „Bahnhof Köln-Deutz/Messe" sowie die kompletten Ausschreibungsunterlagen finden Sie Internet unter www.vdi.de/bahnhof

4 VDI GBG Koordinierungskreise

VDI GBG Koordinierungskreise haben das Ziel, die Aktivitäten zu bestimmten Themenkomplexen innerhalb der vier Fachbereiche Architektur, Bautechnik, Facility Management und Technische Gebäudeausrüstung zu initiieren, koordinieren und zu begleiten. Die fachbereichsübergreifende Koordinierungskreise sprechen hier Empfehlungen an die VDI Fachbeiräte aus und sollen die Anlaufpunkte für alle fachrelevanten Aktivitäten des VDI sein.

4.1 VDI – Koordinierungskreis BIM

Ziel der Arbeit des Koordinierungskreises, bei dem Vertreter aus allen Fachbereichen der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (Architektur, Bautechnik, Facility Mangement und Technische Gebäudeausrüstung) mitarbeiten, ist die Initiierung und Begleitung von Richtlinienprojekten zur Schaffung eines normativen Rahmens für die Anwendung von BIM. Auch die Formulierung von Statements und Empfehlungen an die Politik sind Aufgabe des Koordinierungskreises.
Zurzeit sind in den bisher vom Koordinierungskreis BIM ins Leben gerufenen Richtliniengremien über 80 ehrenamtliche Fachexperten aktiv. Die Richtlinientitel lauten:

- VDI 2552 Blatt 1 „BIM – Rahmenrichtlinie",
- VDI 2552 Blatt 2 „BIM – Begriffe und Definitionen",
- VDI 2552 Blatt 3 „BIM – Mengen/Controlling",
- VDI 2552 Blatt 4 „BIM – Anforderungen an den Datenaustausch",
- VDI 2552 Blatt 5 „BIM – Datenmanagement",
- VDI 2552 Blatt 6 „BIM – Anforderungen für das Facility Management",
- VDI 2552 Blatt 7 „BIM – Prozesse",
- VDI 2552 Blatt 8 „BIM – Qualifikationen".

Die bereits in September 2014 erschienen VDI-Agenda BIM wurde im April 2015 überarbeitet, eine weitere Aktualisierung wird noch in 2015 erscheinen. Hier wird es auch eine englischsprachige Fassung geben, gerade vor dem Hintergrund der begonnenen internationalen Standardisierung eine wichtiges Instrument um auf die nationale Regelsetzung beim VDI hinzuweisen.

Bild 12. Neuauflage der VDI Agenda BIM

Weitere Informationen zum Thema www.vdi.de/bim

4.2 VDI – Koordinierungskreis GebäudeEnergetik

In allen Fachbereichen der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik spielt das Thema Gebäudeenergetik eine große Rolle. Energie, Nachhaltigkeit und Lebenszyklus sind wesentliche Zukunftsthemen, die nur fachbereichsübergreifend bearbeitet werden können.
Der Koordinierungskreis GebäudeEnergetik der VDI – GBG hat das Ziel, diese koordinative Aufgabe zu übernehmen, um so Hilfestellungen und Antworten auf die Herausforderungen, die durch politische und klimatische Veränderungen an die Entwicklung und Sanierung unserer Bauwerke und Städte gestellt werden, geben zu können.

Durch Kommentierung aktueller Entwicklungen, beispielsweise von Gesetzentwürfen, kann der Koordinierungskreis GebäudeEnergetik, unter Betrachtung aller Fachbereiche der VDI-GBG, Position beziehen zu den wesentlichen Fragen der Energiepolitik.
Zentrale Themen der GebäudeEnergetik im VDI:

- Energetische Bewertung,
- Energiebedarf,
- Energieeffizienz,
- Energetische Sanierung,
- Lebenszyklusbetrachtungen,
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen,
- Komfort,
- Nachhaltigkeit.

Weitere Informationen zum Thema www.vdi.de/gebaeudeenergetik

5 VDI-Fachauschuss Abbruch/ Sanierung nimmt Arbeit auf

Das Themenfeld Abbruch/Sanierung wurde als eines der wichtigsten Zukunftsthemen des VDI-Fachbereichs Bautechnik identifiziert. Der aus diesem Grund ins Leben gerufenen Fachausschuss Abbruch/Sanierung hat in 2015 seine Arbeit aufgenommen. Als Vorsitzender des Fachauschusses wurde Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle (Universität Dresden) gewählt, Stellvertreter ist Martin Kessel (Arcadis, Karlsruhe). Der Fachausschuss hat neben ersten Empfehlungen an den Fachbeirat Bautechnik zur Erweiterung des Richtlinienwerks, bereits eine viel beachtete Publikation, das VDI Diskussionspapier „Asbesthaltige Fliesenkleber, Putze und Spachtelmassen in Gebäuden“ veröffentlicht.

