



DER PRÜFINGENIEUR

Das Magazin der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik

- BVPI fordert „dringend“ zügige und konsequente Anerkennungsverfahren
- US-Experten suchen deutschen Rat für regelmäßige Bauwerkskontrollen
- Wachsendes Interesse an der Ausbildung zum Sachkundigen Planer
- Stahlsegelbrücke mit einem Tragwerk in bisher nie dagewesener Form
- Richtlinie für das Bauen mit Massivholzbauteilen bis zur Hochhausgrenze
- „Eisbeton“ als zuverlässiger Baubehelf bei komplizierten Baumaßnahmen
- Sensitivitätsanalysen für die Aufdeckung versteckter statischer Risiken
- MBO-Brandschutzregeln sollten endlich bundesweit geregelt werden
- Kollegiale Arbeitshilfe für den Umgang mit elektronischen Signaturen

www.bvpi.de | ISSN 1430-9084



November 2021 |

59

Vier Augen sehen mehr ... !



Dr.-Ing. Hartmut Kalleja
Präsident der Bundesvereinigung der Prüfengeure für Bautechnik (BVPI); Geschäftsführer des Ingenieurbüros Specht Kalleja + Partner Beratende Ingenieure GmbH (Berlin)

Der Einsturz eines Hochhauskomplexes in einem Vorort von Miami (USA), dem 98 Menschen zum Opfer fielen, bildet den traurigen Höhepunkt einer Serie von Unglücken in der jüngsten Vergangenheit, die mit Bad Reichenhall begann (15 Tote) und mit London (72 Tote), Genua (43 Tote) und Mexiko (26 Tote) ihre traurige Fortsetzung fand. In diesen Fällen waren die Fachbereiche Standsicherheit und Brandschutz der Prüfengeure betroffen.

In Florida scheint, wie so oft bei derartigen Unglücken, die Kumulation ungünstiger Faktoren die Katastrophe ausgelöst zu haben. Eine Rekonstruktion des Versagens, die in der New York Times veröffentlicht worden war, dokumentierte erhebliche Differenzen zwischen der Planung und der Bauausführung, vor allem in der Tiefgarage, die zuerst versagte. Hier wurden Unterzüge mit geringeren Dimensionen ausgeführt, als in den Planungsunterlagen vorgegeben, und es wurden Beispiele für zu geringe Bewehrungen in einigen Knotenpunkten ausgeführt. Planungs- und Ausführungsmängel scheinen eine vorzeitige Korrosion der Bewehrung in den tragenden Bauteilen begünstigt zu haben, die dann zum totalen Versagen führte (siehe hierzu auch den Bericht auf Seite 12).

Die von der Planung abweichende Bauausführung, die in Florida und bei den anderen Unglücken diagnostiziert wurde, hätte mit dem Vieraugenprinzip identifiziert und damit verhindert werden können – sie wäre deshalb in Deutschland nahezu unmöglich, weil solche und andere Fehler von einem Prüfengeur für Standsicherheit oder Brandschutz frühzeitig korrigiert werden können.

Eine Gemeinsamkeit all dieser Unglücke ist, dass die betroffenen Gebäude jeweils mehrere Jahre lang intensiv genutzt, aber auch immer mal wieder inspiziert worden sind, und dass sie damit in der öffentlichen Wahrnehmung als sicher galten. Dies wirft die Frage auf, wie künftig mit Bestandsgebäuden umgegangen werden soll.

Darüber auch in Deutschland nachzudenken wird umso wichtiger, als wir es wegen politisch motivierter Regelsergungen im Hinblick auf die CO₂-Reduktion, auf Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und geringeren Materialeinsatz immer häufiger mit modernisierten Bestandsgebäuden zu tun haben werden, die nicht nur lebenszeitlich länger, sondern

häufig auch anders als ursprünglich vorgesehen genutzt werden sollen. Hier werden Parallelen mit jenen Problemen sichtbar, die die Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand zur Folge hatten. Diese Richtlinie, an deren Entwicklung Mitglieder der Bundesvereinigung der Prüfengeure für Bautechnik (BVPI) substantziell beteiligt waren, zeigt unwiderlegbar, dass fachliche Wissensträger wie die Prüfengeure an solchen Prozessen beteiligt werden müssen.

