

Der Prüfsingenieur

Ausgabe 65 / November 2024

Geotechnik

Sorgsam gerechnet: Kombinierte
Pfahl-Plattengründungen dezimieren
Bausummen und CO₂-Emissionen

27

Bauwerkserhaltung

Ein Digitaler Zwilling schenkt der
ehrwürdigen Nibelungenbrücke zu
Worms ein neues, sicheres Leben

50

Prüfpraxis

Der BÜV präsentiert die zweite
Fassung seiner Richtlinie für die
Wiederkehrende Bauwerksprüfung

80



Unterbietungen sind widersinnig

Nachdem der Europäische Gerichtshof vor drei Jahren die Rechtskraft der HOAI-Mindestsätze neutralisiert hatte, dienen die Honorartafeln der HOAI nur noch als Orientierungsrahmen für Dumpinghonorare. Der Wegfall der Mindestsätze für die Planer hat auch Konsequenzen für die Prüfsingenieure, sie müssen sich jetzt mit mangelhaften Tragwerksplanungen herumschlagen. Dumpingpreise mindern aber die planerischen Leistungen und sind, weil auch die Qualität der Bauausführung abnimmt, widersinnig. Das Prinzip für die Vergabe öffentlicher Planungsaufträge sollte deshalb heißen: Nicht der Preis ist die bestimmende Größe, sondern allein die Leistung.



Dr.-Ing. Maike Timm

studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen, promovierte an der TU Braunschweig, ist Partnerin bei der STB Ingenieure PartGmbH in Bremen und seit 2012 Prüfsingenieurin für Standsicherheit; seit September 2024 ist Maike Timm Präsidentin der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bau-technik (Berlin).

„Wenn Tragwerksplanungen zu 50 bis 70 Prozent des HOAI-Satzes vergeben werden und wenn als Folge dessen mangelhafte Tragwerksplanungen erstellt werden, wenn diese mangelhaften Tragwerksplanungen den Prüfaufwand und damit auch die Prüfgebühr verdoppeln, und wenn trotzdem teure Bauwerke entstehen, weil die Tragwerksplanung mit dem Dumpinghonorar keine Zeit für Optimierungen gelassen hat, dann haben wir ein Problem. Und dieses Problem ist bei öffentlichen Bauvorhaben bereits die Realität.“

Mit diesen Sätzen habe ich vor wenigen Wochen die diesjährige Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bau-technik (BVPI) in Wiesbaden eröffnet, zu deren Präsidentin ich tags zuvor gewählt wurde.

Wenn man mögliche Folgen von Honorardumping und lascher Kontrolle sehen möchte, lohnt sich ein Blick nach England. Dort wurde schon vor 25 Jahren die Bindung an Honorartafeln aufgehoben und die staatliche Kontrolle zurückgefahren. Dramatischerweise musste erst der schreckliche Brand des Grenfell-Towers ausbrechen, ehe das unfassbare Ausmaß der Sicherheitslücken im dortigen Bauwesen recherchiert und bekannt gemacht werden konnte.

Jetzt aber den Baufirmen die Schuld zu geben, weil sie in großem Stil die laschen Kontrollen ausgenutzt und bewusst die billigere, brennbare Dämmung eingebaut haben, ist nicht fair. Denn wenn sie die teurere, nicht-brennbare Dämmung kalkuliert hätten, hätten sie, unter der Voraussetzung, dass das billigste Angebot den Zuschlag erhält, den Auftrag nicht bekommen. Qualität hat also seinen Preis ... und Sicherheit auch!

Wenn Tragwerksplanungen zu Dumpinghonoraren vergeben werden, dann hat das vielfältige Konsequenzen. Denn weniger Honorar heißt weniger Zeit, weniger Personal, weniger Recherche und weniger fachliche Durchdringung, also geringere Planungstiefe und weniger terminliche Zuverlässigkeit. Und dieses Weniger führt nicht nur zu weniger Qualität, sondern auch zu weniger Sicherheit. Das weiß jeder, der hinter die Kulissen schaut.

Denn die Prüfung durch den Prüfsingenieur kann unmöglich die Versäumnisse der Planung ausbügeln. Dem bauaufsichtlich geforderten Vier-Augen-Prinzip liegt ja die Annahme zugrunde, dass ein qualifizierter Tragwerksplaner mit Sorgfalt eine Planung erstellt, die fehlerarm ist. Durch die Prüfung wird die Fehlerquote so weit reduziert, dass dabei das bauaufsichtlich geforderte Sicherheitsniveau entsteht.

Wenn der Tragwerksplaner nicht qualifiziert ist und/oder nicht sorgfältig plant, befinden sich, bildlich gesprochen, die vier Augen allein im Büro des Prüfsingenieurs. Oftmals sind in solchen Fällen dermaßen umfassende Prüfeintragungen erforderlich, dass schon von Eingriffen in die Planung gesprochen werden kann. Das hat dann mit einer unabhängigen Prüfung nicht mehr viel zu tun und wirft auch haftungsrechtliche Fragen auf.

Weitere Konsequenzen des Honorardumpings sind steigende Baukosten, weil das Tragwerk nicht optimiert wurde. Deshalb heißt es schon lange sprichwörtlich: „Wer billig plant, baut teuer!“

Das alles ist bekannt und der Grund dafür, dass es in Deutschland bis vor drei Jahren verbindliche HOAI-Mindesthonorare gab. Den Zusammenhang zwischen auskömmlichen Planungshonoraren und der Tatsache, dass deutsche Bauwerke, über ihre Lebenszeit betrachtet, im internationalen Vergleich recht kostengünstig sind, hat auch der Europäische Gerichtshof mit seinem Urteil nicht infrage gestellt.

Aber wir müssen uns in diesem Zusammenhang – nicht nur als Ingenieure – auch sehr ernsthaft fragen: Wollen wir in unserem Wohlstand krepieren und über unseren CO₂-Ausstoß weiterhin nur plaudern und Regeln aufstellen, die sowieso kaum jemand einhält? Oder wollen wir uns die Mühe machen und tatsächlich nachhaltige Bauwerke planen, die in der lebenslangen Betrachtung eine positive CO₂-Bilanz ausweisen?

Und wer da meint, dass nachhaltige, zukunftsfähige Planungen zu Dumpinghonoraren möglich sind, der darf wohl als naiv bezeichnet werden.

Interessant ist meines Erachtens auch der Blick auf die Privatwirtschaft. Bei nichtöffentlichen Bauvorhaben gab es, weil dort der Leistungsumfang schon immer frei verhandelt worden war, faktisch noch nie eine Bindung an die Honorare der HOAI. Dort ist kein Preisdumping zu beobachten, wie es bei öffentlichen Bauvorhaben der Fall ist.

Also stellt sich die Frage: Ignorieren die privaten Unternehmen die Möglichkeit billiger Honorare? Oder sieht unternehmerisches Denken so aus, dass niedrige Gesamtkosten und ein möglichst wertvolles Bauwerk angestrebt werden?

Letzteres ist jedenfalls nur mit qualifizierten Planern möglich, die gewissenhaft arbeiten und angemessen honoriert werden.

20

Vor zweihundert
Jahren ...

schlach bergemann partner

... war die Preußische Kappendecke Inbegriff gründerzeitlicher Baukonstruktionen. Heute ist sie wieder da, wie der Präsident des Deutschen Instituts für Bautechnik auf der Arbeitstagung der Prüfeningenieure in Wiesbaden berichtet hat ... aber nicht mit Backstein und Eisen, sondern mit Beton.

**Zum Titelbild**

FOUR haben die Investoren den neuen Gebäudekomplex in der Innenstadt von Frankfurt am Main genannt, der aus vier Hochhäusern mit einer Höhe zwischen 105 und 233 Metern besteht. Der Komplex wurde zwischen der Großen Gallusstraße, der Neuen Schlesingergasse und der Junghofstraße errichtet, dem sogenannten Deutsche-Bank-Dreieck. Deren Hochhaus war 2018 zu Gunsten des FOUR abgerissen worden. Beim Bau von vier miteinander verbundenen Hochhäusern auf Frankfurter City-Grund entstanden tragwerksplanerische und geotechnische Herausforderungen, die ihresgleichen suchen. Wie der Baugrund mithilfe einer kombinierten Pfahl-Plattengründung genutzt und wie viel der ursprünglich berechneten Bausummen und wie viel CO₂-Ausdünstung dabei gespart wurden, wird ab Seite 27 beschrieben.

Foto: Simon Meißner

EDITORIAL

- 3 Unterbietungen sind widersinnig
Dr.-Ing. Maike Timm

NACHRICHTEN

- 6 BVPI-Arbeitstagung: Maike Timm zur Präsidentin gewählt / Nachhaltigkeit und Klimaresilienz dominieren das Vortragsprogramm
- 10 Olaf Hemmy neuer Vorsitzender der vpi-Landesvereinigung Bremen
- 11 Das IRCC betont den Rang einer technisch und wirtschaftlich unabhängigen bautechnischen Prüfung
- 12 Christof Backes führt als Prüfeningenieur für Brandschutz jetzt die vpi-Landesvereinigung Saarland
- 13 Großes Interesse an der Ausbildung zum Sachkundigen Planer für den Schutz von Betonbauwerken
- 14 Prüfeningenieure fordern zur unbedingten und sorgfältigen Prüfung von Nagelplattenbindern auf

- 15 Mehr als 250 Teilnehmer bei der BÜV-Fortbildung für Sachkundige Planer an der RWTH in Aachen

- 16 Mitgliederversammlung des BÜV: Dipl.-Chem. Peter Holdt wurde zum Ehrenmitglied ernannt

- 17 Eurocodes aktuell: Die alten und neuen Inhalte der EN 1990 werden in zwei Teile aufgeteilt

- 18 Kalleja fordert im Interview mit SPIEGEL Online deutlich mehr Geld für den Brückenunterhalt

- 19 BVS-Autobahn: Abrechnung von Honoraren für Prüfprojekte und Anfragen für den Autobahnbau

Vor vierzig Jahren ...

... ist die Kombinierte Pfahl-Plattengründung entwickelt worden, um auch auf den tückischen Frankfurter Böden Hochhäuser bauen zu können. Mittlerweile hat diese Spezialität sich geotechnisch vielfach bewährt, auch zur Reduzierung von Bausummen und CO₂-Emissionen. Wie hoch sie sind, ist jetzt nachgerechnet und auch praktisch bewiesen worden.



27

70 Vor vierhundert Jahren ...



... ist diese Brücke in Äthiopien gebaut worden – ein Ingenieurklassiker, der noch immer seinen Zweck erfüllt. Der Bauingenieur und Hochschul-Professor Dr. Mike Schlaich hat sie entdeckt, als er durch Afrika fuhr, um festzustellen, wie westeuropäische Bauingenieure ihren Kollegen dort helfen können, das exorbitante künftige Bevölkerungswachstum zu bewältigen.

FACHARTIKEL

20 Normung und Bautechnik

Nachhaltigkeit und Klimaschutz: wichtige Themen der Arbeit des Deutschen Instituts für Bautechnik.

Neuigkeiten aus Berlin: klinkerarme und zementfreie Betone, Carbon-Gitterbewehrung, innovative Verschraubung von Bauteilen, Renaissance der Preußischen Kappendecke.

Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft

27 Geotechnik

Ressourcenschonende Gründungstechnologie zur Reduktion der CO₂-Emission: die Kombinierte Pfahl-Plattengründung.

Im Vergleich mit der Pfahlgründung bringt sie Einsparungen in Millionenhöhe. Nun sollte sie auch im Verkehrswegebau regelmäßig angewendet werden.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach / Prof. Dr.-Ing. Simon Meißner

Dr.-Ing. Anke Werner / M. Eng. Maximilian Kies

40 Brandschutz

Brandsimulation: Praxisbeispiel und Einsatzgrenzen der FED-Methode zur Berücksichtigung von Rauchtotoxizitäten.

Mit FED-Auswertungen in Brandsimulationen können toxische Rauchgaswirkungen präzise bewertet werden – sie sollten aber nur in Einzelfällen angewendet werden.

M.Sc. Andreas Kanitz / Dipl.-Ing. (FH) Udo Kirchner

Dr.-Ing. Christoph Klinzmann / Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

50 Bauwerkserhaltung

Neue Chancen der Digitalisierung für die Verlängerung der Nutzungsdauer am Beispiel der Nibelungenbrücke zu Worms. Ein Digitaler Zwilling generiert die notwendigen Daten für die Instandhaltung und Erhöhung der Lebensdauer dieses historischen Wahrzeichens der Ingenieurbaukunst.

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx / Dipl.-Ing. Andreas Jackmuth

60 Bauwerkserhaltung

Die Nachrechnung der Nibelungenbrücke zu Worms und ihres Digitalen Zwillings mit nichtlinearen FE-Modellen.

Für die Durchführung solcher Berechnungen sind fundierte Kenntnisse über die nichtlinearen Verfahren und insbesondere über Betonmaterialmodelle erforderlich.

Dr.-Ing. Naceur Kerkeni

70 Bauen in Afrika

„Das Bauen in Afrika betrifft uns alle – Deshalb wird auch unser ingenieurtechnisches Wissen dort benötigt.“

Ein Bauingenieur aus Deutschland reist ein halbes Jahr lang *from Cape to Cairo* und teilt uns in einem Buch seine Gedanken über Afrikas und unsere Zukunft mit.

Prof. Dr.sc.techn. Mike Schlaich

80 Wiederkehrende Bauwerksprüfung

Eine anwendungsfreundliche und prinzipiell typisierende Richtlinie für die Wiederkehrende Bauwerksprüfung.

Der Bau-Überwachungsverein hat seinen praxisbezogenen Leitfaden als konkrete Empfehlung für die Fachwelt in zweiter und erweiterter Fassung fortgeschrieben.

Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Schmiedmayer

87 IMPRESSUM

Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure: Maïke Timm wurde einstimmig zur Präsidentin gewählt

Reichhaltiges Vortragsprogramm über bau- und brandschutztechnische Themen Nachhaltigkeit der Planung und Klimaresilienz dominieren dieses Jahr alle Inhalte

Die Mitgliederversammlung der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik (BVPI) hat die vorherige Vorsitzende der Landesvereinigung der Prüfsingenieure in Bremen, Dr.-Ing. Maïke Timm, zu ihrer neuen Präsidentin gewählt. Sie löst Dr.-Ing. Hartmut Kalleja ab, der den Vorstand der BVPI sechs Jahre lang geleitet hat. Die Wahl Timms erfolgte auf der BVPI-Mitgliederversammlung am Vortag der Arbeitstagung der BVPI im September in Wiesbaden, auf der ein reichhaltiges Programm beruflich direkt verwertbarer Vorträge geboten worden ist, unter anderem mit neuesten Informationen aus dem Deutschen Institut für Bautechnik, über die neue Richtlinie des Bau-Überwachungsvereins (BÜV) für Wiederkehrende Bauwerksprüfungen im Hochbau, über die Prüfung statischer Berechnungen am 3D-Gesamtmodell und über die hochkomplexe Tragwerksplanung für vier neue Hochhäuser in der Frankfurter Innenstadt, die einen einzigen Gebäudekomplex bilden, und deren Prüfung.

Die Arbeitstagungen der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik zeichnen sich durch eine Abfolge fachlicher Vorträge aus, die der Berufsausübung seiner Mitglieder jeweils einen direkten Nutzen bringen können.

So auch in diesem Jahr in Wiesbaden, wo im Dorint-Pallas-Hotel ein fast zwei ganze Tage umfassendes Fachprogramm mit vierzehn Referaten über bau- und brandschutztechnische Themen und einem Festvortrag über das Bauen in Afrika anstanden. Tags zuvor allerdings hatten die Mitglieder der Vereinigung noch ihre Mitgliederversammlung zu

absolvieren, die auch die Wahl des Vorstandes und eines neuen Präsidenten der BVPI vorsah. Ihr bisheriger Präsident, Dr.-Ing. Hartmut Kalleja, hatte nach sechs Jahren Vorstandstätigkeit keine weitere Amtszeit angestrebt. Er war über dieses Amt hinaus an die dreißig Jahre lang in mehreren verschiedenen Führungspositionen innerhalb der berufspolitischen Korporationen der Prüfsingenieure auf Bundes- und Landesebene für den Berufsstand tätig. Dafür wurde ihm in der Mitgliederversamm-



EINSTIMMIG ist die bisherige Vorsitzende der Landesvereinigung Bremen der Prüfsingenieure für Bautechnik, Dr.-Ing. Maïke Timm, zur neuen Präsidentin der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik gewählt worden.

lung gebührend Dank gesagt; Dank dafür, dass er, wie der Vizepräsident der BVPI, Dr.-Ing. Markus Hennecke, es in einer freundschaftlich gehaltenen Abschieds- und Dankesrede formuliert hat, „konsequent den Weg in die Politik gesucht und gefunden hat, um sich dort erkennbar für die berufspolitischen Belange und Positionen der Prüfenge-nieure einzusetzen“; Dank auch dafür, dass er die berufliche Nachwuchswerbung aktiviert und kraft seiner Vorstandstätigkeit dafür gesorgt habe, dass die BVPI auf die Entwicklung der einschlägigen europäischen Normen weiterhin engagierten Einfluss nehmen und auch die Überarbeitung der EU-Bauproduktenverordnung fachlich-kritisch aus Sicht der Prüfenge-nieure begleiten konnte. Der entschiedenen Unterstützung Kallejas sei es, so Hennecke weiter, auch zu verdanken, dass die Elektronische Bautechnische Prüfsakte der BVPI (ELBA) eine so große Zustimmung und eine so weite Verbreitung in den infrage kommenden Kreisen des Bundes und der Länder gefunden habe, die von dem von ihm initiierten neuen BVPI-Vorstandsressort Digitalisierung unter der Leitung von Dipl.-Ing. Martin Hamann aus Berlin entworfen und zur jetzigen Anwendungsreife entwickelt worden ist. Nicht zuletzt sei ihm, so berichtete Hennecke weiter, die Erarbeitung und Verabschiedung der Normenstrategie der BVPI zu verdanken und die dazugehörige Geschäftsordnung für deren finanzielle Unterstützung.

Dazu gehöre auch die Gründung der *BVS-Autobahn*, der Bewertungs- und Verrechnungsstelle für Prüfenge-nieure und Prüfsachverständige für Bautechnik im Bereich der Bundesfernstraßen, die die BVPI zusammen mit der Bundesingenieurkammer vor zwei Jahren gegründet und unter der geschäftsführenden Leitung von Syndikus-Rechtsanwalt Henning Dettmer mittlerweile zur vollen Aktionsfähigkeit gebracht habe (siehe auch Seite 19).

Dass diese in den vergangenen Jahren berufspolitisch so entscheidenden und wichtigen Aktivitäten auch in Zukunft unvermindert fortgeführt werden können, dafür will, so sagte nach ihrer Wahl auch die neue Präsidentin „ich mit aller Kraft sorgen, die mir zur Verfügung stehen wird“. Vor allem will sie zusammen mit dem künftigen BVPI-Vorstand darauf bedacht sein, dass die Prüfenge-nieure nicht nur auch weiterhin angemessenen fachlichen Einfluss auf die sie tangierenden Normen und Regelwerke nehmen können, sondern, dass „wir als Prüfenge-nieure öffentlich auch gesehen und als ein Berufsstand wahrgenommen werden, der wichtig und unersetzbar ist“, weil, so sagte Timm in einer kurzen programmatischen Ansprache, „wir Prüfenge-nieure es sind, die am ehesten dafür sorgen können, nein:



DER KLIMASCHUTZ stand im Mittelpunkt der Begrüßungsrede, die Dr.-Ing. Michael Bruder, der Leiter der Abteilung Bauen, Wohnen, Städtebau und Landesentwicklung im hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum gehalten hat. Bruder zeigte vor allem die Anstrengungen und Bemühungen der hessischen Landesregierung auf, die Errichtung neuer Wohngebäude im Lande wie-der attraktiver, gleichzeitig aber auch nachhaltiger zu gestalten.

dafür sorgen müssen, dass in Deutschland hochwertige Gebäude errichtet werden.“ Und als besondere Unterstreichung dieser Ankündigungen ließ Timm abstimmen über den Antrag des alten Bundesvorstandes, nach dem die Mitglieder der Bundesvereinigung der Prüfenge-nieure für Bautechnik, wie in den bisherigen Jahren schon, auch in den kommenden Jahren bis einschließlich 2028 einen zusätzlichen Jahresbeitrag in Höhe von 400 Euro entrichten, der für die Finanzierung der Normenarbeit verwendet werden soll.

„Unsere aktive Mitarbeit an den Normen für Standsicherheit und Brandschutz“, so rief auch Dr.-Ing. Wolfgang Roeser, der im Vorstand der BVPI jetzt für die europäische und nationale Normenarbeit zuständig ist, seinen Kolleginnen und Kollegen ins Gedächtnis, „ist für uns enorm wichtig, weil sie wesentlich zur Sicherung der Zukunft unseres Berufsstandes beiträgt“. „Normen sind unser Handwerkszeug“, sagte er, und „deshalb müssen wir auch in unserem eigenen Interessen an ihnen mitwirken“. Durch unsere aktive Normenarbeit, sagte Roeser weiter, „positionieren wir uns auch politisch als Meinungsbildner, und wir werden als BVPI wahrgenommen, unter anderem von unseren benachbarten Berufsverbänden, von den oberen Bauaufsichten, den zuständigen Länderministerien und nicht zuletzt auch von der Bauministerkonferenz und vom Deutschen Institut für Bautechnik“.

„Der kollegiale Austausch auf solchen Tagungen ist heute wichtiger denn je!“

Tags darauf hatte die neue Vorsitzende des Bundesvorstandes der BVPI ihren ersten öffentlichen Auftritt als Präsidentin zu absolvieren: die Eröffnung der diesjährigen BVPI-Arbeitstagung. Solche Tagungen seien, so sagte sie bei dieser Gelegenheit, „für die eigene fachliche Inspiration wichtiger denn je“, obwohl die Prüfenge-nieure als Vertreter einer der

konservativsten Branchen überhaupt, „immer am Nabel der Zeit“ bleiben und sich ständig mit neuen Techniken, Möglichkeiten und Entwicklungen auseinanderzusetzen hätten. Auf der anderen Seite müssten die Prüfenge-nieure sich immer und immer wieder bewusst machen, dass sie, wenn sie es mit neuen Techniken zu tun bekämen, auch „immer mit Anfängerfehlern rechnen müssten, die sie „eigentlich ausschließen wollen“. Und so seien es auch die Prüfenge-nieure, die sich als erste mit der Künstlichen Intelligenz auseinanderzusetzen und deren Vorteile zu nutzen hätten, wenn sie konkurrenzfähig bleiben wollen. Gleichzeitig müssten die Prüfenge-nieure aber ein spezielles Qualitätsmanagement entwickeln und aufbauen, welches die Grenzen der Künstlichen Intelligenz berücksichtigt und entsprechende Fehler vermeidet. Diese neue Technik stelle in der Tat „tolle Möglichkeiten“ zur Verfügung, habe aber auch – zumindest bisher – natürliche Grenzen, innerhalb derer „möglicherweise auch fachlicher Blödsinn herauskommt“. Als ein Beispiel von vielen nannte Timm jene Fehler, die „in Prüfberichten dann entstehen, wenn ein Text aus einem anderen Bericht einfach kopiert worden ist, der in Teilen überhaupt nicht auf das betreffende Projekt zutrifft“. Mit der Anwendung der Künstlichen Intelligenz nehme also die Gefahr eine ganz neue Dimension an, „dass falsche Informationen unser Haus verlassen“.

Eine neue, zusätzliche Dimension hat auch die Tragwerksplanung in den vergangenen Jahren entwickelt. Sie ist das Resultat des weltweiten Klimaproblems, und dieses Problem mache es zwingend erforderlich, dass sich, wie Timm in ihrer Eröffnungsrede ihren Kolleginnen und Kollegen im Saal zurief, die Tragwerksplanung auch damit beschäftigt, „wie am besten klimaschonend gebaut werden kann“, weil ja die Bauteile „von der Tragwerksplanung dimensioniert werden“.

Diese neue Aufgabe verlange den Prüflingen in ihrer täglichen Praxis allerdings auch ein Mehr an fachlicher Expertise ab, weswegen Timm mit großem Ernst an die öffentlichen Auftraggeber appellierte, in deren Händen es liegt, wie ausgeschrieben und bewertet wird, dafür zu sorgen, „dass für die Vergabe der Tragwerksplanungen nicht der Preis maßgebend ist (siehe hierzu auch das Editorial auf Seite 3). Es sei doch hinlänglich bekannt und bewiesen und sollte eigentlich selbsterklärend sein, „dass man mit einer billigen Planung kein preisgünstiges und erst recht kein nachhaltiges Bauwerk erhält“, meinte Timm und ergänzte, auf die eigene Klientel bezogen, „dass auch die Vergabe von Prüfleistungen über den Preis einen absoluten Widerspruch zum Zweck der Prüfung darstellt“, denn, meinte Timm abschließend, „wir haben eine Gebührenordnung, deren Anwendung weder durch europäisches noch durch deutsches Recht infrage gestellt wird“. Sie verwies in diesem Zusammenhang explizit auf ein Urteil des Oberlandesgerichts Naumburg, in dem die vergaberechtliche Ausschreibung von hoheitlichen Aufträgen immer dann als Verletzung des Wettbewerbsrechts bewertet wird, wenn es festgelegte Gebühren gibt, „was ja bei uns eindeutig der Fall ist“.

Der Klimaschutz stand auch im Mittelpunkt des fachlichen Teils der landespolitischen Begrüßungsrede, die Dr.-Ing. Michael Bruder, der Leiter der Abteilung Bauen, Wohnen, Städtebau und Landesentwicklung im Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum gehalten hat. Bruder zeigte vor allem die Anstrengungen und Bemühungen der hessischen Landesregierung auf, die Errichtung neuer Wohngebäude im Lande wieder attraktiver, gleichzeitig aber auch nachhaltiger zu gestalten.

Große Erwartungen knüpft Bruder bei diesem Thema an die neue EU-Bauproduktenverordnung, die mit ihren Regularien und Richtlinien sehr helfen könne, nachhaltige und ressourcenschonende innovative Produkte, Bauarten und Bauweisen einzuführen und anzuwenden und neue Wege für die Bauplanung zu beschreiten. Dass dabei auch die Mithilfe der Prüflingen und Prüfsachverständigen sehr gefragt ist, ohne „die es ja gar nicht geht“, ist für Bruder offenbar selbstverständlich. Seine Landesregierung, sein Ministerium und seine Abteilung jedenfalls wollen, so Bruder, „alles das, was mit dem Bauen zu tun hat, unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit und der Schaffung von mehr Klimaresilienz auf den Prüfstand stellen“.

Der Prüfungsausschuss für die Prüflingen muss renoviert werden

Bei den Arbeitstagen der BVPI hat sich seit einigen Jahren eine Tradition eingebürgert, deren Realisierung auch in diesem Jahr mit dem Bericht über „Aktuelles aus dem DIBt“ fortgesetzt wurde, den der Präsident des Deutschen Instituts für Bautechnik, Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft, erstattete. Er stellte vor allem neue Bauprodukte und neue Bauarten vor, die das DIBt als deutsche Zulassungs- und europäische technische Bewertungsstelle in den vergangenen Monaten passiert haben. Daneben erläuterte er zahlreiche jener Aufgaben, die dem Institut im In- und Ausland obliegen, vor allem sprach er die Arbeit des DIBt als geschäftsführende Stelle des gemeinsamen Prüfungsausschusses für die Anerkennung von Prüflingen für Standsicherheit an, den derzeit bisher zehn Bundesländer bilden. Über dessen inhaltliche Tätigkeit, so sagte Breitschaft, sei öffentliche und interne Kritik laut geworden, vor allem am Niveau der Prüfungsaufgaben, die aber, so beeilte er sich in diesem

Zusammenhang zu betonen, nicht vom DIBt, sondern „von einem Gremium von arrivierten Prüflingen und Vertretern von Prüfämtern gestellt“ würden. Klar sei aber, so Breitschaft, dass „die Prüfungsvorbereitung der Prüflinge und die Prüfungspraxis sich ändern müssen, ohne die Aufgaben beliebig leicht zu machen“. Denn es könne keiner wollen, „dass Ingenieure als Prüflingen in die Praxis entlassen werden, die ‚billig‘ an die Anerkennung herangekommen sind“. Da es bislang auch nur schriftliche Prüfungen gegeben habe, soll nach Breitschafts Ansicht geprüft werden, ob nicht „künftig wieder mündliche Prüfungen eingeführt werden sollten“. Schließlich müsse ein Prüflingen nicht nur sein theoretisches Wissen nachweisen, sondern auch in Person und Charakter für den Beruf geeignet sein, „da er ja in der Lage sein muss, sich auf der Baustelle auch in schwierigen Situationen einzusetzen“ (siehe auch Seite 20).

Vorträge über Bautechnik und Brandschutz

Im ingenieurtechnischen, rein fachlichen Teil des Programms dieser Arbeitstagung der BVPI sind anderthalb Tage lang in kompakter Reihenfolge aktuelle Themen und Sachverhalte besprochen und diskutiert worden, die den Prüflingen oder den Prüfsachverständigen und ihre Auftraggeber gleichermaßen tangieren. So berichteten am ersten Halbtage dieser Veranstaltung

— Professor Dr.-Ing. Matthias Pahn von der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität in Kaiserslautern-Landau über die komplizierten und ergebnisreichen computertomografischen Untersuchungen, mit der die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) das Verhalten von Bauteilen unter Laststeigerung zu ermitteln versucht, und



DER NEUE UND DER ALTE VORSTAND der Bundesvereinigung der Prüflingen für Bautechnik (v.l.n.r.): Dr.-Ing. Wolfgang Roeser, Dr.-Ing. Markus Wetzel, Dr.-Ing. Markus Hennecke (Vizepräsident), Dr.-Ing. Maike Timm (Präsidentin), Prof. Dr.-Ing. Sylvia Heilmann, Dipl.-Ing. Martin Hamann und Dipl.-Ing. Axel Bißwurm

- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach vom Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen über einige der elektrischen Verfahren, mit denen die Qualität zementgebundener Baustoffe bewertet werden kann.

Am Nachmittag dieses Tages stellten unter dem Rubrum Bautechnik

- Dipl.-Ing. Lorenz Haspel von der sbp schlaich bergemann und partner (Stuttgart) am Beispiel der Oderbrücke in Küstrin-Kietz Carbonseile im Brückenbau,
- Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Schmiedmayer von der m4 Ingenieure GmbH (München) die neue Richtlinie für wiederkehrende Bauwerksprüfungen im Hochbau, die der Bau-Überwachungsverein (BÜV) kürzlich herausgebracht hat (siehe Seite 80) und
- der Prüfsingenieur Professor Dipl.-Ing. Frank Prietz von der GSE Ingenieur-Gesellschaft mbH in Berlin die Prüfung statischer Berechnungen am 3D-Gesamtmodell vor.

Zeitlich parallel dazu wurden für das Ressort Brandschutz

- von der Diplom-Physikerin und Prüfsingenieurin für Brandschutz Monika Rosemann von der Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH (Leipzig) die Problematik von Brandschutzprüfungen für Bahnanlagen behandelt,
- von Dr.-Ing. Regine Schneider und Markus Henzel M. Eng./B.A. von der Krebs+Kiefer Ingenieure GmbH (Darmstadt) der Neubau eines Passagier-Transport-Systems für das Terminal 1 des Frankfurter Flughafens präsentiert, das unter der Verwendung vielfacher Ingenieurmethoden in Stahlbauweise gebaut worden ist, und
- von dem Prüfsingenieur für Brandschutz Dipl.-Ing. Udo Kirchner von der Halfkann+Kirchner PartGmbH (Erkelenz) und von Andreas Kanitz M.Sc. von der hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH (Berlin) Praxisbeispiele und Anwendungsgrenzen von Brandsimulationen für die Berücksichtigung der Rauchtoxizität mit der FED Methode vorgestellt (siehe Seite 40).

Und am nächsten Tag, einem Samstag, stand eines der bedeutendsten Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland im Mittelpunkt gleich zweier Referate, die altherwürdige Nibelungenbrücke zu Worms die ihres aufgezeigten bautechnischen Zustandes wegen als eigentlich nicht erhaltenswert eingestuft wird und deshalb jetzt von einem Digitalen Zwilling betreut wird, der ihr trotz erheblicher rechnerischer statischer Defizite den weiteren Verkehrsbetrieb ermöglicht.



VIELE FREUNDLICHE DANKESWÖRTE haben den bisherigen Präsidenten der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik, Dr.-Ing. Hartmut Kalleja (links), in seinen berufspolitischen Ruhestand begleitet, gehalten vom Vizepräsidenten der BVPI, Dr.-Ing. Markus Hennecke (Mitte) und Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle, der dem Bundesvorstand der BVPI jahrelang angehört hat. Kalleja selbst hat dem Vorstand der BVPI sechs Jahre lang vorgestanden, nun wurde er von Dr.-Ing. Maike Timm aus Bremen abgelöst.

Dazu stellten

- Ministerialrat Professor Dr.-Ing. Gero Marzahn vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr die Chancen, die die Digitalisierung bietet, um die Nutzungsdauer dieser Brücke zu verlängern (siehe Seite 50), und
- Dr.-Ing. Naceur Kerkeni von der H+P Ingenieure GmbH (Aachen) die numerische Begleitung des digitalen Brückenwillings dar (siehe Seite 60).

Mit zwei Vorträgen wurde auch eines der markantesten neuen Hochhäuser der Frankfurter City besprochen, das *FOUR*-Gebäude, das aus vier miteinander verbundenen Wolkenkratzern besteht. Die wirklich sehr komplexen Herausforderungen, die diese vier Gebäude an die Tragwerksplaner und an die Prüfsingenieure stellten, verdeutlichten ihren Kolleginnen und Kollegen im Saal in drei separat gehaltenen, aber fachlich strikt aufeinander aufbauenden Vorträgen Professor Dr.-Ing. Hans Georg Reinke von der Werner Sobek Frankfurt GmbH, der an der Frankfurter University of Applied Sciences Bauingenieurwesen lehrt, Dipl.-Ing. Alexander Berger von Bollinger und Grohmann (Frankfurt) und Dr.-Ing. Guido Hausmann von der König und Heunisch Planungsgesellschaft (Frankfurt).

Diese drei mit hochgespanntem kollegialem Interesse verfolgten Darstellungen mehrerer ingenieurtechnischer Spitzenleistungen wurden ergänzt von Professor Dr.-Ing. Rolf Katzenbach von der Ingenieurgesellschaft Katzenbach Ingenieure (Frankfurt & Darmstadt), der, zusammen mit seinem Kollegen Professor Dr.-Ing. Simon Meißner von der Prof. Quick und Kollegen Ingenieure und Geologen GmbH (Darmstadt), die theoretischen Grundlagen, die bautechnische Prüfung und die praktische Anwendung kombinierter Pfahl-Plattengründungen (KPP) als ressourcenschonende Gründungstechnologie für die CO₂-Reduktion darstellten. Katzenbach hat in den 1970er Jahren Hochhausgründungen und ihre Setzungen und tiefe Baugruben in Frankfurt untersucht und deren numerische Modellierung mit Finiten Elementen vorangetrieben. Daraus haben er und einige seiner damaligen Kollegen die Kombinierte Pfahl-Plattengründung entwickelt, die bei verschiedenen Frankfurter Hochhausprojekten angewandt wurde und wird, beispielsweise für den Main Tower und für den Frankfurter Messturm und jetzt eben für das *FOUR*-Gebäude.

Bauen in Afrika: Eine Ingenieursafari

Ein halbes Jahr lang ist der Bauingenieur und Professor Dr.sc.techn. Mike Schlaich, der seit vielen Jahren das Massivbau-Institut für Ent-

werfen und Konstruieren der Technischen Universität in Berlin leitet, im Rahmen einer universitären Forschungsreise mit einem Geländewagen durch ganz Afrika gefahren, um die solarenergetischen Perspektiven, den lokalen Betonbau, die Straßen, Schienen und Brücken, den traditionellen dortigen Wohnungsbau und die baukulturellen und bauingenieurtechnischen Verhältnisse an den dortigen Universitäten kennenlernen.

Darüber hat er in Wiesbaden den jährlichen Festvortrag gehalten und damit seine Kolleginnen und Kollegen und deren Begleitungen fast anderthalb Stunden lang in seinen Bann geschlagen. Mit vielen Fotos und einigen kleinen Videos ließ er dabei seine Ingenieursafari wieder aufleben und sein Auditorium an seinen Erlebnissen, Erkenntnissen und Erfahrungen unmittelbar teilhaben.

Schlaich hat die Ergebnisse seiner umfangreichen Recherchen, seine Einblicke und seine fachlichen und professionellen Schlussfolgerungen in einem Buch niedergelegt, das in diesen Tagen beim Verlag DOM publishers erschienen ist, einem 2005 in Berlin gegründeten Spezialverlag, der vor allem Architekturführer sowie Fachpublikationen über Architektur, Städtebau und Design im internationalen Kontext ediert. Schlaichs Beobachtungen münden in sechs Reflexionen über Gegenwart



Alle Fotos: mOmentum fotografie, Wiesbaden

EIN VOLLER SAAL stellt bei den jährlichen Arbeitstagen der Bundesvereinigung der Prüfen Ingenieure für Bautechnik eine jahrzehntelange Tradition dar.

und Zukunft seines Metiers in Afrika. Einige davon veröffentlichen wir in diesem Heft (siehe Seite 70).

Die BVPI-Arbeitstagen: Erstklassiges Forum für hochwertigen Informationsgewinn

Die Gesamtheit dieser Vorträge und die sich jeweils anschließenden fachlichen Diskussionen der Referenten mit ihren jeweiligen Auditorien bestätigten auch die diesjährige Arbeitstagung der Prüfen Ingenieure und Prüfsachverständigen als erstklassiges Forum für

hochwertigen ingenieurtechnischen Informations- und Meinungsaustausch. Und auch die wiederum erstaunlich hohe Zahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer hat der Veranstalterin auch in diesem Jahr bewiesen, dass Präsenzveranstaltungen allemal ihre volle Berechtigung haben – es geht eben doch nichts über die persönliche Begegnung mit Gleichgesinnten, das individuelle fachliche Gespräch mit Kolleginnen und Kollegen und den vertraulichen Gedankenaustausch abseits der offiziellen Stunden.

Klaus Werwath

Wechsel im Vorstand der vpi-Landesvereinigung Bremen Olaf Hemmy übernimmt den Vorsitz von Maike Timm

Bei der diesjährigen Mitgliederversammlung der Vereinigung der Prüfen Ingenieure für Bautechnik im Land Bremen (vpi Bremen) Ende September 2024 ist der bisherige stellvertretende Landesvorsitzende, Dr.-Ing. Olaf Hemmy, zum neuen Landesvorsitzenden gewählt worden.

Er übernimmt das Amt von Dr.-Ing. Maike Timm, die (siehe Seite 6 ff) zur Präsidentin der Bundesvereinigung der Prüfen Ingenieure für Bautechnik (BVPI) gewählt worden ist. Zusammen mit Dipl.-Ing. Karsten Foth übernimmt sie nun die Vertretung Hemmys. Ansonsten bleibt der Vorstand der vpi Bremen unverändert. Hemmy ist seit 2003 im Ingenieurbüro KSF Steimke, Dr. Hemmy & Partner in Bremerhaven mit rund dreißig Mitarbeitern tätig und seit 2013 Prüfen Ingenieur. Timm und Hemmy sind Prüfen Ingenieure für Standsicherheit, Foth ist Prüfen Ingenieur für Brandschutz.

In ihrer Funktion als Landesvorsitzende hat Maike Timm in den letzten drei Jahren vor allem die Arbeit mit der Elektronischen Bautechnischen Prüfkarte ELBA vorangebracht. So

konnten, in Zusammenarbeit mit dem Vorsitzenden der Prüfen Ingenieure in Niedersachsen, Dipl.-Ing. Jörg Duensing, die Weichen für die



NEUER VORSITZENDER der Prüfen Ingenieure im Land Bremen: Dr.-Ing. Olaf Hemmy

digitale Prüfung in diesen beiden Ländern in die beabsichtigte Richtung gestellt werden.

In seiner Amtszeit möchte der neue Vorsitzende, zusammen mit dem Landesvorstand und seinen Mitgliedern in Bremen, die digitale Prüfung als feste Größe weiter etablieren, die lokale Nachwuchsförderung zur Gewinnung neuer Prüfen Ingenieure intensivieren und den internen Austausch zwischen den Mitgliedern der vpi Bremen stärken, dies insbesondere auch zwischen den Prüfen Ingenieuren für Standsicherheit und für Brandschutz. Ein weiteres Anliegen Hemmys ist es, das Verständnis der Bauherren und Investoren für die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit der baustatischen Prüfung und damit für die Funktion der Prüfen Ingenieure zu intensivieren.

Das internationale IRCC betont den Rang einer technisch und wirtschaftlich unabhängigen bautechnischen Prüfung

Das IRCC fördert das weltweite Verständnis für die Entwicklung praxisbezogener Vorschriften und ordnungsgemäß funktionierende Regulierungssysteme am Bau

Ende September 2024 hat in Ottawa das jährliche Business Meeting des Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee (IRCC) stattgefunden, jener unabhängigen internationalen Organisation, die die weltweite Förderung eines gemeinsamen Verständnisses und eines globalen Rahmens für die Entwicklung praxisbezogener, sozialverträglicher Regulierungssysteme betreibt. Aus Deutschland nahmen an diesem Treffen der Präsident des Deutschen Instituts für Bautechnik, Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft teil, der gegenwärtig für zwei Jahre der Vorsitzende dieser weltweit agierenden Organisation ist, und Carmen Holzwarth vom Referat Unternehmenskommunikation und Internationale Beziehungen des DIBt. Die Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik (BVPI) repräsentierten Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle (Gräfelfing) und Dr.-Ing. Markus Wetzels (Hamburg).

Eines der Schwerpunkte dieses Treffens waren die Graue Energie (Embodied Carbon) und die regulatorischen Ansätze für den technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Umgang mit ihr. Vorträge aus Kanada, Deutschland, den USA, Japan und Neuseeland beleuchteten dieses Thema, das die Zukunft des Bauens aus normativer und planerischer Sicht dominieren wird, und sie stellten übereinstimmend die essenzielle Bedeutung umfassender Lebenszyklus-Analysen heraus.

Weitere wichtige Themen dieses internationalen Meetings waren:

- Eine von den Niederlanden vorgestellte forensische Analyse des Einsturzes des Parkdecks in Eindhoven im Jahr 2017, der durch ein kombiniertes Schub-/Verbundversagen einer Filigran-Hohlkörperdecke ausgelöst worden war,
- die Ergebnisse einer Untersuchung über den vorbeugenden Brandschutz für den

Fall, dass in mehrstöckigen Wohnhäusern nur ein Fluchtweg vorhanden ist,

- eine neue neuseeländische Strategie für den Umgang mit importierten Bauprodukten,
- der von Großbritannien vorgestellte Endbericht der Phase 2 der Untersuchung des Grenfell-Desasters im Jahr 2017,
- ein Bericht über das *Building Breakthrough*, das auf der UN-Klimakonferenz in Dubai (COP28) initiiert und offiziell ins Leben ge-



DIE DEUTSCHE BETEILIGUNG an der Arbeit des Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee (IRCC) begründet sich mit dessen berufs-politischen Zielen, die – allerdings im weltweiten Maßstab – mit denen der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik in großen Teilen nahezu identisch sind. An der jüngsten Mitgliederversammlung des IRCC in Ottawa nahmen deshalb als Vertreter der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik und als Repräsentanten der BVPI Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle und Dr.-Ing. Markus Wetzels teil. Sie sind hier im Kreis der Teilnehmer dieses Meetings in der letzten Reihe ganz rechts zu sehen. In der letzten Reihe (dritter von links) steht der Präsident des Deutschen Instituts für Bautechnik, Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft, der zurzeit für zwei Jahre der Vorsitzende des IRCC ist, in der Reihe vor ihm, als vierte von links, steht Carmen Holzwarth vom Referat Unternehmenskommunikation und Internationale Beziehungen des DIBt.

rufen worden ist. Ziel dieser Initiative ist es, bis 2030 nahezu emissionsfreie und klimaresiliente Gebäude zum neuen weltweiten Standard zu machen, was durch die verstärkte internationale Zusammenarbeit in Bezug auf die Dekarbonisierung des Gebäudesektors erreicht werden soll,

- Die *Good Practice Existing Buildings Guideline*, die derzeit vom *International Building Quality Centre* (IBQC) erarbeitet wird. Diese Organisation ist eine internationale Denkfabrik, die sich mit der Verbesserung der Qualität und Sicherheit im Bauwesen befasst. Sie bringt Experten aus verschiedenen Ländern zusammen, um globale Herausforderungen im Bauwesen anzugehen und Lösungen für entsprechende Probleme zu entwickeln,
- die Vorstellung des weltweit durchgeführten *International Building Safety Day*, eines neu eingeführten internationalen Aktionstages, der der Förderung und Würdigung der Gebäudesicherheit gewidmet wird. Ziel dieser Aktion ist es, die Bedeutung von sicheren, nachhaltigen und widerstandsfähigen Gebäuden hervorzuheben und die Fortschritte in der Gebäudesicherheit und die Arbeit derjenigen Fachleute zu würdigen, die sich dafür einsetzen. Der neue weltweite Erinnerungstag soll künftig jährlich stattfinden und zu einem festen Bestandteil in der weltweiten Baubranche werden. Er wurde vom *International Code Council* (ICC) initiiert, einer amerikanischen Non-Profit-Organisation, die sich auf die Entwicklung von Bauvorschriften und Sicherheitsstandards spezialisiert hat.

Insbesondere bei der Diskussion über Phase 2 des Grenfell-Reports hat das IRCC, in Anlehnung an das in Deutschland etablierte System, die Bedeutung einer technisch und wirtschaftlich unabhängigen bautechnischen Prüfung hervorgehoben. Phase 2 des Grenfell-Berichts hat zu diesem Thema einige Schlüsselprobleme identifiziert, die weltweit von Bedeutung sein dürften:

- Unzureichende Brandschutzvorschriften und -richtlinien,
- Fehler bei der Planung und Ausführung der Sanierung,
- irreführendes Inverkehrbringen von Bauprodukten,
- schlechtes Management und schlechte Aufsicht.

Der Bericht enthält 58 Empfehlungen, um ähnliche Tragödien in Zukunft zu verhindern. Einige dieser Empfehlungen sind:

- die Schaffung einer neuen Regelung für Bauprodukte,
- die Schaffung eines Genehmigungssystems für Auftragnehmer, die an Hochhäusern arbeiten,
- die obligatorische Akkreditierung von Brandrisikobewertern,
- die Einrichtung einer Schule für das Feuerwehr- und Rettungswesen,
- die Erstellung eines öffentlichen Protokolls aller Empfehlungen von Untersuchungen und Gerichtsmedizinern,
- die Evaluierung von Funktionen der Gebäudeleitetchnik.

Deutsche IRCC-Mitarbeit ist zielgenau

Die Teilnahme und Mitarbeit der BVPI im IRCC ergibt sich aus dessen spezifischen Zielen quasi von selbst. Dazu gehören:

- Die Bereitstellung eines Forums für die Förderung eines gemeinsamen Verständnisses und eines Rahmens für die Entwicklung von Systemen, die darauf abzielen, gesellschaftliche Bedürfnisse zu erfüllen, die mit dem Bauen zusammenhängen,
- die Identifizierung aktueller und erwarteter öffentlicher Politiken, regulatorischer Infrastrukturen und Bildungs- und Technologiefragen für die Implementierung und Verwaltung von Gebäuderegulierungssystemen,
- die Förderung des weltweiten Ideenaustauschs und der Entwicklung von Dokumenten und Konzepten für sogenannte *best current practices*,
- die Förderung des Informationsaustauschs und der Bündelung von Ressourcen zur Förderung von Forschung und Entwicklung häufig benötigter Bestandteile eines *best-practice*-Bauregulierungssystems,
- die Bereitstellung von praktischen Anleitungen für die Mitglieder bei der Entwicklung und Umsetzung der Regulierungssysteme,
- die Unterstützung derjenigen Länder, die mit der Entwicklung von Bauvorschriften nach dem Konzept des *best current practice* beginnen,
- die Bereitstellung von Anleitungen und Referenzmaterialien, wodurch potenzielle Doppelarbeit minimiert wird,
- die Entwicklung von *best-current-practice*-Systemen für den Aufbau von Regulierungssystemen, die die Produktivität, die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationen fördern und
- das Eintreten für wirksame Bauvorschriften und ordnungsgemäß funktionierende Regulierungssysteme. -kw-

Saarland: Mit Christof Backes führt ein Prüfenieur für Brandschutz erstmals eine vpi-Landesvereinigung

Bei der Vereinigung der Prüfenieure für Bautechnik im Saarland (vpi Saar) standen im April 2024 turnusmäßig Neuwahlen an. Neuer 1. Vorsitzender ist der Prüfenieur für Brandschutz Dipl.-Ing. (FH) Christof Backes, als Stellvertreter wurde Prof. Dr.-Ing. Christian Lang gewählt. Der bisherige Vorsitzende Dipl.-Ing. Franz-Josef Weber hatte bereits im letzten Jahr angekündigt, dass er das Amt in jüngere Hände geben wolle.

Franz-Josef Weber hatte die Führung des Verbandes im September 2020 in den schwierigen Corona-Zeiten übernommen und zwei Wahlperioden lang mit Engagement und Weitblick geführt. Schon frühzeitig hatte er signalisiert, dass nach dieser Wahlperiode ein Generationenwechsel stattfinden solle. Mit seiner ruhigen, besonnenen und überzeugenden Art

hat er während seiner Amtszeit den Verband kontinuierlich weiterentwickelt, und so überlässt er dem neuen Vorsitzenden eine gut bestellte Organisation.

Zum ersten Mal in der Geschichte der saarländischen vpi wurde mit Christof Backes ein Prüfenieur für Brandschutz zum Vorsitzen-

den eines Landesverbandes gewählt. Er ist seit 2010 als Brandschutzsachverständiger öffentlich bestellt und vereidigt und seit 2019 von der obersten Bauaufsicht des Saarlandes als Prüfenieur/Prüfsachverständiger für Brandschutz anerkannt. Er ist auch im Eingangs-ausschuss der saarländischen Ingenieurkammer und als Lehrbeauftragter an der

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes in Saarbrücken aktiv.

Die Übernahme des neuen Amtes erfolgt in einer spannenden Zeit. Es gilt, so sagte Backes nach seiner Wahl, die erfolgreiche Arbeit des bisherigen Vorstandes und damit den Einzug der Digitalisierung des Prüfverfahrens zu begleiten und dabei die Interessen der Prüffingenieure und Prüffingenieurinnen zu vertreten. Die Einführung des digitalen Bauantrages, die Integration von BIM und die Einführung der Elektronischen bautechnischen Prüfkarte der Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik (ELBA) würden herausfordernde Projekte in der nahen Zukunft sein.

Ebenfalls neu gewählt wurde als zweiter Vorsitzender der vpi Saar Prof. Dr.-Ing. Christian Lang. Er ist Prüffingenieur für die Bereiche Metallbau sowie Massivbau und ist als Professor an der HTW Saarbrücken tätig. Der bisherige



NEUER VORSITZENDER der Prüffingenieure im Saarland: Dipl.-Ing. (FH) Christof Backes, Prüffingenieur für Brandschutz.

2. Vorsitzende, Dipl.-Ing. Enrico Dammköhler, wird sich verstärkt um die Aufgaben der Digitalisierung kümmern, insbesondere um die Einführung von ELBA, und den Vorstand dabei aktiv unterstützen.

Damit setzt sich der Vorstand seit April 2024 wie folgt zusammen:

- 1. Vorsitzender: Dipl.-Ing. (FH) Christof Backes (Blieskastel),
- 2. Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Christian Lang (Saarbrücken),
- Schatzmeister: Dipl.-Ing. Harald Schmeer (Saarbrücken),
- Schriftführer: Dipl.-Ing. Horst Barthel (Merzig),
- Kassenprüfer: Dipl.-Ing. Gerhard Müller (Eppelborn) und Daniel Reinig (Dudweiler),
- Beauftragter für Digitalisierung: Dipl.-Ing. Enrico Dammköhler (Saarbrücken).

Die neue Adresse der vpi Saar lautet:
vpi Saarland
Florianstraße 30
66440 Blieskastel
Tel.: 06849/60096-0
E-Mail: info@pi-backes.de

Erheblich wachsendes Interesse an der Ausbildung zum Sachkundigen Planer für den Schutz von Betonbauwerken

Der sechstägige Qualifizierungslehrgang mit schriftlicher und mündlicher Prüfung hatte mit 31 Teilnehmern die bisher höchste Beteiligung interessierter Ingenieure

Der Bau-Überwachungsverein (BÜV) hat am 11. online und vom 14. bis 19. Oktober in Feuchtwangen seinen 22. Ausbildungslehrgang für Sachkundige Planer für den Schutz und die Instandhaltung von Betonbauwerken durchgeführt. Mit 31 Teilnehmern am Ausbildungslehrgang und 28 zugelassenen Kandidaten für die schriftliche und mündliche Prüfung hat diese Veranstaltung das enorm wachsende Interesse an dieser Fortbildung deutlich gemacht. Das Gros der zugelassenen Prüfungsteilnehmer konnte die schriftliche und mündliche Prüfung erfolgreich absolvieren und darf sich ab sofort Sachkundiger Planer für Schutz und Instandhaltung von Betonbauwerken nennen. Die 23. Ausgabe dieser Lehrgangsreihe wird – wieder in Feuchtwangen – vom 13. bis zum 18. Oktober 2025 durchgeführt. Auch diesem Kursus ist (am 10. Oktober 2025) ein Webinar vorgeschaltet, mit dem bisheriges Grundlagenwissen der Teilnehmer aufgefrischt wird, um den Stundenplan der Präsenzveranstaltung zu entlasten.

Wie in den vergangenen Jahren wurden die Teilnehmer auch in dem zurückliegenden Lehrgang von bekannten und ausgewiesenen Experten auf dem Gebiet der Betoninstandsetzung, des Gerüstbaus, juristisch relevanter Belange und des Normenwesens, um nur einige zu nennen, fachkundig unterrichtet und geprüft.

Der Feuchtwanger Lehrgang war schon die zweite Schulung ihrer Art in diesem Jahr, denn der BÜV hatte voriges Jahr die Zahl dieser Ausbildungslehrgänge auf zweimal jährlich erhöht und überdies schon 2019 inhaltlich an die damals noch neue Technische Regel (TR) Instandhaltung von Betonbauwerken (Teil 1

und Teil 2, Stand Mai 2020) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) angepasst. Sie gilt zwischenzeitlich als eingeführt und wird sukzessive in den Bundesländern in Gebrauch genommen.

Durch die Einführung der neuen TR Instandhaltung wird für Planungssicherheit für den Sachkundigen Planer gesorgt. Sie ersetzt weite Teile der Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (RiLi SIB) des DAfStb vom Oktober 2001. Daraus ergibt sich, dass der planende Ingenieur als Grundlage seiner täglichen Arbeit zwingend auf die eingeführten technischen Baubestimmungen der jeweiligen Bundesländer zurückgreifen

muss, was als gesetzlich festgelegte Bringschuld gegenüber dem eigenen Bauherrn oder Auftraggeber zu werten ist und dem Auftraggeber deshalb vertraglich geschuldet ist.

Der Bau-Überwachungsverein bietet seine Lehrgänge in Kooperation mit der Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft, der Bayerischen Bauakademie, der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau und der HafenCity Universität Hamburg an, und zwar jeweils in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit der DPÜ-Zertifizierungsstelle GmbH, die als Personalzertifizierungsstelle nach DIN EN ISO IEC 17024 von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAKKS) akkreditiert ist. Die Ausbildung

Nagelplattenbinder: Die Gefahr wird dann konkret, wenn es zwischen der Nagelplatte und dem Holz keinerlei Kontakt mehr gibt

Aktuelle Berichte aus mehreren Bundesländern haben belegt, dass es durch das Herauswandern von Nagelplatten zu ganz konkreten Gefährdungen bis hin zu einem möglichen Einsturz kommen kann. Deswegen hat die Bauministerkonferenz ARGEBAU schon vor einigen Jahren *Hinweise zur Untersuchung von Holzkonstruktionen in Nagelplattenbauweise* veröffentlicht und auf die mögliche Gefährdung der Standsicherheit durch abstehende Nagelplatten hingewiesen. Die dort ausgesprochenen Warnungen sind jetzt von einigen praktizierenden Prüfengeuren bestätigt worden. Sie haben deshalb dazu aufgerufen, derartige Prüfungen „unbedingt sorgfältig und dringlich“ durchzuführen.

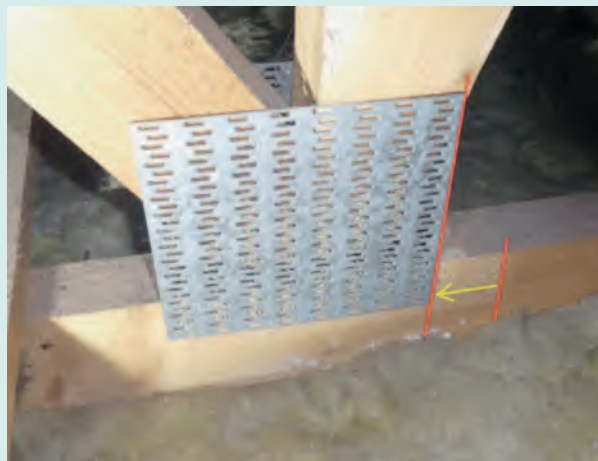
Im Februar 2011 schon hatte die Bauministerkonferenz ARGEBAU ihre *Hinweise zur Planung und Ausführung von Nagelplattenkonstruktionen nebst Anmerkungen zur Prüfung der Standsicherheitsnachweise und Überwachung der Bauausführung* herausgegeben und darin auf die mögliche Gefährdung der Standsicherheit durch abstehende Nagelplatten hingewiesen. Dazu schreibt der Beratende Ingenieur und Prüfengeuer für Holzbau und Metallbau Dipl.-Ing. Markus Bernhard (Augsburg) über seine Erfahrungen mit diesem Thema, das Herauswandern von Nagelplatten, das bislang als eher abstrakte Gefahr angesehen worden sei, werde dann zur konkreten Gefahr, „wenn es keinerlei Kontakt zwischen Nagelplatte und Holz mehr gibt“. Solche Nagelplatten weisen, so berichtet Bernhard über etliche Fälle aus seiner und einiger seiner Kollegen Prüfungstätigkeit, „etwas größere Abstände zur Oberfläche der Hölzer auf“.

Beispielsweise hat sich die Nagelplatte mit kurzer Nagellänge in der unten stehenden Abbildung vom Untergurt des Binders schon vollständig abgelöst, und die beiden Streben haben sich in Längsrichtung des Untergurts bereits mehrere Zentimeter im Vergleich zur Einbaulage verschoben. Eine Kraftübertragung findet definitiv nicht mehr statt.

In diesem Objekt wurde, so schreibt Bernhard, diese Situation an mehreren Stellen angetroffen, sodass es bis zur Ertüchtigung aus Vorsichtsgründen gesperrt werden musste. Ihm lägen Berichte einiger Kollegen über vergleichbare Sachverhalte in mehreren anderen Objekten vor.

Angesichts dieser Feststellungen scheinen, so konstatiert Bernhard, die hier genannten Hinweise nichts an ihrer Aktualität verloren zu haben. Insbesondere bei der Überprüfung bestehender Objekte werde man als Prüfengeuer oder Prüfsachverständiger deshalb „vermehrt sein Augenmerk auf diese Problematik richten müssen“. Auch sollten die von der ARGEBAU empfohlenen Überprüfungen im Bestand vor diesem Hintergrund „unbedingt sorgfältig und dringlich durchgeführt werden“.

Die oben erwähnten Hinweise der ARGEBAU können nach wie vor auf der Website der ARGEBAU heruntergeladen werden.