VDI Diskussionspapier „Asbesthaltige Fliesenkleber, Putze und Spachtelmassen in Gebäuden“

Auch 20 Jahre nach dem bundesweiten Asbestverbot geht von der ehemaligen „Wunderfaser“ noch immer Gefahr aus. Durch weiterentwickelte Analyseverfahren kann Asbest seit einigen Jahren auch bei Produkten mit geringem Faseranteil nachgewiesen werden. So zeigt sich, dass asbesthaltige Fliesenkleber, Putze und Spachtelmassen weit verbreiteter und gefährlicher sind als gedacht. Die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (VDI-GBG) hat hierzu nun gemeinsam mit dem Gesamtverband Schadstoffsanierung e. V. (GVSS) ein Diskussionspapier veröffentlicht, das auf der GVSS-Fachkonferenz Asbest am 18. Juni 2015 in Essen vor cicra 200 Teilnehmern präsentiert wurde.
Es muss davon ausgegangen werden, dass etwa ein Viertel der in den Bauboom-Jahren vor 1995 errichteten Bestandsgebäude in Westdeutschland asbesthaltige Baustoffe an Innenwänden aufweisen. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung registrierte allein in den vergangenen drei Jahren rund 1.500 Todesfälle im Zusammenhang mit Asbest und 3.700 neue Fälle von Asbestose oder Mesotheliom. Dabei handelt es sich aber nur um anerkannte Fälle aus dem Arbeitsleben. In Fachkreisen wurde bereits durch verschiedene Veröffentlichungen über die Verbreitung verdeckt eingebauter asbesthaltiger mineralischer Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber berichtet. Was bislang aber fehlt, sind klare Leitlinien zur erforderlichen Untersuchung und Bewertung des Baubestands sowie Hinweise zu deren fachgerechter Sanierung. Diese Lücke soll zukünftig durch eine neues Blatt in der Richtlinienreihe VDI 6202 „Schadstoffbelastete bauliche und technische Anlagen“ geschlossen werden. Das Diskussionspapier dient der frühen Öffentlichkeitsbeteiligung bei diesem Thema.
Eigentlich darf kein Gesundheitsrisiko bestehen, wenn ein Fliesenleger Fliesen von der Wand stemmt, ein Handwerker Gipskartonwände bei der Sanierung demontiert oder ein Mieter ein Loch in die Wand bohrt. Doch Untersuchungen in dem VDI-Diskussionspapier zeigen, dass hier durch das Vorhandensein von Asbest teils erhebliche gesundheitliche Gefahren ausgehen können. Hinzu kommt: Während eine Wellasbest-Dacheindeckung mit bloßem Auge gut zu identifizieren ist, erkennt man asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber kaum. Daher können Bewohner, Nutzer und Handwerker in Gebäuden unerkannt gegenüber Asbest exponiert werden.
Angepasste Untersuchungs- und Analysemethoden ermöglichen es heute, verdeckt eingebaute asbesthaltige Baustoffe trotz ihrer zum Teil unregelmäßigen Verteilung sicher in Gebäuden zu identifizieren. Auch die Messungen der Asbestfaserbelastung in der Raumluft sind weiterentwickelt worden. Sie ermöglichen es beispielsweise, im Rahmen von Abbrucharbeiten trotz der hohen sonstigen Staubbelastungen die Faserbelastung zu erkennen. Diese Entwicklungen sind die Voraussetzung dafür, mit diesen bislang kaum beachteten, jedoch weit verbreiteten Asbestverwendungen adäquat umzugehen. Hierdurch wird ein wirksamer Beitrag geliefert, um den Trend der immer noch steigenden Asbesterkrankungen zukünftig umzukehren.
Das Ziel des in Arbeit befindlichen neuen Richtlinienblatts in der Richtlinienreihe VDI 6202 ist, alle Beteiligten qualifiziert vor den Gefahren weit verbreiteter und zugleich bislang kaum beachteter Asbestvorkommen zu schützen.

Bild 13. Diskussionspapier Asbest

Das komplette Diskussionspapier „Asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber in Gebäuden“ steht kostenfrei zum Download zur Verfügung unter: www.vdi.de/abbruch-sanierung.

6 Richtlinienarbeit des VDI Fachbereichs Bautechnik

Sofern die folgenden VDI-Richtlinien bereits als Weißdruck oder Gründruck (Entwurf) erschienen sind, können sie beim Beuth Verlag in Berlin (Tel. +49 30 2601 – 2260) oder online unter www.vdi.de/richtlinien bzw. www.beuth.de bestellt werden.
Ziel ist es bei allen VDI-Richtlinienprojekten, möglichst alle interessierten Kreise in die Regelsetzung einzubinden. Bei Interesse an einer Mitarbeit, oder mehr Informationen zum Thema wenden Sie sich direkt an den VDI Fachbereich Bautechnik www.vdi.de/bau

