

DER PRÜFINGENIEUR

Das Magazin der Bundesvereinigung der Prüfen Ingenieure für Bautechnik

- Die Prüfer und Planer müssen sich öffentlich deutlicher engagieren
- Arbeitstagung 2017 der Prüfen Ingenieure im September in Potsdam
- Welche Probleme bewirkt die Umsetzung des EU-Bauproduktenurteils?
- In NRW ist das Freistellungsverfahren jetzt wieder gestrichen worden
- Das Bauen mit Eis ist anderen Verfahren situationsbedingt oft überlegen
- BIM minimiert die Risiken später Änderungen und versäumter Leistungen
- Reaktive Brandschutzsysteme stärken die Lebensdauer filigraner Stahlbauten
- Innovative Tragstrukturen mit bionisch inspirierten Faserverbundwerkstoffen
- Sind etliche baurechtlich akzeptierte Brandschutzrisiken noch vertretbar?

Wir müssen uns vernehmlich in die öffentliche Diskussion einbringen



Dr.-Ing. Markus Hennecke
Im Beirat des Vorstandes der Bundesvereinigung der Prüfingenieure für Bautechnik (BVPI) zuständig für Öffentlichkeitsarbeit

Vor genau 60 Jahren wurde der Grundstein für das heutige vereinte Europa gelegt – Auftakt der längsten Friedensperiode der europäischen Geschichte. Auftakt auch der Schaffung eines europäischen Binnenmarktes, dessen wesentliches Ziel bekanntlich die Herausbildung eines freien Personen-, Dienstleistungs-, Kapital- und Warenverkehrs war und noch heute ist. Manches von dem, an dem wir uns als Planer oder Prüfingenieure heute reiben, liegt hierin begründet. Dennoch sollte uns immer klar sein, dass jene aus Brüssel kommenden Entwicklungen, die uns negativ betreffen, politisch nicht davon motiviert sind, unsere originären Interessen zu schädigen, sondern dass sie von ganz grundsätzlichen Marktvorstellungen geleitet werden, die einzelne Branchen wie die unsrige nicht direkt im Fokus haben. Auch wenn uns vieles aus Europa als Angriff gegen unseren Beruf erscheint, dürfen wir nicht übersehen, dass auch in Deutschland Wirtschaftsinteressen bestehen, die die Abschaffung der HOAI, die Umsetzung des EU-Bauproduktenurteils oder den freien Zugang europäischer Dienstleister begrüßen würden.

Die jüngsten Entwicklungen allerdings geben zu ernststen Sorgen Anlass. In Europa sind 27 Nationalstaaten auf einem gemeinsamen Weg. Genauso wie die politischen Strukturen in den einzelnen Ländern sind deren Marktwirtschaften sehr unterschiedlich organisiert. Im Sektor der Ingenieurbüros gibt es Länder mit einigen wenigen sehr großen Unternehmen und solche mit einer sehr kleinteiligen Struktur.

In Deutschland tragen die kleinen und mittleren Ingenieurbüros durch ihre einzigartige Mischung aus Leistungsbereitschaft und sozialer Verantwortung wesentlich zum gesamtwirtschaftlichen Erfolg bei. Hier stehen die Chefs noch selbst in der Küche; ihren privaten und öffentlichen Kunden sind sie direkte Ansprechpartner.

Im Gegensatz dazu sind die sehr großen Ingenieurdienstleister zu sehen, beispielsweise in den Niederlanden, in Frankreich oder in Skandinavien. Die Ursachen für diesen Unterschied sind nicht nur wirtschaftliche, sondern auch regulatorische Bedingungen: Große Unternehmen können Prozesse etablieren, mit denen in internen, unabhängigen Abteilungen die im eigenen Unternehmen erstellten Dokumente geprüft werden (internal checking). Dies geschieht unter der Maßgabe der Qualitätssicherung und des Risikomanagements. Darüber hinaus kön-

nen große Unternehmen Risiken besser managen, da sie einzelne Schadensfälle robuster verkraften können.

In Deutschland hat sich für die bautechnische Prüfung und Kontrolle in 90 Jahren das Vier-Augen-Prinzip bewährt, bestehend aus einem Tragwerksplaner und einem persönlich verantwortlichen, wirtschaftlich unabhängigen Prüfingenieur (external checking). Dieses System, das die Prüfung unternehmensübergreifend durchführen lässt, geht weiter als eine Qualitätssicherung, deren Umfang ausschließlich in der Eigenverantwortung der Unternehmen selbst definiert wird.

Die Fortschreibung von Eurocode 1990 (Anhang B), mit der externe Prüfungen in Abhängigkeit von der Schadensfolgeklasse auf einige wenige Objekte (zum Beispiel auf Stadien oder große Brücken) begrenzt werden sollen und in der Vielzahl der Fälle auf interne Prozesse verweist, könnte indes ein Ansatz sein, das deutsche System abzuschaffen. Wir haben 2016 erlebt, wie der Europäische Gerichtshof mit dem Verweis auf europäisch harmonisierte Normen nationale Regelungen über Bord werfen ließ. Aus solchen normativen Bestimmungen können sich Änderungen ergeben, die kurzfristig die Prüfingenieure betreffen, mittelfristig aber die Struktur der ganzen Branche verändern.

Wir Bauingenieure, ob in der Planung tätig oder als Prüfingenieur, müssen deshalb lernen, uns in die öffentliche Diskussion einzubringen. Dabei sind sowohl bautechnische und baurechtliche als auch gesellschaftliche und politische Themen zu bearbeiten. Entwicklungen auf nationaler und europäischer Ebene müssen frühzeitig erkannt, analysiert und bewertet werden.

Der Aufwand ist groß. Daher müssen Kammern, Ingenieurverbände und Ingenieurvereinigungen die Aufgaben gemeinsam angehen. In unserem durch den Föderalismus und die Vielfalt der Verbände parzellierten Sektor ist es notwendig, Partner zu finden und Koalitionen zu bilden, um politischen Einfluss zu gewinnen. Die einzelnen Organisationen müssen Kompetenzen und Kapazitäten aufbauen, die die eigenen Themen bearbeiten und mit den Partnern zusammenführen. Wir müssen Europa verstehen, wir müssen erkennen, welche Ziele verfolgt werden, wir müssen aber auch aufzeigen, wo wir die Vorteile in unseren Ansätzen sehen und uns dafür einsetzen, dass diese bestehen bleiben.

Die Bundesvereinigung der Prüfingenieure für Bautechnik (BVPI) wird sich im Hauptamt verstärken, um diese wichtigen Aufgaben für die Zukunft anzugehen.



*FÜR DIE ANWENDUNGSREIFE ENTWICKLUNG VON CARBONBETON hat Alt-Bundespräsident Joachim Gauck (M.) im vergangenen Jahr die Ingenieure Manfred Curbach (2.v.l.), Chokri Cherif (l.) und Peter Offermann (r.) mit dem Deutschen Zukunftspreis für Technik und Innovation des Bundespräsidenten der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet. Curbach wird auf der nächsten Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik (BVPI) in Potsdam über dieses bautechnisch revolutionäre Material berichten. Mehr dazu auf **Seite 6***

EDITORIAL

Dr.-Ing. Markus Hennecke
Wir müssen uns vernehmlich in die öffentliche Diskussion einbringen 3

NACHRICHTEN

Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüferingenieure am 22./23. September 2017 in Potsdam: Vorträge über Carbonbeton, Befestigungen, Eurocodes, Bauproduktenrecht, Verkehrswasserbau und Brandschutz 6

Die Bundesregierung und die Kammern und Verbände der Ingenieure und Architekten kämpfen für den HOAI-Erhalt/Website mit Informationen über das EuGH-Verfahren und von jedermann nutzbaren Texten und Argumenten 8

Michael Halstenberg: Die Umsetzung des Bauproduktenurteils des EuGH bewirkt neue nationale Bestimmungen und Verantwortlichkeiten/Welche Probleme tauchen für die am Bau Beteiligten auf und welche konkreten Lösungen sind zu erwarten? 9

Dr. Eric Brehm: BVPI erklärt auf wissenschaftlichem IABSE-Workshop die Effektivität des deutschen bautechnischen Prüfsystems 11

Ralf Egner löst Frank Breinlinger als Vorsitzender der Prüferingenieure in Baden-Württemberg ab 12

Dr. Wolfgang Roeser: Nordrhein-Westfalen: Neue Landesbauordnung führt die Prüfpflicht für Ein- und Zweifamilienhäuser wieder ein/Das Freistellungsverfahren hat nicht die erhoffte Entlastung der Bauaufsichtsbehörden bewirken können 13

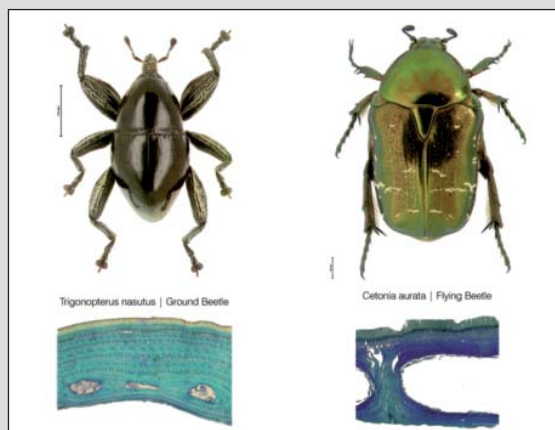
Die Baden-Württemberger Prüferingenieure laden für den 23./24. Juni zur Arbeitstagung 2017 in Baden-Baden ein/Vorträge über schwierigen Tunnelbau, die Holz-Beton-Verbundbauweise und Bauen mit Spannbetonfertigteilen 14

BRANDSCHUTZ

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Herbert:
Prüfung der Planung freiwillig – Bemessungsregeln frei vereinbar – Interaktionsprüfung nicht geregelt: Ist das baurechtlich akzeptierte Risiko notwendiger sicherheitstechnischer Anlagen in Gebäuden tragbar? 16



DIESE GEFRORENE BAUGRUBENWAND diente beim Bau des Rosmarin-Karrees in Berlin als abstützender und abdichtender Frostkörper und dokumentiert hier bildhaft und schlaglichtartig die großen Vorteile, die sich den Bauingenieuren mit dem Einsatz der Gefriertechnik bieten. Viele Beispiele für diese Vorteile sind zu finden ab **Seite 27**



DIE DECKFLÜGEL flugfähiger und nicht flugfähiger Käfer sind für die wissenschaftlich forschenden Bauingenieure am Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart hochinteressante Objekte und immer wieder erhellendes Erstaunen hervorrufende Gegenstände für neue Erkenntnisse und Einsichten, die der bautechnischen Praxis des Menschen auf die Sprünge helfen. Was an diesem Institut in dieser Hinsicht erforscht und entdeckt wird und wurde kann nachgelesen werden ab **Seite 44**

GEOTECHNIK

Dr.-Ing. Wolfgang Orth:

Das Bauen mit Eis ist heute oftmals konkurrenzfähig und anderen Verfahren situationsbedingt deutlich überlegen/Der Einsatz der Gefriertechnik verlangt aber Erfahrung und exaktes Wissen vom Verhalten gefrorenen Bodens

27

BRANDSCHUTZ

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann/Dipl.-Ing. Waldemar Weisheim:

Reaktive Brandschutzsysteme sichern mit aufschäumenden Dämmschichten filigrane Stahlbautragwerke/Ihre Nutzungsdauer beträgt nach EU-Zulassungsrichtlinien zehn Jahre – sie kann aber auf 25 Jahre erweitert werden

36

FASERVERBUNDWERKSTOFFE

Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers/Professor Achim Menges:

Einblicke in die Ideenwelt des Stuttgarter Instituts für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen/ Mit bionisch inspirierten Faserverbundkonstruktionen können ganz neue Tragstrukturen realisiert werden

44

BAUAUFSICHT

Dipl.-Ing. Markus Köppel:

EU-Richtlinien für Eisenbahn-Interoperabilität prägen die Genehmigungsverfahren für Eisenbahninfrastruktur/Vom EBA anerkannte Prüfer für IOH- und STE-Anlagen sollen ein Grundpfeiler des IBG-Verfahrens bleiben

52

BIM – BUILDING INFORMATION MODELING

Dipl.-Ing. Thomas Grundhoff:

Erfahrungen mit der Anwendung digitaler Arbeitsmethoden bei der Realisierung eines großen Tunnelprojekts/Das Risiko später Änderungen oder versäumter Leistungen kann schon bei der Planung deutlich minimiert werden

60

IMPRESSUM

69

Die nächste Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen ist am 22./23. September 2017 in Potsdam

Vorträge über Carbonbeton, Befestigungen, Eurocodes, Bauproduktenrecht, Verkehrswasserbau und Brandschutz

Am 22. und 23. September wird die Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPT) im Dorint-Hotel in Potsdam ihre Arbeitstagung 2017 durchführen. Zentrale Komponente der Agenda dieses Bundeskongresses der bauaufsichtlich anerkannten deutschen Prüfsachverständigen sind, wie jedes Jahr, zahlreiche sowohl ingenieurwissenschaftlich als auch praxisnah angelegte Vorträge über aktuelle Fachthemen und tätigkeitsbezogene Probleme der Prüfsachverständigen und Prüfsachverständigen, die von namhaften Referenten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Praxis gehalten werden. Kollegial-gesellschaftlicher Höhepunkt beider Tage wird der Landesabend der Prüfsachverständigen in Brandenburg sein, der sich im Orangerieschloss im Park Sanssouci abspielen wird.

Die Vorträge dieser Arbeitstagung hat die Bundesvereinigung dreifach gegliedert: Am Freitag (dem 22. September) stehen vormittags Referate vor dem Plenum und nachmittags in zwei parallel laufenden Vortragsreihen Beiträge über ausgesuchte Themen des Brandschutzes und der Infrastruktur im Bereich des Wasserbaus auf dem Programm; am Samstagvormittag (dem 23. September) werden weitere Fachvorträge geboten und danach der traditionelle Festvortrag, zu dem alle Gäste und Begleitpersonen eingeladen sind.

Auf der Liste der Themen und Referenten standen bis Redaktionsschluss dieser Ausgabe folgende Beiträge fest:

- Der Direktor des Instituts für Massivbau der TU Dresden, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach wird über „Das faszinierende Material Carbonbeton“ sprechen, für dessen anwendungsreife Entwicklung er zusammen mit seinen Kollegen Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Wirt. Ing. Chokri Cherif und Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Offermann mit dem Deutschen Zukunftspreis für Technik und Innovation des Bundespräsidenten der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet worden ist, weil, wie der damalige Bundespräsident Joachim Gauck bei der Preisverleihung her-

vorgehoben hatte, dieses Material geeignet sei, „den Vorsprung Deutschlands bei der Erforschung von Grundlagen und Anwendungen dieses revolutionären Baumaterials zu festigen und auszubauen“. In Deutschland beträgt der Jahresbedarf an Bewehrungsstahl rund vier Millionen Tonnen, ein Großteil davon ließe sich künftig – vor allem bei der Reparatur älterer Bauwerke, aber auch bei Neubauten – durch Carbonbeton ersetzen. Curbach wird seinen Kollegen in Potsdam deshalb dieses revolutionäre Material exklusiv erläutern und erklären, wie mit den korrosionsfesten Kohlenstofffasern, die noch stabiler sind als Stahl, viel schlankere Bauteile konstruiert werden können als bisher und wie sich damit sehr filigrane und außergewöhnlich gestaltete Bauwerke realisieren lassen, deren Lebensdauer derjenigen von Stahlbetonbauten weit überlegen ist.

- Außerdem wird Professor Dr.-Ing. Rolf Eli-gehausen vom Stuttgarter Ingenieurbüro Eli-gehausen – Asmus – Hofmann ein neues Mo-

dell für Befestigungen mit Rückhängebewehrung unter Zugbeanspruchung vorstellen, das er zusammen mit seinen ingenieurwissenschaftlichen Kollegen am Institut für Werkstoffe des Bauwesens der Universität Stuttgart entwickelt hat, an dem er als Leiter der Abteilung für Befestigungstechnik selbst jahrzehntelang geforscht und gelehrt hat.

- Schließlich wird Prof. Dr.-Ing. Alexander Taffe von der Berliner Hochschule für Wirtschaft und Technik über die Arbeit berichten, mit der es ihm gelungen ist, die Messergebnisse zerstörungsfreier Prüfungen im Bauwesen der statischen Berechenbarkeit zugänglich zu machen.

Darüber hinaus werden auch einige berufs- und verbandspolitisch akzentuierte Beiträge gehalten, zum Beispiel von:

- Dr.-Ing. Heinrich Bökamp, dem Präsidenten der Ingenieurkammer Bau von Nordrhein-Westfalen und stellvertretenden Vorsit-



FÜR IHRE ANWENDUNGSREIFE ENTWICKLUNG von Carbonbeton wurden Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach (2.v.l.), Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Wirt. Ing. Chokri Cherif (l.) und Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Offermann (r.) von der TU Dresden vom damaligen Bundespräsident Joachim Gauck (Mitte) mit dem Deutschen Zukunftspreis 2016 für Technik und Innovation des Bundespräsidenten der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet.

zenden der Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen (PRB), der über den aktuellen Stand der pränormativen Arbeit der deutschen Ingenieurverbände und -kammern und die als gewichtig zu wertende Beteiligung der Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik (BVPI) an der Arbeit der PRB referieren wird, deren Aufgabe es bekanntlich ist, die Praxistauglichkeit der Regelwerke im Bauwesen in Deutschland und Europa durch pränormatives Engagement zu verbessern,

■ Steve Denton, dem Vorsitzenden von CEN/TC 250, des Internationalen Technischen Gremiums der europäischen Normungsorganisation CEN für die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus, der aus seiner exklusiven beruflichen und berufspolitischen Perspektive die Entwicklung der Eurocodes in Europa beschreiben und sich dabei sicher auch über die von deutscher Seite gewünschte und vorangetriebene deutliche Vereinfachung der Eurocodes äußern wird, und von

■ Ministerialdirektor a.D. Rechtsanwalt Michael Halstenberg, einem der Baurechtsexperten der Düsseldorfer Rechtsanwaltskanzlei HFK, in der er der Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik seit vielen Jahren als baurechtkundiger Berater verbunden ist, der über die neuesten und mögliche weitere Entwicklungen des Bauproduktenrechts in Deutschland und Europa informieren will.

Am Freitagnachmittag sind zwei parallel laufende Themenblöcke über Brandschutz und Infrastruktur/Wasserbau geplant. Im Themenblock Brandschutz werden

■ Prof. Dr.-Ing. Frank Riesner, Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Vorbeugender Brandschutz in Mecklenburg-Vorpommern und Honorarprofessor der Fakultät für Gestaltung der Hochschule Wismar, sowie Dr.-Ing. Jens Upmeyer, Prüffingenieur für Brandschutz in Mecklenburg-Vorpommern, Geschäftsführer der Upmeyer & Partner Prüffingenieure für Brandschutz GmbH in Stralsund und einer der beiden Geschäftsführer der Hagen Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH (Kleve), „Die Schnittstellen zwischen Planern und Prüffingenieuren bei Naturbrandverfahren“ behandeln und

■ die Geschäftsführende Gesellschafterin der Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig, Dipl.-Phys. Monika Rosemann, und Michael Juch, Sachverständiger für vorbeugenden Brandschutz und Fachpla-



Foto: Arild Vågen/Wikipedia

IN DER ORANGERIE am Nordrand des Parks von Sanssouci in Potsdam wird der diesjährige Landesabend anlässlich der Arbeitstagung 2017 der Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik stattfinden. Das Orangerieschloss steht seit 1990 als Weltkulturerbe unter dem Schutz der UNESCO.

ner für technische Brandschutzanlagen von der Ingenieurgesellschaft Hahn-Consult (Hamburg, Braunschweig) über die Projektkoordination und die Bauüberwachung Brandschutz bei Großprojekten referieren.

Im Themenblock Infrastruktur/Wasserbau werden

■ Dr.-Ing. Jeanette Ebers-Ernst und Birgit Maßmann „Die Herausforderungen für Planer und Prüffingenieure in Großprojekten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung“ am Beispiel des Schleusenbaus an der Nordstrecke des Dortmund-Ems-Kanals (DEK) erläutern; Birgit Maßmann ist im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes Leiterin des Projekts Neue Schleusen DEK-Nord, Dr. -Ing. Jeanette Ebers-Ernst ist Beratende Ingenieurin und Mitglied der Geschäftsfeldleitung Ingenieurwasserbau/Spezialtiefbau bei der grbv Ingenieure GmbH & Co. KG in Hannover; danach wird

■ der Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann, über „Herausforderungen im Verkehrswasserbau“ sprechen und dabei vom Bundesverkehrswegeplan (BVWP) bis zum Building Information Modeling (BIM) auch viele für Prüffingenieure und Prüfsachverständige berufsrelevante Details seiner Fachgebieten und seiner Arbeit erläutern,

■ der Geschäftsführer des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB), Dipl.-Ing. Dr. Rainer Mikulits, über „Erfahrungen europäischer Nachbarländer mit der EU-Bauproduktenverordnung“ berichten sowie

■ Konstantinos Kessoudis, Bereichsleiter Building Information Modeling (BIM/5D) im Bereich Zentrale Technik des Strabag-Züblin-Konzerns, einige lehrreiche und informative Einzelheiten seines umfassenden Wissens über die neueste Entwicklung des digitalen Planens, Bauens und Verwaltens preisgeben.

Einige weitere der Themen und Vorträge dieser beiden Tage sowie das Sujet des Festvortrages am Samstagmittag standen bei Redaktionsschluss dieser Ausgabe des PRÜFFINGENIEURS noch nicht fest.

Fest steht aber, dass der Landesabend der Landesvereinigung Brandenburg im Orangerieschloss im Park Sanssouci stattfinden wird, das auch als Neue Orangerie bezeichnet wird. Sie wurde von 1851 bis 1864 am Nordrand des Parks von den Architekten Friedrich August Stüler und Ludwig Ferdinand Hesse im Stil der italienischen Renaissance errichtet und beherbergt unter anderem zwei Hallen für die Überwinterung der exotischen Kübelpflanzen aus der Parkanlage Sanssouci.

Die Bundesregierung und die Kammern und Verbände der Ingenieure und Architekten kämpfen für den HOAI-Erhalt

Website mit Informationen über das EuGH-Verfahren und von jedermann nutzbaren Texten und Argumenten

Nachdem die EU-Kommission verkündet hatte, die Bundesrepublik Deutschland wegen ihres Festhaltens an den Mindest- und Höchstsätzen der HOAI vor dem Europäischen Gerichtshof zu verklagen, haben viele der in Deutschland von dieser Bedrohung betroffenen Verbände, Organisationen, Kammern und Regierungsstellen ein unverrückbares und eindeutiges Bekenntnis zur HOAI abgelegt und energischen Widerstand gegen die rechtspolitische Beschneidung der HOAI angekündigt.

Die EU-Kommission behauptet bekanntlich, die HOAI behindere mit ihren Mindestsätzen nachhaltig die Niederlassungsfreiheit von Ingenieuren und Architekten sowie den freien Wettbewerb. Ohne die Vorgaben der HOAI würden sich, so die Kommission weiter, mehr ausländische Büros in Deutschland niederlassen und damit „perspektivisch günstigere Preise für Verbraucher“ ermöglichen.

Dem halten die deutschen Befürworter der HOAI entgegen, die Kommission rüttele, indem sie die verbindlichen Preise für Architekten- und Ingenieurleistungen nach der HOAI kippen will, an einem ordnungs- und rechtspolitischen Grundpfeiler des bewährten Systems der Freien Berufe in Deutschland.

Vor allem die Bundesingenieurkammer hat als Vertreterin aller 16 Ingenieurkammern der deutschen Länder mit dieser Argumentation viel in Bewegung gesetzt, um die Klage vor dem Europäischen Gerichtshof abzuwehren.

Die Bundesvereinigung der Prüflingenieur für Bautechnik (BVPI) hat sich im Sinne der planenden und beratenden Tätigkeit ihrer Mitgliedschaft der großen Gruppe derjenigen angeschlossen, die diese Argumente unterstützen. Auch sie appelliert an die Bundesregierung, den sachfremden Erwägungen der Kommission weiterhin nicht nachzugeben und für den Erhalt der verbindlichen Mindest- und Höchstsätze einzutreten.

Nach der Klageandrohung der EU-Kommission hatte auch die Bundesregierung sich noch einmal unmissverständlich für den Erhalt der HOAI als verbindliches Preisrecht für Architekten- und Ingenieurleistungen ausgesprochen. Bundesbauministerin Barbara Hendricks hat sie, weil „Architekten- und Ingenieurleistungen nicht zu Dumpingpreisen angeboten werden dürfen“, als „Voraussetzung für einen fairen Leistungswettbewerb“ bezeichnet. Das Bundesbauministerium werde deshalb, so Hendricks kurz und bündig, „im anstehenden Gerichtsverfahren die HOAI ohne Kompromisse verteidigen“.

Um ihren Forderungen öffentlichkeitswirksamen Nachdruck und weitestmögliche Verbreitung zu verschaffen, hat die Bundesingenieurkammer im Internet ein Informationsportal online gestellt, auf dem sie über die HOAI und das EU-Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland informiert. „Unser Ziel ist es“, so Hauptgeschäftsführer Martin Falenski, alle unsere seit vielen Jahren vorgebrachten Argumente nochmals konzentriert zu präsentieren. Die HOAI ist konform mit dem EU-Recht, das ist gutachterlich bestätigt.“

Die Bundesingenieurkammer wird auf ihrer neuen Webseite (www.hoai.news.de) das Vertragsverletzungsverfahren begleiten und über einzelne Schritte, Stellungnahmen und Entwicklungen jeweils aktuell informieren. „Wir wünschen uns, dass möglichst viele Ingenieure und Architekten, aber auch die Bauherren dieses Informationsangebot nutzen“, so Falenski. „Auf unserer ‚Mitmachen‘-Seite gibt es zwei Banner, die über die sozialen Medien geteilt oder in die jeweils eigene Website oder in E-Mails integriert werden können. Es ist wichtig klarzustellen, dass ohne HOAI ein Verlust an Qualität, Sicherheit und Baukultur in Deutschland droht – ein Szenario, das wir nicht hinnehmen und gegen das wir deshalb kämpfen werden.“

In Kurzform und über die knappen Inhalte der Banner hinaus, halten die Befürworter des verbindlichen Preisrechts für Leistungen der Ingenieure und Architekten in Deutschland als zentrale Aussagen über den Wert der HOAI folgende Grundsätze fest:

- Die HOAI ist aktiver Verbraucherschutz.
- Die HOAI sichert die Qualität von Planungsleistungen und damit die Sicherheit von Bauwerken.
- Die HOAI ist als eine nur für Inländer geltende Rechtsverordnung konform mit dem EU-Recht.
- Die HOAI fördert den Wettbewerb kreativer und innovativer Planungsleistungen.
- Die HOAI verhindert einen ruinösen Preiswettbewerb und damit einen Verlust von Qualität, Sicherheit und Baukultur.
- Die HOAI sichert den Marktzugang auch für kleine und mittlere Planungsbüros.

Für die Sicherheit
beim Planen und Bauen
brauchen wir die HOAI.

www.hoai.news

BIngK
BUNDES
INGENIEURKAMMER

MIT DIESEM BANNER klärt die Bundesingenieurkammer die breite Öffentlichkeit jetzt über den zentralen Sinn der HOAI auf – auch auf einer neuen Website, über die sie alle Interessierten über den jeweiligen Fortgang des Klageverfahrens der EU gegen die HOAI unterrichten wird.

Die Umsetzung des Bauproduktenurteils des EuGH bewirkt neue nationale Bestimmungen und Verantwortlichkeiten

Welche Probleme tauchen für die am Bau Beteiligten auf und welche konkreten Lösungen sind zu erwarten?

Nach der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) dürfen an harmonisierte Bauprodukte, die die CE-Kennzeichnung tragen, national keine zusätzlichen technischen Anforderungen mehr gestellt werden. Solche Anforderungen sind in Bezug auf den Hochbau vor allem in der Bauregelliste (BRL) B Teil 1 enthalten. Die Bundesrepublik hatte der EU-Kommission zugesagt, das Feststellungsurteil des EuGH vom 16.10.2014 (das sogenannte EU-Bauproduktenurteil) [1] in nationales Recht umzusetzen. Im folgenden Beitrag fasst Ministerialdirektor a.D. RA Michael Halstenberg von der Düsseldorfer Rechtsanwaltskanzlei HFK die Maßnahmen zusammen, mit denen diese Transformation bewerkstelligt werden kann und welche Probleme und neue Verantwortlichkeiten dabei auf die am Bau Beteiligten zukommen können.

Das deutsche Sicherheitskonzept beruht darauf, dass Anforderungen (Standicherheit, Brand-, Wärme-, Schallschutz) nicht nur an das Gebäude gestellt werden. Vielmehr müssen geeignete Bauprodukte verwendet werden. Daher erklärt der Hersteller die Übereinstimmung seines Bauprodukts mit den ent-



Ministerialdirektor a. D. Michael Halstenberg

studierte Rechtswissenschaften in Köln, war von 1988 bis 2004 in verantwortlichen Positionen im Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr von NRW tätig, fungierte von 1999 bis 2004 als EU-Referent der Deutschen Bauministerkonferenz und leitete dann bis 2009 die Abteilung Bauwesen, Bauwirtschaft und Bundesbauten im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; seit Dezember 2009 ist er als Rechtsanwalt für die Kanzlei HFK Rechtsanwälte LLP (Düsseldorf) tätig und zugleich stellvertretender Vorsitzender des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Baurecht und Mitglied der Arbeitsgruppe zur Reform des Bauvertragsrechts im Bundesministerium der Justiz.

sprechenden Werten durch Aufbringung des nationalen Ü-Zeichens. Diese Werte können dann in den bautechnischen Nachweisen verwendet werden. Dies gilt auch künftig uneingeschränkt für alle (noch) nicht harmonisierten Bauprodukte.

Auch harmonisierte Bauproduktnormen (hEN) sollen gemäß Artikel 17 Absatz 3 der Bauproduktenverordnung (BauPVO) [2] alle erforderlichen Verfahren und Kriterien für die Bewertung der Leistung von Bauprodukten in Bezug auf ihre wesentlichen Merkmale enthalten. Die von der EU-Kommission im Europäischen Amtsblatt veröffentlichten harmonisierten Normen enthalten gleichwohl nicht zu allen Eigenschaften Prüfverfahren, die in Deutschland erforderlich sind, um die Erfüllung der bauaufsichtlichen Anforderungen sicher beurteilen zu können. Nach einer vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) erstellten sogenannten Prioritätenliste führt die künftige Beschränkung der Leistungsangaben, die (nur) auf hEN beruhen, derzeit in etwa 80 Fällen zu der Situation, dass für sicherheitsrelevante Leistungen künftig keine harmonisierten Prüfverfahren vollständig zur Verfügung stehen werden.

Diese Lücken können nicht mehr durch zusätzliche nationale bauaufsichtliche Anforderungen geschlossen werden. Entsprechende Verwendbarkeitsnachweise und eine Ü-Kennzeichnung der Produkte entfallen. Das sehen die entsprechenden Übergangsvorschriften der Länder [3] bereits vor, ebenso der neue Entwurf der Musterbauordnung der Länder (MBO), die in einigen Ländern, beispielsweise in NRW und Sachsen-Anhalt, bereits eingeführt worden ist.

Welche Interessen haben die Beteiligten?

Aus Sicht der Wirtschaft und der Bauherren sollten bei der Modulation der BauPVO ins nationale Recht unter den Gesichtspunkten Effizienz, Haftung, Bürokratievermeidung und Kosten folgende Ziele erreicht werden:

- Auf Dauer sollte eine einheitliche Kennzeichnung der europäischen Bauprodukte

erreicht werden, aus der alle wesentlichen Merkmale im Zusammenhang mit der Leistungserklärung erkenntlich und eindeutig bestimmbar sind. Das setzt auch die Harmonisierung der erforderlichen Prüfverfahren voraus.

- Langfristig sollte es keine nationalen Subsysteme in Form bauaufsichtlicher Anforderungen mehr geben, die de facto zu unterschiedlichen Deklarationen von Bauprodukten führen. Das bedeutet eine stärkere Einbindung und ein stärkeres Engagement nationaler Normungsinstanzen in die europäische Normung.
- Die Baupraxis benötigt eine kurzfristige Lösung, damit Rechtssicherheit in der Übergangsphase bis zu einer Verbesserung der hEN hergestellt werden kann. Aus Praktikabilitätsgründen ist ein einheitliches Vorgehen sicherzustellen und eine Flut nationaler Qualitätszeichen zu vermeiden.

Es stellt sich daher die Frage, wie man der Bauproduktenverordnung kurzfristig Rechnung tragen kann, ohne die Bauwerkssicherheit in Deutschland zu gefährden und Haftungsprobleme bei den am Bau Beteiligten auszulösen.

Es sind mehrere unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten im Gespräch, aber nicht alle sind realistisch

Auf EU-Ebene, auf nationaler bauordnungsrechtlicher und auf zivilrechtlicher Ebene sind derzeit mehrere unterschiedliche Lösungen für die Umsetzung des EuGH-Urteils in nationales Recht in der Diskussion:

1. Nachbesserung der harmonisierten Normen

Eine einheitliche Lösung auf EU-Ebene wäre zu begrüßen. Allerdings sind Lösungen durch eine Verbesserung der hEN kurzfristig nicht zu erwarten. Deutschland hat bereits versucht, durch Beanstandungen, das heißt, durch Verfahren nach Artikel 18 der Bauproduktenverordnung, eine Nachbesserung der Normen anzustoßen. Die EU ist momentan aber mehr an dem Abbau der nationalen Anforderungen als an einer Beseitigung der Schwächen der hEN interessiert.

2. Europäisch Technische Bewertungen

Für die Ergänzung fehlender Verfahren sieht Artikel 19 Absatz 1 der Bauproduktenverordnung Europäische Technische Bewertungen (ETB) vor. Diese könnten die Hersteller zum Beispiel beim DIBt beantragen. Für die Erteilung einer ETB muss zuvor jedoch ein entsprechendes Europäisches Bewertungsdokument erstellt werden, das die Anforderungen auf der technischen Ebene konkretisiert. Dies erfordert wiederum die Durchführung formaler Verfahren, an denen gemäß Artikel 20 ff. und Anhang II der Bauproduktenverordnung die Europäische Organisation für Technische Bewertung (European Organisation for Technical Assessment – EOTA), also alle Mitgliedstaaten der EU, und die EU-Kommission, zu beteiligen sind. Nach den Erfahrungen mit der Umschreibung der früheren Bewertungsdokumente gemäß der Bauproduktenrichtlinie (ETAGs) durch EOTA ist nicht davon auszugehen, dass diese Bewertungsdokumente kurz- oder auch mittelfristig in ausreichender Zahl erstellt werden können. Außerdem setzt dies voraus, dass die Hersteller freiwillig entsprechende Anträge auf Erteilung einer ETB stellen. Die Bereitschaft dazu ist aber sehr unterschiedlich ausgeprägt. Ein einheitliches Vorgehen der Hersteller ist nicht zu erwarten.

Als Grundlage einer Harmonisierung müssten die Mitgliedstaaten sich im Übrigen auch auf einheitliche Prüfverfahren für die Bewertungsdokumente einigen. Wie die Dauer der

Erstellung von hEN gezeigt hat, ist das ein langwieriger Prozess. Schließlich sind Bewertungsdokumente nur Platzhalter künftiger Normen. Daher kann die Erstellung eines Bewertungsdokuments durch eine neue Norm obsolet werden; und dann hat der Hersteller das Verfahren vergeblich durchgeführt.

3. Reform der nationalen Regelungen des Bauproduktenrechts

Alle materiellen Anforderungen an Bauwerke in Deutschland bleiben bestehen. Es ändert sich nichts an der Verantwortlichkeit der am Bau Beteiligten für die Sicherheit des Bauwerks [4]. Jeder Bauherr muss nach wie vor die erforderlichen bautechnischen Nachweise, insbesondere einen Standsicherheitsnachweis, für sein Bauwerk erbringen. Es werden aber alle Produkthanforderungen an harmonisierte Bauprodukte ersatzlos gestrichen. Gemäß Paragraph 16c der MBO (2016) darf ein Bauprodukt, das die CE-Kennzeichnung trägt, verwendet werden, wenn die erklärten Leistungen den in diesem Gesetz oder aufgrund dieses Gesetzes festgelegten Anforderungen für diese Verwendung entsprechen. Im Übrigen sieht Paragraph 87 Absatz 4 Satz 1 der MBO (2016) ein Verbot der Ü-Kennzeichnung bei CE-gekennzeichneten Bauprodukten vor.

Im Zuge der Reform werden die gesamte Bauregelliste und die Liste der technischen Baubestimmungen durch eine neue Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen

(VV-TB) [5] ersetzt, die die gesetzlichen Anforderungen an Bauwerke konkretisieren soll. Für harmonisierte Bauprodukte wird die VV-TB keine Anforderungen enthalten.

Die bauaufsichtlichen Anforderungen beziehen sich künftig nicht mehr auf das Bauprodukt, sondern nur noch auf das Gebäude oder auf ein wesentliches Bauteil. Aus den Bauproduktanforderungen sollen also gleichsam Bauwerksanforderungen werden. Dieser Transformationsprozess ist aber technisch anspruchsvoll. Außerdem lassen sich – wie der Entwurf der VV-TB schon gezeigt hat – nicht alle Bauproduktanforderungen in Bauwerksanforderungen transformieren. Vielmehr werden die (bisherigen) materiellen Anforderungen an Bauprodukte de facto auch weiterhin das bauordnungsrechtliche Anforderungsniveau an Bauwerke konkretisieren und absichern müssen. Im Rahmen der Erbringung eines bautechnischen Nachweises für ein Bauwerk wird es daher weiterhin auf die betreffenden Leistungen eines Bauprodukts ankommen. Für die harmonisierten Bauprodukte können diese Angaben bauaufsichtlich aber nicht mehr gefordert werden.

4. Freiwillige Herstellererklärungen

Die bautechnischen Nachweise könnten gegenüber der Bauaufsicht aber geführt werden, wenn die am Bau Beteiligten auf Angaben des Herstellers zurückgreifen, die dieser freiwillig macht. Es stünde dann im Ermessen der Bauaufsicht, die Zuverlässigkeit dieser Angaben zu beurteilen [6].

Der Hersteller kann die Übereinstimmungserklärung freiwillig abgeben und sogar die Ü-Kennzeichnung weiterhin aufbringen. Dabei kann er sich auch auf die bis zum 15.10.2016, also bis zur Umsetzung des EU-Bauproduktenurteils, erteilten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) und allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzertifikate (abP) beziehen, die dieses Verfahren vorsehen und die noch bis zum 15.10.2021 Gültigkeit besitzen können. Da dieses Vorgehen auf jahrelang bewährten Verfahren beruht, erkennen die Behörden solche Erklärungen regelmäßig an. Daher können sich die am Bau Beteiligten in den bautechnischen Nachweisen weiterhin auf solche Erklärungen stützen. Ist die Geltungsdauer einer abZ oder eines abP abgelaufen, werden die Erklärungen der Hersteller, zumindest in einigen Ländern, weiter anerkannt, wenn sie sich auf frühere abZ oder abP stützen.

Stehen Übereinstimmungserklärungen des Herstellers nicht (mehr) zur Verfügung,



Bild: FeuerTRUTZ Network GmbH

IN DER VERWALTUNGSVORSCHRIFT Technische Baubestimmungen (VV TB) werden künftig die gesetzlichen Anforderungen an Bauwerke in Deutschland konkretisiert. Sie werden im Zuge der Reform des Bauproduktenrechts die Bauregelliste und die Liste der technischen Baubestimmungen ablösen.

muss die Bauaufsicht die Zuverlässigkeit dieser Angaben ebenfalls bewerten. Die Übergangserlasse der Länder sehen hierfür ein komplexes, für die Praxis nur bedingt taugliches Prüfungsschema vor, das unter anderem auf die Vorlage einer prüffähigen technischen Dokumentation und auf die Beachtung anerkannter Regeln der Technik sowie auf die Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit des Bauprodukts durch anerkannte Prüfstellen abstellt. Die Bauaufsicht kann die genannten Punkte als Indiz dafür werten, dass die Herstellerangaben zuverlässig sind. Auch diese Lösung setzt eine freiwillige Mitwirkung der Hersteller voraus.

Es ist aber unklar, ob alle Hersteller weiterhin entsprechende Angaben machen und sich auch entsprechenden Prüfungen durch Dritte unterziehen werden. Außerdem ist unklar, welche (einheitlichen) Prüfverfahren den Leistungsangaben künftig zugrunde gelegt werden müssen. Schließlich haben die Diskussionen der beiden letzten Jahre gezeigt, dass nicht sicher davon ausgegangen werden kann, ob sich die Hersteller auf ein einheitliches System und ein gemeinsames Vorgehen einigen.

5. Vertragliche Anforderungen des Bauherrn und der am Bau Beteiligten

Der Bauherr könnte diese Leistungsangaben aber von den Herstellern einfordern und Nachweise für die Einhaltung der geforderten Leistungsangaben verlangen. Das kann im Rahmen einer Ausschreibung von Bauleistungen geschehen. Dabei könnte er sich auch

auf die alte BRL B Teil 1 beziehen. Den meisten Bauherrn ist es jedoch nicht möglich, die Regeln für jedes Bauprodukt zu identifizieren, deren Einhaltung für das jeweils betreffende Projekt erforderlich ist.

Die Lösung liegt in der Erstellung einer umfassenden Liste, deren (Gesamt-)Anforderungen auf Grund einer Ausschreibung zu beachten wären. Auch Bauunternehmen könnten diese Liste – gegebenenfalls als technische AGB – beim Einkauf zugrunde legen.

Einzelne Akteure der Wertschöpfungskette Bau könnten sich zusammenschließen, um eine derartige Anforderungsliste zu erstellen. Ob die Beteiligten aber willens und in der Lage wären, ein solches System zu organisieren und dauerhaft zu pflegen, würde sich dann erweisen müssen. Außerdem ist Artikel 8 Absatz 5 der Bauproduktenverordnung im Blick zu behalten. Danach ist es unzulässig, dass private Stellen, die aufgrund einer Monopolstellung handeln, durch zusätzliche Auflagen die Verwendung harmonisierter Bauprodukte behindern.

Auch die öffentlichen Bauherren stehen (auch als Eigenüberwacher) vor dem Problem der unzureichenden hEN. Die öffentlichen Bauherren sind technisch aber leistungsfähig, und zwar in allen Bereichen des Hoch- und Tiefbaus und des Straßen- und Wasserstraßenbaus. Auch sie können aber nicht bei jeder einzelnen Ausschreibung die einzuhaltenden Anforderungen für jedes Bauprodukt im Detail beschreiben. Das erforderte eine gewisse Einheitlichkeit. Würde daher ein

kompetenter öffentlicher Auftraggeber derartige „technische Einkaufsbedingungen“ entwerfen, stünde es anderen Bauherrn frei, sich auf solche Einkaufsbedingungen ganz oder in Teilen zu beziehen – wie bei der VOB/B. Die Bauaufsicht könnte solche Verfahren akzeptieren. Eine zügige Umsetzung dieser Lösung ist denkbar. Die BRL B Teil 1 würde zu einer privatrechtlichen Einkaufsbedingung. Ganz im Sinne eines gemeinsamen europäischen Binnenmarktes.

Anmerkungen

- [1] EuGH (Zehnte Kammer), Urt. v. 16.10.2014 – C-100/13 (Kommission/ Deutschland), DS 2014, 312
- [2] EU-Bauproduktenverordnung vom 9. März 2011 – Abl. L 88/5 vom 4.4.2011, S. 5
- [3] Vollzugshinweise zur Umsetzung des EuGH-Urteils vom 16.10.2014 in der Rechtssache C-100/13 – Erlasse betreffend den bauaufsichtlichen Vollzug bei der Verwendung harmonisierter Bauprodukte nach der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 (<https://www.dibt.de/de/DIBt/DIBt-EuGH-Urteil.html>)
- [4] Siehe: <https://www.dibt.de/de/DIBt/DIBt-EuGH-Urteil.html>
- [5] Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB), Entwurf Stand 09.06.2016
- [6] Im Kern haben die Prüfsachverständigen diese Beurteilung vorzunehmen, sie müssen daher auch die Verantwortung übernehmen.

BVPI erklärt auf wissenschaftlichem IABSE-Workshop die Effektivität des deutschen bautechnischen Prüfsystems

Vor ausgesuchtem Publikum haben im Februar dieses Jahres zwei Vertreter der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPI) in Helsinki auf internationaler Ebene die Effektivität und Sinnhaftigkeit des traditionellen deutschen bautechnischen Prüfsystems erklärt und mit vielen plastischen Beispielen in Vergleich gesetzt zu der europäischen Herangehensweise, wie sie im Anhang B zu EN 1990 formuliert wird.

Weil es in Zeiten starker europäischer Beeinflussungen des Prüfsachverständigenwesens in

Deutschland immer wichtiger wird, die deutschen Positionen nicht nur national klar und deutlich und an vielen Stellen zu formulieren, sondern sich auch auf internationaler Ebene für ihre Anerkennung oder Durchsetzung zu engagieren, haben Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger und Dr.-Ing. Eric Brehm als Vertreter der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPI) im Februar 2017 an einer wissenschaftlichen Konferenz teilgenommen, den die International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE (Internationale Vereinigung für Brücken- und Hochbau IVBH) zum Thema „Ignorance, uncertainty

and human errors in structural engineering“ in Helsinki durchgeführt hat. Die Konferenz war thematisch stark auf die Erkennung menschlicher Fehlhandlungen ausgerichtet und bot somit ein hervorragendes Forum für die grundsätzlichen ordnungs- und berufspolitischen Anliegen der BVPI.

Am Workshop nahmen Vertreter aus 19 Nationen teil (unter anderem aus Frankreich, den Niederlanden und England, aber auch aus Chile, Japan, Australien und aus Südamerika). Unter ihnen waren nicht nur Forscher, sondern auch Praktiker, die in ihrem berufli-



ALS VERTEETER DER BVPI nahmen Professor Dr. Ing. Wolfram Jäger (2.v.l.) und Dr.-Ing. Eric Brehm (3.v.r.) an einem internationalen wissenschaftlichen Kongress in Helsinki teil, auf dem sie die Vorzüge und die Effizienz des deutschen bautechnischen Prüfsystems vorstellen und mit Beispielen belegen konnten.

chen Alltag immer wieder mit den Ursachen und Folgen menschlicher Fehlhandlungen konfrontiert werden.

Die Vertreter der BVPI hatten auf dieser Konferenz die Gelegenheit, das deutsche bautechnische Prüfsystem zu erklären und die in ihm wurzelnden Erkenntnisse und die mit ihm gewonnenen, gesicherten Erfahrungen und Einsichten zu veranschaulichen.

Einerseits hielt Dr.-Ing. Eric Brehm einen viel beachteten Vortrag, in dem er vor allem auf die in der Fachwelt weit verbreitete Vorstellung einging, dass Zuverlässigkeit und Sicherheit synonyme Begriffe seien. Anhand von Beispielen hat er seinem internationalen Auditorium aber klar belegen können, dass Sicherheit nur zu erreichen sei, wenn Fehler durch bautechnische Prüfungen wirksam, effektiv und zielgerichtet minimiert werden

können, während Zuverlässigkeit ein rein theoretisch bestimmbarer Wert vom Charakter einer Bauteileigenschaft sei.

Prof. Jäger andererseits rundete Brehms Betrachtungen mit einem weiteren Vortrag über die Effektivität und Wirkungskraft bautechnischer Prüfungen nach deutschem Vorbild ab. Auch er stellte viele anschauliche Beispiele in den Mittelpunkt seiner Ausführungen und erläuterte so, warum die europäische Herangehensweise, wie sie im Anhang B zu EN 1990 aktuell formuliert wird, nach deutscher Überzeugung änderungsbedürftig sei.