NAGELPLATTEN-BINDER in einem Getränkemarkt: Die Nagelplatte mit kurzer Nagellänge hat sich vom Untergurt des Binders vollständig abgelöst, die beiden Streben haben sich in Längsrichtung des Untergurts bereits mehrere Zentimeter im Vergleich mit der Einbaulage verschoben.

erstreckt sich über jeweils fünf Tage in Präsenz, einen Tag in Form eines Webinars, und sie schließt am Prüfungstag (Samstag) mit einer schriftlichen und mündlichen Prüfung und der Möglichkeit ab, sich als Sachkundiger Planer zertifizieren zu lassen.

Oktober '25: Nächster Lehrgang in Feuchtwangen

Für die Durchführung des 23. Ausbildungslehrgangs wieder bei der Bayerischen Bauakademie in Feuchtwangen steht die Zeit von Montag, dem 13.10.2025, bis Samstag, den 18.10.2025, fest. Vorher aber, am Freitag, dem 10. Oktober 2025, werden, was inzwischen eingeschliffene Normalität ist, mit den Teilnehmern im Rahmen eines Webinars die wichtigsten Grundlagen wiederholt, die Bestandteil des Hochschulstudiums sind und als Auffrischung zu betrachten sind, um den vollen Stundenplan der nachfolgenden Präsenzveranstaltung zu entlasten.

Um eine Teilnahme an dieser Ausbildungsreihe kann man sich bereits jetzt bewerben. Da es sich bei der Instandhaltung von Betonbauwerken um ein überaus auftragsträchtiges Tätigkeitsfeld auch für Prüfengeure und Prüfsachverständige handelt, wird auch ihnen empfohlen, sich um eine Teilnahme an diesem BÜV-Ausbildungslehrgang zu bewerben.

Bei der Zulassung zur Teilnahme werden, wie immer, neben jenen Bewerbern, deren primäres Ziel die Erlangung eines gesonderten professionellen Qualitätsmerkmals in Form einer Zertifizierung gemäß DIN EN ISO/IEC 17024 ist, auch nur an der Vortragsreihe Interessierte und Techniker von ausführenden Unternehmen berücksichtigt. All jene, die eine fünfjährige Berufserfahrung auf besagtem Gebiet nachweisen können und die die schriftliche und mündliche Prüfung mit Erfolg bestanden haben, die auf freiwilliger Basis erfolgt, bekommen eine Urkunde mit der Prägung des Ausbildungsbeirates *Sachkundiger Planer* überreicht, abgestempelt durch den BÜV, sie sind dann berechtigt, die Bezeichnung Sachkundiger Planer führen.

(Zertifizierungswillige) Teilnehmer sollten im ersten Schritt dem Bau-Überwachungsverein folgende Bewerbungsunterlagen digital einsenden:

- einen formlosen Antrag auf Teilnahme am Lehrgang,
- einen tabellarischen Lebenslauf mit Lichtbild,
- Kopien (soweit vorhanden) des Diploms mitsamt Zeugnis, des Bachelor-, Master- oder eines gleichwertigen Abschlusses einer ingenieur- oder naturwissenschaftli-

chen Fachrichtung oder des Studiums an einer Fachhochschule, Technischen Hochschule oder an einer Universität,

- den Nachweis einer mindestens fünfjährigen Berufserfahrung auf dem Gebiet der Betoninstandsetzung in Form einer chronologisch geordneten Projekt- beziehungsweise Referenzliste mit Beschreibung der wichtigsten Eckdaten sowie aller Charakteristika der gelisteten Arbeiten.

Nach vorher angemeldeter und dann bestandener Prüfung sowie im Sinne der angestrebten Zertifizierung müssen dann eine fachliche Unabhängigkeitserklärung und ein polizei-

liches Führungszeugnis beigebracht werden, das nicht älter als drei Monate sein darf.

Bewerbungen und Anfragen sind bis zum 27. September 2025 digital zu richten an:

Dipl.-Ing. M. Vidacković
Bau-Überwachungsverein BÜV
Kurfürstenstr. 129
10785 Berlin
Tel.: 030/3198914-13
E-Mail: vidackovic@bvpi.de

Die Bewerbung verpflichtet oder berechtigt den Kandidaten nicht zur Teilnahme. Erst nach der Auswertung der Bewerbungsunterlagen

durch die Prüfungskommission des BÜV erhält dieser Nachricht darüber, ob er zur Ausbildung, zur Ausbildung mit Prüfung oder zur Ausbildung mit Prüfung und (späteren) Zertifizierung zugelassen worden ist. Der Teilnehmer entscheidet dann verbindlich, ob er an der Veranstaltung teilnehmen wird.

Kooperationspartner dieses Lehrgangs ist neben der Bayerischen Bauakademie die Bayerische Ingenieurekammer-Bau.

Näheres wird zu gegebener Zeit der BÜV-Homepage unter www.buev.eu zu entnehmen sein. *Dipl.-Ing. Momcilo Vidackovic, BÜV*

Fachlicher Erfahrungsaustausch auf hohem Niveau über Aktuelles im Bereich der Betoninstandsetzung

Fortbildungsveranstaltung für Sachkundige Planer für Schutz und Instandhaltung von Betonbauwerken mit mehreren Life-Demonstrationen an der RWTH-in Aachen

Mit über 250 Teilnehmern und zahlreichen namhaften Referenten hat im Rahmen des 63. Aachener Baustofftages die diesjährige Fortbildungsveranstaltung für Sachkundige Planer für den Schutz und die Instandhaltung von Betonbauwerken stattgefunden, die der Bau-Überwachungsverein (BÜV) alljährlich ausrichtet, dieses Jahr in Zusammenarbeit mit dem Institut für Baustoffforschung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (ibac). Im Fokus dieser Veranstaltung des BÜV stand die praxisnahe Vermittlung von Innovationen auf dem Sektor der Betoninstandsetzung und Betoninstandhaltung.

Am ersten Tag stellten Mitarbeiter des ibac aktuelle Projekte vor, vor allem neue Materialien wie Beton mit alternativen Bindemitteln oder elektrisch beheizbaren Textilbeton. Daneben wurden hochalkalische Hydrogele für die Instandhaltung und die Erfassung dauerhaftigkeitsrelevanter Eigenschaften besprochen. Schwerpunkt des zweiten Tages waren praxisrelevante Themen. Nach einem Überblick über die Automatisierung und Digitalisierung in der Bauwerkserhaltung folgten ausgewählte Themen, die noch stärker im Fokus der Sachkundigen Planer stehen. Dabei ging es um die Automatisierung und Digitalisierung in der Bauwerkserhaltung, um Erfahrungen mit der Selbstheilung von Rissen im Beton von wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen und um die Anwendbarkeit galvanischer Anodensysteme vor dem Hintergrund der neuen DIN EN 12696. Schließlich wurde noch über die Qualifikation von Prüfpersonal bei der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen unter der neuen DIN 4871 und ihre Folgen gesprochen. Abgerundet wurde die Veranstaltung mit einigen Live-Demonstrationen in Sachen zerstörungsfreie Prüfverfahren und Monitoring.

Nach Abschluss der Veranstaltung erhielten die Teilnehmer eine Teilnahmebescheinigung, zum ersten Male auf digitalem Wege, mittels derer die Fortbildungsverpflichtung nachgewiesen werden kann.

In den Diskussionsrunden, nach den Vorträgen sowie in den Pausen wurde den Teilnehmern zahlreiche Gelegenheit zu einem regen Meinungs- und Erfahrungsaustausch mit den Referenten und untereinander gegeben.

Die Veranstaltung war mit mehr als 250 Teilnehmerinnen und Teilnehmern sehr gut besucht, und man konnte die hohe Erwartungshaltung des Publikums an das Programm regelrecht spüren. Diese Erwartungshaltung konnte vom Veranstalter im Laufe des Tages in jeglicher Hinsicht und vielen Gesprächen mit etlichen Lehrgangsteilnehmern erfüllt und oftmals bestätigt werden.

Begleitet wurde die Veranstaltung von einem Festabend, an dem bei entspannter Atmosphäre und einer künstlerischen Darbietung die Anwesenden weiter in einen regen kollektiven Austausch treten konnten.

Der Bau-Überwachungsverein wurde 1987 von Prüfsingenieuren für Baustatik als Reaktion darauf gegründet, dass die staatlichen Verwaltungen sich aus der präventiven Gefahrenabwehr zurückziehen begannen, der immer noch effektivsten Methode für die Gewährleistung von Bausicherheit. Die politischen Beschlüsse, die damals als Deregulierung im Interesse der Bürger gepriesen worden sind, haben inzwischen erhebliche negative Konsequenzen entfaltet, deren ungünstige Auswirkungen auf das Bauwesen in der Folgezeit durch das, wie es auf der Website des BÜV heißt, „anhaltend wuchernde Normenwerk dramatisch verstärkt“ worden sind.

Der BÜV sieht es deshalb heute als seine wichtigste Aufgabe an, Bauherren, Bauverwaltungen und andere mit der Planung, Ausführung und Nutzung von Bauwerken befasste Personen und Einrichtungen über seine deutschlandweit tätigen Experten mit Prüf- und Überwachungsleistungen bei der Vorbereitung, Errichtung und Instandhaltung von baulichen Anlagen zu unterstützen, insbesondere dort, wo es an helfenden staatlichen Regelungen fehlt. *Dipl.-Ing. Momcilo Vidackovic, BÜV*

Die Mitgliederversammlung des Bau-Überwachungsvereins kürte ein Ehrenmitglied und wählte seinen Vorstand neu

Dipl.-Chem. Peter Holdt wurde als wegweisender Initiator der BÜV-Lehrgänge für die Ausbildung Sachkundiger Planer für den Schutz von Betonbauten ausgezeichnet

Ein Ehrenmitglied, ein neuer Vorstand und ein respektabler Rechenschaftsbericht über die abgelaufene Amtszeit des Vorstandes, das waren die Höhepunkte der diesjährigen Ordentlichen Mitgliederversammlung des Bau-Überwachungsvereins (BÜV), die am 11. Oktober 2024 im Prof. Georg Nemetschek-Saal der Hochschule München stattfand, und zwar im Vorfeld einiger Sitzungen diverser BÜV-Arbeitskreise, die am gleichen Tag durchgeführt worden waren. Die Hochschule München ist eine Kooperationspartnerin des BÜV und mit über 18.000 eingeschriebenen Studenten und Studentinnen, 101 Studiengängen, vierzehn Fakultäten und 6353 Studierenden im ersten Semester eine der nach eigener Einschätzung „vielfältigsten Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Deutschland“.

Nach Abarbeitung der obligatorischen Verbandsregularien erfolgte durch den Vorsitzenden des BÜV, Dr.-Ing. Christian Stettner (München), der Bericht des Vorstandes, in dessen Verlauf den Mitgliedern darüber berichtet wurde, inwieweit und inwiefern erreicht worden ist, was zu erreichen man als Verband vor zwei Jahren sich vorgenommen hatte. Dazu gehören unter anderem

- die nach wie vor sorgfältige und qualitativ hochwertig erweiternde Bearbeitung und Vervollständigung der Kompetenzfelder der Mitglieder des BÜV,
- die Überarbeitung der BÜV-Homepage mit neu eingerichteten FAQ-Feldern im internen Mitgliederbereich sowie
- die erfolgreiche Konsolidierung des BÜV-Haushaltes.

Darüber hinaus wurden die Ausbildung und Anerkennung zertifizierter Sachkundiger Planer für den Schutz und die Instandhaltung von Betonbauwerken sowie der reibungslose und nunmehr abgesicherte Betrieb der DPÜ-Zertifizierungsstelle thematisiert.

Entsprechend der Satzung des BÜV erfolgte in dieser Mitgliederversammlung auch die turnusmäßige Neuwahl des Vorstandes. Ihn bildeten seit 2016 neben Dr.-Ing. Christian Stettner als Vorsitzendem dessen Stellvertreter Dr.-Ing. Olaf Drude (Hamburg) und Dr.-Ing. Ulrich Scholz (München). Stettner und Drude wurden einstimmig in ihren Ämtern bestätigt. Scholz hatte nach nunmehr zwölf Jahren ehrenamtlicher Tätigkeit für die Belange des Verbandes für eine erneute Kandidatur nicht mehr zur Verfügung gestanden. An seiner Stelle ist Dr.-Ing. Anja Sasse (Berlin) einstimmig als stellvertretende Vorsitzende in den Vorstand des BÜV gewählt worden – als erste Bauingenieurin in der Geschichte des BÜV.



ZUM EHRENMITGLIED des Bau-Überwachungsvereins ist Dipl.-Chem Peter Holdt ernannt worden, einer der Initiatoren der BÜV-Lehrgänge für Sachkundige Planer.

Höhepunkt der Mitgliederversammlung war die Verleihung der Ehrenmitgliedschaft an Dipl.-Chem. Peter Holdt. Er war seit dem Bestehen des BÜV-Arbeitskreises Bauwerks-erhaltung, -instandsetzung und -überwachung eine tragende Säule und Initiator für die Ausbildungslehrgänge Sachkundiger Planer für Schutz und Instandhaltung von Betonbauwerken. Er zeichnete sich während seiner ehrenamtlichen Tätigkeit durch seinen unermüdlichen Einsatz für die Interessen seiner Mitglieder aus. Zu seinem Verdienst gehört, dass der BÜV in Sachen Schutz und Instandhaltung von Betonbauwerken eine in der Fachwelt bekannte und anerkannte Marke geworden ist. Dabei lag ihm insbesondere am Herzen, dass die im Arbeitskreis versammelten Expertinnen und Experten den Verbandsmitgliedern, aber auch externen Ingenieurinnen und Ingenieuren, mit einer qualifizierten Expertise zur Seite standen.



NACH ZWÖLF JAHREN ehrenamtlicher Tätigkeit im Vorstand des Bau-Überwachungsvereins stand Dr.-Ing. Ulrich Scholz nicht mehr für eine Wiederwahl zur Verfügung.

Der Bau-Überwachungsverein sieht es als seine wichtigste Aufgabe an, Bauherren, Bauverwaltungen und andere mit der Planung, Ausführung und Nutzung von Bauwerken befasste Personen und Einrichtungen über seine deutschlandweit tätigen Experten mit Prüf- und Überwachungsleistungen bei der Vorbereitung, Errichtung und Instandhaltung von baulichen Anlagen zu unterstützen, insbesondere dort, wo es an helfenden staatlichen Regelungen fehlt. Die fachkompetente Überwachung, Prüfung und Beurteilung von Bauleistungen als unabhängige Dienstleistung für private Bauherren und staatliche Bauverwaltungen im Sinne von Dauerhaftigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Umweltverträglichkeit und der verantwortungsvolle Umgang mit den vorhandenen Ressourcen sind die wesentlichen Bausteine und Charakteristika dieser Beratungstätigkeit.

Dipl.-Ing. Momcilo Vidackovic, BÜV

Die alten und neuen Inhalte der EN 1990 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ werden in zwei Teile gesplittet

Teil 1 berücksichtigt u.a. den Klimawandel und Teil 2 behandelt die Bestandsbauwerke
Die BVPI arbeitet am Nationalen Anhang zum Hauptteil der DIN EN 1990:2024 mit

Die derzeit laufende Neufassung und umfassende Überarbeitung aller Eurocodes hat dazu geführt, dass die Europäische Norm EN 1990 (Eurocode 0), die die Grundlagen der Tragwerksplanung behandelt, in ihrer zweiten Generation aus zwei Teilen bestehen wird. Im ersten Teil wird für Neubauten unter anderem mit einer Nachhaltigkeitsklausel der Klimawandel berücksichtigt. Im zweiten Teil wird die Bewertung von Bestandsbauwerken behandelt. Die Veröffentlichung der überarbeiteten EN 1990 ist ab 2026 geplant. Mit Drucklegung dieser Ausgabe des **PRÜFINGENIEURS** durchläuft die zweite Generation der EN 1990 die letzte Überarbeitung hin zum finalen Stand, über welchen dann in einem Jahr, im Oktober 2025, in der Formellen Abstimmung (*Formal Vote*) abschließend abgestimmt wird*. Über die damit zusammenhängenden Aktivitäten wird im folgenden Beitrag berichtet

Die bis Frühjahr 2025 erfolgende Überarbeitung und anschließende Übersetzung und Übersetzungskontrolle der Norm berücksichtigt Kommentare der Mitgliedstaaten die zur dritten öffentlichen Bewertung des Gelbdruckes (*Enquiry **) für diese Norm zu folgenden Sachverhalten abgegeben wurden:

— Anwendungsregeln der Anhänge „A“ (Kombinationen, Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte), im Detail die Anhänge

- A3 „Türme, Masten und Schornsteine“,
- A4 „Silos und Tanks“,
- A5 „Krane und Maschinen unterstützende Konstruktionen“,
- A6 „Küstenbauwerke“.

Zusätzlich wurde die Aufteilung der EN 1990 in zwei Teile bewertet. Der erste Teil (EN 1990-1) wird derzeit national mit „Neubauten“ und der zweite Teil (EN 1990-2) mit „Bewertung von Bestandsbauten“ tituiert. Handelt es sich bei den zukünftigen Inhalten von EN 1990-1 im Wesentlichen um Inhalte der derzeit gültigen EN 1990:2010 inklusive Ergänzungen durch die oben genannten spezifischen Anhänge „A“, so sind die Inhalte der EN 1990-2 im letzten Jahrzehnt neu erarbeitet worden.

Da es sich hierbei um einen deskriptiven Normenteil handelt, in dem hauptsächlich Vorgehensweisen beschrieben werden, ist von einer Untermauerung mit technischen Regeln oder Anhängen in den zukünftigen Teilen der Materialeurocodes auszugehen.

Eine Teilung der Normeninhalte in zwei Teile wurde im CEN/TC250 mit knapper Mehrheit und mit Unterstützung der deutschen Delegation erwirkt, damit eine bauaufsichtliche Einführung – so sie notwendig ist – der EN 1990-2 gesondert erfolgen könnte.

Die derzeitige hauptsächlich formelle Überarbeitung von EN 1990-2 weist auf eine neue, an Teil 1 angepasste Gliederung und Strukturierung hin. In einem Jahr können die Arbeiten am Eurocode 0 als abgeschlossen gelten.

DIBt und BVPI arbeiten am NA

National steht im Spiegelausschuss zum CEN/TC250/SC10 (NA 005-51-01 AA „Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Tragwerken“) ebenfalls die Erarbeitung des neuen Nationalen Anhangs (NA) für DIN EN 1990:2023 im Fokus. Hierzu wurde im Spiegelausschuss eine kleine Untergruppe unter Leitung des Deutschen Instituts für Bautechnik und unter Mitarbeit der Bundesvereinigung der Prüfen Ingenieure für Bautechnik eingerichtet, die einen Entwurf zum nationalen Anhang für folgende Teile des Eurocode DIN EN 1990:2023 liefern soll: den Hauptteil der Norm, Anhang A1 „Allgemeine Anwendung und Anwendung im Hochbau“, Anhang B „Technische Managementmaßnahmen für die Planung und Bauausführung“.

Zu Beginn der Erarbeitung wurden in der Gruppe hierzu grundlegende Feststellungen über die Erarbeitung des NA getroffen und im Spiegelausschuss diskutiert. Prinzipiell sollte der Status Quo erhalten bleiben. Im Einzelnen wurden folgende Punkte benannt:

2. Regelungen zur Gebrauchstauglichkeit (und Verformungsgrenzwerte) sind hauptsächlich in den Facheurocodes zu regeln,
3. für zusätzliche Regelungen zur Robustheit können weitere Anforderungen in den Facheurocodes getroffen werden,
4. alternative Bemessungsverfahren, basierend auf probabilistischen Verfahren, bleiben ein Sonderfall und bedürfen der Zustimmung der Bauaufsichtsbehörden,
5. die Mehrzahl der Tragwerke und baulichen Anlagen bleibt der Versagensfolgeklasse 2 (CC 2) zugeordnet,
6. versuchsgestützte Bemessungen in der Tragwerksplanung sind ein Sonderfall und bedürfen der Zustimmung der Bauaufsichtsbehörden,
7. die geplante Nutzungsdauer für die Mehrzahl der Gebäude und baulichen Anlagen verbleibt im Allgemeinen bei fünfzig Jahren, bauwerksspezifische Abweichungen könnten in Facheurocodes geregelt werden,
8. Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte werden analog zu derzeit gültigen Norm geregelt,
9. zusätzlich soll ein Hinweis aufgenommen werden, dass die meisten praxisrelevanten Regelungen in den Anhängen „A“ und den zugehörigen NA und NCI (*Non-contradictory Complementary Information*). im NA zu finden sind.

Diese grundlegenden Punkte wurden den Spiegelausschüssen der Facheurocodes im DIN übergeben und um Kommentierung gegeben. Bei der Auswertung der Antworten stellte sich heraus, dass besonders die differenzierte Betrachtung der Versagensfolgeklassen einen Wunsch der Spiegelausschüsse zu den Facheurocodes darstellt. Hierzu werden weiterführende Diskussionen erwartet, da sich die Er-

* Siehe auch: Der Prüfen Ingenieur, Ausgabe 64, S. 10, Tab. 2 und Der Prüfen Ingenieur, Ausgabe 61, S. 47 ff).

1. Für Regelungen, welche die Standsicherheit betreffen, ist weitestgehend der derzeitige Stand beizubehalten,

wartungen an die Umsetzung teilweise unterscheiden. Ein weiterer anhaltender Diskussionspunkt ist die nationale Auslegung der neuen Regelung 4.7 „Nachhaltigkeit“; Zitat:

(1) Das Tragwerk sollte so bemessen sein, dass seine nachteiligen Auswirkungen auf nicht erneuerbare Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während seiner gesamten Nutzungsdauer begrenzt werden, wie von der zuständigen Behörde festgelegt oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, wie für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart.

ANMERKUNG 1: Die nachteiligen Auswirkungen eines Tragwerks auf seine Umwelt, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft können zum Beispiel durch entsprechend ausgewählte Konstruktionsprozesse und umweltverträgliche Baustoffe, einschließlich deren Herstellung, Entwurfslösungen, Dauerhaftigkeit, Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit, auf ein Mindestmaß verringert werden.

ANMERKUNG 2: Ergänzende Anforderungen zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit im Entwurf können im Nationalen Anhang angegeben werden.

Kalleja im Interview mit SPIEGEL Online:

Die BVPI fordert eine deutliche Erhöhung staatlicher Investitionen für den Brückenunterhalt

„Wir haben in Deutschland einen hohen und wachsenden Bedarf an Brückensanierungen. Der Staat tut gut daran, die Investitionsmittel in diesem Bereich deutlich zu erhöhen – einerseits für den Unterhalt der Brücken, andererseits für die notwendige Forschung. Wir als Ingenieure werden nicht müde, das einzufordern.“ Mit diesem Satz hat der damalige Präsident der Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik, Dr.-Ing. Hartmut Kalleja, nach dem Einsturz der Dresdener Carolabrücke in einem Interview mit SPIEGEL Online der Öffentlichkeit versichert, dass und warum der Grund für diesen Einsturz „keine fehlerhafte Planung“ war.

Von Marco Evers, dem Redakteur von SPIEGEL Online nach dem Grund des Einsturzes gefragt, antwortete Kalleja, den Grund könne man jetzt noch nicht sagen. Was in Dresden geschehen sei, das nennen die Ingenieure einen Bruch ohne Vorankündigung oder auch ein unangekündigtes Versagen. So etwas sei sehr, sehr selten. Dieser Vorfall zeige aber wieder einmal, dass es, wie Kalleja wörtlich sagte, „im Bauwesen einfach keine absolute Sicherheit gibt, denn allem, was wir machen, liegt eine gewisse Versagenswahrscheinlichkeit zugrunde, auch wenn sie sehr gering ist, so etwa im Bereich von eins zu einer Million. Vor Gericht würde man deshalb sagen müssen: Es ist nicht vollständig auszuschließen, dass so etwas passiert“. Und auf die Frage, ob die 1971 eröffnete Brücke nicht hinreichend überwacht worden sei, erwiderte Kalleja, das Gegenteil sei der Fall, denn deutsche Brücken würden nach DIN-Norm 1076 sehr gut überwacht, in dieser Norm sei alles penibel geregelt, vor allem die Vorschrift, dass an jeder Brücke alle sechs Jahre eine Brückenhauptprüfung, alle drei Jahre eine einfache Prüfung und jedes Jahr eine Sichtprüfung durchzuführen sei. Auch in Dresden seien diese normativen Festlegungen in Bezug auf die Carolabrücke sicherlich sorgfältig beachtet worden. „Und trotzdem ist die Brücke eingestürzt“, warf Evers ein, aber Kalleja blieb bei seiner Feststellung: „Für unsere Bauwerke besteht ein sehr hoher Sicherheitsstandard. Er ist auch dank des Vieraugenprinzips weltweit beispiellos. Wenn in Deutschland ein Ingenieur hierzulande ein Tragwerk plant, so Kalleja, dann wird zusätzlich ein Prüffingenieur eingeschaltet, um diese Planung unabhängig zu bewerten. Niemand entwerfe hier ein Tragwerk, ohne einen Prüfer mit einer Überprüfung zu beauftragen. Dies werde sehr strikt gehandhabt. Und der skeptischen Frage, ob von den Tausenden überlasteten und maroden Brücken in Deutschland, die zum Teil älter noch als 50 Jahre und für eine Welt entworfen worden seien, in der viel weniger Verkehr und keine 40-Tonnen-Riesenlasten bekannt gewesen seien, auch noch welche einstürzen könnten, begegnete Kalleja mit einem klaren Nein. Auch die vielen schadhaften Brücken, so seine Ansicht, seien wegen der regelmäßigen Überwachung und der darauf aufbauenden Bewertung noch immer gut genug, sodass Fachleute für sie die Verantwortung übernehmen können. „Ich glaube nicht“, so Kalleja wörtlich, „dass irgendeine Brückenverwaltung in Deutschland leichtfertig eine Brücke freigeben würde, wenn sie von ihrer Standfestigkeit nicht überzeugt ist.“ Und: „Viele Länder der Welt versuchen, an dieser Stelle von uns zu lernen.“

Der derzeitige Diskussionsstand sieht vor, dass weiterführende Hinweise in den bauartbezogenen NA der Eurocodes oder in darin referenzierten Ausführungsregeln enthalten sein können (zum Beispiel auch DAfStb Richtlinien).

Die oben aus Regelung 4.7 zitierte Passage zeigt eine weitere grundlegende Änderung auf, die in der neuen Eurocode-Generation zu erwarten ist. Die Floskeln „... wie von der zuständigen Behörde festgelegt ...“ oder „... sofern ...“ werden mittlerweile in den Eurocode-teilen inflationär verwendet und ersetzen mitunter die teilweise mühevoll reduzierten NDP (*Nationally Determined Parameters*). Problematisch ist dabei, dass sich die Behörde teilweise zu sehr speziellen Themen (zum Beispiel zur Auswirkung der Hydratationswärme des Betons) äußern soll. Da hierzu wahrscheinlich selten konkrete Aussagen zu erwarten sein werden, wird im neuen NA eine generelle Aussage vorgeschlagen, die auch als Blaupause für nationale Anhänge anderer Eurocodes dienen könnte. Ein Beispiel für einen NCI zu Abschnitt 5.5 (4):

(4) Die Bemessungswerte der in (2) angegebenen Basisvariablen sollten mit dem Bemessungsverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten ermittelt werden, das in Abschnitt 8 angegeben ist.

(5) Alternativ zu (4) darf ein Bemessungsverfahren angewendet werden, das auf probabilistischen Methoden basiert, sofern dies durch die zuständige Behörde festgelegt ist, oder, falls keine Festlegungen getroffen wurden, wie für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart.

DIN EN 1990:2023 würde somit im NA lauten:

NCI zu 5.5 (5) (neu): Alternative Bemessungsverfahren basierend auf probabilistischen Methoden sind ein Sonderfall, so dass im Regelfall die Bauaufsichtsbehörden bei Anwendung der Eurocodes 5.5 (4) empfiehlt.

Hier sei angemerkt, dass diese Formulierung „... die Behörde legt fest ...“ in den Mitgliedsländern der EU und dort auch innerhalb der Spiegelgremien sehr differenziert betrachtet und diskutiert wird. Dies gilt auch für den nationalen Spiegelausschuss.

Mit Stand Oktober 2024 wurde weiterhin von der Untergruppe des Spiegelausschusses ein Entwurf eines Nationalen Anhangs erarbeitet der als Grundlage für die Beratung und Weiterbearbeitung an den Hauptausschuss NA 005-51-01 AA übergeben wird.

Dipl.-Ing. Christian Klein, BVPI

Die BVS-Autobahn übernimmt die Abrechnung von Honoraren für Prüfprojekte und Anfragen der Autobahn des Bundes

Als Vertreter der Prüfsachverständigen ermittelt sie in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber auch die richtige Vergütung für das jeweilige Prüfprojekt

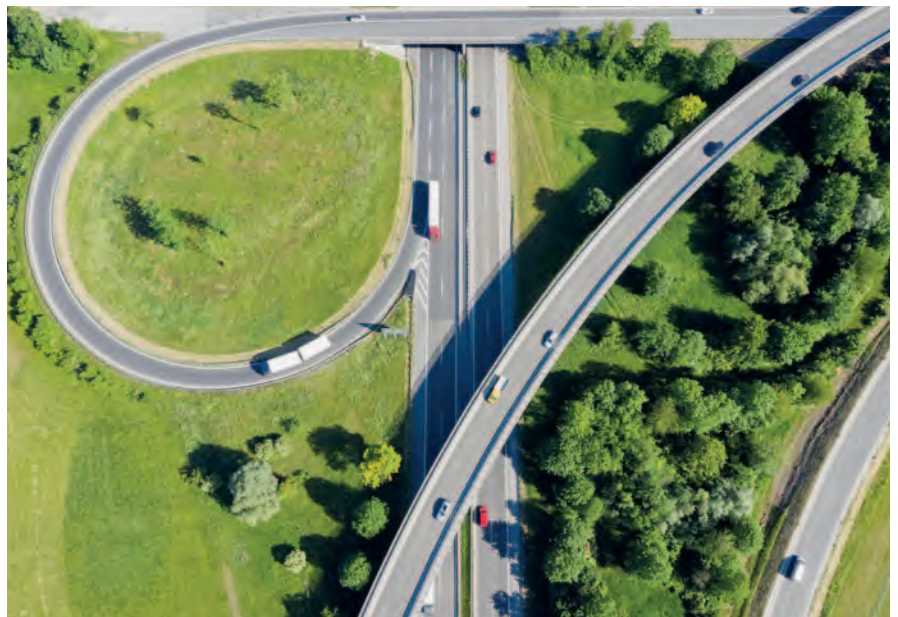
Die Bewertungs- und Verrechnungsstelle der Prüfsachverständigen im Bereich der Bundesfernstraßen (BVS Autobahn), die vor zwei Jahren von der Bundesingenieurkammer und der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik gegründet worden ist, um die Abrechnung von Honoraren für Prüfsachverständige im Bereich der Bundesautobahnen zu übernehmen, hat kürzlich alle Prüfsachverständigen aufgerufen, Prüfprojekte und Anfragen der *Autobahn des Bundes GmbH* über die BVS Autobahn abzuwickeln.

Die BVS Autobahn ist die zentrale Stelle für die Abwicklung von Prüfprojekten und Anfragen der *Autobahn des Bundes GmbH*, die in Verantwortung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr die Planung, den Bau, den Betrieb, die Erhaltung, die Finanzierung und die vermögensmäßige Verwaltung aller Autobahnen in Deutschland quasi aus einer Hand realisiert, damit schneller geplant, direkt finanziert und effizienter investiert werden kann.

Gegenstand der BVS Autobahn ist die Vertretung der Prüfsachverständigen für bautechnische Nachweise im Tätigkeitsbereich der Bundesfernstraßen gegenüber ihren Auftraggebern in allen Fragen der Feststellung und Abrechnung von Vergütungen.

Die BVS Autobahn GmbH dient als Partner in allen Bewertungs- und Vergütungsfragen für die statische und konstruktive Prüfung von Ingenieurbauwerken und die Prüfung des baulichen Brandschutzes im Bereich der Bundesfernstraße. Ob die Ermittlung von anrechenbaren Kosten, die Einordnung in die richtige Bauwerksklasse oder die Berücksichtigung von Abminderungen: Die BVS Autobahn GmbH ermittelt unter Anwendung der RVP* die richtige Vergütung für die jeweiligen Prüfprojekte. Die Vergütungsermittlung erfolgt dabei in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber, also der *Autobahn GmbH des Bundes*. Dies solle dazu beitragen, die Honorarsituation der Prüfsachverständigen zu verbessern und den hohen Qualitätsansprüchen der Auftragserledigung in diesem Bereich gerecht zu werden.

* Richtlinie für die Vergütung für die statische und konstruktive Prüfung von Ingenieurbauwerken für Verkehrsanlagen sowie die Prüfung des baulichen Brandschutzes für Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen im Zuständigkeitsbereich des Eisenbahn-Bundesamtes



DIE DEUTSCHEN AUTOBAHNEN werden von der Autobahn des Bundes GmbH geplant, gebaut und betrieben. Die Ermittlung und Erhebung der Gebühren der Prüfsachverständigen für diese Aufträge übernimmt die BVS Autobahn der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik und der Bundesingenieurkammer.

Das Auftragsverhältnis zwischen dem Prüfsachverständigen oder Prüfsachverständigen einerseits und der *Autobahn GmbH des Bundes* beziehungsweise anderer Auftraggeber andererseits bleibt von der BVS Autobahn GmbH unberührt. Die BVS Autobahn GmbH tritt lediglich als Vertreter des Prüfsachverständigen oder des Prüfsachverständigen bei Bewertungs- und Vergütungsfragen auf, stellt die Rechnungen und wickelt den Zahlungsverkehr ab.

Die in der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik organisierten Prüfsachverständigen und Prüfsachverständigen sind gemäß Paragraph 5 Absatz 5 der Satzung der BVPI verpflichtet, für Prüfaufträge im Bereich der Bundesfernstraßen die Dienste der BVS Autobahn GmbH in Anspruch zu nehmen. Für die Umsetzung ihrer Leistungen bedient sich die BVS Autobahn der langjährigen Erfahrung mit der

Bewertung und Verrechnung von Infrastrukturprojekten, die die Bewertungs- und Verrechnungsstelle der Prüfsachverständigen in Baden-Württemberg (Leinfelden-Echterdingen) seit einigen Jahren gesammelt hat. Über diese Verbindung wird langjähriges Know-how für alle an dem jeweiligen Projekt Beteiligten verknüpft und gesichert.

Die BVS Autobahn GmbH ist eine gemeinsame Gesellschaft der Bundesingenieurkammer und der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik. Beide Organisationen sind mit je fünfzig Prozent an der Gesellschaft beteiligt. Die Geschäftsführung wird durch Syndikus-Rechtsanwalt Henning Dettmer ausgeübt, dem Geschäftsführer der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik. Sitz der Gesellschaft ist Berlin.

Henning Dettmer

Nachhaltigkeit und Klimaschutz: wichtige Themen der Arbeit des Deutschen Instituts für Bautechnik

Neuigkeiten aus Berlin: klinkerarme und zementfreie Betone, Carbon-Gitterbewehrung, innovative Verschraubung von Bauteilen, Renaissance der preußischen Kappendecke

Wie in vielen Jahren zuvor, so hat der Präsident des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft, auch in diesem Jahr die Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik (BVPI) mit seinem „Aktuellen Bericht aus dem DIBt“ eingeleitet. Dabei hat er zahlreiche neu vom DIBt zugelassene Produkte und Bauarten vorgestellt und die Entwicklungen des nationalen und europäischen Regelungsrahmens erläutert, einschließlich der fast abgeschlossenen Novelle der EU-Bauproduktenverordnung. Die vielen produkttechnischen Details, die er präsentierte, zeigen einen essenziellen gemeinsamen Nenner: Nachhaltigkeit, Klimaschutz und Klimaresilienz werden bestimmende Kriterien zukünftiger Bauplanung und -prüfung sein. Schließlich hat Breitschaft auch einen für das eminente Nachwuchsproblem der Prüfeningenieure bedeutsamen Bericht über die Situation des Prüfungsausschusses für die Anerkennung von Prüfeningenieuren für Standsicherheit erstattet.

1 Einführung: Das DIBt als technische Behörde

Das Deutsche Institut für Bautechnik hat eine zentrale Funktion im Bauwesen: Mit seinen Zulassungen, Genehmigungen und Bewertungen gewährleistet es die Sicherheit von Bauwerken und unterstützt gleichzeitig die Entwicklung neuer Bauprodukte und Bauarten. Als technische Behörde mit Sitz in Berlin übernimmt das DIBt im Auftrag der sechzehn Bundesländer und des Bundes zahlreiche öffentliche Aufgaben im Bereich der Bautechnik. Immer im Zentrum stehen dabei die Sicherheit von Bauwerken und der Schutz von Mensch und Umwelt.

Rund 240 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wirken an den Aufgaben des Instituts mit. Der Großteil von ihnen, 70 Prozent, sind Bauingenieurinnen und Bauingenieure, Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler und somit ausgewiesene Expertinnen und Experten ihres Fachs. Darüber hinaus beraten das DIBt regelmäßig um die 500 ehrenamtliche Sachverständige aus Forschung, Wirtschaft und Verwaltung. Die Zusammenarbeit und der Dialog mit diesen Partnern und Experten – auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene – sind für die Arbeit des Instituts von großer Bedeutung. Die enge Vernetzung mit so vielen externen Sachverständigen aus Universitäten, Prüfeinrichtungen und den einschlägigen Behörden, die ohne Übertreibung zu den besten des Landes gehören, sind ein Alleinstellungsmerkmal des Instituts und bewährte Praxis. Es ist jedoch auch wahr, dass diejenigen Kollegen, die das DIBt bei seiner Arbeit ehrenamtlich begleiten und unterstützen, das auch tun, weil sie dadurch mit den neuesten Entwicklungen im Bauwesen in Berührung kommen und diese mitgestalten können.



Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft

studierte Bauingenieurwesen an der TU Berlin und übernahm 2003 die Leitung der Abteilung Konstruktiver Ingenieurbau des Deutschen Instituts für Bautechnik, dessen Präsident er seit 2009 ist; Gerhard Breitschaft vertritt die Interessen der Bundesländer im

Ständigen Ausschuss für das Bauwesen (StAB), einem EU-Gremium für Beratungen zur Bauproduktenverordnung.

Der budgetäre Haushaltsansatz des DIBt umfasst für 2024 rund 33 Millionen Euro, davon muss das Institut 56 Prozent durch eigene Einnahmen bestreiten, 40 Prozent geben die Länder hinzu, vier Prozent der Bund. Das Institut rechnet allerdings damit, dass es in diesem Jahr, aufgrund reger Zulassungs- und Bewertungstätigkeit, mehr Gebühren einnehmen wird als geplant und dass so die Bundesländer finanziell ein wenig entlastet werden.

Als deutsche Zulassungs- und europäische technische Bewertungsstelle ist das DIBt weiten Kreisen bekannt. Die Erteilung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) gehört seit der Institutsgründung 1968 zu seinen Kernaufgaben. Im Lauf der Zeit sind weitere technische Nachweise für Bauprodukte und Bauarten hinzugekommen, insbesondere Europäische Technische Bewertungen (ETA), allgemeine Bauartgenehmigungen (aBG) und Gutachten.

Doch das Institut hat zahlreiche weitere Aufgaben: Im Auftrag der Länder veröffentlicht es die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), vertritt bauaufsichtliche Belange in der Normung und betreut zahlreiche Bauforschungsvorhaben. Zudem ist das DIBt für die Anerkennung und Notifizierung von unabhängigen Prüflaboren und Überwachungs- und Zertifizierungsstellen zuständig. Im Bereich der Marktüberwachung von harmonisierten Bauprodukten unterstützt es die Länderbehörden und übernimmt zentrale technische und koordinierende Aufgaben. Als Bautechnisches Prüfamts führt das DIBt Typenprüfungen durch. Zudem leitet es die Geschäfte des Berliner Prüfungsausschusses für die Anerkennung von Prüfeningenieuren für Standsicherheit, der inzwischen als gemeinsamer Prüfungsausschuss für zehn Länder fungiert.

Zunehmend im Fokus der Arbeit des Instituts steht die Energieeffizienz von Gebäuden. Bei der Registrierstelle für das Gebäudeenergiegesetz (GEG) am DIBt werden Energieausweise und Inspektionsberichte über Klimaanlage deutschlandweit zentral registriert und vollelektronisch einer Stichprobenkontrolle unterzogen.

Die Aufgabe zur Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) und von vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen (vBG), die das Institut bisher für das Land Berlin übernimmt, könnte künftig auch von weiteren Ländern auf das DIBt übertragen werden.

Letztlich ist das DIBt seit 2019 auch Produktinformationsstelle für das Bauwesen, womit Vorgaben aus der Bauproduktenverordnung erfüllt werden, wonach jeder Mitgliedstaat eine Produktinformationsstelle betreiben muss. Die Stellen informieren insbesondere ausländische Hersteller über die Regelungen, die für die Vermarktung und Verwendung von Bauprodukten in Deutschland gelten.

2 Der Prüfungsausschuss für die Anerkennung von Prüfeningenieuren

Von besonderer Relevanz für die Tätigkeit der Prüfeningenieure ist der Prüfungsausschuss für die Anerkennung von Prüfeningenieuren für Standsicherheit. Hier bilden vorerst zehn Bundesländer, namentlich Berlin, Brandenburg, Bremen, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen einen gemeinsamen Prüfungsausschuss. Die Geschäftsführung des Ausschusses liegt beim DIBt.

Viele professionierte Prüfeningenieure üben Kritik an den bei den Prüfungen gestellten Aufgaben und an der Arbeit des Ausschusses. Vorrangiger Grund ist, dass es nach bisheriger Prüfungspraxis eine sehr hohe Durchfallquote gibt. Die Aufgaben werden indes, das soll hier nochmals betont werden, nicht vom DIBt, sondern von einem Gremium von arrivierten Prüfeningenieuren und Vertretern von Prüfämtern gestellt. Klar ist, dass die Prüfungsvorbereitung der Prüflinge und die Prüfungspraxis sich ändern müssen, ohne die Aufgaben beliebig leicht zu machen. Denn das kann keiner wollen: dass Ingenieure als Prüfeningenieure in die Praxis entlassen werden, die „billig“ an die Anerkennung herangekommen sind. Es muss also weitere gemeinsame Überlegungen geben: Können vorbereitende Schulungen organisiert werden? Oder müssen die Aufgaben anders gestaltet werden, ohne sie im Kern leichter zu machen?

Bislang gibt es zudem nur schriftliche Prüfungen. Künftig will der Prüfungsausschuss auch wieder mündliche Prüfungen einführen. Denn, hier werden die meisten praktizierenden Prüfeningenieure wohl zustimmen: Ein Prüfeningenieur muss auch personell bewertet werden, da er in

der Lage sein muss, sich auf der Baustelle in schwierigen Situationen durchzusetzen.

Wir alle sind uns sehr bewusst, dass die Prüfeningenieure ein deutliches Nachwuchsproblem haben. Deshalb müssen wir unbedingt darüber reden, wie wir dieses Problem gemeinsam lösen. Die Prüfeningenieure sind ein wichtiger Bestandteil unseres bauaufsichtlichen Systems, auf den wir nicht verzichten können und auch nicht verzichten wollen.

3 Neue Bauprodukte, neue Bauarten

3.1. Metallisches Befestigungssystem für Photovoltaik-Module in Dächern

Auf der technischen Seite dreht sich in der täglichen Arbeit des DIBt derzeit einiges um Solaranlagen, für die das Institut primär die Befestigungen zulässt. Wenn die Module verglast sind, ist das DIBt gegebenenfalls auch für deren Zulassung zuständig, allerdings nur für großflächige Module unter bestimmten weiteren Bedingungen (zum Beispiel für den Einsatz als Überkopfverglasung). Kleinere Flächen sind von der Zulassungspflicht ausgenommen. Mit der MVV TB 2024/1 wurde die maximale Einzelglasfläche hier von zwei auf drei Quadratmeter angehoben, um den Anforderungen der Industrie und der Weiterentwicklung der Systeme Rechnung zu tragen.

Beispielhaft kann hier ein metallisches Befestigungssystem für die vollständige Einbettung von Photovoltaik-Modulen in die Dachhaut (**Abbildung 1**) vorgestellt werden, das vom DIBt zugelassen und genehmigt wurde. Da bei diesem System die Module in die Dachhaut integriert werden, war insbesondere eine kritische Betrachtung des Brandschutzes erforderlich.

3.2 Klinkerarme und zementfreie Betone

Der Betonbau ist unter dem aktuellen Druck der Forderung nach Klimafreundlichkeit im Begriff, neue Wege zu gehen. Weil die Herstellung von Klinker sehr CO₂-intensiv ist, bemüht sich die Betonindustrie um die Entwicklung klinkerarmer oder sogar zementfreier Betone. Für ent-



GSE Integration, Saint-Ouen, Frankreich

Abb. 1: Metallisches In-Roof-Montage-system zur Einbettung von PV-Modulen in die Ebene der Dachhaut. Gegenstand der abZ/aBG waren unter anderem die Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme der Bedachung.



Spemmer Herkules, Berlin

Abb. 2: Sieht aus wie normaler Beton: Betonbauteile aus klinker-armem Beton mit einem höheren Gehalt an Kalksandstein und Hütensand, dafür mit einem niedrigeren Gehalt an Portlandzement (Festigkeitsklassen 32,5 N/R und 42,5 N/R, Expositionsklassen XC1-XC4, XD1-XD3, XS1-XS3, XF1, XA1, XM1, Bemessung nach Eurocode 2 möglich)



Berding Beton, Steinfield

Abb. 3: Geopolymerbetonrohre für den Kanalbau dokumentieren den erstmaligen Einsatz eines zementfreien Bindemittels bei der Betonrohrherstellung. Statt Zement kommt ein Geopolymer als Bindemittel zum Einsatz. Vorteile sind: CO₂-Reduktion in der Herstellung durch Zementersatz und eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe.

sprechende Betone hat das DIBt in diesem Jahr mehrere Zulassungen erteilt (Abbildung 2 und Abbildung 3).

Im Betonbau gilt der Klinker als ein großer Hebel für die CO₂-Einsparung. Für den Ersatz von Klinker wird deshalb schon seit langem geforscht und gearbeitet. Ergebnis sind Betone, die heute noch außerhalb der Norm liegen und deswegen eine spezielle Zulassung benötigen. Diese neuen, hochentwickelten Betone bedingen indes wegen der neuen Zemente auch neue technische Regeln, die etwas komplizierter sind als die herkömmlichen.

Als ein Beispiel für die neuen Betone können die zementfreien Betonrohre aus geopolymerem Beton genannt werden, die das DIBt im Mai 2024 für Abwasserrohre zugelassen hat (Abbildung 3). Geopolymere bestehen hauptsächlich aus industriellen Nebenprodukten, die reich an Silizium und Aluminium sind. Diese neuen Betone haben eine hohe Druckfestigkeit, sind beständig gegen Chemikalien und hohe Temperaturen und weisen eine nur geringe Schrumpfung auf. Überdies zeigen sie eine sehr gute Dauerhaftigkeit in aggressiven Umgebungen. Geopolymere können so zur CO₂-Reduktion beitragen, da sie nicht den energieintensiven und CO₂-emittierenden Herstellungsprozess von Zementklinker erfordern.

3.3 Innovative Schraubenverbindungen in Metallwerkstoffen

Gerade für Ingenieure im konstruktiven Ingenieurbau sehr interessant ist die allgemeine Bauartgenehmigung für eine innovative Schraubenverbindung, die ein immerwährendes Problem im Metallbau löst. Gemeint ist ein Verfahren, bei dem die Verbindungen durch Fließbohren und Gewindebohren hergestellt werden. Damit können in Konstruktionen mit Hohlprofilen nachträglich Schraubverbindungen eingebracht werden ... eingehend begutachtet und bauaufsichtlich genehmigt vom DIBt (Abbildung 4).

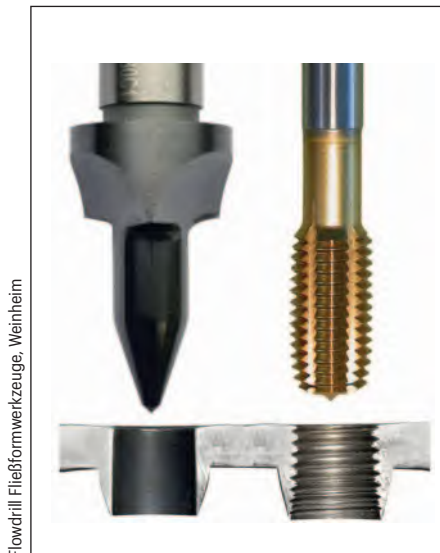
3.4 Carbon-Gitterbewehrung

Im August 2024 hat das DIBt eine Carbon-Gitterbewehrung zugelassen und genehmigt, die sich auszeichnet durch geringes Gewicht, Korrosionsbeständigkeit und eine Mindestbetondeckung von 14 Millimetern (Abbildung 5). Damit sind bei vergleichbarer Festigkeit erhebliche Materialeinsparungen möglich. Die Bewehrung ist widerstandsfähig gegen chemischen Angriff und alkalisches Milieu und ist leicht zu verarbeiten. Noch nicht abschließend erforscht ist allerdings der Feuerwiderstand.

Im Zusammenhang mit dieser abZ/vBG ist die neue Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton für Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung zu nennen. Sie wurde hier erstmals als Hintergrundpapier für die entsprechende Zulassung mit Bauartgenehmigung verwendet. Die Richtlinie ebnet den Weg zur breiteren Anwendung nichtmetallischer Bewehrungen in Deutschland. Eine bauaufsichtliche Einführung ist vorläufig, aufgrund der Innovativität der Technologie, noch nicht geplant. Zum Forschungsstand ist auch eine Publikation im DIBt-Newsletter und unter www.dibt.de > Aktuelles erschienen.

3.5 Die Rückkehr der preußischen Kappendecke

Im Aufgabenbereich der Typenprüfung hat das DIBt einen Prüfbescheid für ein neuartiges System erteilt, dessen Konstruktionsprinzip sehr alt ist und sich an die preußische Kappendecke anlehnt. Die historische Deckenkonstruktion, die vor allem im 19. und frühen 20. Jahrhundert weit verbreitet war, bestand meist aus flachen, gewölbten Ziegelkappen, die zwischen parallel verlaufenden Stahl- oder Eisenträgern eingebaut waren. Die preußische Kappendecke fand, da sie robust, feuerbeständig und wirtschaftlich war, in Industriebauten, Wohnhäusern und öffentlichen Gebäuden breite Anwendung.



Flowdrill Fließformwerkzeuge, Weinheim

Abb. 4: Verschraubung von Bauteilen mit Hohlprofilen: Durch Materialverdrängung entsteht beim Fließbohren eine Wulst im Mutterbauteil, in die hinein das Gewinde eingeschnitten wird.



solidian, Albstadt

Abb. 5: Die vom DIBt jetzt zugelassene Carbon-Gitterbewehrung ist mit Matten aus nichtrostendem Bewehrungsstahl vergleichbar, hat aber ein geringeres Gewicht, ist korrosionsbeständig und benötigt eine Mindestbetondeckung von nur 14 Millimeter.

Diese Bauweise wurde im Rahmen dieser Typengenehmigung neu interpretiert, wohlgermerkt in Betonbauweise (Abbildung 6). Die Idee hinter der preußischen Kappendecke, nämlich die Ausnutzung der Gewölbewirkung, wird durch dieses System neu belebt.



schlaich bergemann partner, Berlin

Abb. 6: Typenprüfung für ein Stahlbeton-Deckensystem, dessen Konstruktion sich an der historischen preußischen Kappendecke orientiert. Durch die bogenförmige Tragstruktur wird der Betonverbrauch im Vergleich mit einer herkömmlichen Flachdecke um bis zu 60 Prozent reduziert. Zum Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall führte das DIBt Vergleichsberechnungen unter Anwendung des Eurocodes 2 durch.

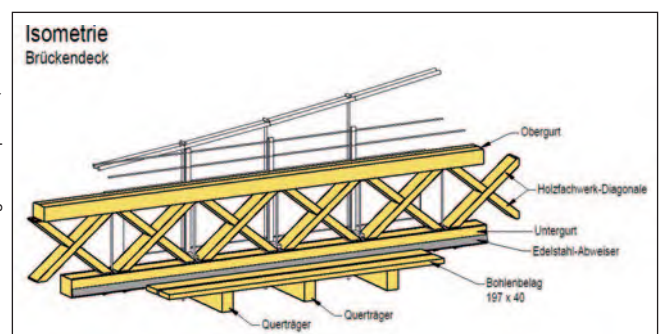
3.6 Wetterfestes Nadelholz

Mit einer Zustimmung im Einzelfall/vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (ZiE/vBG) für das Land Berlin hat das DIBt den Einsatz von Accoya-Brettschichtholz genehmigt, ein durch Acetylierung chemisch modifiziertes Nadelholz. Abbildung 7 zeigt (oben) die historische Löwenbrücke, eine über 17 Meter lange Fußgängerbrücke im Berliner Tiergarten. Das ursprüngliche Bauwerk wurde im Zweiten Weltkrieg zerstört und war nach seinem Wiederaufbau in den 2000er Jahren erneut baufällig. Die Brücke wird nun mit wetterfestem Nadelholz denkmalgerecht rekonstruiert (Abbildung 7, unten). Das Holz besticht durch gute



Oben: unbekannt

Abb. 7: Mit Accoyaholz wetterfest wieder aufgebaut wird diese Fußgängerbrücke im Berliner Tiergarten – dank einer ZiE/vBG des DIBt. Die Verarbeitung als Brettschichtholz, wie es hier (siehe unten) erstmals verwendet wird, ermöglicht größere Querschnitte als bisher.



Unten: schlaich bergemann partner, Berlin

Dauerhaftigkeit, ist witterungsbeständig und eignet sich deshalb gut für den Außenbereich.

Weitere Zustimmungen im Einzelfall und/oder vorhabenbezogene Baugenehmigungen in Berlin beinhalteten unter anderem eine feuerbeständige Geschossdecke als Fertigteildecke in Holz-Beton-Verbundbauweise (**Abbildung 8**) und regenerierbare Rohstoffe als Außenwandbekleidung, in **Abbildung 9** als Wärmedämm-Verbundsystem mit Dämmkorkplatten und Sichtkork.

3.7 Bauforschungsberichte auf der DIBt-Website verfügbar

Eine für die Prüfengeieure und Prüfsachverständigen nicht ganz unwichtige Information ist, dass die bautechnisch und bauaufsichtlich re-



DIBt, Berlin

Abb. 8: Feuerbeständige Geschossdecke als Fertigteildecke in Holz-Beton-Verbundbauweise



DIBt, Berlin

Abb. 9: Außenwandbekleidung aus regenerierbaren Rohstoffen: Wärmedämm-Verbundsystem mit Dämmkorkplatten und Sichtkork

levanten Forschungsberichte und Untersuchungen, die das DIBt im Auftrag der Bauministerkonferenz bereits seit 1968 initiiert, vergibt und betreut und die jahrelang in der Datenbank für Baufachinformation des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau (IRB) veröffentlicht worden sind, nun in Kurz- oder Langfassung über die Website des DIBt eingesehen werden können, und zwar hier: www.dibt.de/de/service/listen-und-verzeichnisse/bauforschungsberichte.

4 Die Entwicklung des nationalen Regelungsrahmens

4.1 Die Musterbauordnung

Die Musterbauordnung (MBO), die eine wichtige Arbeitsgrundlage des DIBt ist, wurde von der Bauministerkonferenz zuletzt im November 2023 geändert. Nach Abschluss der EU-weiten Notifizierung ist die novellierte Fassung im Juli 2024 von der Bauministerkonferenz auf www.bauministerkonferenz.de bekannt gemacht worden. Sie wird jetzt mit möglichen Anpassungen in das Baurecht der Bundesländer überführt.

Eine der wesentlichen Änderungen der neuen Fassung der Musterbauordnung betrifft bestimmte Erleichterungen bei der Schaffung von Wohnraum (§ 30 Brandwände; § 48 Wohnungen; § 49 Stellplätze); zudem gilt, dass die Bauaufsichtsbehörden vertretbare Abweichungen (§ 67 Abweichungen) von den Bauordnungen zulassen *sollen*, und nicht mehr, wie bisher nur *können*, wenn die Abweichungen der Weiternutzung, Energieeinsparung, Nutzung erneuerbarer Energien oder der Erprobung neuer Bau- und Wohnformen dienen.

Eine andere relevante Änderung der neuen Musterbauordnung betrifft den Ausschluss von Windenergieanlagen oder deren Teilen aus dem Geltungsbereich der Musterbauordnung, sofern sie der CE-Kennzeichnung unterliegen. Damit ist klargestellt, dass Windenergieanlagen mit CE-Kennzeichen als Maschinen gelten und nach den Bestimmungen der EU-Maschinenrichtlinie behandelt werden. Aber es kommen nicht alle Windenergieanlagen mit CE-Zeichen auf den Markt. Es gibt zwar noch keine konkreten Zahlen, aber schätzungsweise die Mehrheit der Anlagen wird immer noch unter Baurecht aufgestellt. Das bedeutet im Klartext: die Rotorblätter, die elektrischen Anlagen und der Generator stellen die Maschine dar, der Turm und das Fundament sind jedoch weiterhin ein Bauwerk.

Diese Entscheidung war politisch motiviert, viele Bau- und Prüfengeieure hatten sich dagegen ausgesprochen. Für die Praxis ist nun insbesondere wichtig, dass die Zuständigkeiten klargestellt werden. Die Fragen, die noch beantwortet werden müssen, lauten: Wer ist wofür im Genehmigungs- und Überwachungsverfahren verantwortlich? Was machen die notifizierten Stellen nach der Maschinenrichtlinie? Was macht die Bauaufsicht? Was machen die Prüfengeieure?

4.2 Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen

Zum baurechtlichen Regelungsrahmen gehört auch die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB). Ende August 2024 hat das DIBt die aktuelle Ausgabe 2024/1 bekanntgemacht. Die Länder – außer Mecklenburg-Vorpommern, dort gilt sie schon heute – wollen sie möglichst zeitgleich sechs Monate nach der Veröffentlichung des DIBt in ihr jeweiliges Landesrecht umsetzen, also zum 28. Februar 2025.

Bis Ende August 2024 lief zudem das Anhörungsverfahren für die MVV TB 2025/1. Die interessierten Kreise können in diesen Anhörungen Anmerkungen geltend machen, wie sie beispielsweise auch die Bun-

desvereinigung der Prüfengeure für Bautechnik (BVPI, Berlin) eingereicht hat, und diese Anmerkungen haben durchaus Gewicht. Wesentlich ist, dass die Hinweise eindeutig und präzise formuliert werden und dass sie zweck- und verhältnismäßig sind. Jeder Einspruch und jede Anregung wird von den zuständigen Gremien der Bauministerkonferenz behandelt. Nach Abschluss des Anhörungsverfahrens geht die MVV TB zwecks Notifizierung an die Europäische Kommission und die anderen Mitgliedstaaten, die sich ebenfalls dazu einlassen können. Im Anschluss daran wird der finale Konsens der Bundesländer zur jeweiligen Ausgabe der MVV TB hergestellt. Erst dann kann sie durch das DIBt bekanntgemacht werden.

Im Zusammenhang mit Baunormen wird derzeit immer wieder argumentiert, dass diese das Bauen unnötig verteuern. Die Normen seien an einem sehr hohen Komfortstandard ausgerichtet. Generalisiert wird dieser Vorwurf dann auch gegen die MVV TB und die darin zitierten bauaufsichtlich relevanten Normen vorgebracht. Aus Sicht des DIBt sind zwar primär Normen betroffen, die außerhalb des bauaufsichtlichen Interesses liegen. Die Diskussion birgt jedoch die Gefahr, dass auch sicherheitstechnisch relevante Normen als kostentreibend in Frage gestellt werden. Kostenfragen sollten jedoch nicht zu Lasten der Sicherheit unserer gebauten Umwelt gehen.