6.1 VDI 2067 Blatt 50

Die Richtlinienreihe 2067 ist historisch bedingt, in seiner heutigen Form eine auf technische Anlagen ausgerichtete Richtlinie. In der Praxis werden über den wirtschaftlichen Vergleich von technischen Anlagen hinaus, wie diese auch als Sonderleistung in der HOAI verankert wurden, zunehmend weitere Bauteile zum Vergleich abgefragt. Für die Bereiche der Architektur und Bautechnik wurden bisher keine Hilfestellungen zur Ermittlung eines wirtschaftlichen Vergleichs erarbeitet. Die Anwendungsgrundlagen der technischen Anlagen sind nicht vollständig übertragbar und bedürfen zum Teil auch fachlicher Ergänzung. Zudem unterscheidet sich die Anwendergruppe und führt unter Betrachtung aller Umstände zu dem Bedarf einer Erweiterung der Richtlinie auf eine Bauteilbezogene Betrachtung. Eine Vergleichbarkeit, Abgrenzungsregeln und Anwendungsfreundlichkeit wie diese für die Einführung einer Erweiterung in die Praxis von Bedeutung ist, muss in den Kontext der Lebenszyklusbetrachtung gestellt werden. Die Veröffentlichung des Entwurfs der Richtlinie ist für 2016 geplant.

www.vdi.de/2067

6.2 Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling"

Im Rahmen der Aktivitäten des VDI Koordinierungskreises Building Information Modeling" haben sechs Richtliniengremien in 2014 ihre Arbeit aufgenommen (Abschnitt 4.1):

- VDI 2552 Blatt 1 „BIM – Rahmenrichtlinie",
- VDI 2552 Blatt 2 „BIM – Begriffe und Definitionen",
- VDI 2552 Blatt 3 „BIM – Mengen/Controlling",
- VDI 2552 Blatt 4 „BIM – Anforderungen an den Datenaustausch",
- VDI 2552 Blatt 5 „BIM – Datenmanagement",
- VDI 2552 Blatt 6 „BIM – Facility Management".

Es wird angestrebt, die ersten Entwürfe in der ersten Hälfte 2016 zu veröffentlichen

In 2015 wurden zwei weitere BIM-Richtlinienprojekte beschlossen, beide Gremien haben Ihre Arbeit aufgenommen:

- VDI 2552 Blatt 7 „BIM – Prozesse",
- VDI 2552 Blatt 8 „BIM – Qualifikationen".

www.vdi.de/bim

6.3 VDI 6200 „Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung"

Die im Februar 2010 erschienene Richtlinie wurde im September 2015 überprüft und es wurde festgestellt, dass diese weiterhin unverändert gültig ist.

Die umfangreichen Erfahrungen beim Arbeiten mit der Richtlinie zeigen, dass Immobilienbesitzer und Verfügungsberechtigte auch weiterhin die regelmäßige Überprüfung der Standsicherheit auf Grundlage der Richtlinie VDI 6200 durchführen lassen sollten, um ihrer in den Bauordnungen hinterlegten Verpflichtungen zur Sicherstellung der Standsicherheit ihrer Gebäude nachzukommen.

www.vdi.de/6200

6.4 VDI 6201 Blatt 1 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung – Grundlagen, Anforderungen, Modellbildung"

Der Richtlinienausschuss zur VDI 6201 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung" unter dem Vorsitz von umfasst gegenwärtig 14 Fachleute aus allen relevanten Bereichen: Hersteller und Anwender von Softwareprogrammen, Hochschullehrer, Wissenschaftler und Tragwerksplaner.

Hauptziele des Gremiums zur VDI 6201 unter dem Vorsitz von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte, Bergische Universität Wuppertal waren:

- Mehr Sicherheit vor Fehlanwendungen von Bausoftware und insofern Vorbeugung vor Bauwerksschäden oder Unglücksfällen,
- Größere Verbreitung und Anerkennung deutscher Softwareprogramme im Ausland,
- Anhebung der Qualität der Bausoftware und Aufbau von Hürden für unseriöse oder unqualifizierte Anbieter.

Diskutiert wurden Fragen wie: Kann man Mindest- und/oder Qualitätsanforderungen an elektronische Bemessungsverfahren definieren? Wie gut stimmen die Tragwerks- und Rechenmodelle mit der Realität überein? Wie unterscheiden sich die Ergebnisse marktgängiger EDV-Programme bei der Anwendung auf gleiche Systeme?

Im Anhang der Richtlinie sind Selbstverpflichtungserklärungen zu finden, die sowohl für die Softwareherstellung, als auch für deren Anwendung das besondere Verantwortungsbewusstsein im Zusammenhang mit Softwaregestützter Tragwerksberechnung deutlich machen sollen.