Ein Vortrag, dessen Essenz für die Arbeit der BVPI von besonderer Bedeutung ist, war das Referat von Dr. phil. Marija Bertovic, die in der Berliner Bundesanstalt für Materialprüfung und -prüfung (BAM) für zerstörungsfreie Prüfungen zuständig ist. Sie beschäftigte sich

mit den Möglichkeiten und Grenzen menschlicher Wahrnehmung und mit ihren Auswirkungen auf die Erkennbarkeit von Fehlern und die Effektivität von Prüfverfahren. Dabei wurde den Vertretern der BVPI wieder einmal deutlich, dass es verbandspolitisch äußerst nützlich und sinnvoll sein dürfte, über die theoretischen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen der BAM auf diesem Wissensgebiet mehr zu erfahren und deswegen den ohnehin schon guten Kontakt zur BAM in diesem ihrem Arbeitsbereich zu ergänzen und vertiefen. Ziel dieser Zusammenarbeit auf diesem Gebiet muss es nach Ansicht Brehms sein, einen wissenschaftlich fundierten Beweis für die besondere Effektivität der bautechnischen Prüfung nach deutschem Vorbild zu erarbeiten und diesen dann in die europaweite Diskussion über die richtige Art und Weise der Durchführung bautechnischer Prüfungen einzuführen.

Ralf Egner löst Frank Breinlinger als Vorsitzender der Prüffingenieure in Baden-Württemberg ab

Die Landesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik in Baden-Württemberg hat einen neuen Vorsitzenden. Es ist Dr.-Ing. Ralf Egner aus Karlsruhe, der den bisherigen Vorsitzenden, Dr.-Ing. Frank Breinlinger, abgelöst hat, weil dieser

nach insgesamt zwölfjähriger ehrenamtlicher Tätigkeit nicht mehr für das Amt des Vorsitzenden kandidiert hat.

Auch der bisherige 2. Vorsitzende dieser Landesvereinigung, Dipl.-Ing. Matthias Gerold

(Karlsruhe), und der bisherige Schatzmeister der Landesvereinigung, Dr.-Ing. Hans-Ulrich Gauger (Heidelberg), hatten sich nicht mehr für eine Wiederwahl aufstellen lassen. Und so hat die Jahreshauptversammlung der baden-württembergischen Prüffingenieure Anfang

VORSTANDSWAHLEN bei der Landesvereinigung Baden-Württemberg der Prüfm Ingenieure für Bautechnik: Dr.-Ing. Frank Breinlinger (l.) gibt die Stafette des Vorstandsvorsitzenden an Dr.-Ing. Ralf Egner (2.v.l.) weiter; nicht mehr für den Vorstand hatten Dipl.-Ing. Matthias Gerold (3.v.l.) und Dr.-Ing. Hans-Ulrich Gauger (2.v.r.) kandidiert; deshalb wurden Dr.-Ing. Klaus Wittemann (3.v.r.) und Dipl.-Ing. Felix Späh (r.) neu in den Vorstand gewählt.



April in Leinfelden-Echterdingen auch diese beiden Posten neu zu besetzen. Gewählt wurden Dr.-Ing. Klaus Wittemann (Karlsruhe) zum 2. Vorsitzenden und Dipl.-Ing. Felix Späh (Mannheim) zum Schatzmeister.

Der neue Vorstand hat künftig kurze Wege. Die Büros *Ingenieurgruppe Bauen* mit Dr.-Ing

Ralf Egner, *SLP-Ingenieure* mit Dr.-Ing. Klaus Wittemann sowie *Bräuer und Späh* mit Dipl.-Ing. Felix Späh sind alle im Raum Karlsruhe/Mannheim angesiedelt. Alle Vorstände haben deshalb ihren Mitgliedern zugesagt, diesen Vorteil gebührend zu nutzen – zum Wohle aller Prüfm Ingenieure – auch derjenigen in den hinteren Winkeln des Landes.

Der neue Vorstand und die Mitglieder der Landesvereinigung Baden-Württemberg dankten den ehemaligen Vorstandskollegen und insbesondere ihrem langjährigen Vorsitzenden, Dr.-Ing. Frank Breinlinger, indem sie ihn zum neuen Ehrenvorsitzenden der baden-württembergischen Landesvereinigung ernannten.

Nordrhein-Westfalen: Neue Landesbauordnung führt die Prüfpflicht für Ein- und Zweifamilienhäuser wieder ein Das Freistellungsverfahren hat nicht die erhoffte Entlastung der Bauaufsichtsbehörden bewirken können

Weil, wie es in der Begründung für die Novellierung der Landesbauordnung von Nordrhein-Westfalen heißt, die bisherigen Vorschriften für das Baugenehmigungsverfahren in Nordrhein-Westfalen „den Anforderungen der Praxis nicht gerecht“ werden konnten, hat der Düsseldorfer Landtag mit der neuen Landesbauordnung NRW neben zahlreichen Änderungen auch die gesetzliche Pflicht zur bautechnischen Prüfung von Ein- und Zweifamilienhäusern wieder eingeführt.

Mit der neuen Landesbauordnung, die in ihren wesentlichen Teilen Ende 2017 in Kraft treten wird, konnte auch die Einführung von Gebäudeklassen entsprechend der Musterbauordnung der Länder landesgesetzlich gefasst sowie, indem der bisherige Paragraph 68 Absatz 3 Nummer 1 LBO NW ersatzlos gestrichen wurde, der Umfang der statisch zu prüfenden Gebäude erweitert werden. Somit müssen die Nachweise der Standsicherheit

künftig auch bei Wohngebäuden geringer Höhe mit bis zu zwei Wohnungen geprüft werden. Dies schließt die stichprobenhaften Kontrollen auf der Baustelle ein. Ausgenommen von der Prüfpflicht sind zukünftig in NRW nur noch bestimmte freistehende landwirtschaftliche Gebäude und eingeschossige Gebäude mit weniger als 200 Quadratmetern Fläche. Durch die Erweiterung der Prüfpflicht wird erreicht, dass bei Ein- und Zweifamilienhäusern der Verbraucherschutz verbessert wird. Und auch das Bauen mit Holz wird durch die Anpassung des Brandschutzsystems an die Musterbauordnung der Länder künftig erleichtert.

In der Begründung für die Novellierung der LBO NW heißt es, das sogenannte Freistellungsverfahren habe nicht die erhoffte Entlastung der Bauaufsichtsbehörden gebracht, weil die entfallene präventive Tätigkeit durch nachfolgendes ordnungsbehördliches Einschreiten zum Teil mehr als kompensiert wer-

de. Für Bauherrinnen und Bauherren sei außerdem „ein Verlust an Rechtssicherheit entstanden“.

In der neuen Landesbauordnung von Nordrhein-Westfalen sind Verfahrensregelungen deutlich gestrafft und zwecks besserer Übersicht und Handhabung neu gefasst worden. Das Freistellungsverfahren, wie gesagt, ist entfallen; das einfache Baugenehmigungsverfahren, in dem nur einzelne Vorschriften der Landesbauordnung geprüft werden, gilt weiterhin für alle Vorhaben mit Ausnahme der großen Sonderbauten.

Gestärkt wurde mit der neuen Landesbauordnung die Position der staatlich anerkannten Sachverständigen – auch in Bezug auf die Bauüberwachung und den Baubeginn. Ihre Tätigkeit wird künftig stärker von den Aufgaben der Bauaufsichtsbehörden unterschieden.

Dr.-Ing. Wolfgang Roeser, Aachen

Die Baden-Württembergischen Prüfsingenieure laden für den 23./24. Juni zur Arbeitstagung 2017 in Baden-Baden ein

Vorträge über schwierigen Tunnelbau, die Holz-Beton-Verbundbauweise und Bauen mit Spannbetonfertigteilen

Am 23. und 24. Juni wird die Landesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik Baden-Württemberg in Baden-Baden ihre diesjährige Arbeitstagung durchführen. Neben der Behandlung der aktuellen Entwicklung des Themas Bauprodukte werden Vorträge über schwierigen Tunnelbau, über das Bauen mit Spannbetonfertigteilen, über die Holz-Beton-Verbundbauweise und über einige andere aktuelle ingenieurwissenschaftliche und berufspraktische Themen gehalten.

Höhepunkt der Veranstaltung wird nach Ansicht ihrer Organisatoren aber ein Vortrag von Bernd Osterhammel sein, ein, wie er sich selbst bezeichnet, „Vortragsredner und Begleiter von UnternehmerInnen und Führungskräften“. Er hat seinem Vortrag die Überschrift „Schöpferkraft – Führen mit Vertrauen ...“ gegeben. Osterhammel, diplomierter Bau- und Wirtschaftsingenieur, hat jahrelang ein Ingenieurbüro für Tiefbau geführt, mittlerweile sich aber ganz darauf verlegt, „die Essenz seines Weges zu Erfolg und unbändiger Lebensfreude“ in Seminaren zu vermitteln und weiterzugeben. „Ganz allein für die-

sen Beitrag lohnt sich“, schreibt die Landesvereinigung in ihrer Tagungsankündigung, „jede Anreise“.

Aber nicht nur fachliche und führungspsychologische Themen stehen auf der Agenda der Arbeitstagung der Landesvereinigung Baden-Württemberg, sondern auch ein bildhaft-erzählerisch gestalteter Blick aus dem Weltall. Dr. Hannes Taubenböck, der im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen das Fernkundungsdatenzentrum für Georikiken und zivile Sicherheit betreut, wird den Teilnehmern der Arbeitstagung Europa, Deutschland und Baden-Baden von oben zeigen – und dabei die wahrscheinliche Entwicklung der globalen Transformation unserer Städte darstellen.

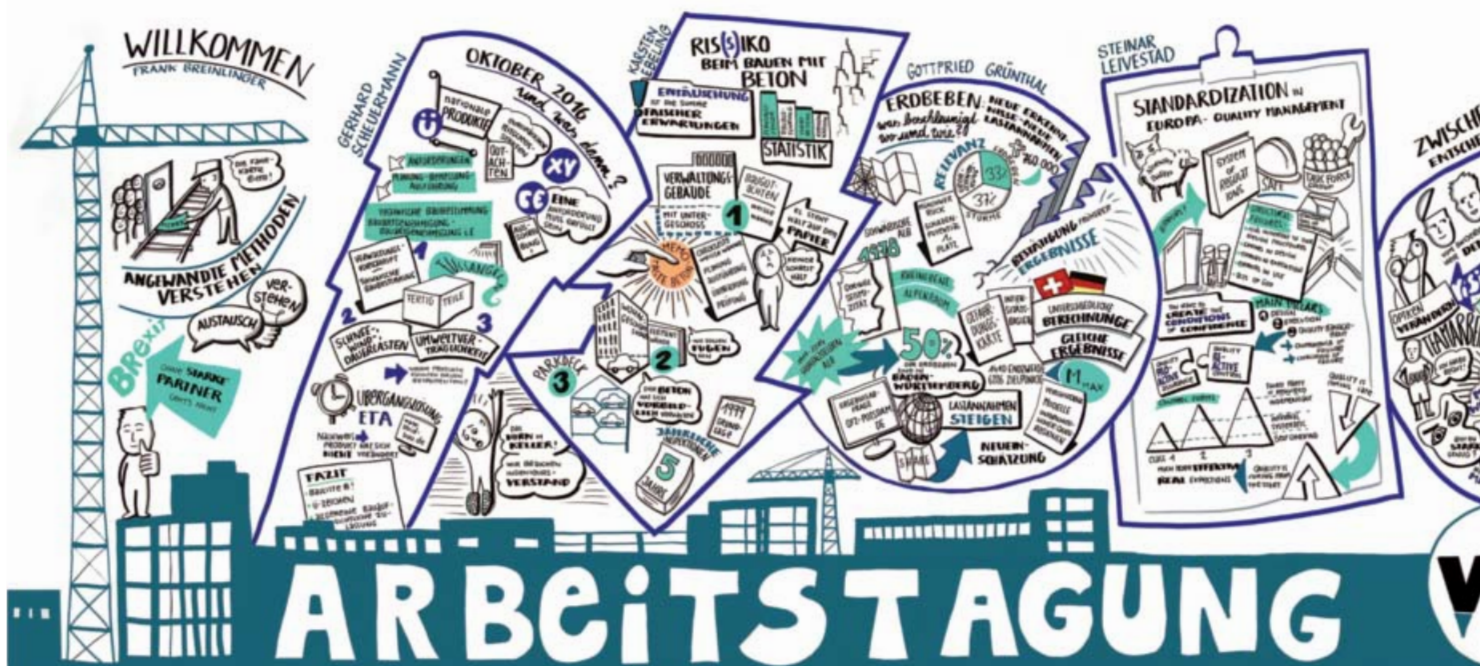
Das Fachprogramm als solches hat Referate über folgende Themen gelistet:

- Tunnelbau in schwierigem Umfeld – wie kann man im Anhydrit (sicher) bauen? (Prof. Dr.-Ing. Dieter Kirschke, Fa. Dieter Kirschke, Ettlingen);
- Tunnelbau in Stuttgart – Planen und Bau-

en unter komplexen Randbedingungen (Dipl.-Ing. Claus-Dieter Hauck, Landeshauptstadt Stuttgart);

- Bauen mit (Spannbeton)Fertigteilen? Worauf kommt es an? – Dr.-Ing. Naceur Kerkeni (Geschäftsführender Gesellschafter der Hegger + Partner Ingenieure, Aachen, Düsseldorf, Köln, München);
- Holz-Beton-Verbundbauweise – was ist heute möglich? (Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin, Hochschule Biberach).

Die baden-württembergische Landesvereinigung der Prüfsingenieure hat es sich übrigens zur Angewohnheit gemacht, die Protokolle ihrer Arbeitstagungen nicht in verbal-schriftlicher, sondern in der Sprache des Ingenieurs zu erstellen, nämlich in grafisch-zeichnerischer Form. Diese „Tagungscomics“ dokumentieren als zeichnerische Protokolle die beruflich-fachlichen Inhalte der Themen der Tagungen. Dieses Jahr werden die Originale von 2016 und der aktuellen Tagung 2017 versteigert. Der Erlös kommt einem guten Zweck zugute. Die 4 x 1 Meter großen Grafiken eignen sich sehr gut auch als technische Wandbilder im Ingenieurbüro.



DIE PROTOKOLLE der Arbeitstagungen der Landesvereinigung Baden-Württemberg der Prüfsingenieure für Bautechnik werden nicht geschrieben, sondern

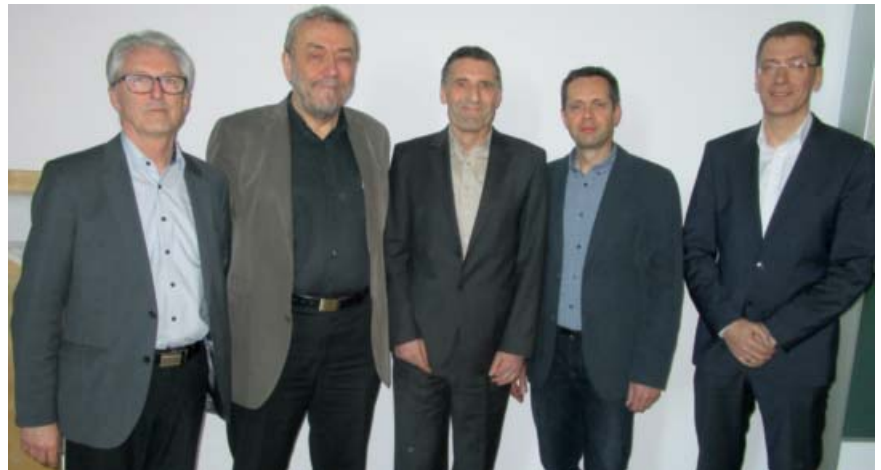
Andreas Forner wurde zum neuen Vorsitzenden der Landesvereinigung der Prüfm Ingenieure in Sachsen gewählt

Der Vorstand der Landesvereinigung der Prüfm Ingenieure für Bautechnik in Sachsen hat anlässlich der jüngsten Jahreshauptversammlung dieser Landesvereinigung Ende März in Dresden Dipl.-Ing. Andreas Forner (Leipzig) zum neuen Vorsitzenden gewählt. Er löste Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger (Radebeul) ab, der dem Vorstand der Landesvereinigung elf Jahre vorgestanden hat und nun einem Jüngeren Platz machen wollte. Er gehört dem Vorstand aber weiterhin als Mitglied an.

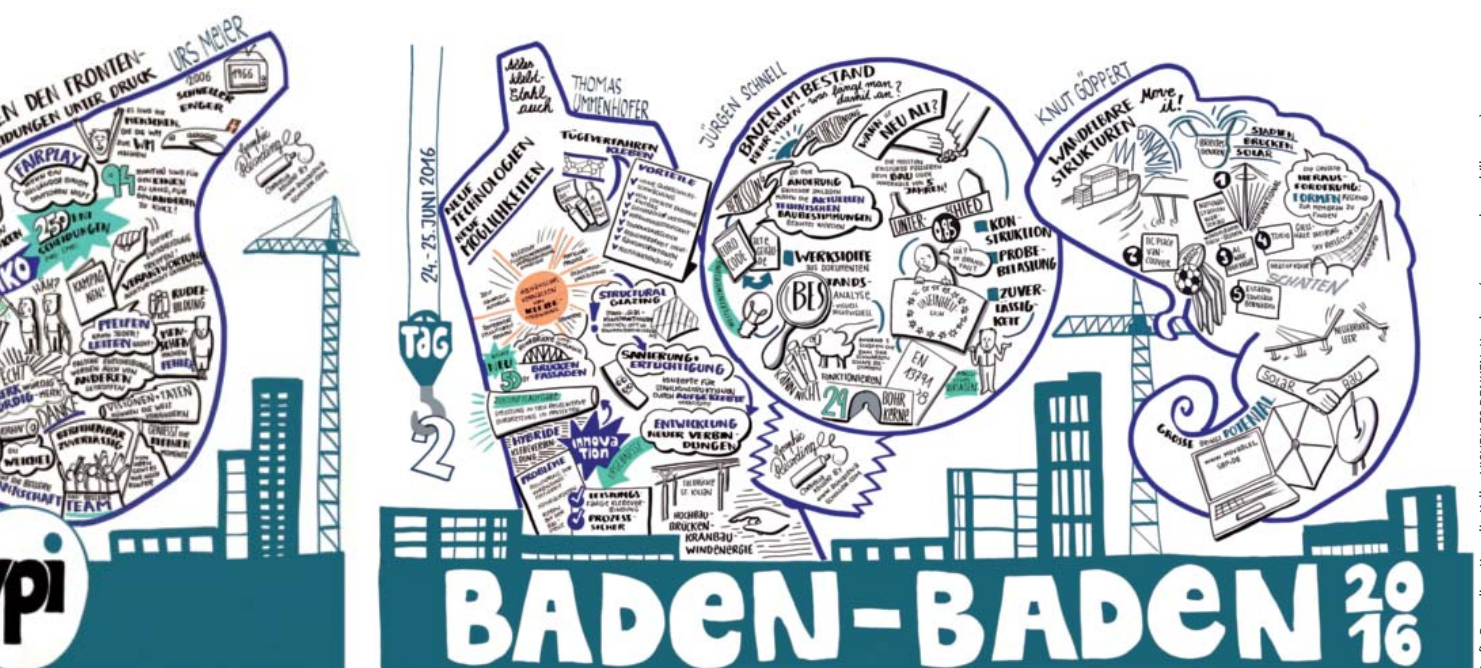
Andreas Forner war auch schon vor seiner Wahl zum Vorsitzenden Mitglied im Vorstand der sächsischen Landesvereinigung, den mit ihm und Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger nun weiterhin Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach (Dresden), Prof. Dr.-Ing. Sylvia Heilmann (Pirna) sowie die Diplom-Ingenieure Stefan Kraus (Dresden), Steffen Merz (Dresden) und Jürgen Weisbach (Thum) bilden. Dieser Vorstand stehe, wie Forner als neuer Vorsitzender nach seiner Wahl mitteilte, „als Bindeglied zwischen Bauwirtschaft und Behörden für eine konsequente Vertretung der Interessen aller Mitglieder“.

Der Vorstand hat seinem scheidenden Vorsitzenden Professor Jäger herzlich für dessen langjährigen Einsatz an der Spitze der Landesvereinigung gedankt. Hervorzuheben sei neben seiner elfjährigen Tätigkeit als Landesvorsitzender auch seine Arbeit im Prüfungs-

ausschuss für die Zulassung neuer Prüfm Ingenieure sowie seine nationale und internationale Tätigkeit in verschiedenen Normen- und Eurocode-Ausschüssen für den Mauerwerksbau und für die Grundlagen der Tragwerksplanung.



DER NEUE VORSTAND der Landesvereinigung der Prüfm Ingenieure für Bautechnik in Sachsen (v.l.n.r.): Dipl.-Ing. Jürgen Weisbach (Thum), Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger (Radebeul), Andreas Forner (Leipzig), Dipl.-Ing. Stefan Kraus (Dresden) und Dipl.-Ing. Steffen Merz (Dresden); nicht im Bild: Prof. Dr.-Ing. Sylvia Heilmann und Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach



gezeichnet – und sie werden nach der Veranstaltung für einen guten Zweck versteigert. Unser Bild zeigt das Protokoll der Arbeitstagung 2016.

Grafic Recording: Komelia Koller, VISUELLES DENKEN, Hamburg (www.annalenaschiller.com)

Prüfung der Planung freiwillig – Bemessungsregeln frei vereinbar – Interaktionsprüfung nicht geregelt: Ist das baurechtlich akzeptierte Risiko notwendiger sicherheitstechnischer Anlagen in Gebäuden tragbar?

Die Experten für den Brandschutz am Bau, also die Brandschutz-nachweisersteller, die Fachplaner für die technische Ausrüstung (TA-Fachplaner), die Prüfsachverständigen für die Prüfung sicherheitstechnischer Anlagen und Einrichtungen (TA-Prüfer) und die Prüfsachverständigen für den Brandschutz (Brandschutzprüfer) streben auf unterschiedlichen Wegen zu einem gemeinsamen Ziel: dem nach allen gesetzlich geforderten Regeln ausreichenden Brandschutz. Wer ist dabei aber wofür zuständig? Wer verantwortet im Detail beispielsweise die sicherheitstechnisch richtige Auslegung der einzelnen Anlagen und die Korrektheit ihres interaktiven Zusammenspiels? Diese Fragen beantwortet der Autor des folgenden Beitrags. Er setzt sich auch mit der Sinnhaftigkeit jener Vorschläge auseinander, die in der Praxis immer wieder aufkommen, über den solitär handelnden Expertengruppen nämlich noch einen „Chefprüfer“ zu installieren, der die Planung und die Prüfergebnisse noch einmal „oberbegutachtet“. Doch da ist des Autors Urteil eindeutig: Eines „Oberprüfers“ für Brandschutz, der die Prüfleistungen von TA-Prüfern auf Plausibilität prüft, bedarf es nicht, weil das Restrisiko, das die Schnittstellenlücke zwischen unterschiedlichen sicherheitstechnischen Anlagen stehen lässt, theoretisch als vergleichbar mit anderen akzeptierten baurechtlichen Restrisiken angesehen wird. In der Praxis fragt man sich jedoch immer öfter: Ist das Restrisiko wirklich tragbar, wenn die Bemessungsregel frei vereinbar, die Planung der Prüfung freiwillig und Interaktionsprüfungen nicht geregelt sind?



Dipl.-Ing. (FH) Thomas Herbert

studierte Bauingenieurwesen an der Fachhochschule Nürnberg und ist seit 2012 Geschäftsführender Gesellschafter der Oehmke + Herbert Planungsgesellschaft im Bauwesen mbH (Nürnberg); Herbert ist Prüfsachverständiger für Brandschutz, stellv. Vorsitzender im Prüfungsausschuss SVBau für den vorbeugenden Brandschutz der Bayerischen Architektenkammer, Sprecher der Prüfsachverständigen für Brandschutz in Bayern, Vorsitzender des Ausschusses Baurecht und Sachverständigenwesen der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau und Mitglied im Koordinierungsausschuss Brandschutz (KAB) der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik

1 Einführung

„Die Diktatur der Feuermelder“ lautete die provokante Überschrift in der „ZEIT“-Ausgabe 29 im Sommer 2016. Mit einem „Rollkommando“ wurde die Braunschweiger Bauordnungsbehörde betitelt, die im „Morgengrauen“ eine Grundschule „überfallen“ hat, um Garderobenhaken aus den Fluren zu entfernen – zur „Fassungslosigkeit der Schulleiterin“. Die ZEIT hat sich hier einer Wortwahl bedient, die man eher einer anderen Zeitung mit vier Buchstaben zuordnen würde. „Wenn Schulen wie Strafanstalten aussehen, Bauprojekte immer teurer und Flughäfen nicht fertig werden, geht es meist um ausufernden Brandschutz. Der droht das Land zu ersticken.“

Der Tenor des Artikels war: strenger werdende Vorschriften, Brandschutz wird überproportional teuer, 347 Brandtote könne man doch wohl im Vergleich mit anderen Lebensrisiken tolerieren, und der Berliner Flughafen ist überall.

Dieser polarisierende Artikel veranlasste die Leserschaft zu über 130 Kommentaren. In pro und contra hielten sie sich in etwa die Waage. Besser könnte es für den Gesetzgeber nicht laufen. Die unterschiedlichen Meinungen neutralisieren sich soweit, dass eine demokratische Mitte gefunden zu sein scheint.

Die „Diktatur der Feuermelder“ trifft den Kollegenkreis der Fachplaner für technische Ausrüstung (TA-Fachplaner) und der Prüfsachverständigen für die Prüfung sicherheitstechnischer Anlagen und Einrichtungen (TA-Prüfer). Die Prüfsachverständigen für Brandschutz (Brandschutzprüfer) sind auch betroffen, da es bei undifferenzierter Betrachtungsweise um „den Brandschutz“ geht.

Dürfen sich hier die Prüfsachverständigen für Standsicherheit zurücklehnen und sich über die weitaus geringere Schwere der Schadensstatistik freuen? Hinter dem Artikel steckten die Fragen, wieviel Sicherheit brauchen wir und wieviel Sicherheit können wir uns leisten. Dabei ist das individuelle Sicherheitsbedürfnis zwischen dem Extremsportler und dem Büroangestellten vermutlich unterschiedlich und an den Grenzen fließend.

Die Frage nach dem effizienten Einsatz von finanziellen Mitteln für den Brandschutz hat übrigens Prof. Dr. Mario Fontana im *Prüfsachverständigen* wunderbar beleuchtet, darauf sei hier verwiesen (Ausgabe 48, Mai 2016).

Der gesellschaftliche Konsens, dass Brandschutz unverzichtbarer Bestandteil unserer gebauten Umwelt sei, wird selten derart öffentlich in Frage gestellt, wie im oben genannten ZEIT-Artikel. Die Argumentation und die aufgeführten Beispiele passen aber eher an einen Stammtisch, als dass sich die interessierte Öffentlichkeit aktiv damit auseinandersetzen müsste. Der „Brandschutz“ muss sich jedoch in Acht nehmen,



Foto: Th. Herbert

Abb. 1: Brennbare Möblierung in notwendigen Fluren

nicht in Verruf zu kommen, da auf seinem Rücken vieles transportiert wird. Über die Kostenstelle „Brandschutz“ lassen sich auch Baumaßnahmen oder Instandsetzungen besser begründen oder beschleunigen, deren Beweggründe mit dem Brandschutz nichts zu tun haben.

Die folgenden Ausführungen gründen auf dem in Bayern geltenden Baurecht. Es wird bewusst darauf verzichtet, die Musterwelt der ARGEBAU zu berücksichtigen, da die landesspezifischen Anforderungen und Kommentare konkreter sind als die neutralere Musterwelt. Die Übertragung vom Bayerischen Baurecht zum jeweiligen Landesrecht des Lesers sollte genauso möglich sein, wie der erforderliche Transfer aus der Musterwelt zum leserspezifischen Landesrecht. Auslegungshilfen für die Musterbauordnung sind geringeren Umfangs und können auf der Homepage der ARGEBAU (www.is-argebau.de) als Fragen-Antwort-Katalog eingesehen werden. Eine baurechtliche Verbindlichkeit ist damit aber noch weniger gegeben als mit den vielfältigen Schreiben zum Brandschutz der jeweiligen Obersten Landesbaubehörden, die gerne zur Argumentation verwendet werden, deren rechtliche Verbindlichkeit im Streitfall aber auch konträr gesehen werden kann.

Die Beschreibung der Schnittstelle zwischen dem TA-Prüfer und dem Brandschutzprüfer erfolgt hier aus der Sicht eines Prüfsachverständigen für Brandschutz mit Kenntnissen in sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen, soweit diese zur konzeptionellen Beurteilung von Brandschutznachweisen erforderlich sind, jedoch ohne technische Detailkenntnisse, insbesondere von der Bemessung sicherheitstechnischer Anlagen. (Nur aus Gründen der besseren Lesbarkeit dient die Verwendung lediglich der männlichen Sprachformen – die Damen in der Leserschaft werden um Verständnis gebeten.)

Brennbare Einbauten sind im Übrigen nur in notwendigen Treppenträumen unzulässig. Für notwendige Flure gibt es dazu keine vergleichbare gesetzliche Grundlage. Fragen zur Möblierung im Flur werden nicht von der Bauordnung beantwortet, sondern allenfalls über den betrieblich-organisatorischen Brandschutz und unterliegen der Verordnung zur Verhütung von Bränden, wonach Rettungswege freizuhalten sind. In **Abb. 1** sind diese Anforderungen erfüllt.

2 Fachrichtungen von TA-Prüfern

An der Schnittstelle zwischen Brandschutzprüfer und TA-Prüfer sind gegenseitige Kenntnisse von der Tätigkeit des jeweils anderen not-

wendig. Brandschutzprüfer müssen zum Beispiel Kenntnisse im anlagentechnischen Brandschutz im Rahmen ihrer Anerkennung nachweisen.

Die unterschiedlichen sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen führen zu differenzierten Fachrichtungen. Sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen sind über die Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung (SPrüfV) definiert. Dort gibt es sieben Anlagengattungen:

- Lüftungsanlagen,
- CO-Warnanlagen,
- Rauchabzugsanlagen,
- selbsttätige Feuerlöschanlagen,
- nichtselbsttätige Feuerlöschanlagen,
- Brandmelde- und Alarmierungsanlagen,
- Sicherheitsstromversorgung.

Diese sieben Anlagengattungen haben mit der Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung eine gehobene Stellung, da die Prüfung dieser Anlagen von ausgewiesenen Spezialisten, den TA-Prüfern, erfolgen muss. TA-Prüfer prüfen und bescheinigen die Wirksamkeit und Betriebssicherheit von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen. Dies gilt für Sonderbauten und Mittel- und Großgaragen, sofern die sicherheitstechnischen Anlagen notwendige Bestandteile von Brandschutz nachweisen sind.

Geeignete TA-Prüfer sind jeweils nur in ihrer Fachrichtung tätig. So wie bei den Prüfingenieuren für Standsicherheit die Fachrichtungen

- Massivbau,
- Holzbau und
- Metallbau

unterschieden werden, gibt es bei den TA-Prüfern die Fachrichtungen

- Lüftungsanlagen,
- CO-Warnanlagen,
- Rauch- und Wärmeabzugsanlagen,
- Brandmelde- und Alarmierungsanlagen,
- Sicherheitsstromversorgungen und
- Feuerlöschanlagen.

Ergibt sich bei der Prüftätigkeit des TA-Prüfers die Zuordnung des Prüfgegenstandes zu einer anderen Fachrichtung, gilt die allgemeine Verpflichtung, darüber den Auftraggeber zu unterrichten.

Die Produktionshalle in **Abb. 2** zeigt eine nicht prüfpflichtige „freiwillige“ Lüftungsanlage, eine aufgrund der Brandabschnittsgröße notwendige und damit prüfpflichtige Sprinkleranlage, eine aufgrund der Industriebaurichtlinie notwendige Rauch- und Wärmeabzugsanlage, eine aufgrund der langen Rettungswege erforderliche Alarmierungsanlage und zusätzliche und damit nicht prüfpflichtige „freiwillige“ Brandmelder.

3 Sprinkleranlage

Am Beispiel einer Sprinkleranlage soll die Erwartung an die Tätigkeit eines TA-Prüfers erläutert werden. Sprinkleranlagen sind automatische Feuerlöschanlagen, die im Brandfall den Bereich des Brandes mit Wasser benetzen und so zu einer Verhinderung der Brandausbreitung

BRANDSCHUTZ



Foto: Th. Herbert/Fa. Geobra

Abb. 2: Lüftungsanlage, Sprinkleranlage, Alarmierungsanlage, Rauch- und Wärmeabzugsanlage, Brandmelder



Foto: Th. Herbert, Freigabe/Fa. Geobra

Abb. 3: Druckluftwasserbehälter einer Sprinkleranlage

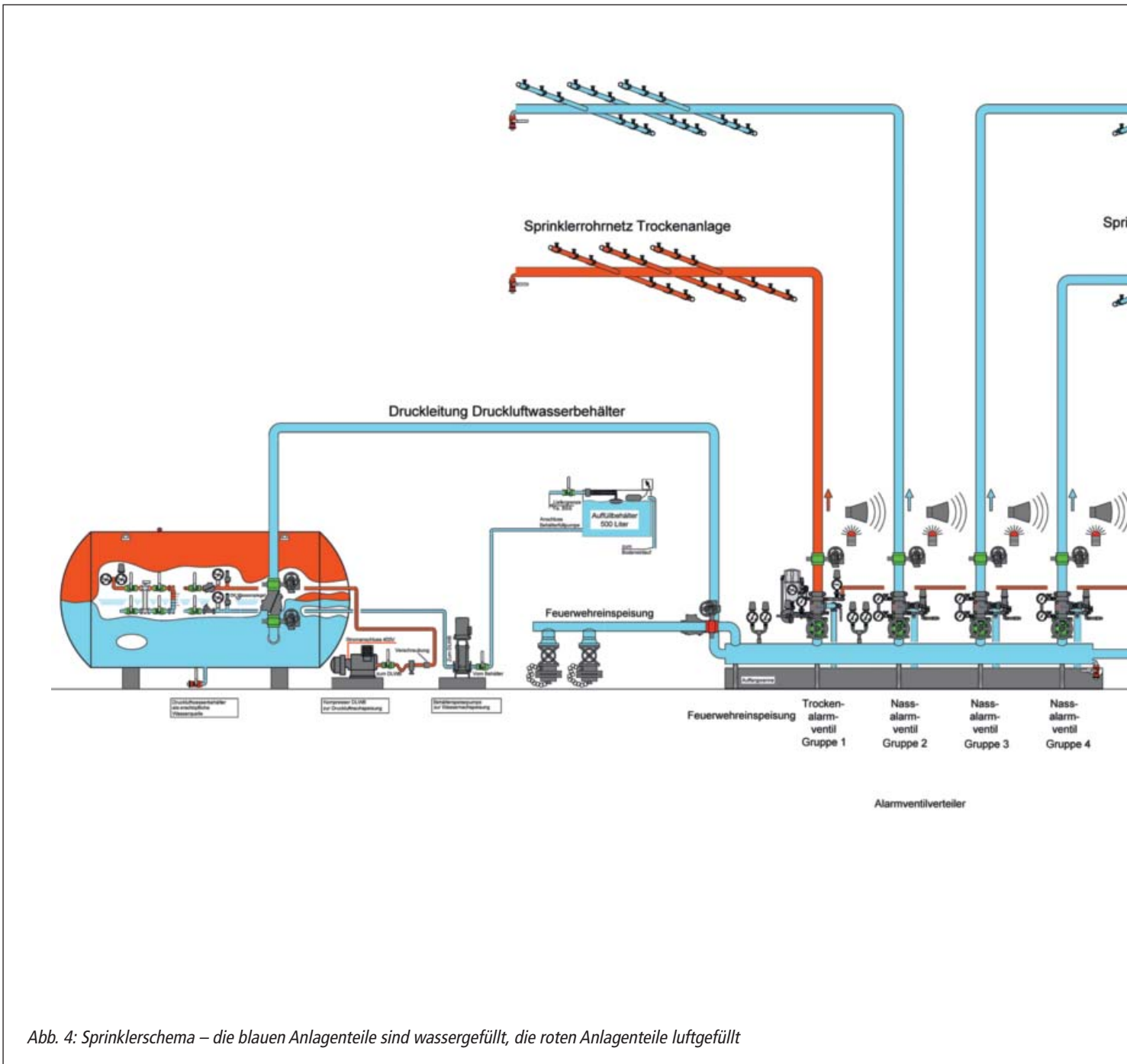


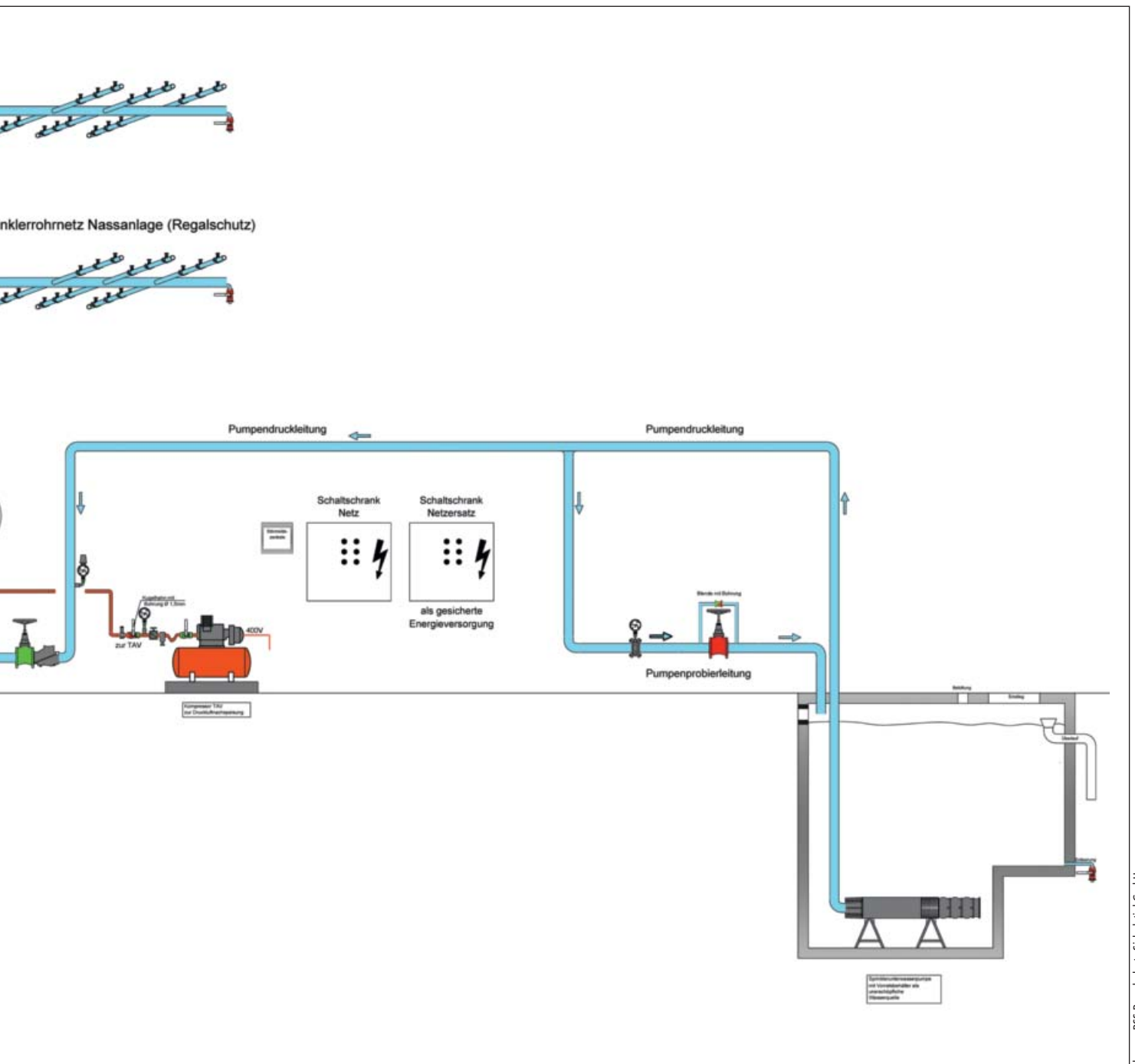
Abb. 4: Sprinklerschema – die blauen Anlagenteile sind wassergefüllt, die roten Anlagenteile luftgefüllt

und damit auch zu einer Verminderung der Rauchentwicklung beitragen.

Eine übliche Sprinkleranlage besteht aus der Sprinklerzentrale und dem Rohrleitungsnetz im Gebäude. Die Wasserversorgung erfolgt je nach Anlagengröße und Brandgefahrenklasse über erschöpfliche oder unerschöpfliche Wasserquellen beziehungsweise aus der Kombination mehrerer Wasserquellen. Der Wasservorrat für die Sprinkleranlage in einem Löschwasserbehälter kann mehrere 100 Kubikmeter Wasser fassen. Über die Sprinklerpumpe wird das Rohrleitungsnetz mit Wasser gespeist. Alternativ oder in Ergänzung erfolgt die Einspeisung über den Druckluftwasserbehälter (**Abb. 3**), der, unter Überdruck stehend, bis zu 23 Kubikmeter Wasser (VdS-Anlage) in das Leitungsnetz presst. Das Sprinklerschema nach **Abb. 4** zeigt die funktionalen Zusammenhänge der wesentlichen Komponenten einer Sprinkleranlage, dabei

sind blaue Anlagenteile wassergefüllt und rote Anlagenteile luftgefüllt.

Die Verteilung des Wassers erfolgt gleichmäßig in das hydraulisch berechnete Rohrleitungsnetz. Im Rohrleitungsnetz verteilt sind die Sprinklerköpfe. Sprinklerköpfe sind wie Stöpsel, die die Löcher der Rohrleitung verschließen. Der Stöpsel besteht aus einem geschlossenen flüssigkeitsgefüllten Glaskörper, der als Glasfässchen bezeichnet wird. Die Flüssigkeit und das Glasfässchen sind so ausgelegt, dass bei einer Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit im Glaskörper dieser platzt und die Rohrleitungsöffnung freigibt. Das unter Druck stehende Wasser tritt aus dem Rohrleitungsnetz aus, wird über Prallteller verteilt und benetzt die Brandstelle mit Wasser. Die Benetzung der Brandstelle erfolgt nur dort, wo die Temperatur am Glasfässchen überschritten wurde und Wasser aus der Rohrleitung austritt. Die Wahrscheinlichkeit



Schema: BSS Brandschutz Sichelstiel GmbH



Abb. 5: Nassalarm-Ventilstationen einer Sprinkleranlage

ist groß, dass dies in der Nähe des Brandherdes ist. Die primäre Aufgabe des Sprinklers ist nicht, ein Feuer zu löschen, sondern die Ausbreitung des Feuers zu behindern. Im günstigsten Fall trifft das austretende Wasser auf die Glut und führt zum Löschen des Brandes. Wasserbenetzte Oberflächen in der Nähe des Brandes stellen aufgrund der hohen Wärmeaufnahmekapazität des Wassers auch eine Ausbreitungsbehinderung für das Feuer dar, da anhaftendes Wasser an brennbaren Bauteilen zu einer Verlangsamung des Brandgeschehens führt.

Die Anlagenkomponenten einer Sprinkleranlage – von der Löschwasserbevorratung, den Pumpen, den Leitungsquerschnitten bis zur Nassalarm-Ventilstation (**Abb. 5**) – werden auf die Wirkfläche bemessen. Die Wirkfläche ist die Annahme eines Entstehungsbrandes auf einer fiktiven Fläche. Sie ist maximal 360 Quadratmeter (VdS-Anlage) groß und stellt die Kapazitätsgrenze der Sprinkleranlage dar. Die Wirkfläche ist immer gerade da, wo es brennt. In einer 10.000 Quadratmeter großen Halle wird eine Sprinkleranlage maximal in der Lage sein, 360 Quadratmeter zu benetzen, da die Sprinklerköpfe nur dort öffnen, wo die Temperaturbeanspruchung groß ist. Die Benetzung erfolgt lokal dort, wo der Brand zu einer Temperaturerhöhung führt. Der Wasserschaden durch eine Sprinkleranlage ist in der Regel kleiner als der Brandschaden, der durch die nicht rechtzeitige Eindämmung des Brandes entstehen würde.

Der Druck in der Sprinklerleitung kann alternativ aufgebaut werden über hydrostatische Höhe, Dieselpumpen, elektrische Pumpen oder Druckluft. Im Fall der elektrischen Sprinklerpumpe ist eine entsprechende Ersatzstromversorgung erforderlich.

Unmittelbar nach dem Anspringen der Sprinkleranlage, durch den Ausfluss von Wasser, erfolgt über den Druckschalter die Aktivierung der Brandmeldeanlage (**Abb. 6**). Die Brandmeldeanlage ist aufgeschaltet zur integrierten Leitstelle und alarmiert die Feuerwehr. Falls die Sprinkleranlage nicht in der Lage sein sollte, den Brand selbsttätig zu löschen, hält sie ihn dennoch klein, und die alarmierte Feuerwehr kann Restlöscharbeiten vornehmen. Die Feuerwehr schiebt nach der Brandlöschung den Wasserzufluss in das Sprinklerrohrleitungsnetz ab.

Mit dieser knappen Schilderung der funktionalen Zusammenhänge einer Sprinkleranlage soll bewusst gemacht werden, dass viele einzelne Komponenten dazu beitragen, das Schutzziel der Brandausbreitungsbehinderung zu erreichen; viele einzelne Komponenten, die nur im Ernstfall erforderlich sind, aber dann zu 100 Prozent funktionieren müssen.

Vom TA-Prüfer wird erwartet, dass die Anlage als wirksam und betriebssicher bescheinigt wird. In der oben genannten Darstellung zeigt



Abb. 6: Geöffnete Brandmelde-Unterzentrale

sich, dass dafür mindestens zwei Fachrichtungen tangiert sind: TA-Prüfer für Feuerlöschanlagen und TA-Prüfer für Brandmeldeanlagen, gegebenenfalls kommt auch noch der TA-Prüfer für die Sicherheitsstromversorgung hinzu. Neben der Schnittstelle des TA-Prüfers zum Brandschutzprüfer gibt es also fallweise zusätzlich Schnittstellen der TA-Prüfer untereinander.

4 Bemessungsgrundlagen

Für die Bemessung einer Sprinkleranlage gibt es kein bauaufsichtlich eingeführtes technisches Regelwerk. Im Gegensatz zu den Eurocodes der Tragwerksplanung sind die Bemessungsregeln von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen vom Verordnungsgeber nicht festgelegt. In den Verordnungen und Richtlinien zum Brandschutz werden lediglich automatische Löschanlagen gefordert, wie beispielsweise in der Verkaufsstättenverordnung, der Garagen- und Stellplatzverordnung oder in der Industriebaurichtlinie. Darüber hinaus gibt es keine Angaben über die anzuwendenden Bemessungsregeln.

In Deutschland sind die Regelungen der VdS Schadensverhütung GmbH als anerkannter Stand der Technik unbestritten. Es werden aber auch andere Standards angewendet, wie die europäische DIN EN 12845: „Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Automatische Sprinkleranlagen - Planung, Installation und Instandhaltung“ oder die amerikanische Brandschutzregel NFPA 13: „Standard for the Installation of Sprinkler Systems“ oder FM Global Data Sheets als Bemessungsgrundlagen der amerikanischen Versicherungswirtschaft.

Sprinkleranlagen werden auch im Hinblick auf den Versicherungsschutz konzipiert und bedürfen deshalb der Festlegung zwischen dem Bauherrn und seinem Sachversicherer. Die Entscheidung über die Planungsgrundlage trifft der Bauherr. Die Grundlagenermittlung (Leistungsphase 1 im Leistungsbild der Technischen Ausrüstung nach HOAI) fordert die „Klärung der Aufgabenstellung aufgrund der Vorgaben des Auftraggebers“. Dazu gehört im Falle der Sprinkleranlage ganz wesentlich die Bemessungsnorm für die Auslegung.

Nach der Planung und dem Bau einer Sprinkleranlage ist diese als sicherheitstechnische Anlage von einem TA-Prüfer zu prüfen. Die Vorgabe in der Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung ist die Prüfung und Bescheinigung der Wirksamkeit und Betriebssicherheit. Kurz und prägnant ist diese Zielvorgabe, die mit der Bescheinigung über sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen erreicht wird. Der Bescheinigungsvordruck Anlage 16 ist vom Bayerischen Staatsministerium des Innern verbindlich vorgegeben. Mit seiner Unterschrift bescheinigt der

TA-Prüfer die Wirksamkeit und Betriebssicherheit. Dass dies vorbehaltlos erfolgen muss, versteht sich von selbst.