Auch Behauptungen, dass das Normenwesen immer weiter aufgebläht werde, lassen sich mit Blick auf die bauaufsichtlich eingeführten Normen nicht halten. Deren Zahl ist seit Jahrzehnten ungefähr konstant. Nicht ganz zurückzuweisen ist hingegen die Kritik, dass die zweite Generation der Eurocodes, bei deren Erarbeitung sich auch das DIBt engagiert, an Umfang zugenommen hat. Hintergrund ist jedoch, dass die zweite Generation der Eurocodes der technischen Entwicklung und neuen gesellschaftlichen Regelungsbedarfen gerecht werden muss, etwa im Bereich Nachhaltigkeit, Klimaresilienz und -anpassung oder bei der Berücksichtigung von Bestandsbauten. Hier wurde auch Wünschen aus und für die Praxis Rechnung getragen.

4.3 Prüfstelle für Normungsfolgekosten

Die weiter steigenden Baukosten lassen den Ruf nach durchschlagenden Gegenmaßnahmen immer lauter werden. Einen der Gründe sieht man in der Zahl und dem Inhalt der DIN-Normen. Deshalb arbeiten das Bundesbauministerium und das DIN an der Implementierung einer Folgekosten- und Nutzenabschätzung für die im Wohnungsbau relevanten Normen. Die Überprüfung dieser Abschätzung soll eine unabhängige Prüfstelle übernehmen, die beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) angesiedelt werden könnte. Ziel ist es, unter Beachtung der wettbewerbsrechtlichen Vorgaben, bereits im Normungsprozess zu berücksichtigen, wie sich die Normen auf die Baukosten auswirken beziehungsweise zur Kostendämpfung beitragen können. Das DIBt sollte vom Deutschen Institut für Normung (DIN) Informationen über die Folgekosten einer neuen Norm erhalten und die Plausibilität dieser Kosten überprüfen.

Eine solche Prüfstelle könnte eine gute Möglichkeit sein, schon bei der Entstehung einer Norm festzustellen, ob sie das Bauen unnötig verteuert. Außerdem soll, soweit es möglich ist, jede künftige Norm im gleichen Zuge dahingehend überprüft werden, ob sie in die Kategorie bauaufsichtlich relevanter Mindestanforderungen fällt oder ob darin zusätzliche Anforderungen festgeschrieben werden, die eher dem Komfort zuzurechnen sind.

4.4 EU-Bauproduktenverordnung

Die neue Bauproduktenverordnung der EU wird in absehbarer Zeit finalisiert werden. Der Zeitplan für die Verabschiedung der Bauproduktenverordnung sah und sieht so aus:

- Dezember 2023: Parlament und Rat einigten sich auf einen grundlegenden gemeinsamen Text.
- April 2024: Das Plenum des Europäischen Parlaments nahm diesen vorläufigen Text mit großer Mehrheit an. Zu diesem Zeitpunkt ist bereits klar, dass noch sprachlich-juristische Korrekturen erfolgen müssen, sodass das Parlament erneut zustimmen muss.
- Herbst 2024: Bestätigung des finalen Textes durch das Europäische Parlament und den Rat erwartet.
- Voraussichtlich 4. Quartal 2024: Bekanntmachung der Verordnung im Amtsblatt der Europäischen Union.
- Voraussichtlich 4. Quartal 2025: das Gros der Regelungen wird anwendbar.

Inhaltlich ist der Text ein Resultat zahlreicher multilateraler Kompromisse. Das Bundesbauministerium, die Länder und das DIBt haben sich aktiv in die Verhandlungen eingebracht, und sie konnten einige Aspekte durchsetzen, die aus deutscher Sicht besonders revisionsbedürftig waren, jedoch bei weitem nicht alle.

Im Ergebnis steht nun ein Text, der schwer zu lesen ist und erhebliche Neuerungen mit sich bringt, Neuerungen, die uns alle betreffen. Hier einige ausgewählte Aspekte:

- In Zukunft sollen die Mitgliedstaaten – zumindest formal – mehr Mitspracherechte bei der Normung bekommen. Bisher wurden die Normungsaufträge von der Europäischen Kommission nach eigenem Ermessen erteilt. Künftig gibt es schon im Vorfeld mehrere Gremien, die von den Mitgliedstaaten besetzt werden und schon bei den Normungsaufträgen mitarbeiten.
- In Bezug auf vom CEN vorgelegte Normen hat die Europäische Kommission künftig die Möglichkeit, in Form eines *delegierten Rechtsakts* korrigierend einzugreifen. Diese Option soll als *Fallback-Lösung* gehandhabt werden.
- In diesem Zusammenhang ist auch die sogenannte harmonisierte Zone zu nennen. Innerhalb dieser Zone, die alle nach der neuen Bauproduktenverordnung harmonisierten Normen und entsprechenden delegierten Rechtsakte der Kommission umfasst, dürfen die Mitgliedstaaten grundsätzlich nicht national nachregeln. Nur in zwingenden Gründen der Gesundheit, der Sicherheit oder des Schutzes der Umwelt dürfen die Mitgliedstaaten abweichend hiervon Maßnahmen erlassen. Diese Abweichungen müssen allerdings sehr gut begründet und von der Kommission genehmigt werden.
- Ein weiterer wichtiger Punkt ist die schrittweise Implementierung von Nachhaltigkeitsindikatoren für Bauprodukte, die mit der neuen Bauproduktenverordnung eingeführt werden. Diese Indikatoren orientieren sich an DIN EN 15804+A2 (Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für die Produktkategorie von Bauprodukten). Diese Indikatoren werden damit Teil der Leistungserklärungen, die die Hersteller für ihre Produkte erstellen müssen. Die Angabe erfolgt zudem in Form eines digitalen Produktpasses.
- Auch weiterhin wird es die Europäische Technische Bewertung (*European Technical Assessment*, ETA) als freiwilligen europaweiten Nachweis für Bauprodukte geben, die nicht durch harmonisierte Normen oder Rechtsakte der Kommission geregelt sind. Und auch weiterhin werden diese auf Europäischen Bewertungsdokumenten (*European Assessment Documents*, EAD) beruhen, in denen die Methoden und Kriterien dokumentiert sind, die zur Bewertung der Leistung des jeweiligen Bauprodukts herangezogen werden. Zukünftig muss allerdings das EAD verabschiedet werden, bevor die ETA ausgestellt werden kann, was formaljuristisch konsequent ist. Auch in *European Assessment Documents* und *European Technical Assessments* müssen letztlich die zuvor genannten Nachhaltigkeitsindikatoren für Bauprodukte aufgenommen werden.

4.5 Der CPR-Acquis-Prozess

Im Rahmen des CPR-Acquis-Prozesses werden alle bisher harmonisierten Normen und technischen Regelungen überarbeitet und der neuen Bauproduktenverordnung (*Construction Products Regulation*, CPR) angepasst. Das ist eine Mammutaufgabe, an der auf Ebene der Mitgliedstaaten und der EU mehrere hundert Experten und Expertinnen mitwirken. Ziel dieses Prozesses ist es, die harmonisierten technischen Spezifikationen und rechtlichen Vorgaben innerhalb des CPR-Rahmens zu überprüfen und zu verbessern.

Der CPR-Acquis-Prozess umfasst:

- die Überprüfung und Aktualisierung der harmonisierten Normen (hEN) und der Europäischen Bewertungsdokumente (EADs),
- die Beratung und Unterstützung der Europäischen Kommission durch eine Expertengruppe, die die technischen Inhalte neuer Normungsaufträge vorbereitet,
- die Verbesserung der Planung neuer Normungsaufträge und der damit verbundenen Kommissionsentscheidungen.

Der CPR-Acquis-Prozess soll sicherstellen, dass der technische Unterbau der Bauproduktenverordnung den aktuellen Anforderungen und Entwicklungen im Bauwesen gerecht wird und ein hohes Niveau an Nachhaltigkeit und Sicherheit in Bezug auf Bauprodukte erreicht wird.

Das DIBt ist in allen bisher eingerichteten Arbeitsgruppen des CPR-Acquis-Prozesses vertreten. In diesen Arbeitsgruppen wird zunächst eine *High-Level-Structure* erarbeitet, die die Grundlage für Normungsaufträge (*Standardisation Requests*) der Kommission bilden. Letztlich werden auch die neuen Normungsaufträge in den Gruppen gespiegelt und kommentiert. Im Rahmen des CPR-Acquis-Prozesses ist eine gute konstruktive Arbeitsebene zwischen den Mitgliedstaaten und der Kommission entstanden, und dennoch bleibt es in Teilen schwer, für bestimmte Anliegen Gehör zu finden.

5 Eingebunden in die Bauwelt – international und national

Auf internationaler Ebene hatte das DIBt im Mai vergangenen Jahres eine hybride Eurocode-Konferenz organisiert. Der Konferenz folgten rund 1500 Online-Zuhörerinnen und -Zuhörer aus 66 Ländern. Daraus sind einige Kooperationen mit internationalen Delegationen entstanden, die die Eurocodes in ihren Ländern einführen wollen. Die Delegationen möchten sich mit dem DIBt vertieft über Themen der Normung und der Eurocodes austauschen. Vertreter der *Namibian Standard Institution* etwa haben sich darüber informiert, wie man die Eurocodes landesspezifisch anpassen und einführen könnte. Darüber hinaus hatte das DIBt einen Austausch mit einer Behörde aus Usbekistan. Auch dort sollen die Eurocodes eingeführt werden. Das große internationale Interesse an den Eurocodes ist auch für Europa vorteilhaft, denn es ermöglicht europäischen Planern und Ingenieuren, auch im entsprechenden Ausland nach den gewohnten und bekannten Eurocodes zu arbeiten.

Eine rege internationale Kontaktpflege praktiziert das DIBt auch im Rahmen des IRCC, des *Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee*, einer weltweiten Vereinigung von Organisationen und Institutionen, die mit der Weiterentwicklung des bauaufsichtlichen Regelungsrahmens in ihren Ländern befasst sind. Die meisten Mitglieder des IRCC sind Angehörige von Ministerien oder Behörden, die eine Mitverantwortung für die Bauordnungen und die zugehörigen bautechnischen Regelungen tragen.

Schwerpunkt der letzten IRCC-Sitzung war das Thema Graue Energie, also die Primärenergie, die für die Herstellung, den Erhalt und letztlich den Rückbau eines Gebäudes aufgewendet werden muss, einschließlich aller dort verbauten Produkte, jedoch ausschließlich der für den Betrieb des Gebäudes benötigten Energie.

In dieser weltumspannenden Organisation bringt sich das DIBt aktiv ein. Beispielsweise ist der Präsident des DIBt derzeit der Vorsitzende (*Chairman*) des IRCC. Auch ein aktuelles und ein ehemaliges Vorstandsmitglied der Bundesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik, Dr.-Ing. Markus Wetzels und Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle, arbeiten im IRCC mit und erläutern das deutsche System des Prüfeningenieurswesens und dessen Vorteile auf internationaler Bühne.

Im Gegensatz zum IRCC steht bei der WFTAO, dem Weltverband der Organisationen für Technische Bewertungen, der technisch geprägte Austausch zwischen Bewertungsstellen im Bauwesen im Vordergrund, aktuell etwa zu Themen wie Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Klimawandelfolgen, gestiegene Baukosten und Fachkräftemangel. In beiden Foren stellt das DIBt immer wieder fest, dass vergleichbare Institutionen weltweit ähnliche bautechnische und baurechtliche Herausforderungen meistern müssen wie wir in Deutschland. Der Austausch mit diesen Kollegen und Kolleginnen wird dadurch zum Marktplatz für Lösungsansätze, Ideen und bewährte Praktiken.

6 Ausblick

In unmittelbarer Zukunft wird es nicht nur eine novellierte Bauproduktenverordnung geben, auch die EU-Gebäuderichtlinie (*Energy Performance of Buildings Directive*, EPBD) wurde überarbeitet. Die Richtlinie zielt darauf ab, die Energieeffizienz von Gebäuden in der Europäischen Union zu verbessern. Sie legt Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden fest und umfasst weitgehende Maßnahmen zur energetischen Sanierung und zur Förderung hoher Energieeffizienzstandards bei Neubauten.

Einige der Hauptpunkte der Richtlinie sind:

- *Energieausweise*: Informationen zur Energieeffizienz von Gebäuden müssen erfasst und dokumentiert werden.
- *Mindestanforderungen*: etwa für die Energieeffizienz von Neubauten oder in Bezug auf die energetische Sanierung des Gebäudebestandes.
- *Langfristige Renovierungsstrategien*: Die Mitgliedstaaten müssen Strategien entwickeln, um den Gebäudebestand bis 2050 energieeffizient zu machen.

Diese Maßnahmen sollen dazu beitragen, die Klimaziele der EU zu erreichen und den Energieverbrauch von Gebäuden zu senken. Und es werden Maßnahmen sein, die wir alle spüren.

National werden die Anforderungen der EU-Gebäuderichtlinie in Deutschland über das Gebäudeenergiegesetz (GEG) umgesetzt. Bis 2026 müssen die Vorgaben der Richtlinie in nationales Recht überführt sein.

Das DIBt ist insofern von der EU-Gebäuderichtlinie betroffen, als es die GEG-Registrierstelle betreibt und hier künftig erweiterte Aufgaben übernehmen könnte. Und so bleiben Klimaschutz und Nachhaltigkeit bestimmende Themen in allen Geschäftsbereichen des Instituts.

Ressourcenschonende Gründungstechnologie zur Reduktion der CO₂-Emission: die Kombinierte Pfahl-Plattengründung

Im Vergleich mit der Pfahlgründung bringt sie Einsparungen in Millionenhöhe
Nun sollte sie auch im Verkehrswegebau regelmäßig angewendet werden

Damals war sie technisch revolutionär, normativ unzulässig und fachlich eine Sensation: die Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP), die in den 1980er-Jahren mit dem Bau des Frankfurter Messturms in die Praxis eingeführt worden war. Hier ist geotechnische Geschichte geschrieben und die Sinnhaftigkeit des Vier-Augen-Prinzips unmissverständlich nachgewiesen worden: Zwei Prüfengeure – der für die Tragwerksplanung und der für den Erd- und Grundbau – verknüpften damals ihre professionelle Bestimmung und erbrachten unabhängig voneinander das Testat der sicheren Durchführbarkeit dieser neuen geotechnischen Finesse. Die Erfolge der KPP sind beachtlich. Im Vergleich zur Pfahlgründung können mit ihr – was nachfolgend substantiell belegt wird – bis zu 70 Prozent Pfahlbohrmeter eingespart werden. Das bewirkt für Hochhäuser nicht nur eine stattliche Minimierung des Ressourcenverbrauchs und der CO₂-Emission, sondern potenziert sich auch in einer Verringerung der Bausumme um etliche Millionen Euro.

1 Einführung: Wie alles anfang

Die Entwicklung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung (KPP) hängt unmittelbar mit der Projektierung und Planung des 256 Meter hohen Hochhauses Messturm Frankfurt am Main zusammen (**Abbildung 1**). Als dieses Projekt Mitte der 1980er-Jahre geplant wurde, war schnell klar, dass die bisherige Fundamentierungsform der Frankfurter Hoch-

häuser, nämlich die Gründung auf großflächigen, bis zu vier Meter dicken Fundamentplatten, nicht zielführend sein konnte. Der Grund hierfür liegt in der großen Zusammendrückbarkeit, also der geringen Steifigkeit des tertiären Frankfurter Tons, der mit einem Steifemodul von 15 bis 50 MN/m² sehr setzungsaktiv ist. Am Standort des Messturms am westlichen Rand der Frankfurter Innenstadt ist der *Frankfurter Ton* mehr als 100 Meter dick [1] (**Abbildung 2**).



Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach

hat an der TU Darmstadt Bauingenieurwesen studiert und 25 Jahre lang das dortige Institut für Geotechnik geleitet; Rolf Katzenbach führt eine weltweit tätige Ingenieursozietät, ist öbv Sachverständiger für Grund- und Felsbau und als Sachverständiger für Geotechnik anerkannt.



Prof. Dr.-Ing. Simon Meißner

hat an der TU Darmstadt studiert und übernahm 2014 das Büro *Prof. Quick und Kollegen* in Darmstadt, wo er 2001 seine berufliche Laufbahn begonnen hatte; Simon Meißner ist Lehrdozent an der TU Kaiserslautern und Darmstadt und seit 2023 Honorarprofessor der TU Kaiserslautern.



Dr.-Ing. Anke Werner

studierte Bauingenieurwesen an der TU Darmstadt und arbeitete als wissenschaftliche Mitarbeiterin am dortigen Institut für Geotechnik; seit 2015 ist sie in der Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH als Projektleiterin tätig und bekam 2024 Prokura.



M. Eng. Maximilian Kies

studierte Bauingenieurwesen an der Hochschule Darmstadt und begann 2018 als Projektingenieur bei der *Prof. Quick und Kollegen – Ingenieure und Geologen GmbH*; Maximilian Kies ist Experte im Umgang mit Kombinierten Pfahl-Plattengründungen.



Abb. 1: Der Messturm in Frankfurt am Main: Prototyp für die Kombinierte Pfahl-Plattengründung

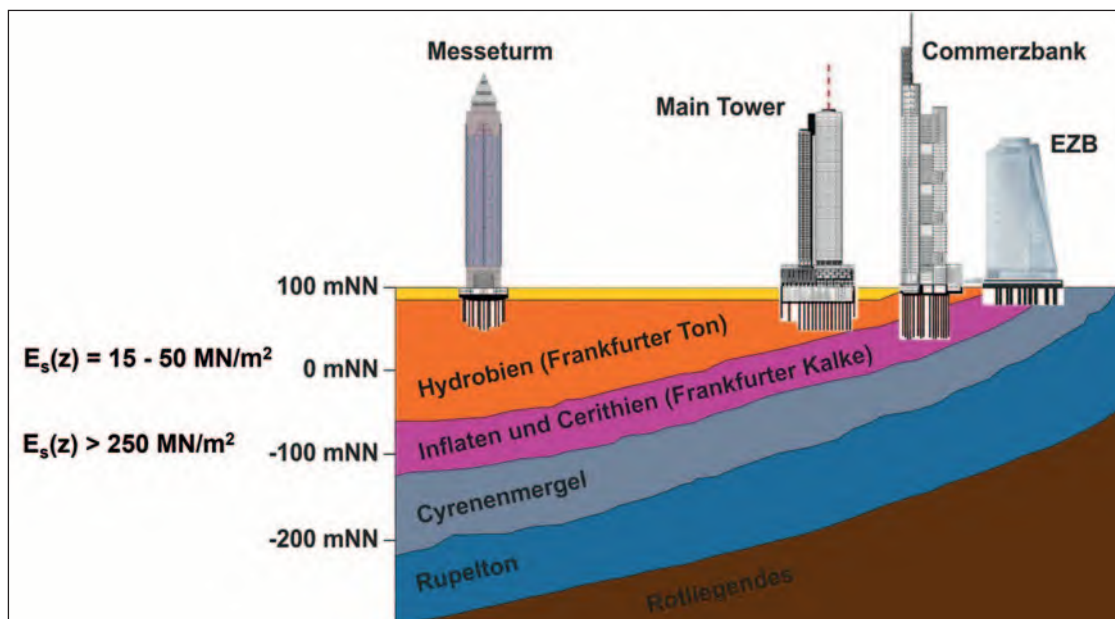


Abb. 2: Baugrundaufbau in der Innenstadt von Frankfurt am Main

Bei einer setzungerzeugenden Last des Messeturms von 1570 MN und einer Fundamentfläche von 3600 Quadratmetern führt der Sohldruck von 440 kN/m² rechnerisch zur Setzung einer Flachgründung des Messeturms von schätzungsweise 45 Zentimetern, ein Wert, der wegen seiner absoluten Größe, aber auch wegen der Problematik der damit einhergehenden Schiefstellung des Hochhauses inakzeptabel groß ist. Aus den zahlreichen Messungen an den bis zu diesem Zeitpunkt erstellten, allesamt flach gegründeten Frankfurter Hochhäusern war uns be-

kannt, dass sich die Hochhäuser tatsächlich in Dezimetergrößenordnung gesetzt haben – das Hochhaus des Marriott-Hotels zum Beispiel mit einer Setzung von 34 Zentimetern (Abbildung 3 und Abbildung 4) – und dass der Setzungsunterschied bei Flachgründungen bis zu dreißig Prozent der mittleren Setzung beträgt. Dies bedeutet, dass bei einer mittleren Setzung eines Hochhauses von fünfzehn Zentimetern die minimale Setzung bei zehn und die maximale Setzung bei zwanzig Zentimetern liegen. Setzmaße in dieser Größenordnung wurden seinerzeit unter anderem bei den Doppeltürmen der Deutschen Bank gemessen (Abbildung 5 und Abbildung 6).



Abb. 3: Marriott-Hotel in Frankfurt: Flächengründung

Für den Frankfurter Messeturm hätte dies bedeutet, dass wir mit einer minimalen Setzung von dreißig Zentimetern und einer maximalen Setzung von sechzig Zentimetern zu rechnen gehabt hätten. Da der Messeturm mehr als viermal so hoch wie das Fundament breit ist, hätte dies zu einer sichtbaren Auslenkung der Turmspitze geführt, und zwar um bis zu 1,2 Meter.

Eine Flachgründung des Messeturms war damit ausgeschlossen, und es musste eine Tiefgründung auf Großbohrpfählen konzipiert werden. Bei einer zulässigen Tragfähigkeit von Großbohrpfählen in der Größenordnung von 5 MN wären 360 Großbohrpfähle notwendig geworden, eine Anzahl, die unter der 3600 Quadratmeter großen Fundament-

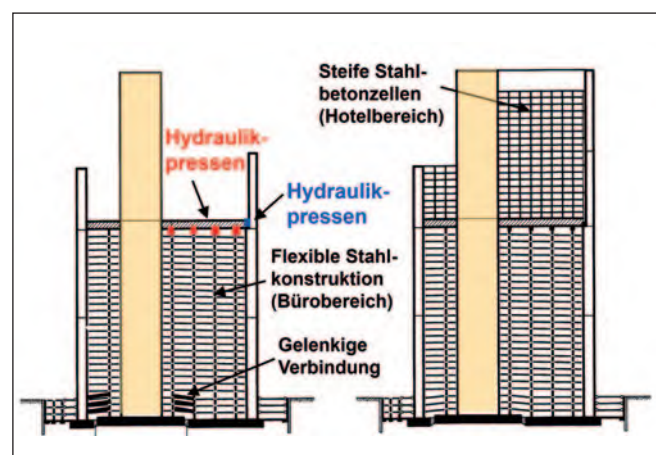


Abb. 4: Ausgleich der Setzungsdifferenzen beim Marriott-Hotel



Abb. 5: Doppeltürme der Deutschen Bank: Flächengründung

platte nicht hätte untergebracht werden können. Es musste daher ein anderer Lastabtragungsmechanismus entwickelt werden, und das führte letzten Endes zur Kombinierten Pfahl-Plattengründung, als eine so einfache wie naheliegende Lösung. Die Pfähle übernehmen dabei planmäßig nur einen Teil der Last und werden dabei bis zu ihrer äußeren Tragfähigkeit beansprucht. Der darüber hinausgehende Teil der Last wird über Sohldruck unter der Fundamentplatte direkt in den Boden eingeleitet (Abbildung 7). Es wird also eine Tiefgründung mit einer Flachgründung kombiniert [2].

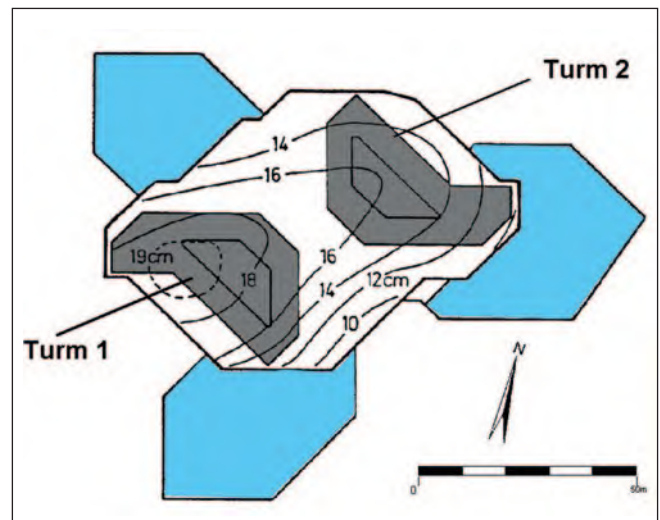


Abb. 6: Setzungs-Isolinien der Deutschen Bank

Der tertiäre Frankfurter Ton ist für diese Form des Lastabtrags in idealer Weise geeignet, weil seine Steifigkeit mit der Tiefe zunimmt [3]. In Abbildung 8 ist diese Zunahme der Steifigkeit mit der Tiefe

$$E_s = f(z)$$

simplifiziert als lineare Funktion dargestellt, die wie folgt lautet:

$$E_s = 7 \times (1 + 0,35 \times z) \text{ [MN/m}^2\text{]} \\ (z \text{ in m ab Oberkante Tertiär})$$

Dies bedeutet, dass die Wirkung der Pfähle unter anderem darin besteht, dass sie einen nicht unerheblichen Teil der Last in den tieferen,

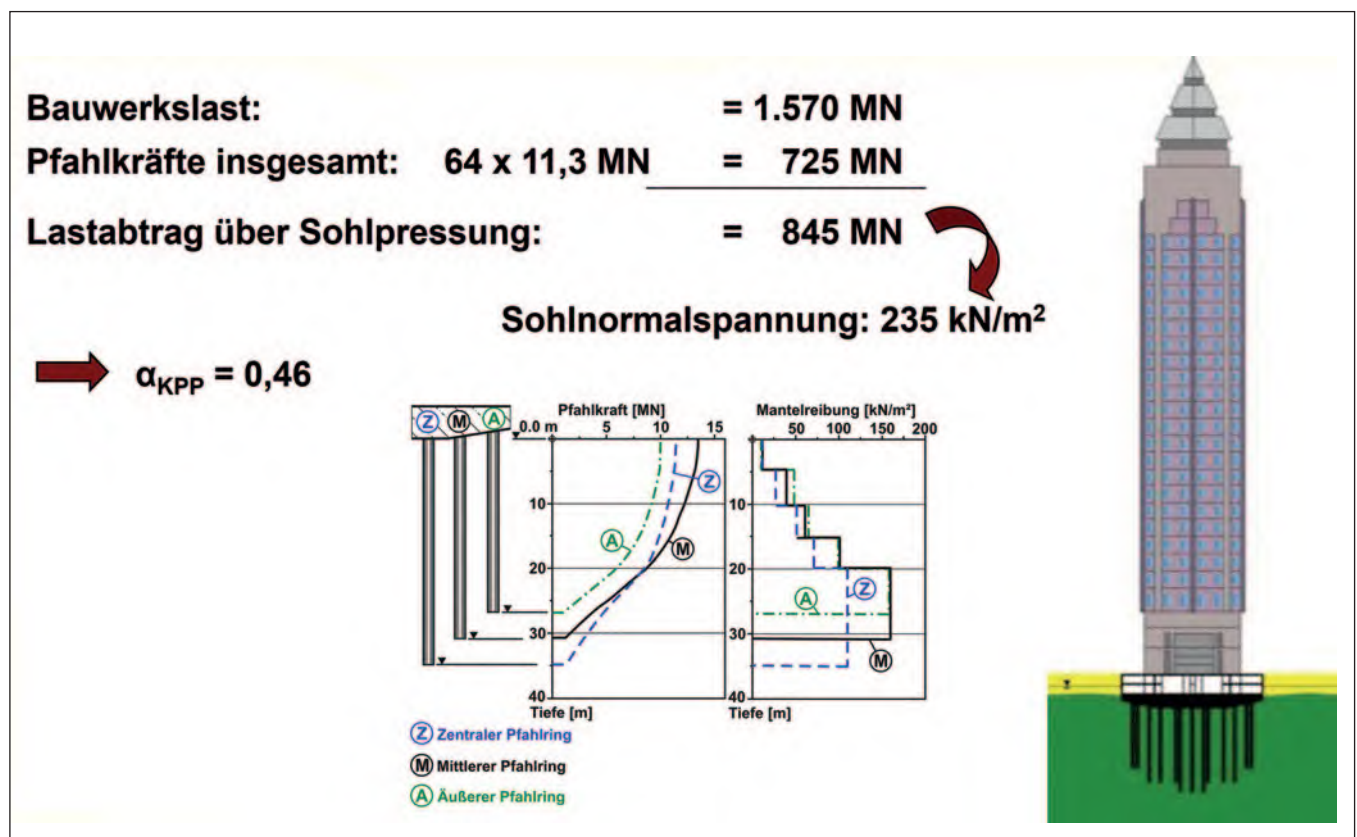


Abb. 7: Lastabtrag beim Hochhaus Messeturm Frankfurt und gemessene Pfahlkräfte

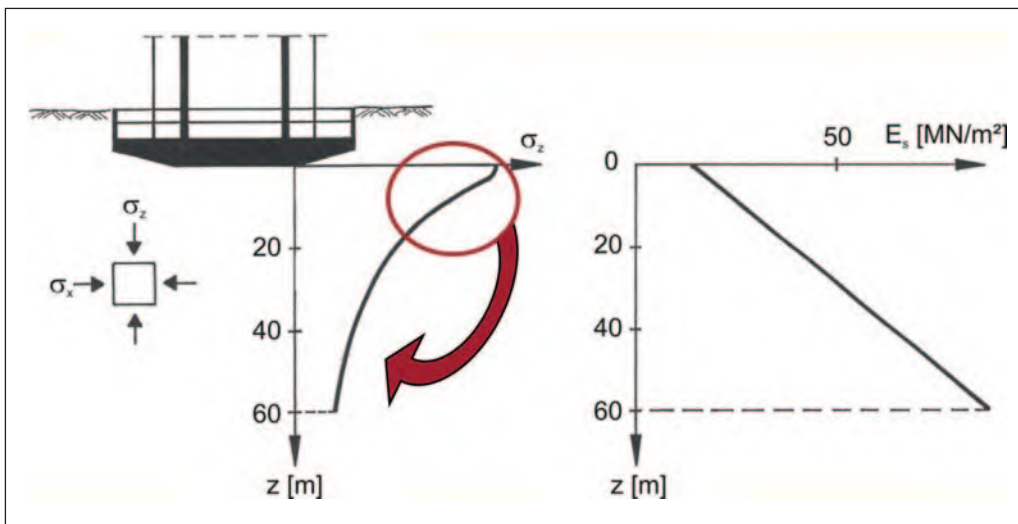


Abb. 8: Typische Steifigkeit des Frankfurter Tons

steiferen Untergrund ableiten und die besonders setzungsaktiven, oberflächennahen Bodenzonen sinnvollerweise überbrücken.

Doch zurück zur Planung und Prüfung der Fundamentierung des Messeturms in den 1980er-Jahren: Nach der damals geltenden, bauaufsichtlich eingeführten DIN 1054: Nov. 1976, Abschnitt 5.2.1 waren Pfahlgründungen im Allgemeinen so zu bemessen, dass die Kräfte aus dem Bauwerk allein durch die Pfähle auf den Baugrund übertragen werden. Hinzu kam, dass nach Abschnitt 5.2.4 der DIN 1054 schwebende Pfahlgründungen nach Möglichkeit zu vermeiden waren.

Beide Anforderungen erfüllt eine Kombinierte Pfahl-Plattengründung verfahrensbedingt nicht – und sie kann und soll sie auch nicht erfüllen! Die Idee der Kombinierten Pfahl-Plattengründung besteht ja gerade darin, die Tragwirkung von Flach- und Tiefgründung miteinander zu kombinieren, also quasi eine Kombinationsgründung, eben die KPP, für den Lastabtrag zu verwenden.

2 Bauaufsichtliche Prüfung und Genehmigung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung

Mit der seinerzeitigen Idee, den Messeturm auf nur 64 Großbohrpfählen mit einem Durchmesser von 1,20 Metern und einer Länge von im Mittel dreißig Metern zu stellen, haben wir – wie oben beschrieben – eklatant gegen die damals gültige und bauaufsichtlich eingeführte, über Jahrzehnte erfolgreich angewandte DIN 1054 (Zulässige Belastung des Baugrunds) verstoßen – und dies ausgerechnet für das seinerzeit höchste Hochhaus von Europa. Das hat nicht nur beim Bauherrn *TishmanSpeyer*, sondern auch bei seinen weltweit tätigen, sehr erfahrenen Beratern von *Mueser Rutledge Consulting Engineers* (MRCE, New York) zu skeptischem Stirnrunzeln geführt, nicht zuletzt im Hinblick auf die Genehmigungsfähigkeit ihres Messeturms.

Wie jeder weiß, kann man *wohlbegründet* von den normativen Regelungen, wie zum Beispiel einer DIN, abweichen; die Begründung muss selbstverständlich sorgfältig ausgearbeitet, zutreffend und nachvollziehbar sein und auch im Sinne des bewährten Vier-Augen-Prinzips geprüft werden. Genau diesen Weg hat die mit derart komplexen Situationen vertraute und sehr erfahrene Bauaufsicht der Stadt Frankfurt am Main eingeschlagen und daher für die Prüfung des Entwurfs und der zahlreichen Berechnungen und Variantenstudien der Kombinierten Pfahl-Plattengründung des Messeturms neben dem damaligen baustatischen Prüfer Dipl.-Ing. Schneider (Ingenieursozietät BGS, Frankfurt

am Main) auch noch Prof. Dr.-Ing. Karl Ulrichs vom Erdbaulabor Essen eingeschaltet. Die Kombinierte Pfahl-Plattengründung des Hochhauses Messeturm wurde genehmigt und hat sich bewährt: der Messeturm hat sich – wie erwartet worden war – gleichmäßig und nur um maximal zwölf Zentimeter gesetzt [4] – es gibt keine Schiefstellung!

Diese gemeinsame Prüftätigkeit des Prüfeningenieurs für Baustatik/Standortsicherheit/Massivbau mit dem Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau, wie der geotechnische Prüfer in der Hessischen Prüfberechtigten- und Prüfsachverständigenordnung (HPPVO) bezeichnet wird, hat sich – insbesondere durch die Einführung der Geotechnischen Kategorien GK 1, GK 2 und GK 3 in der bauaufsichtlich eingeführten DIN EN 1997-1 – seit Jahrzehnten bei entsprechend komplexen Bauvorhaben der Geotechnischen Kategorie GK 3 bewährt und ist für die Bauherrschaft und für die Bauaufsicht ein zentrales Element der Qualitätssicherung [5].

So gibt es – insbesondere bei der Kombinierten Pfahl-Plattengründung – nicht nur die physikalische Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk, sondern auch die durchaus menschliche und sehr befruchtende Interaktion zwischen dem als Prüfeningenieur tätigen Bauingenieur und dem als Prüfsachverständiger für Erd- und Grundbau tätigen Bauingenieur, was nach unseren Erfahrungen stets zu einem sehr konstruktiven und kollegialen Miteinander der beteiligten Akteure im Sinne des Projekts führt.

3 Qualitätssicherung durch das Vier-Augen-Prinzip und durch die Beobachtungsmethode

Der erste Teil der Qualitätssicherung erfolgt – wie oben beschrieben – im Zuge des Genehmigungsverfahrens durch die baustatische und geotechnische Prüfung der Bauantragsunterlagen – dies ist die solide und sichere Basis für alles Weitere und ist unverzichtbar.

Genauso unverzichtbar ist allerdings auch die Qualitätssicherung der Baumaßnahme selbst durch die baustatische und durch die geotechnische Überwachung; dies gilt für alle Baumaßnahmen der Geotechnischen Kategorie GK 3 gemäß DIN EN 1997-1 A 2.1.2.4. Hierzu zählen unter anderem auch Tiefe Baugruben, also Baugruben mit einer Baugrubenkennzahl T_{BK} , die größer als 0,4 m ist [6] (Abbildung 9).

Bei der kombinierten Pfahl-Plattengründung kommt der kontinuierlichen geotechnischen Fachbauüberwachung zur Gewährleistung der

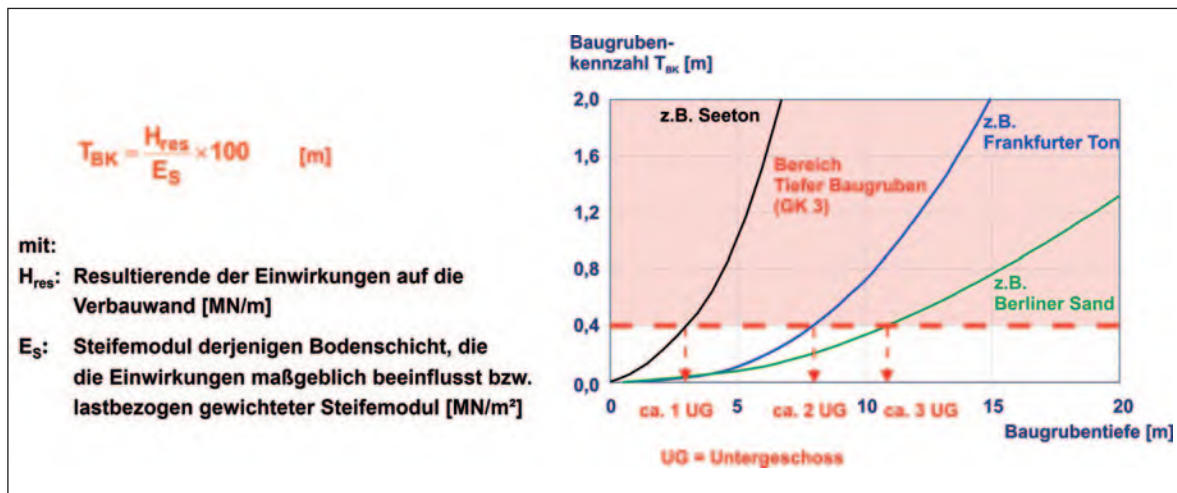


Abb. 9: Kategorisierung mittels der Baugrubenkennzahl (nach [6])

Qualitätssicherung eine ganz besondere Bedeutung zu, weil der gewachsene Boden durch eine unsachgemäße Herstellung der Großbohrpfähle erheblich gestört beziehungsweise sogar zerstört werden kann. Um dies zu verhindern, müssen die Großbohrpfähle – entweder im Schutze einer Verrohrung und mit ausreichend großer Wasserauflast, kontrolliert durch ständige Messungen der Fachbauüberwachung und dokumentiert im Pfahlherstellungsprotokoll und im Pfahlbohrdiagramm (Abbildung 10) – oder im Schutze einer entsprechend dimensionierten, bodenmechanisch nachgewiesenen Stützflüssigkeit (Suspension) – ebenfalls durch ständige Messungen des Suspensionsspiegels und der Suspensionsdichte und -viskosität, dokumentiert im Pfahlherstellungsprotokoll und im Pfahlbohrdiagramm, hergestellt werden. Zur Qualitätssicherung zählen hier selbstverständlich unter anderem auch die baustatische Abnahme der Pfahlbewehrung und die bodenmechanische Ansprache und Kontrolle des Bohrgutes sowie die (abschnittsweise) bodenmechanische Abnahme der Gründungssohle vor dem Betonieren des Unterbetons (Saubereitsschicht).

Im Rahmen der geotechnischen Fachbauüberwachung wird auch überprüft, ob die geotechnischen Annahmen, die dem Entwurf der Kombinierten Pfahl-Plattengründung zugrunde liegen, auch tatsächlich vor Ort erfüllt sind. Wenn dies nicht der Fall sein sollte und die Pfähle beispielsweise in den sehr steifen, felsigen Frankfurter Kalken enden würden, würde sich der Kraftfluss vollständig ändern und praktisch kein Lastabtrag im vergleichsweise weichen Frankfurter Ton stattfinden.

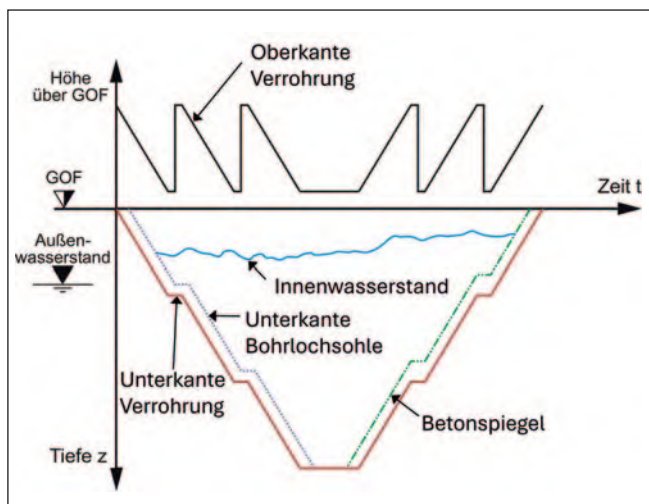


Abb. 10: Pfahlbohrdiagramm: Geotechnische Fachbauüberwachung beim Herstellen von Großbohrpfählen

Dieser physikalische Effekt wird unter anderem durch die Messung der Pfahlkräfte an der Felspfahlgründung des Hochhauses der Commerzbank im Vergleich zu den Pfahlkräften beim Messeturm bestätigt (Abbildung 11). Einer solchen Situation wurden wir beim Hochhaus Gallileo in der Taunusanlage in Frankfurt durch Umplanung der Pfahlgruppe im letzten Moment gerecht [7]. Auch die dortige Kombinierte Pfahl-Plattengründung hat sich bewährt.

In der Geotechnik gibt es als weiteres Element der Qualitätssicherung und als zentrales Element des Sicherungs- und Sicherheitssystems die mit der DIN EN 1997-1 normativ und bauaufsichtlich eingeführte Beobachtungsmethode (Abbildung 12), die hier im Sinne der Vollständigkeit erwähnt wird – und weil sie mit der Anwendung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung von Anfang an eng verknüpft war.

4 Ressourcenschonung und CO₂-Reduktion

Die Ressourcenschonung lässt sich quantitativ über den Vergleich der Anzahl der Pfähle der Kombinierten Pfahl-Plattengründung mit der Anzahl der Pfähle einer konventionellen Pfahlgründung und der damit einhergehenden Kosten beurteilen. Die diesbezügliche Berechnung wird nachfolgend für ein Hochhaus mit einer charakteristischen Gesamtlast von $F_{c,k} = 2000 \text{ MN}$ vorgestellt, das auf Pfählen mit einem charakteristischen Pfahlwiderstand von $R_{c,k} = 10 \text{ MN}$ steht:

Pfahlgründung

KPP

$$n_{PF} = \frac{F_{c,k} \cdot \gamma_F}{R_{c,k} / \gamma_R} = \frac{F_{c,k} \cdot \gamma_F \gamma_R}{R_{c,k}} \approx \frac{F_{c,k} \cdot 2}{R_{c,k}}$$

$$n_{KPP} = \frac{\alpha_{KPP} \cdot F_{c,k}}{R_{c,k}}$$

Gesamtlast: $F_{c,k} = 2.000 \text{ MN}$

gewählt: $\alpha_{KPP} = 0,5$

Axialer Pfahlwiderstand: $R_{c,k} = 10$

$$n_{PF} = \frac{2.000 \text{ MN} \cdot 2}{10} = 400$$

$$n_{KPP} = \frac{0,5 \cdot F_{c,k}}{R_{c,k}} = \frac{0,5 \cdot 2.000 \text{ MN}}{10} = 100$$

Ausnutzungsrate: $A_{KPP} = \frac{n_{KPP}}{n_{PF}} = \frac{\alpha_{KPP}}{\gamma_F \gamma_R} = 0,25$

Kosten C_{KPP} : $C_{KPP} = A_{KPP} \cdot C_{PF}$

Die mit der Kombinierten Pfahl-Plattengründung einhergehende CO₂-Reduktion ist in Abbildung 13 und Abbildung 14 sowie in Abbildung 15 beispielhaft für die Frankfurter Hochhäuser Messeturm, Europäische

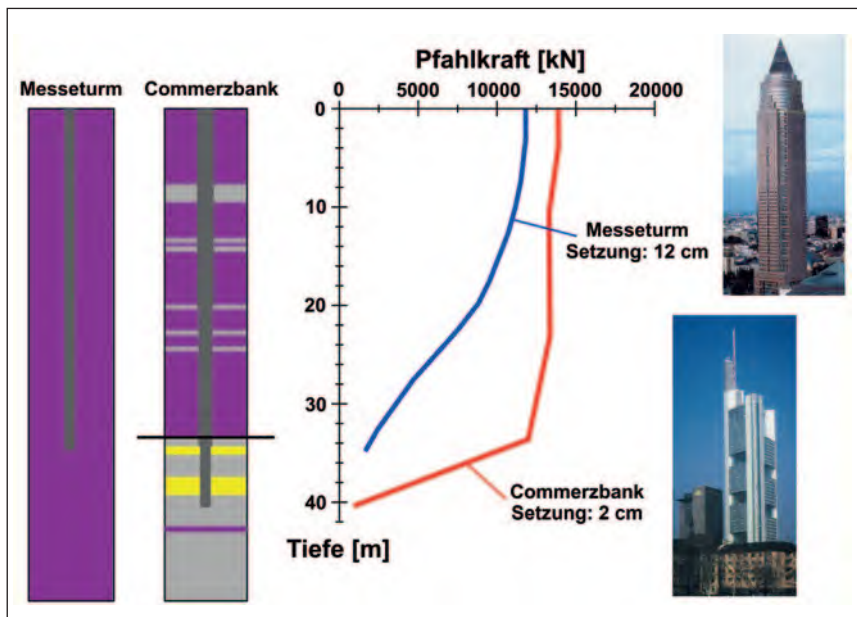


Abb. 11: Vergleich des Pfahlkraftverlaufs Messeturm und Commerzbank

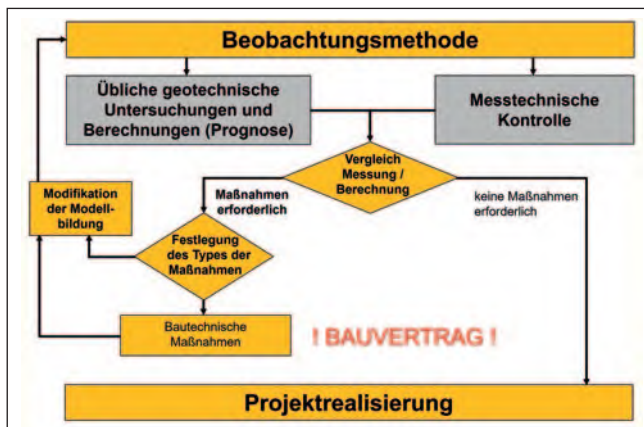


Abb. 12: Beobachtungsmethode

Zentralbank (EZB) und Taunusturm dargestellt. Die CO₂-Reduktion ist mit mehreren Tausend Tonnen pro Projekt durchaus nicht unerheblich und kann unter anderem mit den diversen Carbon-Calculator Programmen, zum Beispiel vom DFI Europe (Deep Foundation Institute), berechnet werden. Mit den in der Entwicklung befindlichen neuen Zementarten lässt sich eine noch deutlich größere CO₂-Reduktion erreichen [8].

5 Praktische Anwendungen

5.1 Hochhausbau

Spätestens seit dem Bau des 256 Meter hohen Messeturms hat sich Frankfurt zu einer europäischen Hochhausmetropole mit einer attraktiven Skyline entwickelt. Nahezu alle Frankfurter Hochhäuser, die nach dem Messeturm in Frankfurt gebaut worden sind, stehen zwecks

- Minimierung der Kosten,
- Minimierung von Setzungen und Setzungsunterschieden,
- Ressourcenschonung,
- Reduktion von CO₂-Emissionen

auf einer Kombinierten Pfahl-Plattengründung.

Ein ganz besonders herausragendes Hochhausprojekt ist in Frankfurt das gerade fertiggestellte Bauvorhaben FOUR mit den vier zwischen einhundert und 233 Meter hohen Hochhäusern Tower 1 bis Tower 4, die auf einer KPP mit einer gemeinsamen monolithischen Fundamentplatte stehen [9]; (Einzelheiten finden sich weiter unten in Abschnitt 5.3).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es in Frankfurt ein Planungsfehler und ein Verstoß gegen die in dieser Sache in Frankfurt validierten, anerkannten Regeln der Technik ist, wenn ein neues Hochhaus



Abb. 13: Kostenvergleich der Pfahlherstellung und CO₂-Reduktion beim Messeturm Frankfurt

nicht auf einer Kombinierten Pfahl-Plattengründung gegründet wird – es gibt keinen Grund, diese optimierte Gründungstechnologie nicht anzuwenden. Unterstrichen wird dies durch die bauaufsichtlich eingeführte DIN EN 1997-1 7.6.2.1 (6), die den Entwurf, die Berechnung und Bemessung der Geotechnik regelt. In ihr wird zur Pfahlgründung Folgendes ausgeführt (Abbildung 16):

Wenn die Pfähle ein steifes Tragwerk stützen, darf die Fähigkeit des Tragwerks zur Lastumlagerung zwischen den Pfählen genutzt werden. Ein Grenzzustand tritt nur ein, wenn eine entsprechend große Zahl von

Pfählen gemeinsam nachgibt, weshalb das Versagen nur eines einzigen Pfahles nicht beachtet zu werden braucht.

Dies beschreibt exakt den methodischen Ansatz und die physikalische Wirkung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung. Es ist daher nur zu hoffen, dass man sich beim Entwurf von Pfahlgründungen endlich von dem alten, überholten Entwurfsprinzip der alten DIN 1054 vom November 1976 löst und in der heutigen Praxis die normative Flexibilität der DIN EN 1997-1 hin zur KPP (auch ohne Zustimmung im Einzelfall und/oder Unternehmensinterne Genehmigung) im Sinne der Ressour-



Abb. 14: Kostenvergleich der Pfahlherstellung und CO₂-Reduktion bei der Europäischen Zentralbank



Abb. 15: Kostenvergleich der Pfahlherstellung und CO₂-Reduktion beim Taunusturm

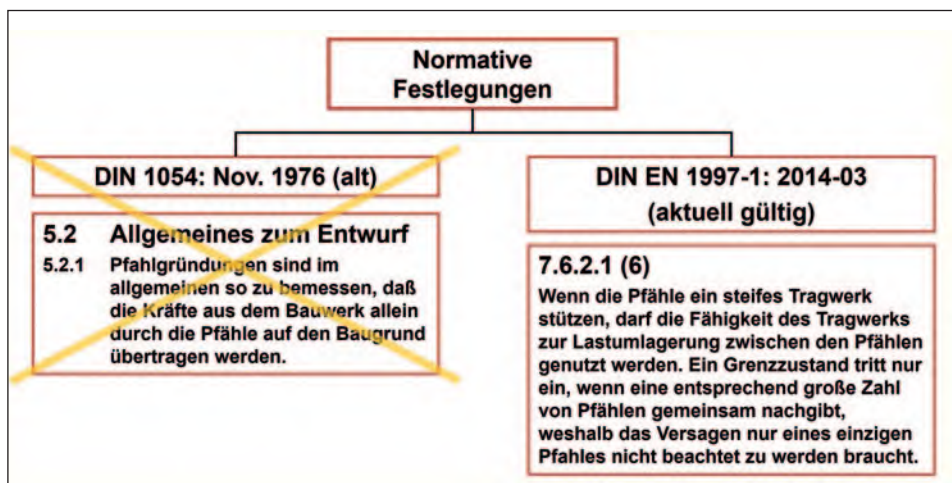


Abb. 16: Alte und aktuelle normative Festlegungen für den Entwurf von Pfahlgründungen



Abb. 17: Hochhäuser mit Kombierter Pfahl-Plattengründung

censchonung und Kostenreduzierung in Anspruch nimmt. Der Stand-sicherheitsnachweis erfolgt dann im dreidimensionalen FE-Modell im Sinne einer numerischen Probelastung bis zur doppelten charakteristischen Gebrauchslast oder durch die numerische Berechnung mit faktorisierten Einwirkungen und Widerständen – beides ist möglich und auch üblich [10].

Ganz klar: Die Anwendung der Kombierten Pfahl-Plattengründung beschränkt sich nicht auf die Situation in der Frankfurter Innenstadt. Beispielhaft werden in **Abbildung 17** drei Hochhausprojekte aus Berlin und Hamburg vorgestellt (der Estrel-Tower und der ABC-Tower in Berlin sowie der Elb-Tower in Hamburg), die auf einer Kombierten Pfahl-Plattengründung gegründet sind.

5.2 Verkehrswegebau

Im Verkehrswegebau in Deutschland können die meisten Brücken-widerlager, Brückenpfeiler und Stützwände auf einer Kombierten Pfahl-Plattengründung gegründet werden. Leider ist dort immer noch die Anwendung des alten Entwurfsprinzips (siehe oben) gängige Praxis, also der Verzicht auf den Ansatz der mittragenden Wirkung des Sohl-drucks unter der Pfahlkopf-/Fundamentplatte.

In **Abbildung 18**, **Abbildung 19** und in **Abbildung 20** wird beispielhaft das Ergebnis einer Parameterstudie für einen Brückenpfeiler vor-gestellt, der mit einer charakteristischen Last von 30 MN beansprucht wird, und der in einem 25 Meter dicken, mäßig tragfähigen Hangschutt über einer Felsschicht steht.

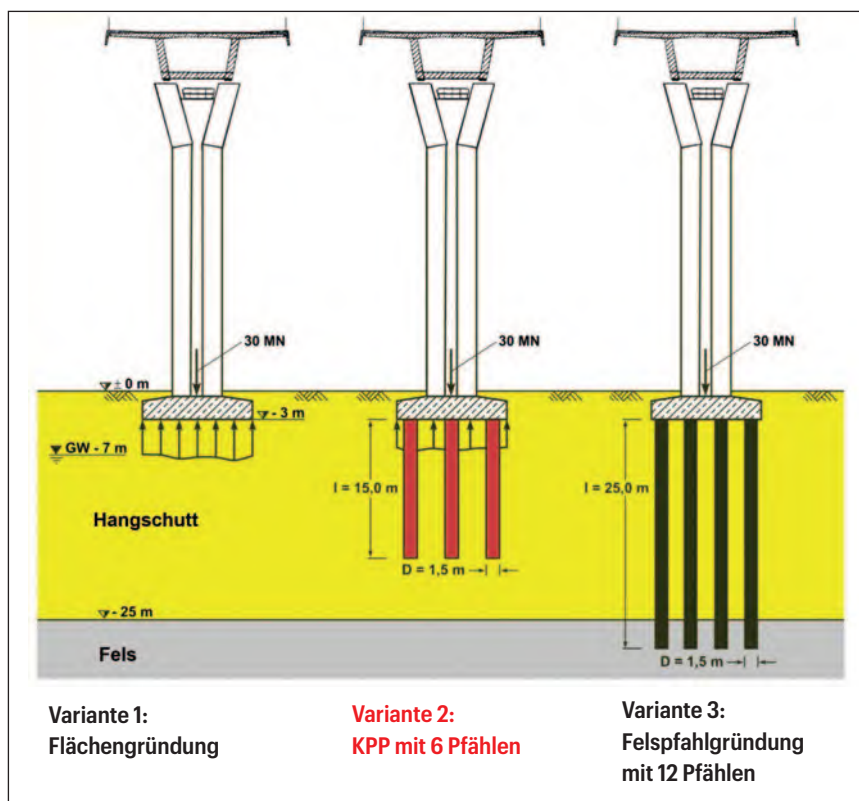


Abb. 18: Gründungsvarianten für Brückenpfeiler

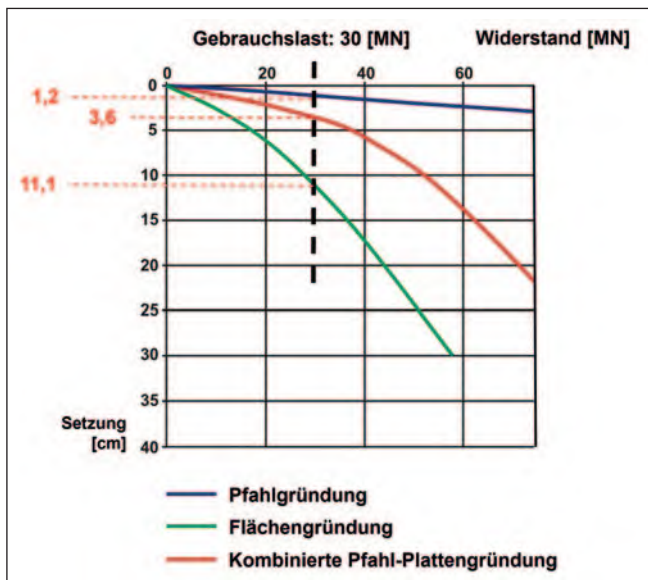


Abb. 19: Vergleich der Setzungen

	Setzung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	Pfahlherstellungskosten (Annahme: 410 € / lfd. Pfahlmeter)
Flächengründung	11,1 cm nicht gebrauchstauglich	–
KPP mit 6 Pfählen	3,6 cm	40.000 EUR
Felspfahlgründung mit 12 Pfählen	1,2 cm	120.000 EUR

Abb. 20: Vergleich der Kosten

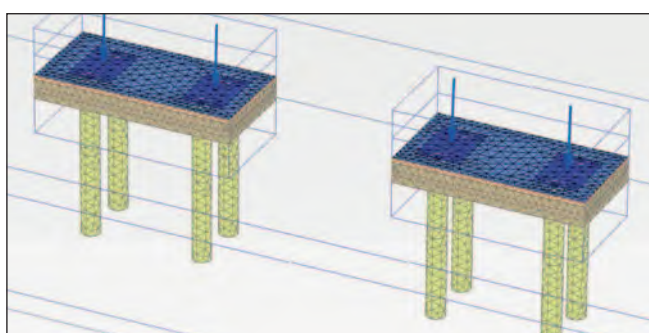


Abb. 21: Brücke Mainflingen

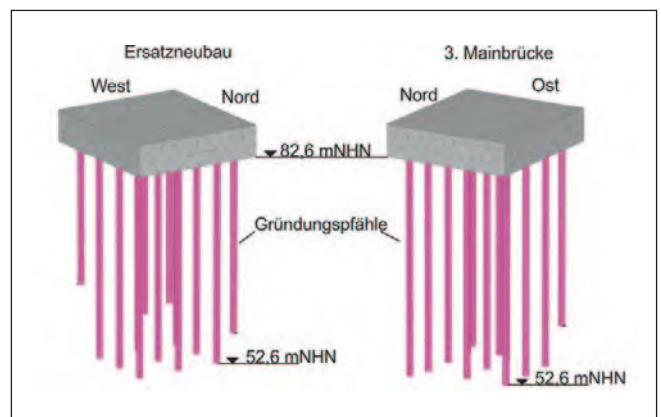


Abb. 22: Dritte Mainbrücke Niederrad und Ersatzneubau

Eine Flachgründung scheidet wegen der großen Setzung von mehr als elf Zentimetern aus, eine Felspfahlgründung ist sehr steif und vergleichsweise teuer, ideal ist die KPP (Abbildung 19 und Abbildung 20). Wohlwissend, dass die großen Vorteile der KPP überzeugend sind, wird die neue Autobahnbrücke der BAB A45 bei Mainflingen auf einer KPP gegründet (Abbildung 21); gleiches gilt für die dritte Mainbrücke Niederrad der Deutschen Bahn und für den dortigen Ersatzneubau (Abbildung 22).

Auch für die Regionaltangente West (RTW), einen Schienenweg, der westlich und südwestlich der Innenstadt von Frankfurt verläuft und die den Hauptbahnhof Frankfurt entlasten wird, werden einige Brücken und Stützwände im Zuge der Ausführungsplanung mit einer KPP geplant. Dies wird zu nicht ganz unwesentlichen Einsparungen im Projekt führen.