Der Weißdruck der Richtlinie VDI 6201 Blatt 1 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung" erscheint im Herbst 2015.

www.vdi.de/6201

6.5 VDI 6201 Blatt 2 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung – Verifikationsbeispiele

Im Rahmen der Erarbeitung der Richtlinie VDI 6201 Blatt 1 wurden einige Verifikationsbeispiele erarbeitet. Anhand der Verifikationsbeispiele soll die Möglichkeit bestehen, Tragwerksberechnungssoftware zu überprüfen. Die Anforderungen an die Softwarehersteller und Softwareanwender sowie die Struktur der Verifikationsbeispiele werden in Blatt 1 beschrieben. Ob die Softwareprodukte richtige Lösungen für Tragwerksberechnungen liefern, soll anhand der für Blatt 2 erarbeiteten Verifikationsbeispiele überprüfbar werden. Ergänzend zu den Berechnungsbeispielen in Blatt 2 sollen zukünftig weitere Beispiele erarbeitet werden, die dann in Überarbeitungen der Richtlinie oder auch auf der Internetseite zur VDI 6201 veröffentlicht werden können.

Die Veröffentlichung wird für Anfang 2016 angestrebt.

www.vdi.de/6201

6.6 VDI/GVSS 6202 „Schadstoffbelastete bauliche und technische Anlagen" Blatt 1

Stoffe wie Asbest, KMF, PCB, PAK, PCP, Lindan oder DDT wurden in der Vergangenheit wegen ihrer besonderen Eigenschaften in vielfältiger Verwendung Bestandteil von

Baustoffen und Bauteilen im Hoch-, Tief- und Anlagenbau. Zwischenzeitlich stellte sich durch auftretende Krankheits- und Todesfälle heraus, dass diese Substanzen auch Gefahren für Mensch und Umwelt mit sich bringen.
Weitere Belastungen resultieren aus biologischen Stoffen. Stellvertretend seien hier der Schimmelbefall an der Bausubstanz oder auch Kontaminationen durch Taubenkot (z. B. auf Dachböden) genannt.
Bei allen Sanierungsmaßnahmen an Schadstoffbelasteten Gebäuden müssen Eigentümer, Betreiber, Planer, Gutachter und ausführende Unternehmen ein breites Spektrum an Vorschriften und Richtlinien beachten.
Die Richtlinie VDI/GVSS 6202 Blatt 1 „Schadstoffbelastete bauliche und technische Anlagen – Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten" beinhaltet Entscheidungshilfen, Handlungsanleitungen und Bewertungskriterien entsprechend dem Stand der Technik. Es werden wesentliche Aspekte für den Ablauf einer Schadstoffsanierung – von der Erhebung bis zur Entsorgung – dargelegt. Ergänzend zu den Regelungen der VOB (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) werden Empfehlungen für erforderliche werkvertragliche Regelungen gegeben.

www.vdi.de/6202

6.7 VDI 6202 Blatt 2 „Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen - Erkundung und Bewertung"

In Abhängigkeit von deren Nutzung und Alter müssen bauliche und technische Anlagen hinsichtlich etwaiger Schadstoffbelastungen untersucht werden. Diese Notwendigkeit kann sich jeweils im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Instandhaltung, dem Umbau sowie dem Abbruch dieser Objekte ergeben. Die Untersuchungsergebnisse und deren Bewertung sind für die Gesundheit der Nutzer und anderer am Betrieb, Umbau oder Abbruch Beteiligter von großer Bedeutung. Ebenso stellt die Erfassung und Bewertung von Schadstoffbelastungen einen wichtigen Faktor bei der Wertermittlung von baulichen und technischen Anlagen dar.
In Abhängigkeit des jeweiligen Anlasses und der jeweiligen Zielsetzung müssen Art und Umfang der Untersuchung festgelegt werden. So kommt der Untersuchung etwaiger Raumluftbelastungen bei in Nutzung befindlichen Gebäuden eine zentrale Bedeutung zu. Dagegen ist beispielsweise im Vorfeld von Abbruchmaßnahmen die stoffliche Zusammensetzung der anfallenden gefährlichen Abfallstoffe aus der Bausubstanz von Interesse.
Für die Verwendung der jeweiligen gutachterlichen Erkenntnisse ist wichtig zu wissen, nach welcher Methodik das Gutachten erstellt worden ist. Der Anwender der gutachterlichen Erkenntnisse muss wissen, mit welcher statistischen Zuverlässigkeit die dargelegten Informationen gewonnen worden sind. Ebenso muss nachvollziehbar sein, wie und wonach das jeweilige Objekt untersucht worden ist.
Für eine sachgerechte Beauftragung, aber auch für eine sachgerechte Verwendung der jeweiligen Ergebnisse, sollten Art und Umfang der entsprechenden Untersuchungen klar geregelt sein. In Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung müssen Untersuchungsparameter und Probenahmepläne festgelegt werden. Ebenso muss die Bewertung der gewonnenen Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund der jeweiligen Fragestellung erfolgen.
Diesen Aspekten geht die VDI 6202 Blatt 2 „Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen – Erkundung und Bewertung" nach. Das Gremium hat die Arbeit aufgenommen, die Veröffentlichung des Richtlinienentwurfs ist für 2017 geplant.