Die Schnittstelle zwischen Brandschutzprüfer und TA-Prüfer ist von der Frage der Bemessungsregel für die sicherheitstechnische Anlage nicht betroffen. Die Bemessungsregel wird vom TA-Prüfer als Prüfgrundlage zur Kenntnis genommen und darauf aufbauend die Prüfung der sicherheitstechnischen Anlage durchgeführt.

5 Beauftragung

Die privatrechtliche Beauftragung der TA-Prüfer erfolgt durch den Bauherrn und entspricht der Beauftragungssituation der Prüfsachverständigen für Brandschutz und Standsicherheit.

Prüfsachverständige werden im Auftrag des Bauherrn tätig. Das gilt für alle Prüfsachverständigen, auch für die TA-Prüfer. Es kommt vor, dass Prüfleistungen für sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen über die TA-Gewerke mit ausgeschrieben und über ausführende Firmen vergeben werden. Dieses Verfahren bietet inhaltlich die Hoffnung, dass Ausführende und Prüfende so weit zusammenarbeiten, dass am Ende die Wirksamkeit und Betriebssicherheit der technischen Anlage reibungslos bescheinigt wird. Ob damit auch das höchste Maß an Qualitätssicherung für den Bauherrn erreicht wird, ist ohne weitere systematische Untersuchung nicht festzustellen. Im Gegensatz zu allen anderen Prüfsachverständigen können die TA-Prüfer auch in einem Angestelltenverhältnis tätig werden.

Auf die Schnittstellenbetrachtung zwischen Brandschutzprüfer und TA-Prüfer hat die Art der Beauftragung keinen Einfluss. Prüfer sind nicht weisungsgebunden, ihre Entscheidung ist unabhängig und ohne Ansehen der Person.

6 Präventive Prüfung

TA-Prüfer prüfen vor der ersten Inbetriebnahme und nach wesentlichen Änderungen von sicherheitstechnischen Anlagen oder Einrichtungen deren Wirksamkeit und Betriebssicherheit. Der Bauherr ist verpflichtet, die Prüfung seiner Anlagen vor der Nutzungsaufnahme des Gebäudes durchführen zu lassen. Der TA-Prüfer kommt vor Ort, nimmt die technische Anlage in Augenschein, prüft nach den Muster-Prüfgrundsätzen oder einem selbst gewählten Prüfsystem und stellt fest, dass die Anlage wirksam und betriebssicher ist. Soweit der theoretische Ansatz.

Die Verweigerung der Feststellung einer wirksamen und betriebssicheren Anlage kann in technischen Mängeln begründet sein, die sich beheben lassen, sie kann aber auch konzeptionelle Mängel der Anlagenplanung aufdecken. Bauordnungsrechtlich gibt es keine verpflichtende präventive Prüfung der Planung im Hinblick auf die spätere Feststellung der Wirksamkeit und Betriebssicherheit. Der regelmäßige Ratschlag, die Prüfung der Sicherheitstechnik bereits in der Planungsphase mit einzubinden, wird von manchem Bauherrn beherzigt, bietet dies doch am ehesten die Gewähr, dass das Anlagenkonzept nicht infrage gestellt wird. Die Prüfung der Planung, wie beim Brandschutz oder in der Standsicherheit, hat der Verordnungsgeber bei sicherheitstechnischen Anlagen nicht gefordert, also kein Vieraugenprinzip bei der Planung, sondern nur bei der Bauüberwachung.

Für Anlagen, die autark und für sich gesehen nach einem geschlossenen Regelwerk funktionieren, mag das genügen. Spätestens mit der Verknüpfung von mehreren sicherheitstechnischen Anlagen, die ihre volle Wirkung erst in der Kombination von unterschiedlichen Anlagen zur Entfaltung bringen, wäre es sinnvoll, dass auch die Planung präventiv nach dem Vieraugenprinzip geprüft wird.

Das Zusammenwirken von sicherheitstechnischen Anlagen wird im Brandschutznachweis festgelegt. In einfachen Wenn-Dann-Beziehungen werden die wesentlichen konzeptionellen Ansätze dargestellt: Wenn ein Brandmelder detektiert, dann wird die Feuerwehr alarmiert; wenn die Sprinkleranlage auslöst, dann muss die Brandmeldeanlage den Alarm weiterleiten; wenn die Überdrucklüftungsanlage im Treppenraum anläuft, dann müssen alle Treppenraumbtüren automatisch schließen. Dies sind Beispiele für die Wechselwirkung von sicherheitstechnischen Anlagen.

TA-Fachplaner fügen gewerkeübergreifende Funktionen von sicherheitstechnischen Anlagen in einer Brandfallsteuermatrix zusammen. Diese stellt Verknüpfungen von Aktion und Reaktion von technischen Anlagen dar. Angesteuert werden können dabei auch bauliche Komponenten wie Türen, Brandschutzvorhänge oder der Sonnenschutz in Fassaden zur Ermöglichung einer Rauchableitung.

Die Grundzüge der Brandfallsteuermatrix sind dem Brandschutznachweis zu entnehmen. In komplexen Gebäuden können Brandfallsteuermatrizen zigtausend Verknüpfungen haben. Aus dem Beispiel erschließt sich, dass gerade die Interaktion von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen frühzeitig präventiv geprüft werden sollte. Dies kann der Planer empfehlen, eine rechtliche Grundlage dafür gibt es nicht.

Die Brandfallsteuermatrix wird vom TA-Fachplaner in der Entwurfsplanung begonnen und zieht sich bis in die Werkplanung. Demzufolge handelt es sich nicht um eine Bauvorlage zur Genehmigung und kann somit nicht Prüfgegenstand für den Brandschutzprüfer sein. Für den TA-Prüfer stehen in der Brandfallsteuermatrix wichtige Zusammenhänge der Interaktion technischer Anlagen. Er prüft aber keine Planung. Die Richtigkeit der Brandfallsteuermatrix muss sowohl vom Brandschutzprüfer als auch vom TA-Prüfer vorausgesetzt werden. Eine präventive Prüfung könnte allenfalls vom Bauherrn zur Qualitätssicherung als zusätzliche Leistung beauftragt werden.

7 Muster-Prüfgrundsätze

Zur Tätigkeit der TA-Prüfer hat die Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) Muster-Prüfgrundsätze veröffentlicht, die „Grundsätze für die Prüfung technischer Anlagen entsprechend der Muster-Prüfverordnung durch bauaufsichtlich anerkannte Prüfsachverständige (Muster-Prüfgrundsätze)“. In aufzählender Form sind dort die Bausteine einer Prüfung checklistenartig zusammengestellt. Für die im obigen Beispiel beschriebene Sprinkleranlage sind die Muster-Prüfgrundsätze in **Abb. 7** aufgelistet.

Im Gegensatz zur Bauüberwachung beim Brandschutz und bei der Standsicherheit wird bei der Prüfung sicherheitstechnischer Anlagen nicht von einer stichprobenartigen Prüfung ausgegangen. In den Muster-Prüfgrundsätzen lautet die Formulierung dazu:

- 5.4 Feuerlöschanlagen
- 5.4.1 Allgemeine Prüfanforderungen
 - Übereinstimmung mit den Prüfgrundlagen (z. B. Brandschutznachweis)
 - Bemessung der Anlage
 - Sichtprüfung Gesamtanlage und der Bauteile
 - Anschluss an eine Sicherheitsstromversorgung
 - Sicherstellung der Löschmittelversorgung
 - Bemessung der Löschmittelvorratsmenge einschließlich der Einsatz- und Reservemengen
- 5.4.2 Löschmittel Wasser
 - Zugänglichkeit der Wasserquelle und –versorgung
 - Schutz des Trinkwassers (Wasserentnahme, Wahl der Sicherungseinrichtungen z. B. freier Auslauf),
 - Frostsicherheit,
 - ausreichende Hinweisschilder
 - Druckerhöhungsanlage/Feuerlöschpumpe
 - Zustand (Sichtprüfung)
 - Funktion
 - Ein-/Ausschaltdruck
 - Zulaufdruck (Vermeidung von Kavitation)
 - Schalthäufigkeit
 - Störmeldung
- 5.4.3 Andere Löschmittel
 - Zuordnung der Alarmierungs- und Löschbereiche
 - Energieversorgung (elektrisch und/oder pneumatisch)
- 5.4.4 Wechselwirkungen und Verknüpfungen mit anderen Anlagen
 - Funktionsfähigkeit der Feuerlöschanlage im Hinblick auf die Übereinstimmung mit dem sicherheitstechnischen Steuerungskonzept der Anlagen
 - Eignung der eingesetzten Systeme und Peripheriegeräte
- 5.4.6 Spezielle Prüfungen für Selbsttätige Feuerlöschanlagen – Löschmittel Wasser
- 5.4.6.1 Zentrale
 - Zugängigkeit
 - Beheizung/Belüftung
 - Reserve-Sprühdüsen
- 5.4.6.2 Rohrnetz einschließlich Düsen
 - Anlage vor der Ventilstation
 - Zustand (Sichtprüfung)
 - Frostsicherheit
 - Anlage hinter der Ventilstation
 - Eignung der Düsen
 - Anordnung und Anzahl der Düsen
 - Entleerung
 - Beeinträchtigung der Löschwirkung (z.B. durch nachträgliche Einbauten)
 - Funktion Strömungswächter
- 5.4.6.3 Druckluft-/Wasserbehälter einschließlich Speisepumpe und Kompressor
 - Eignung für die Anlage
 - Funktion (Pumpe und Kompressor)
 - Füllstandes, Druck des Behälters
- 5.4.6.4 Ventilstation
 - Zustand (Sichtprüfung)
 - Eignung
 - Funktion der Druckschalter
 - Probetrieb, Alarmierung
 - Aufschaltung zur Feuerwehr

Abb. 7: Muster-Prüfgrundsätze der ARGEBAU für Feuerlöschanlagen

Bei den Prüfungen sind alle Anlagenteile zu prüfen. Stichprobenprüfungen sind nur zulässig, soweit dies zu den einzelnen Prüfpunkten ausdrücklich vermerkt ist.

Die Muster-Prüfgrundsätze sind keine gesetzliche Vorgabe. In der Fragen- und Antwortentabelle zur Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung in Bayern benennt die Oberste Baubehörde die Unverbindlichkeit der Muster-Prüfgrundsätze, bestätigt aber die Sinnhaftigkeit der Anwendung.

8 Interaktion

In den Muster-Prüfgrundsätzen wird auch die Prüfung der Wechselwirkung von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen gefordert. Ob die Muster-Prüfgrundsätze baurechtlich eingeführt wurden, ist länderspezifisch zu prüfen. Von der betriebssicheren und wirksamen Interaktion sicherheitstechnischer Anlagen und Einrichtungen gehen die Nutzer von Gebäuden in aller Regel aus.

Inwieweit die Interaktion technischer Anlagen in Gebäuden abschließend prüfbar ist, erscheint fragwürdig. Ausgefeilte sicherheitstechnische Prüfungen interagierender Sicherheitssysteme sind aus dem Fahrzeugbau bekannt. Millionenfach gebaute und geprüfte Systeme führen dennoch zu Rückrufaktionen. Demgegenüber stehen Bauwerksunikate mit einzigartig gekoppelten Elementen, von unterschiedlichen Herstellern entwickelt, von verschiedenen ausführenden Unternehmen gebaut, welche einzelfallbezogen zusammenarbeiten. Auch sicherheitstechnische Anlagen und Systeme bestehen mittlerweile aus elektronischen Komponenten, deren Hard- und Software im Brandfall zielgerichtet, wirksam und betriebssicher arbeiten muss.

Für die Prüfung des Ineinandergreifens der Wirksamkeit und Betriebsicherheit von verschiedenen sicherheitstechnischen Anlagen durch TA-Prüfer sieht der Gesetzgeber derzeit keine Regelung vor. TA-Prüfer müssen keine Mehrfachqualifikationen aufweisen. Jede Anlage wird nach der Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung einzeln und für sich geprüft. Eine Kombinationsprüfung im Sinne des Zusammenwirkens von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen ist in dieser Verordnung nicht geregelt. Lediglich gemäß den Prüfgrundsätzen der ARGEBAU ist die Wechselwirkung mit anderen Anlagen zu prüfen. Damit ist eine Regelungslücke verbunden, die ein Restrisiko beinhaltet. Derzeit kann angenommen werden, dass die Regelungslücke bei der Prüfung des Zusammenwirkens von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen ähnlich zu bewerten ist, wie beispielsweise andere baurechtliche Restrisiken. 35 Meter Rettungsweglänge, brennbare Bauprodukte in Gebäuden oder bis zu 100 Personen (Sonderbauschwelle) in Nutzungseinheiten mit nur einem baulichen Rettungsweg in Gebäuden bis zu 22 Metern Höhe und so weiter, stellen auch eine Gefährdung dar, die aber der Gesetzgeber dennoch abschließend geregelt hat. Die sich aus den Beispielen ergebende Gefährdung wird als verbleibendes Risiko bei der Nutzung von Gebäuden toleriert. Das gilt ebenso für das Risiko, welches aus dem fächerübergreifenden Zusammenwirken von sicherheitstechnischen Anlagen herrührt.

Die Zusammenarbeit von Prüfenden ist grundsätzlich bekannt und wird an anderer Stelle behandelt. Bei der Heißbemessung von Tragwerken mit Naturbrandmodellen ist eine fächerübergreifende Prüftätigkeit erforderlich. In der Anlage 1.2/1 der „Liste der als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln“ heißt es:

Der mit der Prüfung/Bescheinigung des Standsicherheitsnachweises nach Art. 62 Abs. 3 BayBO beauftragte Prüfingenieur/Prüfsachverständige muss entweder zugleich Prüfsachverständiger für Brandschutz sein oder für die Beurteilung der Brandeinwirkungen einen mit derartigen Brandmodellen erfahrenen Prüfsachverständigen für Brandschutz heranziehen.

Aus dieser Formulierung wird deutlich, dass die fachübergreifende Kompetenz gegeben sein muss oder die Zusammenarbeit von Prüfenden gefordert wird. Darüber hinaus ist die Aufgabenverteilung geklärt und ordnet dem Prüfer des Standsicherheitsnachweises die verfahrenssteuernde Tätigkeit zu. Der Ordnungsgeber kennt und reguliert also auch fächerübergreifende Prüfungen.

Die Schnittstelle zwischen Brandschutzprüfer und TA-Prüfer ist bei der Interaktion eindeutig. Der Brandschutzprüfer sammelt die Bescheinigungen der TA-Prüfer für die jeweiligen einzelnen Fachrichtungen. Die Interaktionsprüfung ist gesetzlich nicht gefordert und wird vom Brandschutzprüfer demzufolge auch nicht eingefordert.

9 Notwendiger Überschuss

Unter der Voraussetzung, dass die oben genannten Aussagen über die Prüfung interagierender sicherheitstechnischer Systeme richtig sind, stellt sich die Frage, ob eine ausreichende Sicherheit dennoch gewährleistet ist. Offensichtlich sind Mängel an sicherheitstechnischen Anlagen, von denen jeder Prüfer zu berichten weiß, nicht so gravierend, dass damit ein gesellschaftliches Problem verbunden wäre, welches der Ordnungsgeber über eine Verschärfung von Regelungen behandeln müsste. Die Sicherheiten im Brandschutz werden über einen notwendigen Überschuss realisiert. Redundanzen, Alternativen und Varianten sind die Stellschrauben zu ausreichend sicheren Gebäuden.

Redundante Systeme ersetzen sich gleichwertig und gegenseitig im Fall des Versagens einer Komponente. Sie stehen ohne zusätzliche Maßnahmen immer und sofort zur Verfügung. Das Prinzip der zwei baulichen Rettungswege in Sonderbauten stellt ein redundantes System dar. Ein Rettungsweg kann ausfallen, während der zweite Rettungsweg für alle Nutzer uneingeschränkt zur Verfügung steht; die Wasserversorgung von Sprinkleranlagen kann redundant aufgebaut sein; beim Versagen einer stromversorgten Pumpe ersetzt eine unabhängige Dieselpumpe das ausgefallene Aggregat vollumfänglich; eine zusätzliche Gerüsttreppe vor Bestandsgebäuden ist häufig das Ergebnis einer Brandschutzbetrachtung, welche Mängel im Bestand durch Redundanz behebt.

Alternativen werden von der Bauordnung selbst benannt und fordern die Entscheidung des Planers oder des Nutzers zwischen zwei Möglichkeiten. Die notwendige Treppe in einem Gebäude der Gebäudeklasse 3 kann nichtbrennbar oder alternativ feuerhemmend sein. Der Planer entscheidet. Beides ist nach den Maßstäben der Bauordnung ausreichend sicher. Der Ausgang aus einem Büro über einen notwendigen Flur zu unterschiedlichen notwendigen Treppenträumen fordert die Entscheidung des Nutzers, den sicheren Treppenraum zu erkennen und zu benutzen, falls ein Treppenraum verraucht sein sollte. Der zweite Rettungsweg über das Fenster und gegebenenfalls die erforderlichen Rettungsgeräte der Feuerwehr sind die baurechtlich ausreichende Alternative zum Treppenraum im Gebäude.

BRANDSCHUTZ

Das Rettungsfenster ist kein redundantes System, also kein adäquater Ersatz zum Treppenraum. Es ist aber die von der Bauordnung zulässige Alternative mit baurechtlich ausreichender Sicherheit und zwar bis maximal 100 Personen (Sonderbauschwelle). Die Diskussion darüber, ob bei großen Personenzahlen tatsächlich nur ein Rettungsfenster genügt, wird seit Jahren geführt, hat aber bislang zu keiner Änderung der Bauordnung geführt. Ein zweiter Rettungsweg ist nach Bauordnung überhaupt nicht erforderlich, wenn Feuer und Rauch nicht in den einen, sicher erreichbaren Treppenraum eindringen können. Mit zum Teil erheblichem sicherheitstechnischen Aufwand ist dies möglich. Der Treppenraum wird gegenüber der Atmosphäre unter Überdruck gesetzt und eventuell eindringender Rauch zurückgedrängt. Luftsteuerung, Brandmeldung, Türsteuerung, Ersatzstrom, Druckentlastung müssen technisch einwandfrei funktionieren, um auf einen zweiten Rettungsweg zu verzichten.

Alternative Systeme benennt die Bauordnung als gleichwertig. Eine Sicherheitsbetrachtung kommt vermutlich zu einer anderen Einschätzung, wenn man 100 Personen am Rettungsfenster oder 100 Personen im Treppenraum vergleicht. Da das Rettungsfenster aber nur den baurechtlich notwendigen Überschuss darstellt, wird das damit verbundene Restrisiko offensichtlich akzeptiert.

Ausreichende Sicherheit wird auch über Varianten erreicht. Die Industriebaurichtlinie bietet im vereinfachten Tabellenverfahren 63 mögliche Varianten, die zulässige Brandabschnittsfläche zu bestimmen unter Berücksichtigung der eingesetzten Sicherheitssysteme, der Geschossigkeit und des Feuerwiderstandes der Konstruktion. Varianten kommen häufig mit Abweichungen vor. Ob ein 35 Meter langer Rettungsweg nach Bauordnung genauso gut ist wie ein 39 Meter langer Rettungsweg, der zusätzlich über eine Brandmelde- und Alarmanlage verfügt, muss im Einzelfall entschieden werden. In einer vergleichenden Betrachtung ist zu untersuchen, ob unterschiedliche, also variierende Lösungen, die baurechtlichen Schutzziele gleichermaßen erreichen.

Der notwendige Überschuss der Bauordnung zur Schaffung ausreichender Sicherheit fordert sowohl den Brandschutzprüfer als auch den TA-Prüfer, diesen nicht quantifizierten „Sicherheitsbeiwert“ zu kennen und im Rahmen seiner Prüftätigkeit nicht darauf zu verzichten.

10 Abweichungen

Die Bauordnung kennt drei unterschiedliche Arten von Abweichungen:

- Abweichungen von den Regelungen der Bauordnung selbst und von denen nachfolgender Sonderbauverordnungen (materiellrechtliche Abweichungen),
- Abweichungen von den eingeführten technischen Baubestimmungen (technische Abweichungen),
- Abweichungen von den Übereinstimmungsnachweisen (Produktabweichungen) im Sinne wesentlicher oder nicht wesentlicher Abweichungen.

Die materiellrechtliche Abweichung ist eng verknüpft mit der Schutzzielbetrachtung. Der Brandschutznachweisersteller muss sich mit dem Bauherrn darauf einigen, dass die Abweichung beantragt werden soll, da der Gebäudeentwurf entsprechend ihrer Einschätzung mit der Abweichung zu einer besseren Lösung führt als die regelhafte Ausführung nach der Bauordnung. Der Brandschutzprüfer bewertet die

schriftlich beantragte Abweichung bezüglich der Erfüllung der Schutzziele. Sowohl der Ersteller des Brandschutznachweises, als auch der Brandschutzprüfer haben unabhängig abzuwägen, ob der Brandentstehung und der Brandausbreitung genauso gut vorgebeugt wird und ob die Rettung von Menschen und Tieren im Brandfall sowie die Durchführung wirksamer Löschmaßnahmen genauso gut möglich sind wie beim Regelbau der Bauordnung. In diesem Abwägungsprozess kommen am häufigsten sicherheitstechnische Anlagen zum Einsatz mit der Begründung, dass damit die Schutzziele auf alternative Weise erfüllt würden. Brandschutzprüfer beurteilen und bescheinigen materiellrechtliche Abweichungen.

Der TA-Prüfer nimmt bei der Prüfung der sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen den Abwägungsprozess bei materiellrechtlichen Abweichungen zur Kenntnis und prüft in Konsequenz dessen die technischen Anlagen, ohne auf den Abwägungsprozess selbst Einfluss zu nehmen. Auf die sorgfältige Dokumentation der Anlagenkonzeption einschließlich der Bemessungsgrundlagen hat er Anrecht, um die Wirkungsweise zu verstehen und die entsprechenden Anlagenkomponenten prüfen zu können.

Einer anderen Betrachtungsweise folgend, sind Abweichungen von eingeführten technischen Regelungen zu verstehen. Von den technischen Baubestimmungen kann abgewichen werden, wenn mit einer anderen Lösung in gleichem Maße die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. An diese Abweichung ist ein erforderlicher Vergleich gebunden. Im Gegensatz zur materiellrechtlichen Abweichung, deren Betrachtungen mit den Schutzzielen der Bauordnung verknüpft sind, muss bei der technischen Regelabweichung das zu erreichende Ziel der technischen Regel erst erkannt und isoliert werden. Darauf aufbauend kann mit einer anderen technischen Regel oder einer noch nicht geregelten Variante, zum Beispiel einer Neuentwicklung, eine andere Lösung zur Ausführung kommen. Die Vollzugsanweisung 2008 zur Bayerischen Bauordnung legen fest, dass bei gleich- oder höherwertigen (technischen) Lösungen Abweichungen ohne bauaufsichtliche Zulassungsentscheidung erlaubt sind. Geprüft werden allerdings Abweichungen von beispielsweise der Industriebaurichtlinie, die auch den Status einer eingeführten technischen Baubestimmung hat. Die Feststellung einer gleich- oder höherwertigen technischen Lösung liegt demnach im Ermessen und in der Verantwortung des Planers. Weder Brandschutzprüfer noch TA-Prüfer bewerten technische Abweichungen.

In den eingeführten technischen Baubestimmungen sind keine Bemessungsregeln für sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen wie zum Beispiel VdS CEA 4001 „Richtlinien für Sprinkleranlagen“ oder DIN VDE 0833-2 „Festlegungen für Brandmeldeanlagen“ aufgeführt. Abweichungen von technischen Regeln, die nicht in der Liste der eingeführten technischen Baubestimmungen aufgeführt sind, folgen nicht der baurechtlichen Verfahrenssystematik. Alleine die Feststellung (oder Drohung) des TA-Prüfers, dass im Falle der Abweichung von einer nicht eingeführten technischen Bemessungsregel die Anlage nicht als wirksam und betriebssicher eingestuft wird, bietet für den TA-Prüfer entsprechendes Steuerungspotenzial. Abweichungen von baurechtlich nicht eingeführten Bemessungsnormen sind also ausschließlich zwischen dem TA-Fachplaner und dem TA-Prüfer festzulegen.

Die Feststellung von Produktabweichungen, also von wesentlichen oder nicht wesentlichen Abweichungen von den Übereinstimmungsnachweisen zu allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, zu allge-

meinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen oder zu Zustimmungen im Einzelfall obliegen den Herstellern von Bauprodukten. Diese Form der Abweichung wird weder von Brandschutzprüfern noch von TA-Prüfern beurteilt, bewertet oder bescheinigt, sondern allenfalls eingefordert und ansonsten zur Kenntnis genommen.

11 Schnittstelle

Wer definiert nun die Schnittstelle zwischen dem TA-Prüfer und dem Prüfer für Brandschutz? Das ist die Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung, die in ihrem Geltungsbereich festlegt, dass sicherheitstechnische Anlagen lediglich in Sonderbauten und Mittel- und Großgaragen von TA-Prüfern zu prüfen sind. Somit fallen sicherheitstechnischen Anlagen, wie Brandmeldeanlagen in Standardbürogebäuden oder Lüftungsanlagen in Nichtsonderbauten oder auch die Heimrauchmelder, durch das Netz der Prüfpflicht von TA-Prüfern.

Die Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung bestimmt die zu prüfenden Anlagengattungen, aber auch die Abgrenzung von den sonstigen sicherheitstechnischen Anlagen, die für den Brandschutz sehr wichtig sein können, wie beispielsweise Feuerschutztüren und Brandschutzklappen, die aber nicht in den Rang einer sicherheitstechnischen Anlage und der Prüfpflicht durch den TA-Prüfer erhoben wurden. Die Schnittstelle zwischen TA-Prüfer und Brandschutzprüfer beschränkt sich auf Lüftung, CO-Warmanlagen, Rauchabzug, Feuerlöschanlagen, Brandmeldeanlagen und die Sicherheitsstromversorgung. Die in Bayern über die Fragen- und Antwortentabelle zur Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung vorhandene Klärung sagt auch, dass nur diejenigen Anlagen zu prüfen sind, die entweder vom Gesetz gefordert werden oder als Teil des Brandschutzkonzeptes notwendig sind, zum Beispiel im Zusammenhang mit Abweichungen. Gleichwohl werden sicherheitstechnische Anlagen gebaut, die nicht den genannten Stellenwert haben. Diese werden ab und an als freiwillige Anlagen bezeichnet. Beispiel dafür ist die automatische Löschanlage eines EDV-Raumes, dessen Wirksamkeit für den Betreiber existenziell sein kann, aber seitens des Ordnungsgebers nicht den Rang einer sicherheitstechnischen Anlage hat.

Bereits genannt in der Schnittstellendefinition ist der Brandschutznachweis. Das Modell ausreichender Sicherheit entsprechend der geforderten baurechtlichen Schutzziele ist dort skizziert, geplant und nachgewiesen. Kaum ein Brandschutznachweis kommt heute ohne Abweichungen aus. Abweichungen sind der in der Bauordnung explizit genannte Verfahrensweg für Kreativität und Individualität. Abweichungen stellen einen wesentlichen Beitrag zur Innovation und Baukultur dar. Regelmäßige Bauwerksentwürfe nach Bauordnung sind gut, alternative Ansätze dazu sind aber in der Bauordnung ebenbürtig legalisiert. Der Brandschutznachweisersteller muss den Nachweis führen, dass die Schutzziele mindestens genauso erreicht werden, wie im Regelbau ohne Abweichungen.

Die Erfahrung, dass sich Feuer durch abschnittsbildende Maßnahmen, wie Wände und Decken, in seiner Ausbreitung wirksam eindämmen lässt, konkurriert mit Anforderungen nach Licht, Luft und Kommunikation. Aktuelle Bauweisen, die im Ringen um Ökonomie und Ökologie fortentwickelt werden, genügen diesen Anforderungen oftmals besser. Spektakuläre Bauten entsprechen dem Grundprinzip des Wettbewerbs, der die Planer dazu anspornt, Einzigartiges, Funktionelleres, Wirtschaftlicheres, Ansprechenderes oder Optimiertes zu entwerfen. Differenzierte statische Nachweismethoden und anwenderfreundli-

chere Werkzeuge tragen ihren Teil dazu bei, dass eine Vielzahl von Tragwerksplanern und Prüfern in der Lage ist, außergewöhnliche Bauten zu entwerfen, zu berechnen und nachzuweisen. Für die anderen Fachplaner gilt dies ebenso.

Offene Geschossverbindungen, große Brandabschnitte, lange Rettungswege fordern brandschutztechnisch andere Lösungen als die Vorgaben für die Regelbauten der Bauordnung. Das ist das große Feld der sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen. In der Risikoanalyse des Brandschutznachweises wird in der Schutzzielbetrachtung der Vergleich zwischen bauordnungsrechtlichem Regelbau und dem individuellen Gebäudeentwurf vollzogen. Art, Umfang und Funktion der sicherheitstechnischen Anlage müssen dabei im Brandschutznachweis abschließend definiert werden. Der Ersteller des Brandschutznachweises verantwortet diesen Bereich seiner Planung. Er schafft die Basis für die Prüfung des Brandschutznachweises. Im Falle der Richtigkeit und Vollständigkeit des Brandschutznachweises ist dies die Basis für die Schnittstelle zwischen dem TA-Prüfer und dem Brandschutzprüfer.

Die Vollständigkeit und Richtigkeit des Brandschutznachweises ist das Ergebnis der Brandschutznachweisprüfung, welches in den Bescheinigungen Brandschutz I (BS I) und Brandschutz II (BS II) dokumentiert wird; BS I für den theoretischen präventiven Teil, also für die Planung, und BS II für die praktische Ausführung vor Ort, also die Bauüberwachung. Die Formulare für BS I und BS II sind abschließend geregelt. Dort finden sich auch die auszufüllenden Zellen für die sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen, die der Brandschutzprüfer im Formular zu benennen hat. Nachdem die TA-Prüfung erst zum Abschluss der Baudurchführung gefordert ist, wird das TA-Prüfergebnis folgerichtig erst in der Bescheinigung Brandschutz II benannt.

Der Koordinierungsausschuss für Brandschutz der Bundesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik (BVPI) hat sich in seinen ersten Sitzungen intensiv mit der Frage befasst, ob die Zusammenfassung der Prüfleistungen der TA-Prüfer in der Dokumentation der Brandschutzprüfer auch eine inhaltliche Komponente hat. Muss der Brandschutzprüfer ein kontrollierendes Auge auf die Plausibilität der vorangegangenen TA-Prüfungen werfen? Der Brandschutzprüfer kennt die konzeptionellen Zusammenhänge des Brandschutznachweises und die Verknüpfungen einzelner sicherheitstechnischer Anlagen zu einem funktionierenden Ganzen. So könnte doch der Brandschutzprüfer, aufgrund der am Ende stehenden, zusammenfassenden und abschließenden Prüfdokumentation, auch eine Abschlussbewertung der sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen vornehmen.

Derartige Überlegungen sind jedoch grundlegend falsch.

Ein Prüfender muss die inhaltliche Bewertung des Prüfgegenstandes vollumfänglich durchdringen können, das große Ganze im Blick haben genauso wie das Detail, welches im Einsatzfall maßgebende Wirkung haben kann. Hier wird deutlich, dass der Brandschutzprüfer weit entfernt ist von einer inhaltlichen Prüfung der hydraulischen Berechnung einer Sprinkleranlage, der elektrischen Vernetzung einer Brandmeldeanlage oder der Steuerungstechnik einer Lüftungsanlage. Über Basiskonzepte hinaus wird der Brandschutzprüfer nur reduzierte Kenntnisse vom Regelwerk der technischen Anlagen besitzen und kann schon deshalb nicht als übergeordneter Prüfer angesehen werden. Falls eine umfassende Tätigkeit darin gesehen wird, die Prüfergebnisse einzusammeln und zu dokumentieren, darf dies nicht im Hinblick auf inhaltliche Zusammenhänge erfolgen.

BRANDSCHUTZ

Die Sachverständigenbescheinigung über die Wirksamkeit und Betriebssicherheit von sicherheitstechnischen Anlagen ist abschließend vom TA-Prüfer zu erstellen und bedarf keiner Durchsicht oder Korrektur durch andere Prüfer. Die Schnittstelle ist eindeutig, und im Gesetz ist nichts anderes geregelt. Auch die Bescheinigung für die sicherheitstechnischen Anlagen muss formalen Anforderungen genügen und bescheinigt die Wirksamkeit und Betriebssicherheit mit einem entsprechenden Vordruck. Wie der TA-Prüfer zu dieser Einschätzung kommt, ist ausschließlich seine abschließende Prüfleistung. Der Brandschutznachweis stellt auch für den TA-Prüfer die Grundlage seiner Tätigkeit dar. Es obliegt dem TA-Prüfer, sich um die Grundlage seiner Tätigkeit zu kümmern, diese einzusehen und als Basis seiner Arbeit zu verstehen. Der geprüfte Brandschutznachweis stellt für ihn die Basis dar, genauso wie für den Standsicherheitsprüfer die Festlegung der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen im geprüften Brandschutznachweis dokumentiert sein muss. Fälle, in denen dem Brandschutzprüfer zwar Bescheinigungen über die Richtigkeit und Vollständigkeit einer sicherheitstechnischen Anlage vorliegen, darüber hinaus aber auf der Baustelle festgestellt wird, dass die Anlage noch gar nicht in Betrieb sein kann oder die Arbeitsgrundlage der TA-Prüfung nicht der geprüfte Brandschutznachweis war, sollten kollegial durch einen gegenseitigen Anruf besprochen werden, aber nicht dokumentiert in die Akten wandern. Das verwässert die baurechtlich eindeutig geregelte Schnittstelle.

12 Zusammenfassung

Sicherheitstechnische Anlagen werden einzeln und für sich geprüft. Die Lücke an der Schnittstelle zwischen zwei unterschiedlichen sicherheitstechnischen Anlagen hat der Gesetzgeber weder verpflichtend geregelt noch geschlossen. Das diesbezügliche Restrisiko ist mit anderen baurechtlichen Restrisiken vergleichbar.

Jeder Auftraggeber kann privatrechtlich zusätzliche Prüfleistungen beauftragen und damit dem eigenen Sicherheitsbedürfnis nachkommen. Die Muster-Prüfgrundsätze sind eine sinnvolle und geeignete Basis.

Die Prüfleistung von TA-Prüfern ist abschließend. Wie ein Prüfer zur Feststellung kommt, dass eine sicherheitstechnische Anlage wirksam und betriebssicher ist, liegt in seinem Ermessen.

Vom Verordnungsgeber gibt es keine vorgegebenen Bemessungsregeln für sicherheitstechnische Anlagen, die in der Liste der eingeführten technischen Baubestimmungen stehen. Bauherr und Planer können die Bemessungsregeln frei festlegen.

Die Interaktion von mehreren sicherheitstechnischen Anlagen unterliegt keiner geregelten Prüfpflicht. Die Interaktionsprüfung kann der TA-Prüfer anbieten, kann der Bauherr beauftragen und kann nach selbst gewählten Prüfkriterien erfolgen.

Brandschutzprüfer stellen im Rahmen ihrer Bauüberwachung fest, dass sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen geprüft und deren Betriebssicherheit und Wirksamkeit bescheinigt wurden. Eine Durchsicht der Prüfergebnisse vorangegangener Prüfleistungen von TA-Prüfern im Detail oder auf Plausibilität ist damit nicht verbunden.

Abweichungen von der Bauordnung sind formal geregelt und öffnen die Wege zum individuellen Bauen. Materiellrechtliche Abweichungen, technische Regelabweichungen und Abweichungen von Verwendbarkeitsnachweisen sind die Grundlage für jene, die den Regelbau der Bauordnung als unzureichend empfinden für die gestellte Bauaufgabe.

Das Bauen mit Eis ist heute oftmals konkurrenzfähig und anderen Verfahren situationsbedingt deutlich überlegen

Der Einsatz der Gefriertechnik verlangt aber Erfahrung und exaktes Wissen vom Verhalten gefrorenen Bodens

Viele Vorteile versprechen sich diejenigen Bauherren und Investoren, die die Anwendung der Vereisungstechnik ordern. Sie gilt zwar als teuer und schwierig, erweist sich aber im Vergleich mit anderen Verfahren vor allem in schwierigen Fällen als sehr konkurrenzfähig. Dies liegt an ihrer vielfältigen Anwendbarkeit in sehr unterschiedlichen Bodenarten, aber auch an ihrer hohen Sicherheit durch einfache und zuverlässige Kontrollmöglichkeiten bei kundiger Nutzung der spezifischen Materialeigenschaften gefrorener Böden. Ihre sichere Anwendung und Nutzung setzt aber, wie der folgende Beitrag zeigt, genaue Kenntnisse der Vorgänge im gefrorenen Boden voraus. Die Erfahrung zeigt heute, dass die Bodenvereisung ausreichend genau geplant und bemessen und sicher durchgeführt werden kann. Deswegen wird im folgenden Beitrag ein Überblick über aktuelle Anwendungen unterschiedlicher statischer Systeme aus gefrorenem Boden sowie über die zu beachtenden Besonderheiten seines Materialverhaltens gegeben.



Dr.-Ing. Wolfgang Orth

Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Karlsruhe (Bodenmechanik und Grundbau, Aufbaustudium in theoretischer Mechanik und Physik), Promotion und Dissertation über das mechanische Verhalten gefrorenen Sandes; von 1986 bis 1991 Niederlassungsleiter, später alleinvertretungsberechtigter Geschäftsführer des Ingenieurbüros Wibel, Leinenkugel & Partner (Karlsruhe), seit 1991 Geschäftsführender Gesellschafter des Ingenieurbüros für Bodenmechanik und Grundbau Dr.-Ing. Orth GmbH (Karlsruhe); Orth ist Beratender Ingenieur der Ingenieurkammer Baden-Württemberg, anerkannter Sachverständiger für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht und Lehrbeauftragter am Karlsruher Institut für Technologie (ehem. Universität TH Karlsruhe) für das Fach Spezialtiefbau

1 Einführung

Die Idee, Boden durch Gefrieren fest und wasserdicht zu machen, ist erstmals 1862 dokumentiert worden. Im Jahre 1883 wurde dem Bergingenieur Hermann Poetsch aus Aschersleben in Thüringen ein Patent für sein „Verfahren zur Abteufung von Schächten in schwimmendem Gebirge“ erteilt. Der Schachtbau blieb – von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen – bis etwa zum 2. Weltkrieg das Hauptanwendungsgebiet. Dabei wurden im Wesentlichen druckbeanspruchte radialsymmetrische gewölbeartige Frostkörper verwendet, welche mit vergleichsweise einfachen Rechenmodellen und Stoffgesetzen nicht besonders wirtschaftlich, aber doch hinreichend sicher bemessen werden konnten [1]. Intensive Grundlagenforschungen, etwa ab den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts, lieferten mittlerweile in vielen Anwendungen erprobte Stoffgesetze für gefrorenen Boden, mit denen die Verformungen von Frostkörpern in Abhängigkeit von der Beanspruchung sowie der Temperatur und der Standzeit berechnet werden können. Dies erlaubt die Anwendung des Gefrierverfahrens auch bei engen Verformungstoleranzen, zum Beispiel unter setzungsempfindlichen Bauwerken [2] wie auch von biege- und zugbeanspruchten Frostkörpern [3].

Zwar gilt das Gefrierverfahren als teuer und schwierig, im Vergleich mit Alternativverfahren erweist es sich aber insbesondere bei den zunehmend komplexeren Bauaufgaben, zum Beispiel beim Bau unterirdischer Verkehrsanlagen, oftmals als nicht nur konkurrenzfähig, sondern, je nach den Umständen, als deutlich überlegen. Dies liegt an seiner vielfältigen Anwendbarkeit in sehr unterschiedlichen Bodenarten, aber auch an seiner hohen Sicherheit durch einfache und zuverlässige Kontrollmöglichkeiten bei kundiger Nutzung der spezifischen Materialeigenschaften gefrorener Böden.

Im Folgenden wird ein Überblick über aktuelle Anwendungen unterschiedlicher statischer Systeme aus gefrorenem Boden sowie die zu beachtenden Besonderheiten seines Materialverhaltens gegeben.

2 Frostkörper

2.1 Wirkungsweise

Bei der Bodenvereisung wird das Porenwasser zu Eis gefroren, wodurch der Boden verfestigt und abgedichtet wird. Sinngemäß kann man von Eisbeton sprechen, wobei das Eis dem Zementleim und der Boden den Zuschlagstoffen entspricht. Allerdings führt die Viskosität von Eis zu einem prinzipiell anderen Materialverhalten als dem von Beton (siehe Kapitel 4.2).

2.2 Verfahren

Die Wärme wird dem Boden durch doppelwandige Gefrierrohre entzogen, in denen ein Kältemittel fließt (**Abb. 1**). Um die Gefrierrohre bilden sich Walzen aus gefrorenem Boden, welche zunehmend größer werden und schließlich zusammenwachsen.

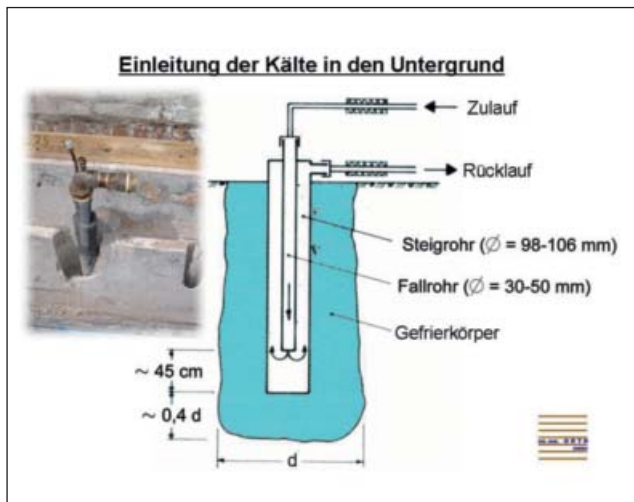


Abb. 1: Die Kälte wird in den Untergrund eingeleitet, indem die Wärme dem Boden durch doppelwandige Gefrierrohre entzogen wird, in denen ein Kältemittel fließt.

Bei Stickstoffvereisungen wird flüssiger Stickstoff über Speiserohre in die am Ende verschlossenen Gefrierrohre geleitet, wo er verdampft und gasförmig zwischen beiden Rohren wieder zurückströmt. Dabei entzieht er der Umgebung Wärme und entweicht schließlich in die Atmosphäre. Der Stickstoff wird flüssig in hochisolierten Tankwagen auf die Baustelle geliefert. Der Stickstoffzustrom wird meist nach der Abgastemperatur gesteuert.

Die Baustelleneinrichtung ist bei Stickstoffvereisungen vergleichsweise einfach. Die niedrige Siedetemperatur des Stickstoffs von minus 196 Grad Celsius ermöglicht hohe Temperaturgradienten und somit hohe Wärmeströme im Boden. Dies verkürzt die Gefrierzeit und erweitert den Anwendungsbereich bei strömendem Grundwasser. Allerdings ist dabei die Möglichkeit von Schäden an benachbarten Bauteilen durch Temperaturspannungen zu beachten.

Bei Solevereisungen strömt in den Gefrierrohren eine nicht gefrierende Flüssigkeit (meist eine Salzlösung), die in einer Kältemaschine auf circa minus 35 bis minus 40 Grad Celsius abgekühlt wird. Solevereisungen erfordern eine aufwendigere Einrichtung mit geschlossenen Rohrkreisläufen, Pumpen und Kältemaschinen sowie einer Mess- und Steueranlage, haben aber niedrigere spezifische Betriebskosten.

2.3 Frostausbreitung

Beim Gefrieren wird der Boden von seiner natürlichen Temperatur (in unserem Klima im Jahresmittel zwischen acht und elf Grad Celsius) abgekühlt, wobei die Abkühlwärme des ungefrorenen sowie des gefrorenen Bodens und die Kristallisationswärme des Porenwassers abzuführen sind. Der Wärmestrom ist bei der Frostkörpererstellung wesentlich größer als während des Unterhalts, sodass anfangs oftmals mit zwei oder drei Kältemaschinen gekühlt wird, von denen später eine abgeschaltet wird und als Reserve auf der Baustelle bleibt.

Die exakte Berechnung der Frostausbreitung ist wegen der instationären Randbedingungen nicht geschlossen möglich, für häufig vorkommende Geometrien gibt es jedoch ausreichend genaue Näherungslösungen. Teilweise wird der Boden dabei vereinfacht als thermisch homogen und stationär angesehen [4], genauere Verfahren berücksichtigen die unterschiedlichen Temperaturleitzahlen im gefrorenen und im ungefrorenen Zustand sowie den zeitlichen Verlauf [5].

Bei strömendem Grundwasser beeinflusst auch der konvektive Wärmeanteil das Frostkörperwachstum. Das Zusammenwachsen des Frostkörpers ist erfahrungsgemäß bei Solevereisung bis zu Strömungsgeschwindigkeiten von circa zwei Metern und bei Stickstoffvereisung bis ungefähr zehn Meter pro Tag möglich. Darüber muss der Grundwasserstrom auf mechanischem Wege reduziert oder die Vereisung zum Beispiel durch mehrere Gefrierrohrreihen verstärkt werden. Insbesondere bei geschichteten Böden ergeben sich dabei sehr komplexe Problemstellungen [6].

Mittlerweile stehen Rechenprogramme für die Berechnung der Frostausbreitung zur Verfügung, die in Verbindung mit einer Kalibrierung an physikalisch exakten analytischen Berechnungsverfahren hinreichend genaue Prognosen ermöglichen. In jedem Falle ist die Temperaturentwicklung in einem Frostkörper über die gesamte Nutzungszeit durch Temperaturfühler zu überwachen. Durch die Weiterentwicklung der Messtechnik und der Datenverarbeitung ist eine umfassende und durch die automatisierte Messwertüberwachung zuverlässige Kontrolle von Vereisungen gegeben.

2.4 Frosthebungen

Die Ausdehnung von Boden beim Gefrieren ist insbesondere bei Frostkörpern seitlich und unter bestehenden Bauwerken zu beachten, weil hierdurch Zwängungen und/oder Hebungen auftreten können. Die Frosthebungen entstehen zum einen durch die Volumenvergrößerung des Wassers beim Gefrieren um ungefähr neun Prozent, weiterhin treten insbesondere bei feinkörnigen Böden Frosthebungen durch lokale Wasseransammlungen und schließlich die Bildung von Eislinsen auf. Diese sind eine Folge von elektrostatischen Anziehungskräften zwischen Wassermolekülen und Mineralkörnern in Kombination mit Saugspannungen durch Kapillareffekte an den gekrümmten Kornoberflächen sowie Dampfdruckänderungen infolge von Temperaturunterschieden. Eislinsen treten insbesondere in Schluffböden auf, während Tone eine geringere und Sande sowie Kiese keine Eislinsenbildung zeigen.

Wenngleich die Mechanismen im Prinzip bekannt sind, ist eine Vorherberechnung unter anderem wegen der bei jedem natürlichen Boden anderen Verteilung der Kornkrümmungen kaum möglich, in der Praxis helfen hier genau auf das jeweilige Randwertproblem abgestimmte Versuche weiter. Grundsätzlich kann man Frostlinsen praktisch beliebiger Dicke erzeugen, umgekehrt können sie durch eine genau abgestimmte Temperatursteuerung meist auf unkritische Größen reduziert werden [7].

3 Anwendungsbeispiele

3.1 Schachtbau

Die erste Anwendung des Gefrierverfahrens war der Bau von Bergwerksschächten in wasserführendem Lockergestein [8]. Deren Tiefe betrug anfänglich einige Dekameter und erreichte in Deutschland bis über 600 Meter. Mit dem Ende des Steinkohlebergbaus verschwanden hier auch die Gefrierschächte; in anderen Ländern, wie zum Beispiel in Russland und China, werden sie jedoch weiterhin gebaut. Ansonsten werden Gefrierschächte beispielsweise für die Bombenbergung oder für Baugruben hergestellt (Abb. 2).