Der Einsturz in Florida wird in den USA regulatorische Konsequenzen haben, genauso wie es in Großbritannien, in Italien oder in Deutschland nach den dort aufgetretenen Unglücksfällen der Fall war.

In Deutschland wurde nach dem Unglück in Bad Reichenhall über die Bewertung von Bestandsgebäuden neu nachgedacht und – wiederum unter Mitwirkung von BVPI-Mitgliedern – mit der VDI 6200 eine technische Richtlinie für regelmäßige Standsicherheitsüberprüfungen geschaffen, die Indikatoren liefern kann, um frühzeitig schadensverhindernd einzugreifen. Eine Inspektion erfolgte in Florida zwar auch, aber die Beseitigung der dabei festgestellten Mängel wurde von den Eigentümern mehrere Jahre verzögert.

Über den Brand im Londoner Grenfell Tower gab es einen Untersuchungsbericht, in dem die Experten einen neuen Rechtsrahmen und klare Regelungen für Verantwortlichkeiten bei unterschiedlichsten Eigentumsverhältnissen sowie die gesetzliche Installation eines konkret benennbaren, kompetenten *Verantwortlichen für Gebäudesicherheit* fordern.

Das sollten wir uns als Beispiel nehmen. Auch wir sollten uns kritisch fragen, ob Eigentümerversammlungen alle Entscheidungen über ihre Bauwerke alleine treffen sollen. Eigentum verpflichtet! Aktionäre, Eigentümer und Mieter müssen monetäre Interessen hintanstellen, wenn es um die Sicherheit ihrer Gebäude und deren Bewohner und Nutzer geht.

Ich bin der Meinung, dass der Grund für die sehr wenigen Schadensfälle in Deutschland unser fast einhundert Jahre altes und deshalb sehr bewährtes Vieraugenprinzip ist. Es bildet im deutschen Prüfengeurwesen ein adäquates Instrument für bautechnische Sicherheit durch personalisierte, eigenverantwortliche Kontrolle und neutrale Überwachung, und es vereint – was einzigartig in der Welt ist – fachliche Kompetenz, weisungsfreie Unabhängigkeit und bauaufsichtlich legitimes Durchsetzungsvermögen in einer Person.

Damit dies so bleiben kann, soll hier wiederholt dafür plädiert werden, den grassierenden politischen Deregulierungspräferenzen den hoheitlich beauftragten und dadurch vor der Einwirkung wirtschaftlicher Interessen Dritter geschützten Prüfengeur entgegenzusetzen und ihn in allen Bundesländern wieder in den gesetzlichen Stand des *anerkannten Prüfengeurs als beliebigen Unternehmers* zu setzen.



SEHR VIEL TECHNIK war erforderlich, um die diesjährige Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfm Ingenieure für Bautechnik (BVPI) mit ihren zahlreichen Fachvorträgen und fachlichen Diskussionen zu veranstalten, die, der Coronapandemie wegen, in diesem Jahr erstmals digital durchgeführt worden ist. Der Bericht darüber steht auf Seite 6.



EDITORIAL

Dr.-Ing. Hartmut Kalleja:
Vier Augen sehen mehr ... !

3

NACHRICHTEN

BVPI-Präsident Kalleja fordert dringend regelmäßige, konsequente und zügige Anerkennungsverfahren / „Der Rückgang des Nachwuchses und der Zulassungen bedroht den Fortbestand unseres ganzen Berufsstandes“	6
Die BÜV-Ausbildungsreihe für Sachkundige Planer ruft ein immer größeres Interesse an der Zertifizierung hervor	9
Mit ELBA kreiert die Bundesvereinigung der Prüfm Ingenieure die Schnittstelle für den Datenaustausch ohne Medienbruch	10
Neue Musterholzbau-Richtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise	11
Nach dem Hochhauseinsturz in Miami: US-amerikanische Bauexperten suchen den konkreten Erfahrungsaustausch mit deutschen Kollegen	
Digitale Statikdateien und Pläne können bei größeren Projekten durchaus zu Mehraufwand für die Prüfer führen	13
Zwanzig Jahre Bewertungs- und Verrechnungsstelle der Prüfm Ingenieure in Berlin und Brandenburg	14
Architekten und Ingenieure in NRW können sich nun auch als Prüfm Ingenieure für Brandschutz anerkennen lassen	16
DIBt-Präsident Breitschaft: Wir werden den Planern und Bauausführenden Wege zu europarechtlich verträglichen Bauprodukten weisen	17
Neuer Vorstand der Prüfm Ingenieure in Bremen: Dr.-Ing. Maik Timm löst Dipl.-Ing. Uwe Sabotke ab	18
Hinweise für den Umgang mit elektronischen Signaturen bei der digitalen Prüfung bautechnischer Nachweise	18
Bauprodukte-Verordnung vs. Eurocodes: Lösungsvorschlag würde zu einer Verschiebung der Verantwortlichkeiten auf die Planung und Prüfung führen	19
DAfStb-Entwurf für Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten mit Regelungen für die biegeeweiche Lagerung	20