www.vdi.de/6202

6.8 VDI 6202 Blatt 3 „Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen - Asbest"

Im September 2013 hat das Gremium zum Blatt „Erkundung und Bewertung" der Richtlinienreihe „VDI 6202 Schadstoffbelastete bauliche und technische Anlagen" die Arbeit aufgenommen. Die Arbeiten an der Richtlinie haben gezeigt, dass es hinsichtlich der betrachteten Stoffe sinnvoll ist, sich zunächst auf einen Schadstoff zu konzentrieren. VDI 6202 Blatt 3 wird sich mit dem Thema „Asbest" beschäftigen, eine Grundlage der Arbeiten ist das Diskussionspapier „Asbesthaltige Fliesenkleber, Putze und Spachtelmassen in Gebäuden" (Abschnitt 5).

www.vdi.de/6202

6.9 VDI 6202 Blatt 20 „Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen - Qualifizierung von Personal"

Blatt 10 der Richtlinienreihe wird zurzeit erarbeitet. Dieses beschreibt Inhalt, Umfang und Anforderungen an die Qualifizierungen der Beteiligten, die zur Anwendung der Richtlinie VDI/GVSS 6202 Blatt 1 erforderlich sind. Im Einzelnen werden hier beispielsweise folgende Inhalte beschrieben:

- Zielgruppen der Qualifizierung,
- Qualifizierungsvoraussetzungen,
- Mindestanforderungen an die Schulungsanbieter und an die Qualifikationen der Referenten und Prüfer,
- Inhalte und Rahmenbedingungen der Schulungen,
- Art und Umfang der Prüfung.

Das Erscheinen der Richtlinie ist für das Frühjahr 2016 geplant.

www.vdi.de/6202

6.10 Richtlinienreihe VDI/BV-BS 6205 „Transportanker und Transportankersysteme für Betonfertigteile"

Diese Richtlinienreihe gilt für das Herstellen, Inverkehrbringen, Planen und Anwenden von Transportankern und Transportankersystemen zum Heben und Versetzen von Betonfertigteilen. Transportankersysteme bestehen aus einem im Betonfertigteil dauerhaft verankerten Transportanker und dem daran vorübergehend befestigten zugehörigen Lastaufnahmemittel oder Anschlagmittel.
Sie enthält die allgemeinen Regelungen zu den Anwendungsgebieten und dem Sicherheitskonzept.
Die in dieser Richtlinienreihe enthaltenen technischen Regeln schließen andere nationale oder europäische Festle-

gungen, die ein mindestens gleichwertiges Sicherheitsniveau gewährleisten, nicht aus.
Sie gilt für Transportanker und Transportankersysteme, unabhängig davon, ob sie für spezielle Anwendungen entwickelt und gefertigt oder serienmäßig produziert wurden.
Die mehrmalige Verwendung von Transportankern bei unterschiedlichen Anwendungen, zum Beispiel beim Heben von Krangewichten sowie bei Dauerbefestigungen, wird durch diese Richtlinie nicht erfasst. Die Richtlinienreihe besteht aus drei Einzelblättern:

- VDI/BV-BS 6205 Blatt 1 „Grundlagen, Bemessung, Anwendungen; Allgemeine Grundlagen“,
- VDI/BV-BS 6205 Blatt 2 „Grundlagen, Bemessung, Anwendungen; Herstellen und Inverkehrbringen“,
- VDI/BV-BS 6205 Blatt 3 „Grundlagen, Bemessung, Anwendungen; Planung und Anwendung“.

Neben der Deutsch/Englischen Fassung wurde die Richtlinie auf Anfrage inzwischen auch ins Polnische und ins Tschechische übersetzt – ein Beleg dafür, dass VDI-Richtlinien auch außerhalb Deutschlands angewendet werden.

www.vdi.de/6205

6.11 VDI/BV-BS 6206 Blatt 1 „Gebäude aus wiederverwendbaren Raumzellen in Stahlrahmenbauweise; Grundlagen“

Bei der Planung, der Errichtung und dem Betrieb von Gebäuden aus wiederverwendbaren Raumzellen in Stahlrahmenbauweise sind besondere Anforderungen zu beachten, zum Beispiel bezüglich Standsicherheit, Bauphysik, Energieeffizienz und Rückbau. Die neu erschienene Richtlinie VDI/BV-BS 6206 Blatt 1 „Gebäude aus wiederverwendbaren Raumzellen in Stahlrahmenbauweise – Grundlagen“ gibt Hilfestellung.
Gebäude, die aus Raumzellen in Stahlrahmenbauweise zusammengesetzt sind, können in technisch unterschiedlichen Gebäudekonfigurationen eingesetzt und beliebig oft demontiert und an anderer Stelle und mit anderer Funktion wieder aufgestellt werden. Die Nutzungsdauer ist hierbei jeweils auf einen bestimmten Zeitraum begrenzt. Sowohl bei der Planung als auch bei der Errichtung und dem Betrieb solcher Gebäude sind besondere Anforderungen zu beachten, beispielsweise bezüglich Standsicherheit, Bauphysik, Energieeffizienz und Rückbau.
Die Richtlinie Richtlinie VDI/BV-BS 6206 Blatt 1 „Gebäude aus wiederverwendbaren Raumzellen in Stahlrahmenbauweise – Grundlagen“ beschreibt die Grundlagen für die Planung, Errichtung und den Rückbau von Gebäuden die aus Raumzellen in Stahlrahmenbauweise erstellt worden sind. Weitere Blätter der Richtlinienreihe VDI/BV-BS 6206 behandeln Einzelthemen wie den Auf- und Abbau und sind in Vorbereitung.
Herausgeber der Richtlinie VDI/BV-BS 6206 Blatt 1 „Gebäude aus wiederverwendbaren Raumzellen in Stahlrahmenbauweise – Grundlagen“ ist die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik. Die Richtlinie erscheint im Juni 2015 und kann zum Preis von 74,80 Euro beim Beuth Verlag bestellt werden.