3.2 Tunnelbau

Zunehmend Anwendung findet die Bodenvereisung auch im Tunnelbau, wobei je nach den Angriffsmöglichkeiten, dem Bodenaufbau,

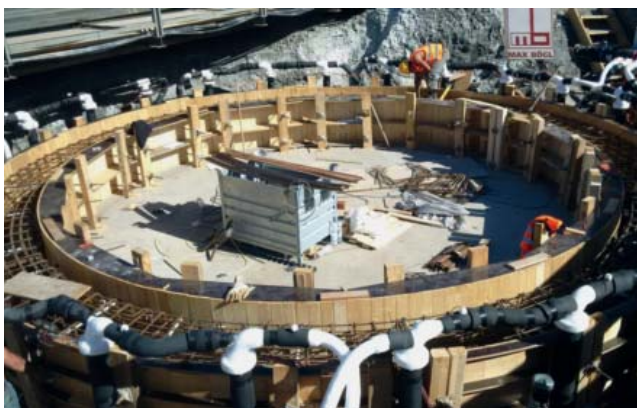


Abb. 2: Gefrierschächte, wie dieser, werden auch für die Bombenbergrung oder für Baugruben hergestellt.

aber auch den zugelassenen Setzungen sehr unterschiedliche Gefrierrohranordnungen verwendet werden:

Mit tunnelparallelen Gefrierrohren lässt sich die Frostkörperform in idealer Weise dem Tunnelprofil anpassen. Wegen der unvermeidlichen Bohrungenaugigkeiten ist dies ab Längen von ungefähr 30 Metern je-



Abb. 3: Mit tunnelparallelen Gefrierrohren lässt sich die Frostkörperform in idealer Weise dem Tunnelprofil anpassen.



Abb. 4: Ein schneller Vortrieb ist möglich, weil die Sicherung und Abdichtung durch den Frostkörper vorab bereits erledigt werden.

doch nur mit gesteuerten Bohrungen zuverlässig möglich [2] (Abb. 3). Der Vorteil liegt in einem schnellen Vortrieb, weil Sicherung und Abdichtung durch den Frostkörper vorab bereits erledigt sind (Abb. 4) und deshalb Ausbruch und Sicherung (meist durch Spritzbeton) sich unmittelbar abwechseln können. Nachteilig ist allerdings die über die gesamte Länge gleichmäßige Gefrierleistung, wegen der im Lauf der Zeit der Frostkörper immer weiter in den Ausbruchsquerschnitt wächst, was den Vortrieb behindert.

Eine heute fast regelmäßig praktizierte Anwendung des Gefrierverfahrens ist die Herstellung von Querschlägen zwischen vorher maschinell vorgetriebenen Tübbingtunneln, wie zum Beispiel am Eisenbahntunnel Rastatt.

Breitere Tunnelquerschnitte beispielsweise für unterirdische Bahnhöfe (Abb. 5) werden in mehreren Abschnitten aus einzelnen Froströhren zusammengesetzt.

Auch mit ungesteuerten Gefrierrohrbohrungen wurden sehr lange Tunnelkörper gefroren, indem das Gefrieren und Vortreiben in einzelne Abschnitte zerlegt wurde. Dieses Verfahren wurde etwa am Milchbuckentunnel in Zürich [9] angewendet. Dabei wurden in Abschnitten von circa 30 bis 40 Metern die Gefrierrohre leicht nach außen gespreizt, vier bis sechs Meter über das Ende des laufenden Vortriebsabschnitts hinaus gebohrt und dann gefroren. Wegen des hohen Zeitaufwands durch das abschnittsweise Gefrieren und Vortreiben ist diese Bauweise aber mittlerweile von gesteuerten Bohrungen weitgehend abgelöst worden.

Eine weitere Möglichkeit ist die Frostkörperherstellung von Pilotstollen aus, wie es zum Beispiel am Marienplatz in München ausgeführt wurde [7]. Dabei wurden die Gefrierrohre aus je einem oberhalb der beiden Tunnel liegenden Pilotstollen gebohrt und von dort aus der Frostkörper gefroren (Abb. 6). Die Pilotstollen wie auch die eigentlichen Tunnel wurden von je einem Schacht aus vorgetrieben. Das Vereisen aus Pilotstollen ermöglicht sowohl in ihrer Geometrie, aber auch im zeitlichen Ablauf der Vereisung sehr genau an den Vortrieb angepasste Frostkörper.

Eine weitere Option, tunnelparallele Gefrierrohre über größere Strecken maßgenau herzustellen, ist deren tunnelparallele Verlegung in Pilotstollen wie sie am Tunnel für die U 55 Unter den Linden in Berlin



Abb. 5: Breite Tunnelquerschnitte, zum Beispiel für unterirdische Bahnhöfe, werden in mehreren Abschnitten aus einzelnen Froströhren zusammengesetzt.

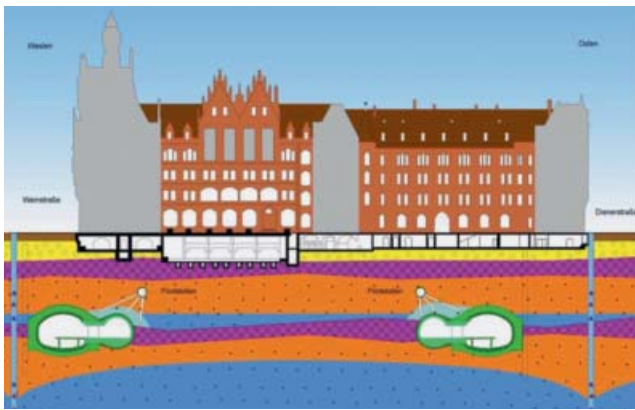


Abb. 6: Am Marienplatz in München wurden Gefrierrohre aus je einem oberhalb der beiden Tunnel liegenden Pilotstollen gebohrt und von dort aus der Frostkörper gefroren.

praktiziert worden ist [10]. Dabei kann die Gefrierrohrlage innerhalb der Pilotstollen und damit im Frostkörper genau beeinflusst werden. Die Lage der Pilotstollen innerhalb des am höchsten belasteten Frostkörperkerns führt zu einer entsprechend hohen Belastung der Pilotstollen.

3.3 Auf Pfählen gegründete Frostkörper

Gelegentlich wird die Unterfangung pfahlgegründeter Bauwerke zum Beispiel für Umbaumaßnahmen erforderlich. Steht dabei der tragfähige Boden erst in größerer Tiefe an, kann es zweckmäßig sein, den Frostkörper selbst ebenfalls auf Pfähle zu gründen [11]. Dies erfordert allerdings eine genaue Analyse des Tragverhaltens sowohl der Pfähle selbst als auch der Lastübertragung vom Frostkörper auf die Pfähle (Abb. 7). Dabei sind insbesondere auch die thermischen Randbedingungen sehr genau zu überprüfen, da ein in den Frostkörper ragender Pfahl auch die Temperaturverhältnisse verändert.

3.4 Biegebeanspruchte Frostkörper

Mit dem Einpressen von vorab hergestellten Tunnelquerschnitten werden kreuzende Straßen unter Eisenbahnlinien hergestellt. Das Einpressen bringt den Vorteil, dass die Bahnstrecken die gesamte Bauzeit über in Betrieb bleiben können. Die Gleislasten werden von sogenannten Verschiebeträgern auf den noch bestehenden Damnteil sowie auf das unmittelbar hinter der Ausbruchskante folgende neue Bauwerk abge-

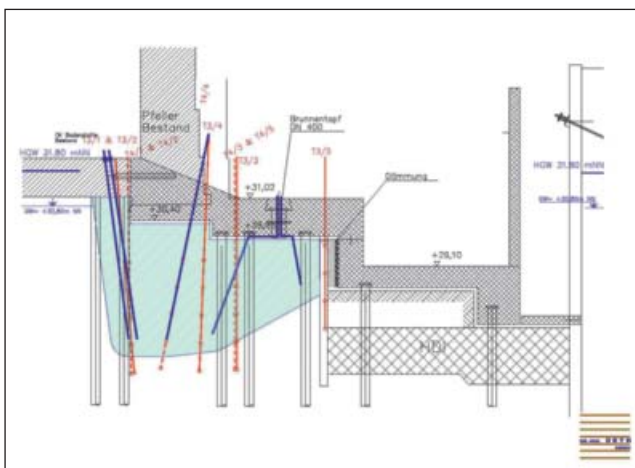


Abb. 7: Es kann – wie hier unter dem Berliner Museum – zweckmäßig sein, den Frostkörper auf Pfähle zu gründen; dies erfordert allerdings eine genaue Analyse des Tragverhaltens sowohl der Pfähle selbst als auch der Lastübertragung vom Frostkörper auf die Pfähle.

tragen. Da der Abstand zwischen beiden möglichst gering gehalten werden muss, wird die Baugrubenböschung sehr steil ausgeführt, sodass an der Dammkante die Lasten des Bahnverkehrs meist nicht mehr ohne weiteres abgetragen werden können. Das Problem wurde oftmals durch von oben eingerammte Pfähle gelöst, die jedoch innerhalb des Lichtraumprofils und unter der Oberleitung einzubringen waren, was mit beträchtlichen Betriebserschwernissen und Bauzeitverlängerungen verbunden war. Demgegenüber wird die Stabilisierung des Eisenbahndammes durch Vereisen seitlich von außerhalb des Verkehrsraumes hergestellt (Abb. 8, rechts), was ein Arbeiten tagsüber und während des Betriebs zulässt. Die Eisplatte muss dabei dem Vortrieb folgend sukzessive abgebrochen werden, was erfahrungsgemäß am günstigsten durch maßgeschneidertes Sprengen erfolgt (Abb. 8 unten). Wegen des monolithischen Verbundes der Eisplatte ergibt sich eine bessere Gleislage, welche eine höhere Überfahrtsgeschwindigkeit zulässt. Bei stark befahrenen Bahnstrecken übersteigen die Einsparungen bei den Betriebserschwernissen die höheren Baukosten bei weitem, wie mehrere Beispiele auf der Rheintalbahn zwischen Basel und Karlsruhe gezeigt haben [12].

3.5 Ausbläusersicherung über einer Tunnelvortriebsmaschine

Beim maschinellen Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen wird im Lockergestein die Ortsbruststabilität durch den Flüssigkeitsdruck in der Abbaukammer gewährleistet. Der Stützdruck richtet sich nach Höhe des aktiven Erddrucks aus dem Erdkörper vor der Ortsbrust sowie aus dem Wasserdruck. Er wirkt auch nach oben, und er muss deshalb auch vom Erdkörper über der Ortsbrust aufgenommen werden können. Ist dies nicht der Fall, kann die Flüssigkeit nach oben austreten und die Ortsbrust ihre Stabilität verlieren. Beim derzeit im Bau befindlichen Eisenbahntunnel Rastatt reicht die vorhandene Überdeckung der Tunneltrasse bereichsweise nicht aus und kann aus Umweltschutzgründen auch nicht mit einer Auffüllung hergestellt werden. Als Ersatz wird im Untergrund ein dachförmiger Frostkörper erstellt, der die Auftriebskräfte in tiefere Bereiche einleitet (Abb. 9 links). Im Gegensatz zu einer Aufschüttung erhöht das Frostdach deshalb nicht die vertikale Überlagerungsspannung, sondern mobilisiert einen breiteren ballastierenden Erdkörper [13].

Bei einer Absenkung der Stützflüssigkeit in der Abbaukammer, zum Beispiel für einen Werkzeugwechsel, nimmt das Frostdach den Luftdruck auf, der die Ortsbrust durch den Strömungsdruck stützt. Wegen der vernachlässigbar geringen Wichte der Luft wirkt in diesem Fall an



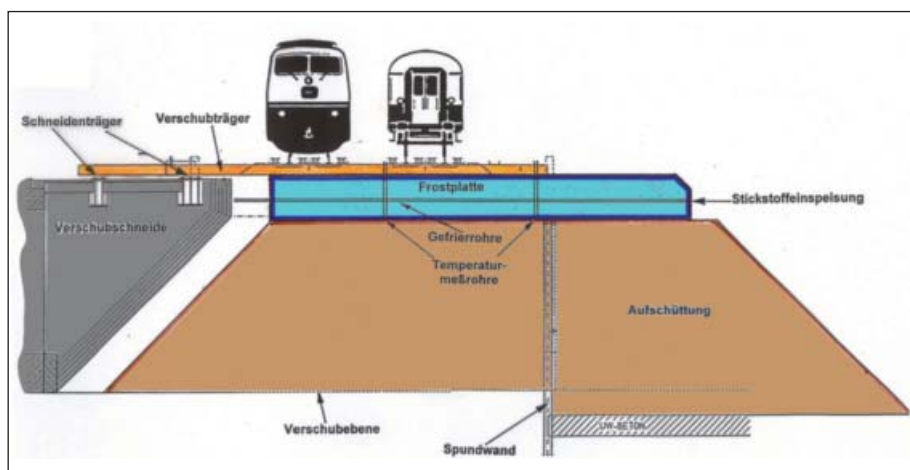


Abb. 8: Die Stabilisierung dieses Eisenbahndammes wurde unter Verkehr durch Vereisen seitlich von außerhalb des Verkehrsraumes ausgeführt (rechts); die Eisplatte muss dabei aber dem Vortrieb folgend sukzessive abgebrochen werden (unten).



der Tunnelfirste ein größer Druck als im Regelbetrieb, weil der Luftdruck auf den Erd- und Wasserdruck in Höhe des Absenkspiegels zu bemessen ist und nach oben nicht abnimmt. Dieser Fall ist deshalb maßgebend für die Bemessung. **Abb. 9** (rechts) zeigt die auf das Frostdach wirkende Belastung.

3.6 Baugruben

Baugruben können durch Frostkörper gestützt und abgedichtet werden. Dies ist vor allem dann lohnend, wenn gleichzeitig benachbarte



Abb. 9: Beim Bau des Eisenbahntunnels Rastatt reichte die vorhandene Überdeckung der Tunneltrasse für eine Vereisung bereichsweise nicht aus; als Ersatz wird (links) im Untergrund ein dachförmiger Frostkörper erstellt, der die Auftriebskräfte in tiefere Bereiche einleitet; für die Bemessung der Einwirkungen auf das Frostdach, müssen alle Belastungen exakt berücksichtigt werden (rechts).

Fundamente abgefangen werden müssen. Im einfachsten Falle kann dies durch eine Schwergewichtsmauer erfolgen, ebenso können Baugrubenwände verankert werden [14]. Dabei müssen Ankerstahl sowie Verbindungsteile auch bei den tiefen Temperaturen in der Frostwand versprödungssicher sein, dies ist bei der Auswahl geeigneter Ankersysteme in der Regel problemlos zu gewährleisten (**Abb. 10**).

Bisweilen dienen Vereisungen auch nur als Abdichtung von Baugruben, insbesondere als dichter Anschluss eines Bestandsbauwerks. Ebenso kann die Abdichtung des Bodens als Schutz vor Kontaminationen dienen. So wurde in einer durch Bohrpfähle gestützten Baugrube zum Aushub von Teerrückständen an einem ehemaligen Gaswerkstandort der ins Grundwasser reichende Kontaminationsbereich gefroren und bis zum unbelasteten Bodenbereich ausgehoben [15] (**Abb. 11**). Die Baugrubensohle wurde aufgrund einer genauen Vorherberechnung „auf Vorrat“ gefroren, sodass der Frostkörper eine gewisse Zeit ohne Kühlung funktionsfähig blieb. In dieser Zeit wurde die gesamte Vereisungsinstallation innerhalb der Baugrube entfernt und der Aushub des kontaminierten Bodens vorgenommen.

3.7 Weitere Anwendungen

Die Vereisung kann auch beim Umgang mit ansonsten schwer bearbeitbarem Material helfen. In Dülmen in Westfalen wurde eine Teergrube vor dem Aushub gefroren, sodass das ursprünglich zähflüssige und des-

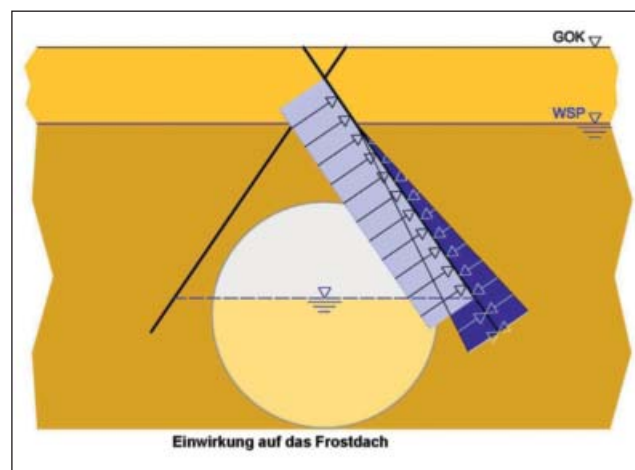




Abb. 10: Verankerte gefrorene Baugrubenwand für den Bau des Rosmarin-Karrees in Berlin



Abb. 11: Die Vereisung des Bodens kann auch als Schutz vor Kontaminationen dienen; so wurde hier in einer durch Bohrpfähle gestützten Baugrube zum Aushub von Teerrückständen an einem ehemaligen Gaswerkstandort der ins Grundwasser reichende Kontaminationsbereich gefroren und bis zum unbelasteten Bodenbereich ausgehoben.

halb weder pump- noch baggerbare Material ausgebrochen und mit einem Bagger verladen werden konnte. Weiterhin reduzierte sich durch die Abkühlung der Dampfdruck der leicht flüchtigen giftigen Inhaltsstoffe soweit, dass praktisch keine Ausdünstungen mehr stattfanden und die Arbeiten ohne Atemschutz ausgeführt werden konnten.

Bei der Gründung von drei Windkraftanlagen auf der Hausmülldeponie West in Karlsruhe wurden Fundamentaussparungen durch Vereisen hergestellt, um den Kernbereich unter den Fundamenten zuverlässig lastfrei zu halten und so ein Reiten des Fundaments auszuschließen. Dies war erforderlich, um auf dem rund 60 Meter dicken Mülluntergrund eine ausreichende dynamische Steifigkeit der Fundamente der Windkraftanlagen zu gewährleisten, weil sonst im Betrieb Schwingungen aufgetreten wären, die zu Resonanzüberhöhungen und letztlich zur Zerstörung der Anlage hätten führen können.

Ebenfalls bereits mehrfach ausgeführt wurde die Gewinnung ungestörter Bodenproben durch Gefrieren. Dabei wird um eine Vereisungslanze der Boden in vorherberechneter Dicke gefroren und die Lanze aus dem Boden gezogen. Die Probe ist anschließend in ihrer ursprünglichen Lagerung und Zusammensetzung einschließlich eventu-



Abb. 12: Auch ungestörte Bodenproben können durch Gefrieren gewonnen werden; dabei wird der Boden um eine Vereisungslanze herum in vorherberechneter Dicke gefroren und die Lanze dann aus dem Boden gezogen.

eller chemischer Inhaltsstoffe sozusagen als Eis am Stiel verfügbar (Abb. 12).

4 Planung und Bemessung von Bodenvereisungen

4.1 Äußere Standsicherheit

Die äußere Standsicherheit von Frostkörpern wird wie bei anderen Konstruktionselementen mit üblichen Berechnungsverfahren nachgewiesen. Bei Baugrubenwänden sind dies meist die Kipp-, Gleit- und Geländebruchsicherheit, bei Unterfangungskörpern ist zusätzlich die Grundbruchsicherheit nachzuweisen. Der Einfluss des Grundwassers wird wie bei anderen Konstruktionselementen berücksichtigt. Weiterhin sind die Setzungen im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit zu prüfen.

4.2 Innere Standsicherheit

Während im Hochbau in der Regel künstliche Baumaterialien verwendet werden, deren Eigenschaften meist ohne eigene Untersuchungen bekannt sind und oft sogar zielgerichtet gewählt werden können, sind im Bereich der Geotechnik zunächst die mechanischen Eigenschaften des vorhandenen natürlichen Bodens zu bestimmen. Dies gilt insbesondere für gefrorenen Boden, der im Vergleich mit Beton oder ungefrorenem Boden ein besonderes Materialverhalten besitzt. Der wesentliche Unterschied ist, dass die Festigkeit stark von der Temperatur abhängt und dass gefrorener Boden ein viskoses Material ist, also bei Beanspruchung im Laufe der Zeit Kriechverformungen erfährt.

Das Kriechverhalten gefrorener Böden wurde lange Zeit mit der Approximation von Versuchskurven beschrieben, die streng genommen jedoch jeweils nur für die untersuchten Randbedingungen (Temperatur, Spannung und Kriechdauer) verlässliche Ergebnisse liefern. Mit einem Materialmodell zur kinetischen Theorie fester Körper [16] kann aufgrund statistischer Betrachtungen der Platzwechselfrequenz von Molekülen für viele Materialien die temperatur- und spannungsabhängige Verformungsgeschwindigkeit beschrieben werden. Aus diesem physikalisch begründeten Ansatz wurde ein Berechnungsverfahren für gefrorene Böden entwickelt, mit dem das Verformungsverhalten von gefrorenen Böden, wie übrigens auch von reinem Eis, aus relativ wenigen Kriechversuchen ermittelt und geschlossen dargestellt werden

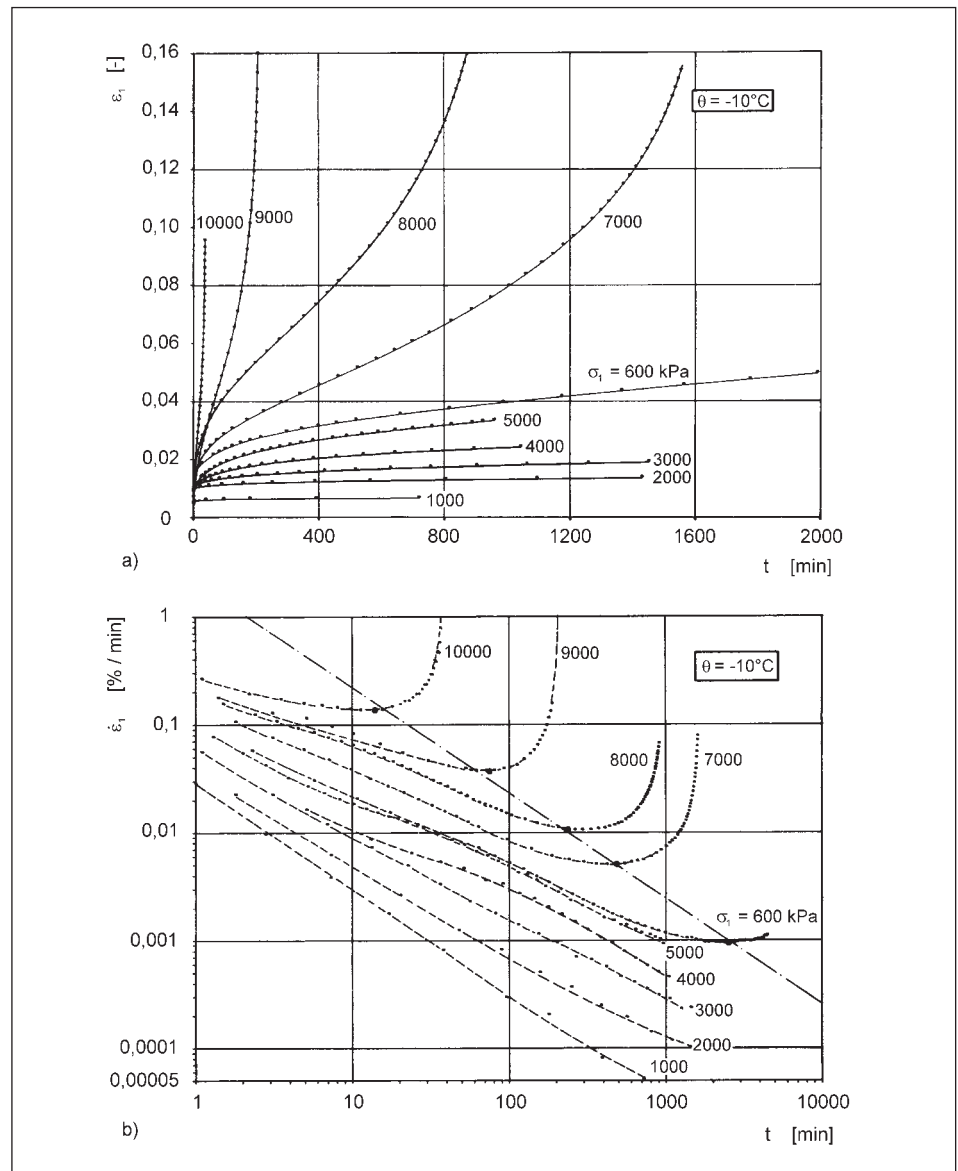


Abb. 13: Unter Schubbeanspruchung, also auch bei einachsigen Druck, kriecht gefrorener Boden zunächst mit abnehmender, ab einem gewissen Zeitpunkt mit sofort wieder ansteigender Verformungsgeschwindigkeit und kommt schließlich zum Bruch [17].

kann [17]. Das Verfahren liefert temperatur-, spannungs- und standzeitabhängige Deformationsmodule, die unmittelbar in analytischen wie auch numerischen Berechnungen verwendet werden können [22].

Wichtig ist in den Kriechversuchen eine ausreichend niedrige Verformungsgeschwindigkeit, was eine entsprechend lange Beobachtung bei genau eingehaltenen Versuchstemperaturen bedingt. Weggesteuerte Versuche können der Festlegung der Versuchsbedingungen dienen, die notwendigen kleinen Verformungsgeschwindigkeiten sind jedoch nur mit speziellen Versuchsgeräten zu erreichen. Handelsübliche Prüfpressen, zum Beispiel für Beton, haben zu große Verformungsgeschwindigkeiten, was zu anderen Versagensmoden führt und das Verhalten von Frostkörpern in üblicher Anwendung nicht repräsentiert.

Normalerweise haben Frostkörper eine inhomogene Temperaturverteilung, deshalb müssen die Temperaturverteilung durch (heute meist numerische) Berechnungen ermittelt und das Zusammenwirken der kälteren und wärmeren Bereiche ebenfalls berücksichtigt werden. Während der Nutzungsdauer kann sich das Temperaturfeld ändern, damit ändert sich auch die Steifigkeit des Frostkörpers und ihre räumliche Verteilung. In der Regel ist die Bemessung deshalb ein iterativer Prozess, in dem sich thermische und statische Berechnungen abwechseln.

Unter Schubbeanspruchung, also auch bei einachsigen Druck, kriecht gefrorener Boden zunächst mit abnehmender, ab einem gewissen Zeitpunkt mit sofort wieder ansteigender Verformungsgeschwindigkeit und kommt schließlich zum Bruch (Abb. 13). Dieser Verlauf tritt auch bei kleinsten deviatorischen Spannungen, dann allerdings langsamer und erst nach entsprechend längerer Kriechzeit, ein. Gefrorener Boden ist deshalb im mechanischen Sinne eine Flüssigkeit mit spannungs- und temperaturabhängiger Viskosität. In der Praxis ist ein Frostkörper deshalb normalerweise so zu bemessen, dass er innerhalb der geforderten Standzeit im Bereich abnehmender Kriechgeschwindigkeit bleibt. Ein weiteres, meist strengeres Kriterium ist die Einhaltung der zulässigen Verformungen im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit.

Triaxiale Spannungen liefern erst bei vergleichsweise großen Dehnungen nennenswerte Beiträge zur Festigkeit über die Kornreibung, die in der Praxis zwar eine zusätzliche Sicherheit gegen Versagen darstellen, aber in üblichen Gebrauchszuständen nicht nutzbar sind [17]. Dementsprechend ist auch eine rechnerische Berücksichtigung außer bei hohen triaxialen Spannungszuständen, wie zum Beispiel bei tiefen Schächten oder an hochbelasteten Auflagerpunkten von Ankern oder Stützen, nicht sinnvoll [18].

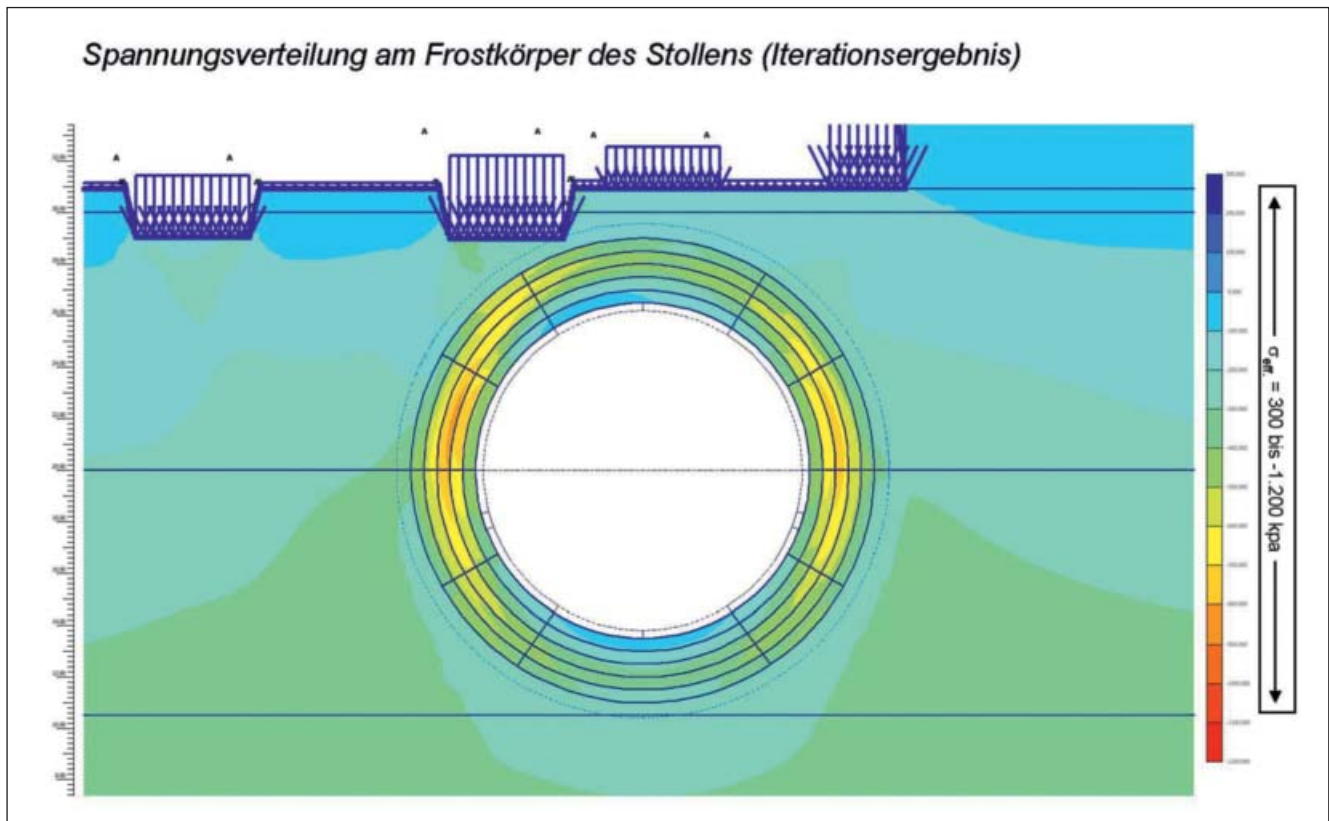


Abb. 14: Aus der spannungs-, temperatur- und zeitabhängigen Verformung lassen sich Deformationsmodule für Berechnungen auch mit numerischen Verfahren ableiten; damit können die Spannungen und Verformungen auch komplizierter Frostkörper ermittelt werden – unsere Abbildung zeigt die Spannungsverteilung in einem Frostring.

Aus der spannungs-, temperatur- und zeitabhängigen Verformung lassen sich (ebenfalls von der Temperatur, der Spannung und der Standzeit abhängende) Deformationsmodule für Berechnungen auch mit numerischen Verfahren ableiten. Damit können die Spannungen (Abb. 14) und Verformungen auch komplizierter Frostkörper ermittelt werden [19]. Der Aufwand lohnt sich vor allem bei komplexen Geometrien und strengen Verformungsanforderungen. Dabei kann das gesamte viskose Verhalten des gefrorenen Bodens einschließlich der Entfestigung im Berechnungsprogramm zutreffend modelliert werden [20], sodass auch für komplizierte Frostkörpergeometrien sehr differenzierte Untersuchungen möglich sind [21].

Mit der durch Messungen verifizierten Einhaltung der vorher berechneten Verformungen ist auch die Standsicherheit nachgewiesen. Nicht sinnvoll ist außer bei einfachen Vorabschätzungen der Nachweis gegen das Erreichen bestimmter Bruchbedingungen, da gefrorener Boden keine fest definierte Bruchspannung besitzt. Auch bei (grundsätzlich sinnvollem) Bezug auf ein Verformungskriterium müssen die Sicherheitsbeiwerte individuell boden- und temperaturabhängig festgelegt werden. Für ungefrorenen Boden gültige Sicherheitsbeiwerte sind für gefrorenen Boden deshalb nicht anwendbar.

5 Besonderheiten des Gefrierverfahrens

Das Gefrierverfahren weist gegenüber vielen anderen Verfahren zur Verfestigung und Abdichtung des Bodens mehrere Vorteile auf:

- Durch Temperaturmessungen können die Ausdehnung wie auch die Temperaturverteilung von Frostkörpern einfach und zuverlässig

festgestellt werden. Da die Temperaturverteilung den Gesetzen der Wärmeleitungen folgt, können dabei auch Schlüsse auf eine gewisse Umgebung von Messpunkten gezogen werden, was zum Beispiel durch die Entnahme von Bohrkernen in Injektionskörpern im allgemeinen nicht möglich ist.

- Durch die Duktilität gefrorenen Bodens treten während der Nutzungsdauer Verformungen ein. Diese können durch Messung und Vergleich mit Prognosen als Kontrolle für das planmäßige Verhalten eines Frostkörpers dienen. Da Abweichungen wegen der Duktilität des gefrorenen Bodens in der Regel nicht sprunghaft, sondern allmählich auftreten, können Abweichungen vom planmäßigen Verhalten meist erkannt werden, ehe sie kritische Werte annehmen.
- Ein weiterer Vorzug des Gefrierverfahrens ist, dass Frostkörper während ihrer Nutzungszeit durch stärkeres Gefrieren sowohl in ihrem Volumen als auch ihrer Festigkeit ertüchtigt werden können. Damit ist zum Beispiel beim Auftreten unerwartet großer Verformungen eine zusätzliche Handlungsmöglichkeit gegeben.

Die sichere Anwendung und die Nutzung der besonderen Potentiale beim Gefrierverfahren setzen eine genaue Kenntnis der Vorgänge im gefrorenen Boden voraus. Dies betrifft auch Wissensgebiete, welche außerhalb des klassischen Bauingenieurwesens liegen, beispielsweise die Thermodynamik, insbesondere die Wärme- und Stoffübertragung, die Werkstoffkunde im Hinblick auf den Einfluss tiefer Temperaturen, aber auch die Kälteverfahrenstechnik sowie die Mess- und Regeltechnik beim Betrieb von Vereisungsanlagen. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Bodenvereisung bei Beachtung ihrer Besonderheiten mit den heute zur Verfügung stehenden Kenntnissen und Berechnungsverfahren ausreichend genau geplant und bemessen sowie sicher durchgeführt werden kann.

Im Zuge der immer komplizierter werdenden Bauaufgaben insbesondere beim Bauen im Bestand, der immer geringeren Toleranz gegenüber Auswirkungen auf benachbarte Bauwerke wie auch der immer höheren geforderten Sicherheit wird das Gefrierverfahren auch künftig vielfältige Anwendungen finden. Hierzu trägt auch die hohe Umweltfreundlichkeit durch die praktisch vollständige Schonung von Boden und Grundwasser bei.

6 Literatur

- [1] Domke, O.: Über die Beanspruchung der Frostmauer beim Schacht-abteufen nach dem Gefrierverfahren. Glückauf 1915, S. 1129-1135
- [2] Bayer, F.: Baugrundvereisung beim Bau der U-Bahn Fürth, Tunnel 7, S. 20-28, 2002
- [3] Orth, W., Kuppel, J., Gogolok, A.: Baugrubensicherung und Böschungsstabilisierung mit Bodenvereisung – Zwei ausgeführte Beispiele, Vortrag Baugrundtagung 1988, Hamburg, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau
- [4] Sanger, F.J., Sayles, F.H.: Thermal and rheological computations for artificial frozen ground constructions, Proc. 1st. Int. Symp. On Ground freezing, Bochum, 1979, S.95-117
- [5] Ständer, W.: Mathematische Ansätze zur Berechnung der Frostausbreitung in ruhendem Grundwasser im Vergleich zu Modelluntersuchungen für verschiedene Gefrierrohranordnungen im Schacht- und Grundbau. Veröff. des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität (TH) Karlsruhe, Nr. 28, 1967
- [6] Sres, A., Pimentel, E., Anagnostou, G.: Numerical and physical modelling of artificial ground freezing, Proc. of the Int. Conf. on Numerical Modelling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment, Bochum, 2006, Balkema
- [7] Müller, B., Orth, W.: Bodenvereisung unter schwierigen Randbedingungen: Bahnsteigerweiterung beim U-Bahnhof Marienplatz, München, Forschung + Praxis 41, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. STUVA, Köln, 2005
- [8] Poetsch, H.: Verfahren zum Abteufen von Schächten in schwimmendem Gebirge, Kaiserliches Patentamt, Patentschrift Nr. 25015, vom 27.02.1883
- [9] Schmidt, L.: Milchbuck Tunnel, Application of the freezing method to drive a three-lane highway tunnel close to the surface. RETC Proc. Vol. 1, Society for Mining Metallurgy, p. 427-445, 1981
- [10] Brun, B., Hass H.: Underground line U 5 "Unter den Linden", Berlin, Germany, Structural and thermal FE-calculations for ground freezing design, Proc. of the Int. Conf. on Numerical Modelling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment, Bochum, 2006, Balkema
- [11] Orth, W., Eisele, G., Seiler, J.: Unterfangungsvereisung am Neuen Museum in Berlin, Vortrag Baugrundtagung 2006, Bremen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik
- [12] Rögener, B., Orth, W., Steinhagen, P.: Durchpressung einer Eisenbahnüberführung mit Vereisung im Zuge der Ausbau- und Neubaustrecke Karlsruhe-Basel, Bauingenieur 68 (1993), 451-460, Springer-Verlag
- [13] Geiger, M., Kemmler, M., Wehner, J., Gundhoff, Th., Neher, H., Schaab, A., Orth, W., Wehrmeyer, G.: Tunnel Rastatt: Schildvortrieb in Kombination mit Bodenvereisungen, Taschenbuch für den Tunnelbau 2017, Ernst & Sohn, erscheint 2017
- [14] Gudehus, G., Orth, W.: Unterfangungen mit Bodenvereisung, Bautechnik 6/1985, Ernst & Sohn, Berlin, 1985
- [15] Müller, B.: Bodenvereisung verhindert das Freisetzen von Schadstoffen, Terra Tech 3/1999
- [16] Prandtl, L.: Ein Gedankenmodell zur kinetischen Theorie der festen Körper, Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, Band 8, Heft 2, April 1928
- [17] Orth, W.: Gefrorener Sand als Werkstoff, Veröffentlichungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität (TH) Karlsruhe, Nr. 100, 1986
- [18] Gudehus, G.; Tamborek, A.: Zur Kraftübertragung Frostkörper-Stützelemente, Bautechnik 73 (1986), Heft 9, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [19] Döbbelin, J., Orth, W.: Ermittlung der Kennwerte gefrorenen Bodens – Ableitung von Rechenwerten für ein FE-Modell einer Tunnelbaumaßnahme, Tagung „Baugrundverbesserung in der Geotechnik“, TU Wien, September 2012
- [20] Cudmani, R.: An elastic-viscoplastic model for frozen soils, Proc. of the Int. Conf. on Numerical Modelling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment, Bochum, 2006, Balkema
- [21] Cudmani, R., Nagelsdiek, S.: FE-analyses of ground freezing for the construction of a tunnel cross connection, Proc. of the Int. Conf. on Numerical Modelling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment, Bochum, 2006, Balkema
- [22] Orth, W.: Bodenvereisung, in: Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Kapitel 2.4, 8. Auflage (Hrsg. Witt, K. J.), 2017, Ernst & Sohn, Berlin (erscheint im Herbst 2017)

Reaktive Brandschutzsysteme sichern mit aufschäumenden Dämmschichten filigrane Stahlbautragwerke

Ihre Nutzungsdauer beträgt nach EU-Zulassungsrichtlinien zehn Jahre – sie kann aber auf 25 Jahre erweitert werden

Reaktive Brandschutzsysteme, also anstrichartige Beschichtungen, die im Brandfall eine feuerhemmende Dämmschicht bilden, werden heute im Stahlbau vielfach eingesetzt. Dabei bleibt das filigrane Design sichtbar, das für viele Raumtragwerke der Stahlbauarchitektur kennzeichnend ist. Reaktive Brandschutzsysteme sind vielfach erprobt und ihre Wirkungen ebenso vielfach bestätigt. Ein Problem für Bauherren, Hersteller, Planer und Prüfer rührt aus neuen europäischen Zulassungsbestimmungen, die die Nutzungsdauer dieser Systeme auf zehn Jahren festlegen und damit ihre langfristige Verwendbarkeit in Bauwerken in Frage stellen. Derzeitige deutsche Zulassungen gelten für drei Jahre und kennen keine Einschränkungen für die Nutzungsdauer. Einige Hersteller streben aber jetzt über zusätzliche Prüfungen der Produkte eine Nutzungsdauer von 25 Jahren an. Es gibt hoffnungsvolle technische Lösungsansätze, um den Bedingungen der Praxis auch innerhalb solcher Zeiträume gerecht zu werden. Sie müssen aber zum Teil noch umgesetzt und etabliert werden. Weil diese Systeme so vielfältige ingenieurtechnische und architektonische Entwürfe ermöglichen, werden im folgenden Beitrag der Stand der Technik und deren praktische Anwendung skizziert, einige wichtige Forschungsprojekte aus jüngerer Zeit beschrieben und die Frage der Dauerhaftigkeit aus technischer und juristischer Sicht beleuchtet.

1 Einführung

Reaktive Brandschutzsysteme (RBS) bieten einen Brandschutz, der das filigrane Design wahren kann, das für Raumtragwerke der Stahlbauarchitektur kennzeichnend ist. Diese Systeme entwickeln ihre Schutzwirkung erst unter Brandeinwirkung und bestehen, bei geringen Trockenschichtdicken, üblicherweise aus einer Grundierung, einem Dämmschichtbildner und einem Decklack. Die dünnen Trockenschichtdicken sind optisch kaum wahrnehmbar. Sie ähneln eher einem Anstrich, als einem funktionellen Belag, der im Brandfall aufschäumt. Die Dicke der Trockenschicht hängt davon ab, ob das betreffende Bauteil 30, 60 oder 90 Minuten Feuerwiderstandsdauer erreichen soll. Je nach Bauteil und Hersteller beträgt die Trockenschichtdicke für 30 Minuten beispielsweise zwischen 0,5 bis 1,5 Millimeter. Das konkrete Maß hängt vom RBS, der Massigkeit und Art (Rohr- oder I-Profil) des Stahlquerschnitts und von der geforderten Feuerwiderstandsdauer ab. Das technische Charakteristikum dieser Systeme ist, dass sie unter Brandeinwirkung ihre brandschutztechnische Wirkung entfalten, indem sie aufschäumen und so die Erwärmung des Stahlquerschnitts verzögern. In **Abb. 1** wird dieser Prozess dargestellt. Es wird erkennbar, dass das RBS sich temperaturabhängig in Form und Farbe verändert. Im Bereich zwischen 200 und 250 Grad Celsius geht das System von der festen in eine viskose Phase über. Dann beginnt ab etwa 250 Grad Celsius das Aufschäumen zu einem festen, schwarzen Kohlenstoffgerüst. Jenseits von 700 Grad Celsius verbrennt der Kohlenstoff, und es bleibt eine weiße anorganische Schicht über.

In **Abb. 2** ist der Temperaturverlauf eines ungeschützten und eines beschichteten Stahlprofils (IPE200) unter ETK-Einwirkung dargestellt. Während die Temperaturentwicklung innerhalb des ungeschützten Profils gemäß DIN EN 1993-1-2 [1] berechnet wurde, erfolgte die Ermittlung des Erwärmungsverhaltens des geschützten Profils im Rahmen eines Brandversuchs. Beide Temperaturverläufe sind bis zum Beginn des Aufschäumens sehr ähnlich. Erst ab etwa 250 Grad Celsius verzögert sich die Erwärmungskurve des beschichteten Stahlprofils deutlich gegenüber dem ungeschützten Profil. Der Zeitpunkt, bei dem



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann

Studium des Bauingenieurwesens und Promotion zum Dr.-Ing. (1984) an der Ruhr-Universität Bochum; nach Tätigkeiten in Industrie und Consulting im Jahre 1996 Berufung zum Universitätsprofessor und Leiter des Instituts für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover; Beratender Ingenieur, Gutachter und Sachverständiger im Bauwesen; seit 2009 Gründungspartner der SKI Ingenieurgesellschaft in Hannover; seit 2010 im Nebenamt Standortleiter des Fraunhofer Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) in Hannover; Vorsitzender und Mitglied zahlreicher nationaler und internationaler Verbände und Normungsgremien auf den Gebieten Stahlbau, Windenergie und baulicher Brandschutz



Dipl.-Ing. Waldemar Weisheim

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover.

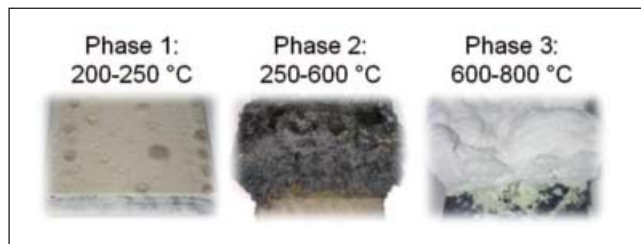


Abb. 1: Reaktionsphasen eines Reaktiven Brandschutzsystems (RBS):
 Phase 1: Schmelzen der Bindemittelmatrix,
 Phase 2: Expansion und Bildung einer kohlenstoffhaltigen Schaumschicht,
 Phase 3: Pyrolyse organischer Bestandteile

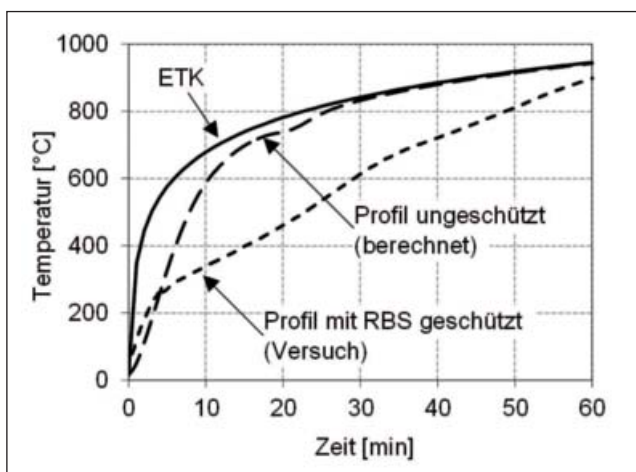


Abb. 2: Temperaturentwicklung innerhalb eines ungeschützten und mit einem RBS geschützten IPE200-Profiles bei einer Brandbeanspruchung infolge Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK)

das RBS seine effektive Schutzwirkung ausgebildet ist somit innerhalb der gemessenen Temperaturkurve des geschützten Profils erkennbar.

2 Stand der Technik

Heutzutage sind verschiedenste Systeme von RBS auf dem Markt: wasser- und lösemittelbasierte Einkomponentensysteme und epoxidharzbasierte Zweikomponentensysteme. Alle Systeme erfüllen Anforderungen bis zur Feuerwiderstandsklasse R120. Ein derart weiter Anwendungsbereich war vor einigen Jahren vor allem bei Stützen in Deutschland noch undenkbar. Der früher bei Stützen-Brandversuchen ab der Feuerwiderstandsklasse R90 (früher F90) obligatorische Löschwasser Versuch, bei dem ein Löschwasserstrahl nach Versuchsende jedes RBS von der Stütze abgelöst hätte, ist erst in jüngerer Zeit im Rahmen der Harmonisierung der Prüfbedingungen in Europa entfallen.