DIE STAHLSEGELBRÜCKE über den Neckar im neuen Eisenbahnknoten des Gesamtprojekts Stuttgart21 stellt wegen ihres besonderen Tragwerks ein hochinnovatives Bauwerk dar – und für die an Planung, Bauausführung und Prüfung und Kontrolle Beteiligten war es eine nicht endende Folge außergewöhnlicher Herausforderungen. Über sie berichtet einer der Planer dieses Projekts auf Seite 21.



UNTER DER KÖNIGSALLE in Düsseldorf wurde für eine Unterfahrung der Baugrund vereist – dort wurde wieder bewiesen, dass die Baugrundvereisung eine nicht nur allgemein sehr sichere Bauhilfsmaßnahme, sondern insbesondere auch für hochkomplizierte Baumaßnahmen ein zuverlässiger und äußerst flexibler Baubehelf ist. Über die thermische und mechanische Bemessung solcher „Eisbeton“-Projekte steht mehr auf Seite 40.

BRÜCKENBAU

Dipl.-Ing. Frank Schächner:

Stadtbildprägend, selbstbewusst, mit originärem Charakter: Die neue S21-Eisenbahnbrücke in Stuttgart-Bad Cannstatt / Eine Stahlsegelbrücke mit einem innovativen Tragwerk in bisher nie dagewesener Form im Eisenbahnbrückenbau 21

HOLZBAU

Dr.-Ing. Mandy Peter:

Die neue Holzbaurichtlinie als wichtiger Schritt zur weiteren Popularisierung der Holzbauweise / Erstmals ist in Deutschland das Bauen mit massiven Holzelementen bis zur Hochhausgrenze möglich 35

GEOTECHNIK

Dr.-Ing. Wolfgang Orth:

Die Bodenvereisung ist vor allem für komplizierte Baumaßnahmen ein zuverlässiger und flexibler Baubehelf / Die thermische und mechanische Bemessung des Eisbetons verlangt aber die Berücksichtigung spezieller Fachgebiete 40

TRAGWERKSPLANUNG

Martin Fußeder, M.Sc. / Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger:

Sensitivitätsanalysen unterstützen die Auslegung statischer Systeme und können Sicherheitsrisiken aufdecken / Optimierte Transparenz und mehr Information versprechen in Planung und Prüfung einen klaren praktischen Mehrwert 48

BRANDSCHUTZ

Lena-Elisabeth Buch, M. Eng.:

Die Brandschutzvorschriften für Standardgebäude sollten endlich bundesweit einheitlicher beschrieben werden / Könnten die MBO-Brandschutzregeln deshalb nicht als Technische Regel in die MVV TB aufgenommen werden? 56