5.3 Die KPP des Hochhausprojekts FOUR in Frankfurt am Main

Das Bauvorhaben FOUR zählt zu den größten innerstädtischen Bauprojekten in Europa. Auf einer Fläche von 16.000 Quadratmetern wurden

FOUR	Höhe m	Obergeschosse –	Untergeschosse –
Tower 1	233	57	4 über alle Bauteile
Tower 2	173	48	
Tower 3	120	32	
Tower 4	100	25	

Tab. 1: Projektdaten FOUR



Foto: UNStudio

Abb. 23: Die Silhouette von Frankfurt hat einen neuen Blickfang: Das Viererhochhaus FOUR.

vier Hochhäuser mit Höhen von einhundert bis 233 Meter auf vier zusammenhängenden Untergeschossen und einer gemeinsamen Fundamentplatte realisiert (Tabelle 1).

Direkt neben dem FOUR-Projekt befinden sich einige der bekanntesten Hochhäuser Frankfurts. Unter anderen zählen der MainTower, das Commerzbank-Hochhaus und der Omniturm zu den unmittelbaren Nachbarn des Bauvorhabens FOUR (Abbildung 23).

Die Herausforderungen bei der Verwirklichung des Bauvorhabens FOUR liegen in der Komplexität der Konzeption, in der Bemessung und Ausführung der mehr als zwanzig Meter tiefen Baugrube in Deckelbauweise und der Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung der vier Hochhäuser. Aufgrund der vielfältigen Baugrund-Tragwerk-Interaktion mit höchsten Ansprüchen an Geotechnik und Tragwerksplanung wurden die jeweiligen Prüfer für Baustatik und Geotechnik frühzeitig, das heißt, bereits in der Konzeptionsphase im Sinne des Vier-Augen-Prinzips hinzugezogen.

5.3.1 Baugrundverhältnisse im Projektgebiet

Zur Ermittlung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden neben der Auswertung zahlreicher Archivbohrungen weitere Erkundungsbohrungen mit Tiefen bis zu 150 Meter durchgeführt, die überwiegend durch die eingeschossige Bestandtiefgarage geführt wurden. Hierbei wurden die normativen Anforderungen der DIN 4020 berücksichtigt und eingehalten. Der Baugrund besteht aus Auffüllungen, quartären Sanden und Kiesen, gefolgt vom Frankfurter Ton. Unter dem Frankfurter Ton folgen die felsigen Frankfurter Kalke.

Der Grundwasserleiter in den quartären Sanden befindet sich etwa drei bis fünf Meter tief unter der Geländeoberfläche. Der gespannte tertiäre Grundwasserleiter zirkuliert in den zerklüfteten Kalksteinbänken und Sandlinsen des Tertiärs (Abbildung 24).

5.3.2 Gründungssystem

Das Gründungssystem für die vier Hochhäuser besteht aus einer kombinierten Pfahl-Plattengründung. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wurde zusätzlich auch die umlaufende Schlitzwand zum Lastabtrag herangezogen. Der Lastabtrag aller Bauwerkslasten erfolgt somit über die Gründungspfähle, die Fundamentplatte und auch über die Schlitzwände.

Aufgrund der Komplexität des Trag- und Verformungsverhaltens sind Kombinierte Pfahl-Plattengründungen grundsätzlich in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzuordnen und sind somit – wie oben beschrieben – nicht nur von einem Prüfenieur für Baustatik, sondern auch von einem Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau zu prüfen; dies ist auch beim FOUR zur Gewährleistung des Vier-Augen-Prinzips erfolgreich praktiziert worden.

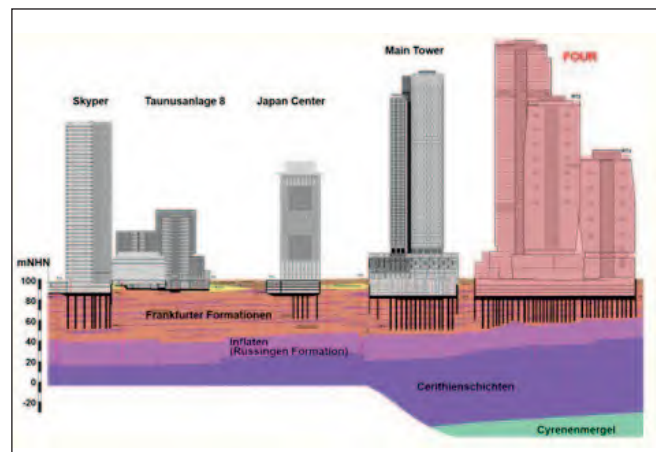


Abb. 24: Baugrundaufbau

Ergänzend zu den erforderlichen Gründungspfählen der KPP wurden zur Auflagerung der Deckel (**Abbildung 25** und **Abbildung 26**) insgesamt 240 Primärstützen hergestellt. Dabei wurden Fertigteilstützen mit hohen planerischen und ausführungstechnischen Anforderungen an die Einbautoleranzen in die vorab hergestellten Gründungspfähle eingestellt (**Abbildung 27**).

Für den 233 Meter hohen Turm 1 wäre auch in Analogie zum benachbarten Commerzbank-Hochhaus grundsätzlich eine konventionelle Pfahlgründung im Fels möglich gewesen. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wurde dieses Konzept aber nicht weiterverfolgt. **Tabelle 2** stellt die wesentlichen Gründungsdaten für die ausgeführte Gründung sowie für eine fiktive Pfahlgründung für den Turm 1 dar. Die technisch optimierte Herangehensweise mithilfe von komplexen numerischen Berechnungen und Nachweisen zeigt, dass mit dem ausgeführten Gründungssystem erhebliche Einsparungen in Bezug auf die Bauzeit (Pfahlmeter) und den Betonverbrauch sowie damit einhergehend eine erhebliche Einsparung an CO₂-Emissionen um den Faktor 3 erzielt werden konnte.

Die Nachweisführungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Gründung der vier Hochhäuser erfolgten anhand von analytischen und numerischen Berechnungen in enger Abstimmung mit dem bautechnischen und geotechnischen Prüfer. In diesem Kontext wurden unter anderem numerische 3-D-Berechnungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Kombinierten Pfahl-Plattengründung durchgeführt.

Die wahrscheinlichen Setzungen der Fundamentplatte unter setzungsrelevanten Lasten sind in **Abbildung 28** dargestellt.

Das Messprogramm zur Gründung sowie die Messerergebnisse und deren Aus- und Bewertung sind Bestandteil der geotechnischen Prüfung. Im Rahmen der geodätischen und geotechnischen Messungen der Gründung kam eine umfangreiche geotechnische Messinstrumentierung, bestehend aus Kraftmessdosens an Pfahlfuß und Pfahlkopf, Dehnmessstreifen in verschiedenen Ebenen sowie Sohl- und Porenwasserdruckgebern und Gleitdeformetern bis in große Tiefen zum Einsatz. Neben den vorgenannten klassischen Instrumentierungen wurden die Messpfähle zusätzlich mit faseroptischen Sensorkabeln (Distributed Strain Sensing) über die gesamte Pfahllänge ausgerüstet, welche unter anderem eine Dehnungsmessung entlang der Pfähle ermöglichen.

		Turm 1	
Gründungssystem	–	Kombinierte Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung	Pfahlgründung
Höhe	m	233	
Footprint	m ²	1.600	
Last (G+Q)	MN	2.100	
Anzahl Pfähle	Stk	88	110
Pfahllänge	m	28	45
Pfahldurchmesser	m	1,39 – 1,86	1,86
aKPP	–	0,8	1,0
Pfahlmeter	m	2.464	4.950
Pfahlbetonverbrauch	m ³	4.400	13.400

Tab. 2: Gründungsdaten: Kombinierte Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung vs. Pfahlgründung

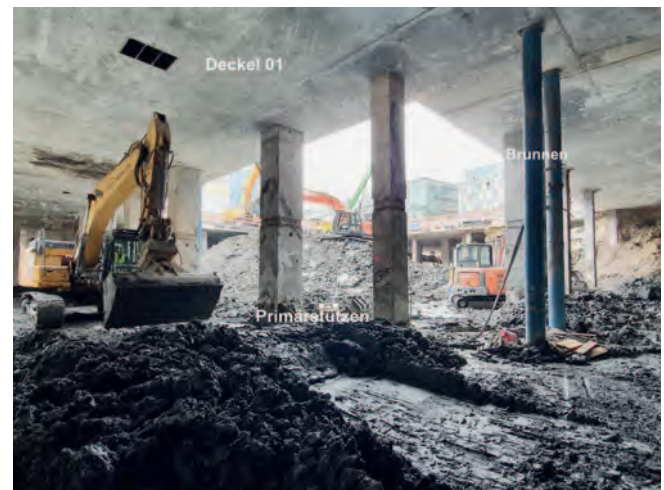


Abb. 25: Aushub unter Deckel 01



Abb. 26: Blick nach oben vom Deckel 2

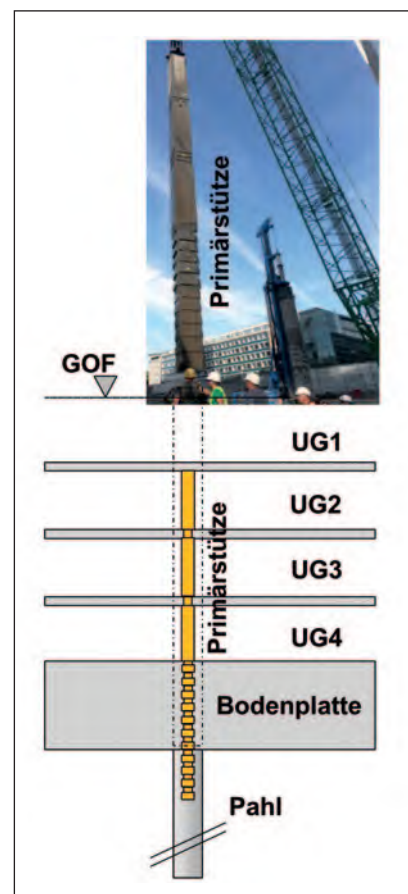


Abb. 27: Einbau einer Primärstütze

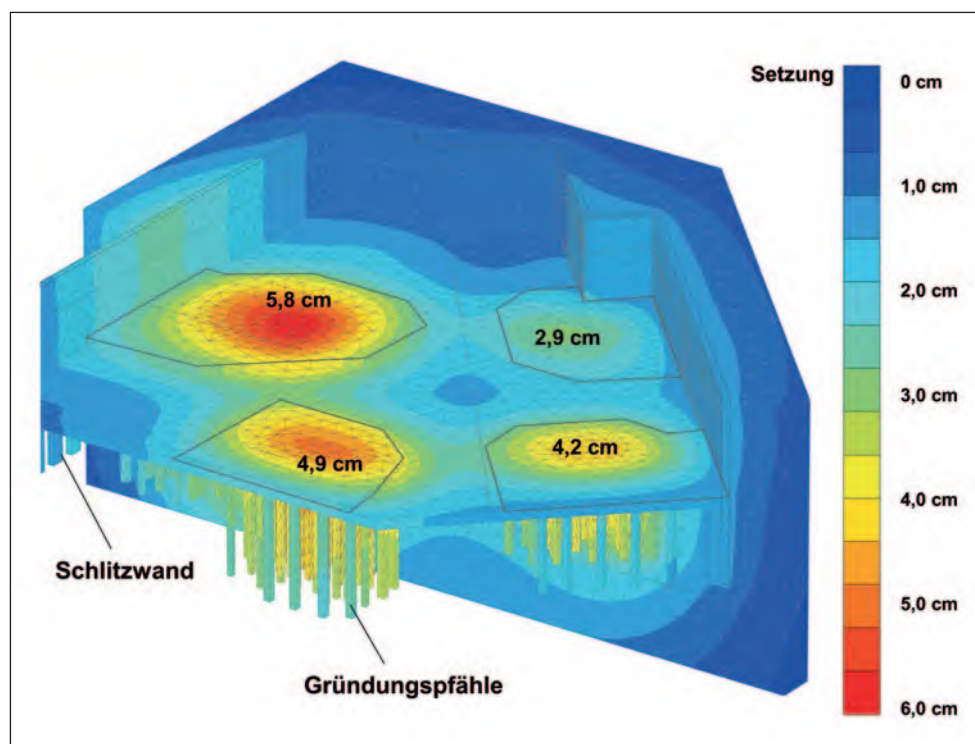


Abb. 28: Berechnete Setzungen
FOUR (Schlitzwand und Baugrund
teilweise ausgeblendet)

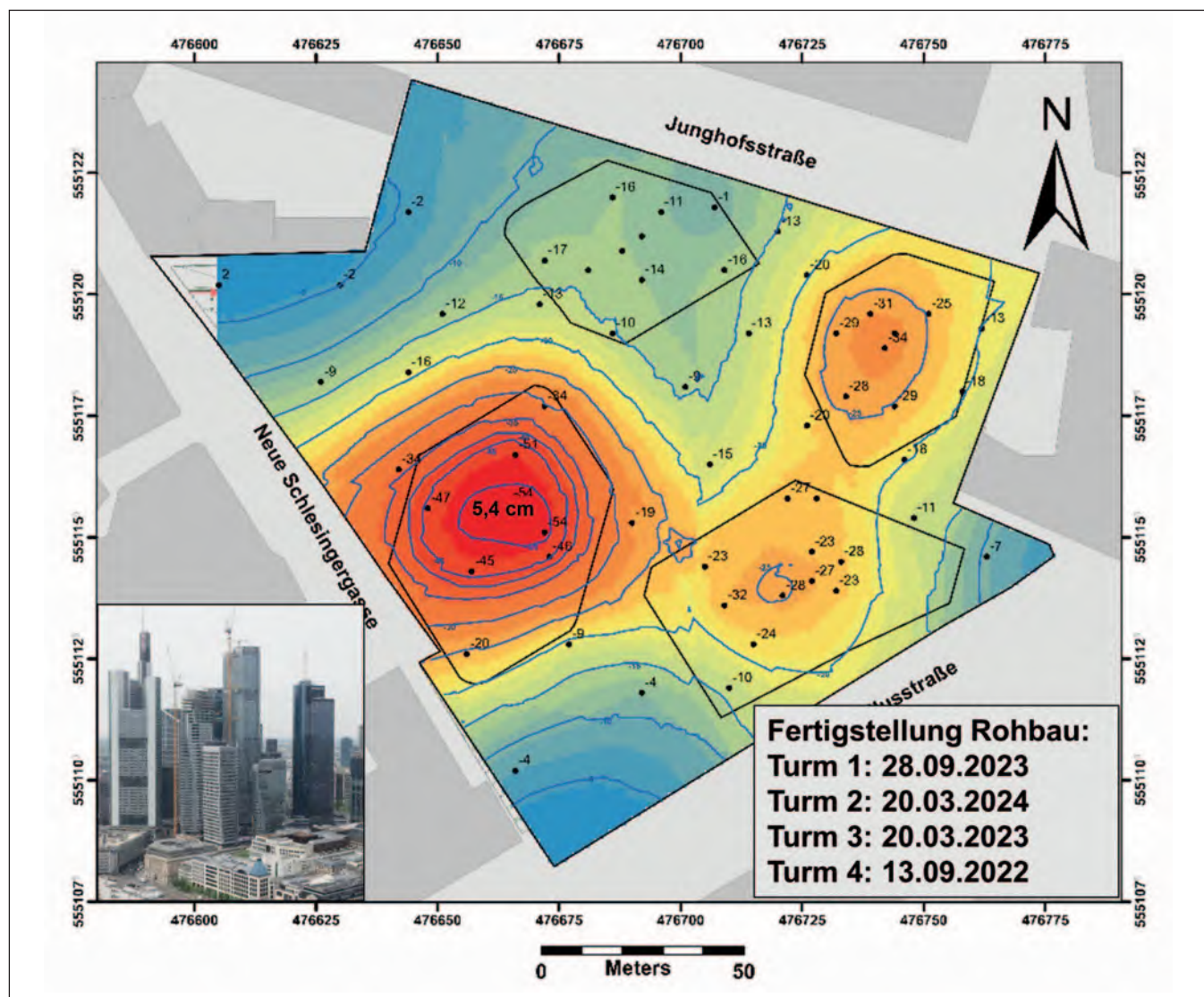


Abb. 29: Am 10. April 2024 gemessene Setzungen nach Rohbauende

Zur Beobachtung der Setzungen beziehungsweise Hebungen wurden insgesamt 35 Messbolzen an Primärstützen über das gesamte Untergeschoss verteilt installiert und von Beginn an kontinuierlich gemessen. Bis zum Endaushubzustand konnten Hebungen der Primärstützen von mehreren Zentimetern in Baugrubenmitte beobachtet werden. Die Setzungen der Fundamentplatte infolge Neubaulasten nach Rohbauende sind in **Abbildung 29** dargestellt.

6 Zusammenfassung

Mit der in dieser Dimension weltweit ersten Ausführung einer kombinierten Pfahl-Plattengründung beim 256 Meter hohen Messeturm in Frankfurt wurden in den 1980er-Jahren die beiden bisherigen Gründungstechniken – Flach- oder Tiefgründung, dazwischen gab's nichts(!) – grundlegend revolutioniert und damit auch eklatant gegen die bauaufsichtlich eingeführte DIN 1054 verstoßen – und dies ausgerechnet bei dem seinerzeit höchsten Hochhaus von Europa!

Auch wenn die 64 Pfähle, die beim Messeturm unter der 3600 Quadratmeter großen Fundamentplatte angeordnet sind, mit ihrer Grenztragkraft von insgesamt 725 MN nur 46 Prozent der Hochhauslast abtragen können, ist der Messeturm standsicher, weil die restliche Last von 845 MN über den Sohldruck unter der Fundamentplatte in den Baugrund eingeleitet wird.

Die Genehmigungsfähigkeit der nicht nach damaliger Norm ausgeführten Gründung des Messeturms und der danach mit einer KPP gebauten übrigen Hochhäuser wurde erreicht, weil – durch außerordentlich umfangreiche numerische Untersuchungen belegt – *wohlbegründet* von der Norm abgewichen werden durfte. Es ist klar, dass diese wohlbegründete Abweichung von der Norm im Sinne des bewährten Vier-

Augen-Prinzips durch eine Kombination der Prüfer, das heißt durch den Prüfsachverständigen für Baustatik und durch den Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau (den geotechnischen Prüfer), unabhängig überprüft werden musste. Diese fachliche Verknüpfung der Prüfinstanzen hat sich speziell in Frankfurt, nicht zuletzt wegen der jahrzehntelangen Erfahrung der Frankfurter Bauaufsicht, bewährt und ist hier gängige Praxis.

Die positiven Effekte der KPP sind beeindruckend. So ergeben sich im Vergleich zur klassischen Pfahlgründung durch die KPP Einsparungen von 50 bis 70 Prozent der Pfahlbohrmeter, was bei Hochhausprojekten durchweg Einsparungen in Millionengrößenordnung zur Folge hat. Die Ursache hierfür ist letztlich die Einsparung von Ressourcen (Zement, Zuschlagstoff, Transporte, Zeit), was sich letztendlich auch in einer erheblichen Reduktion von CO₂-Emissionen niederschlägt.

Mittlerweile, mehr als dreißig Jahre nach der ersten, sehr erfolgreichen Anwendung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung beim Frankfurter Messeturm, ist diese sehr umweltfreundliche Gründungstechnologie im europäischen Normenwerk angekommen, und zwar im Abschnitt 7.6.2.1 (6) der bauaufsichtlich eingeführten DIN EN 1997-1. Dort ist die Methodik der KPP nunmehr normativ verankert.

Es bleibt daher zu hoffen, dass sich die Kombinierte Pfahl-Plattengründung in Zukunft nicht auf den Hochhausbau in Frankfurt, Berlin, Hamburg, München, Mannheim oder Wien et cetera beschränkt, sondern auch bei den vielen kleinen und großen Baumaßnahmen des Verkehrswegebau standardmäßig zur Anwendung kommt – da ist viel Luft nach oben mit einem erheblichen Einsparpotential, am sinnvollsten (weil genormt) ohne zeitaufwendige Zustimmung im Einzelfall und/oder Unternehmensinterne Genehmigung, weil die Vorgehensweise mit der DIN EN 1997-1 bauaufsichtlich eingeführt ist.

7 Literatur

- [1] Martini, E., Radtke, G. (2011): *Stratigraphie von Deutschland IX, Tertiär, Teil 1 – Hanauer Becken*, Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, Hannover
- [2] Hanisch, J., Katzenbach, R., König, G. (2001): *Kombinierte Pfahl-Plattengründungen*, Ernst & Sohn, Berlin
- [3] Amann, P. (1975): *Über den Einfluss des Verformungsverhaltens des Frankfurter Tons auf die Tiefenwirkung eines Hochhauses und die Form der Setzungsmulde; Mitteilungen der Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Hochschule Darmstadt*, Heft 23
- [4] Sommer, H. (1993): *Development of locked stresses and negative shaft resistance at the piled raft foundation – Messeturm Frankfurt am Main, Deep Foundations on bored and auger piles*, Rotterdam, Niederlande, S. 347-349
- [5] Eschenfelder, D.: *Sicherheit im Erd- und Grundbau – Anmerkungen zum Bauordnungsrecht und zur Baupolitik der Länder; Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt*, Heft 43, 1999, S. 31-40
- [6] Katzenbach, R., Weidle, A., Hoffmann, H., Vogler, M. (2006): *Beherrschung des Risikopotentials Tiefer Baugruben im urbanen Umfeld – Aktuelle Szenarien; Baugrundtagung der DGGT*, Bremen, 2006
- [7] Katzenbach, R., Kinzel, J. (2001): *Das Vier-Augen-Prinzip bei Baugrundgutachten; Der Prüfsachverständige* 18 (4), S. 28-38
- [8] Verein Deutscher Zementwerke (VDZ): *Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien; 2020*, Düsseldorf
- [9] Meißner, S., Michael, J., Kies, M., Cronen, B. (2020): *Bauvorhaben FOUR Deckelbauweise mit einer Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung; geotechnik*. <https://doi.org/10.1002/gete.202000022>
- [10] Meißner, S., Kies, M., Schmitt, J. (2018): *Beurteilung des Last-Setzungsverhaltens einer Kombinierten Pfahl-Plattengründung unter Berücksichtigung verschiedener numerischer Modellierungsansätze; 11. Kolloquium Bauen in Boden und Fels*, Esslingen, S. 97 – 106

Brandsimulation: Praxisbeispiel und Einsatzgrenzen der FED-Methode zur Berücksichtigung von Rauchtoxizitäten

Mit FED-Auswertungen in Brandsimulationen können toxische Rauchgaswirkungen präzise bewertet werden – sie sollten aber nur in Einzelfällen angewendet werden

In der Brandschutzplanung gewinnen Ingenieurmethoden sehr an Bedeutung für die sachgerechte Lösung komplexer Einzelprobleme. Mit Brandsimulationen können wirkungsvolle Maßnahmen des anlagentechnischen Brandschutzes dimensioniert und deren Leistungsfähigkeit bewertet werden. Gelegentlich bietet eine Brandsimulation die einzige Möglichkeit, die Einhaltung projektspezifischer Schutzziele nachzuweisen. Der folgende Beitrag beschreibt ein Projekt, bei dem in einer schwierigen Lage eine Simulation überzeugend zum Erfolg geführt hat; das aber auch wegen des guten Zusammenwirkens des Sachverständigen, der die CFD-Brandsimulation durchgeführt hat, und dem Prüferingenieur. Er zeigt deutlich, dass die Interpretation der FED*-Werte ein fundiertes Fachwissen erfordert, um praxisrelevante Schlussfolgerungen zu ziehen. Vor allem aber sind großer Sachverstand und Verantwortung bei der Bearbeitung und Prüfung derartiger Brandsimulationen erforderlich.

1 Einführung: Projekt und Vorlauf

1.1 Inhalte der Brandschutzkonzeption, Abweichung

Für den Neubau eines Krankenhauses in Hessen wurde der Brandschutznachweis im Jahr 2018 von einem Ingenieurbüro erstellt und dabei das Gebäude als nicht geregelter Sonderbau eingeordnet. Der hier im Folgenden primär betrachtete Flur dient der Erschließung von

sechs Zimmern einer Intensivstation mit jeweils ein bis zwei Patientenbetten. Im Flur wird ein Überwachungstresen aus nichtbrennbarem Trägermaterial vorgesehen, jedoch mit Brandlasten in Form von Computern, Monitoren, Druckern und büroüblichen Brandlasten, beispielsweise Unterlagen aus Papier und diversen Büroausstattungen. Der Flur und die Patientenzimmer der Intensivstation werden mit Wänden in feuerhemmender, nichtbrennbarer Bauart (F30-A) abgetrennt; als Zugang waren Schiebetüren ohne Feuerwiderstand geplant worden.



M.Sc. Andreas Kanitz

studierte Sicherheit und Gefahrenabwehr in Magdeburg und Stendal und arbeitet seit 2014 bei der *hhpberlin Ingenieure für Brandschutz* in Braunschweig, dort seit 2017 als Sachverständiger für vorbeugenden Brandschutz, insbesondere im Bereich der Ingenieurmethoden und der Durchführung von Brandrauchversuchen, vor allem für Sonderbauten.



Dipl.-Ing. (FH) Udo Kirchner

studierte Bauingenieurwesen und Brandschutz in Nürnberg und Braunschweig, ist seit 1996 staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes und seit 2021 Prüferingenieur für Brandschutz in NRW; Geschäftsführender Partner der *Halfkann+ Kirchner, Beratende Ingenieure für Brandschutz*, Mitglied des Vorstandes der vpi NRW und der IK-Bau NRW.



Dr.-Ing Christoph Klinzmann

studierte an der TU-Braunschweig und ist seit 2009 Fachplaner für Brandschutz bei *hhpberlin*, seit 2013 als Leiter der Niederlassung Hamburg; Christoph Klinzmann ist Prüferingenieur für Brandschutz und arbeitet in mehreren Normenausschüssen für Industriebau und Ingenieurmethoden sowie im Referat 4 der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) mit.

Das Brandschutzkonzept und die projektspezifischen Anforderungen der Bauaufsicht erhoben die besondere Anforderung, dass der Flur während einer möglichen Räumung der Intensivstation entraucht wird. Die Entrauchung soll erreichen, dass keine relevanten toxischen, thermischen oder optischen Brandwirkungen eintreten. In einer weiteren vonseiten der Brandschutzkonzeption ausgearbeiteten und mit der Bauaufsicht abgestimmten Definition wurde zur Quantifizierung dieser Anforderung auf den Leitfaden *Ingenieurmethoden des Brandschutzes* der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) vom März 2020 [1] und hier auf Tabelle 8.3 verwiesen. Hierbei werden alle Werte der *quantitativen Schutzziele* für eine mittlere Aufenthaltsdauer übernommen.

1.2 Entrauchungskonzept Flur und Nachweis mittels Zonenmodells

Die Entrauchungskonzeption des zuvor beauftragten Ingenieurbüros wurde durch Brandsimulationsberechnungen mit dem Zonenmodell CFAST aufgestellt. Die verwendete Programmversion wurde im Bericht über die Simulationsrechnungen nicht benannt.

Zur Simulationsauswertung hinsichtlich des Schutzziels *Rauchableitung der Flure zum Verschieben der Patienten in gesicherte Bereiche* wurde primär die Auswertung der Rauchgastemperatur (< 50 Grad Celsius in zwei Meter Höhe) vorgenommen. Als zu untersuchendes Brand-szenario wurde ein zwischen dem Ersteller des Brandschutzkonzeptes und der Bauaufsicht vorabgestimmtes Szenario (Druckerbrand) gewählt. Die maximale Wärmefreisetzung wurde auf 100 kW beschränkt, diese wurde nach fünf Minuten Brandentwicklungsdauer erreicht. Als

* Die *Fraktionierte Effektive Dosis (Fractional Effective Dose, FED)* ist ein Maß für die von einem Menschen absorbierten Schadstoffe in der Luft.

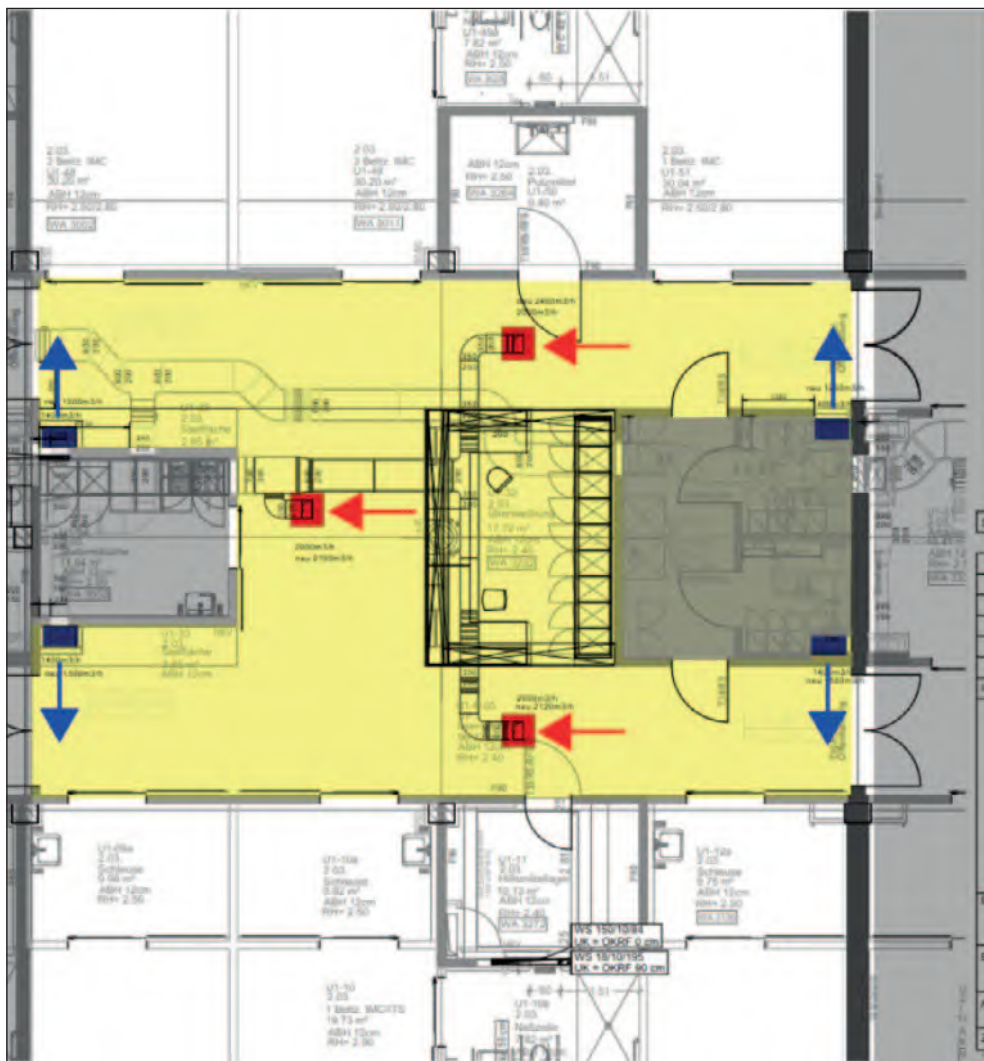


Abb. 1: Entrauchungskonzept Flur – rote Pfeile: maschinelle Abluft unter Decke, blaue Pfeile: maschinelle Zuluft bodennah

Brennstoff wurde Methan mit einem Heizwert von 50.000 kJ/kg und einer Rußfreisetzung von 0,01 g/g verwendet.

Als Ergebnis der Zonenmodell-Simulationen wurde eine Rauchschiebung mit einer Höhe Unterkante Rauchschiebung oberhalb von zwei Metern und einer Rauchschiebungstemperatur von circa 80 Grad Celsius festgehalten. Daraus wurde abgeleitet, dass während der Patientenrettung *keine lebensgefährlichen Zustände durch Temperaturen und Rauch unterhalb einer Höhe von 2,0 Meter entstehen und somit der Personenschutz gesichert sei.*

Die mithilfe der Simulationen (Zonenmodell) erarbeitete Entrauchungskonzeption (**Abbildung 1**) sah eine Entrauchung des betrachteten Flurbereiches vor, mit

- maschineller Rauchabsaugung über drei Absaugstellen in Deckenebene, UK-Decke = 2,4 Meter (insg. 6.620 m³/h),
- maschineller Zuluftführung über vier bodennahe Zuluftöffnungen (insgesamt 5.600 m³/h).

Die Differenz aus maschinelltem Absaugvolumenstrom und maschineller Zuluft sollte über Undichtigkeiten unter den Türen zu anderen Flurabschnitten nachströmen.

1.3 Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen von Zonenmodellen

Bei der Anwendung von Zonenmodellen beziehungsweise Plumeberechnungen zum Nachweis raucharmer Schichten ist sowohl eine sach-

kundige Bewertung der vorliegenden Randbedingungen als auch der spezifischen Anwendungsbedingungen der verschiedenen Plume-Modelle unumgänglich. Besonders bei komplexen geometrischen Bedingungen oder Beeinflussungen der Rauchschiebung/Rauchgasplume durch Luftströmungen im Raum ist die Anwendbarkeit vorgenannter Verfahren eingeschränkt.

Der Aufsteller von Simulationsrechnungen muss jeweils zu Beginn eines Projektes hinterfragen, welche Berechnungsmethode (zum Beispiel Handberechnungen mit Plumeformeln, Anwendung eines Zonenmodells, Durchführung von Brandsimulationen mit CFD-Modellen) für die konkrete Aufgabenstellung im Projekt geeignet ist. Eine erste Orientierung wird durch die Fachliteratur zum Beispiel durch den oben erwähnten vdfb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes gegeben. Empfohlen wird dort auch, die wesentlichen Inhalte eines Simulationsnachweises vorab mit den zuständigen Bauaufsichten und Prüfingenieuren abzustimmen. Im vorliegenden Projekt hätte die Frage, ob Zuluft- oder Raumströmungen vorliegen, die der Anwendung eines Zonenmodells zur Dimensionierung der Entrauchung entgegenstehen, vermutlich zur Auswahl eines CFD-Modells oder zur Anpassung der Brandschutzkonzeption während der Planungsphase geführt.

1.4 Rauchversuch als behördliche Auflage

Vonseiten der Bauaufsicht wurde mit Blick auf die vorgelegten Zonenmodellrechnungen die Überprüfung durch Brandrauchversuche zum Nachweis der Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit der Entrauchung eingefordert.

2 Durchführung von Brandrauchversuchen

2.1 Vorbereitung und gewählte Versuchsstrategie

Mit dem Auftrag, den behördlich geforderten Rauchversuch durchzuführen, trat der Sachverständige in der Endphase des Projektes ein. Zunächst wurden die projektspezifischen Hintergründe und Anforderungen an den Rauchversuch mit der Bauherrschaft, der Brandschutzkonzeptstellerin und der Bauaufsicht abgestimmt.

Folglich war ein Brandrauchversuch auf Basis der Anforderungen der vfdb-Richtlinie 14/02 (*Durchführung von Brandrauchversuchen in Räumen* [2]) durchzuführen. Die Richtlinie gibt zunächst einen Überblick über geeignete und ungeeignete Methoden für die Durchführung von Brandrauchversuchen. Weiter sind Empfehlungen dort formuliert, mit welchen Methoden und Vorgehensweisen man verlässliche Ergebnisse für konkrete Aufgabenstellung bekommt und wo Grenzen der Anwendung liegen.

Brandrauchversuche sollen die Rauchausbildung realer Szenarien jeweils *ausreichend genau* nachbilden. Abhängig von der Aufgabenstellung, der gewünschten Bewertungstiefe, der Raumgeometrie, dem Entrauchungskonzept, den Vorgaben für den Schutz des Gebäudes vor Versuchsschäden und den Brandparametern stehen verschiedene Versuchsarten und Bewertungstiefen zur Verfügung, das sind unter anderem

- qualitative/quantitative Bewertungen und
- Versuche mit skaliert/unkaliert Brandquelle.

Der Brandrauchversuch im betrachteten Projekt wurde auf Basis der maßgebenden Parameter und Abstimmungen als quantitativer Brandrauchversuch ohne Skalierung der Brandquelle gemäß Ziffer 2 der vfdb-Richtlinie 14/02 [2] mit dem durch das Sachverständigenbüro entwickelten Versuchsverfahren durchgeführt. Der Versuchsort lag, wie der Brandort der Zonenmodellrechnung, am Fußboden, nahe dem Überwachungstresen. Die Versuchsdauer betrug 15 Minuten, analog zu der in den Zonenmodellrechnungen untersuchten Branddauer.

2.2 Versuchsergebnisse

Mit den Brandrauchversuchen konnte eine schnelle *Branddetektion durch die Brandmeldeanlage* (BMA) festgestellt werden. Die Brandfallsteuerung der Anlagenkomponenten der Entrauchung funktionierte ebenfalls einwandfrei. Die für die Zonenmodellrechnungen angenommenen Aktivierungs- und Anlaufzeiten der Entrauchung wurden bestätigt.

Vor der Aktivierung der Entrauchung (Zuluft und Abluft) stellte sich im Brandraum eine stabile Rauchsicht mit einer minimalen Höhe der Unterkante von circa zwei Metern ein. Mit Aktivierung der Entrauchung allerdings wurde die Rauchsicht zerstört. In der Folge wurde auch der Bereich zwischen der Oberkante des fertigen Fußbodens (OKFFB) und zwei Meter über OKFFB ab circa der dritten Minute nach dem Beginn des Brandes deutlich verraucht. Erst nach dem Abklingen des Versuchsbrandes konnte der Rauch durch die Rauchabzugsanlage schnell abgesaugt und ein raucharmer Zustand im Flurbereich hergestellt werden.

Im Sinne der angestrebten Bestätigung der Ergebnisse der Zonenmodellrechnung (Gewährleistung einer raucharmer Schicht von mindestens zwei Metern während der Versuchsdauer von 15 Minuten) musste der Brandrauchversuch als nicht erfolgreich bewertet werden. Die Resultate wurden vor Ort mit den Versuchsbeteiligten besprochen und das weitere Vorgehen abgestimmt.

2.3 Analyse der Versuchsergebnisse

Als Begründung für die deutliche Differenz zwischen den Ergebnissen

- der Zonenmodellrechnung (mit stabiler Rauchsichtbildung mit einer Höhe UK > zwei Meter über OKFFB)
- und
- des quantitativen Brandrauchversuchs mit unskaliert Brandquelle (mit vollständiger Verrauchung des Flurbereichs über die gesamte Raumhöhe)

wird die bekanntermaßen nicht vorhandene Eignung des verwendeten Zonenmodells gesehen, Einflüsse von Raumströmungen auf die Rauchsicht zu berücksichtigen.

3 Weiteres Vorgehen

3.1 Verwerfene Lösungsansätze

3.1.1 Beseitigen der zugrundeliegenden Abweichung

Dieser Lösungsansatz beinhaltet folgende Varianten:

- Entfernen der Brandlasten aus dem betrachteten Flurbereich,
- feuerwiderstandsfähiges Abtrennen des Überwachungstresens des Flurbereichs,
- Installation von Brandschutztüren zu den Patientenzimmern zum sicheren Aufenthalt bei einem Brandereignis im Flur.

Diese Lösungsvarianten wurden nach Abstimmung mit der Bauherrschaft, der Brandschutzplaner und der Bauaufsicht aufgrund ihrer Unvereinbarkeit mit den Anforderungen der Nutzer oder der baulichen Umsetzbarkeit verworfen.

3.1.2 Möglichkeiten der Konzeptanpassung

Ein weiterer Lösungsansatz, nämlich: die Anpassung der Brandschutzkonzeption durch Überarbeitung der entsprechenden Abweichung und der zur Begründung der Abweichung herangezogenen Brandschutzmaßnahmen, wurde aufgrund des Baufortschritts, des Projektterminplans und der Abstimmungen mit der Bauaufsicht verworfen.

3.1.3 Optimierung Entrauchungskonzeption

Ebenfalls wurden folgende Möglichkeiten zur Optimierung der Entrauchungsanlage betrachtet:

- Zuluftführung
Anpassungen der Zuluftführung, sodass diese deutlich impulsärmer in den Flur einströmt beziehungsweise die Zuluftströmung durch Wände nicht in Richtung der an der Raumdecke befindlichen Rauchsicht umgelenkt wird, waren aufgrund des Baufortschritts (die Anlage war schon fertig installiert) sowie der Platzverhältnisse (keine freie Fläche für weitere oder größere Zuluftöffnungen/Schächte) nicht hinreichend möglich.

- Abluftführung
Eine relevante Steigerung des Absaugvolumenstromes war aufgrund der Platzverhältnisse in der Zwischendecke und Steigschächten nicht realisierbar. Selbst wenn eine Umsetzbarkeit gegeben gewesen wäre, würde bei einer anvisierten geringen Rauchsichtdicke der sogenannte Plugholing-Effekt eintreten, also Frischluft durch die Rauchsicht hindurchgesaugt und die Entrauchung somit ineffizient arbeiten. Ebenso war eine Verteilung der Absaugleistung auf mehrere Absaugpunkte im Flur baulich nicht möglich. Selbst bei Lösung dieser Probleme würde der größere Absaugvolumenstrom in einer intensiveren Raumströmung resultieren, was der klaren Rauchsicht entgegenwirkt.

— Installation mobiler Rauchschürzen

Die Begrenzung der Rauchsichtausbreitung auf den unmittelbaren Brandnahbereich war aufgrund der Platzanforderungen des geplanten Krankenhauses und künftigen Nutzers (Durchfahrthöhen unter anderem für medizinische Geräte, Betten mit medizinischen Zusatzinstallationen) nicht zielführend umsetzbar. Eine im Brandfall aktivierte mobile Rauchschutzabtrennung des Überwachungstresens und der weiteren Brandlasten im Flurbereich waren baulich nicht (mehr) zu verwirklichen.

— Optimierung der Detektionszeiten der BMA

Die empfindlichere Einstellung der verwendeten automatischen Melder wird als nicht zielführend betrachtet, da die Problemstellung hier deutlich abhängig von der vorherrschenden Raumströmung und weniger vom Aktivierungszeitpunkt der Entrauchung ist.

— Aufgrund des geringen Rauchstauvolumens oberhalb einer Höhe von zwei Metern ist auch eine verzögerte Auslösung der Entrauchung nicht zielführend.

— Ebenso wurden im Ergebnis jegliche Kombinationen der vorgenannten Optimierungsmöglichkeiten als nicht sinnvoll erachtet.

3.2 Verfolgter Lösungsansatz

Als potenzieller Lösungsansatz wurde die Möglichkeit einer erneuten Simulationsberechnung durch den Sachverständigen mit einer geeigneten Simulationsmethode (CFD-Simulation) betrachtet.

Bereits zu diesem Zeitpunkt war allen Beteiligten klar, dass ein solcher Nachweis nicht, wie üblich, allein anhand des Nachweises der Ausbildung einer raucharmen Schicht über die Berechnung der optischen Dichte und des Vergleichs mit einem Beurteilungswert für das Leistungskriterium (zum Beispiel: $OD < 0,1 \text{ 1/m}$) geführt werden kann.

Seitens der Bauaufsicht wurde die Möglichkeit zugestanden, sowohl bei der Rauchsichthöhe als auch bei der auf die Nutzer einwirkenden Rauchgaskonzentrationen detailliertere Betrachtungen vorzunehmen; dies alles jedoch weiterhin mit dem in der Brandschutzkonzeption geforderten Ziel, eine hinreichende Möglichkeit zur Rettung von Patienten durch das Personal während mindestens 15 Minuten nach Brandausbruch zu ermöglichen.

4 Neuer schutzzielorientierter Simulationsnachweis

4.1 Grundzüge der Nachweisführung

Ingenieurmethoden auf dem Gebiet des vorbeugenden Brandschutzes sind ein Ansatz zur Bewertung des erforderlichen Brandsicherheitsniveaus und zur Bemessung, Berechnung und Festlegung der erforderlichen Schutzmaßnahmen. Die Anwendung bedarf einer geeigneten Nachweisführung, die nach DIN 18009-1 (*Brandschutzingenieurwesen, Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung* [3]) argumentativ oder leistungsbezogen erfolgen kann.

Im vorliegenden Fall erfolgte eine leistungsbezogene Nachweisführung.

Die der Nachweisführung zugrundeliegenden Schutzziele werden aus den öffentlich-rechtlichen Vorgaben abgeleitet und dem Brandschutzkonzept sowie der erweiterten Schutzzieldefinition (hier erläutert in Kapitel 1.1) übernommen und durch zusätzliche Beurteilungsparameter erweitert.

Zudem wird das zu betrachtende Brandszenario (zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsrate) übernommen, welches im Rahmen der vorangehenden Entrauchungssimulationen mittels Zonenmodells in Abstimmung mit der Bauaufsicht entwickelt worden war. Hierbei wurden jedoch brandspezifische Parameter wie die Rußfreisetzung, der Brennstoffmix, der Heizwert, Freisetzungen weiterer Reaktionsprodukte, wie HCl und HCN, an die untersuchten Varianten angepasst.

Aus dem Schutzziel *Ermöglichen der Rettung von Menschen* wird gemäß DIN 18009-1 [3] folgende funktionale Anforderung abgeleitet:

— Nutzbarkeit der Rettungswege für die Dauer der Patientenräumung aus den an den betrachteten Flur angrenzenden Patientenzimmern sowie aus dem betrachteten Flurbereich.

Zuordnung von Leistungskriterien: Im Grundsatz ist für die Aufenthaltszeit im internen Flur eine ausreichend atemfähige Umgebung und Orientierung für die flüchtenden Personen zu gewährleisten. Die detaillierte Herleitung entsprechender Leistungskriterien wird hier in Kapitel 4.3 erläutert.

4.2 Beauftragung eines Prüfenieurs für Brandschutz

Im Kontext der Komplexität des vorgesehenen CFD-Simulationsnachweises wurde seitens der zuständigen Bauaufsicht entschieden, einen Prüfenieur für Brandschutz beizuziehen.

Nach Beauftragung des Prüfenieurs für Brandschutz und dessen Einarbeitung in die wesentlichen Projekthalte bestand die Zusammenarbeit zwischen dem Sachverständigen und Prüfer zunächst darin,

- die wesentlichen Inhalte der Nachweisführung seitens des Sachverständigen darzustellen,
- prüferseitige Hinweise aufzunehmen und
- die Entwicklung einer validen Nachweisführung abzustimmen.

Die Inhalte einer solchen ersten Abstimmung betrafen die Einflüsse

- des Gebäudes,
- der wesentlichen Inhalte der Brandschutzkonzeption,
- des Entrauchungskonzeptes im untersuchten Flurbereich,
- der Ergebnisse des Brandrauchversuchs,
- der Aufgaben, die den geplanten Brandsimulationen zugrunde liegen,
- der zu untersuchenden Brandszenarien/-orte/-parameter,
- des verwendeten Simulationsmodells/der zu nutzenden Simulationssoftware,
- der weiteren Parameter der Simulationen (zum Beispiel des betrachteten Zeitraums, der Größe der Zellen, des Berechnungsgitters, der Berücksichtigung brandfallgesteuerter Elemente, der Außentemperatur, der Berücksichtigung einer Lüftungsgrundströmung),
- der Schutzziele und Leistungskriterien und
- der Inhalte der Auswertung und der Dokumentation der Simulationen.

4.3 Detaillierung der Nachweisführung

Üblicherweise werden Simulationsnachweise zur Personen-Selbstrettung über den Nachweis einer ausreichend raucharmen Schichtung geführt. Hierbei wird primär die Beurteilungsgröße *Optische Dichte*, ausgewertet in einer Referenzhöhe von meist 2,5 Metern (in Einzelfällen 2,0 Meter) über OKFFB der betrachteten Bereiche. Der zulässige Beurteilungswert der Optischen Dichte/Rauchdichte wird gegebenenfalls in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer festgelegt (siehe Tabelle 8.3 in [1] und Abbildung 2).

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min.)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration ⁽¹⁾	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m ²	2,0 kW/m ²	< 2,5 kW/m ²
Gastemperatur ⁽²⁾	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D _L ⁽³⁾	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ / 0,15 m ⁻¹ ⁽⁴⁾	0,1 m ⁻¹ / 0,2 m ⁻¹ ⁽⁴⁾
Erkennungsweite ^{(5), (6)}	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

Abb. 2: Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele (Tabelle 8.3 aus [1])

Der Nachweis einer ausreichend raucharmen Schichtung wird dabei entweder für einen vorher definierten Zeitraum der Selbstrettung (zum Beispiel Brandbeginn bis 15 Minuten nach Brandbeginn) oder für ASET-RSET-Betrachtungen in Gegenüberstellung der Ergebnisse einer Räumungsberechnung erbracht (dabei werden die für die Räumung zur Verfügung stehenden Zeiten (ASET) den für die Räumung benötigten Zeiten (RSET) gegenübergestellt).

Der in diesem Artikel betrachtete Nachweis wurde in zwei Teilnachweise untergliedert, nämlich in

- den Teilnachweis zur Bewertung der Orientierung und
- den Teilnachweis eines ausreichend atemfähigen Aufenthaltsbereiches.

Als zu betrachtender Zeitraum wurden, startend zu Beginn des Brandereignisses, 15 Minuten definiert. Der Zeitraum ergibt sich aus den Vorgaben des gebäudespezifischen Räumungskonzeptes und den ergänzend durchgeführten Testläufen zur Abrüstung von Patienten inklusive des Verschiebens in gesicherte Bereiche.

4.3.1 Teilnachweis Orientierung

Die ausreichend raucharme Schicht muss im entsprechenden Flurbereich mindestens über den Zeitraum der Patientenrettung sichergestellt sein. Die Auswertung erfolgt in Höhen von 1,6 (Hauptauswertung) und zwei Meter (ergänzende Auswertung) über OKFFB sowie im Längsschnitt durch den Flurbereich.

Die Auswertung im Längsschnitt trägt dem Umstand Rechnung, dass der Raum übersichtlich strukturiert und kleinflächig ist (maximale Flurlänge: 16 Meter, maximale Lauflänge aus den beiden mittig gelegenen

Patientenzimmern: circa 7,1 Meter). Demnach ist bei Einschränkungen der Optischen Dichte (Erkennungsweiten) auf einer Höhe von 1,6 Meter über OKFFB eine Orientierung des mit der Räumung betrauten ortskundigen Personals mittels schräg nach unten gerichteter Blickachse und weiterhin erkennbarer Raumstruktur möglich.

Für den Teilnachweis der Orientierungsmöglichkeit wird die Beurteilungsgröße Optische Dichte verwendet. Der Beurteilungswert der Optischen Dichte beträgt 0,2 1/m (Tabelle 1).

4.3.2 Teilnachweis atemfähiger Aufenthaltsbereich

Für den Teilnachweis des atemfähigen Aufenthaltsbereiches wurden Brandsimulationen mit verschiedenen realistischen Brennstoff- und Brandrauchzusammensetzungen sowie, ergänzend, in Form einer Sensitivitätsstudie durchgeführt. Hierfür wurden teils brennstoffabhängig folgende Beurteilungsgrößen ausgewertet:

a) Beurteilungsgröße „Fractional Effective Dose“ (FED)

Die Auswertung mittels FED-Berechnung wird sowohl im aktuellen vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes als auch in der DIN 18009-2 (Brandschutzingenieurwesen, Teil 2 – Räumungssimulation und Personensicherheit [4]) – und dort, unter anderen, in Ziffer 7.2.3 – betrachtet. Im vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden wird für die FED zunächst ein Grenzwert von 1,0 definiert, im weiteren Verlauf werden zusätzliche Sicherheiten eingerechnet.

Gemäß den zugrundeliegenden Ausführungen der ISO 13571-1:2018 [5], dem SFPE Handbook (5th Edition [6]) und dem Anwendungsbeispiel im vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden unter Ziffer 10.5.8 wird für das vorliegende Projekt ein Beurteilungswert von FED = 0,3 definiert.

b) Beurteilungsgröße Kohlenstoffmonoxid (CO)

-> Beurteilungswert 200 ppm

(Leitfaden Ingenieurmethoden, Tabelle 8.3, mittlere Aufenthaltsdauer)

c) Beurteilungsgröße Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Beurteilungswert 2 Vol.-%

(Leitfaden Ingenieurmethoden, Tabelle 8.3, mittlere Aufenthaltsdauer)

d) Beurteilungsgröße Chlorwasserstoff (HCl)

Beurteilungswert 200 ppm

(Leitfaden Ingenieurmethoden, Tabelle 8.1, rechte Spalte: Behinderung der Flucht)

e) Beurteilungsgröße Cyanwasserstoff (HCN)

Beurteilungswert 16 ppm

(Leitfaden Ingenieurmethoden, Tabelle 8.3, mittlere Aufenthaltsdauer)

Schutzziel:	Ermöglichen der Rettung von Menschen
Funktionale Anforderung:	Nutzbarkeit der Rettungswege für die Dauer der Patientenräumung
Leistungskriterien	
— Beurteilungshöhe:	(2,0 m); 1,6 m über FFB des EG und im Längsschnitt durch den Flur
— Beurteilungsgröße:	Optische Dichte
— Beurteilungswert:	0,2 m ⁻¹

Tabelle 1: Randparameter der leistungsbezogenen Nachweisführung nach DIN 18009-1, funktionale Anforderungen, Leistungskriterien (Teilnachweis Orientierung)

Schutzziel:	Ermöglichen der Rettung von Menschen					
Funktionale Anforderung:	Nutzbarkeit der Rettungswege für die Dauer der Patientenräumung					
Leistungskriterien						
— Beurteilungshöhe:	2,0 m über OKFFB des EG (optional ergänzend auf 1,6 m über OKFFB)					
— Beurteilungsgrößen:	Gastemperatur	FED	CO	CO ₂	HCl	HCN
— Beurteilungswert:	50 °C	0,3	200 ppm	2 Vol. %	200 ppm	16 ppm
— Kommentar	–	–	–	–	Nur PVC-Brände	Nur Nylon-Brand

Tabelle 2: Randparameter der leistungsbezogenen Nachweisführung nach DIN 18009-1, funktionale Anforderungen, Leistungskriterien (Teilnachweis atemfähiger Aufenthaltsbereich)

Hinweis: Die Beurteilungswerte der unter b) bis e) genannten Beurteilungsgrößen wurden für eine Einwirkzeit von 15 Minuten abgeleitet. Aufgrund der geringen Rettungsweglängen im betrachteten Flur (maximal 7,1 Meter) und der folglich kurzen Passagezeit ist bei kurzzeitigen/geringfügigen Überschreitungen gegebenenfalls weiterhin eine sichere Rettung möglich (Tabelle 2).

Bei der FED-Auswertung wird allein der Zustand bei Simulationsende (15. Minute) ausgewertet (die FED steigt mit der Betrachtungszeit an). Zur Messung der FED wurden im Simulationsmodell sowohl FED-Devices als auch FED-Slices genutzt. **Abbildung 3** stellt die Anordnung der FED-Messpunkte (auch „Devices“) im Simulationsmodell dar.

Hierbei bestehen in der verwendeten Version 6.8.0 des *Fire Dynamics Simulator* FDS [7] Unterschiede in den zur Berechnung der FED berücksichtigten Gaskonzentrationen. Details dazu hier im Kapitel 4.4.

Den FED-Auswertungen (Devices und Slices) mit FDS liegt ein Activity Level von 3 zugrunde. Er beschreibt die Intensität der körperlichen Belastung einer Person und damit die Atemtätigkeit zur Aufnahme der in der Atemluft befindlichen Schadstoffe. Level 1 entspricht einer Person in Ruhe, Level 2 entspricht der Verrichtung leichter körperlicher Anstrengung und Level 3 entspricht einer schweren körperlichen Anstrengung.

4.3.3. Detaillierung der Brandszenarien

Die oben beschriebene Nachweisführung ist unter anderem signifikant von der Zusammensetzung des Brennstoffes abhängig. Im Rahmen der Recherche über mögliche Materialzusammensetzungen von Druckern konnte kein hinsichtlich der möglichen Verbrennungsprodukte abdeckender Materialmix definiert werden.

Um die beim vorliegenden Simulationenweg geringeren Sicherheitsreserven nicht weiter unkontrolliert zu reduzieren, wurden in mehreren Simulationen verschiedene Materialzusammensetzungen untersucht (Tabelle 3).

Hierbei wird zwischen realistischen Brennstoffzusammensetzungen und Zusammensetzungen im Rahmen einer weiter gehenden Sensitivitätsstudie unterschieden. Die in Tabelle 3 gelisteten Ergebnisse der Simulationen V05c und V08 sind unmittelbar für die Auswertung relevant, die Ergebnisse V05a, V05b, V06 und V07 dienen der zusätzlichen Information – Abweichungen von den vorgegebenen Bemessungswerten werden zunächst detailliert bewertet, führen jedoch nicht zwingend zu einem negativen Simulationsergebnis.

Der in den Simulationen untersuchte Brandort entspricht dem vorgesehenen (fest definierten) Aufstellort des Druckers beim Überwachungs-tresen. Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrates (HRR) des entstehenden

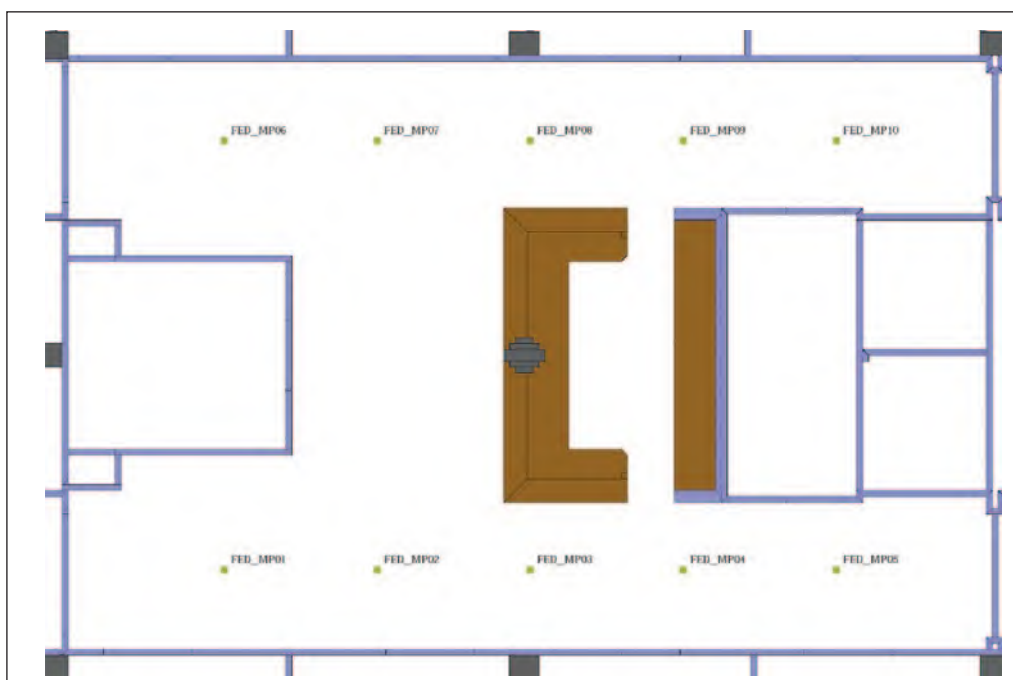


Abb. 3: Positionierung und Benennung der FED-Devices (gelbe Punkte), Lage jeweils zwei Meter über OKFFB

Bemessungs- brandszenario	Brandszenario, Brennstoffmix			
V07	Druckerbrand, Sensitivitätsstudie HCN-Freisetzung:	100% Nylon		
V06	Druckerbrand, Sensitivitätsstudie PVC-Anteil (HCl):	100% PVC		
V05a	Druckerbrand, Sensitivitätsstudie 75% PVC (HCl):	75% PVC	12,5% PS	12,5% PE
V05b	Druckerbrand, Sensitivitätsstudie 50% PVC (HCl):	50% PVC	25% PS	5% PE
V05c	Druckerbrand, ggf. realistischer Mix 25% PVC (HCl):	25% PVC	37,5% PS	37,5% PE
V08	Druckerbrand, Standard-Kunststoffmix:		50% PS	50% PE

Tabelle 3: Simulationen mit verschiedenen Materialzusammensetzungen

Brandes bis zum Erreichen des Maximums nach fünf Minuten wird durch eine αt^2 -Kurve beschrieben. Die Wärmefreisetzungsrate bleibt dann von der fünften bis zur zehnten Minute konstant und nimmt in den letzten fünf Brandminuten quadratisch ab. Dieser Ansatz lässt Löschmaßnahmen des Personals unberücksichtigt, zum Beispiel mittels der verfügbaren Handfeuerlöscher.