Einschränkungen gab es bis vor kurzem auch in der Anwendung von RBS auf Zuggliedern aus Kreishohlprofilen und Vollquerschnitten. Aufgrund jüngerer Forschungsarbeiten an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin [2] sind nunmehr Prüfbedingungen definiert, mit denen nun auch für diese zugbeanspruchten Profile Zulassungen erteilt werden können. In **Tabelle 1** ist eine Übersicht über die derzeitigen Anwendungsmöglichkeiten von reaktiven Brandschutzsystemen in Abhängigkeit von der Profilgeometrie und der mechanischen Einwirkung auf das entsprechende Stahlbauteil dargestellt.

Einwirkung				
Biegung	✓	Anwendung unüblich bzw. nicht sinnvoll		
Druck	✓	✓	✓	
Zug	✓		(✓)	(✓)

(✓) Es existiert bislang nur eine Zulassung (Z-19.11-2194)

Tab. 1: Übersicht über die Anwendungsmöglichkeiten von reaktiven Brandschutzsystemen in Abhängigkeit von der Profilgeometrie und der mechanischen Einwirkung auf das Stahlbauteil

Während reaktive Brandschutzsysteme inzwischen auf offenen, biege-, druck- und zugbeanspruchten I-Profilen angewendet werden können, existiert derzeit noch eine Einschränkung für zugbeanspruchte Rechteckrohprofile. Kreishohlprofile und Vollquerschnitte, die als Zugelemente ausgeführt werden, können hingegen mit reaktiven Brandschutzsystemen beschichtet werden. In Deutschland existiert hierfür jedoch bislang nur eine Zulassung.

3 Anwendungsbeispiele

Reaktive Brandschutzsysteme werden heute sehr vielfältig eingesetzt. Im Rahmen der Fußballweltmeisterschaft 2006 in Deutschland wurden zahlreiche Stadien um- oder neu gebaut. Dabei wurden Teile der jeweiligen Stahlkonstruktionen mit reaktiven Brandschutzsystemen versehen. Ein Beispiel für ein derartiges Bauvorhaben stellt der Neubau der Allianz Arena in München dar. Die Dachkonstruktion dieser Arena besteht aus einem räumlichen Stahltragwerk, das umlaufend durch einen Ringanker im Bereich des Oberrangs abgeschlossen wird. Der in **Abb. 3** dargestellte Ringanker (inklusive Knotenpunkt) wurde im Rahmen der Baumaßnahme mit einem reaktiven Brandschutzsystem versehen. Aufgrund der gedungenen Bauweise des Ringankers ($A/V = 100 \text{ m}^{-1}$) war eine Trockenschichtdicke des RBS von 0,5 Millimeter ausreichend, um eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten zu gewährleisten [5]. Aufgrund der offenen Bauweise der Dachkonstruktion musste ein Brandschutzsystem verwendet werden, das den Anforderungen an einen Außenbereich genügt. Eine solche Anwendung im Außenbereich stellt die höchste Anforderungskategorie für reaktive Brandschutzsysteme dar. Ein weiteres erwähnenswertes Beispiel für eine erfolgreiche Anwendung von reaktiven Brandschutzsystemen im Stahlbau ist der Verwaltungsneubau der Firma Adidas in Herzogenaurach (**Abb. 4**). Das Haupttragwerk des Gebäudes besteht unter anderem aus mehrstöckigen Stahlfachwerkträgern, die eine offene und transparente Gestaltung des Atriums ermöglichen, welches das Zentrum des ganzen Gebäudes bildet.

Das sichtbare Tragwerk dieses Atriums, das einen Bereich von bis zu 60 Meter frei überbrückt, wurde mit einem reaktiven Brandschutzsystem



Abb. 3: Applikation eines RBS in einem Fußball-Stadion: Dachkonstruktion der Allianz Arena in München und mit einem reaktiven Brandschutzsystem beschichteter Knotenpunkt des Ringankers [3]



Foto: Huthmacher, kadawittfeldarchitektur GmbH, Aachen

Abb. 4: Applikation eines RBS in einem Bürogebäude (Adidas Laces, Herzogenaurach, 2011): Blick aus dem Atrium auf das mehrstöckige Stahltragwerk (links) und teilbeschichtete Stahlfachwerkdialagonalen (rechts)

beschichtet. Die Applikation des Brandschutzsystems erfolgte vor Ort auf der Baustelle. Nach bauordnungsrechtlichen Vorschriften musste das Stahltragwerk in feuerbeständiger Weise, das heißt, mit einer Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten, hergestellt werden. Die Bemessung des Tragwerks erfolgte im Brandfall unter Einbeziehung eines objektspezifischen Brandszenarios (Naturbrand). Auf diese Weise konnte nachgewiesen werden, dass die Tragfähigkeit des Haupttragwerks im Brandfall bereits mit einer F30-Beschichtung sichergestellt werden kann.

4 Bautechnische Regelungen und Zulassungen

Reaktive Brandschutzsysteme sind nicht geregelte Bauprodukte. Ihre Anwendung erfolgt in Deutschland derzeit auf der Grundlage von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ), europäischen technischen Bewertungen (ETA) oder auf der Grundlage einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE).

Während die Durchführung der Zulassungsprüfungen auf nationaler Ebene auf der Grundlage der Zulassungsgrundsätze [4] des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erfolgt, werden auf europäischer Ebene die Zulassungsversuche durch die Leitlinie für europäische technische Zulassungen (ETAG) 018 Teil 1 und 2 [5], [6] geregelt.

Die nationalen Zulassungsgrundsätze des Deutschen Instituts für Bautechnik sehen eine Fülle von Eigenschaften vor, die für die reaktiven Brandschutzsysteme im Rahmen der Zulassungsprüfung untersucht werden. So wird im Rahmen der Grundprüfung die Dämmwirkung des RBS anhand von Brandversuchen untersucht. Hierfür werden Stahlplatten (500 x 500 x 5 Millimeter) mit einer RBS beschichtet und nach der Trocknung in einem Kleinprüfstand gemäß DIN 4102-8 [7] einer Brandprüfung unterzogen, in der als Brandeinwirkung die ETK zugrunde gelegt wird. Die Dämmwirkung des RBS wird anhand der auf der Stahlplattenrückseite gemessenen Temperatur bewertet. Als Erfüllungskriterium für den Versuch wird die Unterschreitung einer Grenztemperatur von 500 Grad Celsius für die geforderte Feuerwiderstandsdauer (30 bis 90 Minuten) definiert.

Um mögliche Veränderungen der Eigenschaften infolge Alterung beurteilen zu können, ist in den nationalen Zulassungsgrundsätzen gefordert, dass spätestens bei der Erstprüfung Proben für den Alterungsnachweis entnommen und bei einer Prüfstelle entsprechend dem Anwendungsbereich gelagert werden (für die Außenanwendung ist eine Außenlagerung vorzusehen). Nach mindestens zwei, fünf und zehn Jahren sind die relevanten Kennwerteigenschaften der RBS, wie zum Beispiel ihre Dämmwirkung, zu prüfen.

Diese Form der Versuche wird in den nationalen Zulassungsgrundsätzen als Langzeitversuche deklariert. Darin werden zunächst mögliche Oberflächenveränderungen (Ausbleichen, Ausschwitzen, Auflösen, Formänderung etc.) der eingelagerten Proben festgestellt. Anschließend werden Brandprüfungen durchgeführt und die Dämmwirkung des RBS erneut ermittelt. Der Einfluss des Alterungsverhaltens auf die Dämmwirkung der RBS wird anhand des Vergleichs mit den unbehandelten Proben aus der Grundprüfung bewertet. Bei signifikanter Verringerung der Dämmwirkung kann die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung entzogen beziehungsweise nicht verlängert werden.

Inwieweit bei bestimmten Rezeptur- und Ausführungsvarianten weiterführende Alterungsnachweise vorzusehen sind, legt das DIBt begründet fest.

Zusätzlich zu den Langzeitversuchen werden in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt weitere Kurzzeitversuche zur Bewertung der Dauerhaftigkeit von RBS gefordert. Hierbei werden die Systeme einer Kurzzeit-Bewitterung sowie einer Wärmebeanspruchung unterzogen, bei denen jeweils der Einfluss der Umwelteinwirkungen auf die Leistungsfähigkeit der RBS untersucht wird (vgl. **Tabelle 2**).

Ein ähnliches Vorgehen ist in der ETAG 018-2 [6] der Europäischen Organisation für Technische Zulassungen (EOTA) vorgeschrieben, bei dem beschichtete Stahlplatten unterschiedlichen Bewitterungszyklen nach den Kategorien Z1, Z2, Y und X (in Abhängigkeit von der Anwendung) ausgesetzt und die Dämmwirkung des RBS im Anschluss innerhalb eines Erwärmungsversuchs untersucht wird (vgl. **Tabelle 3**). Der Einfluss der Umwelteinwirkungen auf die Dämmwirkung der RBS wird

Anwendung	Zyklus	Dauer
Innen	4 Std. bei -20 °C + 4 Std. bei +20 °C u. 80 % RH + 16 Std. bei +40 °C u. 50 % RH	21 Tage
Außen*	5 Std. Trockenphase bei 55 °C + 1 Std. Beregnung bei 20 °C	112 Zyklen

*Der Prüfung geht eine 4-wöchige Beanspruchung der Proben im UV-Testgerät (Bauart BAM) voraus

Tab. 2: Kurzzeitversuche für die Bewertung der Dauerhaftigkeit von RBS nach den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) [4].

Anwendung	Typ	Min/Max. Temp./RH	Dauer
Innen	Z2	5 °C/40 °C/50–80 %	21 Tage
Innen (hohe Luftfeuchtigkeit)	Z1	23 °C/40 °C/50–100 %	21 Tage
Halbexponiert	Y	-20 °C/70 °C/0–95 %	14 Tage
Außen/ Sämtliche Bedingungen	X	50 °C/<15 % (UV-Einwirkung) und 25 °C (Sprühwasser) + Typ Y	28 Tage 14 Tage

Tabelle 3: Kurzzeitversuche zur Bewertung der Dauerhaftigkeit von RBS gemäß ETAG 018-2 [6]

Angenommene Lebensdauer des Bauwerks		Lebensdauer der Bauprodukte, die in EADs angenommen und in ETAs auszuweisen ist (in Jahren)		
Kategorie	Jahre	Kategorie		
		leicht auszubessern oder einfach zu ersetzen	aufwendiger, ausbesserungsfähig oder ersetzbar	lebenslang ¹
kurz/short	10	10 ²	10	10
mittel/medium	25	10 ²	25 ²	25
normal	50	10 ²	25	50
lang/long	100	10 ²	25	100

¹ Produkt ist nicht ausbesserungsfähig oder ersetzbar.
² In begründeten Ausnahmefällen, z.B. wenn konkrete Bewertungsgrundlagen vorliegen, kann von den Angaben abgewichen werden.

Tabelle 4: Lebensdauer von in Bauwerken eingebauten Bauprodukten, die in ETAs auszuweisen ist [8]

anhand eines Vergleichs mit unbehandelten Proben (Grundprüfung) bewertet. Hierbei wird eine maximal zulässige Reduktion der Feuerwiderstandsdauer von 85 Prozent gegenüber der unbehandelten Probe beim Erreichen einer definierten kritischen Stahltemperatur zugelassen.

Die EOTA-Bestimmungen sowie die Versuchs- und Bewertungsmethoden in dieser Richtlinie wurden auf Grundlage einer angenommenen Lebensdauer des Produkts von zehn Jahren festgelegt. Eine Lebensdauer von 25 Jahren kann nachgewiesen werden, wenn der Antragsteller zusätzlich zu den Nachweisen, die für die Prüfung durch die Zulassungsstelle erforderlich sind, ausreichend dokumentierte Nachweise für den Einsatz des reaktiven Beschichtungssystems über einen Zeitraum von 25 Jahren unter bestimmten Umweltbedingungen vorlegen kann. Welche Methode dafür verwendet werden muss, wird jedoch nicht spezifiziert.

Wichtig für die Prüferingenieure und Prüfsachverständigen zu wissen ist, dass die Angabe über die vorgesehene Nutzungsdauer nicht als Herstellergarantie ausgelegt werden kann, sondern lediglich als Hilfsmittel zur Auswahl der richtigen Produkte angesichts der erwarteten und wirtschaftlich angemessenen Lebensdauer des Bauwerks zu betrachten sind. Entsprechende Zusammenhänge zwischen der angenommenen Lebensdauer eines Bauwerks und der in ETAs auszuweisenden Lebensdauer eines Bauprodukts sind in **Tabelle 4** dargelegt.

5 Forschungsarbeiten

Am Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover wurden in den vergangenen Jahren einige Forschungsprojekte durchgeführt, bei denen reaktive Brandschutzsysteme zum Einsatz kamen beziehungsweise im Fokus der zentralen Forschungsfragen standen.

In dem IGF-Vorhaben 16586 N *Brandverhalten von Schraubenverbindungen im Stahl- und Verbundbau* [9], das zusammen mit dem Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik der TU Darmstadt durchgeführt worden ist, wurden Simulationsmethoden entwickelt, die neben dem Hochtemperaturverhalten von hochfesten Schrauben auch die verzögerte Erwärmung der Bauteile infolge der thermischen Schutzwirkung eines reaktiven Brandschutzsystems beschreibt. Für die Validierung der Simulationsmethode wurde ein Brandversuch durchgeführt, dessen Aufbau in **Abb. 5** dargestellt ist.

Im Zuge des IGF-Vorhabens 16142 N *Nutzung der Membranwirkung von Verbundträger-Decken-Systemen im Brandfall* [10], das zusammen mit dem Lehrstuhl für Metallbau der TU München durchgeführt worden ist, kam ebenfalls ein reaktives Brandschutzsystem zum Einsatz. Das Brandschutzsystem wurde eingesetzt, um die Hauptträger eines Deckensystems im Brandfall zu schützen, während die Nebenträger ungeschützt ausgeführt wurden, um die Membrantragwirkung der Decke zu aktivieren. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde un-

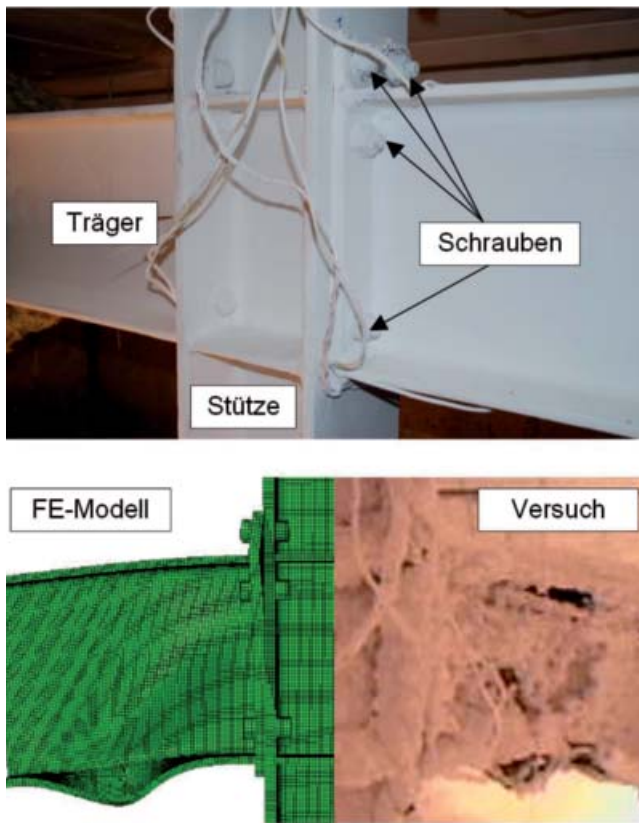


Abb. 5: Tragverhalten von beschichteten Schraubenverbindungen im Brandfall: Träger-Stützenanschluss vor dem Brandversuch (oben) sowie FE-Modell und Versuchskörper während der Brandprüfung (unten)

ter anderem eine Simulationsmethode entwickelt, die das Erwärmungsverhalten der infolge des reaktiven Brandschutzsystems brandschutztechnisch geschützten Hauptträger beschreiben kann.

Die Vorarbeiten aus diesen beiden Forschungsvorhaben wurden später dazu genutzt, um den Einsatz reaktiver Brandschutzsysteme im Stahlbau zu optimieren. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Metallbau der TU München wurden das IGF-Vorhaben 17200 N *Optimierter Einsatz intumeszierender Anstriche im Stahlbau* [11] durchgeführt. In kleinmaßstäblichen Laborversuchen wurden dabei thermische Materialkennwerte verschiedener Brandschutzbeschichtungen ermittelt und in Simulationen überführt. Der Fokus lag dabei auf dem gehinderten Aufschäumverhalten der Brandschutzsysteme im Bereich angrenzender, raumabschließender Bauteile (z.B. Trapezprofile) und

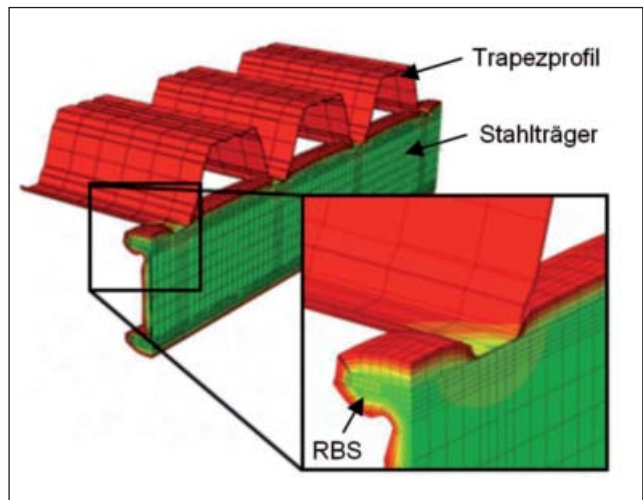


Abb. 6: Finite-Elemente-Modell eines beschichteten IPE200-Trägers mit einem angrenzenden Trapezprofil sowie einem reaktiven Brandschutzsystem im aufgeschäumten Zustand bei einer Brandbeanspruchung infolge ETK [12]

auf der Antwort auf die Frage, inwieweit der Feuerwiderstand von Stahlträgern dadurch beeinflusst wird. Hierzu wurde eine Simulationsmethode entwickelt, mit deren Hilfe das Aufschäumverhalten der Brandschutzsysteme explizit beschrieben und damit die Interaktion mit angrenzenden Bauteilen beliebig modelliert werden kann (vgl. **Abb. 6**).

Im Bereich der deutschlandweiten Forschungsarbeiten von reaktiven Brandschutzsystemen ist die Arbeit von Dr.-Ing. Dustin Häbler [13] zu erwähnen. Für seine Forschung über die Verwendung reaktiver Brandschutzsysteme auf filigranen Stahlzuggliedern erhielt er 2016 den Forschungspreis des Deutschen Ausschusses für Stahlbau (DASt). Häbler untersuchte das Verhalten eines wasserbasierten reaktiven Brandschutzsystems auf kreisförmigen Zuggliedern unter Variation des Belastungszustandes der Zuglieder (vgl. **Abb. 7**). Mit seinen Versuchen an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung stellte er deutlich heraus, dass es bei der Bewertung der thermischen Schutzwirkung von reaktiven Brandschutzsystemen einen signifikanten Unterschied zwischen belasteten und unbelasteten Zugstäben gibt.

Auch die Arbeit von Dr.-Ing. Elio Raveglia [14] aus dem Jahr 2008 vom Institut für Baustatik und Konstruktion der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich ist an dieser Stelle hervorzuheben. Raveglia untersuchte im Rahmen von zahlreichen Brandversuchen und

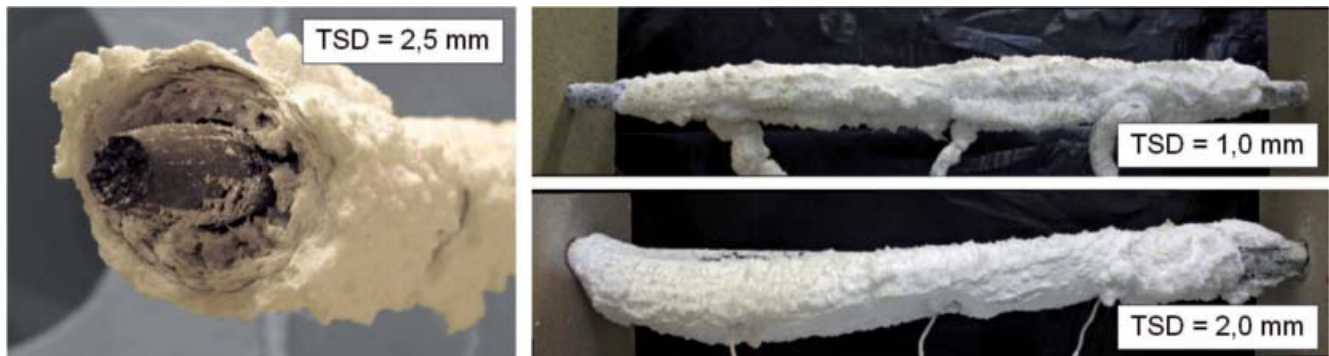


Abb. 7: Mechanisch belastetes Zugglied (links) und unbelastete Zugglieder (rechts) mit aufgeschäumtem RBS nach dem Brandversuch bei unterschiedlichen Trockenschichtdicken (TSD)

Fotos: Häbler, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 2016

numerischen Simulationen den Einfluss von lokalen Schäden in reaktiven Brandschutzsystemen auf das Erwärmungsverhalten von Stahlbauteilen im Brandfall. Er stellte fest, dass reaktive Brandschutzsysteme nicht nur senkrecht zu der Bauteiloberfläche aufschäumen, sondern auch in Querrichtung. Auf diese Weise können lokale Fehlstellen im Brandschutzsystem während des Aufschäumvorgangs wieder geschlossen werden. In welchem Umfang eine Fehlstelle zuschäumt, hängt dabei stark von der Fehlstellengröße ab.

Die Arbeit von Raveglia liefert somit die Erkenntnis, dass nicht jeder Kratzer in einem reaktiven Brandschutzsystem ausgebessert werden muss. Größere Schadstellen müssen natürlich weiterhin behoben werden. Hinweise, ab welcher Größe dies erfolgen muss, liefert die Arbeit von Raveglia.

Ganz anderen Fragestellungen widmen sich die Forschungsarbeiten von Jimenez et al. [15] von der Universität Lille. Im Jahre 2012 führten sie umfassende Studien zum Einfluss verschiedener Umwelteinflüsse auf die Performance eines epoxidharzbasierten Brandschutzsystems (Zwei-Komponenten-System) durch. Als Einwirkungsszenarien definierten sie neben einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 Prozent bei gleichzeitiger Temperatur von 70 Grad Celsius, zudem ständige Nässe infolge destillierten Wassers sowie einer Natriumchloridlösung (Salzwasser). Die Proben wurden den Einwirkungen einen beziehungsweise zwei Monate lang ausgesetzt und anschließend einer Brandprüfung unterzogen. In **Abb. 8** sind die gemessenen Temperatur-Zeit-Kurven der verschiedenen Proben einer unbehandelten und einer unbeschichteten Stahlplatte gegenübergestellt. Während destilliertes Wasser kaum einen Einfluss auf die Performance des Brandschutzsystems hat, weist die Probe, die mit einer hohen Luftfeuchtigkeit beaufschlagt worden war, etwas höhere Temperaturen gegenüber der unbehandelten Probe auf. Die mit Salzwasser behandelte Probe weist wiederum deutlich höhere Temperaturen auf, die teilweise in derselben Größenordnung liegen, wie die Temperaturen für die ungeschützte Stahlplatte.

Als Erklärung für dieses Ergebnis fanden Jimenez et al. heraus, dass durch die Salzlösung Teile des Schaumbildners (Melamin) und des Säurekatalysators (Ammoniumpolyphosphat, APP) aus der Bindemittel-

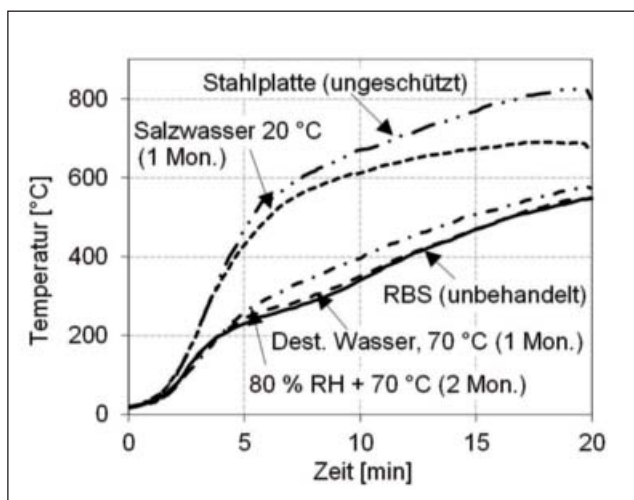


Abb. 8: Temperaturentwicklung beschichteter Stahlplatten (10 x 10 Zentimeter) nach einer Behandlung des RBS mit hoher Luftfeuchtigkeit, destilliertem Wasser und Salzwasser im Vergleich mit einer unbehandelten Probe sowie einer ungeschützten Stahlplatte infolge Hydrokarbonkurve (nach [15])

matrix des Brandschutzsystems herausgelöst werden und damit für den Aufschäumvorgang nicht mehr zur Verfügung stehen. Folglich schäumt das Brandschutzsystem nur geringfügig auf, und es führt daher nur zu einer geringfügigen Verzögerung im Erwärmungsverhalten des zu schützenden Stahlbauteils.

Mit diesen Ergebnissen ist ein wichtiger Ansatz für weitere Forschungsarbeiten gegeben, um die Funktionsfähigkeit von reaktiven Brandschutzsystemen anhand von Laboranalysen zu bewerten.

6 Dauerhaftigkeit von Brandschutzbeschichtungen – juristisch

Die Frage, die den Prüferingenieur oder den Prüfsachverständigen besonders interessieren dürfte, ist die Frage nach der Dauerhaftigkeit von Brandschutzbeschichtungen. Rechtsanwalt Michael Halstenberg von der Kanzlei HFK Rechtsanwälte LLP (Düsseldorf) hat diese Frage im Auftrag der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik (BVPI) beantwortet. In seiner Stellungnahme zur Thematik der Dauerhaftigkeit im Brandschutz bemerkt Halstenberg:

Grundsätzlich muss das Bauwerk im Zeitpunkt der Abnahme der geschuldeten (der nach dem Vertrag festgelegten Ausführung) entsprechen. Im Übrigen sind die vertragliche und oder gesetzliche Gewährleistung und die Gewährleistungsfristen zu beachten. Diese Fristen sind allerdings deutlich kürzer als die von den Vertragsparteien vorausgesetzte Lebensdauer des Gebäudes. Als Ausgleich für die kurzen Gewährleistungsfristen hat der Bauherr grundsätzlich den Anspruch, dass das Bauwerk den allgemeinen anerkannten Regeln der Technik, in der Regel den DIN Normen oder den sonstigen einschlägigen technischen Regelwerken, zu entsprechen hat. Die Beachtung der einschlägigen Regelwerke einschließlich der Herstellerangaben sollen auch die Dauerhaftigkeit der Bauwerke gewährleisten. Der Bauherr ist von dem Unternehmer und gegebenenfalls den Planern auf die Notwendigkeit von Wartungsmaßnahmen hinzuweisen, wenn hierzu auf Grund der verwendeten Materialien und Verfahren Anlass besteht (vertragliche Nebenpflicht). Der Bauherr ist schon zu Beginn vom Architekten und Fachplaner, gegebenenfalls auch vom Unternehmen, auf die mit den erforderlichen Wartungsarbeiten verbundenen Kosten hinzuweisen, da dies für dessen Entscheidung bezüglich der Bauausführung wichtig ist (Stichwort: Lebenszyklusbetrachtung).

Dauerhaftigkeit im Sinne des Bauordnungsrechts bedeutet: Die bauliche Anlage muss so beschaffen sein, dass auch durch physikalische Einflüsse keine Gefahren entstehen. Dazu zählt zum Beispiel die Korrosion von Stahlträgern. Da von der baulichen Anlage auch während ihres Bestehens keine Gefahr ausgehen darf, muss der Bauherr den Zustand der Anlage laufend prüfen und das Bauwerk gegebenenfalls warten und instandsetzen.

Zum Thema Brandschutz schreibt Halstenberg weiter:

Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instandzuhalten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind (Paragraf 14 der Musterbauordnung der Länder). Das heißt, die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks ist unter Einbeziehung der Durchführung der erforderlichen Instandhaltung (Wartung) zu beurteilen.

Das Bauordnungsrecht versucht die Gewähr der notwendigen Sicherheit der baulichen Anlage zumindest für eine „genügend lange Zeit“ dadurch zu erreichen, dass neben der baulichen Anlage auch die einzelnen Teile dem Zweck entsprechend dauerhaft sein müssen. Es müssen deshalb nach den Regeln der Baukunst und Technik hergestellte und zweckentsprechende Bauprodukte und Bauverfahren für alle Bauteile verwendet werden, wobei der Zweck zu berücksichtigen ist, für den die bauliche Anlage erstellt wird.

Ist eine Norm bauaufsichtlich eingeführt, ist davon auszugehen, dass das damit geregelte Bauprodukt oder die geregelte Bauart verwendet werden können, das heißt, als „dauerhaft“ anerkannt ist. Das gleiche gilt für Produkte, die mit Zustimmung im Einzelfall oder auf Grund einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden können. Ist die Verwendung von reaktiven Brandschutzsystemen bauaufsichtlich zugelassen (gültiger Verwendungsnachweis), kann das Bauprodukt für den betreffenden Verwendungszweck eingesetzt werden. Das gilt auch für harmonisierte Bauprodukte mit CE-Kennzeichnung.

Im Ergebnis muss der Bauherr aber die Erfüllung der Anforderungen an das Bauwerk nachweisen. Hält die Bauaufsicht (oder der Prüfingenieur) die Sicherheit des Bauwerks nicht für „eine dem Zweck entsprechende ausreichende Zeit“ (= dauerhaft) gegeben, hat er zusätzliche bauliche Maßnahmen zu fordern. Dies ist im Ergebnis anhand des Einzelfalls individuell anhand der objektiven Sachlage zu beurteilen. Zu beachten und zu bewerten sind dabei die Norm beziehungsweise die Leistungserklärung, die sonstigen Herstellerangaben einschließlich der Gebrauchshinweise, der Angaben zum Verwendungszweck, der Verarbeitungshinweise, der Sicherheitshinweise, der Hinweise zur Wartung und deren Erforderlichkeit (Zeiträume).

Da eine Vielzahl von Bauprodukten nur eine kürzere Lebensdauer haben als die vorgesehene Lebensdauer des Gebäudes, ist eine Reihe von Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen laufend vorzunehmen. Das betrifft zum Beispiel Anstriche, Fugen, Korrosionsschutz und Anlagen (Heizung). Dabei nimmt das Bauordnungsrecht bewusst in Kauf, dass bestimmte Bauteile nicht derart beschaffen sind, dass die vorgeschriebene Anforderung auf Dauer erfüllt wird.

Unter dem Gesichtspunkt des Bestandsschutzes werden auch Zustände geduldet, die nicht (mehr) den bauordnungsrechtlichen Anforderungen entsprechen, solange hieraus keine Gefahr erwächst. Beispiele dafür sind:

- Die Weiterverwendung von Fenstern, deren U-Wert über die Jahre derart gesunken ist (Leckage der Fenstergläser), dass die Anforderungen der EnEV nicht mehr erfüllt werden, ist zulässig, es besteht also keine Austauschverpflichtung.

- Unzulässig ist die unterlassene Wartung der Beschichtungen von Stahlträgern, wenn diese ihre Wirksamkeit verloren haben, sodass es im Brandfall zu einem Versagen des Bauwerks kommen kann.

- Im Rahmen von Bauarbeiten ist gegebenenfalls auch der Gebäudebestand mit einzubeziehen; führt beispielsweise der Rettungsweg für einen neuen Gebäudeteil durch ein vorhandenes Gebäude, ist auch zu bewerten, ob der Rettungsweg „im Bestand“ (noch) den aktuellen Anforderungen entspricht. Gegebenenfalls sind dort die Beschichtungen zu erneuern.

- Gegebenenfalls kann die Baugenehmigung auch Nebenbestimmungen enthalten, die den Nachweis von Instandhaltungsarbeiten beinhaltet. Der Prüfingenieur kann dementsprechend im Prüfbericht auf die begrenzte Dauer von Bauteilen etc. hinweisen, sodass die Bauaufsicht eine Grundlage für eine entsprechende Verwaltungsentscheidung hat. Der Prüfsachverständige sollte den Bauherrn auf die begrenzte Funktionsdauer der betreffenden Bauteile ausdrücklich hinweisen.

7 Dauerhaftigkeit von Brandschutzbeschichtungen – fachlich

Die praktizierenden Brandschutzingenieure und die Ingenieurwissenschaftler beschäftigen sich schon seit mehreren Jahren in verschiedenen Gremien mit der Frage nach der Dauerhaftigkeit von Brandschutzbeschichtungen. Vor allem im Arbeitsausschuss Brandschutz des deutschen Stahlbauverbandes und im Koordinierungsausschuss für Brandschutz, den die Bundesvereinigung der Prüfingenieure für Bautechnik (BVPI) gegründet hat, beschäftigen sich die Fachleute kontinuierlich mit diesem Thema. Beteiligt sind an diesen Gesprächen nicht nur fachliche Vertreter des Deutschen Instituts für Bautechnik und der einschlägigen wissenschaftlichen Institute der Universitäten und Hochschulen, sondern auch die fachlich infrage kommenden Vertreter der Sachverständigeninstitutionen, der Produkthersteller und natürlich der Stahlbauunternehmen.

Im Zuge der Zusammenarbeit aller Beteiligten haben sich inzwischen drei Ansätze herauskristallisiert, die potentielle Möglichkeiten darstellen, die Dauerhaftigkeit von reaktiven Brandschutzbeschichtungen in Zukunft fachlich besser bewerten zu können.

- Ein erster Ansatz für die Bewertung der Dauerhaftigkeit von reaktiven Brandschutzsystemen besteht in einer systematischen Analyse der Zwei-, Fünf- und Zehnjahresprüfungen, die im Rahmen der nationalen Zulassungsgrundsätze verankert sind. Voraussetzung für diese Arbeit ist jedoch eine Kooperation mit den Herstellern der Brandschutzbeschichtungen und den entsprechenden Zulassungsstellen.

- Darüber hinaus ist es denkbar, dass die Dauerhaftigkeit von reaktiven Brandschutzsystemen in Zukunft auch in situ erfolgen kann, indem Korrelationsbeziehungen zwischen den Produktproben, die einem Bauteil entnommen wurden, und Laborproben hergestellt werden. Die Forschungsarbeiten von Jimenez et al. [15] sind hierfür als richtungweisend anzusehen.

- In den Leitlinien für europäische technische Zulassungen ETAG 018-2 [6] ist die Möglichkeit geregelt, einen Nachweis über eine längere Lebensdauer von reaktiven Brandschutzsystemen zu führen als die angenommenen zehn Jahre. Aus diesem Grund haben erste deutsche Produkthersteller in Zusammenarbeit mit akkreditierten Prüfinstituten ein abgestimmtes Prüfverfahren vorgeschlagen, um eine anzunehmende Lebensdauer der Brandschutzbeschichtungen von 25 Jahren nachzuweisen. Dieses Prüfverfahren sieht vor, dass der Prüfzyklus, der bislang für den Nachweis einer Lebensdauer von zehn Jahren angewendet wird, verdreifacht wird. Für die Anwendungsbereiche Z2 und Z1 (trockene Innenanwendung beziehungsweise mit hoher Luftfeuchtigkeit) bedeutet das zum Beispiel, dass die Prüfdauer von 21 auf 63 Tage erhöht werden soll.

8 Zusammenfassung

Reaktive Brandschutzsysteme werden im baulichen Brandschutz eingesetzt, um die Feuerwiderstandsdauer von Stahlbauteilen zu erhöhen. Die Besonderheit dieser Brandschutzsysteme liegt in ihrer thermischen Schutzwirkung, die erst bei einem Brandereignis ausgebildet wird. Infolge einer thermischen Einwirkung expandiert das Brandschutzsystem um ein Vielfaches der Ausgangsschichtdicke und bildet eine poröse Schaumstruktur mit guten wärmedämmenden Eigenschaften, die den Wärmeeintrag in das zu schützende Stahlbauteil zeitlich verzögert.

Reaktive Brandschutzsysteme sind nicht geregelte Bauprodukte. Ihre Anwendung erfolgt in Deutschland derzeit auf der Grundlage von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ), europäischen technischen Bewertungen (ETA) oder auf der Grundlage einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE).

Ein Problem für Bauherren, Hersteller, Planer und Prüfer rührte bislang aus den neuen europäischen Zulassungsbestimmungen, die die Nutzungsdauer der Brandschutzsysteme zu zehn Jahren definieren und damit ihre langfristige Verwendbarkeit in Bauwerken in Frage stellen. Einige deutsche Hersteller haben jedoch inzwischen von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, eine angenommene Lebensdauer der Brandschutzbeschichtungen von 25 Jahren durch erweiterte Prüfungen nachzuweisen. Die dabei zugrunde gelegten Prüfzenarien wurden mit einem akkreditierten Prüfinstitut zuvor abgestimmt und durchgeführt.

9 Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-2 Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005 + AC:2009, Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2010
- [2] Hothan, S.; Häbler, D.: Numerische und versuchstechnische Untersuchungen zur Anwendung von reaktiven Brandschutzsystemen auf Zuggliedern aus Stahl, Abschlussbericht, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Fraunhofer IRB Verlag, Berlin 2015, ISBN 978-3-8167-9444-8
- [3] Brux, G.: Stadien der Fußball-Weltmeisterschaft 2006: Stahlkonstruktionen mit dämmschichtbildender Brandschutz-Beschichtung, Stahlbau 75 (12), 2006
- [4] DIBt: Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Stahlbauteilen, DIBt Mitteilungen, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997
- [5] ETAG 018-1: Guideline for European Technical Approval of Fire Protective Products - Part 1: General, European Organization for Technical Approvals, Brüssel, 2013
- [6] ETAG 018-2: Guideline for European Technical Approval of Fire Protective Products - Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements, European Organization for Technical Approvals, Brüssel, 2011
- [7] DIN 4102-8: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 8: Kleinprüfstand, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Oktober 2003
- [8] Dierke, S.: Brandschutz-Putzbekleidungen – Anwendung und Nachweise für die Verwendung, in: Zehfuß, J. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage 2016, Tagungsband, Heft 228, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Braunschweig, 2016, pp. 35-46
- [9] Schaumann, P., Kirsch, T.; Lange, J.; Renner, A.; Gonzalez, F.; Nüsse, G.: Untersuchung von Schraubenverbindungen im Stahl- und Verbundbau zur Schaffung von Regeln für die numerische Bemessung des baulichen Brandschutzes im Hochbau, Abschlussbericht, Forschung für die Praxis (P 834), Düsseldorf, 2014, ISBN: 978-3-942541-47-3
- [10] Mensinger, M.; Schaumann P.; Stadler, M.; Sothmann, J.: Nutzung der Membrantragwirkung von Verbundträger-Decken-Systemen im Brandfall, Abschlussbericht, Deutscher Ausschuss für Stahlbau e.V. (DASt), 2012
- [11] Mensinger, M.; Schaumann, P.; Kraus, P.; Tabeling, F.: Optimierter Einsatz intumeszierender Anstriche im Stahlbau, Abschlussbericht, Deutscher Ausschuss für Stahlbau e.V. (DASt), 2014
- [12] Schaumann, P.; Tabeling, F.; Weisheim, W.: Numerical simulation of the heating behaviour of steel profiles with intumescent coating adjacent to trapezoidal steel sheets in fire, Journal of Structural Fire Engineering (7), issue 2, pp. 158-167
- [13] Häbler, D.: Verhalten reaktiver Brandschutzsysteme auf kreisförmigen Zuggliedern aus Blank- und Baustahl, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM-Dissertationsreihe (149), Diss. 2016
- [14] Raveglia, E.: Grundlagen der Bemessung von intumeszierenden Brandschutzsystemen im Stahlbau, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Diss., 2008
- [15] Jimenez, M.; Bellayer, S.; Revel, B.; Duquesne, S.; Bourbigot, S.: Comprehensive Study of the Influence of Different Aging Scenarios on the Fire Protective Behavior of an Epoxy Based Intumescent Coating, Industrial and Engineering Chemistry Research, 52, 2013, pp. 729-743

Einblicke in die Ideenwelt des Stuttgarter Instituts für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen Mit bionisch inspirierten Faserverbundkonstruktionen können ganz neue Tragstrukturen realisiert werden

Die Kunst- und Faserverbundwerkstoffe und die Bionik sind jene Themen, die an den klassischen Ingenieurfacultäten in Deutschland nicht oder nur marginal präsent sind. Obwohl sie in der Industrie überall dort auf breiter Front im Einsatz sind, wo Gewicht und Form eine sehr große Rolle spielen, finden – einerseits – die Faserverbundwerkstoffe im Bauwesen bisher nur sehr wenig Beachtung, auch wenn sie dort viele neue Möglichkeiten bieten könnten. Zu teuer und zu aufwendig ist ihre Herstellung für die Unikate der Architektur und der Ingenieurbau-technik. Auch in der Bionik schlummern – andererseits – baukonstruktive und architektonisch hochinnovativ nutzbare Optionen für faserbasierte Konstruktionen. Faserverbundwerkstoffe und die Bionik gehören deshalb zu den wichtigsten Schwerpunkten der forschenden und lehrenden Tätigkeit der Ingenieurwissenschaftler und Architekten zweier Institute der Universität Stuttgart, nämlich des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) und des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD), deren jeweiligen Leiter hier über ihre und ihrer wissenschaftlichen Mitarbeiter neuesten Projekte und jetzt schon bald praktisch verwertbare Ergebnisse und Erfolge berichten.



Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers

hat an der TU Berlin Bauingenieurwesen studiert und promoviert; seit dem Jahr 2000 ist er Professor an der Universität Stuttgart und Leiter des dortigen Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE); Jan Knippers ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs „Biological Design and Integrative Structures“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und seit 2001 Partner der Knippers Helbig Advanced Engineering GmbH (Stuttgart, New York, Berlin), eines Büros, das sich mit weitgespannten Tragwerken und komplex geformten Gebäudehüllen beschäftigt.



Professor Achim Menges

ist Architekt und Professor an der Universität Stuttgart, wo er das 2008 von ihm gegründete Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD) leitet; seit 2009 ist er auch Gastprofessor an der Harvard Universität in Cambridge, USA; Achim Menges' Forschungsarbeiten und Projekte werden in mehr als 50 Ländern veröffentlicht, und wurden mit mehreren internationalen Preisen ausgezeichnet, und sie sind feste Bestandteile der Sammlungen mehrerer renommierter Museen.

1 Einführung: Die Eigenschaften von GfK-Profilen sind für viele Anwendungen höchst attraktiv

Im Bauwesen verwendete faserverstärkte Kunststoffe bestehen in der Regel aus Glas- oder Kohlenstofffasern, die in eine Kunststoffmatrix eingebettet sind. Damit werden auch Profile in Strangzugfasern (Pultrusion) hergestellt. Man erreicht Faservolumenanteile von 60 bis 70 Prozent. GfK (Glasfaserverstärkter Kunststoff)-Profile haben eine Steifigkeit, die zwischen Aluminium und Holz liegt; mit Kohlenstofffaserverstärkung erreicht man eine Steifigkeit, die derjenigen von Stahlbauteilen nahe kommt, allerdings bei deutlich höheren Festigkeiten. Die Tabelle zeigt deren thermische und mechanische Eigenschaften.

Kohlenstofffasern sind der einzige bekannte Werkstoff, der eine negative thermische Dehnung hat, der sich also zusammenzieht, wenn er erwärmt wird. Wir können damit also Konstruktionselemente bauen, die sich unter Temperatureinfluss nicht ausdehnen. Glasfasern haben darüber hinaus eine sehr geringe thermische Leitfähigkeit, weswegen sie auch sehr gerne für Gebäudehüllen, für Fassaden und für Fenster eingesetzt werden.

Der Durchmesser dieser Fasern beträgt mehr als fünf Mikrometer, womit die Grenze zur Lungengängigkeit und damit zur Gesundheitsschädigung nicht überschritten wird. Im Kontakt mit der Haut jucken und kratzen sie zwar, sie dringen aber nicht in das Lungengewebe ein. Auf dieses Faktum, wie man sich vorstellen kann, bezieht sich übrigens auch eine häufig gestellte Frage unserer Studenten.

Das große Problem der GfK-Profile sind Temperatur und Brand. Kunststoffe (hier in der Regel Polyester- oder Epoxidharze) brennen ja nicht nur, sondern sie verlieren auch sehr früh ihre Steifigkeit. Das geschieht bei Polyesterharzen schon bei etwa 100 Grad Celsius, bei dieser Temperatur ist die Steifigkeit schon auf rund 70 Prozent abgefallen. 100 Grad sind aber im Brandfall sehr schnell erreicht. Und auch die Phenolharze, die als brandbeständige Harze angeboten werden, verlieren ab etwa 350 Grad ihre Steifigkeit. Dieser Nachteil ist häufig das Argument, solche Strukturen nicht für Tragelemente in Baukonstruktionen einzusetzen.

Wir haben vor ein paar Jahren ein Forschungsprojekt durchgeführt, für das wir Kunststoffprofile gleichzeitig einer thermischen und einer mechanischen Belastung ausgesetzt haben. Wir haben damals verschiedene Brandschutzadditive und dämmschichtbildende Brandschutzanstriche des Stahlbaus ausprobiert, mussten aber enttäuscht feststellen, dass alle Versuche weitgehend wirkungslos blieben. Sobald die Temperatur steigt, können wir Kunststoffelemente vergessen. In jenen Temperaturbereichen, in denen übliche Brandschutzbeschichtungen des Stahlbaus auf Temperatur zu reagieren beginnen, haben Kunststoffelemente ihre Steifigkeit schon verloren.

Werkstoff	Spezifikation		Dichte	Zugfestigkeit, längs	Zug-E-Modul, längs	Zugfestigkeit, quer	Zug-E-Modul, quer	Wärmeausdehnungskoeffizient (10 ⁻⁶ /K)	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)
			(kg/dm ³)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		
Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)	pultrudiertes Laminat	GFK-P E23	1,8	240	23.000	50	7.000	9,0/30,0 ¹	0,25
	Wirrfaserlaminat ⁴	GFK-M	1,5	80	7.000	80	7.000	30,0	
	Mischlaminat ⁵	GFK-MW	1,6	120	12.000	120	12.000	25,0	
	Wickellaminat ⁶	GFK-FM/FMU	1,6	160	15.000	50	8.000	15,0/30,0 ¹	
Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff ³ (CFK)	hochfest	CFK-HT	1,6	2.800	165.000	0	–	0,2 ²	17,0
	mittelmodulig	CFK-IM	1,6	2.800	210.000	0	–		
	hochmodulig	CFK-HM	1,6	1.350	300.000	0	–		

¹ längs/quer zur Faserrichtung

² längs zur Faserrichtung

³ Fasern ausschließlich in Bauteillängsrichtung orientiert = unidirektional

⁴ Wirrfaserlaminat: flächiges Laminat mit ausschließlich Wirrfaserverstärkung

⁵ Mischlaminat: flächiges Laminat mit Wirrfaserverstärkung und Gelegen bzw. Geweben

⁶ Wickellaminat: flächiges Laminat mit ausgeprägter Vorzugsrichtung

Tabelle: Thermische und mechanische Eigenschaften Glasfaserverstärkter Kunststoff-Profile

2 Die ökologische Bewertung von GfK-Profilen muss auf ihre jeweils geplante Funktion bezogen werden

Was beim Thema Kunststoffprofile aus Duroplasten (z.B. Polyester- oder Epoxidharzen) auch immer eine große Rolle spielt, ist die Frage nach ihren ökologischen Eigenschaften, die immer häufiger und auch berechtigterweise gestellt wird.