www.vdi.de/6206

6.12 VDI/BV-BS 6206 Blatt 2 „Gebäude aus wiederverwendbaren vorgefertigten Raumzellen in Stahlrahmenbauweise – Transport und Montage“

Die Richtlinie VDI/BV-BS 6206 Blatt 1 beschreibt die Grundlagen für die Planung und Errichtung von Gebäuden aus wiederverwendbaren vorgefertigten Raumzellen Die Besonderheiten bei der Errichtung von Gebäuden aus vorgefertigten wiederverwendbaren Raumzellen in Stahlrahmenbauweise werden in Blatt 1 nicht thematisiert – hier soll Blatt 2 anknüpfen. Der Entwurf der Richtlinie wird im Herbst 2015 erscheinen.

www.vdi.de/6206

6.13 VDI/BV-BS 6206 Blatt 3 „Gebäude aus wiederverwendbaren vorgefertigten Raumzellen in Stahlrahmenbauweise – Brandschutz“

Vorgefertigte Raumsysteme bedürfen einheitlicher Regeln, die die bauartbedingten Besonderheiten und Abweichungen von den geltenden Bauvorschriften beschreiben. Insbesondere ist das Thema des Brandschutzes von Bedeutung, da häufig technische statt konstruktive Maßnahmen herangezogen werden, die bisher nur im Einzelfall und in Abstimmung mit den genehmigenden Behörden zugelassen wurden. Blatt 3 der Richtlinienreihe soll dazu beitragen, die Sicherheit der Gebäude und deren Nutzung, insbesondere im Hinblick auf den Brandschutz zu gewährleisten und die Vorgaben zu vereinheitlichen.
Die bestehenden Regelwerke berücksichtigen die Besonderheiten der Bauweise mit vorgefertigten Raumsystemen nur unzureichend, sodass eine abgestimmte deutsche Sichtweise, auch als Basis für den europäischen Markt, die offenen und viel diskutierten Fragen beantworten kann. Der Richtlinienausschuss nimmt im Herbst 2015 seine Arbeit auf.

www.vdi.de/6206

6.14 VDI/BV-BS 6207 „Lager und Lagerungen im Hochbau – Grundlagen“

Als Lager bezeichnet man im Bauwesen Bauelemente, die statische Kräfte zwängungsfrei übertragen und/oder Bewegungen des Bauwerks ermöglichen. Im Hochbau werden dafür nahezu immer Lager aus Elastomeren verbaut, deren Größe, Dicke und Materialeigenschaften nach den jeweiligen Anforderungen ermittelt werden. Elastomerlager sind in ihrer Vielfalt nicht geregelt.
Ihr Einsatzbereich ist beispielsweise bei Auflagerungen von Decken und Trägern mit größeren Spannweiten zu finden, bei denen neben Vertikalkräften auch Kräfte aus Temperatur usw., also Kräfte aus verschiedenen Richtungen auftreten. Sie werden auch dort eingesetzt wo es gilt Lasten zu zentrieren und Rotationsbewegungen aufzunehmen. Die daraus resultierenden Kräfte gilt es aufzunehmen und in das laut Standsicherheitsnachweis dafür vorgesehene Bauteil weiterzuleiten. Ihr elastisches Verhalten trägt maßgeblich dazu bei, Verformungen ohne Schaden dauerhaft zu ermöglichen. In der Praxis werden unterschiedliche Lagerty-

pen eingesetzt, die in entsprechenden Blättern behandelt werden sollen.
Ziel: Im Rahmen eines ersten Blattes sollen die Lagerungsgrundsätze erläutert und die Anwendungen von Elastomerlager beschrieben werden. Die bestehenden Regelwerke berücksichtigen die Besonderheiten der verschiedenen Lagertypen nur unzureichend, sodass eine abgestimmte deutsche Sichtweise, auch als Basis für den europäischen Markt, die offenen und viel diskutierten Fragen regeln kann. Der Richtlinienausschuss nimmt im Herbst 2015 seine Arbeit auf.