4.4 Detailbetrachtung zur FED-Methode und deren Anwendung im konkreten Projekt

In der Sicherheitsforschung und -praxis spielt die CFD-Brandsimulation eine entscheidende Rolle, um die Auswirkungen von Bränden auf Personen und das Gebäude zu untersuchen. Eine wesentliche Komponente dieser Simulationen ist die Bewertung der Gefährdung durch die von Bränden freigesetzten toxischen Rauchgase. Hierbei kann das FED-Konzept angewendet werden, um auch die kombinierten Wirkmechanismen gleichzeitig eingeatmeter Rauchgasbestandteile zu berücksichtigen.

4.4.1 Definition und Berechnung der FED

Die FED ist ein Maß für die Exposition gegenüber toxischen Substanzen, welches die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitsschädlichen Wirkung auf den Menschen beziehungsweise einer Handlungsunfähigkeit quantifiziert. Die Berechnung der FED basiert auf der Annahme, dass die schädlichen Wirkungen verschiedener toxischer Substanzen, wie Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, weiteren toxischen Rauchgasen und Sauerstoffmangel, additiv sind. Die FED wird dabei für jede toxische Substanz individuell berechnet und anschließend zu einer Gesamt-FED kombiniert.

4.4.2 Herleitung von FED-Beurteilungswerten

Eine Handlungsunfähigkeit liegt vor, sobald die FED den Wert 1 erreicht hat. Diese Definition von Handlungsunfähigkeit gemäß ISO 13571 [5] bezieht sich auf eine Person durchschnittlicher Empfindlichkeit. Das bedeutet, statistisch gesehen, dass bei einem Beurteilungswert von 1,0 der FED bei 50 Prozent der Bevölkerung eine vertretbare Wirkung zu erwarten ist (das heißt: die Menschen sind in der Lage, kognitive und motorische Funktionen auf einem akzeptablen Niveau auszuführen). Für besonders sensible Bevölkerungsgruppen wird von Purser in Kapitel 63 [6] ein Sicherheitsfaktor von 0,3 vorgeschlagen. Bei einem entsprechend ermittelten FED-Beurteilungswert von 0,3 wird davon ausgegangen, dass bei 11,3 Prozent der Bevölkerung eine Handlungsunfähigkeit eintritt.

4.4.3 Auswertung mittels FED-Slices in FDS-Version 6.8.0 [7] und Smokeview Version 6.8.0 [8]

Slices sind in diesem Zusammenhang wertespezifisch eingefärbte Flächen in der x-, y- oder z-Ebene des kartesischen FDS-Rechengitters. Die Standard-Farbskala bei der Auswertung mit der Visualisierungssoftware Smokeview reicht von blauer Einfärbung bei zum Beispiel für geringe Konzentrationen eines Stoffes zu roter Einfärbung bei hohen

Stoffkonzentrationen. Die Minimal- und Maximalwerte sind in Smokeview auch nach Nutzervorgabe justierbar.

Zur Visualisierung von FED-Slices in Smokeview sind zunächst Slices der exakt folgenden drei Parameter Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxid-Konzentration auf der gewünschten Ebene (zum Beispiel $z = 2,0$ m für die Auswertung in der Ebene zwei Meter über Fertigfußboden) zu definieren. Die FED-Werte werden damit durch die Software Smokeview in einem vereinfachten Verfahren berechnet, welches zwingend nur die Wirkungen der drei vorgenannten Parameter berücksichtigt. Dieses Auswerteverfahren ignoriert also die vorhandenen Konzentrationen weiterer, in der Simulation vermeintlich berücksichtigter Gaskonzentrationen (zum Beispiel HCL, HCN), auch wenn Slices dieser Parameter in der vorgenannten identischen Ebene programmiert wurden.

Zur Ermittlung vollständiger FED-Werte im Rahmen der Brandsimulation wurde auf Anforderung des Prüfenieurs daher die Möglichkeit FED-Devices genutzt.

4.4.4 Auswertung mittels FED-Devices in der FDS-Programmversion 6.8.0

Devices sind feste, im FDS-Rechengitter liegende Messpunkte, welche Messwerte an ihrer Position erfassen, darunter zum Beispiel Temperaturen, Gaskonzentrationen, optische Dichten oder die FED.

FED-Devices erfassen im Gegensatz zu den Slices gemäß FDS-Users-Guide ([7], Ziffer 21.10.17, Gleichungen (22.41) bis (22.48)) alle in den von Purser in [6] entwickelten Berechnungsverfahren enthaltenen Verbrennungsprodukte. Bei der Definition der Devices ist das zu berücksichtigende Activity Level zu definieren, sofern es nicht dem Standardwert von 2 entspricht.

4.5 Kerneergebnisse der Nachweisführung

Zur Auswertung der Brandsimulationen wurden die hier unter Kapitel 4.3 definierten Beurteilungsgrößen auf verschiedenen Beurteilungshöhen im Intervall von 150 Sekunden beziehungsweise die Devices als Diagramm über die gesamte Simulationszeit ausgewertet. Die Farbskalen der Slices wurden so gewählt, dass Bereiche mit überschrittenen Beurteilungswerten jeweils durch gelbe bis rote Einfärbungen erkennbar waren.

4.5.1 Teilnachweis Orientierung (Auszug)

In den Simulationsergebnissen wurde eine Bandbreite resultierender Optische Dichten festgestellt (Abbildung 4).

Es traten, auch in den Entrauchungsszenarien mit realistischen Materialzusammensetzungen, auf einer Höhe von 1,6 Meter über OKFFB (V05c, V08 in Tabelle 3) phasenweise Überschreitungen des Beurtei-

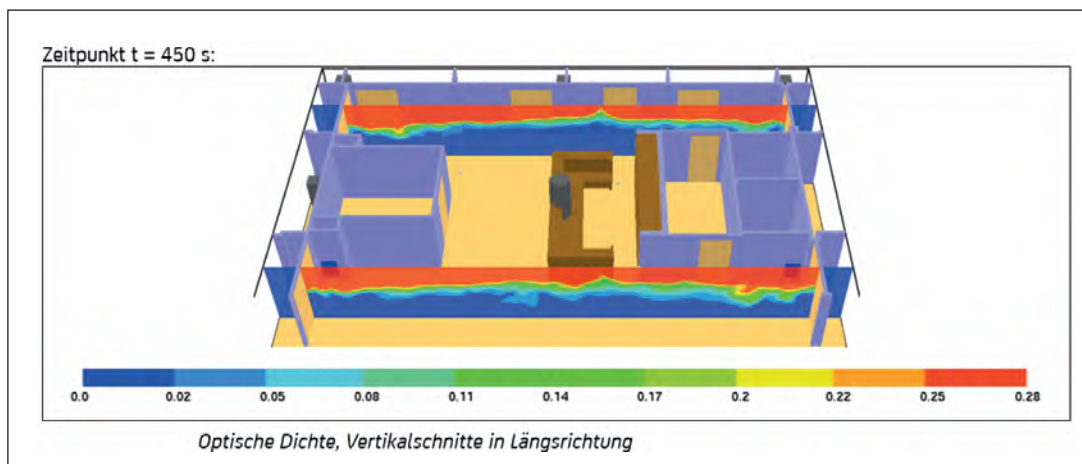
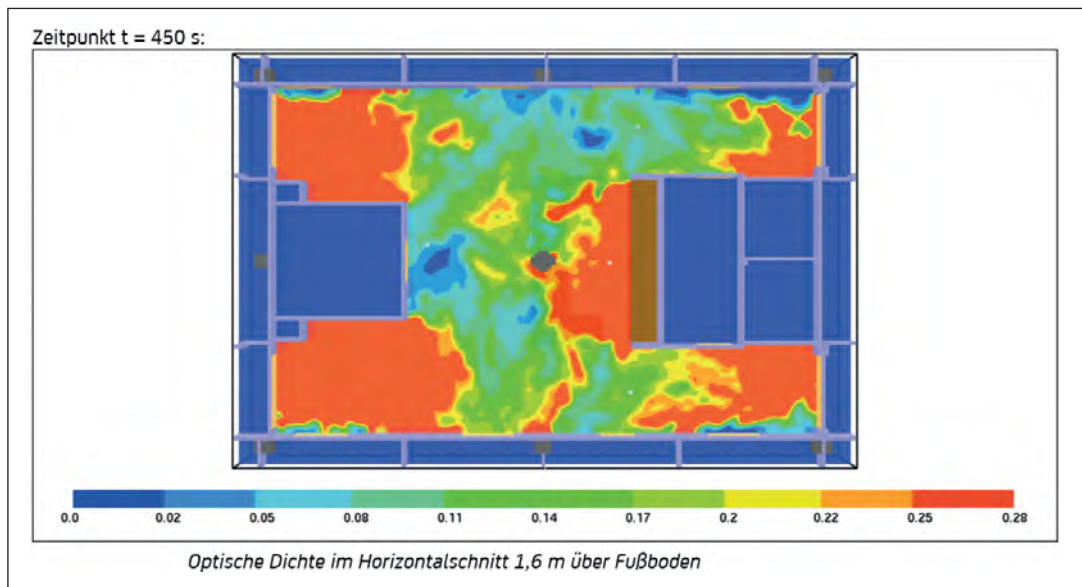


Abb. 4: Optische Dichte im Vertikalschnitt und Horizontalschnitt, Simulation V05C (siehe auch Tabelle 3)

lungswertes (OD = 0,2) auf. Die Auswertungen von Vertikalschnitten in Flur-Längsrichtung lassen die Bewertung zu, dass eine ausreichende Orientierungsmöglichkeit im Raum gegeben ist. Diese Bewertung wird durch die Kombination aus einfacher Raumgeometrie, ortskundigem Personal, der kurzen Laufristanz von max. 7,1 Meter und der ab der zehnten Minute nach Brandbeginn wieder abnehmenden Verrauchung zusätzlich gestützt.

4.5.2 Teilnachweis atemfähiger Aufenthaltsbereich (Auszug)

In den Simulationen waren die für eine Einwirkdauer von 15 Minuten gewählten Beurteilungswerte einzelner Gaskonzentrationen teils kurzzeitig, jedoch auch deutlich überschritten. Allein anhand dieser Auswertung kann jedoch nicht interpretiert werden, ob diese Überschreitungen zum Eintritt einer Handlungsunfähigkeit der flüchtenden Personen führen.

Die vorgenommenen FED-Auswertungen ließen die Bewertung zu, dass die geforderte Handlungsfähigkeit ($FED < 0,3$) in allen Simulationen, auch in denen der Sensitivitätsstudie, nachgewiesen werden konnte (Abbildung 5).

Selbst in Simulation V06 der Sensitivitätsstudie (Brennstoff Drucker zu 100 Prozent aus PVC bestehend, siehe Tabelle 3) wurde ein FED-Wert von knapp unter 0,3 (FED-Devices) an drei der zehn Messpunkte erreicht. Der Beurteilungswert wurde nicht überschritten (Abbildung 6).

4.5.3 Fazit zur Auswertung FED-Devices

Die Messwerte der FED-Devices (Ermittlung der FED mit allen freigesetzten Gaskonzentrationen CO , CO_2 , O_2 , HCl , HCN) bleiben über den gesamten Nachweiszeitraum (900 Sekunden) unter dem Beurteilungswert.

Da in die Betrachtung die (als zusätzliche Sicherheit wirkenden) Annahmen einfließen, dass:

- sich die Personen über die gesamte Simulationszeit im untersuchten Flur befinden,
- die Personen über die gesamte Simulationszeit einen Activity Level von 3 (hohe Belastung) besitzen,
- die Personen auf einer Höhe von zwei Metern über OKFFB einatmen würden,

wurde mit den durchgeführten Brandsimulationen unter Berücksichtigung des eingehaltenen Beurteilungswertes der FED-Werte aller Messpunkte die Nutzbarkeit der Rettungswege für die Dauer der Patientenumräumung nachgewiesen.

In den Darstellungen der Ergebnisse ist erkennbar, dass die FED-Auswertung mittels Slices bei komplexen Brandgaszusammensetzungen signifikant von der Auswertung mittels FED-Devices abweicht. Es ist nach Ansicht des Sachverständigen und des Prüfengeieurs notwendig,

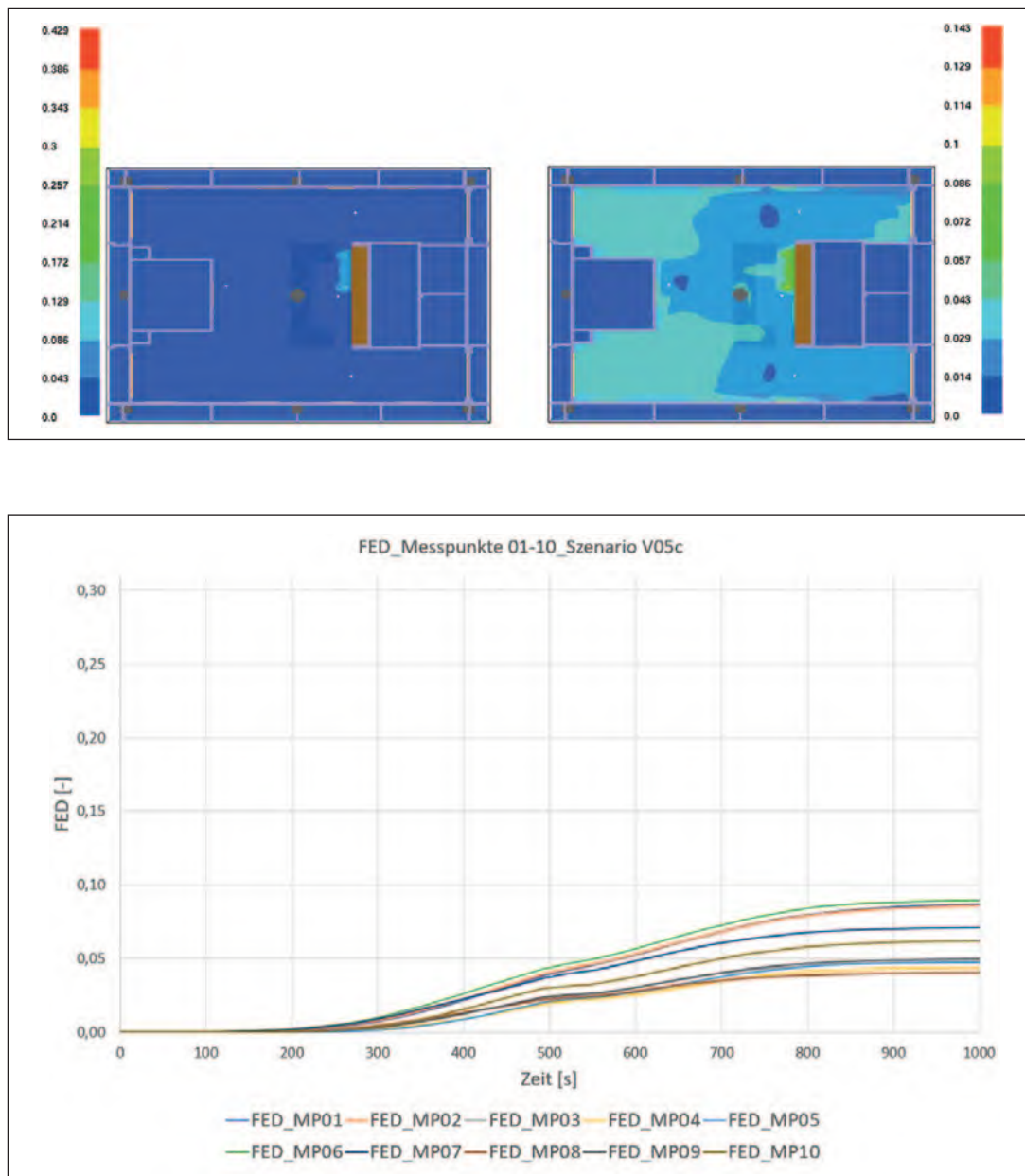


Abb. 5:
oben: FED-Horizontalschnitt zwei Meter über Fußboden (rechtes Bild mit angepasster Farbskala), Simulation V05C, Zeitpunkt 15 Minuten nach Brandbeginn;
unten: Zeitverlaufsdigramm der FED Devices zwei Meter über Fußboden

bei entsprechenden Brandgaszusammensetzungen auch Auswertungen mit FED-Devices vorzunehmen.

5 Resümee und Ausblick

Die Nutzung geeigneter FED-Auswertungen in Brandsimulationen bietet einen gewissen Mehrwert im Informationsgehalt der Simulationsergebnisse. Sie ermöglicht eine detaillierte und quantitative Bewertung der Wirkungen toxischer Rauchgaszusammensetzungen.

Allerdings werden hierbei im Vergleich mit der Simulation einer raucharmen Schicht auf Grundlage der Auswertung der optischen Dichte, die üblicherweise implizit vorhandene Sicherheitsreserven weiter reduziert. Der Nachweis ist also weniger konservativ und sollte nur in konkreten Einzelfällen angewandt werden.

Als besondere Herausforderung bei der Nutzung der FED ist die Genauigkeit der Simulationsergebnisse stark von der Qualität der Eingangsdaten und der Modellannahmen abhängig. Insbesondere die Modellierung realistischer Freisetzung komplexer Rauchgaszusammensetzungen

stellen hohe Anforderungen an die Datenerhebung und Modellierung. Zudem erfordert die Interpretation der FED-Werte fundiertes Fachwissen, um realistische und praxisrelevante Schlussfolgerungen zu ziehen.

Die FED-Auswertung als möglicher Bestandteil der Auswertung einer CFD-Brandsimulation ist daher nicht universell einsetzbar, insbesondere nicht, um, zum Beispiel, Überschreitungen der üblichen Auswertekriterien wie der Optischen Dichte zu begründen.

Bei etwaiger Anwendung einer FED-Auswertung müssen projektspezifisch mindestens gegeben sein:

- hinreichend günstige Randbedingungen zur Orientierung (einfache, kleinflächige Flurgeometrie versus großflächigen Raum mit komplexer Wegführung), sodass ein Orientierungsverlust hinreichend ausgeschlossen werden kann,
- geeignetes Nutzerprofil (ortskundig, Fitness, Alter, mentaler Zustand),
- ausreichend angenommener Belastungsgrad der Personen (Activity Level),

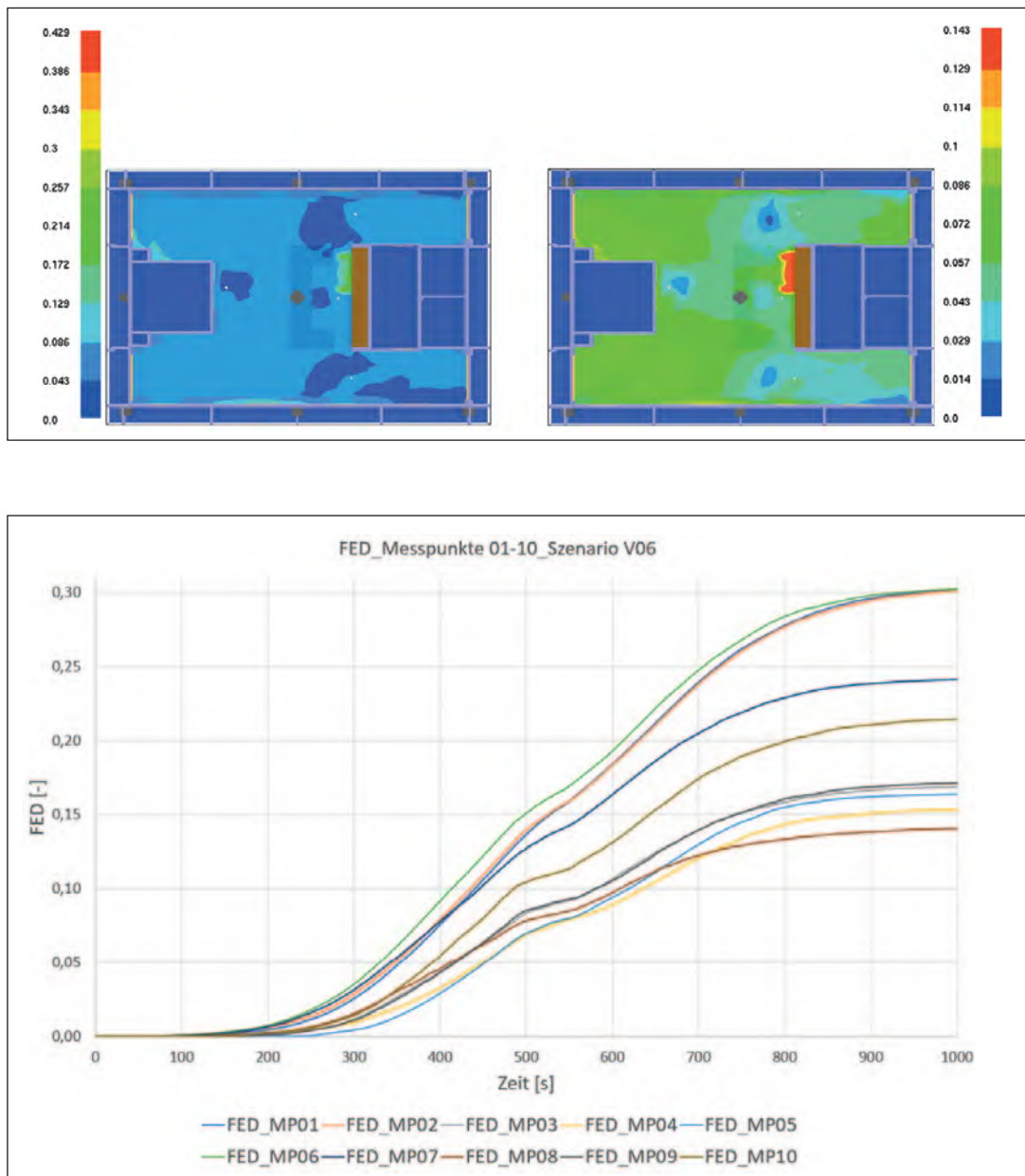


Abb. 6:
oben: FED-Horizontal-
schnitt zwei Meter über
Fußboden (rechtes Bild
mit angepasster Farb-
skala), Simulation V06,
Zeitpunkt 15 Minuten
nach Brandbeginn;
unten: Zeitverlaufsdia-
gramm der FED Devices
zwei Meter über Fuß-
boden

- realistischer Ausschluss möglicher Panikreaktionen,
- geringe Streuung realistischer Brandszenarien und Brandparameter.

Vor allem aber sind großer Sachverstand und Verantwortung bei der Bearbeitung und Prüfung von derartigen Brandsimulationen erforderlich.

6 Literatur

- [1] vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdb, Technischer Bericht TB 04-01, 4. Auflage, März 2020
- [2] vfdb 14/02: Durchführung von Brandrauchversuchen in Räumen, April 2017
- [3] DIN 18009-1: Brandschutzingenieurwesen – Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung, September 2016
- [4] DIN 18009-2: Brandschutzingenieurwesen – Teil 2: Räumungssimulation und Personensicherheit, August 2022
- [5] ISO 13571-1:2018(E), 3rd Edition, Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires; ISO (the International Organization for Standardization), 15.02.2018
- [6] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th Edition, Volume I, 2016
- [7] McGrattan, K. B. a. o.: Fire Dynamics Simulator (Version 6) – Users Guide. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, November 2013; Programmversion: FDS 6.8.0
- [8] Forney, G. P.: Smokeview, A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I – Users Guide, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Juni 2016; Programmversion: SMV 6.8.0
- [9] VDI 6019 Blatt 1: Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden; Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit, Mai 2006

Neue Chancen der Digitalisierung für die Verlängerung der Nutzungsdauer am Beispiel der Nibelungenbrücke zu Worms

Ein Digitaler Zwilling generiert die notwendigen Daten für die Instandhaltung und Erhöhung der Lebensdauer dieses historischen Wahrzeichens der Ingenieurbaukunst

Die altherwürdige Nibelungenbrücke zu Worms, eines der bedeutendsten Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland, wird derzeit von einem Digitalen Zwilling betreut, der sie virtuell dynamisch repräsentiert und ihr trotz rechnerischer statischer Defizite den weiteren Verkehrsbetrieb ermöglicht. Die ihres aufgezeigten bautechnischen Zustandes wegen als eigentlich nicht erhaltenswert eingestufte historische Brücke wird so zum Prototyp für die Potenz modernster Ingenieurtechnik. Hier wird, wie der folgende Beitrag eindrucksvoll darlegt, ihr Trag- und Verformungsverhalten als interaktive Modellierung realitätsnah analysiert, potenzielle Tragreserven eruiert und gleichzeitig ein gesicherter Betrieb der Brücke garantiert. Insgesamt ermöglicht diese Bauwerksbewertung eine präzise und zuverlässige Überwachung, die mit moderner Sensortechnologie und ingenieurwissenschaftlich formulierten Algorithmen potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen gibt, die Sicherheit und Langlebigkeit des Bauwerks so nachhaltig erhöht – und sie vor dem Abriss bewahrt.

1 Einführung

Brücken verbinden und überwinden Hindernisse – oft unscheinbar, manchmal spektakulär. Die Nibelungenbrücke zu Worms gehört zweifellos zu jenen Bauwerken, die prägen und Maßstäbe setzen. Sie gilt als Ikone des deutschen Brückenbaus. Wie alle Brücken unterliegt auch

sie der Alterung und dem Verschleiß, und sie muss neben anderen Einwirkungen ebenfalls den permanenten statischen und dynamischen Beanspruchungen des Verkehrs standhalten. Regelmäßige Bauwerksprüfungen tragen dazu bei, Schäden frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Sie dienen nicht nur dem Substanzerhalt, sondern stellen auch die Verkehrssicherheit sicher.

Die Brücke wurde, den üblichen Beanspruchungen ihrer Entstehungszeit gemäß, Anfang der 1950er-Jahre geplant und gebaut. Den heutigen Anforderungen wird sie damit, zumindest rechnerisch, nicht in allen Aspekten gerecht. Es verbleiben statische Defizite, die sich nur aufwendig beheben lassen. Dennoch zeigt sie keinerlei Anzeichen von Schäden, die auf eine Überbeanspruchung hindeuten würden. Grund genug, sich mit der Brücke intensiver zu befassen und anstelle eines Ersatzneubaus andere, neue Wege zu beschreiten, um Defizite im Trag- und Gebrauchsverhalten zu kompensieren und die Brücke in ihrer alten Form weiter sicher nutzen zu können. Durch neue, innovative Verfahren, die auf digitalen Datenmodellen aufbauen, gefüttert mit spezifischen Messwerten des Bauwerks in Echtzeit, wird für die Nibelungenbrücke ein Digitaler Zwilling geschaffen, der das reale Bauwerk virtuell dynamisch repräsentiert, seine Wirkzusammenhänge auf unterschiedlichen Ebenen darstellt und so, trotz rechnerischer statischer Defizite, einen weiteren Betrieb ohne Verkehrseinschränkungen ermöglichen wird.

Ein Digitaler Zwilling bietet die Chance, den Informationsgehalt des Bauwerkszustandes über das rein visuell Erfassbare zu steigern und in kürzeren Zeitabständen bis hin zur Echtzeitablesung Zustandsinformationen abzufragen und auszuwerten. Damit können statische Defizite kompensiert und die Grundlagen sowohl für eine bedarfsgerechte und prädiktive (vorhersagbare) Instandhaltung als auch für eine kontrollierte längere Nutzung des Bauwerks über die ursprünglich geplante Nutzungsdauer hinaus gelegt werden. Dieses Ziel stärkt unmittelbar die Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastruktur.

Damit ist der Digitale Zwilling nicht nur eine neue digitale Technologie, sondern Wegbereiter für ein modernes, digitales Erhaltungsmanagement. Die Nibelungenbrücke dient hierfür als Validierungsobjekt und setzt wieder einmal Maßstäbe.



Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn

studierte Bauingenieurwesen an der TH Leipzig und promovierte zum Dr.-Ing. an der Universität Leipzig, nach einem Forschungsaufenthalt in den USA und Tätigkeit als Projektleiter war er 2004 bei Straßen.NRW für die Brücken in NRW und ist seit 2015 als Referatsleiter Ingenieurbauwerke im Bundesbauministerium für die Brücken und Tunnel des Bundes verantwortlich.



Dipl.-Ing. Andreas Jackmuth

studierte Bauingenieurwesen an der TU Kaiserslautern, ist Leiter der FG Konstruktiver Ingenieurbau der Oberen Straßenbaubehörde Rheinland-Pfalz, Mitglied der Bund-Länder-Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau, Vorsitzender des VFIB-Beirats und stellv.

Leiter des Prüfungsausschusses für das Straßenwesen beim Oberprüfungsamt des BMDV für das technische Referendariat.



Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

studierte Bauingenieurwesen in Weimar, war von 2007 bis 2010 Honorarprofessor für Massivbau an der TU Dresden und von 2011 bis 2020 Professor für Massivbau an der Leibniz Universität in Hannover; Steffen Marx ist Gesellschafter der Marx Krontal Partner (MKP GmbH) und seit 2020 Inhaber der Stiftungsprofessur für Ingenieurbau der DB Netz AG an der TU Dresden.



Marx Krontal Partner, Weimar

Abb. 1: Seitenansicht der alten Nibelungenbrücke Worms

2 Historie

Die alte Nibelungenbrücke Worms ist zweifellos ein Bauwerk von besonderer ingenieurtechnischer Bedeutung. Die im Freivorbau mit zuvor noch nie erreichten Vorbaulängen von 114 Metern errichtete Spannbetonkonstruktion stellt eine großartige Pionierleistung des konstruktiven Ingenieurbaus dar [1]. Sie ist die erste Großbrücke aus vorgespanntem Ort beton im Freivorbau und zugleich die erste Rheinquerung in Spannbetonbauweise (**Abbildung 1**). Nur dank hervorragender Ingenieure, wie Ulrich Finsterwalder, die mit viel Innovationskraft, Kreativität und Mut die damals noch junge Spannbetonbauweise zur Standardbauweise entwickelten, war der rasche Wiederaufbau der im Krieg weitgehend zerstörten Straßeninfrastruktur sowie deren umfassender Ausbau in den 1950er bis 1980er-Jahren möglich.

Das Bauwerk ist sowohl nach dem hessischen als auch nach dem rheinland-pfälzischen Denkmalrecht als Kulturdenkmal erfasst. Die Würdigung mit dem Titel *Historisches Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland* durch die Bundesingenieurekammer [2], [3] beweist damit einmal mehr seine ingenieurhistorische Bedeutung.

Die baugeschichtliche Besonderheit der alten Nibelungenbrücke als Prototyp einer in ihrer Entstehungszeit revolutionären Bauweise stellt in technischer Hinsicht die größte Herausforderung für den Erhalt des Bauwerks dar. Aus heutiger Perspektive besitzt die alte Nibelungenbrücke – als Zeitzeugnis der frühen Spannbetonbauweise – typische bauzeitbedingte Defizite. Daher ist bei allen geplanten Schritten der Bauwerkserhaltung, insbesondere dann, wenn bauliche Maßnahmen damit verbunden sind, die besondere Bedeutung der alten Nibelungenbrücke zu würdigen.

3 Grundsätze der Erhaltung

Brücken unterliegen stetiger Alterung, Verschleiß und Degradation. Damit die Bauwerke dennoch ihrer bestimmungsgemäßen Nutzung über die geplante Nutzungsdauer gerecht werden können, müssen regelmäßig Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Die Verantwortung hierfür ist gesetzlich klar geregelt. Die Straßenbauverwaltungen

in Deutschland haben als Träger der Straßenbaulast dafür einzustehen, dass öffentliche Straßen, also Straßen, Wege und Plätze, die dem öffentlichen Verkehr gewidmet sind, allen Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Insbesondere haben sie dafür zu sorgen, dass Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit von Ingenieurbauwerken gewährleistet sind, wozu bekanntermaßen Brücken zählen. Von diesen Bauwerken darf keine Gefahr ausgehen, und sie müssen im Sinne ihrer Bestimmung von jederman und jederzeit sicher nutzbar sein. Im Rahmen der Auftragsverwaltung übernimmt der Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM) für die Nibelungenbrücke diese verantwortungsvolle Aufgabe.

4 Die Nibelungenbrücke

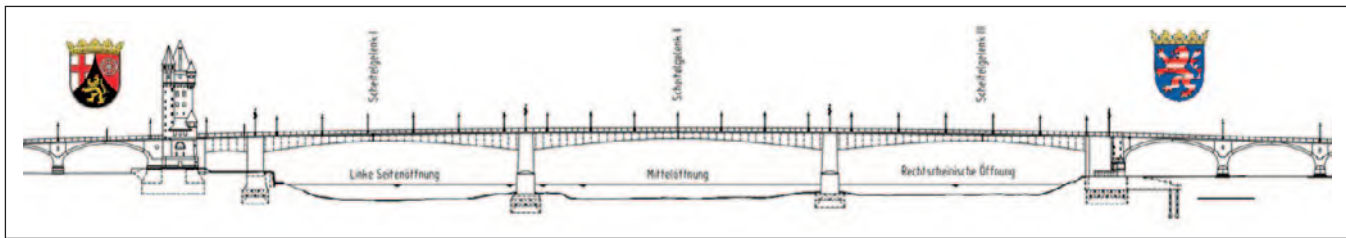
4.1 Beschreibung des Bauwerks

Die B 47 quert bei Worms auf zwei separaten Brückenbauwerken mit jeweils zwei Fahrspuren den Rhein und verbindet die Bundesländer Hessen und Rheinland-Pfalz (**Abbildung 2**).

Die Rheinquerung wird täglich von rund 23.000 Fahrzeugen mit einem Schwerverkehrsanteil von sieben Prozent genutzt. In Fahrtrichtung Hessen wird der Verkehr über die 2008 fertiggestellte neue Rheinquerung (Wesel-Utfort) und in Fahrtrichtung Rheinland-Pfalz (Voerde-Butberg) über die historische Strombrücke geführt. Letztere – auch als alte Nibelungenbrücke bezeichnet – ist der Gegenstand dieses Beitrags.

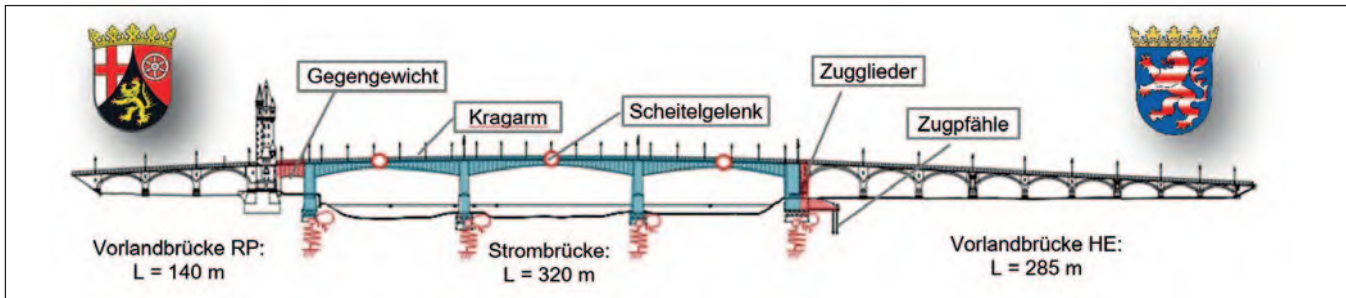
Bei der älteren Nibelungenbrücke handelt es sich um eine Spannbetonbrücke, die zwischen den Jahren 1951 und 1953 von beidseits der Ufergewässer angeordneten Stropfeilern aus im freien Vorbau hergestellt wurde [2]. Sie gründet auf den Fundamenten des im Zweiten Weltkrieg zerstörten Vorgängerbauwerks, der Ernst-Ludwig-Brücke.

Beide von den Nachbarpfeilern aufwachsenden Kraghälften eines Brückenfeldes wurden in Feldmitte über vorgespannte Momenten-Normalkraft-Gelenke verbunden, die Kraghälften selbst sind biegesteif in die Pfeiler eingespannt. Während am linksrheinischen Bauwerksende ein kleines Endfeld als Gegengewicht für den Überbau in der ersten Flussöffnung dient, wird der Überbau am rechtsrheinischen Bauwerksende



Zeichnung aus [2]

Abb. 2: Seitenansicht der alten Nibelungenbrücke Worms



Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

Abb. 3: Aufbau der alten Nibelungenbrücke Worms

mangels Ballastierungsmöglichkeiten durch Zugglieder und Zugpfähle in der Lage gesichert (Abbildung 3).

Die drei Felder des Überbaus spannen über 101,6, 114,2 und 104,2 Meter. Die Konstruktionshöhe beträgt über den Pfeilern 6,50 Meter und verjüngt sich in Feldmitte auf 2,50 Meter. Der Überbau besteht aus zwei Hohlkästen, die über die Fahrbahnplatte und Pfeilerquerträger miteinander verbunden sind. Die Vorspannung erfolgt in Längs- und Querrichtung mit Stabspanngliedern mit nachträglichem Verbund, zudem sind die Stege in Vertikalrichtung mit Stabspanngliedern (vorgespannte Schubnadeln) vorgespannt. Die Stabspannglieder entsprechen der Stahlgüte St 60/90 und wurden für eine beschränkte Vorspannung ausgelegt [3]. Der Querschnitt voutet sich zu den Pfeilern hin an. Die Zunahme an Konstruktionshöhe ist dabei so gesteuert, dass das Verhältnis zwischen Querkraft und innerem Hebelarm nahezu konstant ist.

Der Überbau besteht aus Beton der Betongüte B 450, die Unterbauten wurden in B 300 ausgeführt. Die Betonstahlgüte der Querschnittsbewehrung variiert zwischen BS I, II, III und IV. Aus heutiger Sicht recht ungewöhnlich, ist der Konstruktionsbeton mit Kühlleitungen durchzogen, um beim Aushärten des zum Teil massigen Betons auftretende Eigenspannungen infolge abfließender Hydrationswärme zu minimieren und in gewisser Weise auch zu kontrollieren.

4.2 Baukulturelle Bedeutung

Die alte Nibelungenbrücke Worms ist baukulturell von herausragender Bedeutung, da sie gleichzeitig als erste Großbrücke aus vorgespanntem Ort beton im Freivorbau und als erste Rheinquerung in Spannbetonbauweise gilt. Das von Ulrich Finsterwalder (1897-1988), der maßgeblich an der Entwicklung des Freivorbau von Spannbetonbrücken beteiligt war, als Antwort auf die Stahlknappheit nach dem Zweiten Weltkrieg entwickelte Bauverfahren wurde zuvor in Abstimmung mit einer innovationsfreudigen Straßenbauverwaltung an einem kleineren Testbauwerk, der Lahnbrücke Baldunstein, im kleineren Maßstab erprobt [4].

Für die Planung zum Projektstart 1951 wurde die bis dahin 7. veröffentlichte Entwurfsfassung (Gelbdruck) der DIN 4227 *Spannbeton; Richtlinien für die Bemessung und Ausführung* angewandt, die erst im Oktober 1953 als Weißdruck letztlich verbindlich eingeführt wurde.

Nachdem die von der zeitgenössischen Fachöffentlichkeit mit großem Interesse wahrgenommene und vielfach publizistisch besprochene bautechnische Innovation ihre Praxistauglichkeit in Worms auch in großem Maßstab unter Beweis gestellt hatte, fand der freie Vorbau von Spannbetonbrücken weltweite Verbreitung.

4.3 Bauzeitbedingte Defizite

Das Bauwerk ist heute in einer guten baulichen Verfassung. Der Beton weist eine gute Qualität auf, ist nicht porös und zeigt keine Lunker, die Betondeckung entspricht dem damaligen Normenwerk. Der Brückenquerschnitt überzeugt durch eine gute Gestaltungsqualität.

Bis zur ersten umfassenden Instandsetzung im Jahre 1974 besaß die alte Nibelungenbrücke keine wirksame Abdichtung, sondern lediglich einen Belag aus Hartgussasphalt, sodass über viele Jahre Chloride aus dem Einsatz von Tausalz in den Konstruktionsbeton eindringen konnten. Eindringene Chloride sind in der Lage, die im hochalkalischen Milieu des Betons vorhandene und den Bewehrungsstahl schützende Passivierungsschicht lokal zu zerstören und Korrosion zu initiieren. Dabei werden die Cl-Ionen nicht verbraucht, bilden auch keine Chloridfront aus, sondern verteilen sich mit der im Beton vorhandenen Feuchtigkeit und können an anderer Stelle erneut angreifen. Der gefürchtete Lochfraß ist dann oftmals die Folge.

Diese abdichtungsfreie Konstruktionsart ist unter anderem dem seinerzeitigen Glauben an die allseits vorhandene Wirkung einer Vorspannung bei Beton geschuldet, die jegliche Rissbildung oder jegliches Eindringen von Schadstoffen verhindern sollte. Daher wurde auch kaum schlaffe Bewehrung eingebaut. Heute wissen wir, dass dieses Bild Lücken hat, weshalb aktuell – auch normativ gefordert – bedeutend mehr schlaffe Bewehrung in Form konstruktiver Zulagen eingelegt wird, um nicht erfasste Einflüsse ausreichend sicher abzudecken.

Der Verpresszustand der Stabspannglieder beim damaligen Spannverfahren DYWIDAG Ø26 St 60/90 ist bekanntermaßen im Vergleich mit heutigen Verpressungen ungenügend. Das Hüllrohr ist vergleichsweise eng, der lichte Spalt zwischen Spannstab und Hüllrohr ist erfahrungsgemäß zu gering, um eine zuverlässige, vollständige Verfüllung mit den damals verfügbaren und nicht ausreichend viskosen Verpressmörteln

sicherzustellen. Eine vollständige Verpressung ist nicht nur eine Voraussetzung für einen wirksamen Korrosionsschutz der Stabspannglieder, sondern auch die Grundlage für einen wirksamen Verbund mit dem Konstruktionsbeton zur Sicherstellung der Bruchsicherheit. Stichprobenartige Kontrollbohrungen im Vorfeld der Instandsetzungsmaßnahme von 2010 ergaben für die Längsspannglieder der alten Nibelungenbrücke einen durchschnittlichen Verpressfehler von rund zwanzig Prozent. Bei den Querspanngliedern lag der Verpressfehler unter zehn Prozent. Als deutlich zu hoch wurde der Verpressfehler mit über vierzig Prozent bei den Zuggliedern zur Rückhängung des Überbaus auf der rechten Rheinseite eingeschätzt.

In den Spannglieduntersuchungen zeigte sich darüber hinaus, dass bauartbedingt der Korrosionsschutz der Stabspannglieder im Bereich von Spanngliedkopplungen als defizitär einzuschätzen sei. Die verbauten Übergangsstücke aus Holz, die einen gleichmäßigen Abstand der Stahleinlagen zur Hüllrohrwandung sicherstellen sollten, führten insbesondere bei Wasserzutritt und einsetzender Korrosion zu bedingten Querschnittsverlusten am Spannstahl (Abbildung 4).

Lokale Korrosionsprobleme wurden auch an den Kreuzungspunkten der Stabspannglieder mit den bauzeitlich genutzten Kühlleitungen in den Überbaustegen festgestellt. Gegenüber Spannungsrisskorrosion gilt der eingebaute Spannstahl jedoch als unauffällig. Der bauliche Zustand des Gesamtbauwerks wird aktuell mit 2,4 bewertet, wobei der Überbau darin mit einer Zustandsnote von 1,9 eingesetzt wird.

4.4 Tragfähigkeit

Die originäre Bemessung des Spannbetonüberbaus erfolgte mit der Entwurfsfassung von DIN 4227:1951 [5] (später als DIN 4227-1:1953-10 erschienen [6]) für ein Lastbild der Brückenklasse 60 nach DIN 1072:1952-06 [7].

Im Jahr 2005 wurde zur Vorbereitung der Erhaltungsmaßnahme von 2010 ff. eine Nachrechnung des Brückentragwerks auf Grundlage der jeweils letzten Fassungen der Normen DIN 1072:1985-12 [8], DIN 1045:1988-07 [9] und DIN 4227-1:1988-07 [10] durchgeführt. Der Nachrechnung wurde entsprechend dem örtlich vorhandenen Verkehrsauf-

kommen für das Ziellastniveau die Brückenklasse 60/30 zugrunde gelegt, das heißt, unter zusätzlicher Berücksichtigung einer zweiten Schwerlastspur, verglichen mit der Ursprungsstatik mit der Brückenklasse 60. Diese Festlegung erfolgte, um das vorhandene Verkehrsaufkommen sicher abzuwickeln und zugleich Art und Umfang vorhandener statischer Defizite festzustellen. Im Ergebnis wurden Defizite in Bezug auf die Biegetragfähigkeit, vor allem aber in Bezug auf die Querkrafttragfähigkeit festgestellt [11], [12].

Die mangelnde Querkrafttragfähigkeit bei der Nachrechnung älterer Spannbetonbrücken ist zu wesentlichen Teilen der Umstellung der normativen Nachweiskonzepte über die verschiedenen Normengenerationen geschuldet (Abbildung 5) und nicht selten ein rein rechnerisches Problem.

Zur Zeit der Planung des Bauwerks wurde dem Beton eine Mitwirkung beim Querkraftabtrag zugewiesen, indem, in engen Grenzen, von der Zugfestigkeit des Betons Gebrauch gemacht wurde. Begrenzendes Kriterium war die Einhaltung der zulässigen Hauptzugspannungen bis zu der keine Schubbewehrung erforderlich war. Entsprechend stark wurde die Längsvorspannung gewählt, um dieses Kriterium möglichst einzuhalten. Heute übliche Mindestschubbewehrungsgrade waren seinerzeit in den Normen nicht geregelt.

Mit dem heute angewandten Fachwerkmodell unter Vernachlässigung der Tragwirkung des Betons auf Zug lassen sich die Querkraftnachweise folglich kaum erbringen. Hohe Überschreitungen im Vergleich von erforderlicher zur vorhandener Querkraftbewehrung sind meist Folge einer aus heutiger Sicht vielfach zu spärlich eingebauten Querkraftbewehrung. Jedoch zeigt die Brücke keinerlei Risse oder sonstige Schäden, die auf Schwächen im Querkrafttragverhalten hinweisen. Der Querschnitt der Brücke lebt also von seiner Betonzugfestigkeit, ein Sachverhalt, der noch von Bedeutung sein wird.

Zur Minimierung der Gefahr, dass die streuende Betonzugfestigkeit durch eine zu hohe Beanspruchung überschritten wird, wurden vorsorglich verkehrliche Entlastungsmaßnahmen ergriffen, indem bis auf Weiteres genehmigungspflichtiger Schwerverkehr von der Brücke ge-

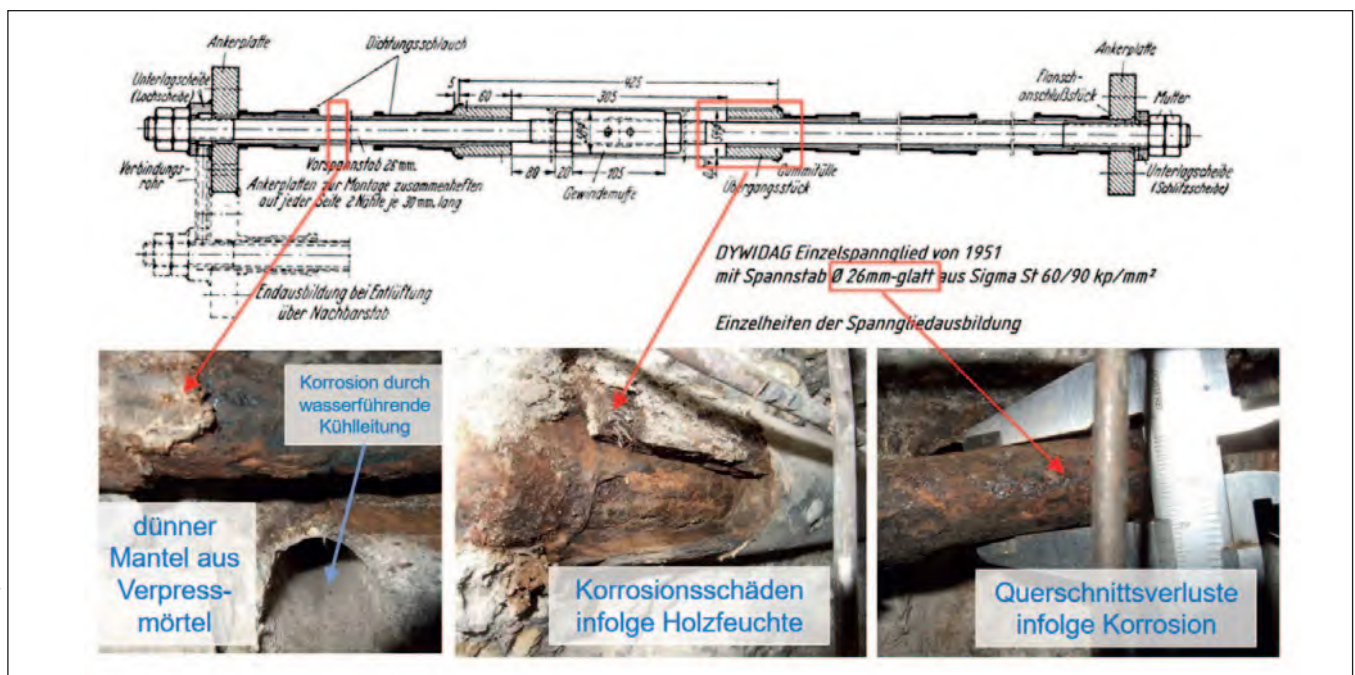


Abb. 4: Historisches Spannverfahren DYWIDAG Ø26 St 60/90

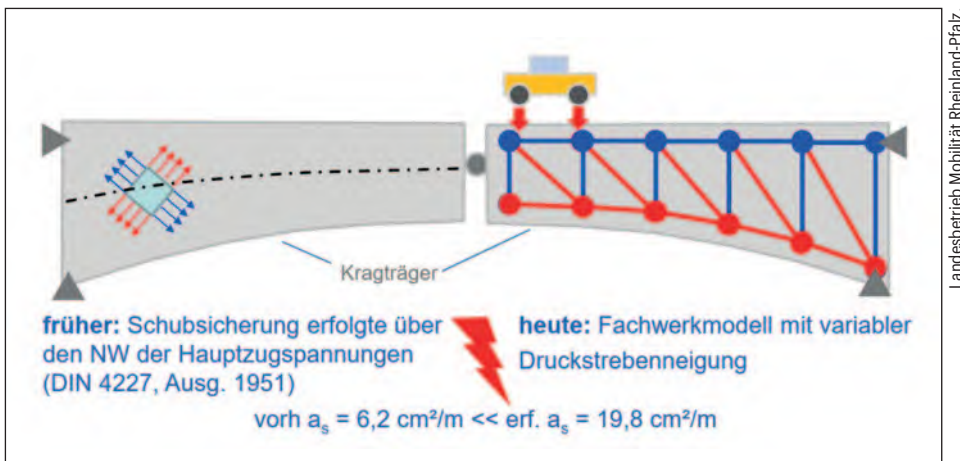


Abb. 5: Schubtragfähigkeit: historischer und neuer Normungsstand

nommen und darüber hinaus regelmäßige Sonderprüfungen zur Rissdetektion angeordnet wurden.

Als hilfreich erwies sich die Nachricht, dass der Anteil an vorhandener Querkraftbewehrung mindestens so groß sei, dass ein eventueller Schubbruch duktil abläuft und sich rechtzeitig durch breite Risse ankündigt, ohne dass ein schlagartiges Versagen zu erwarten sei. Bislang konnten keine signifikanten Rissbilder festgestellt werden.

Mit der Ergänzung der Nachrechnungsrichtlinie Ausgabe 04/2015 [14] wurde das Hauptzugspannungskriterium für die Nachrechnung wieder aufgegriffen, aber auch mit diesem Zugeständnis an risschadensfreie Bestandsbauwerke gelang der Schubnachweis auf Bemessungslastniveau nicht [11]. Zusätzlich wurde das Ankündigungsverhalten anhand eines modifizierten Ingenieurmodells bei einem postulierten Schubbruch untersucht. Ein schlagartiges Bauwerksversagen konnte damit ausgeschlossen werden [12].

Unter Berücksichtigung der einschränkenden Nutzungsaufgaben sowie weiterer Randbedingungen ergibt sich aktuell aus dem Vergleich zwischen Soll- und Ist-Tragfähigkeit ein relativ schlechter Traglastindex von IV, der zum Handeln aufforderte.

4.5 Bauliche Erhaltungsmaßnahmen

Aufgrund ihrer fortgeschrittenen Nutzungsdauer hat die alte Nibelungenbrücke schon mehrere Erhaltungsmaßnahmen erfahren. So wurde

im Rahmen der ersten grundhaften Instandsetzung im Jahre 1974 erstmals eine wirksame Abdichtung aufgebracht. Anfang der 1980er-Jahre wurden weitere Nachbesserungen am Bauwerk durchgeführt.

Im Jahr 2010 ff. erfolgte eine weitere grundhafte Instandsetzung inklusive einer Verstärkung der Biegetragfähigkeit durch Einbau zusätzlicher externer Spannglieder (Abbildung 6). Darüber hinaus wurden die vertikalen Spannstäbe in den Querkraftgelenken und die Spannstäbe in den verdeckten und nicht einsehbaren Zuggliedern am linksrheinischen Ende des Überbaus ersetzt. Detektierte Verpressfehler wurden beseitigt und der mit Chloriden kontaminierte Konstruktionsbeton in Teilen der Fahrbahnplatte ersetzt.

Durch eine neu aufgebrachte Abdichtung wurde zudem ein weiterer Wasserzutritt in die Konstruktion wirksam verhindert, wodurch weniger stark ausgeprägte Korrosionsherde an der Fahrbahnplatte durch Feuchtigkeitsschaden zum Stillstand gebracht werden konnten.

Nachdem die alte Abdichtung aus dem Jahre 1974 ausgebaut worden war, wurde bei den weiteren Instandsetzungsarbeiten beobachtet, dass mit einer gewissen Verzögerung nach Regenereignissen ein nicht unerheblicher Wassereintritt in den Hohlkästen zu verzeichnen war. Als Ursache hierfür stellte sich schließlich heraus, dass Oberflächenwasser über die vorhandenen Kühlleitungen eindringen und sich im Konstruktionsbeton verteilen konnte. Aber auch hier bot die neue Abdichtung entsprechende Abhilfe.

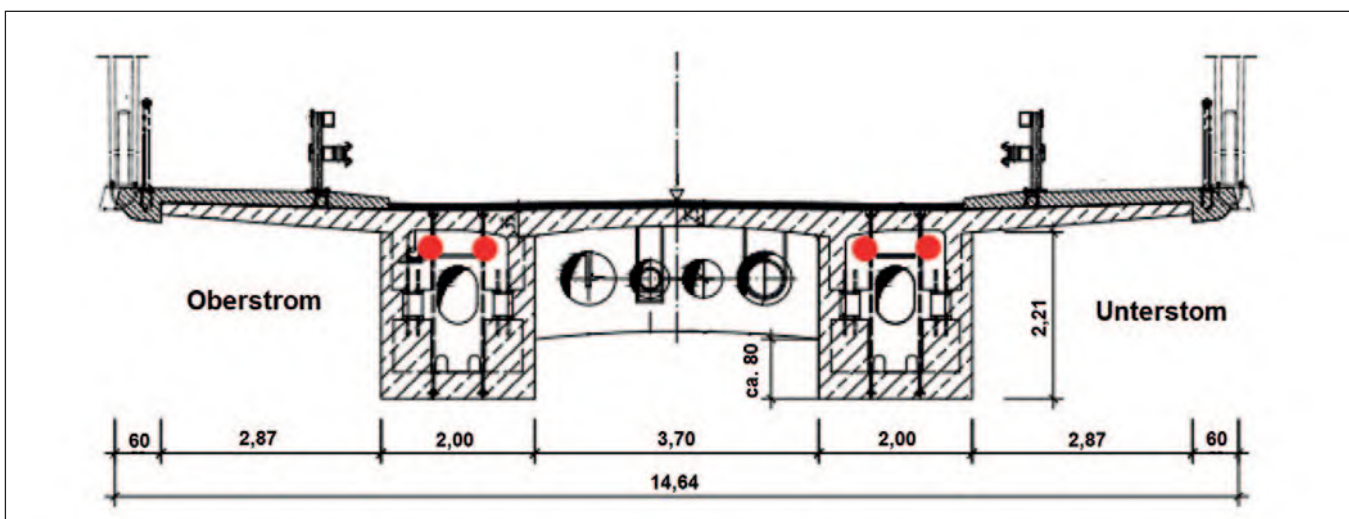


Abb. 6: Verstärkung der Biegetragfähigkeit mit je zwei externen Spanngliedern

4.6 Umstellung der Erhaltungsstrategie

Nach dem aktuellen Stand der Technik wird die Erhaltungsstrategie von Brückenbauwerken im Wesentlichen von drei messbaren Zielkriterien bestimmt: Der *Zustandsnote*, dem *Traglastindex* und der *Wirtschaftlichkeit*.

Die *Zustandsnote* wird im Rahmen von äußeren, meist visuellen Bauwerksprüfungen ermittelt. Dazu bewertet der Bauwerksprüfer jeden festgestellten Einzelschaden im Hinblick auf dessen Bedeutung für die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit. In der Überlagerung wird aus den Einzelschadensbewertungen schließlich eine Zustandsnote für das Gesamtbauwerk ermittelt.

Der *Traglastindex* ist ein relatives Maß für die Leistungsfähigkeit einer Brücke. Er wird im Wesentlichen aus der Differenz zwischen der erforderlichen Tragfähigkeit (= Ziellastniveau) und der vorhandenen Tragfähigkeit, unter Berücksichtigung bauzeitbedingter Defizite, ermittelt. Die vorhandene Tragfähigkeit wird auf Grundlage einer Nachrechnung gemäß Nachrechnungsrichtlinie [13], [14] bestimmt oder – sofern diese noch nicht vorliegt – nach Erfahrungswerten gemäß der Grundkonzeption Traglastindex [15] abgeschätzt.

Die *wirtschaftliche Beurteilung* der objektbezogenen Erhaltungsstrategie erfolgt regelmäßig nach der *Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken* (RI-WI-BRÜ) [16]. Dazu werden im Sinne einer Lebenszykluskostenberechnung die innerhalb eines Bewertungszeitraums anfallenden Kosten auf das Bezugsjahr diskontiert und so die günstigste Variante identifiziert.

Innerhalb des gesetzten Rahmens wurden alle technischen Möglichkeiten zur Abhilfe der vorgefundenen statischen Defizite erörtert. Obwohl das übergeordnete Erhaltungsziel bei der Modernisierung des Bauwerksbestandes meist darin besteht, Bauwerke möglichst zu verstärken, sodass diese den heutigen und vor allem den prognostizierten zukünftigen Verkehr ausreichend zuverlässig abtragen können, sind im vorliegenden Fall die Grenzen für das Querkrafttragverhalten eng gesetzt. Technisch machbare und zudem wirtschaftliche Verstärkungs-

verfahren für den Querkraftabtrag stehen kaum oder nicht zur Verfügung. Das mögliche Einführen zusätzlicher äußerer vertikaler Stabspannglieder als Schubverstärkung hätte bei umfänglicher Umsetzung eine Durchlöcherung der Fahrbahnplatte und eine Gefahr der Beschädigung der Längsspannglieder (**Abbildung 7**) in der Fahrbahnplatte bedeutet, weshalb man sich dagegen entschied.