Die Produktion von einem Kilogramm Kunststoffe benötigt einen vergleichsweise hohen Bedarf an Primärenergie. Wenn man diese Bilanz aber umrechnet, also den ökologischen Einfluss nicht pro Kilogramm, sondern pro funktionale Einheit berechnet, wenn man zum Beispiel ein GfK-Profil mit einem Stahlprofil vergleicht, das die gleiche Momenten Tragfähigkeit hat, dann sieht der ökologische Vergleich ganz anders aus, weil Kunststoffe pro Gewichtseinheit eine sehr hohe Leistungsfähigkeit aufweisen. Deswegen ist die ökologische Debatte immer sehr schwierig, man muss den Beteiligten und Entscheidern immer den Vergleich pro funktionaler Einheit erläutern und nicht pro Kilogramm Material.

Eine weitere wichtige Frage ist die nach dem Recycling der GfK-Profile. Thermoplaste (wie PVC oder Polyethylen) lassen sich einschmelzen und recyceln, für Duroplaste (Polyester oder Epoxidharze), die für faserverstärkte Bauteile verwendet werden, gilt dies nicht. Wir benötigen für Windenergieanlagen und in der Luft- und Raumfahrttechnik große Mengen von Faserverbundwerkstoffen, die dann am Ende des Lebenszyklus auch verwertet werden müssen. Daher wird intensiv an der Einführung von Verwertungskreisläufen gearbeitet.

Es gibt für Faserverbundwerkstoffe kein wirkliches Recyclingsystem, aber es gibt eine Art Downcycling. GfK-Abfälle werden zum Beispiel in der Zementindustrie verwendet: das Verbrennen des Harzes bringt Energie, und die Glasabfälle wandern als mineralische Zuschlagstoffe in den Zement. Bei CFK-Abfällen werden die Carbonfasern in einem Pyrolyseverfahren vom Harz befreit, geschreddert und dann zu Vliesen mit niedrigerer Tragfähigkeit weiterverarbeitet, die zum Beispiel für Kofferraumdeckel in der Automobilindustrie verwendet werden.

3 Warum können Faserverbundwerkstoffe sich im Bauwesen und in der Architektur nicht durchsetzen?

Was bedeutet das alles für die Architektur? In der Architektur oder im Bauwesen sind Faserverbundwerkstoffe eigentlich nichts Neues. Schon in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts ist von Häusern geträumt worden, die aus vorgefertigten Sandwichelementen hergestellt sind. Einige dieser Häuser sind damals auch gebaut worden, das erste bezeichnenderweise in Disneyland. Es gab auch ein unglaubliches öffentliches Interesse an diesen Pionierbauten, aber de facto haben sie kaum Spuren in der Entwicklung der Architektur und in der Bautechnik hinterlassen. Das liegt nicht nur an den bauphysikalischen und bautechnischen Problemen, die mit diesen ersten Versuchen behaftet waren, sondern auch daran, dass wir im Bauwesen diese Art der vorgefertigten Bauzellen im Grunde nicht schätzen; keiner von uns möchte so wohnen. Deswegen sind ja auch die Plattenbauten und ähnliche standardisierende und elementierende Bauweisen nicht wirklich erfolgreich gewesen. Die Möglichkeit der individuellen Anpassung vor und während der Nutzung sind so gering, dass die Attraktivität solcher Bauten für den Nutzer sehr zu wünschen übrig lässt. Das heißt im Umkehrschluss: ein Kriterium guter Architektur ist ihre Anpassungsfähigkeit an Nutzeranforderungen.

Faserverbundwerkstoffe werden heute sehr intensiv weiterentwickelt, und es werden große Forschungsanstrengungen unternommen. Die Folge: In allen Bereichen der Technik, nicht nur im Flugzeugbau, sondern überall dort, wo Gewicht, Form und Geometrie eine sehr große Rolle spielen, sind Faserverbundwerkstoffe in breiter Front im Einsatz. Viele Millionen Euro werden derzeit in die Erforschung, Erprobung und praktische Anwendung von Faserverbundwerkstoffen investiert. Vor allem die Automobilindustrie sucht wegen des Fortschritts der Elektromobilität nach neuen Lösungen für leichte Karosserien.

Alle Fachleute, die sich mit dieser Materie beschäftigen, schauen deshalb auf die Leute vom Bau und fragen sie: „Warum kommt das bei Euch nicht an?“

Der einzige Bereich im Bauwesen, in dem die Faserverbundwerkstoffe präsent sind, das sind die nachträglichen Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen durch Carbonlamellen, die auch bauaufsichtlich zugelassen sind.

FASERVERBUNDWERKSTOFFE

Im Endeffekt ist den forschenden und lehrenden Experten mittlerweile klar geworden, dass das eigentliche Problem weniger die Berechnung oder die Zulassung dieser Baustoffe ist, sondern deren Fabrikationsverfahren. Die meisten Bauteile aus GFK oder CFK werden im Handlaminat hergestellt. Der hierfür erforderliche Formenbau ist für den Baubereich, wo wir es ja sehr oft mit Unikaten zu tun haben, einfach nicht geeignet, weil er zu teuer und zu aufwendig ist. Hinzu kommt, dass Formen häufig aus PUR-Schaum hergestellt werden, die jede Menge Sondermüll produzieren.

Deswegen brauchen wir für Faserverbundwerkstoffe eigentlich neue Fertigungsverfahren, nämlich solche, die speziell an die Anforderungen der Architektur angepasst sind. Das bedeutet: geringer Aufwand für den Formenbau und die Möglichkeit, große Bauteile mit wenig Aufwand geometrisch in verschiedenen Formen herzustellen.

4 Faserverbundstoffe neu gedacht: Materialgerechtes Entwerfen und Konstruieren in der Architektur*

Faserverbundwerkstoffe sind, wie gesagt, in der Architektur heute auf ganz wenige Nischenbereiche beschränkt, obwohl sie in anderen Feldern, insbesondere im Flugzeugbau, schon seit vielen Jahren für hochbeanspruchte und systemrelevante Komponenten eingesetzt werden. Es fehlen Verarbeitungsverfahren, die an die spezifischen Anforderungen der Architektur angepasst sind. Im Gegensatz zum Flugzeug- oder Automobilbau geht es meist um großformatige Unikate, für die der Formenbau nicht nur sehr aufwendig ist, sondern auch große Mengen an Reststoffen verursacht. Außerdem spielen Kriterien wie die Robustheit während der Herstellung und Nutzung eine große Rolle, während andere, wie zum Beispiel höchste Anforderungen an die Fertigungstoleranzen oder mechanische Leistungsfähigkeit, eher nachrangig sind.

Im November 2012 haben das Institut für Computerbasiertes Entwerfen (ICD) der Universität Stuttgart und das ITKE einen temporären biologischen Versuchsbau aus faserbasiertem Verbundmaterial begonnen (**Abb. 1**), der zusammen mit Studierenden im Rahmen einer einjährigen Forschungs- und Entwicklungszeit entworfen, geplant und ausgeführt worden war. An der Schnittstelle von Lehre und Forschung untersuchte das Projekt die Übertragung biologischer Form- und Materialbildungsprinzipien der Außenskelette von Gliederfüßern (*Arthropoden*) als Ausgangspunkt für neue Konstruktionsformen in der Architektur.

Grundlage dieses Projekts bildete die Entwicklung einer für das Bauwesen hochinnovativen Fertigungsmethode des robotischen Wickelns von Carbon- beziehungsweise Glasfasern und die dazugehörigen computerbasierten Entwurfs- und Simulationsverfahren. Schwerpunkt des Entwurfs war es, die faserbasierte Struktur des biologischen Vorbildes mit faserverstärkten Kunststoffen abzubilden, deren Anisotropie von Beginn an in den computerbasierten Entwurfs- und Simulationsprozess zu integrieren und daraus neue tektonische Möglichkeiten für die Architektur abzuleiten. Die Integration der Methoden der Formgenerierung, der computerbasierten Simulation und der robotischen Fertigung erlaubt es ebenfalls, eine hochleistungsfähige Strukturlogik zu entwickeln.

* Der Text von Kapitel 4 entspricht der gekürzten Fassung eines Aufsatzes, den die Autoren im Dezember 2015 in der Zeitschrift *DETAIL* veröffentlicht haben.



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 1: Fertigung ICD/ITKE Forschungspavillon 2012

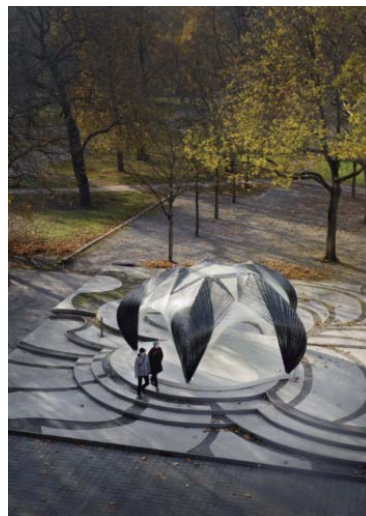


Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 2: ICD/ITKE Forschungspavillon 2012

Mit dem ICD/ITKE-Forschungspavillon 2012 (**Abb. 2**) begann eine Serie von Demonstratoren, mit der verschiedene Ideen für baugerechte Verarbeitungsverfahren und materialangepasste Konstruktionsformen aus Faserverbundwerkstoffen vorgestellt werden sollten, die ohne aufwendigen Formenbau auskommen und aus architektonischer Sicht einen neuen Zugang zum Selbstaussdruck des Materials ermöglichen.

Diese Projekte wurden von Anfang an von einer Analyse einschlägiger Vorbilder der Natur begleitet. Ziel war dabei weniger der direkte Erkenntnistransfer aus der Biologie in die Architektur, als eher die Gegenüberstellung von Strukturbildungsprinzipien, beziehungsweise die Reflektion des eigenen Zugangs zum Entwerfen und Konstruieren. Während Baukonstruktionen auf Typologien beruhen, deren Geometrie und Funktionalität sich mathematisch beschreiben lassen, entstehen Strukturen der Natur in einem Prozess der Selbstorganisation, der sich typischen Ingenieurkriterien wie der Berechenbarkeit entzieht. Das Außenskelett des Hummers beispielsweise, das als biologisches Vorbild für den ICD/ITKE-Pavillon 2012 diente, besteht aus Chitinfasern, die schichtweise in eine Proteinmatrix eingelagert sind. Diese Einzelschichten sind in den harten Panzersegmenten und Scheren spiralförmig überlagert, da dort ein ungerichteter Lastabtrag gefordert ist. In den biegsamen Antennen und Gelenkmembranen sind die Fasern dagegen gerichtet angeordnet.

Dieses Grundprinzip der lokal angepassten Faserorientierung wurde bei unserem Projekt abstrahiert und in einen architektonischen De-

monstrator überführt. Hierfür wurde ein Verfahren entwickelt, das den Aufwand für den Formenbau auf ein Minimum reduziert, indem ein Roboter in Epoxidharz getränkte Fasern auf ein rotierendes Stahlgerüst ablegt. Zunächst wurden mehrere Glasfaserschichten in unterschiedlicher Folge gewickelt, auf die dann die deutlich steiferen Kohlenstofffasern gelegt wurden. Nach dem Aushärten des Harzes wurde das Stahlgerüst entfernt, so dass eine reine Faserstruktur verblieb. Der Spannungs- und Verformungszustand ändert sich während des Wickelns und des sukzessiven Aushärtens des Harzes permanent. Dies muss vorab simuliert werden, damit die Faserschichten während des Wickelns stets mit Kontakt aufeinander liegen und am Ende ein tragfähiges Laminat entsteht. Die Analyse erweitert sich also von der statischen Berechnung der fertigen Struktur hin zur Simulation des gesamten Prozesses. Der Aufwand verschiebt sich von der Fertigung hin zu einer umfassenden Prozessplanung.

Im Ergebnis entstand eine etwa acht Meter weit spannende Struktur mit einer mittleren Stärke von 4,5 Millimetern und einem Eigengewicht von etwa 320 Kilogramm, die für etwa ein halbes Jahr auf dem Innenstadtcampus der Universität Stuttgart stand. Insgesamt wurden circa 60 Kilometer Glasfasern und 30 Kilometer Kohlenstofffasern in 130 Stunden (reine Prozesszeit) mit dem Roboter gewickelt.

In einem nächsten Schritt wurde der Ansatz des kernlosen Wickelns zu einer modularen zweilagigen Struktur erweitert, um die Tragfähigkeit und Robustheit der Konstruktion zu erhöhen und die Vorfertigung weit spannender und frei geformter Strukturen zu ermöglichen. Als natürlicher Ideengeber dienten die Deckflügel von Käfern (*Elytren*), die die eigentlichen Flügel gegen mechanische Beschädigung schützen (**Abb. 3**). Sie bestehen aus zwei Ebenen, die mit einer speziellen Faserarchitektur zu einer leichten und gleichzeitig robusten Schalenstruktur verbunden sind.

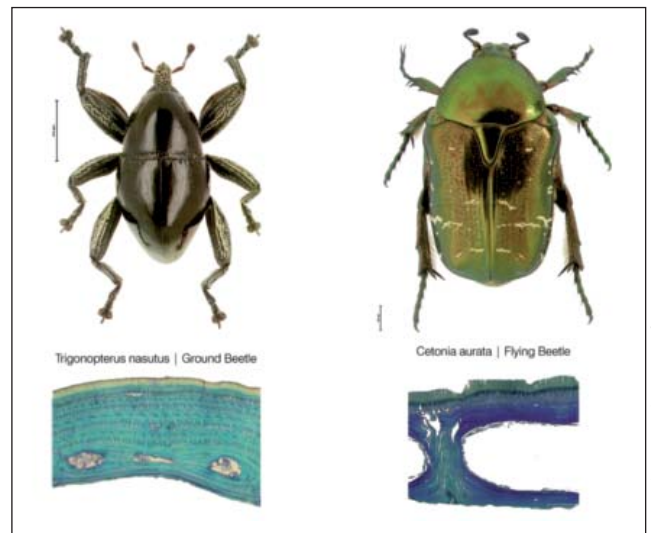


Abb. 3: Vergleich der Deckflügel (*Elytren*) nichtflugfähiger und flugfähiger Käfer

Auf den ICD/ITKE-Forschungspavillon 2013/2014 wurde dies übertragen, indem auf zwei steuerungstechnisch gekoppelte Roboter Rahmen montiert wurden (**Abb. 4**), die jeweils individuell an unterschiedliche Modulabmessungen angepasst werden konnten. Die Faserquelle war in diesem Fall stationär zwischen den beiden Robotern positioniert. Zunächst wurden die nassen Glasfasern zu hyperbolischen Körpern gewickelt, auf die dann die ebenfalls nassen Kohlestofffasern, den Hauptlastpfaden folgend, abgelegt wurden. Nach dem Aushärten des Harzes wurden die Elemente von den Rahmen abgenommen. Die insgesamt 35 geometrisch unterschiedlichen Module waren so leicht, dass sie ohne Probleme von einer Person montiert und mit Schrauben

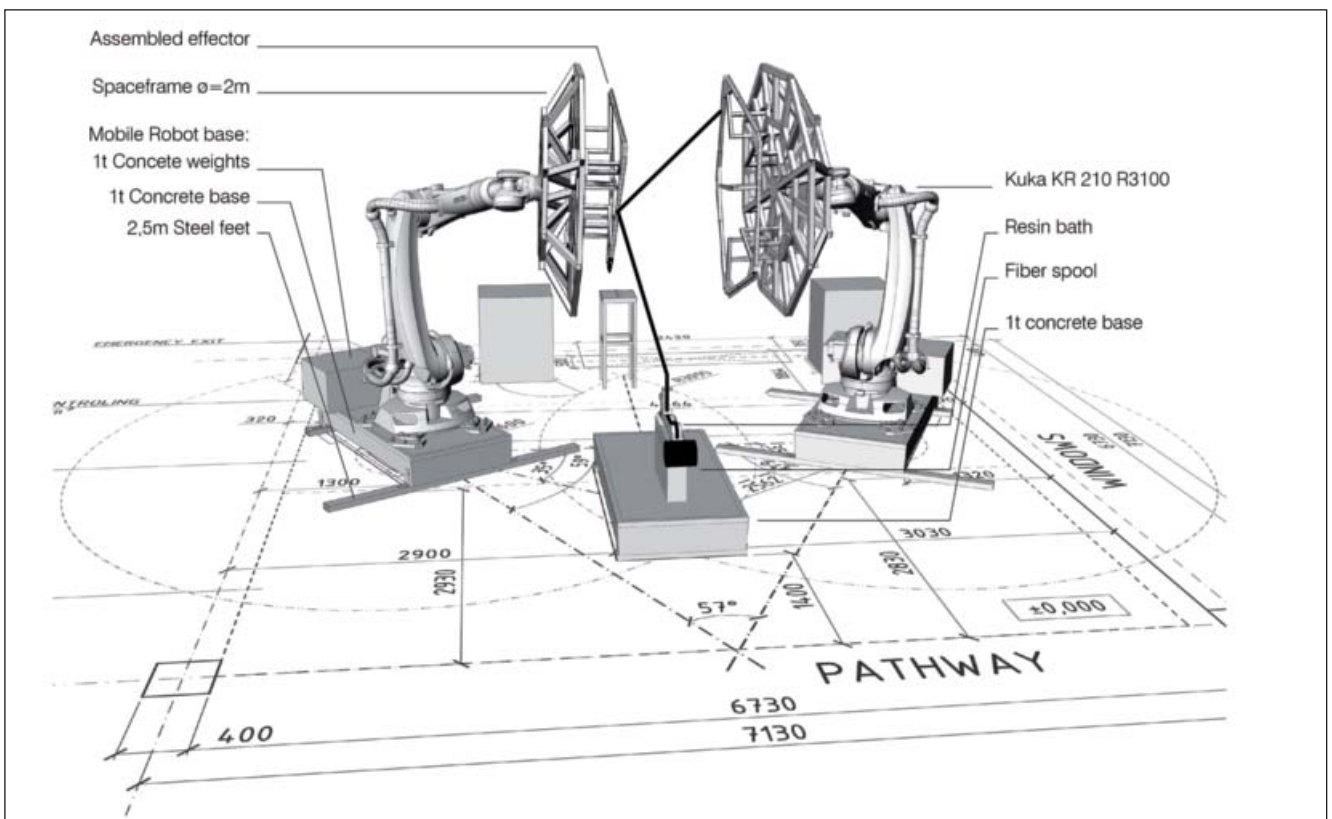


Abb. 4: Aufbau Fertigung für ICD/ITKE Forschungspavillon 2013-2014



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 5: Montage der 36 verschiedenen Komponenten für ICD/ITKE Forschungspavillon 2013-2014



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 6: Fertige Struktur ICD/ITKE Forschungspavillon 2013-2014



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 7: Die Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*) in der Luftblase



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 8: Fertigungsprozess ICD/ITKE Forschungspavillon 2014-2015

verbunden werden konnten (Abb. 5). Nachdem der Pavillon etwa sechs Monate auf dem Innenstadtcampus der Universität Stuttgart gestanden hatte (Abb. 6), wurde er ein zweites Mal anlässlich der Shanghai Biennale in China aufgebaut.

Mit dem die Serie abschließenden ICD/ITKE-Forschungspavillons 2014/15 sollte das Thema der Integration einer wasserdichten Hülle untersucht werden. Hierfür diente die Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*) als Vorbild. Sie lebt in einer Luftblase unter Wasser, die sie von innen mit Fasern verstärkt (Abb. 7). Dieser Ansatz wurde auf einen Fertigungsprozess übertragen, indem Fasern von innen auf eine pneumatisch vorgespannte ETFE-Folie abgelegt wurden (Abb. 8). Die Anordnung der Fasern folgt innerhalb der vom Arbeitsraum des Roboters vorgegeben Grenzen einer Strukturoptimierung.

Für die Fertigung musste eine Reihe von anspruchsvollen Prozessschritten gelöst werden, da der Roboter die Fasern nur mit begrenzter Kraft auf der nachgiebigen Folienhülle ablegen kann und sich deren Geometrie und Steifigkeit während des Prozesses ständig ändern. Ein integriertes Sensorsystem überwacht laufend die Anpresskraft des Roboters und passt seinen Pfad entsprechend an. Nach dem Aushärten der Fasern wurde der pneumatische Innendruck aus der Gesamtkonstruktion abgelassen. Die äußeren Lasten werden von da an allein über das druckbeanspruchte Fasergerüst getragen. Insgesamt wurden etwa 45 Kilometer vorimprägnierte Karbonfasern verwendet. Die Konstruktion wiegt bei einer Spannweite von etwa 7,5 Meter nur 260 Kilogramm (Abb. 9).

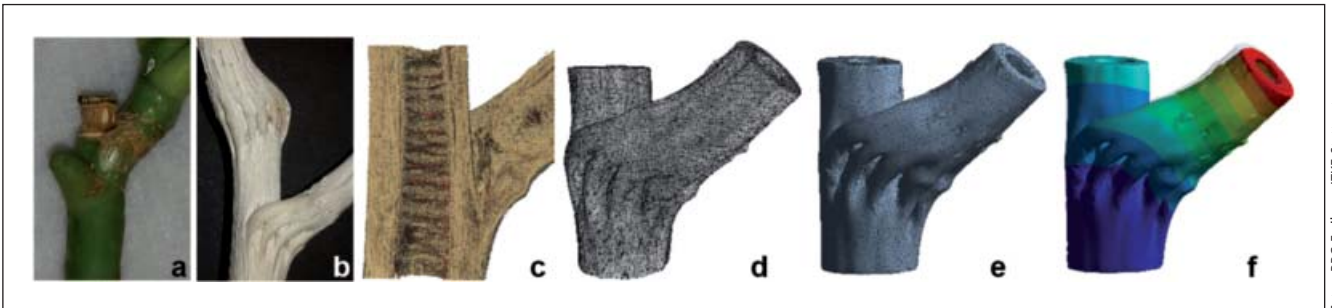


Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 9: Nachtaufnahme des ICD/ITKE Forschungspavillons 2014-2015

Die im Rahmen dieser Projekte entwickelten robotischen Fertigungsverfahren resultieren in einem neuartigen Ausdruck der Tektonik und Materialität. Statt wie sonst Gewebematten werden hier Faserstränge verarbeitet, eine Technologie, die seit neuestem auch die Automobilbau verfolgt. Dies vermeidet nicht nur den normalerweise anfallenden Mattenverschnitt, sondern ermöglicht auch einen lastangepassten Faserverlauf.

Im Ergebnis führt dies bei allen drei Pavillons dazu, dass trotz Automatisierung die Herstellung an der Textur der Oberflächen deutlich ablesbar ist.



Fotos: PBG Freiburg, ITKE Stuttgart

Abb. 10: Prozesskette der Modellierung: a) Vorbereitung des biologischen Ideengebers: Verzweigung einer Schefflera arboricola; b) getrockneter verholzter Kern; c) Digitales Bild: mikro CT Bild; d) laserscan; e) Modelierung: FE Netz; f) FE-Ergebnisse

5 Warum bedienen sich die forschenden Ingenieure der Beispiele der Technik der Natur?

Weil es uns so wichtig ist, möchte ich hier noch einmal erläutern, warum uns bei diesen technischen Entwicklungen immer eine Grundlagenforschung in der Bionik begleitet. Das liegt zum einen daran, dass fast alle biologischen Strukturen faserbasiert sind. Die Natur nutzt nicht nur bei Pflanzen, sondern auch bei Außenskeletten von Insekten und vielen anderen Tieren das Prinzip der ausdifferenzierten Schichtung und Orientierung von Fasern, um sehr fein abgestufte mechanische Eigenschaften zu erzielen. Zum anderen wird das Prinzip der Faser aber auch genutzt, um weitere funktionelle Anforderungen zu erfüllen. Zum Beispiel wird das Öffnen und Schließen eines Kiefernzapfens durch die hygroskopische Dehnung von Faserschichten aktuiert, die senkrecht zueinander liegen und daher zu einer Biegung führen. Über Fasern können auch Nährstoffe aufgenommen und weitergeleitet werden.

Solche Strukturbildungsprinzipien der Natur sind in der Biologie natürlich schon lange bekannt. Neu ist, dass der Schritt zu digitalen Bildgebungsverfahren in der Biologie und zu computerbasierten Simulationsverfahren in den Ingenieurwissenschaften einen direkten Wissensaustausch zwischen Disziplinen ermöglicht, die bisher weit voneinander entfernt waren. Die forschenden Ingenieure setzen jetzt bildgebende Verfahren (z.B. Computertomographie) ein, die einen Datensatz erzeugen. Und diesen Datensatz, beispielsweise von der Verzweigung einer Zimmerpflanze (Abb. 10), kann nun direkt in ein Finite-Element-Modell überführt werden. Diese Finite-Element-Analyse kann den Biologen einerseits Rückschlüsse auf die Funktionsprinzipien der Pflanze geben, und sie dient andererseits uns Ingenieuren als Ausgangspunkt für die weitere technische Umsetzung. So werden neue Möglichkeiten des Wissensaustausches zwischen den Disziplinen ermöglicht.

6 Was bedeuten die Beispiele der Technik der Natur für die Technik der Faserverbundstrukturen?

Was bedeuten diese Forschungsansätze und -ergebnisse für die Faserverbundstrukturen? Sehr viel: Wir konnten beispielsweise durch die Untersuchung der Morphologie verschiedener Käferarten und ihrer Deckflügel Schlüsse auf unsere Leichtbaustrukturen ziehen. Die Deckflügel schützen die eigentlichen Flügel und den Körper der Käfers vor mechanischen Stoßbeanspruchungen (Abb. 3). Schlüssig ist, dass Kä-



Foto: NAARO

Abb. 11: Elytra Pavilion, Victoria and Albert Museum, London, 2016.



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 12: Fertigung der Komponenten für den Elytra Pavilion

fer, die am Boden laufen, kompakte und geschlossene Deckflügel haben, und Käfer, die sich in der Luft fortbewegen, möglichst leichte Deckflügel aufweisen, um die darunterliegenden, sehr fragilen Flügelstrukturen zu schützen. Wir haben dann mit Hilfe eines Teilchenbeschleunigers Datenmodelle verschiedener Käferarten generiert, die zeigen, dass die Deckflügel der Flugkäfer Hohlräume aufweisen, um ihr Gewicht zu reduzieren.

Das Projekt, das wir vor kurzem bearbeitet haben, ist der Elytra Pavilion in London, der ursprünglich im Innenhof des Victoria and Albert Museums aufgebaut worden war und derzeit auf dem Vitra Gelände in Weil am Rhein zusehen ist. Man sieht auf Abb. 11 ein Trägerrostsystem aus Hexagonen mit einem Durchmesser von 2,4 Metern, eingedeckt von einer Makrolonschicht. Auf der Abb. 12 sieht man den Fer-

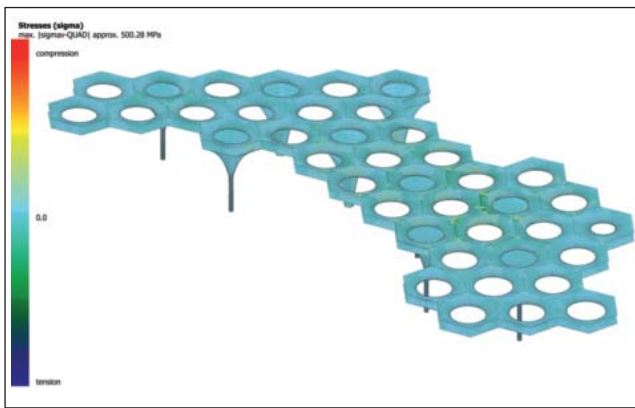


Foto: ITKE Universität Stuttgart

Abb. 13: Globales Finite Element Modell

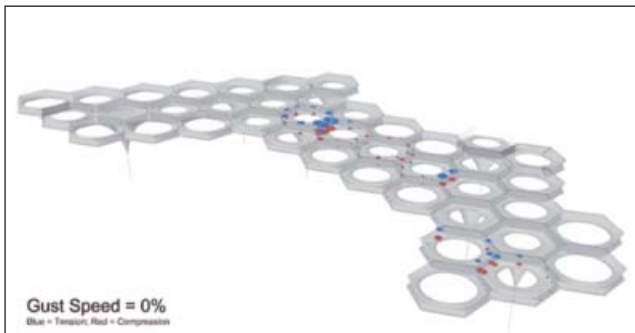


Foto: ITKE Universität Stuttgart

Abb. 14: Ergebnisse Dehnungsmessungen

tigungsprozess. Die unterschiedlichen Elemente haben wir in Stuttgart selbst hergestellt. Wie gesagt, da steckt eine komplexe Simulation hinter. Der statischen Verbindung der Hexagone dienen Aluminiumhülsen, um die einzelnen Komponenten mit Schrauben vor Ort miteinander zu verbinden. Der Stahlrahmen wird nach dem Wickeln entfernt. Danach kommt das Fasergebilde in einen Temperofen und wird bei 80 Grad Celsius sieben Stunden lang ausgehärtet. Die Orientierung und Dichte der Carbonfasern ist an die jeweilige statische Situation angepasst.

Bei einer solchen Konstruktion stellt sich natürlich die Frage der Standsicherheit, beziehungsweise des statischen Nachweises. Immerhin verzeichneten wir in diesem Museum in London bis zu drei Millionen Besucher pro Jahr, von denen sich viele unter diesem Dach aufgehalten haben.

Die Komponenten selbst sind natürlich viel zu komplex für ein statisches Modell, das jede einzelne Faser abbildet. Darum haben wir die Gitterstruktur (Abb. 13) in ein homogenes, kontinuierliches Schalenmodell überführt. Daraus haben wir dann ein Globalmodell entwickelt, und an diesem Globalmodell haben wir dann die globalen Verformungen und die lokalen Kräfte in den Schraubverbindungen berechnet. Weil die statischen Berechnungen sehr vereinfacht durchgeführt werden mussten, haben wir am Ende auf die einfache mechanische Tragfähigkeitsuntersuchung einer jeder einzelnen Komponente zurückgreifen müssen, da es noch kein Modell gibt, mit dem eine so hochdifferenzierte Faserstruktur analytisch zuverlässig nachzuweisen wäre. Dies ist, wie ich finde, für Ingenieure eine durchaus interessante Situation, weil sie uns auf einfachste, vormoderne, das heißt, experimentelle Untersuchungsmethoden zurückgeworfen hat. Wir haben zudem faseroptische Sensoren eingebettet, Glasfasern mit eingepprägten Gittern (Abb. 14). Aus der Reflexion der eingeleiteten Lichtwellen kann man

auf die Dehnungen in der Konstruktion schließen. Auf diese Weise kann die Beanspruchung der Konstruktion permanent überwacht werden. Das Hauptproblem ist dabei jedoch die Unmenge von Daten, die so reduziert werden muss, dass die kritischen Belastungsszenarien identifiziert werden können. Der Ingenieur muss also eine Kombination herstellen aus Bauwerksmonitoring, Bauteilversuchen und vereinfachter statischer Berechnung, um die Standsicherheit auch mit gutem Gewissen vertreten zu können.

Die Zukunftsvision ist so gedacht, dass wir irgendwann mal mit einer Spule Fasern und einem Eimer Harz auf eine Baustelle kommen und vor Ort die Konstruktionselemente herstellen.

7 Wie kann man den Ansatz der Bionik noch auf andere Konstruktionen erweitern?

Dieses Prinzip der parallelen Untersuchung von Fertigungsverfahren nach biologischen Vorbildern, lässt sich auch auf andere Strukturen anwenden, zum Beispiel auf Holzkonstruktionen. Wir haben uns beispielsweise mit Außenskeletten von Seeigeln beschäftigt. Der moderne Schalenbau ist, was wir als Ingenieure alle bedauern, aufgrund des enormen Aufwandes, den man für den Schalungsbau betreiben muss, ja so gut wie ausgestorben. Der Seeigel hat ein Außenskelett aus ein-

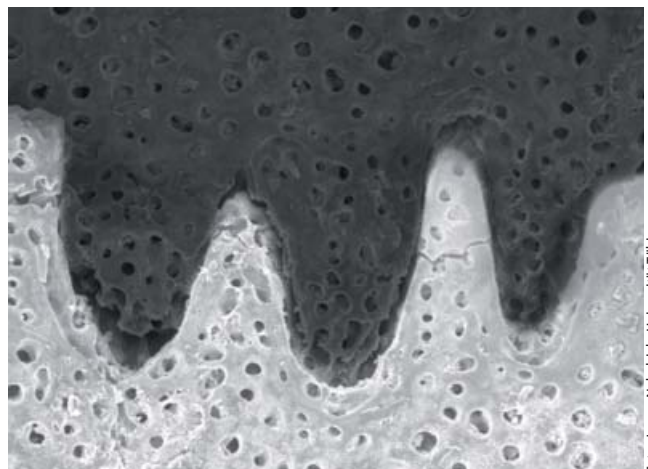


Foto: James Nebelsick, Universität Tübingen

Abb. 15 a: Plattenskelett Sanddollar



Foto: James Nebelsick, Universität Tübingen

Abb. 15 b: Plattenverbindungen Sanddollar



Foto: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Abb. 16: Innenansicht Forstpavillon Schwäbisch Gmünd

zelen modularen Elementen, die als Vorbild für Schalen aus einzelnen vorgefertigten Platten dienen können. Das Außenskelett des Seeigels hat ganz spezielle Zahnleistenverbindungen zwischen den einzelnen Platten, die einerseits ihr Wachstum ermöglichen, die andererseits aber auch mit mechanischen Einschränkungen verbunden sind. Der Seeigel kann an seinen Fugen sehr gut die Scher- und Druckkräfte aufnehmen, Zug und Biegung jedoch nur sehr schlecht. Beim Seeigel sind die hexagonalen Platten so angeordnet, dass sich stets drei Fugen in einem Punkt treffen. Durch diese Anordnung entstehen trotz der mechanischen Einschränkungen an den Verbindungen leistungsfähige Schalenträgerwerke (Abb. 15a und 15b).

Dieses Prinzip der Fingerzinkenverbindung von ebenen Platten haben wir 2014 in Schwäbisch-Gmünd auf eine Holzbaukonstruktion übertragen. Dieser Bau besteht aus fünf Zentimeter dicken Sperrholzplatten aus Buchenholz. Er hätte, statisch gesehen, auch noch dünner sein können, die Dicke brauchten wir aber vor allem für die Verbindungen mit Vollgewindeschrauben, die notwendig sind, um die Schubkräfte senkrecht zur Schalenfläche aufzunehmen. Der Vorteil ist, dass diese

Holzplatten von einer Maschine gefräst und gebohrt werden können, sodass vor Ort nur noch die Gewindeschrauben eingesetzt werden müssen; eine ähnliche Bauweise kann man sich auch mit Betonfertigteilen vorstellen. Der große optische Vorteil dieser Methode ist, dass das Tragwerk des Baues am Ende nicht versteckt wird, sondern dass seine tragende Struktur sichtbar bleibt, was wir Ingenieure ja immer gerne sehen. Die tragende Holzstruktur (Abb. 16) entstand also aus der parallelen Beschäftigung mit neuen Fertigungsverfahren und mit biologischen Ideengebern.

Die Forschungspavillons und der Forstpavillon Schwäbisch Gmünd wurden von vielen wissenschaftlichen Mitarbeitern und Studierenden des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen (ICD: Prof. Achim Menges) und des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE: Prof. Jan Knippers) geplant und errichtet. Der Elytra Filament Pavilion wurde geplant und errichtet von Achim Menges mit Moritz Dörstelmann, Jan Knippers, Thomas Auer mit Hilfe von vielen wissenschaftlichen Mitarbeitern, Studierenden und Freunden und Förderern der beiden Institute.

EU-Richtlinien für Eisenbahn-Interoperabilität prägen die Genehmigungsverfahren für Eisenbahninfrastruktur

Vom EBA anerkannte Prüfer für IOH- und STE-Anlagen sollen ein Grundpfeiler des IBG-Verfahrens bleiben

Die Inbetriebnahmegenehmigungsverfahren für ingenieurbau-, oberbau- und hochbau- sowie für sicherungs-, telekommunikations- und elektrotechnischen Anlagen (IOH- und STE-Anlagen) werden insbesondere durch die Umsetzung der EU-Richtlinien für die Eisenbahn-Interoperabilität geprägt. Die Weiterentwicklung des im Zusammenhang stehenden Bauaufsichtsverfahrens orientiert sich an der Umsetzung der EU-Richtlinien für die Eisenbahn-Sicherheit und an der Ausgestaltung des Inbetriebnahmegenehmigungsverfahrens (IBG-Verfahren). Das IBG-Verfahren auf Grundlage der europäischen Vorgaben fußt auf Prüfungen und Bewertungen von anerkannten Stellen, die die Einhaltung der europäischen und zugehörigen nationalen technischen Vorschriften prüfen oder die Durchführung von Risikomanagementverfahren (RMV-Verfahren) bewerten. Insbesondere im Bereich der Infrastruktur gibt es neben den europäischen Vorschriften eine Vielzahl von weiteren nationalen Vorschriften, die in nationalen Prüfverfahren von anerkannten Prüfern im Rahmen der bau- und brandschutztechnischen Prüfung (IOH-Anlagen) und der technischen Plan- und Abnahmeprüfung (STE-Anlagen) geprüft werden. Diese nationalen Prüfverfahren sollen für den Bereich der Infrastruktur auf Grundlage der europäischen Vorgaben in ein umfassendes und einheitliches IBG-Verfahren integriert werden. Der folgende Beitrag stellt den aktuellen Stand der Weiterentwicklung der Verfahren dar. Die Einbindung der vom EBA anerkannten Prüfer für den Bereich der IOH- und STE-Anlagen soll dabei ein grundlegender Baustein des zukünftigen IBG-Verfahrens sein.



Dipl.-Ing. Markus Köppel

studierte Bauingenieurwesen an der Bauhaus Universität Weimar und begann 1999 als Referent für Grundsatzangelegenheiten von IOH-Anlagen des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA), ab 2004 verantwortete er die Durchführung des EG-Prüfverfahrens für das Teilsystem Infrastruktur bei Eisenbahn-Cert, übernahm 2008 die Leitung der EBA-Außenstelle Halle/Saale und über den EBA-Sachbereich 2 (Bau- und Eisenbahnaufsicht für IOH-Anlagen, Landeseisenbahnaufsicht Sachsen-Anhalt) und 2011 die des EBA-Referats 21; seit November 2016 leitet Markus Köppel die EBA-Abteilung 2 Infrastruktur (IOH- und STE-Anlagen sowie Kapazitätsüberwachung).

1 Einführung/Grundlagen

Die Umsetzung der Interoperabilitäts-Richtlinie (RL) 2008/57/EG [1] sowie der Sicherheits-Richtlinie RL 2004/49/EG [2] mit zugehörigen Verordnungen (VO) für:

- das Risikomanagementverfahren gemäß VO (EU) 402/2013 [3],
- die Erteilung von Sicherheitsbescheinigungen gemäß VO (EU) 1158/2010 [4],
- die Erteilung von Sicherheitsgenehmigungen gemäß VO (EU) 1169/2010 [5],
- die interne Kontrolle gemäß VO (EU) 1078/2012 [6] und
- die externe Überwachung gemäß VO (EU) 1077/2012 [7]

erfolgt in Deutschland im Wesentlichen durch das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) [8] und die Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV) [9].

Die Grundlagen für die Weiterentwicklung des nationalen Bauaufsichtsverfahrens im Eisenbahnbaubereich sowie die Intentionen und Zusammenhänge der europäischen Vorgaben und die daraus resultierenden Ansätze und die Anpassung an die Weiterentwicklung der Aufsichts- und Genehmigungsverfahren sind in dem Beitrag im Heft 43 des *Prüfingenieur* (November 2013 [10]) beschrieben worden.

Aus der fortsetzenden Umsetzung der Richtlinie 2008/57/EG mit ihren Änderungen gemäß den Richtlinien 2009/131/EG, 2011/18/EU, 2013/9/EU, 2014/38/EU und 2014/106/EU [11] sowie der Berichtigung im Amtsblatt L 103/11 der Europäischen Union [12] resultiert die Einführung eines Prüfverfahrens durch eine *Bestimmte Stelle*, die die Einhaltung der zu den europäischen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) zu notifizierenden nationalen technischen Vorschriften prüft. Das Verfahren ist dem bereits eingeführten EG-Prüfverfahren zur Bescheinigung der Einhaltung der TSI durch eine *Benannte Stelle* vergleichbar. Darüber hinaus ist das Risikomanagementverfahren, das in Fällen einer signifikanten Änderung des Eisenbahnsystems durch eine *Unabhängige Bewertungsstelle* zu bewerten ist, im IBG-Verfahren zu berücksichtigen. Die maßgebliche Grundlage für den Abschluss des IBG-Verfahrens ist die Erklärung des Antragstellers, für den Bereich der Infrastruktur des Eisenbahn-Infrastrukturunternehmens (EIU), dass die grundlegenden Anforderungen der genehmigungspflichtigen Neubau-, Umrüstungs- und Erneuerungsmaßnahme erfüllt sind und dass die sichere Integration und technische Kompatibilität innerhalb der Maßnahmen und zur bestehenden Infrastruktur gewährleistet wird.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) haben mit Vertretern von Eisenbahninfrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen sowie von einschlägig ausgerichteten Verbänden und Herstellern des Eisenbahnsektors in verschiedenen Arbeitsgruppen die Eckpfeiler für das künftige

ge IBG-Verfahren erarbeitet, das für Fahrzeuge und für Infrastruktur gleichermaßen anzuwenden sein soll. Dabei sind die besonderen Belange der Infrastruktur beachtet worden und in die Überlegungen mit eingeflossen. Die wesentlichen Besonderheiten der Infrastruktur (ingenieurbau-, oberbau- und hochbautechnische (= IOH-) und sicherungs-, telekommunikations- und elektrotechnische (= STE-)Anlagen)) lassen sich auch im Vergleich mit Fahrzeugen wie folgt allgemein zusammenfassen.

- Die Bundesverkehrsverwaltung hat für die baulichen Anlagen eine besondere Verantwortung,
- bauliche Anlagen sind Unikate,
- die europäischen Technischen Spezifikationen (TSI) der Teilsysteme „Infrastruktur“ (INF) [13], „Energie“ (ENE) [14] sowie „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ (ZZS) [15] fokussieren im Wesentlichen auf die Interoperabilität im TSI-Anwendungsbereich, für die Eisenbahnen des Bundes im Zuständigkeitsbereich des EBA resultieren ergänzende Anforderungen:
 - für den technischen Anwendungsbereich,
 - für den unternehmensbezogenen Anwendungsbereich,
 - für den räumlichen Anwendungsbereich der TSI und
 - aus weiteren nationalen technischen Vorschriften und Prüfverfahren.

Bezogen auf die bau- und brandschutztechnische Prüfung ist die Gewährleistung eines durchgängig einzuhaltenden Vier-Augen-Prinzips elementar, das durch eine unabhängige und fachgerechte Prüfung gewährleistet ist. Die Einbindung der vom EBA anerkannten Prüfer in einer die europäischen Stellen ergänzenden Funktion, die die nationalen technischen Vorschriften prüfen, ist hierzu vorgeschlagen. Dies gilt für die Prüfer für den Bereich der IOH- und STE-Anlagen gleichermaßen. Dies vereinheitlichend und an den im Bauaufsichtsverfahren der Länder geltenden Regelungen orientiert, wurde für den Eisenbahnbaubereich die Benennung von *Prüfsachverständigen* vorgeschlagen. Die Grundlage der Prüfung bilden die nationalen technischen Vorschriften, die nicht die europäischen TSI beziehungsweise zugehörige zu notifizierende nationale technische Vorschriften sind. Im Bereich der IOH-Anlagen sind dies im Wesentlichen die anerkannten Regeln der Technik, die in der Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB) [16] und in den Eisenbahnspezifischen Bauregellisten (EBRL) [17] niedergelegt sind.

Mit diesem Vorschlag für das zukünftige IBG-Verfahren unter Berücksichtigung der besonderen Belange der Infrastruktur können die folgenden wesentlichen Ziele verbunden werden.

- Eine konsequente Ausrichtung der nationalen Genehmigungsverfahren auf die Umsetzung der EU-Regelungen möglichst unter Vermeidung paralleler nationaler Verfahren.
- Die Verfahren für IOH- und STE-Anlagen sowie für Fahrzeuge sollen im Zuständigkeitsbereich des EBA weitgehend einheitlich gestaltet werden.
- Für die Verfahren soll insoweit auch die Rechtssicherheit gestärkt werden und eine klare Zuordnung von Aufgabe, Kompetenz und Verantwortung auf die Beteiligten erfolgen.
- Die in die Verfahren einzubindenden *Benannten Stellen, Bestimmten Stellen, Unabhängigen Bewertungsstellen und Prüfsachverständigen* sollen vom EBA anerkannt und überwacht werden.

Insoweit wurden mit den aktuellen Änderungen des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG) durch das BMVI bereits wichtige Grundlagen

zur Umsetzung der EU-Regelungen gelegt.

Nach Paragraph 5 (1d) des AEG obliegt dem Bund

1. die Anerkennung und Überwachung der
 - a) Benannten Stellen gemäß Artikel 18 und 28 der RL 2008/57/EG,
 - b) Bestimmten Stellen gemäß Artikel 17 der RL 2008/57/EG und
2. die Aufgabe der Anerkennungsstelle von Unabhängigen Bewertungsstellen gemäß der Verordnung (EU) 402/2013.

Der Paragraph 5 (1d) des AEG bestimmt auch, dass der Bund diese Anerkennung und Überwachung durch jene Bundesbehörde wahrnimmt, die als Sicherheitsbehörde für die Eisenbahnaufsicht zuständig ist, also durch das EBA.

Für die besonderen Belange der Infrastruktur wurde in einem neuen Paragraphen 4b AEG der Prüfsachverständige ergänzend eingeführt. Prüfsachverständige prüfen nach Paragraph 4b (1) AEG im Auftrag der Eisenbahnen, der Hersteller, der Sicherheitsbehörde oder der Eisenbahnaufsichtsbehörden der Länder

1. die Einhaltung der nationalen technischen Vorschriften, die nicht nach Artikel 17 Absatz 3 der RL 2008/57/EG notifiziert worden sind, oder
2. den Nachweis einer zulässigen Abweichung von in Nummer 1 bezeichneten technischen Vorschriften im Bereich
 - a) der Erstellung von baulichen Anlagen (IOH), Signalanlagen, Telekommunikationsanlagen und elektrotechnischen Anlagen (STE) sowie
 - b) der Verwendung von Bauprodukten, Bauarten, Komponenten, Systemen und Verfahren.

Wie im bisherigen nationalen Verfahren können Prüfsachverständige in der Regel von den Eisenbahnen beauftragt werden. Sie können aber auch von Herstellern beauftragt werden, zum Beispiel für die Nachweisführung der Verwendbarkeit von Bauprodukten, Bauarten, Komponenten und Systemen. Zudem können zum Beispiel in besonderen Fällen sowohl das EBA als Sicherheitsbehörde aber auch die für die nichtbundeseigenen Eisenbahnen zuständigen Eisenbahnaufsichtsbehörden der Länder Prüfsachverständige beauftragen. Die Prüfsachverständigen prüfen die nationalen technischen Vorschriften und können auch in die Verfahren der Nachweisführung der gleichen Sicherheit bei Abweichungen von den anerkannten Regeln der Technik eingebunden werden.

Das Anerkennungsverfahren für Benannte Stellen ist in der TEIV bereits geregelt, das für Unabhängige Bewertungsstellen ergibt sich auf Grundlage der VO (EU) 402/2013 unmittelbar. Das Anerkennungsverfahren für Bestimmte Stellen wird durch eine Fortschreibung der TEIV in Analogie zu dem für Benannte Stellen ausgestaltet. Im Paragraphen 4b (1) AEG ist die Ermächtigung für die Schaffung einer Rechtsverordnung für die Anerkennung und Überwachung von Prüfsachverständigen bereits verankert.

Insoweit sind im AEG wichtige Voraussetzungen für das zukünftige IBG-Verfahren in Umsetzung der EU-Regelungen geschaffen worden. Im Kapitel 2 werden die Grundzüge des zukünftigen IBG-Verfahrens und in Kapitel 3 die des Anerkennungsverfahrens für Prüfsachverständigen skizziert.