www.vdi.de/6207

6.15 VDI 6210 Blatt 1 „Abbruch von baulichen und technischen Anlagen"

Die Richtlinie VDI 6210 Blatt 1 bestimmt für alle Beteiligten die Verfahren und Beurteilungsgrundlagen für die Planung und Durchführung des Abbruchs von Bauwerken und technischen Anlagen. Sie gilt für Abbrucharbeiten ortsfester und ortsveränderlicher baulicher sowie technischer Anlagen. Die Richtlinie beschreibt das Planen, Durchführen und Nachbereiten solcher Arbeiten sowie das Gewinnen, Bereitstellen, (Zwischen-)Lagern, Behandeln und Umschlagen der dabei anfallenden Materialien und Abfälle. Sie umfasst nicht die Anforderungen, die an die anfallenden Materialien für ihre Wiederverwendung und die an Abfälle für deren Verwertung oder Beseitigung gestellt werden.
Der Weißdruck der Richtlinie VDI 6210 Blatt 1 „Abbruch von baulichen und technischen Anlagen" wird im Herbst 2015 erschienen.

www.vdi.de/6210

6.16 VDI 6210 Blatt 2 „Abbruch baulicher und technischer Anlagen – Technische Gebäudeausrüstung"

Die Lebenszykluserwartungen der TGA sind kürzeren Intervallen unterworfen als die übrige Gebäudestruktur. Abbruchmaßnahmen für TGA-Komponenten finden folglich bei Umbau/Sanierung/Erneuerung der TGA sehr häufig statt. Eine Ergänzung zu Blatt 1 der Richtlinienreihe VDI 6210 für die Abbrucharbeiten an der TGA ist wegen fehlender Regelungen zwingend erforderlich.
Hierzu sollen ein oder mehrere Ergänzungsblätter zur Richtlinienreihe VDI 6210 Abbruch baulicher und technischer Anlagen verfasst werden. Das Richtlinienprojekt wurde durch den Fachbeirat Bautechnik der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik genehmigt und der Richtlinienausschuss hat seine Arbeit aufgenommen. Bei Interesse an einer Mitarbeit wenden Sie sich bitte an die VDI-Geschäftsstelle.

www.vdi.de/6210

6.17 VDI 6210 Blatt 10 „Abbruch von Gebäuden und Technischen Anlagen – Qualifizierung von Personal"

Ein Ergebnis der Gremienarbeit an VDI 6210 war, dass die Richtlinie um ein weiteres Blatt „Qualifizierung von Personal" ergänzt werden sollte – hier werden die Inhalte und Anforderungen an die Ausbildung des Personals für die Ausführung der in Blatt 1 beschriebenen Tätigkeiten im Rahmen des Abbruchs von Gebäuden und Technischen Anlagen formuliert werden. Das Richtlinienprojekt wurde durch den Fachbeirat Bautechnik der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik genehmigt und der Richtlinienausschuss wird in Kürze seine Arbeit aufnehmen. Bei Interesse an einer Mitarbeit wenden Sie sich bitte an die VDI-Geschäftsstelle.

www.vdi.de/6210

6.18 VDI 7001 „Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten; Standards für die Leistungsphasen der Ingenieure"

Infrastrukturprojekte sorgen in der Öffentlichkeit schon seit Jahrzehnten immer wieder für ausgiebige Diskussionen und teilweise massive Proteste. Wie können die beteiligten Akteure und Ingenieure gemeinsam gesellschaftliche Lösungen für die Umsetzung von längst notwendigen Infrastrukturprojekten der nächsten Jahrzehnte erreichen? Die Richtlinie VDI 7001 gibt Hinweise zur Kommunikation und Bürgerbeteiligung bei der Durchführung von Infrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Leistungsphasen (HOAI) in der Ingenieurplanung.

www.vdi.de/7001

6.19 VDI 7001 Blatt 1 „Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten; Schulung für die Leistungsphasen der Ingenieure"

Die Richtlinie gilt für Schulungen zum Zweck der Weiterbildung von interessierten Personen im Bereich „Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung" bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten. Die Schulung bezieht sich auf die Inhalte der Richtlinie VDI 7001. Sie orientiert sich an den Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) und richtet sich vorwiegend an Ingenieure als Vorhabenträger, Generalplaner, Fachplaner, Projektsteuerer, ausführende Unternehmer, Behördenvertreter, Verbands- oder Bürgerinitiativenvertreter.

www.vdi.de/7001

VDI
MEINE DSCHUNGEL-PRÜFUNG: EINE STROHHÜTTE MIT STROM VERSORGEN.
Julian Dobczinski | Student Wirtschaftsingenieurwesen
Erfahre mehr über Julian Dobczinski unter:
ingenieurgeschichten.vdi.de
Die Zukunft kann kommen.