Weil ihr Querkrafttragverhalten nicht verstärkt werden konnte, wurde die alte Nibelungenbrücke in einer ersten Einschätzung 2019 vom Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM) in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht als nicht mehr erhaltungswürdig [17] eingestuft. Das Bauwerk sollte bis zu einem Ersatzneubau kontrolliert altern. Der verfügbare Zeitraum bis zum Ersatzneubau wurde mit dem notwendigen Planungsvorlauf für den Neubau einerseits und der Gefahr einer drohenden Vollsperrung des Bestandsbauwerks andererseits, sobald die Einwirkungen die Betonzugfestigkeit überschreiten und sich Schubrisse einstellen sollten, eng eingefasst.

Unter Würdigung aller Aspekte wurde die sicherzustellende Restnutzungsdauer auf fünfzehn bis zwanzig Jahre beziffert und letztlich ein Ersatzneubau für das Jahr 2028 avisiert. Der noch zu leistende Erhaltungsaufwand für das Bestandsbauwerk hielt sich, so wurde damals konstatiert, in Grenzen, sei aber durch verkehrliche Kompensationen und Einschränkungen geprägt.

Im Rahmen einer kontrollierten Alterung werden auftretende Schäden am Bauwerk zur Minimierung der Eingriffe möglichst kumuliert, solange noch keine Gefahr von Folgeschäden besteht (Maßnahmenbündelung). Die Schadensbeseitigung erfolgt schließlich im Rahmen größerer Instandsetzungs- beziehungsweise Modernisierungsmaßnahmen.

Der öffentliche Aufschrei ließ nicht lange auf sich warten. Nicht nur der Denkmalschutzstatus der Brücke, sondern auch der ideelle Wert der Brücke als Ikone des deutschen Brückenbaus und historisches *Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland* führten zu der Erkenntnis, sich mit dem Bauwerk noch intensiver zu beschäftigen und die erforderliche Zuverlässigkeit gegebenenfalls auch auf unkonventionellen Wegen zu erkunden und ausgetretene Pfade bewusst zu verlassen.

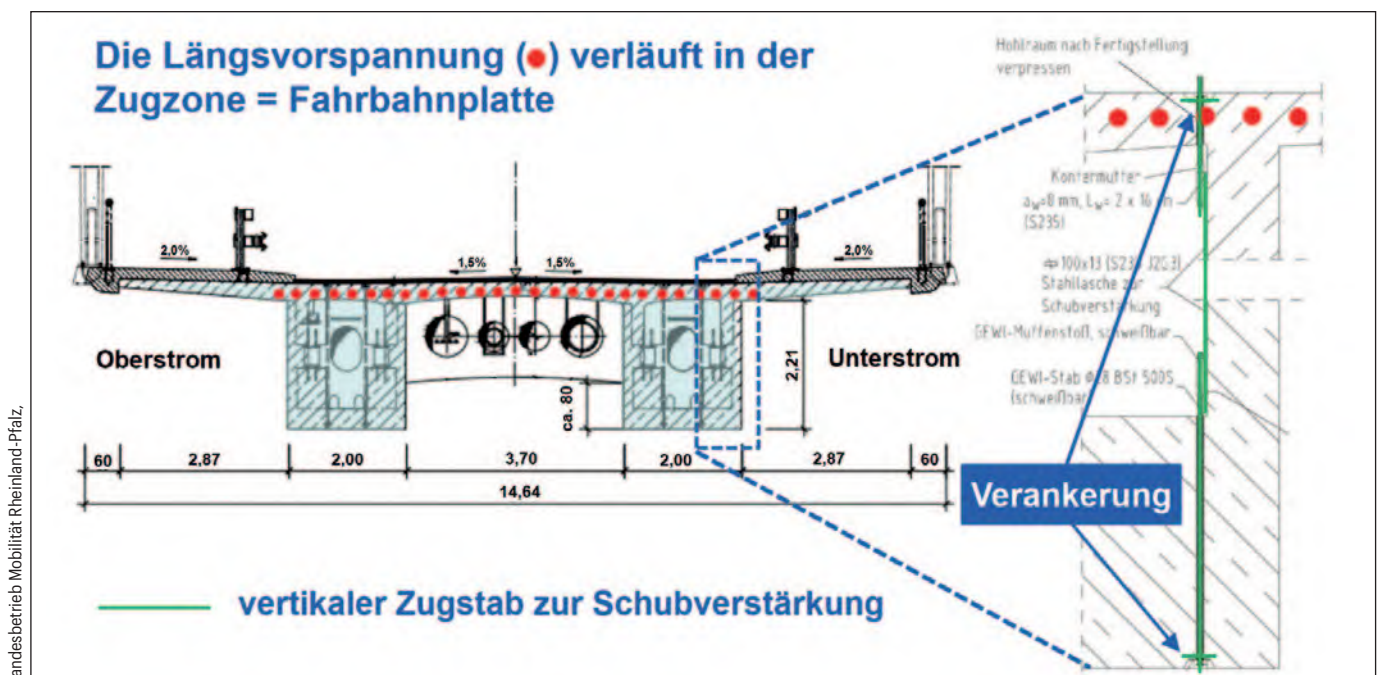


Abb. 7: Verstärkung der Querkrafttragfähigkeit mit vertikalen Stabspanngliedern

5 Pilotprojekt: Verlängerung der Nutzungsdauer durch intelligente Digitalisierung

5.1 Initiierung eines Pilotprojekts

Mit der Entwicklung und sich allmählich etablierender fortschrittlicher digitaler Techniken wurde die bisherige Erhaltungsstrategie für das Bauwerk im Jahr 2022 einer Revision unterzogen, und dabei schälten sich neue Möglichkeiten für den Umgang mit diesem Bauwerk heraus. Nicht der aktuelle Stand der Technik sollte alleiniger Beurteilungsmaßstab für den Erhalt der alten Nibelungenbrücke Worms sein, sondern auch der aktuelle Stand der Wissenschaft. Auf Basis neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse, auch wenn diese noch nicht im Regelwerk verankert sind, sollte die Restnutzungsdauer neu bewertet werden. Das damit verbundene Ziel ist eine signifikante Verlängerung der Nutzungsdauer ohne maßgebliche Leistungseinschränkungen, wenn möglich für mehrere Jahrzehnte.

Als vorteilhaft erwies sich, dass die Deutsche Forschungsgemeinschaft für ihr Schwerpunktprogramm 2388 *Hundert plus – Verlängerung der Lebensdauer komplexer Baustrukturen durch intelligente Digitalisierung* (SPP 100+), das sich mit genau diesem Problem, nämlich der Lebensdauerverlängerung beschäftigt, ein Demonstrations- und Validierungsobjekt suchte [18], [19]. Die alte Nibelungenbrücke eignet sich insbesondere als Prüfobjekt für dieses Forschungsvorhaben, da dieses Pionierbauwerk der Spannbetonbauweise sowohl eine herausragende baukulturelle Bedeutung besitzt als auch typische bauzeitbedingte Defizite auf sich vereint, mit denen weiter umzugehen ist.

Im SPP 100+ werden Methoden der Erfassung, Verknüpfung und Bewertung bauwerksbezogener Daten als Grundlage für eine vorausschauende (prädiktive) Bauwerkserhaltung erforscht. Im Zentrum steht hierbei das Konzept des Digitalen Zwillings, in dem Daten eines BIM-Modells (3D-Objektmodell, BIM-Fachmodell *Schäden* et cetera), des statischen Modells (am Objekt kalibrierte, nichtlineare FE-Berechnung) und des Bauwerkmonitorings (mit dem Schwerpunkt auf Überwachung von Querkraft- und Korrosionsmessgrößen) zusammengeführt werden, um so zukünftige Bauwerkszustände mit Hilfe eines Prognosemodells zuverlässig vorhersagen zu können. Konkret sollen aussagekräftige Zustandsindikatoren abgeleitet werden, die für einen sicheren Betrieb von Bestandsbrücken trotz baulicher Defizite verwendet werden können. Der Weg führt über eine digitale 3D-Darstellung der Brücke, die kontinuierlich mit Echtzeitdaten aktualisiert wird. Ziel ist es, den Zustand ausgewählter Bauwerksteile in Echtzeit einzusehen und damit die Möglichkeiten digitaler Technologien für die prädiktive Erhaltung von Brückenbauwerken zu erforschen [20].

Die positiven Aussichten führten zu einer Revision der Erhaltungsstrategie für die Nibelungenbrücke. Von einem zeitnahen Ersatzneubau wurde abgerückt.

Mehr als neunzehn deutsche Universitäten und Forschungseinrichtungen explorieren an der Nibelungenbrücke unterschiedlichste Techniken für Schadensdetektion, Schadensverortung, deren Visualisierung, Auswertung und Weiterverarbeitung. Sie sollen zeigen, dass eine interaktive Modellierung des Trag- und Verformungsverhaltens historischer Bausubstanz realitätsnah abgebildet und analysiert, potenzielle Tragreserven dadurch gehoben und insgesamt ein gesicherter weiterer Betrieb der Brücke garantiert werden können.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde parallel zum Schwerpunktprogramm 100+ der Deutschen Forschungsgemeinschaft gemeinsam mit dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr und dem Landesbetrieb

Mobilität Rheinland-Pfalz (Koblenz) ein Projekt zur Nutzungsdauerverlängerung durch intelligente Digitalisierung initiiert. Im Kern beruht dieses Projekt auf folgenden Schwerpunkten:

- detaillierte Erkundung der Konstruktion, der Materialien und des Zustandes,
- Nachrechnung nach Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie (Ansatz wissenschaftlicher Methoden), unter Nutzung der Erkundungsergebnisse,
- Kalibrierung des Rechenmodells anhand messtechnisch erfasster Kenngrößen,
- Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Spannbetonkonstruktion unter Nutzung der Erkundungsergebnisse,
- Zusammenführung und Verknüpfung aller wesentlichen Informationen des Bauwerks in einem Digitalen Zwilling,
- dauerhafte messwertgestützte Beurteilung des Tragverhaltens und der Dauerhaftigkeit zur prädiktiven Instandhaltung und vorausschauenden Entscheidungsfindung.

5.2 Bestands- und Zustandserkundung

Die Bestands- und Zustandserkundung der alten Nibelungenbrücke Worms bildet eine wesentliche Grundlage des Pilotprojekts zur digitalen Instandhaltung. Ziel ist es, ein präzises und umfassendes Bild des aktuellen Zustands des Bauwerks, der gebauten Konstruktion und der tatsächlichen Materialeigenschaften zu gewinnen, um die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Konstruktion möglichst realitätsnah einzuschätzen.

Zu Beginn der Erkundung wurden bereits alle relevanten Bestandsunterlagen gesichtet und digitalisiert. Hierzu zählen historische Baupläne, frühere Instandsetzungsberichte und Dokumentationen der Bauwerksprüfungen. Diese Informationen fließen in ein BIM-Modell ein, das als digitales Abbild der Brücke dient und alle gesammelten Daten integriert.

Die Zustandserfassung selbst erfolgt mithilfe modernster Technologien und Methoden der Geodäsie, der Bauwerksdiagnostik und des Bauwerkmonitorings. Es werden sowohl zerstörungsfreie als auch zerstörungsarme bauwerksdiagnostische Untersuchungen durchgeführt. Um die Substanz des Bauwerks möglichst wenig zu beeinträchtigen, werden flankierende Untersuchungen an der Lahnbrücke Balduinstein eingeflochten, welche aufgrund eigener Defizite zeitnah zurückgebaut wird. Der Rückbau ermöglicht es, bauwerksdiagnostische Untersuchungen umfangreich anzugehen und die Ergebnisse aufgrund der starken Ähnlichkeit der Bauwerke auf die Nibelungenbrücke zu übertragen.

Weiterhin gehören zur Zustandserfassung die geodätische Vermessung des gesamten Bauwerks, definierte Belastungsfahrten zur Messung der Bauwerksreaktionen unter zuvor festgelegten Verkehrsbelastungen sowie der Einsatz von faseroptischen Sensoren (DFOS) zur kontinuierlichen Überwachung von Dehnungen und Rissen. Diese Sensoren ermöglichen eine Echtzeitüberwachung und liefern wertvolle Daten zur strukturellen Integrität der Brücke.

Neben den kurzzeitigen Messungen für die Belastungsfahrten werden dauerhafte Messungen für ein *Structural-Health-Monitoring** (SHM)

* Unter *Structural Health Monitoring* wird die kontinuierliche oder periodische und automatisierte Methode zur Bestimmung und Überwachung des Zustandes eines Überwachungsobjektes innerhalb der Zustandsüberwachung verstanden. Wikipedia

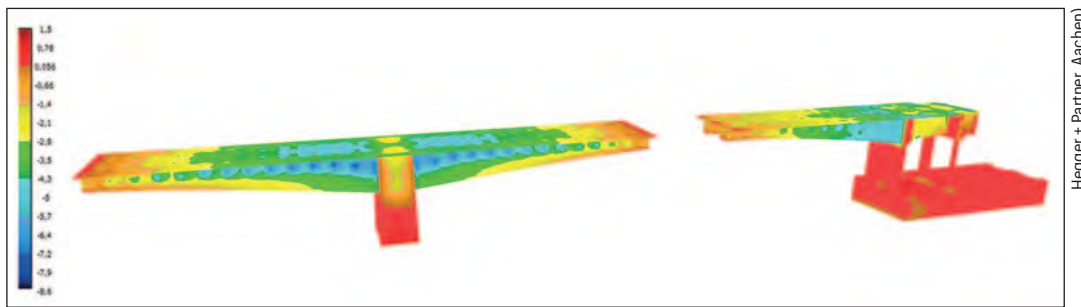


Abb. 8: Spannungsverteilung in einem Bauzustand

etabliert. Auf Grundlage der Vermessung wird ein BIM-Modell *as-maintained* erstellt, aus dem auch Rückschlüsse auf das tatsächliche Eigengewicht gezogen werden können.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Untersuchung des Zustandes der historischen Spannbetonglieder und der für die Querkrafttragfähigkeit unmittelbar maßgebende Betonzugfestigkeit, ausgedrückt über die Korrelation der Betondruckfestigkeit des Überbaus. Durch gezielte Kontrollanbohrungen und die Analyse von Verpressfehlern wird der Zustand der Spannstähle und deren Korrosionszustand nochmals überprüft. Zudem werden lokale Korrosionsprobleme an den Kreuzungspunkten der Spannbetonglieder mit den Kühlleitungen genau dokumentiert, sodass Schwachstellen der Dauerhaftigkeit auch im Rechenmodell der Nachrechnung nach Stufe 4 berücksichtigt werden können.

5.3 Finite-Elemente-Berechnung einschließlich Modell-Update

Nach der umfassenden Bestands- und Zustandserkundung folgt die Nachrechnung der alten Nibelungenbrücke nach Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie [13], [14], um die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks präzise zu bewerten. Ein bereits existierendes, sehr genaues Finite-Elemente-Modell (**Abbildung 8**) bildet die Grundlage dieser Nachrechnung. Dieses Modell, das auf den Bestandsdaten basiert, berücksichtigt alle Einzelspannglieder sowie sämtliche Bauzustände, die während der Errichtung der Brücke und mit dem Einbau der externen Vorspannung auftraten. Dadurch werden auch zurückliegende Kriech- und Schwindvorgänge erfasst.

Die Bauwerksdiagnostik liefert detaillierte Informationen über den aktuellen Zustand der Spannglieder und die Betondruckfestigkeit. Über Belastungsfahrten zur Messung der Bauwerksreaktionen unter definierten Verkehrsbelastungen wird das Bauwerksverhalten charakterisiert. Diese Daten werden verwendet, um das FE-Modell zu kalibrieren und zu validieren, wodurch eine realitätsnahe Simulation des Bauwerksverhaltens unter verschiedenen Lastbedingungen ermöglicht wird.

Das aktualisierte FE-Modell beinhaltet eine räumliche Modellierung mit Volumenelementen, die die Spannbetonbauteile und deren Vorspannung sowie alle relevanten Bewehrungsdetails präzise abbildet. Diese detaillierte Modellierung erlaubt es, die Tragreserven der Brücke zu identifizieren und Schwachstellen, insbesondere im Hinblick auf Querkraft- und Biegetragfähigkeitsdefizite, zu lokalisieren.

Die nichtlineare Analyse liefert Erkenntnisse über das Ankündigungsverhalten von Rissen und Verformungen, wodurch Gefahrenpunkte frühzeitig erkannt und im Monitoringsystem adressiert werden können. Diese Ergebnisse sind entscheidend für die Entwicklung prädiktiver Instandhaltungsstrategien, die darauf abzielen, die Nutzungsdauer der Brücke zu verlängern und die Sicherheit zu gewährleisten.

Durch die Integration der Ergebnisse aus Bauwerksdiagnostik und Belastungsfahrten in die Nachrechnung wird ein hochgenaues digitales

Abbild der Nibelungenbrücke geschaffen. Dieses digitale Modell dient als Grundlage für zukünftige Überwachungs- und Instandhaltungsmaßnahmen und ermöglicht eine vorausschauende Planung, um die langfristige Funktionalität und Sicherheit der Brücke zu gewährleisten.

5.4 Digitaler Zwilling als zentrale Datenquelle

Der Digitale Zwilling der alten Nibelungenbrücke fungiert als zentrale Datenquelle für alle Aspekte der Bauwerksüberwachung und -instandhaltung. Dieses digitale und dreidimensionale Abbild der Brücke integriert und verknüpft sämtliche Daten, die im Rahmen der Bestands- und Zustandserkundung, der Bauwerksdiagnostik, der Belastungsfahrten sowie der Nachrechnung nach Stufe 4 gewonnen wurden. Dazu wird die BIM-Methodik aufgegriffen, sodass der Digitale Zwilling auf Grundlage von BIM-Fachmodellen erstellt wird. Diese Modelle enthalten detaillierte Informationen über verschiedene Aspekte des Bauwerks, beispielsweise über Geometrie, Materialeigenschaften oder historische und aktuelle Zustandsdaten der Bestandserfassung. So können spezifische Anforderungen und Prozesse effizient abgebildet werden.

In den Digitalen Zwilling fließen statische und dynamische Informationen zusammen (**Abbildung 9**), was ihn von klassischen BIM-Modellen unterscheidet. Historische Daten, wie ursprüngliche Baupläne und frühere Instandsetzungsberichte, sind ebenso enthalten wie aktuelle Messdaten aus dem *Structural Health Monitoring** (SHM) und aus den Belastungsfahrten. Diese umfassende Datensammlung erlaubt es, den Zustand und das Verhalten der Brücke realitätsnah und in Echtzeit zu überwachen und zu analysieren.

Durch die Integration modernster Sensortechnologien können Veränderungen im Bauwerkszustand frühzeitig erkannt und dokumentiert werden. Faseroptische Sensoren (DFOS) liefern dabei hochgenaue und detaillierte Informationen über Dehnungen und Rissbildungen. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die Messungen nicht an örtlich begrenzten und einzelnen Stellen durchgeführt werden, sondern über die gesamte Länge der Faser erfolgen. Diese Echtzeitdaten fließen direkt in den Digitalen Zwilling ein und ermöglichen eine prädiktive Instandhaltung, bei der potenzielle Probleme bereits vor ihrem Eintreten identifiziert und behoben werden können.

Der Digitale Zwilling dient zudem als Plattform für die Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure. Ingenieure, Planer und Bauwerksverwalter können auf eine zentrale, stets aktuelle Datenquelle zugreifen, was die Koordination und Entscheidungsfindung erheblich erleichtert. Durch diese integrative und transparente Datenverwaltung trägt der Digitale Zwilling maßgeblich dazu bei, die Instandhaltungsstrategien zu optimieren und die Lebensdauer der Alten Nibelungenbrücke nachhaltig zu verlängern.

5.5 Messwertbasierte Bauwerksbewertung

Die messwertbasierte Bauwerksbewertung ist ein zentraler Bestand-

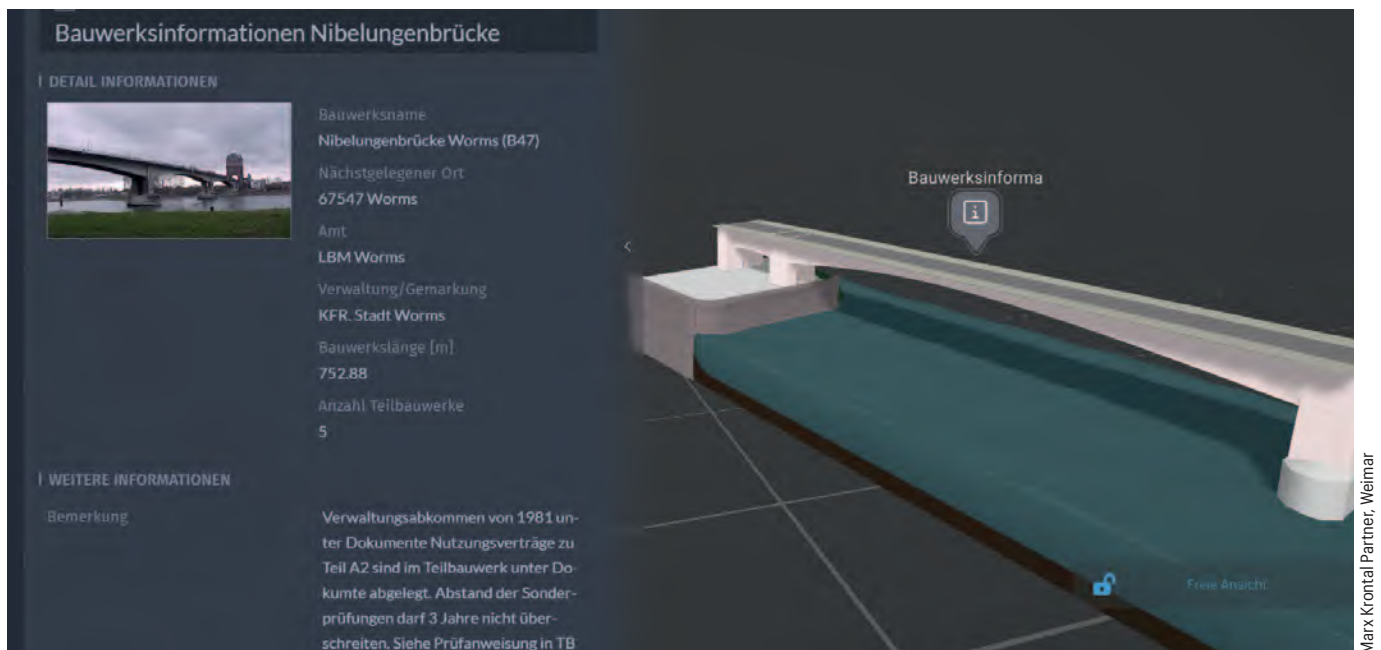


Abb. 9: Statische Bauwerksinformationen in der Digitalen-Zwilling-Plattform

teil der digitalen Instandhaltung der alten Nibelungenbrücke. Durch die kontinuierliche Erfassung und Analyse von Messdaten können präzise Aussagen über den aktuellen Zustand des Bauwerks getroffen werden. Dieser Ansatz ermöglicht es, potenzielle Schäden frühzeitig zu erkennen und gezielt Maßnahmen zur Instandhaltung und Sicherung des Bauwerks zu ergreifen. Ein wesentlicher Aspekt dieser Bewertung sind Zustandsindikatoren, CI genannt (*Condition Indicators*), die auf ingenieurwissenschaftlichen Algorithmen basieren und kontinuierlich den Zustand des Bauwerks überwachen. Diese Indikatoren nutzen Daten aus verschiedenen Quellen, wie zum Beispiel aus Sensormessungen oder bauwerksdiagnostischen Untersuchungen, um spezifische Probleme zu identifizieren und zu bewerten. Nachfolgend werden zwei beispielhafte Zustandsindikatoren für die alte Nibelungenbrücke genannt.

5.6 Zustandsindikator zum Gleitverhalten der Fahrbahnplatte

Auf den Gewölben der Vorlandbrücken wurden in Rahmen der Instandsetzung 2010 ff. neue Fahrbahnplatten auf den vorhandenen Spandrillwänden der Gewölbe errichtet. Die Platten sind gleitend gelagert. Es ist nicht auszuschließen, dass die Gleitfähigkeit des verbauten Materials in der Verbundebene nachlässt, sodass Zwangsbeanspruchungen in der Konstruktion entstehen können.

Mit einem CI, der das Gleitverhalten der Fahrbahnplatte auf den Gewölbebogenbrücken beurteilt, soll diese Frage beantwortet werden. Der CI nutzt Daten aus Sensoren, die das Bewegungsverhalten der Platten erfassen. Diese werden an maßgebenden Punkten der Fahrbahnplatte in Verbindung mit Temperatursensoren installiert. Die Sensoren erfassen Bewegungen und Verschiebungen der Platte relativ zum Unterbau.

Mit Hilfe ingenieurwissenschaftlicher Algorithmen werden diese Daten analysiert und in Bezug auf die erfassten Bauwerks- und Bauteiltemperaturen bewertet. Im Rahmen einer Anlernphase werden die erfassten Daten mit den erwarteten Bewegungen der Fahrbahnplatte abgeglichen. Der Zustandsindikator liefert danach klare Hinweise auf mögliche Abweichungen vom erwarteten und zurückliegend erfassten Verhalten und ermöglicht eine Reaktion auf eine sich voraussichtlich langsam einstellenden Zustandsveränderung.

5.7 Zustandsindikator für die Tauwasserbildung

Die messwertbasierte Bewertung eignet sich für Probleme der Dauerhaftigkeit. Ein Beispiel für einen Zustandsindikator ist der CI für Tauwasserbildung. Im Rahmen der Instandsetzung wurde die Fahrbahnplatte der Strombrücke neu abgedichtet und die Außenseiten der Hohlkästen mit einem Oberflächenschutzsystem versehen, um einen Feuchtigkeitszutritt von außen zu unterbinden. In den Hohlkästen kann die Bildung von Tauwasser an den Betonoberflächen jedoch als maßgebende Feuchtigkeitsquelle betrachtet werden, welche relevant für ein Fortschreiten von Korrosionsprozessen sein kann.

Der CI für die Tauwasserbildung nutzt Sensordaten, die die Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Inneren der Brücke überwachen, sodass der sonst quasi unsichtbare Prozess der Tauwasserbildung sichtbar gemacht wird. Mit Hilfe von ingenieurwissenschaftlichen Algorithmen wird die Wahrscheinlichkeit der Tauwasserbildung berechnet. Dieser Indikator berücksichtigt dabei sowohl die aktuellen Umweltbedingungen als auch die Materialeigenschaften der Brücke. Die kontinuierliche Berechnung des Zustandsindikators ermöglicht es, potenzielle Problembereiche zu identifizieren und den tatsächlichen Feuchteintrag in die Konstruktion zu erfassen (**Abbildung 10**). Der Bauherr erhält so stets aktuelle Informationen über den Zustand der Brücke und kann präventive Maßnahmen ergreifen, falls die Tauwasserbildung als maßgebend für den Ablauf von Korrosionsprozessen eingeschätzt wird.

5.8 Integration und Nutzen

Die Zustandsindikatoren sind integraler Bestandteil des Digitalen Zwillings der Nibelungenbrücke. Durch die kontinuierliche Analyse und Aktualisierung der Indikatoren stehen dem Bauherrn jederzeit aktuelle Informationen über den Zustand des Bauwerks zur Verfügung. Eine Aggregation dieser messwertgestützten Indikatoren in Verbindung mit den Bewertungen aus der Bauwerksprüfung hin zu einer umfassenden Zustandsnote des Bauwerks ist vorstellbar.

Bei wesentlichen Zustandsveränderungen wird der Bauherr automatisch vom System des Digitalen Zwillings informiert oder alarmiert, beispielsweise per E-Mail oder SMS. In dringenden Fällen können sofortige Alarme ausgelöst werden, um eine schnelle Reaktion zu gewährleisten. Der Digitale Zwilling gibt Handlungsempfehlungen für erwart-



Abb. 10: Zustandsindikator Tauwasserbildung im Digitalen Zwilling eines Teilbereiches der Strombrücke

bare und eingetretene Zustandsveränderungen, die mit Hilfe der Zustandsindikatoren bewertet werden. Diese Empfehlungen unterstützen die rechtzeitige und prädiktive Instandhaltung, indem sie konkrete Maßnahmen vorschlagen, um potenzielle Schäden zu verhindern und die Lebensdauer der Brücke zu verlängern. Insgesamt ermöglicht die messwertbasierte Bauwerksbewertung eine präzise und zuverlässige Überwachung der Nibelungenbrücke. Durch den Einsatz modernster Sensortechnologien und ingenieurwissenschaftlicher Algorithmen

können potenzielle Probleme frühzeitig erkannt und gezielt adressiert werden, was die Sicherheit und Langlebigkeit des Bauwerks nachhaltig erhöht. Mit dem Digitalen Zwilling der Nibelungenbrücke als virtuelle dynamische Repräsentation des realen Systems wird die historische Nibelungenbrücke ein Reallabor, dass neben der Erarbeitung und des Ausprobierens neuer Technik außerdem für eine nachhaltige Lebensdauerverlängerung steht.

6 Literatur

- [1] Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, Direktion Landesdenkmalpflege, Landesamt für Denkmalpflege Hessen, Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Die Nibelungenbrücke in Worms – Zur Zukunft eines bedeutenden Ingenieurbauwerks; Schriftenreihe Denkmalpflege in Rheinland-Pfalz: Aus Forschung und Praxis, Band 6, Petersberg: Michael Imhof Verlag, 2023
- [2] Declé, C.: Die Nibelungenbrücke Worms. In: Bundesingenieurkammer (Hrsg.): Historische Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland; Band 27, 2020
- [3] Homepage: <https://wahrzeichen.ingenieurbaukunst.de> [geprüft am 19.01.2024]
- [4] Pelke, E.; Zichner, T.: Ertüchtigung der Nibelungenbrücke Worms. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015), Heft 2, S. 113–130
- [5] E DIN 4227:1951: Spannbeton – Richtlinien für Bemessung und Ausführung
- [6] DIN 4227-1:1953-10: Spannbeton – Richtlinien für Bemessung und Ausführung
- [7] DIN 1072:1952-06: Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen
- [8] DIN 1072:1985-12: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen
- [9] DIN 1045:1988-07: Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung
- [10] DIN 4227:1988-07: Spannbeton – Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung
- [11] König, Heunisch und Partner, Nibelungenbrücke im Zuge der B 47 über den Rhein bei Worms, ASB 6316873 B, Nachrechnung der Strombrücke gem. DIN 1072, 1045, 4227, 26.11.2005
- [12] König und Heunisch Planungsgesellschaft: Fachtechnische Stellungnahme: Beurteilung des Ankündungsverhaltens bei Schubbruch; 13.04.2017
- [13] Nachrechnungsrichtlinie, Ausgabe 05-2011, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Bonn/Berlin
- [14] Nachrechnungsrichtlinie, 1. Ergänzung, Ausgabe 04-2015, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Bonn/Berlin
- [15] Grundkonzeption Traglastindex, Ausgabe 04-2020, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Bonn/Berlin
- [16] Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken (RI-WI-BRÜ), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Ausgabe 12-2017
- [17] Richtlinien für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken (RPE-ING), Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Ausgabe 12-2020
- [18] Kang, Ch. et al.: Die Nibelungenbrücke als Pilotprojekt der digital unterstützen Bauwerkserhaltung, Bautechnik 101 (2024) 11, S. 1-11 – <https://doi.org/10.1002/bate.202300089>
- [19] Homepage des SPP 2388: <http://spp100plus.de> [geprüft am 19.01.2024]
- [20] MKP GmbH, H+P Ingenieure GmbH, TU Dresden: Konzeption der digitalen Instandhaltung: Pilotvorhaben Nibelungenbrücke Worms. 28.06.2023

Die Nachrechnung der Nibelungenbrücke zu Worms und ihres Digitalen Zwillings mit nichtlinearen FE-Modellen

Für die Durchführung solcher Berechnungen sind fundierte Kenntnisse über die nichtlinearen Verfahren und insbesondere über Betonmaterialmodelle erforderlich

Bei der Nachrechnung des Bestandes der Nibelungenbrücke zu Worms rückte die Problematik unzureichender Schubbewehrung in den Vordergrund. Bereits nach der Durchführung der Nachweise gemäß Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie ergab sich die Notwendigkeit einer (praktisch nicht ausführbaren) Schubverstärkung. Bei Bestandsbauwerken mit hoher Vorspannung und wenig Bügelbewehrung wurden die Nachweise früher über das Hauptzugspannungskriterium geführt. Der Einsatz von nichtlinearen FE-Analysen kann bei solchen Bauwerken aber jetzt zu einer positiven Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit ohne Schubverstärkung führen. Für solche Berechnungen sind jedoch fundierte Kenntnisse über nichtlineare Verfahren und insbesondere über Betonmaterialmodelle unentbehrlich. In Verbindung mit einem Digitalen Zwilling (siehe Seite 50) und aufwendigen FE-Berechnungen sollen, was der folgende Beitrag* eindrucksvoll darstellt, der Erhalt und der Weiterbetrieb der Nibelungenbrücke sichergestellt werden.

1 Einführung

Die Nibelungenbrücke in Worms ist nicht nur ein Kulturdenkmal und Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst, sondern, als erste im Freivorbauverfahren errichtete Spannbetonbrücke überhaupt, auch eine technische Pionierleistung. Für den Erhalt und Weiterbetrieb dieser Brücke müssen alle Anstrengungen unternommen werden – das sind wir den genialen Erbauern Ulrich Finsterwalder und Gerd Lohmer schuldig.

Die Nibelungenbrücke wurde im Zuge der B 47 bei Worms von 1951 bis 1953 als Ersatz für die am Ende des Zweiten Weltkriegs zerstörte Ernst-Ludwig-Brücke von der Firma Dyckerhoff & Widmann errichtet und in den Jahren 2010 bis 2013 aufwendig saniert. Grundlage der Sanierungsmaßnahmen waren die Nachrechnung und Planung der Frankfurter Planungsgesellschaft König und Heunisch (KHP).

Darin waren, neben dem Einbau von je zwei externen Spanngliedern pro Hohlkasten, für den Nachweis der Biegetragfähigkeit zusätzlich der Einbau von Schubnadeln für die Querkrafttragfähigkeit vorgesehen. Der Einbau dieser Schubnadeln hätte jedoch zur Beschädigung der eng gepackten Längs- und Querspannglieder in der Fahrbahnplatte geführt. Daher wurde auf den Einbau der für den Querkraftnachweis erforderlichen Bewehrung verzichtet.

Eine ausführliche Beschreibung des Baues der Nibelungenbrücke findet sich in [1]. Die Sanierungsmaßnahmen ab 2010 wurden in [2] umfassend erläutert.



Dr.-Ing. Naceur Kerkeni

studierte Bauingenieurwesen an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und entwickelt seit 1995 das Finite-Elemente-Programm LIMFES; Naceur Kerkeni ist Geschäftsführer der *H+P Ingenieure* (Aachen), staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung der Standsicherheit und für Schall- und Wärmeschutz, Prüfenieur für Baustatik und EBA-Prüfer.

2 Die Nachrechnungsrichtlinie

Das Nachweiskonzept der Nachrechnungsrichtlinie [3], [4] ist mehrstufig aufgebaut. Die Standardberechnung in Stufe 1 stellt dabei die Nachweisführung nach den DIN-Fachberichten [5] dar. Die Stufe 2 ermöglicht es, die Nachweise genauer auf das Bestandsbauwerk abzustimmen [6]. Neben der Anwendung alternativer Modelle zur Bestimmung des Bauteilwiderstandes kann dabei als wesentlicher Ansatz die Modifikation der Teilsicherheitsbeiwerte genannt werden. Bei genauerer Kenntnis der Bauwerksgeometrie kann der Teilsicherheitsbeiwert der Eigenlasten reduziert werden. Auf der Widerstandsseite können die charakteristischen Werte der ermittelten Betonfestigkeiten in Ansatz gebracht werden. In Abhängigkeit vom aktuellen Bauwerkszustand (Rissbildung, Korrosion) können die Teilsicherheitsbeiwerte zudem weiter reduziert werden. Die messwertgestützte Berechnung nach Stufe 3 der Nachrechnungsrichtlinie erlaubt, neben den Ansätzen der Stufe 2, die Ergebnisse der Probelastungen mit Messungen zu berücksichtigen und ermöglicht somit die Validierung alternativer Bemessungsmodelle beziehungsweise die Kalibrierung nichtlinearer Berechnungen. Stufe 4 sieht eine Probabilistische Berechnung oder wissenschaftliche Berechnungsmethoden ausschließlich in Sonderfällen mit Zustimmung des Bauherrn vor.

In diesem Beitrag wird der Einsatz der Stufe 4 anhand von nichtlinearen FE-Analysen der Nibelungenbrücke aufgezeigt. Das Druckbogen-Modell stellt ein anderes Stufe-4-Verfahren, das ebenfalls als wissenschaftliche Methode angewendet werden kann [6].

3 Finite Elemente Methode

Die Finite-Elemente-Methode, mit ihrer Möglichkeit, große Systeme sehr kleinteilig zu untersuchen, hat sich mittlerweile zum Standard bei der statischen Berechnung von Bauwerken entwickelt [7]. Aufgrund der stark verbesserten Rechnerleistungen ist es nun auch möglich, hochgradig materiell und geometrisch nichtlineare Berechnungen von komplexen Modellen innerhalb einer akzeptablen Zeit durchzuführen.

* Prof. Dr.-Ing. Dr. E.h. Josef Hegger zum 70. Geburtstag gewidmet

Im Zuge einer Nachrechnung von Bestandsbauwerken kann es erforderlich sein, die Traglasten mit realitätsnahen Volumenmodellen zu ermitteln, wenn der Nachweis der Tragsicherheit durch vereinfachte Methoden nicht erbracht werden kann. Hierfür stehen dem Anwender mehrere kommerzielle Programme mit unterschiedlichen Leistungsmerkmalen zur Verfügung. Zur Sicherstellung von Qualität und Aussagekraft einer nichtlinearen numerischen Untersuchung sind umfangreiche Kenntnisse und Erfahrungen des Anwenders bei der Modellbildung, der Wahl geeigneter Materialmodelle und Lösungsalgorithmen sowie der korrekten Interpretation der Ergebnisse erforderlich. Insbesondere im Bereich des Stahl- und Spannbetonbaus ergibt sich hierbei die Problematik, das quasi-spröde Materialverhalten des Betons unter mehraxialen Druck- und Zugbeanspruchungen bei der Verwendung von Volumen- und Schalenelementen durch geeignete Materialmodelle zutreffend abzubilden.

Dem Ingenieurbüro *H+P Ingenieure* steht hierfür das vom Autor entwickelte nichtlineare Programmpaket LIMFES zur Verfügung [9], [10]. Das Programm hat sich seit über 25 Jahren in der Nachrechnung von Versuchen und der Durchführung von Parameterstudien bewährt. Die bei diesen praktischen Studien eingesetzten Materialmodelle wurden im Rahmen von Versuchsnachrechnungen ständig weiterentwickelt und verfeinert.

4 Nachrechnung der Nibelungenbrücke nach Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie

4.1 Systembeschreibung und Modellierung

Das Ingenieurbüro H+P Ingenieure hat in den letzten Jahren mehrere Brücken durch nichtlineare FE-Berechnungen an Volumenmodellen untersucht [11] bis [16]. Nichtlineare FE-Systeme mit Stab- und Schalenelementen scheiden zur Untersuchung der Querkrafttragfähigkeit aufgrund der Schubproblematik aus, da diese Elemente das Querkraftverhalten nicht zutreffend abbilden. Daher wird im Rahmen der Nachrechnung der Nibelungenbrücke nach Stufe 4 eine räumliche Modellierung des Tragwerks mit Volumenelementen vorgenommen (Abbildung 1).

Als Grundlage der Modellierung dienen die Bestandsunterlagen. Dabei wird die Bauwerksgeometrie entsprechend den Schalplänen genau abgebildet. Der Bauablauf wird zeitlich genauso erfasst wie bei der Ausführung des Bauwerks, sodass alle Bauzustände berücksichtigt werden und das zeitabhängige Materialverhalten (Kriechen und Schwinden) realitätsnah berücksichtigt wird. Die Spannglieder in Längs- und Querrichtung sowie alle Bewehrungsstäbe und Bügelbewehrungen werden entsprechend den Vorspann- und Bewehrungsplänen diskret erfasst (Abbildung 2).



Abb. 1: FE-Volumenmodell

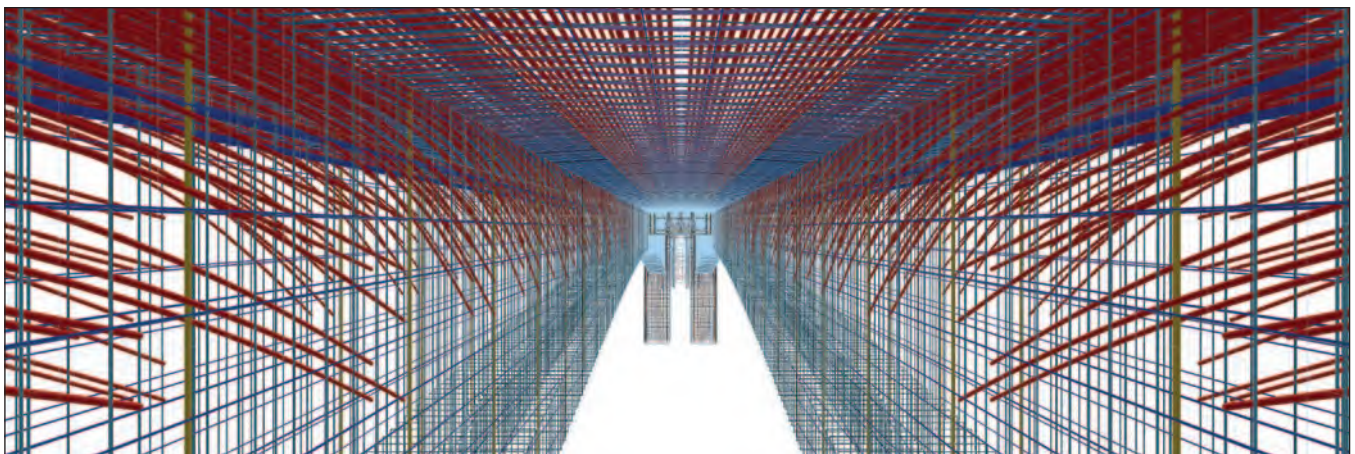


Abb. 2: Gesamtbewehrung

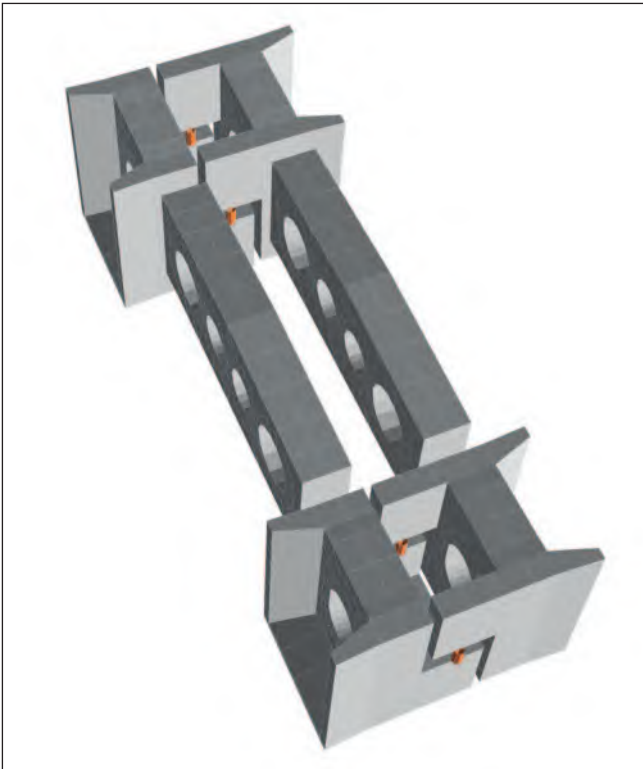


Abb. 3: Modellierung der Gelenkkonstruktion

Durch diese genaue Abbildung und Berechnung lassen sich Tragfähigkeit und Sicherheit vor einem Systemversagen realitätsnah ermitteln. Darüber hinaus lässt die Modellierung eine Beurteilung des Ankündungsverhaltens des Bauwerks zu, was bei den üblichen (analytischen) Berechnungen nicht möglich ist. In den **Abbildungen 1 bis Abbildung 7** sind das FE-System sowie die abgebildete Bewehrung in ausgewählten Bereichen dargestellt. **Abbildung 10** zeigt die Verstärkung der Zugbänder auf der hessischen Seite. Dabei wurden der Querschnitt um 50 Zentimeter verbreitert und insgesamt 24 Monolitzen eingebaut. In **Abbildung 11** ist die Verstärkungsmaßnahme mit externen Spanngliedern dargestellt. Je Hohlkasten wurden zwei externe Spannglieder des Typs B+B, EMR 19 mit einer zulässigen Vorspannkraft von 3,3 MN eingesetzt.

Vor der nichtlinearen Berechnung am Volumenmodell werden zunächst anhand eines räumlichen Stabwerkmodells die maßgebenden Laststellungen für die nichtlineare Berechnung ermittelt. Dies kann in der Regel auf Grundlage der vorhandenen FE-Berechnungen nach Stufe 1 und 2 erfolgen.

Die Vorgehensweise bei der nichtlinearen Berechnung entspricht den Angaben des DIN-Fachberichtes 102, Anhang 2 *Nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung* [5]. Im Rahmen der nichtlinearen Berechnung der Nibelungenbrücke wurden zunächst alle Bauzustände in der tatsächlichen zeitlichen Reihenfolge berechnet. Dabei wurden die Elemente (**Abbildung 8**) sowie die Spannglieder (**Abbildung 9**) zu unter-

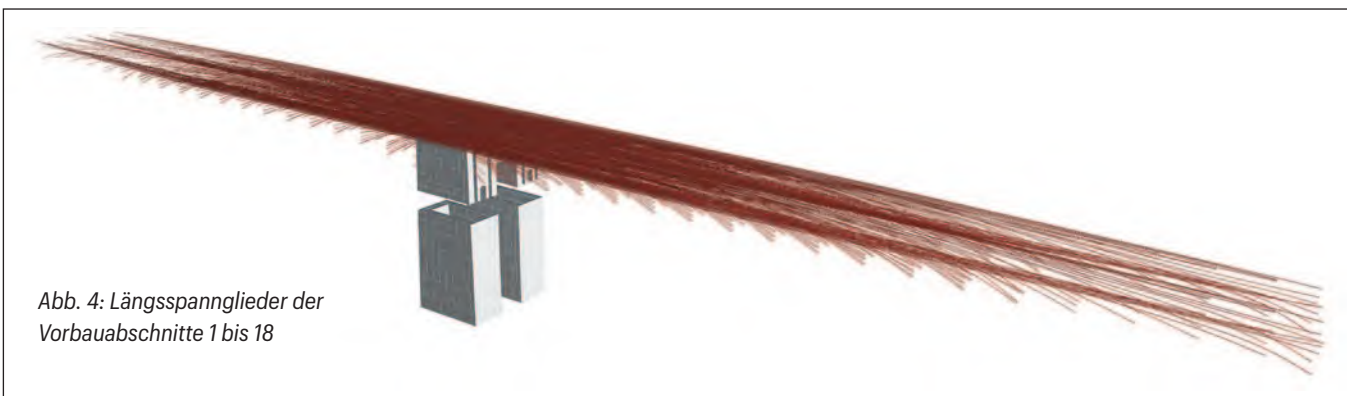


Abb. 4: Längsspannglieder der Vorbauabschnitte 1 bis 18

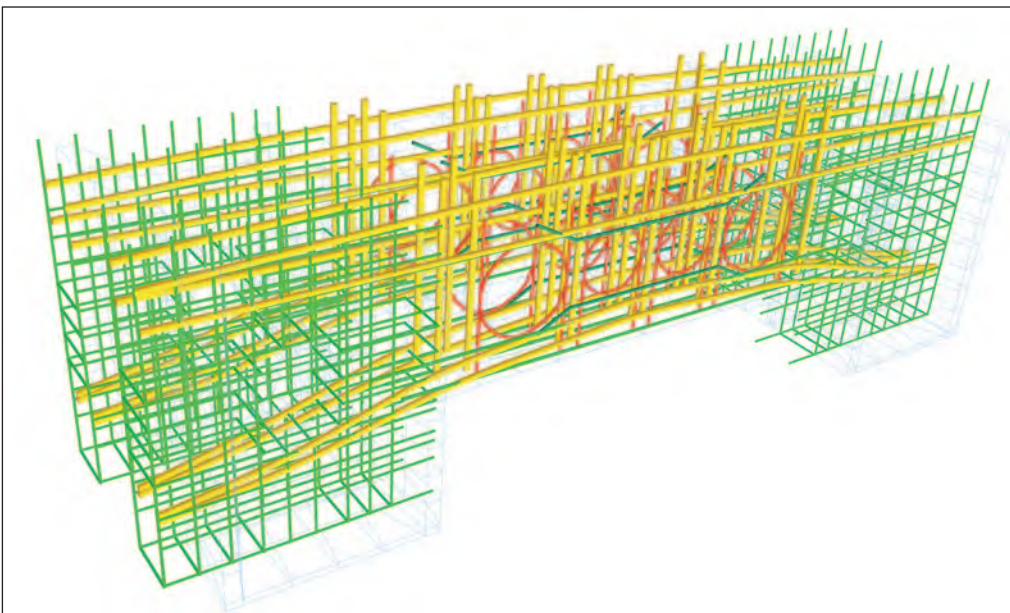


Abb. 5: Bewehrung der Querträger im Gelenkbereich

schiedlichen Zeiten aktiviert. Die Kragarme werden dann über die Gelenkkonstruktion (**Abbildung 3**) miteinander verbunden. Dabei können nur Vertikalkräfte übertragen werden, sodass sich der Überbau horizontal zwangungsfrei verformen kann. Zwei Monate nach Schließen der Gelenke werden die Ausbaulasten aufgebracht. Danach werden einige Zeitschritte ohne Laständerung gerechnet, um das Kriechen und Schwinden und die dadurch verursachten Umlagerungen zu erfassen.

Im Alter von 59 Jahren werden die externe Vorspannung (**Abbildung 11**) sowie die Verstärkung der Zugbänder aktiviert (**Abbildung 10**). Nach einigen Zeitschritten wird die 1,0-fache Verkehrslast (SLW 60/30) in vier Laststufen aufgebracht, sodass ein Lastniveau erreicht wird, in dem

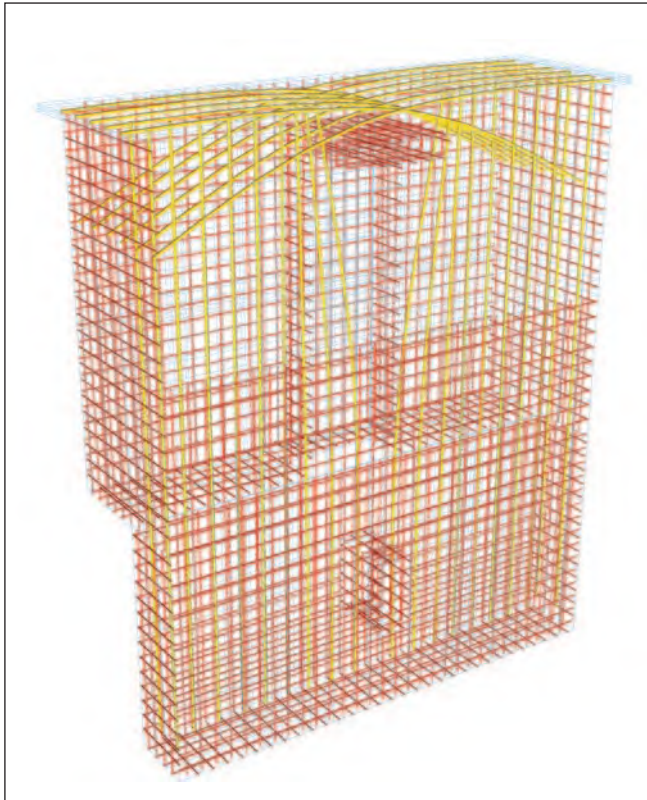


Abb. 6: Bewehrung des linken Landpfeilers

alle planmäßigen Beanspruchungen 1,0-fach vorherrschen. Im Anschluss werden die ständigen Lasten auf $\gamma_G = 1,35$ und die Verkehrslasten auf $\gamma_Q = 1,50$ gesteigert. Dies erfolgt in weiteren drei Laststufen mit jeweils bis zu 500 Iterationen. Das heißt, die erreichte Laststufe entspricht dem Bemessungslastniveau nach Aufbringen der gesamten γ -fachen Beanspruchung. Schließlich wird die Beanspruchung aus ständigen Lasten und Verkehrslasten in zehn weiteren Laststufen bis zum ULS (*Ultimate Limit State* = Grenzzustand der Tragfähigkeit) gesteigert; das heißt: In der letzten Laststufe wird ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_R = 1,3$ für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation für den Bemessungswert des Tragwiderstandes erreicht. Wird bei dieser Laststufe:

$$(1,3 \cdot [1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q] + P + (K + S))$$

ein stabiles Gleichgewicht erreicht, gelten die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung mit Längskraft sowie Querkraft- und Torsionsnachweise als erfüllt. Andernfalls kann die Höhe der vorhandenen Sicherheit genauer beziffert werden.

Falls das Bauwerk weitere Tragreserven aufweist, kann die Belastung bis zum tatsächlichen Versagen gesteigert werden. Daraus lässt sich eine eindeutige Versagensursache feststellen. Die Berechnungsgrundlage bildet der DIN-Fachbericht 102, Anhang 2 [5]. Dort sind sämtliche erforderlichen Materialkennwerte für die nichtlineare Berechnung mit Ausnahme der Betonzugfestigkeit geregelt. Für die Betonzugfestigkeit wird wie bei der Druckfestigkeit ein Rechenwert von $f_{ct} = 0,85 \cdot \alpha_c \cdot f_{ctk,0,05}$ mit $\alpha_c = 0,85$ angesetzt.

4.2 Materialmodelle in LIMFES

Für Beton- und Spannstahl werden die im DIN-Fachbericht 102 definierten Spannung-Dehnungs-Linien verwendet. Die Bewehrungen werden als in Volumen eingebettete einaxiale Fachwerkelemente betrachtet. Im Programmsystem LIMFES wird für Beton das *Microplane*-Materialmodell verwendet [17], [18]. Hierbei handelt es sich um ein allgemeines dreidimensionales Modell, das zur realistischen Beschreibung des nichtlinearen Materialverhaltens von Beton geeignet ist. Es wird davon ausgegangen, dass in einem Materialpunkt mehrere Mikroebenen (*Microplanes*) mit unterschiedlichen Orientierungen existieren (**Abbildung 12**). Das makroskopische Materialverhalten ergibt sich aus dem Integral über alle Mikroebenen. Durch das Konzept eines nichtlokalen Kontinu-

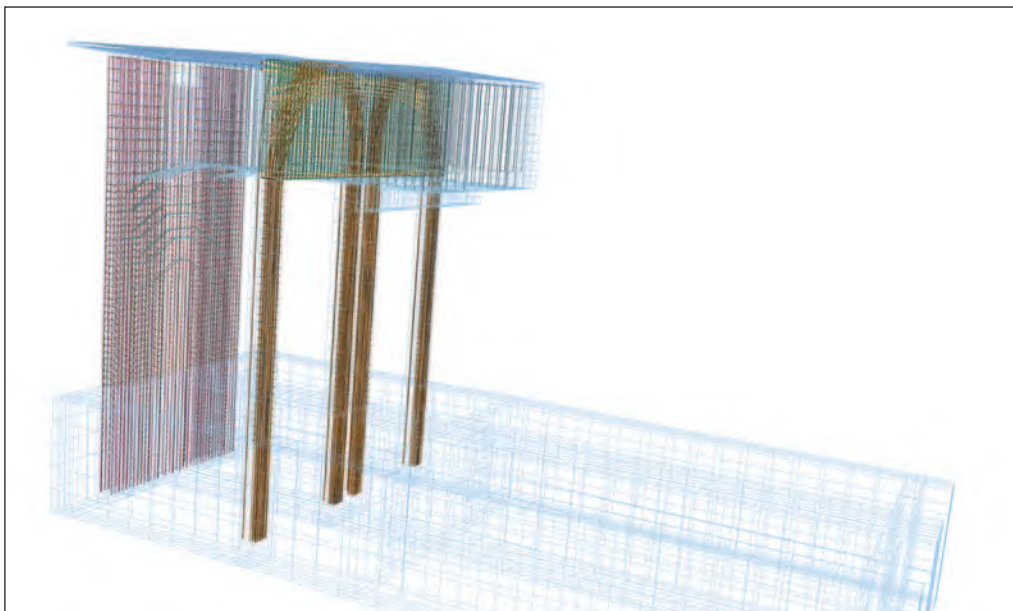


Abb. 7: Bewehrung des rechten Landpfeilers

ums wird der Einfluss der Elementierung auf die Ergebnisse vermieden. Das Microplane-Materialmodell stellt nach heutigem Stand der Erkenntnisse somit eines der geeignetsten Materialmodelle zur Abbildung von Beton dar.

Nachfolgend werden zur Veranschaulichung der Eignung des Betonmodells und der Modellierung die wesentlichen Ergebnisse der Versuchsnachrechnung der Schubversuche an Spannbetonträgern IP1, IP2 und IP3 (Abbildung 13) aus [19] zusammengefasst.

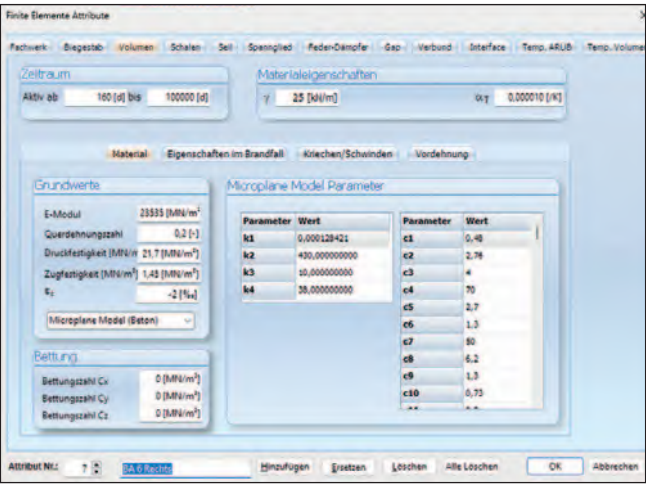


Abb. 8: Elementeigenschaften des 6. Bauabschnitts

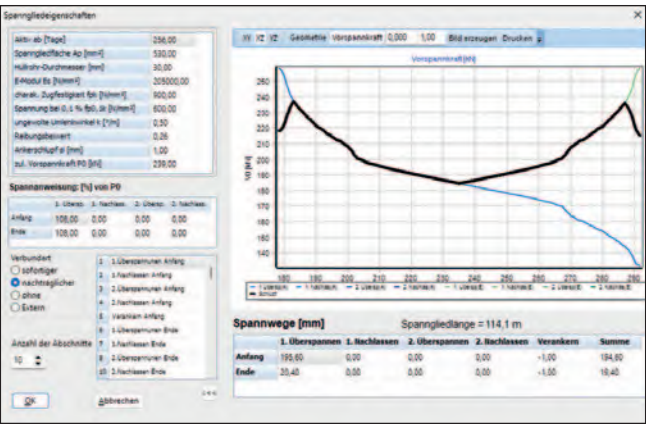


Abb. 9: Spanngliedeigenschaften des 18. Bauabschnitt

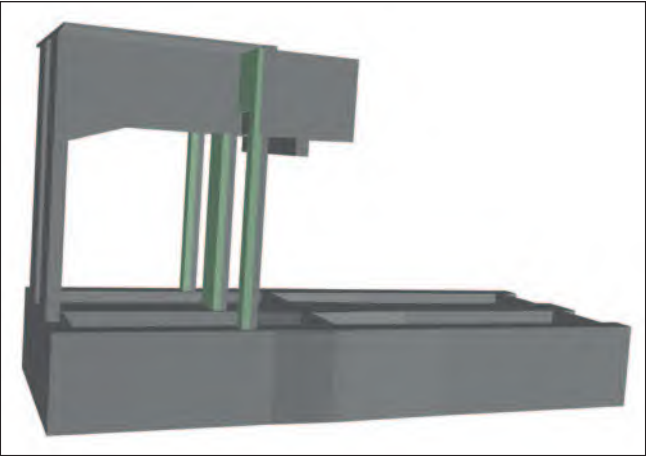


Abb. 10: Verstärkung der Zugbänder

Die Versuchskörper sind bis auf die Höhe der Vorspannung identisch. Der Träger IP1 wird mit 100 Prozent, IP2 mit 50 und IP3 mit 10 Prozent der zulässigen Vorspannung vorgespannt. Die Modellierung des FE-Systems sowie der Bewehrung ist in **Abbildung 14** dargestellt.