2 Entwurf des IBG-Verfahrens

2.1 Anwendungsbereich

Da im Bereich der Infrastruktur mehrere Eisenbahnen mit jeweils unterschiedlichem Status im Zuständigkeitsbereich des EBA liegen und das IBG-Verfahren für alle Eisenbahnen grundsätzlich gleichermaßen und möglichst unter Vermeidung paralleler nationaler Verfahren gelten soll, soll der Geltungsbereich für die Eisenbahnen des Bundes definiert werden, also

- für Eisenbahnen im Eigentum des Bundes mit Infrastruktur,
- für Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen (EIU) mit Sicherheitsgenehmigung und
- für Eisenbahn-Verkehrsunternehmen (EVU) mit Sicherheitsbescheinigung.

Damit wäre ein umfassender verfahrenstechnischer Anwendungsbereich im EBA-Zuständigkeitsbereich als Sicherheitsbehörde gegeben.

Der Anwendungsbereich der Richtlinie 2008/57/EG und daraus resultierend auch der TSI ergibt sich aus Artikel 1 der Richtlinie. Diese gilt für das gesamte regelspurige Eisenbahnsystem mit definierten Ausnahmen gemäß Artikel 1 Absatz 3 für:

- a) Untergrundbahnen, Straßenbahnen und andere Stadtbahnssysteme (zum Beispiel S-Bahnen),
- b) funktional getrennte Netze (zum Beispiel Stadt- und Vorverkehr),
- c) Eisenbahninfrastruktur im Privateigentum (zum Beispiel Anschlussbahnen),
- d) Eisenbahninfrastrukturen für lokale und touristische Zwecke (zum Beispiel Museumsbahnen).

Mit der Berichtigung des Artikels 1 im Amtsblatt L 103/11 der Europäischen Union vom 22. April 2015 waren Regionalbahnsysteme als Ausnahmemöglichkeit im Buchstaben a) gestrichen worden. Zurzeit befindet sich daher eine weitere Anpassung des AEG in Vorbereitung und Abstimmung, die den daran anzupassenden Geltungsbereich der Richtlinie und die Anwendung der TSI neu definiert. Es ist daher mit einer räumlichen Ausdehnung der TSI-Anwendung im Bereich der Eisenbahninfrastruktur zu rechnen.

2.2 Grundsätze des IBG-Verfahrens

Das Zielverfahren zur Erteilung einer IBG erfolgt gemäß EU-Regelungen im Wesentlichen auf Grundlage eines:

- EG-Prüfverfahren nach TSI durch eine Benannte Stelle,
- Prüfverfahren nach notifizierten nationalen technischen Vorschriften durch eine Bestimmte Stelle,
- Prüfverfahren nach nationalen technischen Vorschriften durch Prüfsachverständige und
- Risikomanagementverfahrens mit Bewertung durch eine Unabhängige Bewertungsstelle in Fällen einer signifikanten Änderung sowie zusammenfassend auf Grundlage einer
- Erklärung der EIU über die Einhaltung der grundlegenden Anforderungen, der technischen Kompatibilität und der sicheren Integration.

Der europäische Ansatz verfolgt dabei das Ziel, dass die Sicherheitsbehörde im Rahmen der IBG-Erteilung nicht vollständig die materiellen Voraussetzungen prüfen muss, sondern dass der Nachweis bei Vorlage der vorgenannten wesentlichen Unterlagen und Erklärungen als erbracht gilt. Es erfolgt dann eine Prüfung auf Vollständigkeit und Eindeutigkeit. Nur in begründeten Zweifeln kann die IBG versagt werden (Abb. 1 zeigt das Verfahren schematisch; weitere nationale Verfahren, wie zum Beispiel unternehmensinterne Genehmigungen, Zustimmungen im Einzelfall oder Zulassungen sind davon unbenommen und werden aus vereinfachenden Gründen hier nicht mit abgebildet).

2.3 Notwendigkeit eines IBG-Verfahrens

Aus den EU-Regelungen ergibt sich, dass Neubaumaßnahmen sowie Maßnahmen im Sinne umfangreicher Änderungsarbeiten als Umrüstung, mit denen die Leistungsfähigkeit der Infrastruktur geändert wird, und als Erneuerung, mit denen die Leistungsfähigkeit nicht verändert wird, einer IBG bedürfen. Lediglich Instandhaltungsmaßnahmen, die nicht umfangreich sind beziehungsweise einen 1:1-Austausch darstellen, bedürfen keiner IBG. Insoweit ist der Neubau einer Eisenbahnstrecke, wie zum Beispiel der Neubaustrecken Erfurt-Leipzig/Halle, Ebensfeld-Erfurt, Karlsruhe-Basel oder Wendlingen-Ulm immer genehmigungspflichtig.

In Deutschland wird jährlich eine Vielzahl von Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt. Daher sollen im Bereich der Infrastruktur die In-

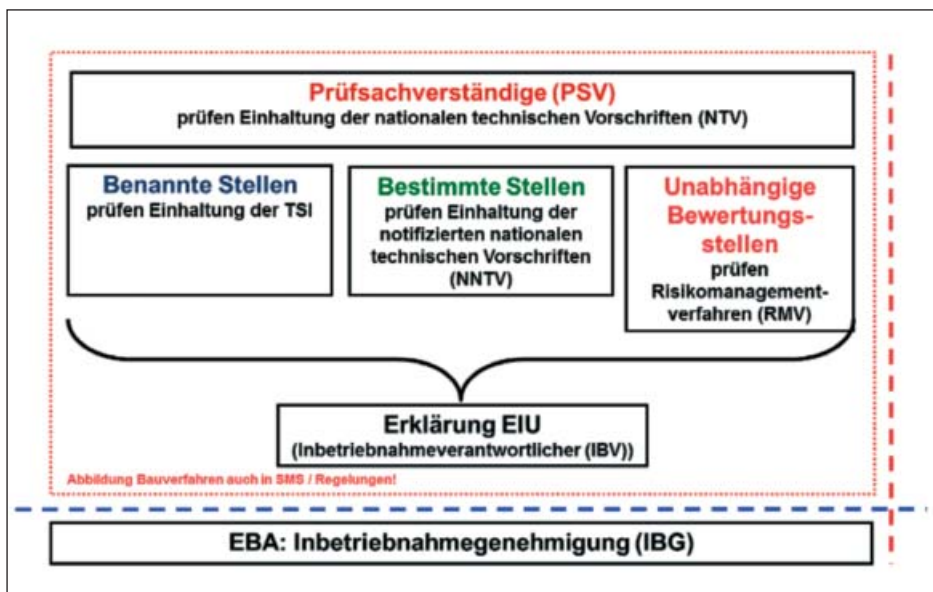


Abb. 1: Zukünftiges IBG-Verfahren

standhaltungsarbeiten für eine bessere Handhabung im Einzelnen näher festgelegt werden. Entsprechende Regelungen sind mit der Verwaltungsvorschrift des EBA für die Inbetriebnahme struktureller Teilsysteme (VV IST) [18] bereits getroffen und sollen im Weiteren aktualisiert werden.

Die in der heutigen Anlage 3 der TEIV verankerten Kriterien für Maßnahmen von Umrüstungen und Erneuerungen sollen ebenfalls fortgeschrieben werden. Der bisherige Ansatz der Definition einerseits über Baukosten und andererseits anhand von Kriterien soll zukünftig in übergreifender Vereinheitlichung (Infrastruktur und Fahrzeuge) und Vereinfachung nur auf Kriterien abstellen. Neben den in Kapitel 7 der TSI jeweils definierten und insoweit ohnehin geltenden Maßnahmen für Umrüstungen und Erneuerungen sollen auch in näherer Bestimmung der bislang europäisch noch allgemeinen Definitionen konkrete Baumaßnahmen bestimmt werden, die als Umrüstungs- und Erneuerungsmaßnahmen in der Regel eine IBG-Pflicht auslösen.

Die Definition von konkreten Kriterien bringt eine erhebliche Verwaltungsvereinfachung mit sich, da nicht alle Einzelfälle durch die Sicherheitsbehörde separat entschieden werden müssen und dies auch bei den Vorhabenträgern für Planungssicherheit sorgt. Anzeigen und, in bestimmten Fällen (zum Beispiel bei Fehleinstufungen), auch Einzelfallentscheidungen, sollen lediglich erforderlich sein für Maßnahmen, die nicht als Instandhaltung oder Umrüstung/Erneuerung benannt sind. Bei der Ausgestaltung der Kriterien fließen sicherheitstechnische, aber auch verfahrenstechnische bis hin zu wirtschaftlichen Aspekten ein und werden abgewogen. Besondere Randbedingungen, wie die zu erwartende räumliche Ausdehnung der TSI-Anwendung im Bereich der Infrastruktur, sind zu berücksichtigen. Die Anzahl der notwendigen IBG-Verfahren mit zugehörigen Prüfverfahren muss für alle Beteiligten handhabbar bleiben. Deshalb sind für die Notwendigkeit von IBG in Fällen von Umrüstungen und Erneuerungen der Teilsysteme einzelne Kriterien vorgeschlagen.

Im Bereich Ingenieurbau können Einzelmaßnahmen als Umrüstung/Erneuerung angesehen werden, beispielsweise Brücken ab einer bestimmten Länge (z. B. mehr als 15 Meter) oder ab einem höheren Schwierigkeitsgrad (z. B. solche, die in die Honorarzone 4 oder 5 der Bundeseisenbahngebührenverordnung (BEGebV) [19] eingestuft sind und insoweit keine Standardfälle darstellen); unter den Stützbauwerken bietet sich die IBG-Pflicht für solche an, die im Einflussbereich von Eisenbahnverkehrslasten ab einer bestimmten Höhe liegen (z. B. mehr als fünf Meter); für Erdbauwerke kann Vergleichbares gelten und zudem ein ergänzendes Kriterium ab einer bestimmten Geschwindigkeit für die Berücksichtigung dynamischer Einwirkungen (z. B. mehr als 200 Kilometer pro Stunde) eingeführt werden; im Bereich Oberbau können solche Maßnahmen als Umrüstung/Erneuerung angesehen werden, die mit einer definierten Geschwindigkeitserhöhung (z. B. mehr als 200 Kilometer pro Stunde) oder einer Nachweisführung für höhere Randsatzlasten einhergehen (z. B. mehr als 22,5 Tonnen je Achse) oder ab einer bestimmten Länge (z. B. mehr als 2.000 Meter), oder mit einer bestimmten Anzahl an betroffenen Weichenumbauten (z. B. mehr als vier Weichen). Wesentliche Nutzungsänderungen mit Auswirkungen auf den Brandschutz oder die Standsicherheit und für Anlagen in Abhängigkeit von einer Höhe (z. B. mehr als 13 Meter) oder einer Nutzungsfläche (z. B. mehr als 1.600 Quadratmeter) bieten sich als Kriterien für Anlagen im Bereich Hochbau an. Da hier die Interoperabilität mit den TSI für mobilitätsbehinderte Fahrgäste [20] mit dem möglichst barrierefreien Ausbau der Infrastruktur für die Bahnhöfe mit den Empfangsgebäuden und insbesondere Zugängen zu den Bahnsteigen

im Besonderen eine Rolle spielt, sollen Bahnsteigmaßnahmen mit einer IBG-Pflicht in Abhängigkeit von einer Nutzeranzahl (z. B. mehr als 1.000 Personen pro Stunde) definiert werden.

Die Fortschreibung der bisherigen Kriterien gemäß Anlage 3 der TEIV für die Teilsysteme Infrastruktur, Energie sowie Zugsteuerung, Zugsteuerung und Signalgebung sowie für Fahrzeuge ist dementsprechend vorgesehen; dies auch vor dem Hintergrund, dass die zukünftigen TSI detaillierter deren Anwendung in Fällen von Umrüstungs- und Erneuerungsmaßnahmen beschreiben sollen und die Kriterien daran leichter angepasst werden können bis hin zu deren Streichung entsprechend den dann gültigen EU-Regelungen.

2.4 Anforderungen an das sichere Bauen

Auch für Maßnahmen, die keine IBG durch die Sicherheitsbehörde bedingen, gelten im Bereich der Infrastruktur besondere Randbedingungen. Vorgaben für das sichere Bauen gibt es insbesondere vom EBA gemäß der Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau (VV BAU) [21] und der Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen (VV BAU-STE) [22], und sie werden auch für die Sicherheitsmanagementsysteme der EIU erwartet, die Grundlage von Sicherheitsgenehmigungen sind. Die TSI gelten zudem unbenommen der IBG-Pflicht durch die Sicherheitsbehörde. Deshalb sind die für die Infrastruktur zuständigen Unternehmen angehalten, nämlich im Wesentlichen die DB Netz AG und die DB Station & Service AG, die Anpassung der unternehmensinternen Regelwerke (in der Regel die DB-Richtlinien) an die TSI vorzunehmen, damit die Planungen und Ausführungen den materiellen Anforderungen der TSI per se entsprechen. Dies soll durch die Unternehmen, zum Beispiel auch grundsätzlich über den Einkauf von als TSI-konform erklärten Interoperabilitätskomponenten sichergestellt werden.

Da im Bereich der Infrastruktur ergänzend zu den europäischen Vorschriften eine Vielzahl von nationalen technischen Vorschriften und weitere ergänzende nationale Verfahren für das sichere Bauen von Belang sind, müssen zusätzliche Anforderungen in das IBG-Verfahren eingebracht und berücksichtigt werden. So muss zusätzlich zur Erklärung des EIU über die Erfüllung der grundlegenden Anforderungen mit zugehörigen Nachweisen das EIU beziehungsweise die Eisenbahn mit Infrastruktur grundsätzlich verpflichtet sein,

1. die Freigabe der geprüften Planung,
2. die Bestätigung der Gebrauchsfähigkeit der Bauprodukte,
3. eine Bauüberwachung und
4. die notwendigen Abnahmeprüfungen

durch qualifiziertes Personal sicherzustellen. Die Bestätigung der Einhaltung der nationalen technischen Vorschriften durch Prüfsachverständige gemäß Paragraf 4b AEG muss in allen erforderlichen Fällen unbenommen einer IBG-Pflicht erfolgen. Weitere Verfahren zum Nachweis der gleichen Sicherheit bei Abweichungen oder Bestätigungen, wie über die ordnungsgemäße Bauüberwachung, die Einhaltung der grundlegenden Anforderungen mit Schnittstellenbetrachtung oder die Umsetzung aller Auflagen aus den Nachweisen, sind obligatorisch.

2.5 Verfahren der Zulassung von Bauprodukten und -arten, Zustimmung im Einzelfall

Das ordnungsgemäße Verwenden und Inverkehrbringen von Bauprodukten und Bauarten im Bereich der IOH-Anlagen oder von Komponenten und Systemen im Bereich der STE-Anlagen ist für das IBG-Ver-

fahren von besonderem Belang. Das EBA erteilt bei wesentlichen Abweichungen von den definierten anerkannten Regeln der Technik oder in Fällen fehlender Regeln im Bereich der IOH-Anlagen Zulassungen für eisenbahnspezifische Bauprodukte und Bauarten. Es orientiert sich dabei eng an den Regelungen im Bauaufsichtsbereich der Länder. Das Urteil C-100-13 des Europäischen Gerichtshofes (EuGH) vom 16.10.2014 (das sogenannte EU-Bauproduktenurteil) führt zu Anpassungen der bisherigen Regelungen der Länder. Für Bauprodukte, die auf Grundlage von harmonisierten Europäischen Normen (hEN) mit CE-Kennzeichnung verwendet werden, dürfen nach diesem Urteil keine ergänzenden produktspezifischen Anforderungen gestellt werden. Somit dürfen weder zusätzliche Kennzeichnungen noch zusätzliche Zulassungsverfahren durch die zuständigen Behörden gefordert werden. Sofern, bauwerksbezogen, ein ergänzender Nachweisbedarf vorliegt, besteht die Möglichkeit, diese ergänzenden Anforderungen zu formulieren, um so die sichere Verwendung von Bauprodukten für die spezifischen Bauwerke sicherzustellen. Für den Fall, dass in hEN Regelungen fehlen oder unzureichend sind, ist ein Wiedereinstieg in den europäischen Normungsprozess erforderlich. Das IBG-Verfahren im Bereich der Infrastruktur sowie insbesondere die nationalen technischen Vorschriften der ELTB und der EBRL werden an diese Entwicklungen angepasst. Für die Komponenten und Systeme im STE-Bereich soll ein Verfahren für die Genehmigung des Inverkehrbringens durchgeführt werden, welches sich eng an den europäischen Vorgaben orientiert.

Für das Führen von Nachweisen der gleichen Sicherheit im Sinne des Paragraphen 2 Absatz 2 der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [23] steht den EIU verfahrenstechnisch einerseits das Risikomanagementverfahren (RMV) gemäß VO (EU) 402/2013 und andererseits die eigene Sicherheitsmethode zur Verfügung, beispielsweise bei der DB Netz AG und der DB Station & Service AG in Form der *Unternehmens-internen Genehmigung (UiG)* mit oder ohne *Zustimmung im Einzelfall (ZiE)* durch das EBA. Beide Verfahren stehen zurzeit noch parallel nebeneinander. Im Umgang mit dem RMV müssen alle Beteiligten erst noch vertiefende Anwendungserfahrungen (zum Beispiel hinsichtlich der Signifikanzentscheidung sowie der Nachweis- und Bewertungstiefe) sammeln. Um in Zukunft das UiG-Verfahren gegebenenfalls ohne ZiE als einzige Alternative zum RMV einsetzen zu können, besteht der Bedarf, das Verfahren weiterzuentwickeln (unter anderem zu einem fachtechnisch unabhängigen Vier-Augen-Prinzip). Inwieweit es eine Konzentration auf ein einheitliches Verfahren oder eine besondere Schwerpunktbildung für das eine oder andere Verfahren für bestimmte Anwendungsfälle geben wird, muss die weitere Ausgestaltung und Anwendung dieser Verfahren zeigen. Eines der Verfahren ist jedoch grundsätzlich anzuwenden. Das EBA beabsichtigt, auch zukünftig auf Basis dieser Ergebnisse auf Antrag eine ZiE zu erteilen. Für diese Verfahren ist vorgesehen, dass Prüfsachverständige ihr Know-how prüfend und begutachtend einbringen können.

2.6 Weitere besondere Regelungen

Der Bau und die Inbetriebnahme von IOH- und STE-Anlagen gehen mit weiteren Besonderheiten einher, die im zukünftigen IBG-Verfahren berücksichtigt werden sollten. Eisenbahnbaumaßnahmen werden meist unter „rollendem Rad“, also bei laufendem Betrieb realisiert. Die IBG soll daher verfahrensvereinfachend grundsätzlich für den baulich realisierten Endzustand erteilt werden. Zwischenzustände (Bauzustände) oder zwischenzeitliche Betriebsaufnahmen (stufenweise Inbetriebnahme) sollen durch die EIU eigenverantwortlich in Betrieb zu nehmen sein, wobei die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen hierfür zu definieren sind, damit die Sicherheit des Eisenbahnbetriebs zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist.

Maßnahmen, die nicht als Instandhaltung oder als genehmigungspflichtige Umrüstung/Erneuerung einzustufen sind, sollen dem EBA in einem vereinfachten Verfahren angezeigt werden, damit es zumindest eine stichprobenhafte Überwachung wahrnehmen kann. Alle Eisenbahnbetriebsanlagen müssen durch das IBG-Verfahren gegebenenfalls mit ergänzenden Regelungen erfasst werden. Weitere besondere Genehmigungen, wie beispielsweise Probefahrten bei Regelwerksabweichungen, müssen für die Vorbereitung von IBG geregelt werden.

Diese und andere Vorschläge sind in die Fortschreibung des IBG-Verfahrens von Sektorvertretern und vom EBA eingebracht worden.

3 Anerkennung und Überwachung von Prüfsachverständigen

3.1 Allgemeine Vorschriften

Prüfer bau- und brandschutztechnischer Nachweise werden im Bereich der IOH-Anlagen in Verwaltungsverfahren des EBA auf Grundlage des EBA-Merkblattes [24], Prüfer und Gutachter im Bereich von STE-Anlagen auf Grundlage der Richtlinie über die fachtechnischen Voraussetzungen und die Anerkennung von Gutachtern und Prüfern für Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen (VV PRÜF-STE) [25] und Prüflisten bei Komponenten- und Systemherstellern auf Grundlage der Vorläufigen Verwaltungsvorschrift für die Anerkennung und die Arbeitsweise von Prüflisten für Sicherungsanlagen (VV PLS) [26] anerkannt. Das Anerkennungs- und Überwachungsverfahren für Prüfsachverständige, die die Prüfungen nationaler technischer Vorschriften im Bereich der IOH- und STE-Anlagen als Voraussetzung für das IBG-Verfahren durchführen, soll in genauerer Untersetzung des Paragraphen 4b des AEG harmonisiert geregelt werden. Der aktuelle Entwurf für eine Rechtsverordnung orientiert sich dabei an den bisherigen beim EBA seit Jahren etablierten und bewährten Verfahren und an der Muster-Verordnung für die Prüffingenieure und Prüfsachverständigen (M-PPVO) [27] am Beispiel der Regelung in Nordrhein-Westfalen.

Analog zum IBG-Verfahren sollen Prüfsachverständige für den gesamten unternehmensbezogenen Zuständigkeitsbereich des EBA anerkannt werden, das heißt, für den Bereich Eisenbahnen des Bundes und der EIU mit Sicherheitsgenehmigung. Die Tätigkeiten, Aufgaben und Befugnisse sind wie bisher zu definieren und Anerkennungen für den Fachbereich der IOH-Anlagen in den Fachgebieten Ingenieur-, Ober- und Hochbau sowie Brandschutz mit zugehörigen Teilgebieten, wie zum Beispiel Massiv-, Stahl-, Verbund- oder Erd- und Grundbau auszusprechen. Für den Fachbereich der STE-Anlagen beziehen sich die Fachgebiete auf die Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnik, weiter unterteilt in Teilgebiete wie Signaltechnik (Stellwerke, BÜ-Sicherheitstechnik etc.). Auf Grundlage der bisherigen Regelungen hat das EBA die nachfolgenden wesentlichen Thesen für die Entwurfsbearbeitung der Rechtsverordnung zur Anerkennung, zum Einsatz und zur Überwachung von Prüfsachverständigen im Bereich der Eisenbahnen formuliert:

- Die Anerkennung erfolgt durch das EBA für den Zuständigkeitsbereich des EBA.
- Unter dem Begriff Prüfsachverständige werden folgende Personen beziehungsweise Organisationen zusammengefasst:
 - Einzel-Sachverständige,
 - Prüflisten mit eigenen Prüfsachverständigen oder Prüfberechtigten für Typprüfungen von STE-Systemen,

- Prüfer Bahn als benannte Personen der Eisenbahnen für Prüfungen im Bereich der STE-Anlagen und der Prüfung der Linienführung.

3.2 Anerkennungsverfahren

- Die Anerkennungen sind möglich für die Fachgebiete IOH und STE mit den jeweils zugehörigen Teilgebieten.
- Die Anerkennung ist auf fünf Jahre befristet, es erfolgen antragsbezogene Verlängerungen bis zur Vollendung des 68. Lebensjahres.
- Als Anerkennungs Voraussetzung für Prüfsachverständige gelten unter anderem ein Hochschulabschluss entsprechend der Fachrichtung oder die Ausbildung für das Fachgebiet, für das die Anerkennung erfolgen soll.
- Für die Anerkennung sind zudem Nachweise der Fachkunde im Eisenbahnbetrieb und -technik sowie sehr gute Kenntnisse der Regelwerke und Normen im Fachgebiet etc. erforderlich.

3.3 Pflichten von Prüfsachverständigen

- Prüfsachverständige müssen unabhängig und weisungsfrei vom Auftraggeber sein, von Gewissenhaftigkeit und Unparteilichkeit für die Prüftätigkeit geprägt sein und diese unter Beachtung des Regelwerkes mit besonderer Sorgfalt ausüben.
- Die Prüfung erfolgt grundsätzlich durch persönliche Aufgabenerfüllung mit möglichem Einsatz von Hilfskräften, deren Tätigkeit aber ordnungsgemäß überwacht werden muss.
- Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren, mehrere Prüfsachverständige können, bei zweifelsfreier Zuordnung der Prüfergebnisse, beteiligt sein.
- Bei Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung sowie für eine ordnungsgemäße Prüftätigkeit informieren die Prüfsachverständigen die zuständige Eisenbahnaufsichtsbehörde.
- Die Aufbewahrung der Dokumentation der Prüfergebnisse ist für zehn Jahre nach Abschluss des Prüfauftrages sicherzustellen.
- Es besteht eine Schweigepflicht über die aus der Tätigkeit erlangten Kenntnisse.
- Anzeigepflichten ergeben sich bei anerkennungsrelevanten Änderungen (z.B. Wohnort, Tätigkeits- und Arbeitsverhältnis, Straf- oder Insolvenzverfahren) sowie Auskunftspflichten gegenüber der zuständigen Behörde.
- Ein Nachweis über die jährliche Fortbildung im Fachgebiet und einen Erfahrungsaustausch ist erforderlich.

3.4 Beauftragung von Prüfsachverständigen

Die Beauftragung erfolgt im Regelfall durch die Eisenbahnen, für STE-Systeme und -Komponenten durch die Hersteller oder im Einzelfall durch die zuständige Behörde. Die Abrechnung der Vergütung erfolgt grundsätzlich zwischen der Eisenbahn und den Prüfsachverständigen. Die Abwicklung, das heißt, die Ermittlung der Vergütung, die Rechnungslegung und der Zahlungsverkehr sollen im Bereich der bau- und brandschutztechnischen Prüfung über die bvs-EBA [28] erfolgen, die zentrale Bewertungs- und Verrechnungsstelle des EBA in Mainz; dieses Verfahren hat sich seit einigen Jahren bewährt. Für die Vergütung der Tätigkeiten der vom EBA anerkannten Prüfer sind die EBA-Empfehlungen anzuwenden. Das BMVI hat jetzt eine Initiative ergriffen, um die Vergütung für die bautechnischen Prüfungen im Bereich der Bundesfernstraßen, der Bundeswasserstraßen und der Eisenbahnen des Bundes zu harmonisieren. Die Ermittlung der Vergütung für die konstruktive Prüfung von Ingenieurbauwerken für Verkehrsanlagen sowie die Prüfung des baulichen Brandschutzes für Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes soll in eine Richtlinie des BMVI einfließen. Die Arbeiten an dieser Richtlinie sind

abgeschlossen, ihre Einführung befindet sich in der Vorbereitung, und sie kann mit Inkrafttreten die drei verschiedenen Regelungen ersetzen.

3.5 Aufgabenerledigung von Prüfsachverständigen

Die Aufgaben der Prüfsachverständigen im Rahmen der Prüfung bautechnischer Nachweise für IOH-Anlagen sollen sich wie bisher auf

- die Prüfung der Nachweise (statische Nachweise, Ausführungs-/Konstruktionszeichnungen) und dabei im Wesentlichen auf
 - die Vollständigkeit und Übereinstimmung mit dem Regelwerk,
 - die Einhaltung der allgemeinen Anforderungen für die Standicherheit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit einschließlich
 - (gegebenenfalls) die Anforderungen des Wärme- und Schallschutzes sowie
 - (gegebenenfalls) auf die Anforderungen des baulichen und konstruktiven Brandschutzes und auf
- die stichprobenhafte Überprüfung der Bauausführung gemäß der Ausführungsplanung und die ordnungsgemäße Durchführung der erforderlichen Abnahmen vor Ort

beziehen. Ergänzend ist vorgesehen, die Prüfkompetenz der Prüfsachverständigen auch für die Typprüfung, das heißt, für die Prüfung und Bewertung von generischen Komponenten und Systemen sowie für die Prüfung von Bauprodukten und -arten zu nutzen. Die Prüftätigkeit kann sich dann auf die Übereinstimmung mit dem Regelwerk, gegebenenfalls auf vorgegebene Anforderungen, den Nachweis der gleichen Sicherheit und auf die Zuverlässigkeit ihrer Verwendung beziehen. Dies ist besonders seitens der Hersteller von Komponenten und Systemen für STE-Anlagen gefragt, aber auch im Bereich der IOH-Anlagen setzen die EIU wieder verstärkt auf standardisierte Bauteile, Bauarten und Typen, die, einmal bautechnisch geprüft, unter den definierten Randbedingungen mit vereinfachter Nachweisführung und Prüfung dann zum Einsatz kommen können.

Ein ergänzender Tätigkeitsbereich kann zudem für die Prüfung von Abweichungen vom Regelwerk oder zur Vorbereitung von behördlichen Entscheidungen vorgesehen werden. Die Prüfsachverständigen mit dann besonderer Anerkennung könnten die definierten Abweichungen entweder selber bewerten und autorisieren oder sie könnten in den Verfahren (UiG oder RMV) den Eisenbahnen auftragsbezogen zuarbeiten.

3.6 Mögliche Übergangsbedingungen

Im Bereich der IOH-Anlagen sind zur Zeit ungefähr 200 Prüfer und Prüferinnen und im Bereich der STE-Anlagen in etwa 600 Prüfer und Prüferinnen tätig. Für die Neuregelungen der Anerkennung und Überwachung von Prüfsachverständigen im Bereich der IOH- und STE-Anlagen sind dann zwangsläufig Übergangsvorschriften erforderlich. Hierzu wurden Vorschläge erarbeitet. Es ist vorgesehen, dass die Prüfer mit vorhandener EBA-Anerkennung innerhalb einer Frist, zum Beispiel von drei Monaten, nach Inkrafttreten eine schriftliche Erklärung über die Anerkennung und Einhaltung der neuen Vorschriften (gegebenenfalls mit ergänzenden Nachweisen) abgeben könnten, um nahtlos im Geltungsbereich der Neuregelung und gemäß ihrer bisherigen Anerkennung für die Fach- und Teilgebiete sowie Aufgabenwahrnehmung tätig werden zu können. Vorhandene Anerkennungen mit Befristung könnten dann entsprechend ihrer Befristung weiter gelten und ohne Befristung maximal fünf Jahre nach Inkrafttreten der neuen Vorschriften Gültigkeit behalten. Dies würde auch die Verwaltungsverfahren für die Verlängerung und Aktualisierung der Anerkennungen vereinfachen

und zeitlich entspannen. Beabsichtigte Änderungen in den Tätigkeiten bedingten einen davon losgelösten Antrag.

4 Ausblick und weitere Aktivitäten

Das BMVI hat einen Entwurf für eine neue Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung erstellt, die die TEIV ablösen soll. Das IBG-Verfahren soll den europäischen Vorgaben entsprechen und dabei die ergänzenden nationalen Anforderungen und Besonderheiten für die Infrastruktur und für Fahrzeuge berücksichtigen. Vertreter des Infrastruktur- und Fahrzeugsektors sind in Arbeitsgruppen eingebunden worden und erhielten die Gelegenheit für Stellungnahmen und das Einbringen von Änderungsvorschlägen bereits vor dem eigentlichen Verordnungsgebungsverfahren. Natürlich haben die Beteiligten unterschiedliche Blickwinkel und Vorstellungen, die in der Entwurfsbearbeitung insofern aber auch berücksichtigt werden konnten. Dadurch konnte ein weitgehend breiter Konsens über die Ausgestaltung des zukünftigen IBG-Verfahrens für die Infrastruktur und Fahrzeuge gleichermaßen erreicht werden.

Der EBA-Vorschlag für eine Rechtsverordnung für die Anerkennung und Überwachung von Prüfsachverständigen wurde ebenso mit Vertretern des Infrastruktursektors diskutiert. Stellungnahmen und Änderungsvorschläge sind auch hier bereits eingeflossen. Das EBA wird das BMVI im Weiteren intensiv bei der Vorbereitung der Verordnungsgebungsverfahren für eine Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung und für eine Eisenbahn-Prüfsachverständigenverordnung unterstützen.

Mit der technischen Säule des so genannten 4. Eisenbahnpakets haben der Europäische Rat und das EU-Parlament bereits eine neue

- Richtlinie (EU) 2016/797 über die Interoperabilität [29],
- Richtlinie (EU) 2016/798 über die Eisenbahnsicherheit [30],
- Verordnung (EU) 2016/796 über die Eisenbahnagentur [31]

verabschiedet, die am 15. Juni 2016 in Kraft getreten sind. Mit einer Umsetzungsfrist von drei Jahren und einer begründeten Verlängerung um maximal ein Jahr wird daher die für das IBG-Verfahren maßgebende bisherige Interoperabilitätsrichtlinie (RL) 2008/57/EG vom 17. Juni 2008 mit Wirkung vom 16. Juni 2020 aufgehoben. Aus der Umsetzung des 4. Eisenbahnpakets werden zukünftig Aufgaben, wie

- die Erteilung von Sicherheitsbescheinigungen für grenzüberschreitend tätige Eisenbahnverkehrsunternehmen und
- die Zulassung für grenzüberschreitend eingesetzte Fahrzeuge (wobei für national tätige Eisenbahnverkehrsunternehmen oder Hersteller von Fahrzeugen mit nationalem Einsatzgebiet ein Wahlrecht zwischen der Europäischen Eisenbahnagentur und der nationalen Sicherheitsbehörde zur Ausstellung von Sicherheitsbescheinigungen und der Erteilung von Inbetriebnahmegenehmigungen besteht) und
- eine Kompatibilitätsprüfung für Vorhaben des European Rail Traffic Management Systems (ERTMS) für ETCS (European Train Control System) und für GSM-R (Global System for Mobile Communications Railway) im Bereich der STE-Anlagen vor Ausschreibung auf die Europäische Eisenbahnagentur ERA (European Railway Agency) übergehen. Die Vorbereitung der Umsetzung dieser Vorgaben hat begonnen. So werden von der ERA regelmäßige Arbeitstreffen mit europäischen Sektorvertretern und den Sicherheitsbehörden durchgeführt. Es wird in diesem Bereich künftig eine sehr enge Zusammenarbeit der ERA mit den nationalen Sicherheitsbehörden geben.

Für den Bereich der Infrastruktur kann konstatiert werden, dass mit dem neu ausgerichteten IBG-Verfahren eine zukunftsfähige Aufstellung gemäß den europäischen Regelungen unter Berücksichtigung der nationalen Belange der Infrastruktur gelingen kann. Dies ist für die Aufsichts- und Genehmigungsverfahren von besonderer Bedeutung.

5 Literatur und Quellen

- [1] Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.06.2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 191/1 vom 18.07.2008
- [2] Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29.04.2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung, berichtigt im Amtsblatt der Europäischen Union, L 220/16 vom 21.06.2004
- [3] Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 der Kommission vom 30.04.2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 352/2009, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 121/8 vom 03.05.2013, geändert durch die Durchführungsverordnung (EU) 2015/1136 der Kommission vom 13.07.2015, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, L 185/6 vom 14.07.2015
- [4] Verordnung (EU) Nr. 1158/2010 der Kommission vom 09.12.2010 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Konformitätsbewertung in Bezug auf die Anforderungen an die Ausstellung von Eisenbahnsicherheitsbescheinigungen, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 326/11 vom 10.12.2010
- [5] Verordnung (EU) Nr. 1169/2010 der Kommission vom 10.12.2010 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Konformitätsbewertung in Bezug auf die Anforderungen an die Erteilung von Eisenbahnsicherheitsgenehmigungen, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 327/13 vom 11.12.2010
- [6] Verordnung (EU) Nr. 1078/2012 der Kommission vom 16.11.2012 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Kontrolle, die von Eisenbahnunternehmen und Fahrwegbetreibern, denen eine Sicherheitsbescheinigung beziehungsweise Sicherheitsgenehmigung erteilt wurde, sowie von den für die Instandhaltung zuständigen Stellen anzuwenden ist, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 320/8 vom 17.11.2012
- [7] Verordnung (EU) Nr. 1077/2012 der Kommission vom 16.11.2012 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Überwachung durch die nationalen Sicherheitsbehörden nach Erteilung einer Sicherheitsbescheinigung oder Sicherheitsgenehmigung, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 320/3 vom 17.11.2012
- [8] Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27.12.1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29.08.2016 (BGBl. I S. 2082) geändert worden ist
- [9] Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV) vom 05.07.2007 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12.05.2016 (BGBl. I S. 1225) geändert worden ist

- [10] Markus Köppel: Die Umsetzung von EU-Richtlinien im Eisenbahnsektor verändert die Aufsicht und Genehmigung durch das EBA, DER PRÜFINGENIEUR, Heft 43, November 2013
- [11] Richtlinie 2009/131/EG der Kommission vom 16.10.2009, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 273/12 vom 17.10.2009;
Richtlinie 2011/18/EU der Kommission vom 01.03.2011, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 57/21 vom 02.03.2011;
Richtlinie 2013/9/EU der Kommission vom 11.03.2013, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 68/55 vom 12.03.2013;
Richtlinie 2014/38/EU der Kommission vom 10.03.2014, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 70/20 vom 11.03.2014;
Richtlinie 2014/106/EU der Kommission vom 05.12.2014, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 355/42 vom 12.12.2014;
... zur Änderung der ... der Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft
- [12] Berichtigung der Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.06.2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 103/11 vom 22.04.2015
- [13] Verordnung (EU) Nr. 1299/2014 der Kommission vom 18.11.2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 356/1 vom 12.12.2014
- [14] Verordnung (EU) Nr. 1301/2014 der Kommission vom 18.11.2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Energie“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 356/179 vom 12.12.2014
- [15] Verordnung (EU) 2016/919 der Kommission vom 27.05.2016 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 158/1 vom 15.06.2016
- [16] Eisenbahnspezifische Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB), Referat 21, Fassung 01/2016, gültig ab 18.01.2016.
- [17] Eisenbahnspezifische Bauregellisten (EBRL), Referat 21, Ausgabe 2012/1, gültig ab 15.05.2013
- [18] Verwaltungsvorschrift für die Verfahrensweise bei der Inbetriebnahme struktureller Teilsysteme des transeuropäischen Eisenbahnsystems für den Bereich ortsfester Anlagen (VV IST), Ausgabe 12.2011, gültig ab 15.12.2011
- [19] Bundeseisenbahngebührenverordnung vom 27.03.2008 (BGBl. I S. 546), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 12.05.2016 (BGBl. I S. 1225) geändert worden ist
- [20] Verordnung (EU) Nr. 1300/2014 der Kommission vom 18.11.2014 über die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität bezüglich der Zugänglichkeit des Eisenbahnsystems der Union für Menschen mit Behinderungen und Menschen mit eingeschränkter Mobilität, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union, L 356/110 vom 12.12.2014
- [21] Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau (VV BAU), aktuelle Ausgabe: modifizierte Bauaufsicht, Version 4.53, gültig ab 01.07.2013
- [22] Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen (VV BAU-STE), Ausgabe 4.6, gültig ab 01.08.2014
- [23] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 08.05.1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 10.10.2016 (BGBl. I S. 2242) geändert worden ist
- [24] Merkblatt über die Anerkennung und den Einsatz als Prüfer für bautechnische Nachweise im Eisenbahnbau, Referat 21, Ausgabe 01.01.2013
- [25] Richtlinie über die fachtechnischen Voraussetzungen und die Anerkennung von Gutachtern und Prüfern für Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen (PRÜF-STE), Referat 22, Ausgabe 03, gültig ab 01.03.2012
- [26] Vorläufige Verwaltungsvorschrift für die Anerkennung und die Arbeitsweise von Prüfstellen für Sicherungsanlagen (VV PLS), Referat 22, Ausgabe 01, gültig ab 01.09.2007
- [27] Muster-Verordnung über die Prüffingenieure und Prüfsachverständigen nach § 85 Abs. 2 MBO (M-PPVO), Fassung Dezember 2012
- [28] www.bvs-eba.de
- [29] Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.05.2016 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, L 138/44 vom 26.05.2016
- [30] Richtlinie (EU) 2016/798 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.05.2016 über Eisenbahnsicherheit, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, L 138/102 vom 26.05.2016
- [31] Verordnung (EU) 2016/796 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.05.2016 über die Eisenbahnagentur der Europäischen Union und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 881/2004, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, L 138/1 vom 26.05.2016

Erfahrungen mit der Anwendung digitaler Arbeitsmethoden bei der Realisierung eines großen Tunnelprojekts

Das Risiko später Änderungen oder versäumter Leistungen kann schon bei der Planung deutlich minimiert werden

Bei der Realisierung von Infrastrukturprojekten wird heute die konsequente und durchgängige Anwendung digitaler Methoden – insbesondere des Building Information Modeling (BIM) – als wesentliches Element der Sicherstellung hoher Planungs- und Ausführungsqualitäten und optimaler Kosten- und Termingenauigkeiten betrachtet. Auch die DB Netz AG sieht in BIM eine erfolgversprechende Möglichkeit, um ihr Projektgeschäft, unter Berücksichtigung infrastruktureller Lebenszyklusanforderungen, nachhaltig zu verbessern, und sie treibt deshalb die Implementierung von BIM aktiv voran. Der gegenwärtig im Bau befindliche Tunnel Rastatt ist das größte von bundesweit vier Pilotprojekten, welche das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) benannt hat, um die Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit digitaler Arbeitsmethoden konkret zu testen. Dabei wurde dieses Tunnelbauprojekt parallel zur konventionellen Ausführungsplanung digital mit der BIM-Methode geplant. Nachstehend wird über die Erfahrungen mit der sogenannten 5D-Modellierung eines Großprojekts im Tunnelbau berichtet. Im Weiteren erfolgt ein Ausblick auf den potentiellen Nutzen der BIM-Methode für die Ausführungs- und Betriebsphase beim Pilotprojekt Tunnel Rastatt sowie für zukünftige Tunnelbauprojekte.



Dipl.-Ing. Thomas Grundhoff

Geschäftsführender Gesellschafter der Grundhoff GmbH, Ingenieurgesellschaft für Bauwesen (Neuss); Prokurist und Abteilungsleiter Konstruktiver Ingenieurbau der gbm Gesellschaft für Baugologie und -meßtechnik mbH (Ettlingen); von 2013 bis 2016 Projektleiter und Bauvorlageberechtigter für Tunnelbau der DB Projektbau GmbH/Netz AG in Karlsruhe; seit 2010 Lehrbeauftragter für Geotechnik der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umwelttechnik (Studienrichtung Geotechnik) der Technischen Hochschule Köln

1 Einführung

1.1 Empfehlungen für die Nutzung der BIM-Methode bei Großprojekten

Insbesondere bei großen Bauprojekten ist es in jüngerer Vergangenheit immer wieder zu erheblichen Termin-, Kosten- und Qualitätsabweichungen gekommen. Das (damalige) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat dies im April 2013 zum Anlass genommen, eine „Reformkommission Bau von Großprojekten“ mit dem Ziel zu gründen, Handlungsempfehlungen zur Verbesserung von Kostenwahrheit, Kostentransparenz, Effizienz und Termintreue bei Großprojekten zu entwickeln. Am 29. Juni 2015 hat die Reformkommission ihren Abschlussbericht mit Handlungsempfehlungen vorgelegt [1]. Am 9. Dezember 2015 hat das Bundeskabinett den vom (heutigen) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) auf der Grundlage des Berichts seiner Reformkommission erarbeiteten „Aktionsplan Großprojekte“ verabschiedet. Darin wird unter anderem die vermehrte Nutzung digitaler Methoden bei der Realisierung von Großprojekten empfohlen. Dem Einsatz des Building Information Modeling (BIM) kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu.

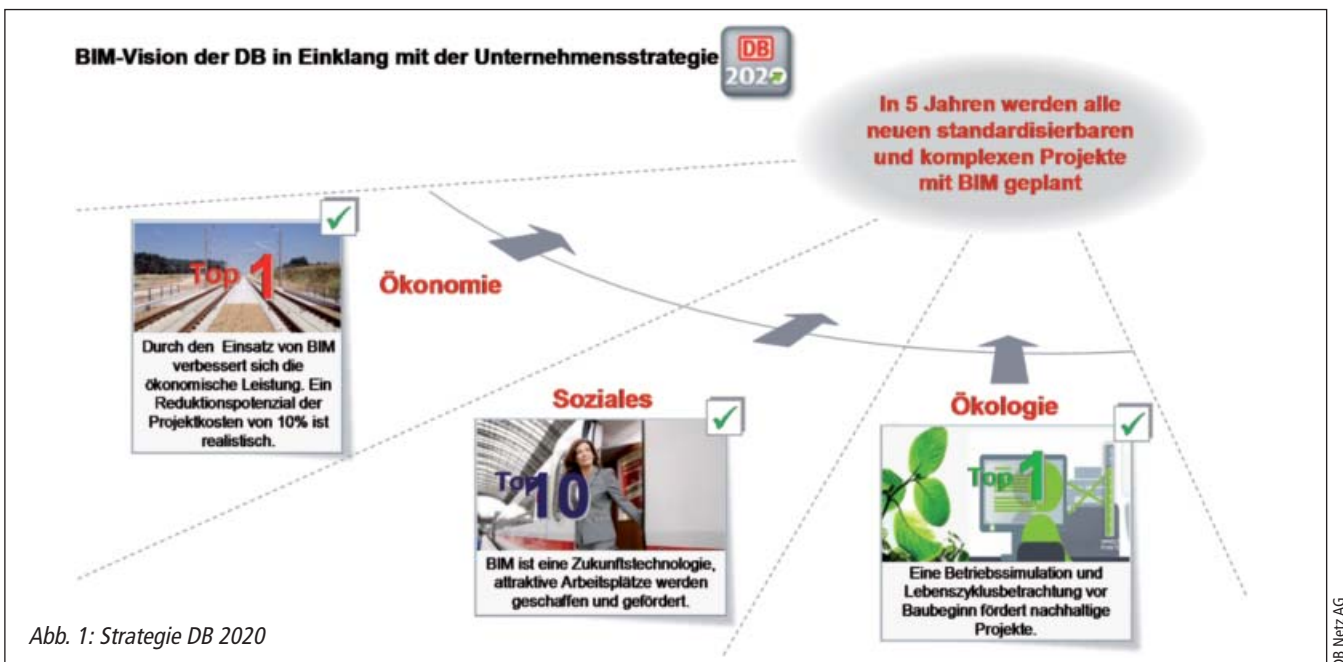
Die BIM-Methodik ermöglicht beziehungsweise beeinflusst positiv die Zielerreichung von mehreren anderen Empfehlungen. Durch den entstehenden Synergieeffekt erwartet die Reformkommission erhebliche Verbesserungen der Projektmanagementprozesse und Projektergebnisse. Dies kann heute schon durch Erfahrungen im internationalen Raum belegt werden. Hier wird BIM bereits mit Erfolg zur verbesserten Umsetzung einer integrierten und durchgängigen Wertschöpfungskette im Bauwesen eingesetzt.

Das BMVI hat am 15. Oktober 2014 vier Pilotprojekte für die Anwendung der Methode BIM benannt, darunter auch den Tunnel Rastatt. Die Pilotprojekte sollen hierbei konkret die Potenziale der digitalen Arbeitsweise testen. Eine vom BMVI eingesetzte wissenschaftliche Begleitung soll die Erkenntnisse zentral auswerten und Standards für den Einsatz von BIM bei großen Infrastrukturmaßnahmen in Deutschland ableiten.

Nach den ersten positiven Ergebnissen der Pilotprojekte, hat das BMVI seine Forderung bekräftigt, das digitale Planen und Bauen zum Standard für Großprojekte in Deutschland zu machen. Am 15. Dezember 2015 wurde vom BMVI deshalb der „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ herausgegeben, der kontinuierlich steigende Leistungsniveaus für eine schrittweise Implementierung von BIM in der Fläche bis zum Jahr 2020 beschreibt [2].

1.2 Die BIM-Methode bei Großprojekten der Deutschen Bahn

Die DB hat die Potenziale von BIM für ihr Projektgeschäft bereits früh erkannt, und sie war von Beginn an mit Experten an der Ausarbeitung der Empfehlungen der „Reformkommission Bau von Großprojekten“ beteiligt. Die Veränderungen durch die BIM-Einführung in Deutschland



sollen aktiv mitgestaltet werden, um den Anschluss an eine international anerkannte Zukunftstechnologie sicherstellen. Die Initiative des BMVI zur Umstellung auf digitale Arbeitsmethoden wird von der DB daher voll unterstützt. Dies zeigt sich unter anderem in der Bereitschaft, mit dem Tunnel Rastatt und mit der Filstalbrücke zwei der zur Zeit vier BIM-Pilotprojekte des BMVI zu stellen.