11 x Premium-Fachinformationen – mit 20% Rabatt*

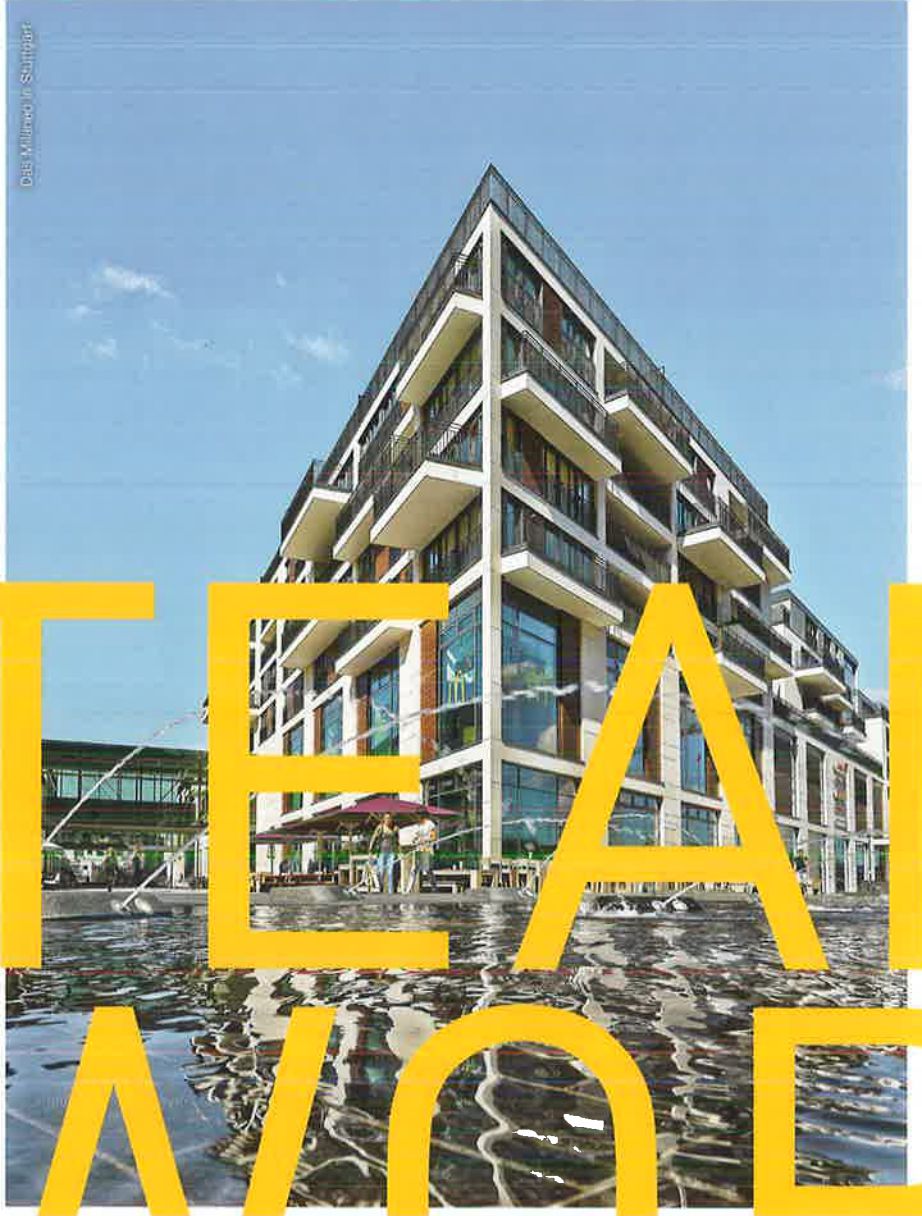
*Als Leser der VDI-Bautechnik erhalten Sie das Jahres-Abonnement der Zeitschrift Bauingenieur** mit 20% Rabatt. Statt 387,- € zahlen Sie nur 309,60 € zuzüglich Versandkosten.

(** Dieses Angebot gilt für Neu-Abonnenten)

Abonnieren Sie den „Bauingenieur“ jetzt!

E-Mail: leserservice@springer-vdi-verlag.de
Fax: (02 11) 61 03 – 414
Telefon: (02 11) 61 03 – 140

Springer
VDI Verlag



TEAMS WORK.

Weil Erfolg nur im Miteinander entstehen kann.
Die Ed. Züblin AG mit Sitz in Stuttgart ist die Nummer eins in Deutschland mit einer jährlichen Bauleistung von über 3 Mrd. Euro im Hoch- und Ingenieurbau. Ihren Erfolg verdankt die Ed. Züblin AG als Mitglied der weltweit agierenden STRABAG SE dem Ideenreichtum und Engagement von rund 15.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die als ein großes Team auch komplexe Bauvorhaben durch perfekte Abläufe termingerecht und zum besten Preis realisieren. Wir glauben an die Kraft des Teams. Und daran, dass genau das den Unterschied für unsere Auftraggeberschaft ausmacht, um Außergewöhnliches entstehen zu lassen.

www.zueblin.de

ZÜBLIN

TEAMS WORK.

Ed. Züblin AG, Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart, Tel. +49 711 7883-0, info@zueblin.de