Die experimentell und numerisch ermittelten Bruchlasten sind in **Tabelle 1** angegeben.

	P _{u,Versuch}	P _{u,FEM}	Abweichung
Versuch IP1	1935 kN	1950 kN	0,8%
Versuch IP2	1895 kN	1850 kN	2,4%
Versuch IP3	1735 kN	1800 kN	3,7%

Tab. 1: Vergleich der Bruchlasten Versuch/FEM-Berechnung

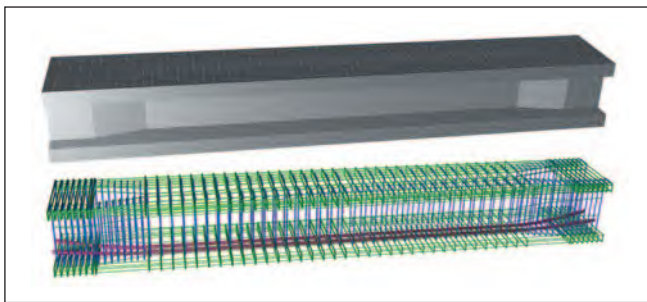
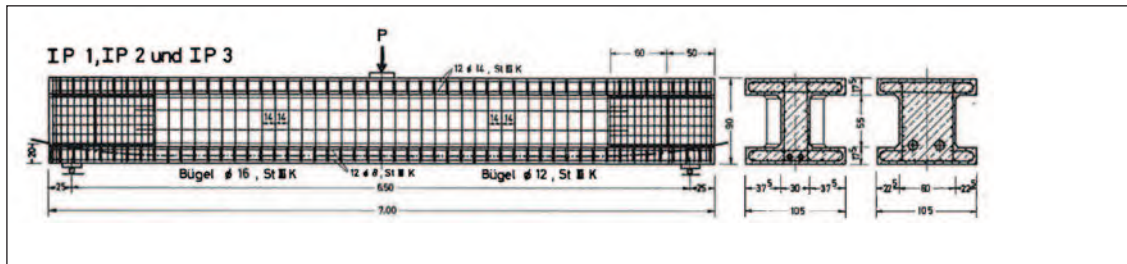
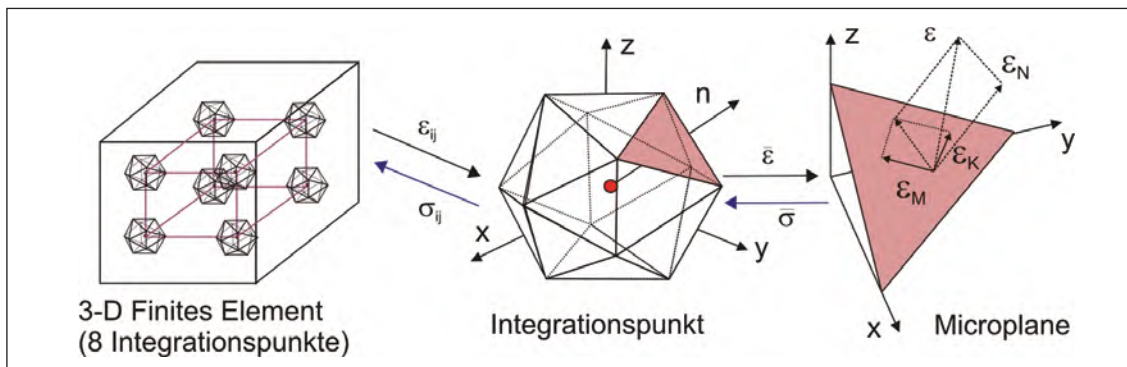
Die Übereinstimmung zwischen errechneten Bruchwerten und Versuchsbruchlasten ist zufriedenstellend. Auch der Vergleich der Last-Verformungs-Kurven (**Abbildung 15**) zeigt eine gute Übereinstimmung.

4.3 Berechnungsergebnisse

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Nachrechnung für die in **Abbildung 16** dargestellte Laststellung der Verkehrslasten erläutert.

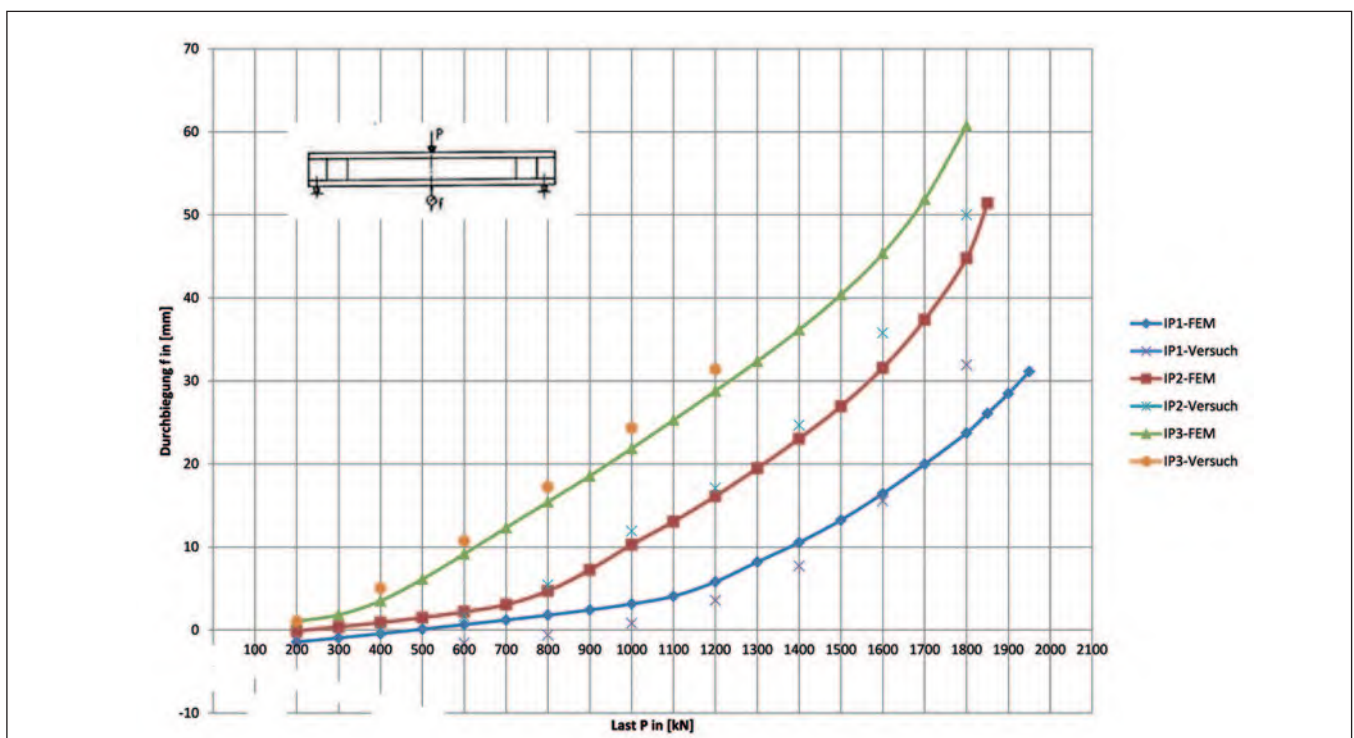


Abb. 11: Externe Vorspannung



Die Längsspannungen unmittelbar nach Schießen der Gelenke sind in **Abbildung 17** dargestellt. Der Überbau ist bis auf wenige Stellen im Gelenkbereich vollständig überdrückt. Die mittlere Stegvorspannung beträgt circa -5 N/mm^2 .

Nach der Verstärkungsmaßnahme durch externe Spannglieder ergeben sich die in **Abbildung 18** dargestellten Längsspannungen. Diese Maßnahme wurde damals zwar für den Nachweis der Biegetragfähigkeit vorgesehen, jedoch trägt die externe Vorspannung auch zur Reduktion der Hauptzugspannungen bei und sorgt damit für die Rissfreiheit der Stege im Gebrauchszustand.



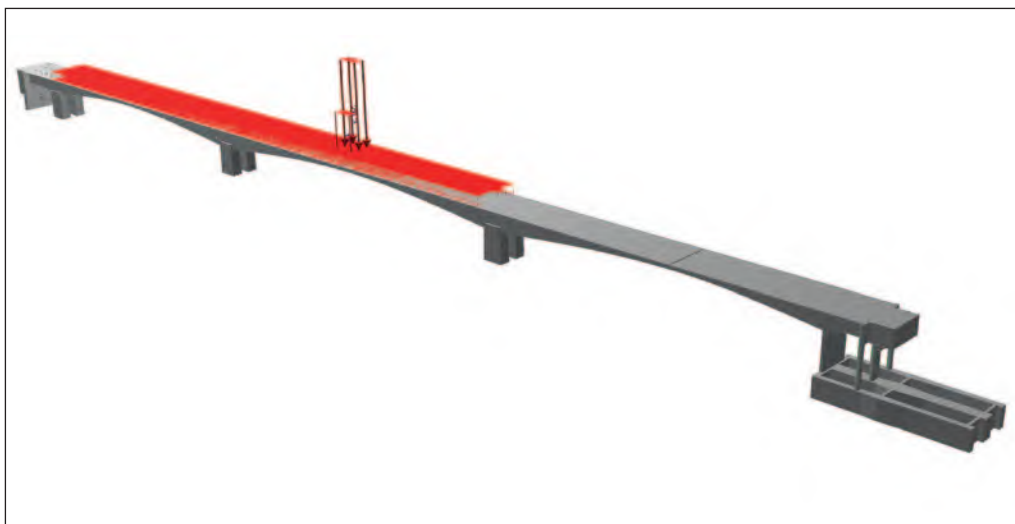


Abb. 16: Laststellung der Verkehrslasten

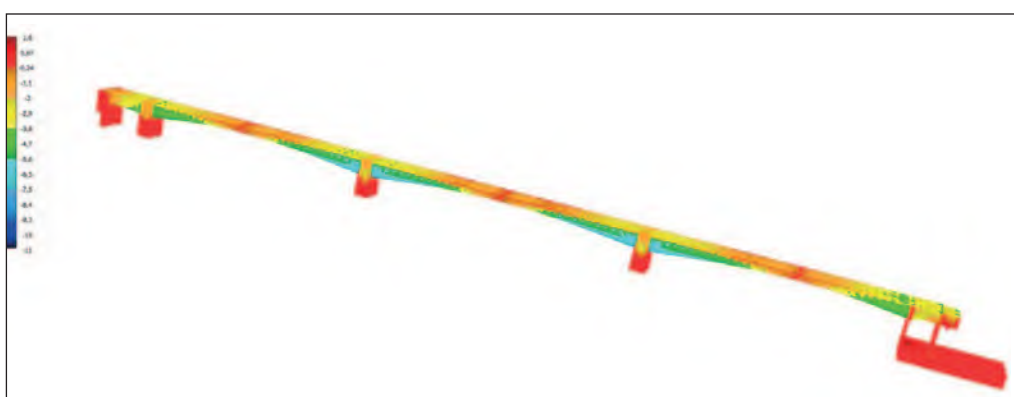


Abb. 17: Längsspannungen $[N/mm^2]$ am Ende der Bauphase



Abb. 18: Längsspannungen $[N/mm^2]$ nach dem Vorspannen der externen Spannglieder

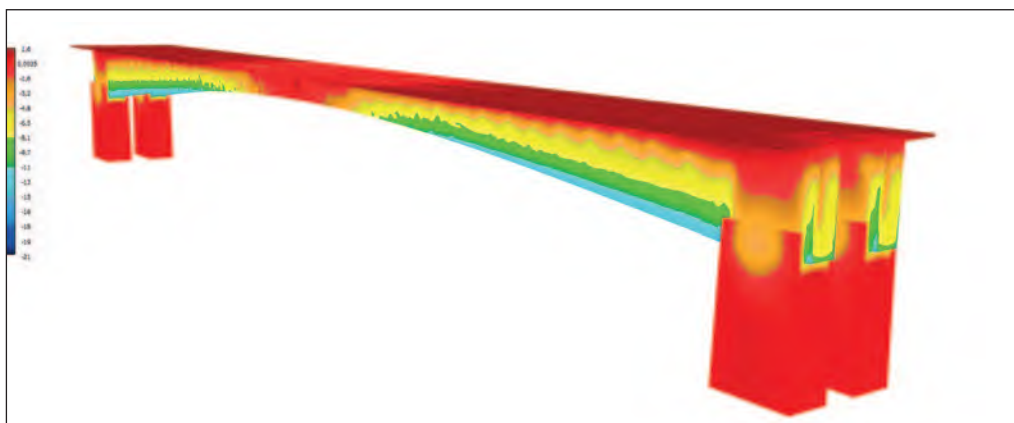


Abb. 19: Längsspannungen σ_x $[N/mm^2]$ unter 1,0-facher Belastung

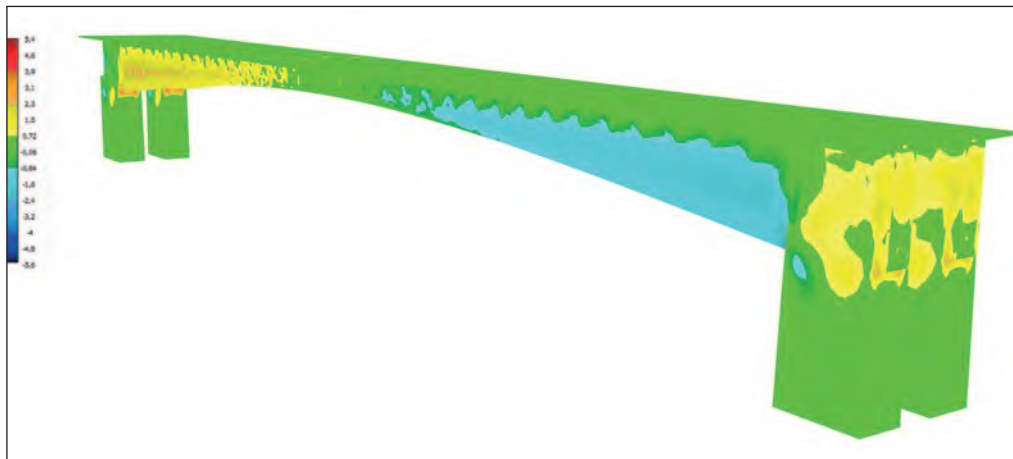


Abb. 20: Schubspannungen τ_{xz} [N/mm²] unter 1,0-facher Belastung



Abb. 21: Hauptspannungen σ_1 [N/mm²] unter 1,0-facher Belastung

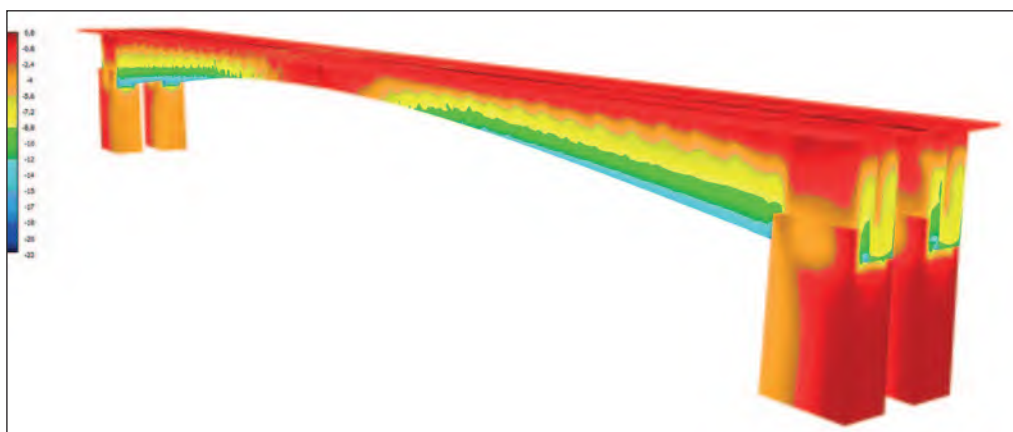


Abb. 22: Hauptspannungen σ_3 [N/mm²] unter 1,0-facher Belastung

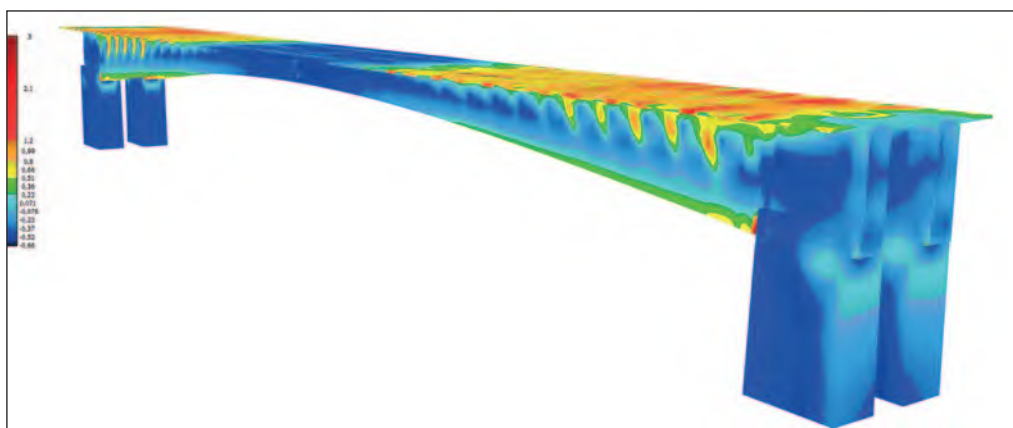


Abb. 23: Hauptdehnungen ϵ_1 [%] im Bruchzustand

Die folgenden Abbildungen zeigen für die mittige Stromöffnung die Längs-, Schub- und Hauptspannungen σ_1 und σ_3 unter 1,0-facher Belastung. Wie **Abbildung 21** zu entnehmen ist, liegen die Hauptzugspannungen mit Ausnahme der Fahrbahnplatte unter der Betonzugfestigkeit von $1,45 \text{ N/mm}^2$. Damit bleiben die Stege rissefrei.

Bei weiterer Laststeigerung treten Risse auf. Diese entwickeln sich, ausgehend von Biegerissen in der Fahrbahnplatte, zu Biegeschubrissen in den Stegen. In **Abbildung 23** sind die Hauptdehnungen ε_1 und in **Abbildung 24** die Hauptdehnungen ε_3 für $\gamma_R=1,12$ dargestellt. Das Rissbild für die entsprechende Laststufe ist in **Abbildung 25** dargestellt. Wie in dieser Abbildung zu sehen ist, findet ein Spalten der Druckzone statt.

Die Spannglieder sind dabei noch nicht voll ausgenutzt, wie **Abbildung 26** zeigt.

5 Zusammenfassung

Eine Möglichkeit zur Bewertung der Tragfähigkeit von Bestandsbrücken in Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie stellt die Anwendung der nichtlinearen FE-Methode dar. Dies kann erforderlich werden, wenn der Nachweis der Tragsicherheit durch vereinfachte Methoden nicht erbracht werden kann. Die nichtlinearen FE-Berechnungen mit Volumenmodellen erlauben neben der Ermittlung der Tragfähigkeit eben-

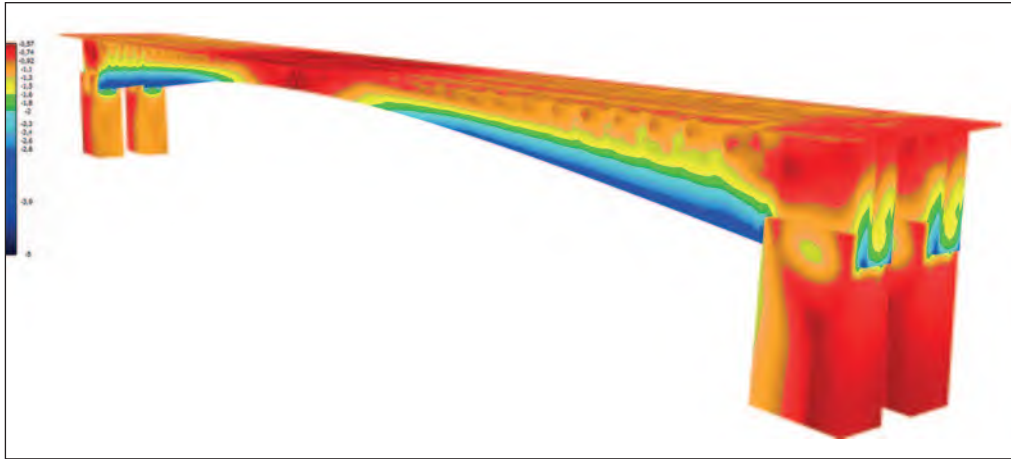


Abb. 24: Hauptdehnungen ε_3 [%] im Bruchzustand

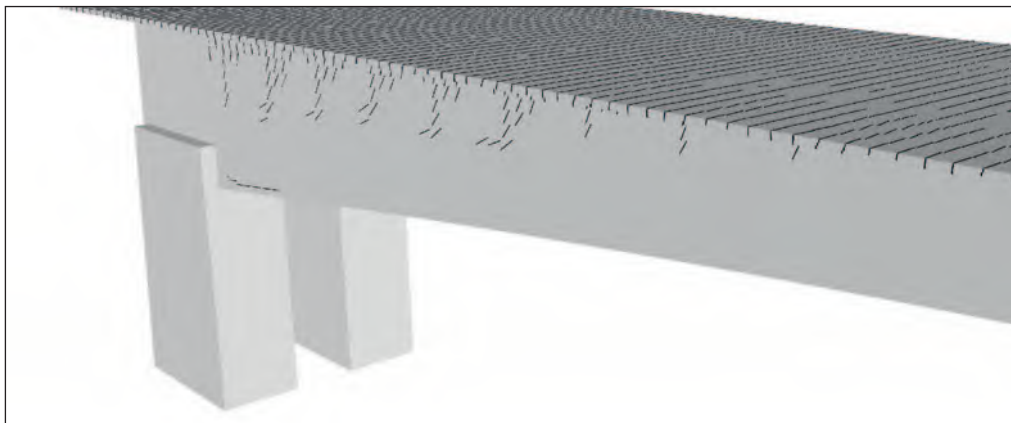


Abb. 25: Rissbild im Bruchzustand

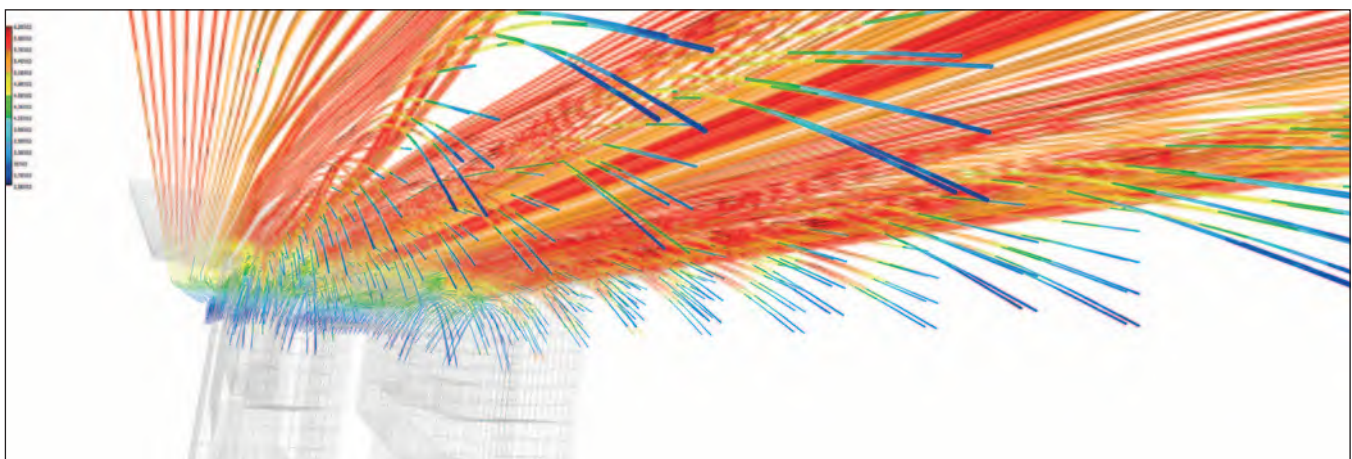


Abb. 26: Spannstahlspannungen $[\text{N/mm}^2]$ im Bruchzustand

falls eine Beurteilung des Ankündigungsverhaltens des Bauwerks. Hierbei ist insbesondere das quasi-spröde Materialverhalten von Beton unter mehraxialer Druck- und Zugbeanspruchung zutreffend abzubilden.

Für den geplanten Digitalen Zwilling der Nibelungenbrücke (siehe auch den Beitrag auf Seite 50) wird das hier vorgestellte FE-Modell erweitert.

Hierzu werden die tatsächlichen Materialkennwerte am Bauwerk ermittelt und die Geometrie genau erfasst. Das FE-Modell wird anhand von Belastungsversuchen kalibriert. Das so verfeinerte Modell kann Aufschluss über Messbereiche und Art der notwendigen Messungen geben. Während der Betriebsphase des Digitalen Zwillings werden die Messergebnisse vom FE-System gedeutet und Alarmwerte für die Messgrößen festgelegt.

6 Literatur

- [1] U. Finsterwalder, G. Knittel: *Die neue Spannbetonbrücke über den Rhein in Worms, Festschrift zur Einweihung und Verkehrsübergabe der Nibelungenbrücke*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1953 (auch als E-Book)
- [2] E. Pelke, T. Zichner: *Ertüchtigung der Nibelungenbrücke Worms, Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015), Heft 2*
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*; Bonn, Mai 2011; Ergänzung von 04/2015
- [4] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*; 1. Ergänzung 2015
- [5] DIN Fachbericht 102: *Betonbrücken*; Deutsches Institut für Normung, 2009
- [6] Marzahn, G., Hegger, J., Maurer, R., Zilch, K., Dunkelberg, D., Kolodziejczyk, A. und Teworte, F.: *Die Nachrechnung von Betonbrücken – Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie*; in: *Beton-Kalender 2015*
- [7] Teworte, F., Rombach, G. und Kerkeni, N.: *Modellierung von Betonbrücken mit der Finite-Elemente-Methode*; in: *Stahlbetonbau-Fokus: Brückenbau*; Beuth Verlag, 2021
- [8] [12] R. Maurer, H. Kiziltan: *Zum Einfluss des Druckbogens auf den Querkraftwiderstand von Spannbetonbalken*; *Bauingenieur* (2013), Heft 4
- [9] Kerkeni, N.: *Zur Anwendung der FE-Methode bei spritzbetonverstärkten Stützen*; Dissertation am Institut für Massivbau der RWTH Aachen, 2000
- [10] Kerkeni, N.: *LIMFES Programmbeschreibung*; H+P Ingenieure GmbH, Aachen 2014
- [11] H+P Ingenieure: *G 10-09 Überbauverstärkung Bw 4011 824, Gutachten zur Einschätzung der Querkrafttragfähigkeit des Brückenbauwerks Mersmannsstiege im Zuge der B 51*; H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen 2010
- [12] H+P Ingenieure: *G10-10 Instandsetzung Lahntalbrücke Dorlar*; H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen 2010
- [13] H+P Ingenieure: *G10-57 Stellungnahme zur Schubtragfähigkeit der Talbrücke Lüdespert, Bw 4912 666 im Zuge der A 45*; H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen 2011
- [14] H+P Ingenieure: *G11-18 A45 TB Blasbach, Gutachten zur Resttragfähigkeit*; H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen 2011
- [15] H+P Ingenieure: *G06-63 Instandsetzung UF Niddawiesen, Schubtragfähigkeit Überbau*; H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen 2006
- [16] H+P Ingenieure: *G14-034 Stellungnahme Verstärkung Ruhrtalbrücke BW 4511 739*; H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen 2014
- [17] Bazant, Zdenek P.; Caner, Ferhun C.; Carol, Ignacio; Adley, Mark D. and Ankers, Stephen A.: *Microplane Model M4 for Concrete – Part I: Formulation with Work-Conjugate Deviatoric Stress*, *Journal of Engineering Mechanics*, American Society of Civil Engineers, 2000, Ausgabe 126, Heft 9, S. 944-953
- [18] Bazant, Zdenek P.; Caner, Ferhun C.: *Microplane Model M4 for Concrete – Part II: Algorithm and Calibration*, *Journal of Engineering Mechanics*, American Society of Civil Engineers, 2000, Ausgabe 126, Heft 9, S. 954-961
- [19] Leonhardt, Fritz, Koch, Rainer und Rostásy S.: *Schubversuche an Spannbetonträgern*; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 227; Berlin 1993

„Das Bauen in Afrika betrifft uns alle – Deshalb wird auch unser ingenieurtechnisches Wissen dort benötigt“

Ein Bauingenieur aus Deutschland reist ein halbes Jahr lang *from Cape to Cairo* und teilt uns in einem Buch seine Gedanken über Afrikas und unsere Zukunft mit

Professor Mike Schlaich, Partner im Ingenieurbüro schlaich bergemann partner und Professor an der TU Berlin, hat sich auf eine lange Reise durch Afrika begeben. In 150 Tagen hat er im Rahmen einer Forschungsreise zwölf afrikanische Länder befahren. Er wollte die solarenergetischen Perspektiven, den lokalen Betonbau, die Straßen, Schienen und Brücken, den traditionellen dortigen Wohnungsbau und die baukulturellen und bauingenieurtechnischen Verhältnisse an mehreren afrikanischen Universitäten kennenlernen. Mit einem Vortrag anlässlich der Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfengeure für Bautechnik in Wiesbaden (*siehe Seite 6 ff.*), vor allem aber in einem neuen Buch, hat Schlaich seine Erlebnisse tagebuchartig aufgeschrieben. Darin lässt er die Leser an seinen Erlebnissen, Erkenntnissen und Erfahrungen unmittelbar teilhaben. Sie münden in sechs Reflexionen über Gegenwart und Zukunft seines Metiers in Afrika. Einige davon veröffentlichen wir hier in autorisierten Auszügen.

1 Einführung

Für Afrika brechen Jahrzehnte großer Bauaktivitäten an. Für die vielen Hundert Millionen Menschen, die in den nächsten Jahrzehnten in Afrika geboren werden, müssen dringend Häuser, Straßen und Brücken gebaut werden. Die Bauingenieure zur Lösung dieser Aufgaben werden gerade ausgebildet. Sie werden sich besonders mit Fragen der Nachhaltigkeit beschäftigen müssen. Von meinen Reiseländern gibt es derzeit nur in Südafrika und in Ruanda einen verpflichtenden *building energy code*. [1] In Europa dagegen sind solche Normen mittlerweile Standard. Werden in Deutschland Professuren im Bauingenieurwesen neubesetzt, sind deren Schwerpunkte immer öfter additive Fertigung, Digitalisierung, modulares Bauen und auch Leichtbau, und die Titel der Professuren werden um Adjektive wie *ressourcenschonend*, *nachhaltig*, *zirkulär*, *klimagerecht*, *ökologisch*, *resilient* oder *umweltverträglich* erweitert. Auch wenn gelegentlich *green washing* im Spiel ist, so versucht man mittlerweile doch in Lehre und Forschung ernsthaft, auf Fragen der Nachhaltigkeit und des Klimawandels einzugehen. Die Fehler der letzten Jahrzehnte, die wir in Westeuropa im Bauwesen gemacht haben, führen erst allmählich zu einem (zu) späten Umsteuern. Wird das afrikanische Bauingenieurwesen ressourcenverschwendendes, umweltbelastendes und baukulturell wertloses Bauen vermeiden können? Gewiss, an vielen afrikanischen Universitäten fehlt es an Geld für teure Labore, Großcomputer und 3D-Drucker, um nachhaltiges Bauen in der Forschung anzugehen. Ich traf zudem nur wenige Bauingenieure, die sich mit Fragen der Baukultur – sie ist von Kosten unabhängig – beschäftigen, mit Tragwerken, die auch formal einen Beitrag zur Lebens-

qualität leisten können. Diskurse zum nachhaltigen Bauen, die Entwicklung bauphysikalisch sinnvoller und materialminimierter Bauten, die Nutzung lokaler und reichlich vorhandener natürlicher Werkstoffe zur industriellen Verwendung oder zur Übersetzung traditioneller Bauweisen in die heutige Zeit sind derzeit praktisch noch keine Forschungsthemen oder Teil der Lehre.

In einer ähnlichen Situation wie vor über fünfzig Jahren die Architektur sehe ich das Bauingenieurwesen in vielen Ländern Afrikas heute. Können die afrikanischen Bauingenieure aus ihrem Kontext, den Wüsten und den Regenwäldern, den schneebedeckten Bergen und den Küsten mit ihren jeweiligen Klimata, Böden, Materialien und Bautraditionen, eine eigene Ingenieur-Baukultur ableiten? Ich rede nicht von einem *truly African civil engineering*-Stil. So etwas gab und gibt es im Bauingenieurwesen weder in Deutschland noch anderswo. Aber könnte ein Sprung zum *day after tomorrow* nicht auch die Fehler, die wir gemacht haben, überspringen? Könnte das neue afrikanische Bauingenieurwesen nicht gleich dort beginnen, wo es um ressourcenschonende Tragwerke aus lokalen und regionalen Baustoffen geht? Für deren Herstellung saubere und unerschöpfliche Sonnenenergie verwendet wird? Kann die neue Generation dies schaffen, und kann man sie dabei unterstützen?

2 Solarenergie – Afrikas Ass auf der Hand

Klimawandel, endliche Ressourcen und soziale Verantwortung: Die Themen sind omnipräsent und leidlich bekannt. In Afrika könnte zumindest die Frage nach sauberer und preiswerter Erneuerbarer Energie, die im Überfluss verfügbar ist, ganz anders gestellt und beantwortet werden als auf der nördlichen Erdhalbkugel. Ausgedehnte Wüsten und starke Sonneneinstrahlung auf dem Kontinent bilden die idealen Voraussetzungen, um auf geeignetem Land viel Energie zu ernten und als Elektrizität oder in Form von Wasserstoff zu nutzen.

Ich bin überzeugt davon, dass es bald kein „Energieproblem“ mehr geben wird. Weltweit setzt sich die Erkenntnis durch, dass Erneuerbare Energien aus Sonne, Wind und Wasser kommen müssen, damit Verkehr, Industrie und Heizung umweltfreundlich und preisgünstig möglich werden. Mit Kohle, Öl, Erdgas oder, zumindest meiner Meinung nach, Kern-



Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich

studierte Bauingenieurwesen an der Universität Stuttgart und an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich; ab 1993 arbeitete er als Projektingenieur bei schlaich bergemann partner und wurde 1999 Partner; 2004 erhielt Mike Schlaich eine

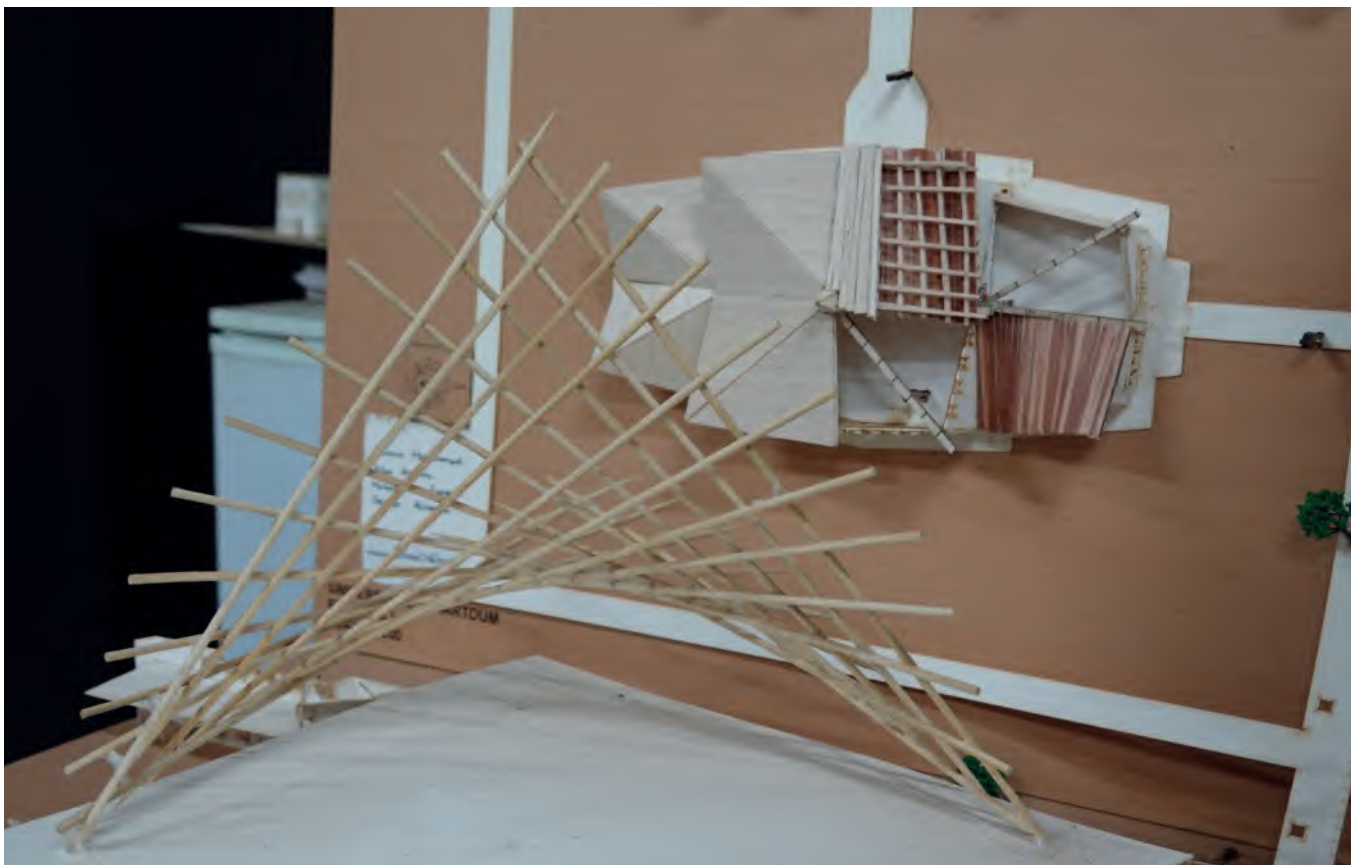
Professur der Technischen Universität Berlin und leitet heute das dortige Institut für Entwerfen und Konstruieren (Massivbau).

spaltung geht das nicht, und die Kernfusion ist noch Zukunftsmusik. Deshalb kann, ja muss man dafür plädieren, dass schnell und im großen Stil Wüstenstrom aus solarthermischen und Photovoltaik-Kraftwerken (PV) zur Verfügung gestellt wird. In den Wüsten dieser Welt können die großen Energiemengen, die wir alle brauchen, besonders vorteilhaft produziert werden. In den bisher nicht elektrifizierten Gegenden sind PV-Anlagen auch für die dezentrale Stromversorgung ideal. Die Technologien und Transportmöglichkeiten sind vorhanden und erprobt; um die dafür nötigen sicheren Investitionen zu ermöglichen, braucht es aber auch politischen Rückhalt. Der Bau von Solarkraftwerken in Wüstengebieten könnte nicht nur saubere Energie für den Bedarf vor Ort, den Aufbau einer eigenen Wirtschaft und den Export liefern, sondern auch Arbeitsplätze generieren. Die Sonne kann in Afrika doppelt Lebensgrundlagen schaffen – ökologisch und wirtschaftlich. Hoffentlich wird das eine Win-win-Situation!

Schon vor 35 Jahren, im August 1989, hat mein Vater Jörg Schlaich in seinem Essay *Wieviel Wüste braucht ein Auto?* [2] dazu aufgerufen, doch endlich Solarkraft im großen Stil zu nutzen und Aufwindkraftwerke zu bauen. Damals waren die Stromgestehungskosten von Photovoltaik mit zwei D-Mark pro Kilowattstunde ein Vielfaches höher als heute und fokussierende solarthermische Kraftwerke befanden sich noch im Forschungsstadium. Heute sind PV-Anlagen mit 100 Megawatt Leistung und Stromgestehungskosten unter zwei Eurocent pro Kilowattstunde an sonnenreichen Standorten normal. Bei den großen PV-Kraftwerken werden oft effizienzsteigernde *Tracker* verwendet, drehbare Stützkonstruktionen, die es erlauben, die PV-Paneele der Sonne nachzuführen. Große PV-Kraftwerke werden häufig mit solarthermischen, fokussierenden Kraftwerken kombiniert, die ähnlich hohe Leistungsbereiche erreichen und auch als *proven technology* gelten. Solche CSP-Kraftwerke (*Concentrating Solar Power*) produzieren zuerst Wärme, die sich leicht

ter als der Strom der PV-Anlagen speichern lässt. Während die PV-Anlage tagsüber preiswerten Strom erzeugt, wird in der CSP-Anlage Wärme für die Produktion von wertvollem Strom gesammelt, der nachts abgerufen wird. Derzeit werden CSP-Rinnenkraftwerke und CSP-Turmkraftwerke gebaut. Bei ersteren konzentrieren kilometerlange parabel-förmige, verspiegelte Rinnen das Sonnenlicht auf in ihrer Brennpunkt liegenden Röhren, die von einem Wärmeträgermedium (Öle oder Flüssigsalz) durchströmt werden. Das auf rund 400 Grad Celsius erhitzte Medium kann dann über Wärmetauscher direkt Dampfturbinen zur Stromerzeugung antreiben oder Salzspeicher aufheizen, deren Wärme bei Bedarf abgerufen werden kann. Deutlich höhere Temperaturen und damit bessere Wirkungsgrade können mit Turmkraftwerken erreicht werden. Bei diesen CSP-Anlagen im einhundert-Megawatt-Bereich reflektieren Tausende Heliostaten genannte Einzelspiegel die Sonnenstrahlen auf einen Brennpunkt, den Receiver, der auf über 150 Meter hohen Türmen befestigt ist. Im Receiver, einem haushohen Röhrensystem, das von Flüssigsalz durchströmt wird, werden Temperaturen von rund 600 Grad Celsius erreicht. Vorteil dieser Anlagen ist, neben den hohen Temperaturen, der kurze Weg, den das Wärmeträgermedium zu durchlaufen hat, nämlich nur vom Speicher am Fuße des Turms bis zum Receiver. Aufwendiger als beim Rinnenkraftwerk sind dagegen die vielen der Sonne nachführbaren Präzisionspiegel, die aus Hunderten von Metern Abstand den Receiver zu treffen haben.

Die Sonne kann Afrika in die Lage versetzen, sich selbst mit sauberer Energie zu versorgen und zum Energieexporteur aufzusteigen. Die hohe Einstrahlung erlaubt es, leichter als bei uns Solarstrom für die Industrie bereitzustellen und Wasserstoff zu produzieren. Vor Ort können so Stahlwerke und sogar Zementfabriken nachhaltig betrieben werden, wie ein Pilotprojekt des Zementherstellers *Cemex* zeigt [3]. Wüstensand kann wertvoll werden, weil er mit Solarstrom zu Glas [4] und



BAUINGENIEURE, die die dringenden infrastrukturellen Probleme Afrikas lösen können, werden gerade überall auf dem Kontinent ausgebildet. Hier ist das Modell eines HP-Daches über dem Prüfungssaal der Universität von Khartum zu sehen.

Schaumglas als Zuschlagstoff für Beton umgewandelt werden kann. Für den Energietransport nach Europa sind Gleichstrom-Hochspannungsleitungen oder Schiffe für Wasserstoff, Ammoniak oder Methan aus Solarstrom erprobt.

Sonne und Wüsten sind der Grundstock für die Zukunft Afrikas. Der Bau und der Betrieb von Solarkraftwerken schaffen Arbeitsplätze und reduziert die Emigrationsnot. Sehen wir die entwicklungspolitische Dimension von Solarkraftwerken in Afrika? Wie viele Flüchtlingscamps und Auffanglager in Nordafrika werden überflüssig, wenn stattdessen in Solarkraftwerke und Infrastruktur investiert würde, die die Grundlagen für ein menschenwürdiges Leben sichern?

3 Beton – natürlicher Baustoff im Überfluss

Gerade Beton könnte der Baustoff für die Zukunft Afrikas sein. Beton besteht aus Zement, Wasser und Zuschlagstoffen. Mit Sonnenenergie hergestelltes Schaum- und Blähglas aus Wüstensand könnten die immer rarer werdenden Zuschlagstoffe ersetzen. Auch Zement lässt sich mit Solarenergie umweltfreundlicher als bisher herstellen. An Wüstensand und Sonne mangelt es in Afrika nicht.

Beton ist aber in letzter Zeit stark in die Kritik geraten. Das liegt zum einen daran, dass die neben dem Zement nötigen Zuschlagstoffe Kies, Schotter und Sand so knapp werden, dass in manchen Ländern Kiesmafias in Naturschutzgebieten Flusskies rauben. Wüstensand, der überall in Afrika im Überfluss zur Verfügung steht, ist grundsätzlich als Zuschlagstoff für Beton geeignet. Ist er zu fein [5], muss er allerdings mit gröberen Gesteinskörnungen gemischt werden, um die passende Sieblinie, das für Beton nötige Korngemisch, zu erreichen. Vor dem Einsatz als Zuschlagstoff muss Wüstensand eventuell entsalzt werden. Wüstensand kann aber auch weiterverarbeitet werden: Schon unter den Pharaonen wurde durch das Erhitzen von Wüstensand Glas her-

gestellt. Denn Wüstensand besteht oft aus Quarz, Siliziumoxid (SiO_2), dem Hauptbestandteil von Glas. Aus gemahlenem Glas können durch Erhitzen wiederum Schaumglas und Blähglas hergestellt werden [6]. Die zur Herstellung von Glas und Blähglas benötigte Energie kann von der Sonne kommen. Für die riesigen Wüsten Afrikas stellen die oben erwähnten Mengen an Zuschlagstoffen sicher keine Gefahr dar. Nachhaltig gewonnene Zuschlagstoffe aus Glas und Blähglas in allen möglichen Korngrößen und -formen für die Betonherstellung scheinen also kein Problem zu sein.

Zum anderen gilt der CO_2 -Ausstoß bei der Herstellung von Zement als Problem. Tatsächlich ist die Zementproduktion für die enorme Menge von rund sechs bis sieben Prozent der weltweiten CO_2 -Emissionen verantwortlich. Rund vierzig Prozent davon gehen auf fossile Brennstoffe zurück, die für die Erhitzung der Ausgangsmaterialien Ton und Kalk zur Umwandlung in Klinker (Zement ist gemahlener Klinker) benötigt werden. Die fossilen Brennstoffe, oft Altreifen, können aber durch Solarstrom ersetzt werden. Die restlichen sechzig Prozent sind auf den chemischen Prozess der Umwandlung von Ton und Kalk zu Klinker, die Entsäuerung, zurückzuführen. Dabei entsteht, wie der Name verrät, Kohlensäure, also CO_2 .

Bei dieser Rechnung wird oft vergessen, dass der Beton – einmal vergossen und erhärtet – zu abkarbonatisieren beginnt. Zumindest leichte und poröse Betone können bei diesem Prozess bis zu vierzig Prozent des bei der Entsäuerung entstandenen CO_2 wieder aufnehmen [7]. Wird also bei der Zementherstellung Solarstrom genutzt und ist Karbonatisierung möglich, könnte der CO_2 -Fußabdruck von Zement auf bis zu 36 Prozent reduziert werden.

An der Technischen Universität Berlin beschäftigen wir uns seit bald zwanzig Jahren mit Infraleichtbeton (ILC) als tragende dauerhafte Wärmedämmung [8]. Dieser poröse Beton wiegt nur 600 bis 800 Kilogramm pro Kubikmeter, also weniger als ein Drittel von Normalbeton.



VIELE NEUE BRÜCKEN müssen in Afrika gebaut werden. Die vier größten Flüsse des Kontinents sind zusammen 18.000 Kilometer lang, gerade mal insgesamt 157 Brücken überqueren sie. Unser Bild zeigt die Kazungulabrücke über den Sambesi. Sie verbindet Botswana mit Sambia.

Als leichte Zuschlagstoffe verwenden wir Blähton sowie Blähglas, das aus Altglas hergestellt werden kann. ILC kann gleichzeitig die Lasten mehrgeschossiger Gebäude tragen und als Wärmedämmung dienen. Für den Brückenbau eignet er sich nicht. Er karbonatisiert komplett und er ist, weil er nicht mit zusätzlicher Wärmedämmung verklebt werden muss, leicht zu rezyklieren. Derzeit erforschen wir deshalb an der TU Berlin, zusammen mit Dr.-Ing. Mahmoud El Shahawy aus Ägypten, ob der dortige Wüstensand für die Herstellung von Blähglas geeignet ist. Im Rahmen eines weiteren Forschungsprojekts untersucht der wissenschaftliche Mitarbeiter M.Tech. Berhanu Melkamu aus Äthiopien, wie der im Überfluss vorhandene Bimsstein aus dem ostafrikanischen Grabenbruch als leichter Zuschlagstoff für leichte und infraleichte Betone verwendet werden kann, um Blähglas und Blähton durch dieses natürliche Material vulkanischen Ursprungs zu ersetzen. Allein in Äthiopiens Region Amhara können mehrere Hundert Millionen Kubikmeter Bims abgebaut werden [9]. Für einen Kubikmeter ILC benötigt man ungefähr 500 Kilogramm Bimszuschläge (das entspricht ganz grob 0,5 Kubikmeter). Für unser 58 Quadratmeter großes *Chikahaus* aus Eukalyptusstäben mit 26 Kubikmeter Beton sind also dreizehn Tonnen Bims als einziger Zuschlagstoff erforderlich. Für die 500.000 Häuser, die Äthiopien jedes Jahr braucht, könnten die dafür benötigten 6,5 Millionen Tonnen Bims (= 6,5 Millionen Kubikmeter) regional gewonnen werden. Durch Beimischen von fein gemahlenem Bims können zudem bis zu dreißig Prozent Zement gespart werden [10]. Der Ersatz des *Chikahaus* aus Eukalyptus durch Infraleichtbeton mit Bimszuschlägen ist also eine Überlegung wert. Solche Ansätze im Betonbau lassen sich meiner Meinung nach auf viele Länder Afrikas übertragen. Trotzdem werden die Betonmengen gewaltig sein, die in ganz Afrika für den Hochbau in den nächsten Jahrzehnten nötig sind. Die Tragwerke im Hochbau müssen in jedem Fall so entworfen werden, dass der Betonverbrauch minimiert wird.

Noch einmal zur Karbonatisierung: Es soll nicht verschwiegen werden, dass sie zu einer schnelleren Korrosion der heute üblichen Stahlbeweh-

rung führt. Deswegen sind für stark karbonatisierende Betone nicht-korrodierende Bewehrungen aus Glas-, Basalt- oder Kohlenstofffasern durchaus sinnvoll. Zumindest Glas und Basalt gibt es im Überfluss. Wieder kann erneuerbare Sonnenenergie zur Herstellung von Fasern aus diesen Stoffen genutzt werden. Das Entwerfen und Konstruieren mit Beton, bewusst und minimiert verwendet, kann, so wie hier beschrieben, einen wichtigen Beitrag zum umweltverträglichen Bauen in Afrika leisten.

4 Anspruchsvolle Herausforderung: Brückenbau

Bis heute exportiert Europa Brückenplanung und Brückenbau nach Afrika und trägt dazu bei, den Kontinent zu erschließen. Während zu Kolonialzeiten oft Zwangsarbeiter für den Bau ausgebeutet wurden, unterstützen unsere Exportprodukte heute (hoffentlich) auch die Anstrengungen vor Ort, Fachkräfte zu schulen, Arbeitsplätze zu schaffen und Zugang zu sicheren Transportwegen zu bieten.

Afrikas derzeit längste Hängebrücke ist mit 680 Metern Spannweite die 2018 fertiggestellte Maputo-Katembe-Brücke in Mosambik. Mit 580 Metern Hauptspannweite wird die gerade im Bau befindliche Msikaba-Brücke in Südafrika die längste Schrägseilbrücke des Kontinents. Die gleich noch erwähnte Bloukrans-Brücke hält den Spannweitenrekord für Bogenbrücken, die Brücke des 6. Oktober in Kairo kann mit rund zwanzig Kilometern den Längenrekord für sich verbuchen.

Südafrika mit seiner langen Geschichte des Brückenbaus hat eine ganze Reihe bemerkenswerter Brückenbauwerke hervorgebracht. Ein Buch nur über den Brückenbau in Südafrika scheint es nicht zu geben, aber bei Wikipedia sind die wichtigsten Brücken mit Quellenangaben aufgelistet [11]. Am bekanntesten sind wohl die schönen Großbrücken entlang der Nationalstraße N2 in der Provinz Westkap, allen voran die 1983 fertiggestellte, 450 Meter lange Bloukrans-Brücke von Charles



DIE TUTI-INSELBRÜCKE in Khartoum im Sudan quert mit einer Spannweite von 210 Metern den Blauen Nil. Sie wird von zwei Haupttragseilen aus jeweils neunzehn Spiralseilen mit einem Durchmesser von 70 Millimetern getragen.

Liebenberg mit ihrem 270 Meter weit spannenden Stahlbetonbogen. Auch eine ganze Reihe von Fußgängerbrücken, wie die einfachen Hängebrückchen am Storms River im Tsitsikamma-Nationalpark, der gekurvte Baumwipfelpfad im Botanischen Garten Kirstenbosch in Kapstadt [12] oder die aus dem lokalen Kontext gestalteten Autobahnüberführungen der South African National Roads Agency (SANRAL) [13] lohnen einen Besuch.

In Südafrika sind einige große und traditionsreiche Ingenieurbüros mit Erfahrung in der Brücken- und Infrastrukturplanung zu finden, wobei nicht mehr alle in südafrikanischem Besitz sind. Zu den wichtigsten zählen:

- Stewart Scott Ltd, 1922 gegründet, heute Royal Haskoning DHV, Amersfoort, Niederlande;
- Ninham Shand, 1932, Connell Wagner, 1934, und Africon, 1951 gegründet, heute Zutari, Pretoria, Südafrika;
- Hill Kaplan, 1956 gegründet, heute GIBB, Johannesburg, Südafrika;
- BKS, 1965, heute AECOM, Dallas, USA;
- KE Consulting Engineers, 1982, heute Surbana Jurong Group, Singapur.

Moderne Bahn- und Straßenbrücken müssen dauerhaft schweren Lasten, hohen dynamischen Einwirkungen, starken Winden und Erdbeben widerstehen können. Das gilt überall auf der Welt, so natürlich auch in Afrika. Brückennormen schreiben dafür überall ähnliche Regeln für Planung und Bau vor. Das ist auch gut so, damit wir überall auf vergleichbare Belastbarkeit, Sicherheit und Dauerhaftigkeit vertrauen können.

Das heißt aber noch lange nicht, dass sich keine lokale oder nationale Brückenbaukultur entwickeln kann. Örtliche Randbedingungen für den Brückenbau, wie Regen- und Hochwassergefahren, Salzgehalt der Luft,

Schnee, Wind und Erdbebenlasten sind überall verschieden. Die Baumaterialien können sich in den Kosten, aber auch in Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Farbe unterscheiden. Das Verhältnis von Straßen- zu Fußgängerverkehr und ihre Geschwindigkeiten können unterschiedliche Überbaubreiten und Verkehrstrennungen hervorrufen. An all dies können nationale Normen flexibel und innovationfördernd angepasst werden.

Last but not least gibt es kulturelle Unterschiede und divergierende Schönheitsideale. So unterschiedlich der Kontext, so verschieden können die Lösungen für den Entwurf einer Brücke sein. Vor allem aber gibt es keinen Grund, die Fehler, die wir im Brückenbau des globalen Nordens gemacht haben, in Afrika zu wiederholen. Gerade bei den konventionellen Brücken mit kleineren Spannweiten sehe ich auch in Afrika häufig schwere Einfeldträger aus Betonfertigteilen, die wegen ihrer vielen Fugen und Lager weder dauerhaft noch schlank und materialsparend sein können. Planung und Bau dieser preiswerten Brücken scheinen oft ohne Berücksichtigung des Kontextes importiert zu sein. Solche Brücken verschandeln dann, zu langen Hochstraßen mit immer gleichen Spannweiten aneinandergereiht, leider auch die Zentren afrikanischer Städte wie die von Nairobi und Addis Abeba, oder sie stören auf dem freien Land.

Natürlich gibt es keine Allheilmittel, aber sich des Unterschieds zwischen Kosten und Wert bewusst zu werden und nicht immer den billigsten Planer und die billigste Baufirma zu beauftragen, wäre ein erster Schritt zu sorgfältigerer Planung und qualitätvollerem Bauen, zu mehr Brückenbaukultur. Weniger Einfeldträger und mehr fugen- und lagerlose Brücken würden zu weniger Wartung und mehr Dauerhaftigkeit führen. Einfeldträger lassen sich zu leichten monolithischen Tragwerken, integralen Brücken verbinden. Werkstoffgerechtes und kenntnisreiches Entwerfen und Konstruieren mit sinnvoll kombinierten Materia-



IM 17. JAHRHUNDERT wurde diese Brücke in Gondar in Äthiopien zur Zeit des Kaisers Fasilides gebaut. Sie ist nicht nur ein schöner Ingenieurklassiker, sondern auch ein Symbol für die reiche Geschichte und lebendige Kultur Äthiopiens. Sie erfüllt auch heute noch ihren Zweck.

lien kann zu ressourcenschonendem Leichtbau führen. Schon während der Planung Umweltbelange zu berücksichtigen und Nachhaltigkeitsuntersuchungen anzustellen, wird Schäden in der Zukunft und viele der Fehler vermeiden, die wir gemacht haben.

Auf dem Weg dorthin stehen dem Brückenbau in Afrika noch einige Hindernisse im Weg. Es beginnt damit, dass allenthalben nationale Normen sowie Erdbeben- und Windlastkarten fehlen und deshalb auf internationale Normen zurückgegriffen werden muss. Für die kleinen und großen, für die bescheidenen und die prestigeträchtigen Brücken sind gut ausgebildete afrikanische Brückenbauingenieure gefragt, die in der Lage sind, dem lokalen Kontext entsprechend zu entwerfen und zu konstruieren. Ein Vorschlag: Erfahrene internationale Ingenieurbüros könnten afrikanische Kollegen für einen gewissen Zeitraum zur Weiterbildung einladen. Nicht, damit unsere Art des Bauens nachgeahmt wird, sondern um voneinander zu lernen und auch um Kontakte für eine zukünftige Zusammenarbeit zu knüpfen.