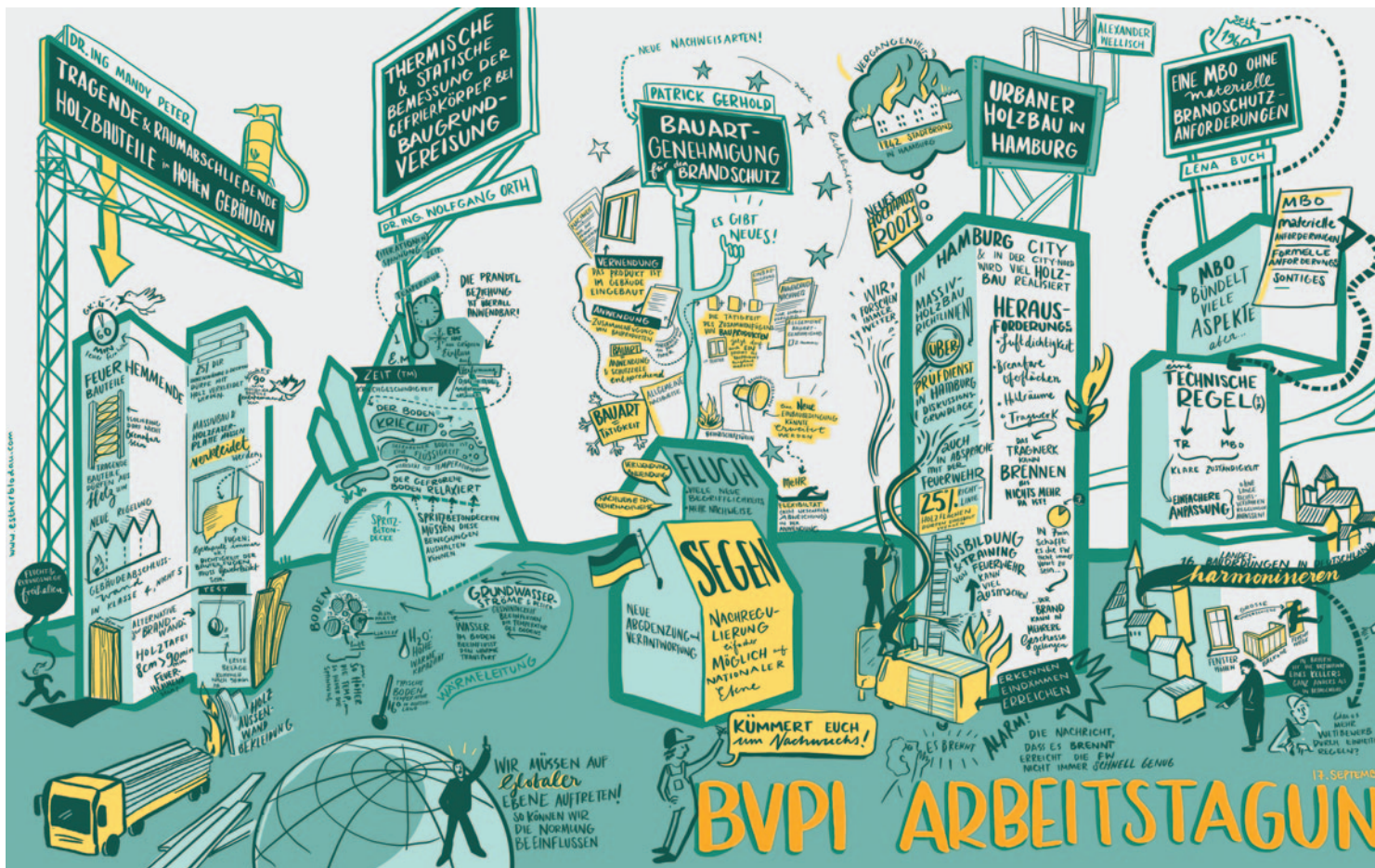
DIGITALISIERUNG

BVPI-Arbeitskreis Digitalisierung:

Hinweise für den Umgang mit elektronischen Signaturen bei der digitalen Prüfung bautechnischer Nachweise / eIDAS-VO, ES, QES, AdES: Viele neue Kürzel für eine neue Art der Unterzeichnung relevanter Dokumente 60

IMPRESSUM

65



BVPI-Präsident Kalleja fordert von den Behörden dringend regelmäßige, konsequente und zügige Anerkennungen „Der Rückgang des Nachwuchses und der Zulassungen bedroht den Fortbestand unseres ganzen Berufsstandes“