Mit Blick auf die Unternehmensstrategie DB 2020 kann BIM einen positiven Beitrag in den Bereichen Ökonomie, Ökologie und Soziales liefern (Abb. 1). Unter ökonomischen Gesichtspunkten kann BIM zu einer Senkung der Kosten im kompletten Lebenszyklus von Eisenbahninfrastrukturanlagen beitragen. Durch die Möglichkeit, Projekte vorab zu simulieren, werden nachhaltige Projektentscheidungen getroffen und die Ökologie gefördert. Zudem ist BIM eine innovative Technik, die attraktive Arbeitsplätze schafft und so soziale Aspekte unterstützt.

Als größter Betreiber von Schieneninfrastruktur in Europa ist für die DB Netz AG neben den Aspekten des digitalen Planens und Bauens der Betrieb die wichtigste Komponente. Aufgrund des prognostizierten Nutzens von BIM für die Projektmanagementprozesse und Projektergebnisse hat sich die DB Netz AG entschlossen, auf Grundlage der in den Pilotprojekten gewonnenen Erkenntnisse einen Standardprozess hierfür zu entwickeln. In fünf Jahren sollen dann alle neuen und komplexen Projekte mit BIM realisiert werden. Dies deckt sich zeitlich mit dem Zielrahmen aus dem Stufenplan des BMVI.

Bei der Abwicklung der Pilotprojekte arbeitet die DB Netz AG mit Baufirmen, Ingenieurdienstleistern, Softwareherstellern und Hochschulen zusammen, um in Ermangelung lokaler Standards einen Stand der Technik für den Einsatz von BIM im Infrastrukturbereich in Deutschland zu erarbeiten.

Die BIM-Dienstleistungen in der Planungsphase des Pilotprojekts Tunnel Rastatt erfolgten in enger Zusammenarbeit mit der ARGE Tunnel Rastatt. Die beiden ARGE-Partner *Ed. Züblin AG* und *Hochtief AG* verfügen in ihren Stammhäusern über kompetente Ingenieurdienstleister mit langjähriger Erfahrung mit BIM-basierter Projektbearbeitung. Zusätzlich wurde mit einem Ingenieurdienstleister, der sowohl

Erfahrung in der unternehmensweiten Implementierung der Methode BIM als auch in der Anwendung von BIM in internationalen Projekten hat, ein Beratervertrag geschlossen, um die DB Netz AG baurehenseitig mit Erfahrungswerten zu unterstützen. Das für die Architektur des bei der DB Netz AG eingesetzten Projektmanagementsystems verantwortliche Softwareunternehmen unterstützte bei Fragen rund um sein Softwareprodukt. Abgerundet wurden die Partnerschaften im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt durch eine Hochschulkooperation, im Zuge derer ein Interaktionsmodell für den TVM-Vortrieb beim Tunnel Rastatt entwickelt wurde, mit dem Setzungsprognosen erstellt und die Vortriebssteuerung optimiert werden können. Die Zusammenarbeit mit allen Partnern lief insgesamt sehr kooperativ und erfolgreich.

2 Das BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt

2.1 Gegenstand der Baumaßnahme

Der nördlichste Streckenabschnitt 1 (StA 1) der Ausbau und Neubaustrecke (ABS/NBS) Karlsruhe-Basel ist insgesamt 16 Kilometer lang und führt von Karlsruhe bis nach Rastatt Süd. Neben dem regionalen Nutzen durch den Kapazitätzuwachs bildet der Ausbau des StA 1 einen wichtigen Baustein für den Vollausbau der 182 Kilometer langen Gesamtmaßnahme ABS/NBS Karlsruhe-Basel und somit auch für den Ausbau des Rhine-Alpine-Corridors von Rotterdam nach Genua.

Herausragendes und größtes Einzelbauwerk des StA 1 ist der Tunnel Rastatt (Abb. 2) im Planfeststellungsabschnitt 1.2 (PfA 1.2). Dieser ist als Zweiröhrentunnel entsprechend den aktuellen Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes für den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln konzipiert. Das Bauwerk beginnt im Norden mit dem 800 Meter langen Trog Nord bei Ötigheim (Abb. 3). Der anschließende 4.270 Meter lange Tunnel unterquert das Stadtgebiet von Rastatt und endet im Süden mit dem 895 Meter langen Trog Süd im Bereich Niederbühl (Abb. 4). Die Streckengradienten werden zur Unterquerung des städtischen Bereichs am Beginn des nördlichen und südlichen Trogs abgesenkt. Das maximale Gefälle in diesem Bereich beträgt 12,5 Promille. Aufgrund der vorhandenen Topographie haben die Tunnel-

BIM – BUILDING INFORMATION MODELING

röhren eine maximale Überdeckung von rund 20 Metern. Mit den ersten vorlaufenden Baumaßnahmen wurde bereits im Spätsommer 2013 begonnen. Die Vergabe für das Hauptgewerk Tunnelrohnbau erfolgte im August 2014. Mit den Rohbauarbeiten wurde von der DB Netz AG die ARGE Tunnel Rastatt unter der technischen Leitung der Ed. Züblin AG und der kaufmännischen Federführung der Hochtief AG beauftragt. Mit dem Tunnelvortrieb wurde im Mai 2016 begonnen, geplantes Ende der Rohbauarbeiten ist Mitte 2018.

Für den bergmännischen Vortriebsbereich des Tunnels kommt auf Grund der vorherrschenden geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse nur eine geschlossene Bauweise mit Tunnelvortriebsmaschine infrage. Vom nördlichen Tunnelportal aus errichten zwei Tunnelvortriebsmaschinen im Hydroschildvortrieb die Röhren (das heißt, mit Vollschnittabbau und flüssigkeitsgestützter Ortsbrust). Die Schneidrä-

der der Vortriebsmaschinen haben jeweils einen Außendurchmesser von 10,97 Metern. Lieferant für die beiden jeweils rund 90 Meter langen und 1.750 Tonnen schweren Maschinen ist die Firma *Herrenknecht*.

Die Tunnelschalen der beiden Röhren besitzen einen Innendurchmesser von 9,6 Metern und bestehen aus jeweils siebenteiligen Tübbingringen (Uniringe) von ungefähr zwei Metern Breite. Die Tunnelschalen besitzen Konstruktionsdicken von 50 Zentimetern. Die Tübbinge werden in einem Betonfertigteilwerk in Süddeutschland hergestellt, per Zug nach Rastatt und von dort per LKW zur Baustelle geliefert. Während des Tunnelvortriebs fallen über 700.000 Kubikmeter Ausbruchsmasse an. Das Ausbruchmaterial wird über eine Förderleitung von den Maschinen zu einer Separieranlage im Bereich der Baustelleneinrichtungsfläche auf der Nordseite transportiert und dort für die Weiterverwendung sowie Deponierung aufbereitet.



Abb. 2: Übersichtslageplan zum PFA 1.2 mit dem Tunnel Rastatt

DB Netz AG



Abb. 3: Visualisierung des geplanten Tunnelportals „Nord“ bei Ötigheim

DB Netz AG



Abb. 4: Visualisierung des geplanten Tunnelportals „Süd“ bei Niederbühl

DB Netz AG

In manchen Vortriebsbereichen beträgt die Überdeckung der geplanten Tunnelröhren weniger als vier Meter zu bestehenden Bauwerken, querenden Gewässern oder vorhandener Infrastruktur. Überdies finden die Vortriebe unterhalb der Grundwasserlinie statt. Daher sind in einigen Vortriebsabschnitten Baugrundverbesserungen mittels Bodenvereisung (das heißt: Solevereisung) geplant. Das so aufbereitete und verfestigte Gebirge kann von den Tunnelvortriebsmaschinen durchfahren werden. Die Vereisungen übernehmen dabei temporär abdichtende und stabilisierende Funktionen während des Auffahrens der beiden Tunnelröhren sowie der Querschläge. Setzungen bleiben durch den langsamen Vereisungs und Auftauvorgang kontrollierbar und überschaubar. Der Tunnelvortrieb im Bereich des FFH-Gebiets Federbachniederung kann zudem durch die Vereisungsmethode mit einem schonenden Eingriff in das Habitat realisiert werden [3], [5] (FFH = Fauna-Flora-Habitat, gemäß der Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 92/43/EWG)).

2.2 Gegenstand des BIM-Pilotprojektes





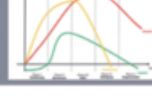
Das Pilotprojekt umfasste bisher die Umsetzung der Methode BIM für alle Leistungen der Vergabeeinheit „Rohbau Tunnel Rastatt“. Die Vergabeeinheit beinhaltet hierbei im Einzelnen folgende Bauwerke:

- ein zweiröhriges Tunnelbauwerk (4.270 Meter) in geschlossener Bauweise mit Tunnelvortriebsmaschinen und einschaligen Tübbingringen,
- acht Rettungswege in Form von Querverbindungen zwischen den beiden Tunnelröhren (alle 500 Meter),
- zwei Tunnelportale mit Mikrodruckwellenbauwerken gegen „Sonic-Boom-Effekt“,
- zwei Trogbauwerke (800 und 895 Meter) im Anschluss an die beiden Tunnelportale,
- zwei Rettungsplätze an beiden Tunnelenden mit einer Fläche von jeweils 1.500 Quadratmetern,
- einen Versorgungsschacht am tiefsten Punkt des Tunnels,
- eine Straßenüberführung (Hans-Thoma-Straße),
- eine kombinierte Eisenbahn-/Wirtschaftswegüberführung (Ooser Landgraben).

Aufgrund des Pilotcharakters wurden alle erforderlichen BIM-Dienstleistungen zusätzlich zu den konventionellen Prozessen in der Planungs- und Ausführungsphase erbracht.

2.3 Ziele des BIM-Pilotprojektes

Wie hoch die Erwartungen an die Einführung digitaler Planungsme-

Mehrwert im Projekt durch eine BIM-basierte Arbeitsweise	
Verbesserung	Detaillierung
 <p>Bessere Planungsqualität</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kollisionsprüfung und Planungscoordination durch integrierte Gesamtplanung aller Gewerke in einem 3D-Modell ▪ Verbesserte Zusammenarbeit zwischen den Fachplanern durch früheres paralleles Planen ▪ Umfängliche Variantenvergleiche in frühen Phasen als Entscheidungsgrundlage
 <p>Akzeptanzsteigerung Infrastrukturprojekte</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ partnerschaftliche Projektabwicklung und verbesserte Kommunikation durch modellbasierte Zusammenarbeit und Vernetzung aller Projektbeteiligten ▪ Visualisierungen zum besseren Projektverständnis in der Öffentlichkeit ▪ Transparenz von Entscheidungen aufgrund einer einheitlicher Datenbasis
 <p>Höhere Terminalsicherheit/ Effizienzsteigerung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abgestimmte Bauablaufplanung durch integrierte Terminplanung in einem 4D-Modell ▪ Reduzierung von Änderungen in der Ausführungsphase durch Bauablaufsimulationen ▪ Steigerung der Effizienz durch konsistente Datenhaltung und Erhöhung des Automatisierungsgrads
 <p>Höhere Kostensicherheit</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierung von Risiken und Nachträgen durch verbesserte Planungsqualität ▪ höhere Genauigkeit bei der Kostenplanung durch belastbare Eingangsdaten ▪ Vorausschauende Projektsteuerung durch Eamed-Value-Betrachtungen und Prognosen ▪ Modellbasierte Rechnungsstellung anhand von nachvollziehbaren Leistungsmeldungen
 <p>Bessere Lebenszyklusbetrachtungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebssimulation, LCC-, Energie- und CO₂-Bilanzanalysen bereits während der Planungsphase ▪ Optimierte Instandhaltungsplanung durch digitale Bauakte und belastbare Bestandsdaten

DB Netz AG

Abb. 5: Erwarteter Mehrwert durch konsequente Anwendung von BIM in Infrastrukturprojekten

thoden sind, geht aus dem „Aktionsplan Großprojekte“ und dem „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ [2] des BMVI hervor. Auch bei der DB Netz AG wurden Überlegungen angestellt, welcher Nutzen sich aus der Projektbearbeitung mit BIM ergeben kann. Übergeordnet lassen sich daraus folgende Themenfelder nennen (Abb. 5):

- Bessere Planungsqualität,
- Akzeptanzsteigerung,
- höhere Terminalsicherheit/Effizienzsteigerung,
- höhere Kostensicherheit,
- bessere Lebenszyklusbetrachtung.

Zu Beginn eines jeden Infrastrukturprojektes sind in der Regel spezifische BIM-Ziele festzulegen. Als übergeordnetes Ziel im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt wurde der Aufbau eines Projektsteuerungssystems mit Verknüpfungen von Planungs-, Zeit und Kostendaten zu einem 5D-Modell gesetzt. Hiermit soll vor allem eine höhere Kosten- und Termintreue in der Ausführungsphase erreicht werden. Aus dieser Prämisse wurden weitere Detailziele und Maßnahmen zur Zielerreichung abgeleitet, die im BIM-Projektabwicklungsplans (PAP) niedergeschrieben wurden und so die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens bilden.

3 Die BIM-Methode in der Planungsphase

3.1 Allgemeines

Seit April 2016 ist die Planungsphase des BIM-Pilotprojekts Tunnel Rastatt abgeschlossen. Ihr Hauptbestandteil war die 3D-, 4D- und 5D-Modellierung des Tunnelrohbaus auf Grundlage der bestehenden Ausführungsplanung. Die nachfolgend näher beschriebenen BIM-Anwendungsfälle konnten in der Planungsphase erfolgreich getestet werden.

3.2 Visualisierung (3D-Echtzeitmodell)

Direkt nach der Benennung als BIM-Pilotprojekt im Oktober 2014 wurde für den Tunnel Rastatt ein Visualisierungsmodell auf Grundlage der bereits abgeschlossenen Entwurfsplanung erstellt. Das Visualisierungsmodell wurde mit der Software *WorldInsight* erstellt. Die Software basiert auf einer Engine für Computerspiele und ist in der Lage, große Projektareale sehr leistungsstark und real in einer 3D-Umgebung darzustellen. Dies macht es möglich, in Echtzeit durch die Modelle zu navigieren und beliebige Blickwinkel auf den Projektbereich einzunehmen (Abb. 6). Diese Art von Visualisierungsmodellen eignet sich daher besonders für jegliche Art der Kommunikation im Projekt und für die Beteiligung von Stakeholdern. Beteiligte und Betroffene bekommen so ein realistisches Bild von der Planung, beispielsweise während der frühen Öffentlichkeitsbeteiligung. Besonders hervorzuheben ist außerdem, dass es möglich ist, Bestandsbebauung anhand von georeferenzierten Fotos teilautomatisiert in die Modelle zu übernehmen. Im Pilotprojekt Tunnel Rastatt war es so möglich, die Bestandsbebauung im Einflussbereich des Tunnels innerhalb weniger Wochen aufzunehmen und zu modellieren.

3.3 BIM-Projektabwicklungsplan (BIM-PAP)

Im März 2015 wurde ein Zusatzvertrag mit der ARGE Tunnel Rastatt über den Großteil der BIM-Dienstleistungen in der Planungsphase geschlossen. Aufgrund der Neuartigkeit von digitalen Arbeitsmethoden existierten noch keine einheitlichen Richtlinien oder Regelprozesse zur BIM-basierten Abwicklung eines Projekts. Deshalb war ein projektspezifisches Handbuch für die Anwendung von BIM zu erarbeiten. Dieser Projektabwicklungsplan (PAP) wurde hierbei zu Beginn gemeinschaftlich durch Auftraggeber und Auftragnehmer erstellt und wurde bei Bedarf im Projektverlauf fortgeschrieben. Der PAP beschreibt und regelt hierbei beispielsweise die folgenden Inhalte:

- BIM-Ziele,
- BIM-Anwendungsfälle,
- Lieferobjekte und Liefertermine,
- Modellinhalte und Modellierungsrichtlinien,



Quelle: DB Netz AG

Abb. 6: Visualisierungsausschnitt Tunnelportal „Süd“ bei Niederbühl

- Rollen und Verantwortlichkeiten,
- Rechte,
- Qualitätsstandards und -sicherung,
- Hard- und Softwareeinsatz,
- Datenformate, -austausch und -management.

3.4 Arbeits- und Informationsplattform (Dokumentenmanagement)

Ein Vorteil bei der Anwendung von BIM ist die verbesserte Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten und der Zugriff auf den gleichen Informationsstand. Zu diesem Zweck ist zu Beginn eines BIM-Projekts eine gemeinsame Arbeits- und Informationsplattform einzurichten. Beim Pilotprojekt Tunnel Rastatt hatte man sich, zwecks Ablage der Eingangsdaten zur Modellierung sowie der Lieferobjekte, für die Nutzung des bestehenden Planmanagementsystems der Ausführungsplanung *FusionLive* entschlossen. Hierbei handelte es sich vorerst nur um eine gemeinsame Informationsplattform für alle am Planungsprozess Beteiligten. Eine gemeinsame Arbeitsplattform konnte im Zuge der Pilotierung nur für die 5D-Modellierung, die mit der Software *RIB iTWO 5D* erfolgte, realisiert werden. Für die gemeinsame Projektbearbeitung wurde die Software zentral und über das Internet zugänglich bereitgestellt. Die Daten lagen hierbei auf einer 3D-beschleunigten Terminalserverumgebung in einem Rechenzentrum. Zukünftig wird angestrebt, eine einheitliche, gemeinsame Datenumgebung zu implementieren, auf der alle BIM-Anwendungen dargestellt werden und die für alle Projektpartner mit verschiedenen Nutzerprofilen zugänglich ist. Die Konzeption und die Prinzipien sollen sich hierbei an dem international verwendeten *Common Data Environment* (CDE) orientieren, welches mit der gerade in Erarbeitung befindlichen ISO 19650 Eingang in die Normung findet.

3.5 3D-Modell (Geometrie und Attribute)

Basierend auf den oben beschriebenen Grundlagen wurde im Juni 2015 mit der Erstellung der ersten 3D-Teilmodelle (Abb. 7) begonnen. Die detaillierte 3D-Modellierung stellt hierbei ein zentrales Element bei der BIM-basierten Projektabwicklung dar, da die Ergebnisse die Grundlage für alle weiteren BIM-Anwendungsfälle in der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphase bilden.

Die Modellierung der 3D-Teilmodelle erfolgte in *Autodesk Revit* (Bauwerksmodelle) und in *Autodesk Civil 3D* (Bodenmodelle). In Revit wurden bei der Modellierung unterschiedliche Ansätze verfolgt. Bei der Modellierung von Standardbauteilen konnte beispielsweise auf reguläre Familien zurückgegriffen werden, die in Revit bereits vordefiniert sind, wie zum Beispiel Wände, Geschossdecken oder Fundamente. Für komplexere Bauteile bietet Revit die Möglichkeit, eigene Projektfamilien zu definieren. Dies erfolgte im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt bei-

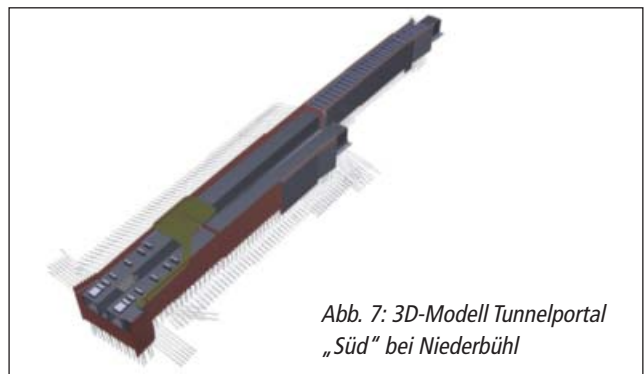


Abb. 7: 3D-Modell Tunnelportal „Süd“ bei Niederbühl

Quelle: DB Netz AG

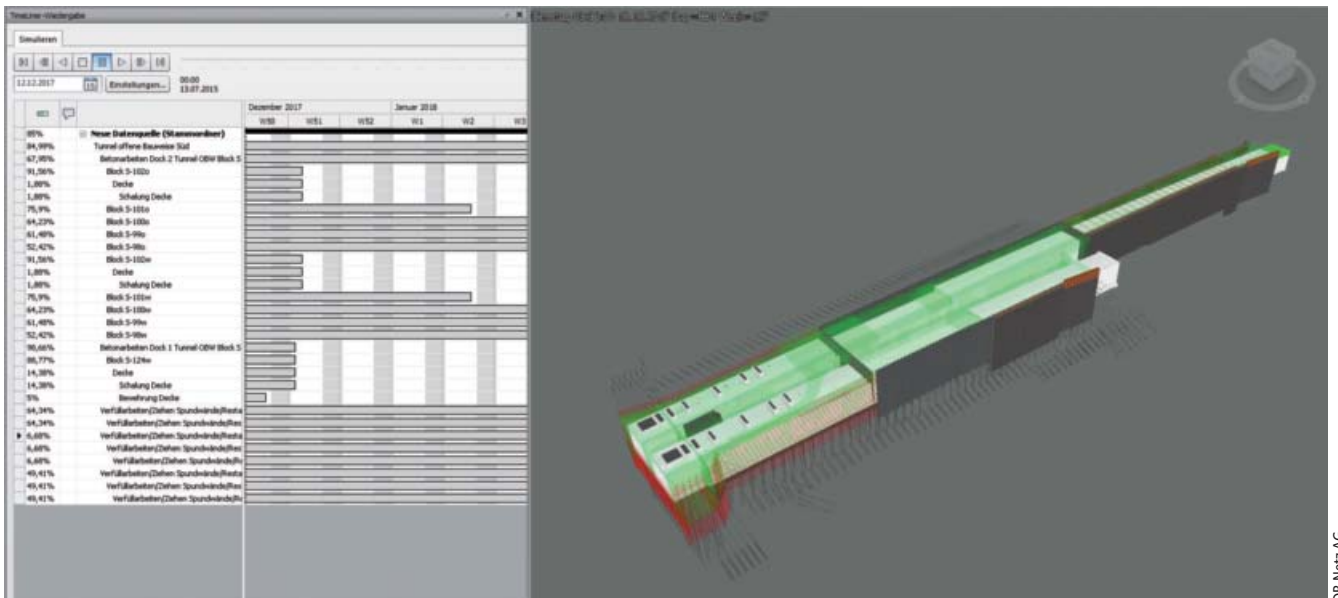


Abb. 8: 4D-Modell Tunnelportal „Süd“ bei Niederbühl

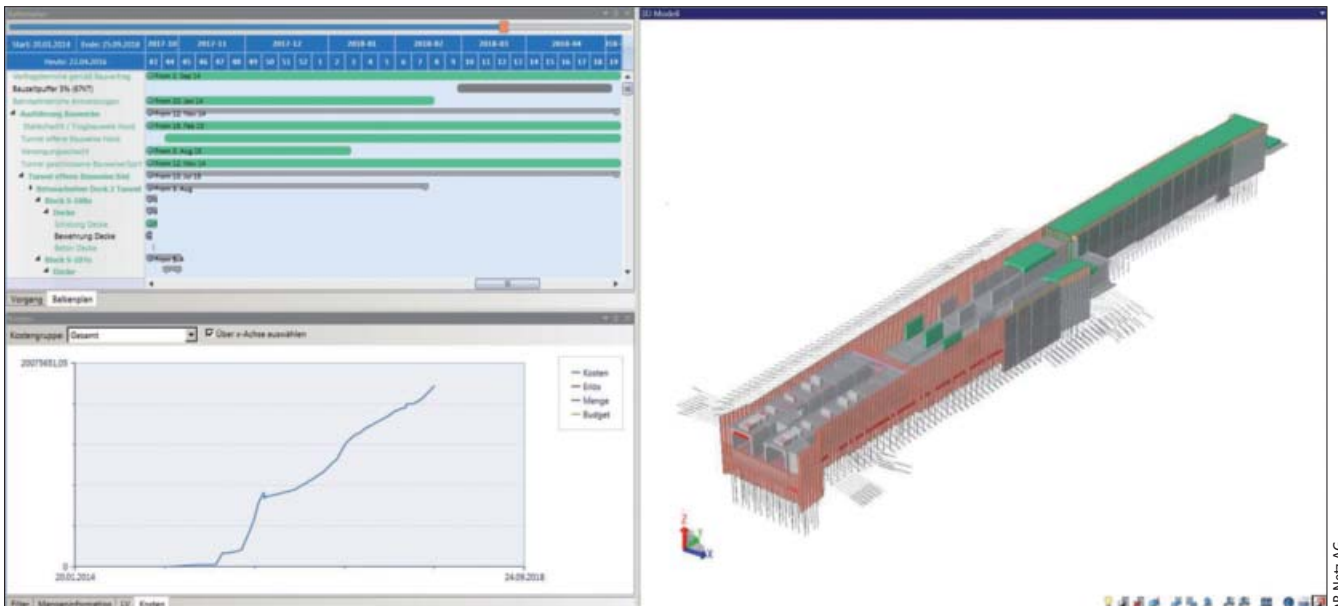


Abb. 9: 5D-Modell Tunnelportal „Süd“ bei Niederbühl

spielsweise für die Flügelwände der Überführungsbauwerke. Darüber hinaus wurde im Projekt auf den Bauteilkatalog *Tiefbau* der Firma Züblin zurückgegriffen. In diesem konzerninternen Bauteilkatalog für Revit waren bereits vordefinierte Familien für Spundwände, Schlitzwände, Schlitzwandanker, Mikrobohrpfähle (*GEWI-Pfahl-System*), Bohrpfähle und Bohrpfahlwände vorhanden. Neben den Modellierungsregeln umfasst dieser Bauteilkatalog auch bauteilspezifische Attribute. Diese sind zum Teil vorausgefüllt, geometrieabhängige Attribute werden beim Modellieren automatisch gefüllt.

Die Modellierung anhand von Familien stellt für künftige BIM-Projekte einen großen Optimierungshebel dar. Durch die Vorgabe von spezifischen Bauteilkatalogen kann ein gewisser Standardisierungsgrad erreicht werden, der mit einer Zeiteinsparung und mit der Reduzierung der Fehleranfälligkeit einhergeht. Die Erfahrungen aus dem BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt werden daher genutzt, um mit der Erstellung eigener Bauteilkataloge für die DB Netz AG zu beginnen.

Alle 3D-Teilmodelle wurden nach Abschluss der Modellierung in einem konsolidierten 3D-Gesamtmodell für den Tunnelrohbau zusammengeführt. Bei der Zusammenführung der 3D-Teilmodelle wurden Kollisionsprüfungen mit anschließender Planungscoordination zur Beseitigung der festgestellten Konflikte durchgeführt. Die im Zuge dieser Kollisionsprüfungen festgestellten wenigen Konflikte im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt, wurden zusammen mit den Ausführungsplanern besprochen und für eine Überarbeitung der konventionellen Planung berücksichtigt.

Für zukünftige BIM-Projekte sieht die DB Netz AG in der Kollisionsprüfung zwischen den Teilmodellen der einzelnen Fachplaner und dem anschließenden Planungskoordinationsprozess einen großen Optimierungshebel zur Erstellung eines weitestgehend konfliktfreien 3D-Gesamtmodells. Das Risiko von vergessenen Leistungen oder Planänderungen, die während der Bauphase zu Nachträgen führen, kann so bereits in der Planungsphase minimiert werden.

BIM – BUILDING INFORMATION MODELING

Durch die Verwendung parametrischer, objektorientierter Modellierungssoftware ist es möglich, aus den koordinierten 3D-Modellen bei Bedarf jederzeit 2D-Pläne zu extrahieren. Die 2D-Pläne können dann als Grundlage der weiteren Planungsdetaillierung und für die Erstellung von visuell angereicherten Plänen herangezogen werden.

3.6 4D-Modell (Baublauf)

Basierend auf den 3D-Teilmodellen wurden im Pilotprojekt Tunnel Rastatt im nächsten Schritt 4D-Teilmodelle entwickelt, um die geplanten Aktivitäten des Baublaufplans zu visualisieren. Anhand von 4D-Teilmodellen sollen während der Ausführungsphase Soll/Ist-Vergleiche des aktuellen Baufortschritts durchführbar sein. Um neben der 4D-Darstellung, die auch aus *iTWO 5D* hervorgeht und im nächsten Absatz ausführlich beschrieben wird, ein weiteres Softwareprodukt zu pilotieren, erfolgte die Erstellung der 4D-Teilmodelle zusätzlich mit *Autodesk Navisworks* (Abb. 8). Die 3D-Teilmodelle wurden hierbei als natives *Revit*-Format und der Baublaufplan im *Microsoft Project-Format* direkt in *Navisworks* importiert. Damit eine effektive 4D-Modellentwicklung möglich ist, muss gewährleistet sein, dass die 3D-Modellstruktur eine kompatible Granularität hinsichtlich relevanter Vorgänge im Baublaufplan aufweist. Dies ist bereits bei der Entwicklung der Modellstruktur im Vorfeld zu beachten und zusammen mit den Modellierungsrichtlinien im PAP festzuschreiben. Alle Verknüpfungen sind über eine eindeutige Zuordnung zwischen Objekt-ID (3D-Modell) und Vorgangs-ID (Baublaufplan) zu dokumentieren. Um die geforderte Granularität zwischen der 3D-Modellstruktur und dem 4D-Modell herzustellen, waren einige Vorgänge im Baublaufplan weiter zu untergliedern, zusammenzufassen oder Vorgangsdauern linear auf 3D-Objekte zu verteilen.

3.7 5D-Modell (Kostenverlauf)

Den letzten Schritt der Modellierung stellt die 5D-Modellerstellung dar. Die Entwicklung von digitalen 5D-Teilmodellen ist erforderlich, um den Ablauf der Baumaßnahme inklusive der zugehörigen Kostenprognosen zu visualisieren (Abb. 9). Während der Ausführungsphase können anhand der 5D-Teilmodelle Soll/Ist-Vergleiche des aktuellen Kostenverlaufs durchgeführt werden. Für die Erstellung der 5D-Teilmodelle in *iTWO 5D* werden die 3D-Teilmodelle über die sogenannte Ausstattung mit dem Leistungsverzeichnis verknüpft.

Im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt erfolgte dies über *cpifit-Matchkeys*. Mittels der Matchkeys erfolgt eine objektorientierte Erstellung einer Teilmenge von Objekten, zum Beispiel aller Stahlbetonwände in Ortbetonbauweise. Auf eine mit einem Matchkey erzeugte Teilmenge werden dann die erforderlichen Mengenabfragen formuliert. In jede Mengenabfrage muss die entsprechende Position aus dem Leistungsverzeichnis eingefügt werden, damit der Position nur die Objekte aus den richtigen Teilmodellen zugeordnet werden. Mit den unterschiedlichen Mengenabfragen können dann an einem Objekt verschiedene Mengen berechnet werden, wie zum Beispiel, in Bezug auf das oben genannte Beispiel der Stahlbetonwände, die Betonmenge in Kubikmeter oder der Bewehrungsstahl in Tonnen. Die Mengen können in *iTWO 5D* direkt aus der Geometrie des Objekts abgeleitet (wie bei der Betonmenge, die sich direkt aus der Kubatur des Objekts ergibt) oder mit Werten aus den Attributen berechnet werden (wie beim Betonstahl, der nicht modelliert wurde, sondern pro Bauteil in den Attributen eine Angabe zum Bewehrungsgrad enthält). Nach der Mengenberechnung folgt in *iTWO 5D* die Verknüpfung der Leistungspositionen mit den Vorgängen im Baublaufplan über das sogenannte Vorgangmodell.

Die beschriebene Vorgehensweise zur 5D-Modellierung zeigt, dass auch hier einem so eindeutig wie möglichen Bezug zwischen den Ob-

jekten aus dem 5D-Modell und den relevanten Positionen aus dem Baublaufplan sowie dem Leistungsverzeichnis eine hohe Bedeutung zukommt.

Da im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt bereits ein bepreistes Leistungsverzeichnis vorlag, das auf die Modellobjekte umgelegt werden musste, waren einige Positionen im Leistungsverzeichnis weiter zu untergliedern, zusammenzufassen oder Pauschalpositionen linear auf 5D-Objekte zu verteilen. Für zukünftige BIM-Projekte ist eine engere Orientierung der Leistungspositionen an der Modellstruktur anzustreben, um eine möglichst einfache Zuordnung vornehmen zu können. Die optimale Lösung wäre eine standardisierte Erstellung der Leistungsverzeichnisse direkt aus den Modellen, sodass der Bezug zwischen Modellobjekten und Leistungspositionen von vornherein eindeutig bestimmt ist.

Denkt man diesen Schritt konsequent weiter, könnte zukünftig für BIM-Projekte, für die eine durchgängig modellbasierte Planung vorliegt, auch der komplette Ausschreibungs- und Vergabeprozess der Bauleistungen modellbasiert durchgeführt werden. Zur Ausschreibung würden dann mit einem Modell verknüpfte Leistungspositionen kommen, die vom Nachunternehmer während der Angebotsphase zu bepreisen sind. Die Auswertung der Angebote kann in einer modellorientierten AVA-Software, wie beispielsweise *iTWO 5D*, erfolgen. Nach Annahme des Angebots durch den Auftraggeber könnte das bepreiste Modell als Bausoll im Vertrag vereinbart und während der Ausführungsphase vom Auftraggeber als Grundlage für die 5D-Projektsteuerung genutzt werden. Dies ist eine der Ideen, die die DB Netz AG derzeit im Zuge der Entwicklung eines durchgängigen BIM-Referenzprozesses verfolgt.

3.8 Interaktionsmodell (Prozessdatenmanagement)

Um auch bei der Steuerung der maschinellen Tunnelvortriebe von digitalen Arbeitsmethoden profitieren zu können, wurde das 3D-Modell zusätzlich mit einem hybriden Baugrunddatenmodell verknüpft. So können Deformationsprognosen an der Oberfläche in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern der Schildfahrt, wie Vortriebsgeschwindigkeit und Stützdruck, ermittelt und dargestellt werden. Zur Realisierung dieser Zusatzleistung hat die DB Netz AG einen Kooperationsvertrag mit dem Sonderforschungsbereich 857 *Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau* unter Leitung der Ruhr-Universität Bochum abgeschlossen. Die im Interaktionsmodell ermittelten Setzungsprognosen können während des Vortriebs kontinuierlich anhand der gemessenen Werte aktualisiert und neu prognostiziert werden. Die Erkenntnisse können so aktiv zur Umsetzung eines setzungsarmen Vortriebs genutzt werden. Die DB Netz AG strebt an, dass die Forschungsergebnisse für die Anwendung in zukünftigen BIM-Projekten in Standards überführt werden können.

4 Ausblicke

4.1 Die BIM-Methode in der Ausführungsphase

Mit Abschluss der Planungsphase stehen der DB Netz AG erstmals vollwertige 5D-Teilmodelle zur Verfügung, die Kosten-, Termin- und Leistungswerte mit Bezug zur Bauwerksgeometrie innerhalb einer Anwendung beinhalten. Durch dieses starke Werkzeug und den Einsatz moderner Baustellenlogistik verspricht man sich in der Ausführungsphase eine wesentliche Steigerung der Transparenz und Effizienz in der Projektsteuerung und damit verbunden mehr Kosten- und Terminalsicherheit.

Konkret ist im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt geplant, die Bauüberwacher mit Tablets auszustatten, die einen direkten Zugriff auf die Modellstruktur erlauben. Leistungswerte können noch auf der Baustelle objektbezogen ins Modell übernommen werden und stehen für Auswertungen der Bau- und Kostenfortschritte zur Verfügung.

Die Baufortschrittskontrolle soll hierbei durch Soll/Ist-Vergleiche in den 4D-Teilmodellen erfolgen, die Kostenverläufe sollen in den 5D-Teilmodellen dargestellt werden. Durch die Zuordnung der Leistungswerte der Baustelle zu den entsprechenden Objekten und die integrierte Datenhaltung im 5D-Modell kann eine stichtaggenaue Earned-Value-Betrachtung erfolgen. Anhand der Modelle können Bau- und Kostenverläufe simuliert und Prognosen erstellt werden. Drohende Abweichungen im Projektverlauf können auf diese Weise frühzeitig erkannt und rechtzeitig gegengesteuert werden.

Alle generierten Modelldaten sollen für ein standardisiertes Berichtswesen aus BIM genutzt werden. Hierfür definiert die DB Netz AG derzeit Standardformate, die automatisch mit den Modellinformationen gefüllt werden sollen. Auch hier steht der Gedanke im Vordergrund, dass alle Projektbeteiligten ihre Informationen auf Grundlage der gleichen abgestimmten Datenbasis erhalten. So sind alle Entscheidungen transparent und nachvollziehbar. Je nach Absprache zwischen den Projektbeteiligten kann die native Datenbasis auch durch einen teilweisen oder vollständigen Zugriff aller Beteiligten direkt auf die Modelldaten zugänglich gemacht werden, was die partnerschaftliche Projektbearbeitung zusätzlich fördern würde.

Wie bereits beschrieben, können strukturierte Modelle neben der konventionellen Mengenermittlung auch automatisiert für eine objektbasierte Mengenermittlung verwendet werden. Im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt wurde dies bereits genutzt, um die ursprünglich ausgeschriebenen Mengen mit den modellbasierten Mengen und den tatsächlich anfallenden Mengen zu vergleichen. In Kombination mit der objektbasierten Pflege der Leistungswerte von der Baustelle, können zudem die fertiggestellten Bauteile mit den zugehörigen Mengen und Kosten ausgewertet und eine modellbasierte Rechnung erstellt werden. Im Pilotprojekt ist geplant, die tatsächlich vorgelegten Rechnungen stichprobenartig mit modellbasierten Rechnungen zu verifizieren.

4.2 Die BIM-Methode in der Betriebsphase

Ein generelles Ziel der Anwendung von BIM ist die Erstellung genauer Bestandsunterlagen als Grundlage für den Betrieb und die Instandhaltung von Anlagen. Im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt ist daher geplant, alle relevanten Änderungen während der Planungs- und Ausführungsphase kontinuierlich in das 5D-Modell zu übernehmen. Spätestens zum Abschluss der Ausführungsphase sollen alle Planungsänderungen, die Einfluss auf die Geometrie haben, nachgezogen und alle Attribute, die Relevanz für den Betrieb der Anlage haben, im 3D-Bestandsmodell gepflegt sein.

Solange BIM-Projekte nicht vollständig auf eine rein modellbasierte Arbeitsweise umgestellt sind, sollen außerdem alle relevanten Planungsdokumente mit dem 3D-Modell verknüpft werden. Hierzu zählen unter anderem 2D-Pläne und andere während der Detaillierung oder Bauausführung anfallende Planungsdokumente. Insbesondere die Pläne werden durch die Verknüpfung mit dem 3D-Modell automatisch verortet und erleichtern die erforderliche Projektdokumentation.

Während der Ausführungsphase soll im BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt zudem eine Verknüpfung der Baustellendokumentation (Bautau-

gebuch, Abnahmeprotokolle, Mängelbeseitigung, etc.) sowie allen anderen relevanten Informationen für Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Anlage mit dem 3D-Bestandsmodell erfolgen. Am Ende der Ausführungsphase soll als Ergebnis eine digitale Bauakte zur Verfügung stehen, auf deren Grundlage der Betrieb der Anlage durchgeführt werden kann. Ziel ist es, durch eine systemseitige Verarbeitung große Datenmengen übersichtlich und verständlich nutzbar zu machen und darüber hinaus allen Projektbeteiligten als Projektdokumentation zur Verfügung zu stellen.

Mit Ausblick auf die Betriebsphase könnten anhand des 3D-Bestandsmodells zukünftig beispielsweise virtuelle Begehungen der Anlage erfolgen. In Zusammenhang mit den Informationen aus der digitalen Bauakte könnte der Betreiber so seine Wartungs- und Instandhaltungsplanung optimieren. Die Durchführung aller Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen sollte dann modellbasiert geplant und durchgeführt werden. Durch die anschließende Modellaktualisierung wäre eine kontinuierliche Bestandsdatenaktualisierung gewährleistet und der Kreislauf der Nutzung eines durchgängigen Datenmodells wäre geschlossen.

5 Zusammenfassung und Fazit

Beim BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt ist die Planungsphase seit April 2016 abgeschlossen. Der DB Netz AG stehen seitdem erstmalig vollwertige 5D-Teilmodelle für den Rohbau eines komplexen Tunnelprojekts auf einer virtuellen Arbeitsumgebung zur Verfügung. In diesen Modellen werden derzeit insgesamt 35.000 Modellelemente ausschließlich für den Rohbau verwaltet, welche mit 5.000 Aktivitäten des Terminprogramms und 5.500 Positionen des Leistungsverzeichnisses verknüpft sind. Bereits das Erreichen dieses Meilensteins und der damit einhergehende Nachweis, dass das Abbilden dieser komplexen Modellstruktur möglich ist, stellt einen ersten Erfolg dar und liefert ein wichtiges Signal für die standardisierte Anwendung von BIM bei Großprojekten im Infrastrukturbereich.

Im weiteren Verlauf des BIM-Pilotprojekts Tunnel Rastatt ist es wichtig, die anvisierten Ziele für die Ausführungs- und Betriebsphase zu erreichen. Mit den erstellten 5D-Modellen verfügt man über ein starkes Werkzeug zur Steuerung der Bauausführung. Für eine effektive Steuerung sind die BIM-Prozesse für die Ausführungsphase in die klassischen Bauabläufe zur Herstellung des Tunnel Rastatt zu integrieren, sodass die Baustelle bereits heute vom Einsatz der neuen digitalen Arbeitsmethoden profitieren kann. Die DB Netz AG schult hierbei vermehrt eigene Mitarbeiter im Umgang mit BIM und setzt diese auf der Baustelle ein, um den Anschluss an die neue Technologie nicht zu verpassen.

Die bisherigen Ergebnisse dieses Pilotprojekts haben gezeigt, dass viele Lösungen noch auf Entscheidungen im Einzelfall beruhen. Zur Ableitung von Handlungsanweisungen aus den Erfahrungswerten des Pilotprojekts, wurden innerhalb der DB daher Initiativen zur Standardisierung gegründet. Um die bisher gemachten Erfahrungswerte zu vertiefen und weitere Erkenntnisse im Umgang mit BIM zu sammeln, führt die DB Netz AG zusätzliche BIM-Pilotprojekte durch. Die Auswahl weiterer Pilotprojekte wurde hierbei so getroffen, dass der Erkenntnisgewinn aus allen Pilotprojekten eine Einschätzung des Optimierungspotenzials über den kompletten Lebenszyklus von Infrastrukturanlagen zulässt.

Auf Bundesebene hat das BMVI mit der Herausgabe des „Aktionsplans Großprojekte“, der den Einsatz digitaler Arbeitsmethoden als

eindeutige Handlungsempfehlung vorsieht, und dem „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“, der eine schrittweise Umstellung auf digitale Arbeitsmethoden beschreibt, einen Impuls zur Implementierung von BIM gesetzt. Zusätzlich fördert das BMVI Pilotprojekte finanziell und lässt diese wissenschaftlich begleiten und auswerten, um die digitalen Arbeitsmethoden mit den konventionellen Planungs- und Projektsteuerungsprozessen zu vergleichen sowie Standards für zukünftige Projekte mit BIM ableiten zu können.

Die DB hat den Nutzen von BIM früh erkannt und sieht darin eine Chance, ihr Projektgeschäft nachhaltig zu verbessern. Die DB hat eine konzerninterne Zielstellung zur Implementierung von BIM formuliert und verfolgt diese konstant. Sie nimmt daher eine Treiberrolle bei der Umsetzung der Initiative des BMVI zur Einführung digitaler Arbeitsmethoden ein und eine Pionierrolle bei der Vertretung der Bauherren und Betreiberinteressen. Der DB ist hierbei bewusst, dass sich der prognostizierte Nutzen durch die Anwendung von BIM nur einstellen wird, wenn eine ganzheitliche Implementierung von BIM unter Einbeziehung aller Projektbeteiligten gelingt.

Mit der konsequenten Weiterführung der beiden laufenden Pilotprojekte Tunnel Rastatt und Filstalbrücke sowie der Bereitschaft weitere BIM-Pilotprojekte in ihrem Verantwortungsbereich durchzuführen, signalisiert die DB, dass sie bereit ist, den eingeschlagenen Weg weiterzuverfolgen und ihren Beitrag zur Umsetzung des „Stufenplans Digitales Planen und Bauen“ des BMVI zu leisten.

6 Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, BMVI (2015): Reformkommission Bau von Großprojekten, Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient (Endbericht), <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.html>
- [2] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, BMVI (2015): Stufenplan Digitales Planen und - Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.html?nn=12830>
- [3] Grundhoff, T., Klar, S. B. (2015): ABS/NBS Karlsruhe-Basel – Realisierung des Streckenabschnitts 1 und Besonderheiten beim Bau des Rastatter Tunnels. Geomechanics and Tunneling 2/2015, Volume 8, S. 155-168, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [4] Ehrbahr, H., Grundhoff, T., Klar, S. B. (2016): Der Tunnel Rastatt – Ein Schlüsselprojekt in vieler Hinsicht. Swiss Tunnel Congress 06/2016, STS Swiss Tunnelling Society, Esslingen (Schweiz)
- [5] Geiger, M., Kemmler, M., Wehner, J., Grundhoff, T.; Neher, H., Schaab, A., Orth, W., Wehrmeyer, G. (2017): Tunnel Rastatt: Schildvortriebe in Kombination mit Baugrundvereisungen. Taschenbuch für den Tunnelbau 2017, S. 61-107, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin

HERAUSGEBER

Bundesvereinigung der Prüfengeieure für Bautechnik e.V.
Dr.-Ing. Markus Wetzel, Kurfürstenstr. 129, 10785 Berlin
E-Mail: info@bvpi.de, Internet: www.bvpi.de

ISSN 1430-9084

REDAKTION

Redaktionsbüro Werwath, Drachenfelsstraße 39 A, 53604 Bad Honnef-Rhöndorf
Tel.: 0 22 24/9 69 79 00, E-Mail: RedaktionsBueroWerwath@t-online.de

TECHNISCHE KORRESPONDENTEN

Baden-Württemberg: Dr.-Ing. Frank Breinlinger, Tuttlingen

Bayern: Dr.-Ing. Markus Staller, Gräfelfing

Berlin: Dipl.-Ing. J.-Eberhard Grunenberg, Berlin

Brandenburg: Prof. Dr.-Ing. Gundolf Pahn, Herzberg

Bremen: Dipl.-Ing. Ralf Scharmann, Bremen

Hamburg: Dipl.-Ing. Horst-Ulrich Ordemann, Hamburg

Hessen: Dr.-Ing. Ulrich Deutsch, Frankfurt am Main

Mecklenburg-Vorpommern: Dr.-Ing. Günther Patzig, Wismar

Niedersachsen: Dipl.-Ing. Wolfgang Wienecke, Braunschweig

Nordrhein-Westfalen: Dr.-Ing. Wolfgang Roeser, Aachen

Rheinland-Pfalz: Dipl.-Ing. Günther Freis, Bernkastel-Kues

Saarland: Dipl.-Ing. Gerhard Schaller, Homburg

Sachsen: Dr.-Ing. Klaus-Jürgen Jentzsch, Dresden

Sachsen-Anhalt: Dr.-Ing. Manfred Hilpert, Halle

Schleswig-Holstein: Dipl.-Ing. Kai Trebes, Kiel

Thüringen: Dipl.-Ing. Volkmar Frank, Zella-Mehlis

BVPI/DPÜ/BÜV/vpi-EBA: Dipl.-Ing. Manfred Tiedemann

DRUCK

Vogel Druck und Medienservice, Leibnizstraße 5, 97204 Höchberg

DTP

Satz-Studio Heimerl, Scherenbergstraße 12, 97082 Würzburg

Die meisten der in diesem Heft veröffentlichten Fachartikel sind überarbeitete Fassungen der Vorträge, die bei den Arbeitstagungen der Bundesvereinigung der Prüfengeieure für Bautechnik gehalten worden sind.

Der Inhalt der veröffentlichten Artikel stellt die Erkenntnisse und Meinungen der Autoren und nicht die des Herausgebers dar.

„Der Prüfengeieur“ erscheint mit zwei Ausgaben pro Jahr. Bestellungen sind an den Herausgeber zu richten.

Auflage: 5000 Exemplare