Europas Infrastruktur ist größtenteils fertiggestellt. Immer öfter geht es dort deshalb um Reparatur, Verstärkung oder Ersatzneubau. Dies gilt nicht für Afrika, wo noch viele neue Brücken gebaut werden müssen. An der TU Berlin haben wir die festen Querungen (Dämme, Straßen- und Bahnbrücken) über die vier längsten Flüsse Afrikas, den Nil, den Kongo, den Niger und den Sambesi, die zusammen 18.000 Kilometer lang sind, gezählt. Beim Nil – vom Victoriasee (Weißer Nil) und dem Tanasee (Blauer Nil) bis zum Mittelmeer – sind wir auf 115 feste Querungen gekommen, beim Kongo auf fünf, beim Niger auf 23 und beim Sambesi auf vierzehn. Insgesamt gelangt man trockenen Fußes über diese vier Flüsse nur an rund 157 Stellen. Die vier längsten Flüsse der EU, die Donau, der Rhein, die Elbe und die Loire, haben zusammen eine Länge von rund 6000 Kilometern, im Mittel findet man alle zehn Kilometer eine Brücke. Den ungefähr 1200 Kilometer langen Rhein que-



FAST EIN HALBES JAHR lang ist Professor Mike Schlaich von der Technischen Universität Berlin im Rahmen einer Forschungsreise mit diesem Wagen durch Afrika gefahren. In zwölf afrikanischen Ländern wollte er die solarenergetischen Perspektiven, den lokalen Betonbau, die Straßen, Schienen und Brücken, den traditionellen dortigen Wohnungsbau und die baukulturellen und bauingenieurtechnischen Verhältnisse an den dortigen Universitäten kennenlernen.

ren rund 190 Brücken [14]. Entlang der 2857 Kilometer langen Donau zählten wir 251 Brücken. Auf Afrika übertragen, dessen Bevölkerungsdichte bald der von Europa entsprechen wird, wären damit allein auf den vier längsten Flüssen rund 1800 Großbrücken nötig, rund zwölfmal so viele wie zurzeit vorhanden. Vielleicht brauchen wir in Zukunft nicht mehr so viele Brücken wie heute, vielleicht ist eine Fähre manchmal ausreichend. Und eventuell eignen sich dezentrale Strukturen zur generellen Reduzierung der Mobilität. Den Bauingenieuren und Bauingenieurinnen Afrikas bietet der Brückenbau jedenfalls die Möglichkeit, eigene Wege zu gehen.



DIE SOLARENERGIE erlaubt es vielen afrikanischen Ländern, die Frage nach sauberer und preiswerter Energie ganz anders zu beantworten als in den Ländern der Nordhalbkugel. Unser Bild zeigt eine PV-Anlage für den Betrieb einer Wasserpumpe in der nubischen Wüste.

An der TU Berlin haben wir in den letzten Jahren am Institut für Bauingenieurwesen Vortragsreihen über Brückenbaukultur angeboten, bei denen Bauingenieure und Bauingenieurinnen aus Deutschland ihre

DER WOHNUNGSBAU in den ländlichen Gegenden vieler afrikanischer Länder ist vom Selbstbau der lokalen Bevölkerung geprägt. So haben sich zahlreiche verschiedene Baustile und „technische“ Gegebenheiten eingebürgert. Für die Zukunft reicht das beileibe nicht: Afrikas Bevölkerung wird bis 2050 um mehr als 1,2 Milliarden Menschen wachsen – preiswerter und nachhaltiger Wohnungsbau hat deshalb oberste Priorität. Hier und auf der folgenden Seite sind verschiedene Beispiele für indigenen Selbstbau zu sehen, und zwar in Namibia (1), Botswana (2), Angola (3 und 4), Sambia (5), Tansania (6), Kenia (7 und 8), Äthiopien (9 und 10), Sudan (11) und Ägypten (12).



1

Alle Fotos: Mike Schlarich



2



3



4



5



6

Brücken vorstellten. Im Wintersemester 2023/24 lautete das Thema Brückenbaukultur in Afrika. Und tatsächlich fanden sich schnell sieben Ingenieure, die an Brücken in Afrika gearbeitet hatten. Sie gewährten unseren Studierenden faszinierende Einblicke in die Praxis des Brückenbaus in Afrika und zeigten uns, dass Brückenbau dort Lust und Last sein kann. Das ganze Spektrum der Zusammenarbeit mit Afrika war präsent: Büros wie Gauff Engineering (Nürnberg) und Inros Lackner SE (Rostock) haben jeweils mehrere Niederlassungen in Afrika und sind seit Jahrzehnten dort vertreten. Andere, wie das Ingenieurbüro Grassl (Hamburg) oder die SSF Ingenieure AG (München) sind dabei, sich zu etablieren. Wieder andere mussten sich aus Konfliktzonen zurückziehen, so wie es Schüßler-Plan im Sudan ergangen ist. Die Büros waren als Planer oder Bauüberwacher von Straßen- und Bahnbrücken vor Ort, sie waren in internationale Teams eingebunden oder allein beauftragt.

Der Eindruck meiner Reise hat sich bestärkt. Brückenbau in Afrika liefert einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität, und das deutsche Bauingenieurwesen hat dort einen guten Ruf. Das hat sicher auch damit zu tun, dass unsere Kollegen die Qualität, die man von *Made in Germany* erwartet, auch liefern und zudem ihren Kollegen vor Ort ernsthaft Know-how-Transfer anbieten.

5 Wohnungsbau – es ist höchste Zeit

In Afrika müssen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten unglaubliche Mengen an neuem Wohnraum zur Verfügung gestellt werden. Denn zwischen 2020 und 2050 werden noch rund 1,2 Milliarden Menschen hinzukommen [15]. Schon jetzt hat die Landflucht Megacities, Ballungsräume wie Kairo, Kinshasa und Lagos, mit mehr als 15 Millionen Einwoh-

nern hervorgebracht [16]. Während meiner Reise hörte ich immer wieder: *We need decent and affordable housing. This is the main challenge for engineers and architects in our country.* Wohnraum zur Verfügung zu stellen ist ohne Zweifel das Gebot der Zeit, wobei *decent and affordable*, also, anständig und bezahlbar, von Land zu Land und je nach Bevölkerungsgruppe unterschiedlich definiert werden. Für Menschen, die in einem Slum leben, bedeutet dies etwas völlig anderes als für die Mitglieder der sogenannten Mittelschicht, denen ganz andere finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. *Decent and affordable* wird in der Stadt anders verstanden als weit draußen auf dem Land.

Meine Überlegungen zu diesem komplexen und vielschichtigen Thema nähren sich auch aus Gesprächen mit drei erfahrenen Experten. Sie kennen den Wohnungsbau in Afrika und Europa gut und betrachten ihn ganzheitlich. Die deutsche Bauingenieurin Simone Stürwald ist Profes-



7



8



9



10



11



12

sorin am Institut für Bau und Umwelt an der Ostschweizer Fachschule in Rapperswil und beschäftigt sich seit Längerem mit Fragen des Wohnungsbaus in Afrika. Im Sommer 2022 verbrachte sie – was für ein Zufall – ein Forschungssemester in Afrika [17]. Über die Jahre hat sie sich ein starkes Netzwerk in Afrika aufgebaut und dort schon viele Universitäten, Nichtregierungsorganisationen (NGOs), Unternehmen und Vertreter der Finanzbranche kennengelernt. Während ihres Forschungssemesters besuchte sie die Städte Daressalam, Lagos, Kairo, Kampala und Johannesburg, auch um sich dort mit traditionellen Bauweisen und mit dem nachhaltigen Bauen mit lokalen Mitteln vertraut zu machen. Sie berichtet von Maniokschalenasche oder Vulkanasche, die Beton zugegeben werden kann, um Zement zu sparen, und von Re-use-Techniken der armen Bevölkerungsteile, die ausrangierte Bauteile geschickt für ihre Unterkünfte wiederverwenden. Als Hindernis für das *upgrading* von Slums nennt sie, dass Bankfinanzierung für die Ärmern praktisch nicht möglich ist. In vielen Ländern ist ihr auch die Problematik ungeklärter Besitzverhältnisse und unklar definierter Baugebiete aufgefallen, die das Bauen für die Menschen vor Ort erschwert. Simone Stürwalds Fazit zum Wohnungsbau in Afrika: „Der Antrieb, etwas zu tun, sollte aus Afrika stammen, und meiner Ansicht nach sollten auch die Lösungen für den Wohnungsbau in Afrika entwickelt werden. Es gibt dort mittlerweile hervorragende Bauingenieure und Architekten. Wir können uns im fachlichen Dialog einbringen und voneinander lernen, aber der Ruck muss von ihnen selbst kommen und die Verantwortung bei ihnen bleiben.“

Die Architektin Fabienne Hoelzel, mit Schweizer Bürgerrecht und deutscher Staatsangehörigkeit, ist Professorin für Entwerfen und Städtebau an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart. Sie beschäftigt sich intensiv mit der Infrastruktur informeller Siedlungen in großen Städten wie Lagos. Ihre Erkenntnis ist, dass dort Dienstleistungen wie Wasserversorgung und -entsorgung, Transport von Menschen und Gütern sowie Müllentsorgung trotz fehlender klassischer städtischer Dienstleister durchaus funktionieren: „aber eben anders und vor allem dank der Arbeit der Frauen vor Ort“ [18]. Die Zusammenhänge der informellen Infrastruktur erforscht sie nicht nur, sie arbeitet auch in den sicher nicht ungefährlichen Siedlungen von Lagos. Mit lokalen Partnern und der lokalen Bevölkerung entwickelt sie Strategien für tragfähigere Häuser mit besserer Versorgung und Hygiene. Ein Ergebnis: der *Building Guide for a Flood Resilient Waterfront Community* in Lagos [19]. Seit über zehn Jahren ist sie in den Armenvierteln dieser Megacity aktiv, und dafür hat sie 2013 auch das Büro Fabulous Urban mit einem aktivistischen Entwurfsansatz [20] gegründet.

Fabienne Hoelzel hält von offiziellen Vorgaben wenig, möglichst viele *units* zu produzieren. Viele Afrikaner könnten sich keines der Häuser aus Regierungsprogrammen leisten. Wo sie unterwegs ist, seien selbst 1000 US-Dollar oft zu viel für ein „Haus“. Wichtiger erscheint es ihr, die lokale Bevölkerung, die relativ gut in der Lage sei, selbst zu bauen, mit einfacher Infrastruktur zu versorgen und Handbücher mit Verbesserungshinweisen zur Verfügung zu stellen. Auch sie betrachtet die oft ungeklärte Land- und Bodenfrage als ein großes Hindernis für das Bauen, und sie beklagt die meist fehlenden Hypothekarmodelle sowie die vielen infolge von Korruption leerstehenden Häuser.

Der Architekt Luyanda Mpahlwa kommt aus Südafrika. Während der Apartheid musste er wegen seiner politischen Einstellung fünf Jahre im berühmten Gefängnis Robben Island vor Kapstadt verbringen, bevor er mithilfe von Amnesty International nach Deutschland ausreisen konnte. Dort studierte er an der TU Berlin Architektur, unter anderem bei Rainer Hascher und bei Peter Herrle, die er als prägend für seine Ausbildung bezeichnet. Seit er nach Südafrika zurückgekehrt ist, beschäftigt er sich in Theorie und Praxis mit der Frage nach sozial gerech-

ter und relevanter Architektur in seinem Heimatland und auf dem Kontinent: *A theory of African architecture will be less about buildings and more about cities and space-making in order to suit the African way of life* [21]. Er hebt die Vorteile der traditionellen einheimischen Wohnungsbauten hervor: „Die natürlichen Baumaterialien, wie Lehm für die Wände und Stroh für die Dächer, sorgen für gutes Raumklima und gute thermische Eigenschaften. Mit ihren kleinen Fenstern und ohne mechanische Lüftung stehen sie beispielhaft für klimagerechtes Bauen. Diese Bauweise braucht vor Ort vorhandenes Wissen, und die Gebäude können mit lokalen Arbeitskräften, aus lokalen Materialien preiswert hergestellt werden. Weil heute lieber mit industriell hergestellten und oft importierten Baumaterialien gearbeitet wird, besteht die Gefahr, dass solche Baupraktiken, Erfahrungen und damit die Nachhaltigkeit im Bauen verlorengehen. In der Gegend, aus der ich komme, haben die Leute früher ihre Häuser selbst gebaut. Es gibt dort kein Wort für Architekt. Die Frage ist: wie können wir Architekten und Ingenieure dieses Wissen heute anwenden?“

Eines seiner wichtigsten Projekte ist das *Informal Settlement Kosovo* im Philippi Township bei Kapstadt, wo er 2016 vom Department of Human Settlements beauftragt wurde, für die 15.000 Bewohner *Informal Settlement Upgrading* und 5000 Wohnungen zu planen. Dort gibt es keine Straßen, keine Beleuchtung, nur illegale Stromverbindungen, kein fließendes Wasser, keine Kanalisation, keine Müllentsorgung und nicht genug Toiletten. Es gibt keine Sozialeinrichtungen und nur Blechhütten, die die Menschen dort selbst erstellt haben. „Eine richtige Slumsiedlung“, so Mpahlwa, die seit 1999 existiert. Die meisten Bewohner sind arbeitslos und die Kriminalität ist hoch, es ist eine gefährliche Gegend. Bei seinen Besuchen habe ihn überrascht, wie gut die Bewohner sich kennen und wie gut sie sich selbst organisieren. Es habe sich ein aktives *Community Network* und auch ein wirtschaftliches Netzwerk entwickelt. Der informelle Sektor boome und „Landverteilung wird vor Ort illegal betrieben“. Es gibt informelle Kindergärten, da die Mütter arbeiten, und ein Priester leitet eine selbst gebaute Kirche, die nachts als Klinik bis zum nächsten Morgen dient. Hierher kommen in der Dunkelheit keine Krankenwagen, Polizei oder Feuerwehr. Für Luyanda Mpahlwa steht Kosovo stellvertretend für viele informelle Siedlungen am Rande der Großstädte Afrikas.

In Südafrika, meint er, müsse klar zwischen dem Bauen auf dem Land und in der Stadt unterschieden werden. Die westlichen Modelle für das Bauen nach Normen und Vorschriften lassen sich zwar auf die Städte übertragen, können dort sogar nötig sein, aber sie führen dazu, dass es von der Entscheidung zu bauen über die Planung bis zur Umsetzung sehr lange dauert. Bei seinem Kosovo-Projekt hat er in acht Jahren erst vierhundert Häuser gebaut. Die Zuweisung von Bauland gestaltet sich schwierig, und die Verhandlungs- und Genehmigungsprozesse sind komplex. Mpahlwa fühlt sich gefangen in einem Teufelskreis, während die Not immer größer wird.

Ganz anders müsse ich mir, so sagt Mpahlwa auch, das Bauen auf dem Land vorstellen, wo die Gesellschaft noch in traditionellen Strukturen verankert ist. Das Land wird von den lokalen Chiefs und Kings als gesellschaftliches Eigentum verwaltet. *The Chiefs are the custodians of ancestral land and this remains common practicesince prehistoric times*. Privateigentum gibt es kaum, die Entscheidungen werden auf kurzem Wege getroffen, und gebaut wird oft gemeinsam. Diese Realität steht im Kontrast, vielleicht im Konflikt, mit den Richtlinien und Prozessen der Siedlungsplanung im städtischen Raum. Mpahlwa fragt sich, ob auf dem Land Normen und Architekten überhaupt nötig seien. Wer dort bauen will, wird scheitern, wenn er sich nicht mit den vorhandenen Strukturen und Verhandlungsprozessen auseinandersetzt. Er ist überzeugt, dass von außen kommende Projekte, ohne Knowhow-Transfer

und nur mit importierten Arbeitskräften und Materialien, in Afrika keine Chance haben.

Simone Stürwald, Fabienne Hoelzel und Luyanda Mpahlwa verbindet die Erkenntnis, dass ganzheitliche politische Konzepte für den Wohnungsbau in Afrika noch weitgehend fehlen, dass ethnische und kulturelle Aspekte bestimmend für Akzeptanz und Erfolg sind und dass Anstöße zum guten Bauen *from within* kommen können und müssen.

Auch in Deutschland fehlt es an bezahlbarem Wohnraum, auch hier klagt man über zu wenige Sozialwohnungen, zu viel Bürokratie und eine unstete Politik. In Afrika, besonders in der Sahelzone, wo die Bevölkerung am stärksten wächst, hat man es jedoch mit ganz anderen Größenordnungen zu tun. Wie oben gezeigt, fehlt es nicht an Ansätzen und beispielhaften Projekten. Ich glaube aber, dass wir Bauingenieure uns noch stärker in die interdisziplinäre Zusammenarbeit einbringen können, auch wenn uns der Wohnungsbau nicht als ein originäres Bauingenieurthema erscheint.

Das täuscht nämlich. Auf diesem Gebiet finden sich zumindest viele der Überlegungen wieder, die in meinem Buch angestellt wurden. Die Bauingenieurausbildung an den Universitäten Afrikas braucht Wissensvermittlung und eine Sensibilisierung für ressourcenschonendes Bauen im lokalen Kontext. Dafür sind, wie in Deutschland, Professorinnen und Professoren mit Praxiserfahrung erforderlich. Solarenergie erlaubt es nicht nur, auf das Heizen, Kühlen und Kochen ohne Holz umzustellen, sondern auch Baumaterialien emissionsärmer herzustellen.

6 Quellen / Literatur

- [1] All Countries Targeted for Zero-Carbon-Ready Codes for New Buildings by 2030. IEA, 2022, www.iea.org/reports/all-countries-targeted-for-zero-carbon-ready-codes-for-new-buildings-by-2030-2
- [2] Schiel, Wolfgang, Schlaich, Jörg: Wie viel Wüste braucht ein Auto? Energie im Wandel, Springer, Berlin/Heidelberg, 2001, doi.org/10.1007/978-3-642-56592-2_14 und www.sbp.de/app/uploads/2022/05/Wie_viel_Wueste_braucht_ein_Auto.pdf
- [3] Solarbetriebene Zementwerke, Zementklinker mithilfe von Sonnenenergie. beton 9/2023, S. 326
- [4] Solar Sinter. Kayser Works, www.kayserworks.com/#/798817030644/
- [5] Zu fein – Wüstensand kein hochwertiger Baurohstoff. BGR, 2019, www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Aktuelles/2019/2019-08-06_wuestensand.html
- [6] Blähglas – Ökobilanz. Das Forum Nachhaltiges Bauen, 2024, nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Blähglas
- [7] Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. VDZ, Düsseldorf, 2020, S. 11 und 35
- [8] Schlaich, Mike, Hückler, Alexander, Lösch, Claudia: Infraleichtbeton (ILC). Beton-Kalender, Ernst & Sohn, Berlin, 2021, S. 907–952
- [9] Mineral Exploration and Reserve Estimation Directorate. Amhara National Regional State Bureau of Mines Resource Development, 2024
- [10] Featured Products. Derba MIDROC Cement, 2018, www.derbacement.com/products
- [11] List of bridges in South Africa. Wikipedia, 2024, en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridges_in_South_Africa
- [12] Thomas, Mark, Fagan, Henry: The Boomslang: Kirstenbosch Cemetery, Tree Canopy Walkway. Sarah Thomas, Cape Town, 2014
- [13] Anderson, John et al.: Designing for the Realities of a Day in the Life of a Good Looking but Hardy Footbridge. Footbridge 2017 Berlin – Tell a Story, TU Berlin, 2017, S. 80
- [14] Liste der Rheinbrücken. Wikipedia, 2024, de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Rheinbrücken
- [15] World Population Prospects 2024. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/903
- [16] Urnersbach, Bruno: Afrika: Die 20 größten Städte im Jahr 2023. Statista, 2024, de.statista.com/statistik/daten/studie/946810/umfrage/groesste-staedte-in-afrika/
- [17] Eine Reise zum nachhaltigen Bauen. OSTpunkt University Magazine, 2023, www.issuu.com/ostschweizerfachhochschule/docs/ostpunkt-inhalt_1-2023-web_300/s/19518403
- [18] Hoelzel Fabienne: Lagos, Nigeria: A Study in Anarchy and Negotiation. Bhúmi, The Planning Research Journal 9.1, 2022, S. 18–34, doi.org/10.4038/bhumi.v9i1.86
- [19] Oworonshoki – Building Guide for a Flood Resilient Waterfront Community. Fabulous Urban – Nigeria Foundation, 2023, www.academia.edu/111930450/OWORONSHOKI_BUILDING_GUIDE_for_a_Flood_Resilient_Waterfront_Community
- [20] Lux, Katharina: Postkoloniale Stadtplanung in der Lehre: Ein paar Fragen an Fabienne Hoelzel. Baunetz, 17. Oktober 2023, www.baunetz-campus.de/people/postkoloniale-stadtplanung-in-der-lehre-ein-paar-fragen-an-fabienne-hoelzel-8370522
- [21] Mpahlwa Luyanda: Reclaiming the Past: Our Heritage, Our Cultures, Our Future. Architectural Guide Sub-Saharan Africa, Volume 1, DOM publishers, Berlin, 2021, S. 178



Das Buch zum Thema:

Mike Schlaich: Bauen in Afrika

Cape to Cairo in 150 Tagen:

Erfahrungen eines Ingenieurs

210 × 230 mm, 240 Seiten

300 Abbildungen, Softcover

ISBN 978-3-86922-790-0

38,00 Euro, November 2024

www.dom-publishers.com

Afrika kann das fossile Zeitalter überspringen. In Ergänzung zum traditionellen Selbstbau kommt man um Beton nicht herum, aber wir müssen ihn sinnvoll einsetzen und versuchen, ihn aus natürlichen regionalen Vorkommen zu gewinnen. Dann wird er preiswertes, dauerhaftes und nachhaltiges Bauen für viele Menschen ermöglichen. Die Landflucht wird erst zurückgehen, wenn ganzjährig nutzbare Straßen und Brücken der Landbevölkerung Zugang zu Schulen, Märkten und medizinischer Versorgung schaffen. Kann sich Afrika dazu nicht die Kraft weltweiter Zusammenarbeit, auch die Chinas, zunutze machen? Ist der Wohnungsbau in Afrika wirklich eine *Mission impossible*? Was in Afrika geschieht, betrifft uns alle. Deshalb sollten wir Bauingenieurinnen und Bauingenieure beim Bauen in Afrika mitmachen, gemeinsam mit allen Beteiligten, unvoreingenommen und mit unseren berufsspezifischen Kenntnissen.

Eine anwendungsfreundliche und prinzipiell typisierende Richtlinie für die Wiederkehrende Bauwerksprüfung

Der Bau-Überwachungsverein hat seinen praxisbezogenen Leitfaden als konkrete Empfehlung für die Fachwelt in zweiter und erweiterter Fassung fortgeschrieben

Vor zwölf Jahren hat der Bau-Überwachungsverein (BÜV), der in den 1980er-Jahren von Prüfeningenieuren als Reaktion auf die Privatisierung staatlicher Prüfungsaufgaben am Bau gegründet worden war, eine Richtlinie für die Vorgehensweise bei wiederkehrenden Bauwerksprüfungen im Hochbau erarbeitet und seither mit erheblicher sachkundiger Akribie vervollkommen. Nun ist das Resultat dieser vertiefenden Fortschreibung erschienen. Sie bietet Festlegungen, Definitionen und Anwendungsregeln für die Durchführung solcher Prüfungen und kann, in Anlehnung an offizielle Regelwerke für Bauwerke des allgemeinen Hoch- und Industriebaus, als praxisnahes, eigenständiges Werk angewendet werden. Zielgruppe dieser Richtlinie sind, neben den einschlägig tätigen qualifizierten Sachverständigen, Bauherren, Eigentümer, Kommunen und Unternehmen der Immobilienwirtschaft. Ihnen allen dient diese Arbeitshilfe als praxisgerechter, vereinheitlichender und anwendungsfreundlicher Leitfaden.

1 Einführung

Spätestens nach dem Einsturz des nordöstlichen Dachteils der Eissporthalle in Bad Reichenhall am 2. Januar 2006 um 15:54 Uhr – der Bereich lag über der noch in Betrieb befindlichen Eisfläche – setzte eine intensive Diskussion über die Gewährleistung der Standsicherheit von Hochbauten in Deutschland ein. Auch wurden rasch Vergleiche mit der wiederkehrenden, verpflichtenden Inspektion von Fahrzeugen gezogen und entsprechende gesetzliche Regelungen gefordert.

2 Grundlagen

Die gesetzlichen Grundlagen sind die von der Bauministerkonferenz beschlossene Musterbauordnung (MBO), welche die einzelnen Landesparlamente in die jeweiligen Länderbauordnungen mit entsprechenden länderspezifischen Anpassungen überführen, und das Bürgerliche Gesetzbuch mit seinen Paragraphen 823 (Schadensersatzpflicht), 836 (Haftung des Grundstücksbesitzers) sowie 837 (Haftung des Gebäudebesitzers). In der MBO regelt Paragraph 3 die Allgemeine Anforderung an bauliche Anlagen wie folgt [1]:

(1) Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden; dabei sind die Grundanforderungen an Bauwerke gemäß Anhang I der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zu berücksichtigen.



Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Schmiedmayer studierte und promovierte an der TU Wien und München und ist Mitgesellschafter der *m4 Ingenieure* (München), öbv Sachverständiger für mineralische Baustoffe und Mauerwerk, zertifizierter Bauwerksprüfer, sachkundiger Planer für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen und Leiter des Arbeitskreises Wiederkehrende Bauwerksprüfung im Hochbau des BÜV.

(2) Dies gilt auch für die Beseitigung von Anlagen und bei der Änderung ihrer Nutzung.

Diese Kernvorgabe hinsichtlich der Gewährleistung der Standsicherheit, der Abwehr von Gefahren für Gesundheit und Leben während der Nutzung, des Betriebes, des Umbaus und der Beseitigung von Bauwerken übernehmen die einzelnen Länderbauordnungen, ohne an der Kernaussage etwas zu verändern, mit mehr oder weniger spezifischen Anpassungen. Exemplarisch wird auf die Länderbauordnungen von Bayern [2], Baden-Württemberg [3], Berlin [4] verwiesen. Thüringen [5] hat den Paragraphen 3 der MBO wortgleich übernommen. Exemplarisch wird hier die Bauordnung Nordrhein-Westfalen [6] zitiert:

§ 3 Allgemeine Anforderungen

(1) Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden, dabei sind die Grundanforderungen an Bauwerke gemäß Anhang I der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zu berücksichtigen. Dies gilt auch für die Beseitigung von Anlagen und bei der Änderung ihrer Nutzung. Anlagen müssen bei ordnungsgemäßer Instandhaltung die allgemeinen Anforderungen des Satzes 1 ihrem Zweck entsprechend dauerhaft erfüllen und ohne Missstände benutzbar sein.

(2) Die der Wahrung der Belange nach Absatz 1 dienenden allgemein anerkannten Regeln der Technik sind zu beachten. Von diesen Regeln kann abgewichen werden, wenn eine andere Lösung in gleicher Weise die Anforderungen des Absatzes 1 erfüllt. Als allgemein anerkannte Regeln der Technik gelten auch die von der obersten Bauaufsichtsbehörde durch Verwaltungsvorschrift als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln.

Der Vollständigkeit halber wird auch BGB § 836 zitiert:

(1) Wird durch den Einsturz eines Gebäudes oder eines anderen mit einem Grundstück verbundenen Werkes oder durch die Ablösung von Teilen des Gebäudes oder des Werkes ein Mensch getötet, der Körper oder die Gesundheit eines Menschen verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Besitzer des Grundstücks, sofern der Einsturz oder die Ablösung die Folge fehlerhafter Errichtung oder mangelhafter Unter-

haltung ist, verpflichtet, dem Verletzten den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen. Die Ersatzpflicht tritt nicht ein, wenn der Besitzer zum Zwecke der Abwendung der Gefahr die im Verkehr erforderliche Sorgfalt beobachtet hat.

(2) Ein früherer Besitzer des Grundstücks ist für den Schaden verantwortlich, wenn der Einsturz oder die Ablösung innerhalb eines Jahres nach der Beendigung seines Besitzes eintritt, es sei denn, dass er während seines Besitzes die im Verkehr erforderliche Sorgfalt beobachtet hat oder ein späterer Besitzer durch Beobachtung dieser Sorgfalt die Gefahr hätte abwenden können.

(3) Besitzer im Sinne dieser Vorschriften ist der Eigenbesitzer. [7]

3 Richtlinien

Auch wenn die entsprechenden rechtlichen Grundlagen für die Erhaltung der Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit (um auf die technisch geläufigen Begriffe zu wechseln) von Gebäuden seit langem in den Bauordnungen verankert sind, entstand nach Bad Reichenhall eine allgemeine Unsicherheit darüber, wie und mit welcher Dokumentation der Verfügungsberechtigte eines Gebäudes nachweisen kann, dass er diesen Verpflichtungen ausreichend nachkommt und nicht schuldhaft handelt.

So veröffentlichte die (damalige) Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern im September 2006 die *Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten* [8]. In diesen Hinweisen sind wesentliche Elemente der nachfolgend veröffentlichten Richtlinien und Regeln bereits im Kern enthalten. In weiterer Folge entstanden im Juni 2007 das *Merkblatt Bauwerksbuch: Empfehlungen zur Sicherheit und Erhaltung von Gebäuden* des DBV [9], 2008 die *Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes* (RÜV [10]), 2010 die entsprechende Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 6200 [11]) sowie ergänzend dann 2021 die Handlungsempfehlungen zur Inspektion (VDI 6199 [12]).

Weitere Empfehlungen speziell für die Wartung und Inspektion von Parkbauten wurden in die 3. Auflage des Merkblattes Garagen und Parkhäuser des Deutschen Beton- und Bautechnikvereines [13] aufgenommen.

Die geplante Novellierung der Instandsetzungsrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) als Instandhaltungsrichtlinie (ebenfalls mit speziellen Hinweisen zur Inspektion von Betonbauten) mündete letztendlich in der vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) veröffentlichten Technischen Regel zur Instandhaltung von Betonbauten (TR-Instandhaltung).

4 BÜV-Richtlinie

4.1 Allgemein

Nachdem die Mitglieder des Bau-Überwachungsvereins mehrjährige Erfahrungen mit der wiederkehrenden Bauwerksprüfung im Hochbau gemacht hatten, entschloss man sich im Jahre 2012, diese Erfahrungen in einer Richtlinie zusammenzufassen und veröffentlichte sie im Jahr 2016. Der Arbeitskreis des BÜV, der diese Richtlinie ausgearbeitet hatte, nahm es sich anschließend zur Aufgabe, seine Arbeit nach fünf bis acht Jahren zu aktualisieren und weitere Planungs- und Arbeitshilfen hinzuzufügen.

Mit der Verabschiedung der ersten Überarbeitung im Dezember 2023 liegt nun seit Anfang dieses Jahres die 2. Fassung mit erweiterten Anhängen den fachkundigen Kollegen als Arbeitshilfe vor. Die Zielgruppe der Richtlinie sind aber auch Bauherren, Eigentümer, Kommunen und Unternehmen der Immobilienwirtschaft als praxisgerechter, anwendungsfreundlicher Leitfaden für die Umsetzung der wiederkehrenden Bauwerksprüfung im eigenen Bestand. Die Richtlinie versteht sich als eigenständiges Werk in Anlehnung an die oben angeführten, parallel vorhandenen Regelwerke.

4.2 Der Bau-Überwachungsverein

Der Bau-Überwachungsverein wurde 1987 von Prüfengeuren für Bau- statik als Reaktion darauf gegründet, dass die staatlichen Verwaltungen sich aus der präventiven Gefahrenabwehr zurückziehen begannen, der immer noch effektivsten Methode für die Gewährleistung von Bau- sicherheit. Die politischen Beschlüsse, die damals als Deregulierung im Interesse der Bürger gepriesen worden sind, haben inzwischen erheb- lich negative Konsequenzen entfaltet, deren ungünstige Auswirkungen auf das Bauwesen in der Folgezeit durch das anhaltend wu- chernde Normenwerk dramatisch verstärkt worden sind.

Der Bau-Überwachungsverein sieht es deshalb heute als seine wich- tigste Aufgabe an, Bauherren, Bauverwaltungen und andere mit der Planung, Ausführung und Nutzung von Bauwerken befasste Personen und Einrichtungen über seine deutschlandweit tätigen Experten mit Prüf- und Überwachungsleistungen bei der Vorbereitung, Errichtung und Instandhaltung von baulichen Anlagen zu unterstützen, insbeson- dere dort, wo es an helfenden staatlichen Regelungen fehlt.

4.3 Voraussetzungen der wiederkehrenden Bauwerksprüfung – die Stufe 0

In der Umsetzung der wiederkehrenden Bauwerksprüfung zeigte sich, dass eine sehr unterschiedliche Auffassung von der Art und dem Um- fang wiederkehrender Bauwerksprüfungen vorlag, vor allem aufseiten der Verfügungsberechtigten. Eine oft geäußerte Frage war: „Muss ich wirklich alle paar Jahre ein Gutachten über die Standsicherheit meines Objektes machen lassen?“

Deswegen zeigt die BÜV-Richtlinie im Kapitel 3 auf, wie die Vorausset- zungen zur Durchführung der wiederkehrenden Bauwerksprüfung ge- schaffen werden. Die Grundlage der wiederkehrenden Bauwerksprü- fung ist dabei das *Bauwerksbuch*. Es wird von einem *qualifizierten Sachverständigen* im Vorfeld erstellt – bezeichnet als Stufe 0.

Als qualifizierter Sachverständiger nach der Richtlinie des BÜV gilt ein Bauingenieur oder eine Bauingenieurin mit mindestens zehnjähriger beruflicher Erfahrung im Bereich der Tragwerksplanung, der Baulei- tung, der Bauüberwachung und vergleichbarer Tätigkeiten in einer oder mehreren Fachrichtungen. Von den nachgewiesenen Tätigkeiten müs- sen sich mindestens fünf Jahre auf die Aufstellung von Standsicher- heitsnachweisen und mindestens ein Jahr auf die technische Baulei- tung oder die Bauüberwachung beziehen. Dies entspricht den Anfor- derungen an die *besonders fachkundige Person* nach VDI 6200 [11]. Prüfsachverständige für die Standsicherheit von Gebäuden gelten per se als qualifizierte Sachverständige. Der Weg zur Erstellung des Bau- werksbuches ist in **Abbildung 1** dargestellt. Es wird dabei zwischen Neubauten und Bestandsbauwerken unterschieden.

Bei Neubauten haben der Auftraggeber oder Eigentümer des Objektes am Ende der Baumaßnahme eine vollständige Bauwerksdokumentation zu erhalten, welche alle Unterlagen der einzelnen Fachplaner enthält. Aus dieser Bauwerksdokumentation entnimmt nun der qualifizierte Sachverständige die für die wiederkehrende Bauwerksprüfung erfor-

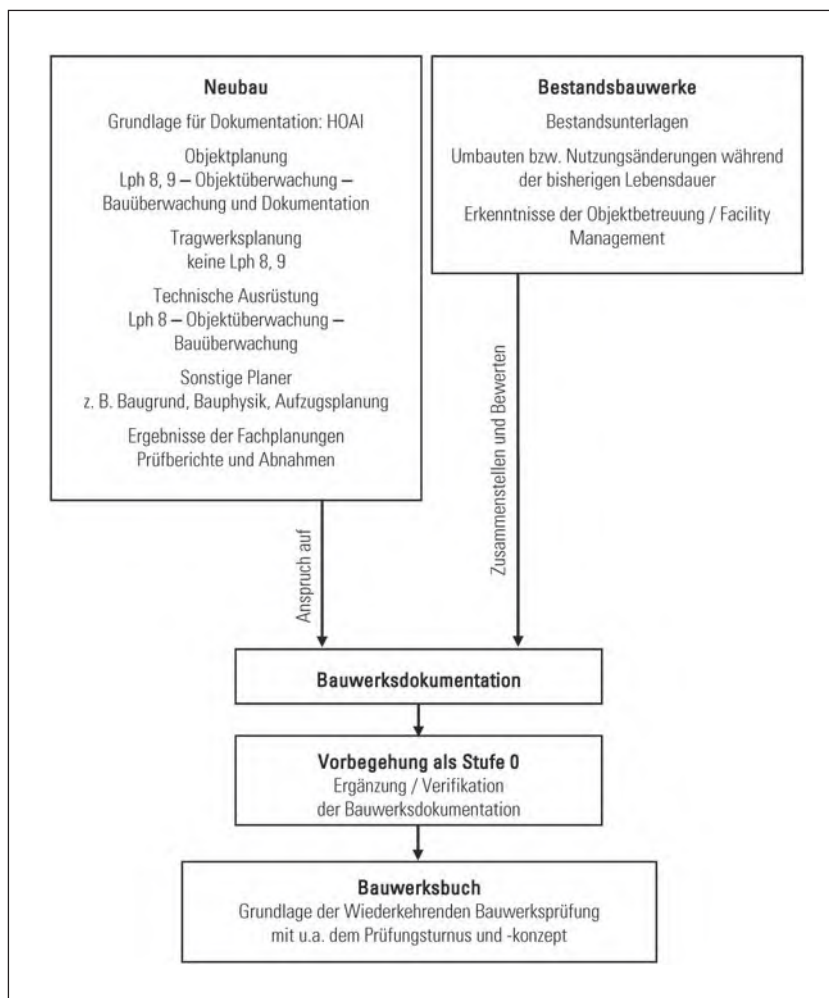


Abb. 1: Ablaufschema der Erstellung eines Bauwerksbuches

derlichen Informationen in kompakter Form und gleicht diese Informationen in einer Vorbegehung mit dem tatsächlichen Bestand ab und erstellt das Bauwerksbuch – die Stufe 0.

Bei Bestandsbauten liegt die Bauwerksdokumentation oft nicht oder nicht vollständig vor. Auch sind frühere Umbauten oder Änderungen mitunter unzureichend dokumentiert oder deren Dokumentationen sind verloren gegangen. Bei einer für Altbauten (gegebenenfalls auch für Neubauten) vom qualifizierten Sachverständigen festgestellten unzureichenden Bauwerksdokumentation sind die erforderlichen Informationen durch tiefergehende Unterlagenrecherchen und ergänzende Bauwerksuntersuchungen, Nachrechnungen, Bauteilöffnungen et cetera (durch Labore oder geeignete Ingenieurbüros) wiederzubeschaffen beziehungsweise neu zu erstellen. Diese Bestandsaufnahme ist nicht Gegenstand der Richtlinie und sollte zumindest durch den qualifizierten Sachverständigen begleitet werden, um einen ausreichenden Informationsgehalt sicherzustellen. Nach Vorlage dieser (einmaligen) Untersuchungen erfolgen (wie beim Neubau) ein Abgleich und die Erstellung des Bauwerksbuches.

Das Bauwerksbuch muss alle wichtigen Daten und Konstruktionszeichnungen der baulichen Anlage enthalten, die wiederkehrend zu prüfen sind. Über den genauen Inhalt und Umfang der Unterlagen des Bauwerksbuches entscheidet der qualifizierte Sachverständige in Abhängigkeit von der Bauwerkskategorie. Die Abstimmung mit den Eigentümern oder Bauherren und deren Beratung ist dabei selbstverständlich. Das Bauwerksbuch kann/soll auch Unterlagen für den Brandschutz und die Gebäudetechnik enthalten, wenn diese zum Gegenstand der wiederkehrenden Bauwerksprüfung werden. Auch enthält es die Fest-

legung der Bauwerkskategorie sowie die Intervalle der turnusmäßigen Begehungen auf Grundlage der Vorbegehung. In Anlage A der BÜV-Richtlinie listen die Tabellen 1 bis 4 die entsprechenden Bauwerkskategorien auf, Tabelle 5 enthält Empfehlungen für die Intervalle der Sichtprüfung und der handnahen Prüfung.

Listen mit den Bauwerkskategorien, den Empfehlungen für die Prüfintervalle in Abhängigkeit von der jeweiligen Bauwerkskategorie sowie eine Checkliste mit dem Inhalt des Bauwerksbuches sind also in den Anlagen der Richtlinie enthalten. Eine beispielhafte Gliederung des Bauwerksbuches kann als pdf-Datei auf der Internetseite des BÜV heruntergeladen werden [14].

Es wird besonders darauf hingewiesen, dass auch die erforderliche Zugangstechnik im Zuge der Erstellung des Bauwerksbuches zu klären ist und im Bauwerksbuch entsprechend dokumentiert wird. Dies betrifft auch gegebenenfalls erforderliche bauliche Maßnahmen wie die temporäre Abnahme von Verkleidungen. Es hat sich auch gezeigt, dass bei Neubauten immer wieder die Revisionierbarkeit und Zugängigkeit von Bauteilen für die wiederkehrende Bauwerksprüfung übersehen wird. Es empfiehlt sich der Einbau von eigenen Revisionsklappen für die wiederkehrende Bauwerksprüfung bis hin zu Kriech- und Wartungsstegen in größeren Hohlräumen.

Sowohl bei Neu- als auch bei Bestandsbauten ist die Erstellung des Bauwerksbuches als Grundlage der Wiederkehrenden Prüfung im Hochbau nicht durch eine Grundleistung der HOAI abgegolten. Für diese Leistung ist der qualifizierte Sachverständige (oder Prüfsingenieur) gesondert zu beauftragen.

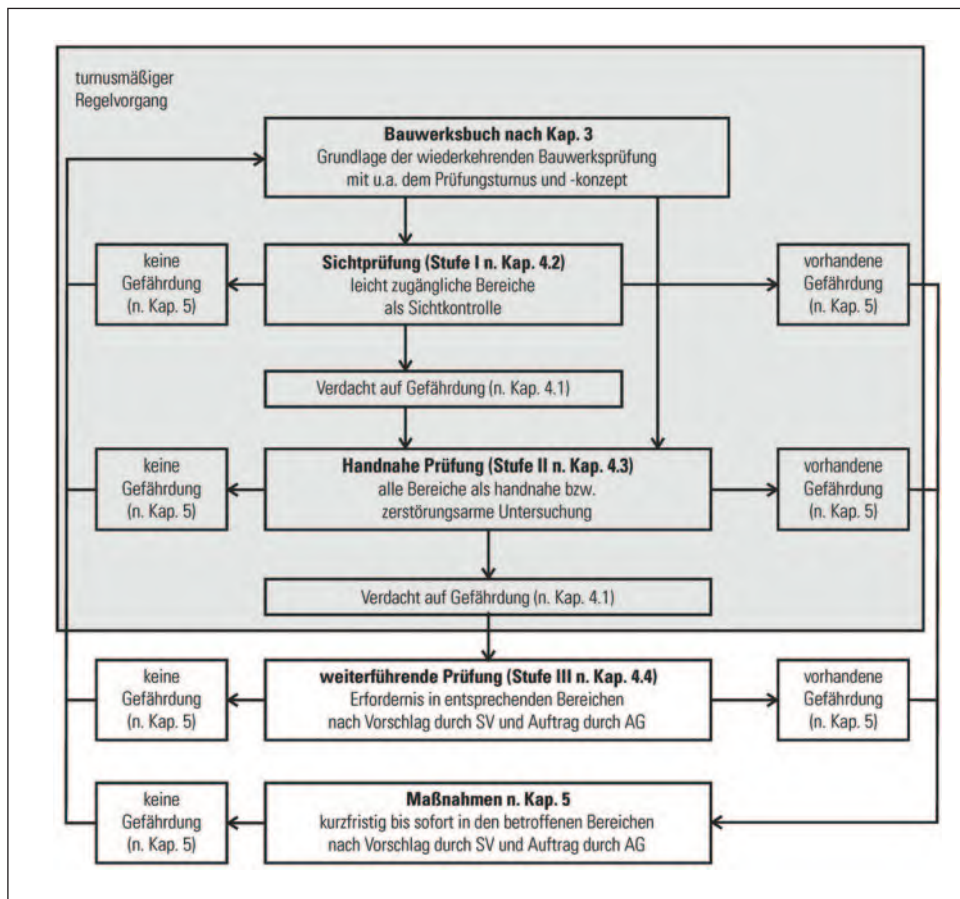


Abb. 2: Ablaufschema der wiederkehrenden Bauwerksprüfung nach der Richtlinie des BÜV – der von der Richtlinie beschriebene Regelvorgang ist grau hinterlegt.

4.4 Der Ablauf der wiederkehrenden Bauwerksprüfung

Mit der einmaligen Beschaffung der Grundlagen durch die Erstellung des Bauwerksbuches kann in den festgelegten Zyklus der wiederkehrenden Bauwerksprüfung eingestiegen werden. Das entsprechende Ablaufschema zeigt **Abbildung 2**. Die Erfahrung der Mitglieder des BÜV-Arbeitskreises hat gezeigt, dass die Unterscheidung zwischen fachkundiger und besonders fachkundiger Person gemäß VDI 6200 in der Praxis bei den einzelnen Prüfzyklen nicht wirklich umgesetzt wird, sondern die Begehungen in der Regel gleich durch die besonders fachkundige Person gemeinsam mit Mitarbeitern/-innen geleitet werden. Die Richtlinie verzichtet daher auf unterschiedliche Qualifikationen für die Sichtprüfung und die handnahe Prüfung und führt nur den qualifizierten Sachverständigen als verantwortlichen Prüfer an. Die in der Richtlinie

für die Standsicherheit und die regelmäßige Überprüfung von Bauwerken des Vereins Deutscher Ingenieure VDI 6200 in 10.1.1 enthaltene regelmäßige Begehung durch den Eigentümer oder Verfügungsberechtigten ist in der BÜV-Richtlinie nicht Bestandteil der turnusmäßigen Bauwerksprüfung, da diese Kontrollen als regulärer Bauunterhalt und Betriebskontrolle durch den Eigentümer angesehen wird.

4.4.1 Stufe I: Sichtung/Sichtprüfung

Die Sichtung und Sichtprüfung werden gemäß dem im Bauwerksbuch vorgegebenen Turnus terminiert und vorbereitet und umfassen die Feststellung visuell erkennbarer Auffälligkeiten und Schäden in leicht zugänglichen Bauwerksbereichen. Hierbei wird auf offensichtliche Verformungen, Durchfeuchtungen, funktionsgerechte Entwässerung, Kor-

Stufe I - Sichtung / Sichtprüfung

- ☐ Deckblatt mit Angabe zu Auftraggeber, Auftragnehmer, zu untersuchendes Bauwerk, Art der Prüfung, Datum Ortstermin bzw. Begehung
- ☐ Veranlassung / Aufgabenstellung
- ☐ Zugrunde liegende Unterlagen, Richtlinien und Regelwerke
- ☐ Beschreibung des Tragwerks
- ☐ Angaben zum durchgeführten Ortstermin (Datum, Teilnehmer etc.)
- ☐ Dokumentation der Sichtung und der angetroffenen Auffälligkeiten
- ☐ Definition von durchzuführenden Maßnahmen und Arbeiten auf Grundlage der festgestellten Auffälligkeiten (Angabe zum zeitlichen Horizont, Angaben bezüglich Gefährdung (Prioritätenliste, Ampelschaltung etc.))
- ☐ Fazit / Zusammenfassung mit Hinweis auf Erfordernis zur Durchführung der Stufe II (handnahe Prüfung)

Abb. 3: Mindestanforderungen an die Dokumentation der Sichtprüfung

rosion, Risse, Abplatzungen und dergleichen geachtet. Eine entsprechende Checkliste hierfür ist in der Richtlinie enthalten.

Die Feststellungen oder auch vorgefundenen Schäden werden in einem getrennten Bericht erfasst, für den Mindestanforderungen definiert sind (**Abbildung 3**). Ein beispielhaftes Schadenserfassungsblatt kann auf der Internetseite des BÜV heruntergeladen werden [14]. Eine einfache Prüfung kann vom Eigentümer auch abseits des Prüfzyklus angefordert werden, wenn bei der Begehung durch den Eigentümer Auffälligkeiten vorlagen, deren Ursachen nicht offensichtlich sind.

Zum Abschluss der einfachen Begehung des zu untersuchenden Bauwerks erfolgt die Beurteilung, ob eine Gefährdung vorliegt, ob eine Gefährdung nicht ausgeschlossen (vermutet) werden kann oder ob gar keine Gefährdung gegeben ist.

Liegt eine Gefährdung vor, so sind Sofortmaßnahmen zu ergreifen – im Vorfeld dazu gegebenenfalls auch noch weitere spezifische Untersuchungen. Diese sind jedoch Sonderleistungen oder nach HOAI zu honorierende Planungsaufgaben und nicht Bestandteil der wiederkehrenden Bauwerksprüfung. Nach den durchgeführten Sofortmaßnahmen ist jedoch abschließend die Anpassung des Bauwerksbuches auf die neue Situation und eine eventuelle Anpassung des Prüfturnus erforderlich. Erst dann ist der Prüfzyklus wirklich abgeschlossen.

Ist eine Gefährdung nicht auszuschließen, so ist außerplanmäßig eine handnahe Untersuchung (Stufe II) der betroffenen Bereiche durchzuführen. Liegt kein Anzeichen für eine Gefährdung vor, ist die Prüfung mit der Übergabe der Dokumentation und der durch den Eigentümer oder Verfügungsberechtigten gegengezeichneten Kenntnisnahme abgeschlossen.

4.4.2 Stufe II: Handnahe Prüfung

Die handnahe Prüfung – sie dient dem Erkennen von Auffälligkeiten und

Schäden auch in schwer zugänglichen Bereichen (Technikräumen, abgehängten Deckenbereichen, Spitzböden et cetera) – wird ebenfalls gemäß dem im Bauwerksbuch festgelegten Turnus terminiert, vorbereitet und beinhaltet auch stets den Leistungsumfang der Sichtprüfung der Stufe I.

Abweichend vom Prüfturnus kann eine handnahe Prüfung auch als Sonderprüfung aus einer Gefährdungsvermutung anlässlich einer Sichtprüfung (Stufe I) erweitert oder auch aus besonderem Anlass (akuter Schadensfall beauftragt werden).

In beiden Fällen werden Bauteilabmessungen, Material/Baustoffe, Auflager-/Verbindungspunkte, Fugen, Hohlräume und so weiter im Detail untersucht. Diese Untersuchungen erfolgen, zusätzlich zur Sichtung, mit den typischen Hilfsmitteln für die zerstörungsfreien oder -armen Untersuchungen: mit Hubsteigern, Gerüsten, Schmidt-Hammer, Hämmern und Meißeln, Risslupen, Schieblehren, Messgeräten zur Betondeckungsmessung, Endoskopen, Wärmebildkameras, Verformungsmarkern, Feuchtemessgeräten, Schichtdickenmessern (für Anstriche oder Schutzschichten) oder ähnlichen Instrumenten.

Nach der Begehung und der Auswertung der Bauzustandserfassung mit der Dokumentation (**Abbildung 4**) ergibt sich, ob eine Gefährdung auszuschließen, zu vermuten oder vorliegend ist. Liegt eine Gefährdung vor, so ist analog zu der Stufe I zu verfahren und nach Abschluss das Bauwerksbuch anzupassen. Ist eine Gefährdung nicht auszuschließen, so sind vertiefte Untersuchungen und gegebenenfalls Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen – sie liegen aber ebenfalls außerhalb des Bereiches der wiederkehrenden Bauwerksprüfung. Als Abschluss ist jedoch auch hier eine Anpassung des Bauwerksbuches erforderlich. Liegt kein Anzeichen für eine Gefährdung vor, ist die Prüfung mit der Übergabe der Dokumentation und der durch den Eigentümer oder Verfügungsberechtigten gegengezeichneten Kenntnisnahme abgeschlossen.

Stufe II - Handnahe Prüfung

- ☐ Deckblatt mit Angabe zu Auftraggeber, Auftragnehmer, des zu untersuchenden Bauwerks, Art der Prüfung, Datum Ortstermin bzw. Begehung
- ☐ Veranlassung / Aufgabenstellung
- ☐ Zugrunde liegende Unterlagen, Richtlinien und Regelwerke
- ☐ Beschreibung der Tragwerks (Konstruktion, Aussteifung, Fugen, Erschließung, Fassade, Verglasungen, Gründung)
- ☐ Angaben zum durchgeführten Ortstermin (Teilnehmer, Datum, Leistungsgrenzen etc.)
- ☐ Dokumentation der Prüfung und Sichtung der Unterlagen (Vollständigkeit, fehlende Unterlagen und Informationen)
- ☐ Überprüfung bzw. Abgleich der Schneelasten aus der Statik mit den Schneelasten gemäß aktuell gültiger Norm
- ☐ Feststellungen zu Defiziten / Auffälligkeiten / Schäden inkl. Fotodokumentation, z.B. nach Bauwerksteilen oder Bereichen unterteilt
- ☐ Beurteilungen zu festgestellten Defiziten / Auffälligkeiten / Schäden bzw. Beurteilung von Schadensfreiheit, Zustandsbeurteilung
- ☐ Definition von durchzuführenden Maßnahmen und Arbeiten (Angabe zum zeitlichen Horizont, Angaben bezüglich Gefährdung (Prioritätenliste, Ampelschaltung etc.))
- ☐ Information darüber, ob aufgrund v.a. fehlender Unterlagen weiterführende Prüfungen und Untersuchungen erforderlich sind (Stufe III)
- ☐ Fazit / Zusammenfassung mit Darstellung der wesentlichen Ergebnisse

Abb. 4: Mindestanforderungen an die Dokumentation der handnahen Prüfung

4.5 Kosten

Im Zuge der Überarbeitung der Richtlinie hat der BÜV-Arbeitskreis auch ein einfaches Kalkulationstool auf Excel-Basis erstellt, welches sich überwiegend an die Eigentümer und Auftraggeber richtet, um eine erste grobe Abschätzung des Aufwandes für die turnusmäßige wiederkehrende Bauwerksprüfung zu erhalten. Dieses Tool stellte aber keinen Ersatz für die genaue Kalkulation durch den qualifizierten Sachverständigen auf der Grundlage der Vorgaben des Bauwerksbuches dar und kann auf der Website des BÜV heruntergeladen werden [14].

4.6 Schadensbibliothek / FAQ

Ergänzend wurden aus den Ergebnissen unterschiedlicher Prüfungen erste typische Schadensbilder zusammengetragen und in einer ein-

fachen Schadensbibliothek zusammengestellt. Die Systematik lehnt sich an die Musterschäden der *Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen* (RI EBW-Prüf) des Bundesverkehrsministeriums an und enthält ebenfalls grobe Einschätzungen hinsichtlich der Bewertung eines Schadens, ob eine Gefährdung vorliegt oder zu vermuten ist (**Abbildung 5**). Es ist vorgesehen, diese Bibliothek in den nächsten Jahren um weitere typische Schadensbilder zu ergänzen, eine Bewertung wie in der RI EBW-Prüf in den Kategorien Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit einzufügen und so eine Grundlage für eine einheitlichere Bewertung von Schadensbildern zu erhalten. Der Arbeitskreis nimmt entsprechende Anregungen und Schadensbeispiele gerne an und wird diese bei der weiteren Anpassung – unter Nennung oder

Delaminierung der Klebefuge DL (rote Pfeile), Spuren aus ablaufendem Kondensat (blau) Bewertung: Gefährdung liegt vor! Maßnahme: Genauere Untersuchung der Tragfähigkeit (stat. Nachweise). Undichtigkeiten beseitigen und ggf. Sanierung der Klebefugen erforderlich.	Veränderung des räumlichen Klimas 
Betonabplatzungen Bewertung: Gefährdung liegt vor. Maßnahmen: Statische Untersuchung, Auflager korrigieren oder neues Auflager schaffen, Betonsanierung.	Montageungenauigkeit; fehlerhafte Positionierung der Lager. 
Glasbruch Bewertung: Gefährdung liegt vor! Maßnahme: Austausch der Scheibe.	Mechanische Einwirkungen, ungeschützte Kanten, Steinschlag, Spannungen durch unplanmäßige Lagerung 

Abb. 5: Beispiele für „Musterschäden“ in der Schadensbibliothek des Bau-Überwachungsvereins

Abgabe der Bildrechte an den BÜV – in den Katalog mit aufnehmen. Aktuell laufen auch Gespräche mit dem VDI über eine gemeinsame Erarbeitung eines derartigen Schadenskataloges für den Hochbau.

Zur Richtlinie oder zu allgemeinen Themen der wiederkehrenden Bauwerksprüfung können über die Homepage des BÜV (<https://new.bauueberwachungsverein.de>) auch Fragen an die Mitglieder des Ausschusses gestellt werden, deren Antworten dann im Bereich der FAQ veröffentlicht werden. Dies soll auch als Anregung zur fachlichen Diskussion unter den mit der wiederkehrenden Bauwerksprüfung beschäftigten Personen dienen.

Dem Arbeitskreis Wiederkehrende Bauwerksprüfung des Bau-Überwachungsvereins gehören an:

Dipl.-Ing. (FH) Sören Boller, Eutin,
Dipl.-Ing. Jens Gunnar Jepsen, Hamburg,
Dipl.-Ing. Dennis Kargus, Hamburg,
Dr.-Ing. Anton Ruile, München,
Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Schmiedmayer, München
(Vorsitzender),
Dipl.-Ing. Momcilo Vidacković, Berlin (BÜV, Geschäftsführung).

5 Literatur

- [1] Musterbauordnung (MBO); Fassung November 2002; zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 23./24.11.2023
- [2] Bayerische Bauordnung (BayBO); Fassung vom 14. August 2007 (GVBl. S. 588) BayRS 2132-1-B, zuletzt durch § 5 des Gesetzes vom 23. Juli 2024 (GVBl. S. 257) geändert
- [3] Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO-BW) vom 8. August 1995 in der Fassung vom 5. März 2010 (GBl. S. 357, ber. S. 416), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. November 2023 (GBl. S. 422)
- [4] Bauordnung für Berlin (BauOBln) vom 29. September 2005 (GVBl. S. 495), zuletzt geändert durch das Sechste Gesetz zur Änderung der Bauordnung für Berlin vom 20. Dezember 2023 (GVBl. S. 472)
- [5] Thüringer Bauordnung (ThürBO) Fassung vom 2. Juli 2024
- [6] Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW 2018) Fassung vom 21. Juli 2018
- [7] Bürgerliches Gesetzbuch in der aktuellen Fassung; Quelle: www.gesetze-im-internet.de/bgb/index.html
- [8] Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten; September 2006; Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern – jetzt Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr; Bezugsquelle: https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/iib8_hinweise_fuer_die_ueberpruefung_der_standsicherheit_200609.pdf
- [9] Merkblatt Bauwerksbuch - Empfehlungen zur Sicherheit und Erhaltung von Gebäuden; Ausgabe 2007-07; Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V.
- [10] RÜV: Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Juli 2008; Bezugsquelle: <https://www.fib-bund.de/Inhalt/Richtlinien/RUV/>
- [11] VDI 6200:2010-02 Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung; Verein Deutscher Ingenieure
- [12] VDI 6199: 2021-11 Bauwerksinspektionen; Verein Deutscher Ingenieure
- [13] DBV-Merkblatt Garagen und Parkhäuser 2018 – Neuauflage 2022; Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V.
- [14] Richtlinie wiederkehrende Bauwerksprüfung im Hochbau – Fassung November 2023 mit allen Anlagen; Bau-Überwachungsverein e.V.; Bezugsquelle: <https://new.bauueberwachungsverein.de/experten/empfehlungen>

Herausgeberin:**Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik e.V.**

Dr.-Ing. Maike Timm, Präsidentin der BVPI
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin
info@bvpi.de, www.bvpi.de

ISSN 1430-9084

Redaktion:**Redaktionsbüro Werwath**

Drachenfelsstraße 39 A, 53604 Bad Honnef-Rhöndorf
Tel. 0 22 24 / 9 69 79 01
redaktion@bvpi.de

Layout/Satz:**Satz-Studio Heimerl**

Scherenbergstraße 12, 97082 Würzburg

Druck:**Vogel Druck und Medienservice**

Leibnitzstraße 5, 97204 Höchberg

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

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

„Der Prüfsingenieur“ erscheint mit zwei Ausgaben pro Jahr. Bestellungen sind an die Herausgeberin zu richten.

Auflage: 5000 Exemplare

Die Redaktion des PRÜFINGENIEURS bittet ihre Leserinnen und Leser dafür um Verständnis, dass sie sich der Zeiterscheinung des grundsätzlichen, durchgängigen Genders der Texte nicht angeschlossen hat. Sie benutzt das generische Maskulinum wie gewohnt, wird die sprachliche generische Unterscheidung aber immer dann vornehmen, wenn der textliche Bezug dies nahelegt oder gebietet.

3. Umschlagseite