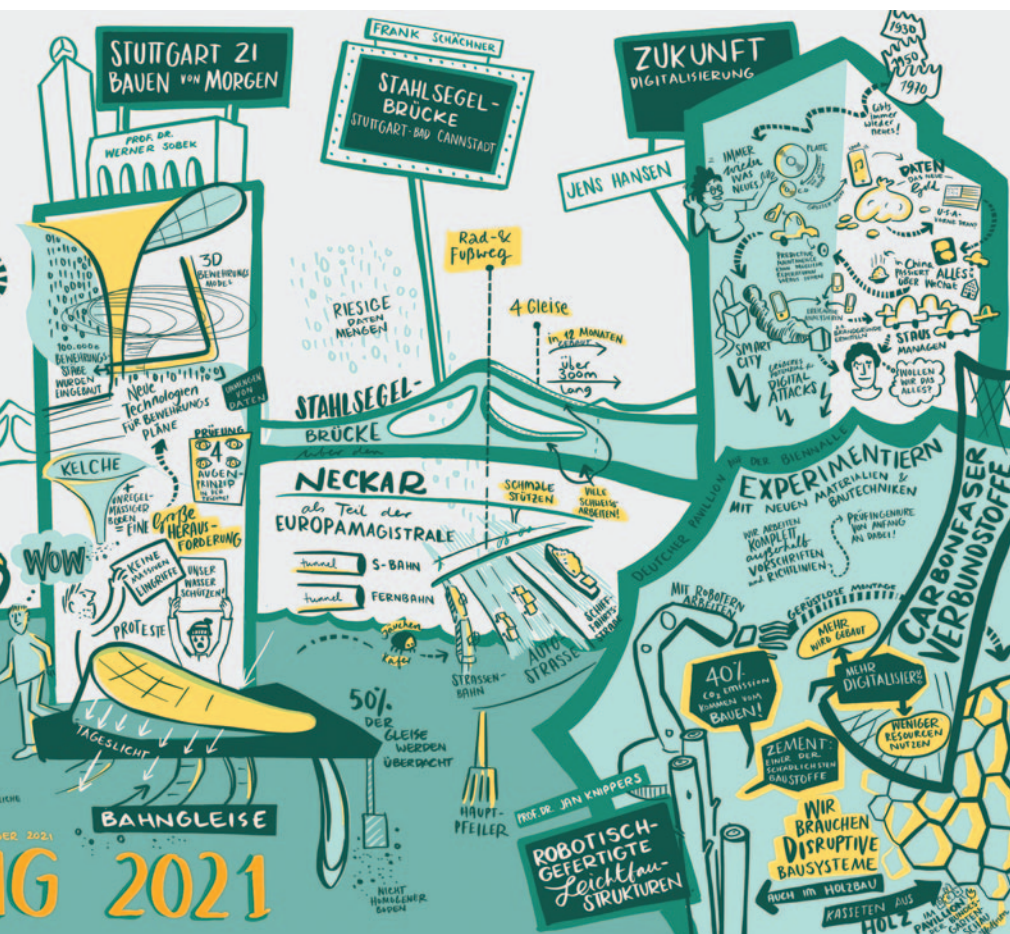
Der zu geringe Nachwuchs und die langwierige Praxis der Anerkennung und Zulassung neuer Prüffingenieure durch die zuständigen Behörden bedrohen den Fortbestand des ganzen Berufsstandes der Prüffingenieure und der Prüfsachverständigen. Diese Gefahr sieht der Präsident der Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik (BVPI), Dr.-Ing. Hartmut Kalleja, und ruft die Bauaufsichtsbehörden deshalb „dringend“ dazu auf, dafür zu sorgen, dass „ihre Anerkennungs- und Prüfungsverfahren in Zukunft regelmäßig, zügig und konsequent durchgeführt werden“. Kalleja nutzte die Eröffnung der traditionellen jährlichen Arbeitstagung der BVPI, die in diesem Jahr der Coronapandemie wegen erstmals als virtuelle Veranstaltung durchgeführt

wurde, um die Fachwelt wiederholt auf die Konsequenzen dieser Entwicklung für den Berufsstand der Prüffingenieure aufmerksam zu machen.

Diese Situation, würde, so sagte Kalleja, noch durch die demografische Lage verschärft, weil jedes Jahr immer mehr Prüffingenieure in den Ruhestand wechselten. Kalleja beklagte, dass Anerkennungsverfahren von zwei oder gar drei Jahren Dauer keine Seltenheit seien – und sprach sich deshalb „nachdrücklich“ dafür aus, dass in jedem Bundesland „jährlich ein Anerkennungs- und Prüfungsverfahren durchgeführt und abgeschlossen werden muss“. Nur so lasse sich der aktuelle Engpass beim Nachwuchs der Prüffingenieurinnen und Prüffingenieure nachhaltig beseitigen. Letztlich liege es ja auch im eigenen Interesse der Bauaufsichtsbehörden,

dass „ausreichend viele Prüffingenieure für die nächsten Jahre zur Verfügung stehen“. In diesem Zusammenhang wies Kalleja auf die bei der BVPI verstärkt eingehende internationale Nachfrage nach Übernahme des durch die Prüffingenieure repräsentierten Vieraugenprinzips hin, angesichts der es geradezu „katastrophal fahrlässig wäre, wenn es uns nicht gelingen würde, unseren Berufsstand langfristig zu sichern“.

Und an die online an der Arbeitstagung teilnehmenden Mitglieder seiner Bundesvereinigung richtete Kalleja die dringende Bitte, sich noch intensiver mit der Nachwuchsförderung zu beschäftigen und geeignete Kandidatinnen und Kandidaten aus den eigenen Reihen auf die Ausübung der bautechnischen Prüftätigkeit vorzubereiten. „Nur wenn wir uns selber intensiv um dieses Thema kümmern, kön-



EIN GRAFISCHES PROTOKOLL hat die Berliner Künstlerin Esther Blodau parallel zur diesjährigen Arbeitstagung gezeichnet. Diese Art des Protokollierens firmiert unter dem Begriff Graphic Recording und bezeichnet die Dokumentation einer Veranstaltung in handgezeichneten Bildern. Graphic Recorder arbeiten auf Konferenzen, Tagungen, Gruppen- und Podiumsdiskussionen, Workshops, Meetings, Vorträgen oder Präsentationen.

virtuellen Tagung der BVPI war wirklich sehr spannend und interessant und stand denjenigen in nichts nach, die sonst in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten den Mitgliedern und den Gästen der BVPI geboten worden sind.

In der Tat: Mehr als 250 Mitglieder hatten sich auf der virtuellen Plattform in die Veranstaltung eingewählt und haben den einzelnen Vorträgen ganz oder teilweise online beigewohnt. Neben den BVPI-Mitgliedern waren aber auch zahlreiche Gäste aus den Obersten und unteren Bauaufsichten, den Ingenieurkammern der Länder und aus den benachbarten Verbänden unter den Teilnehmern, von denen die BVPI-Geschäftsstelle viele positive Rückmeldungen und Anregungen für künftige Vortragsthemen erhalten haben.

nen wir die Zukunft unseres Berufsstandes sichern“, rief der Präsident in den leeren Meistersaal in Berlin-Mitte, von dem aus die diesjährige digitale Arbeitstagung geleitet und gesendet wurde.

Kontaktes, „sehr spannende und interessante Veranstaltungen sein können“, wohl genau solche, wie die, die er gerade virtuell eröffnete. Denn das Programm dieser ersten

Dass diese Premiere aber zugleich auch die letzte sein möge, dass wünschten sich alle ihre Teilnehmer, denn alle waren sich im Nachhinein einig darüber, dass nichts über die „präsen-“ Art der Durchführung solcher Veranstaltungen gehe, weil das persönliche Mit-einander rund um die ganze Tagung, die direkte Teilhabe an den fachlichen Vorträgen und Diskussionen, das beschwingte Erleben gesellschaftlicher Abendstunden unter Kollegen und fachlich gleich Gesinnten abseits jeden beruflichen Stresses oder der gemütliche Plausch in der Hotelbar oder in der Kaffeepause – das alles braucht man mindestens einmal im Jahr unbedingt – so die zahlreich überlieferte Meinung etlicher Mitglieder der BVPI nach diesem Bildschirm-Termin zu Hause, im Büro, unterwegs im Hotel oder wo auch immer ...

Gleichwohl hat Kalleja für diese Art der Veranstaltung geworben, als er sagte, dass Online-Veranstaltungen trotz des fehlenden



ERÖFFNUNG VOR LEEREN RÄNGEN: Die diesjährige Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik (BVPI) wurde digital angeboten. Hier eröffnet der Präsident der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik (BVPI), Dr.-Ing. Hartmut Kalleja (rechts), im Meistersaal in Berlin-Mitte die erste virtuelle Veranstaltung der Prüferingenieure in dieser Art. Durch die „Sendung“ führte der Fernsehmoderator, Schauspieler und Synchronsprecher Marco Ammer.

NACHRICHTEN

trag. Diese kollegialen Zwischenbemerkungen kombinieren *Summaries* mit der beruflichen Vorstellung des nächsten Referenten und einer kurzen Einführung in das jeweilige neue Thema. Diese Aufgabe erfüllten im Verlauf der ersten digitalen BVPI-Arbeitstagung in gewohnter souveräner Manier Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle vom Bundesvorstand der BVPI und dort zuständig für das Vorstandressort Bautechnik und Standsicherheit und Dr.-Ing. Michael Stauch vom Beirat des Bundesvorstandes der BVPI, in dem er sich unter anderem schwerpunktmäßig um die Ausgestaltung der Arbeitstagungen der BVPI kümmert; schließlich moderierte noch der Leiter des Koordinierungsausschusses Brandschutz der BVPI, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Herbert, die zu seinem Fachgebiet gehörenden Beiträge.

Sämtliche Vorträge der diesjährigen Tagung werden in dieser und der nächsten Ausgabe des *PRÜFINGENIEURS* als Fachbeiträge oder Berichte veröffentlicht.

In diesem Heft kommen mit folgenden Themen zu Wort:

- Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger (Technische Universität München, Lehrstuhl für Statik) über: Sensitivitätsanalysen mit ver-



DIE MODERATOREN der einzelnen Fachvorträge fassen den gerade gehörten Vortrag zusammen und führen in den nächsten ein. In der Vormittagssession hatte Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle vom Bundesvorstand der BVPI diese Aufgabe übernommen.

- allgemeinerten Einflusslinien für eine abgesicherte Statik (Seite 48);
- Lena-Elisabeth Buch, M. Eng (Ingenieurbüro Anwander, Sulzberg): Eine MBO ohne materielle Brandschutzanforderungen – Ausarbeitung einer technischen Regel Brandschutz für Standardgebäude (Seite 56);

- Dr.-Ing. Wolfgang Orth (Dr.-Ing. Orth GmbH, Ingenieurbüro für Baugrundvereisung): Thermische und statische Bemessung der Gefrierkörper bei der Baugrundvereisung (Seite 40);
- Dr.-Ing. Mandy Peter (bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, München): Tragende und raumabschließende Holzbauteile in hohen Gebäuden (Seite 35);
- Dipl.-Ing. Frank Schächner (schleich bergemann partner sbp GmbH, Stuttgart): Eine Stahlsegelbrücke über dem Neckar – Die neue S21-Eisenbahnüberführung in Stuttgart-Bad Cannstatt (Seite 21).

In der nächsten Ausgabe des *PRÜFINGENIEURS*, im Mai 2022, sollen folgende Beiträge veröffentlicht werden:

- Dipl.-Ing. Michael Frenzel (TU Dresden, Institut für Massivbau): Deckentragwerke aus geschichteten Betonen;
- Patrick Gerhold, B. Eng., M. Sc. (Werner & Gerhold Prüfsachverständige und -ingenieure für Brandschutz, Werneck): Die Bauartgenehmigung – Fluch und Segen für den Brandschutz;



SEHR VIEL TECHNIK ist erforderlich, um eine ganztägige virtuelle Veranstaltung wie die Arbeitstagung der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPI) digital zu realisieren, in die sich Teilnehmer in der ganzen Welt einwählen können.



FRAGEN UND ANTWORTEN gehören auf den Arbeitstagen der BVPI nach jedem Vortrag dazu. Hier interviewt Dr.-Ing. Michael Stauch (rechts) als Moderator mehrerer bautechnischer Beiträge den Planer der Tragwerke von Stuttgart 21, Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek, der – aus einem Hotelzimmer – einen faszinierenden Einblick in die tragwerksplanerischen Nuancen technisch und ästhetisch außergewöhnlicher Projekte gab.

- Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers (Universität Stuttgart, Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen): Robotisch gefertigte Leichtbaustrukturen auf der Bundesgartenschau 2019 und der Biennale 2021 in Venedig;
- Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek (Werner Sobek AG Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruktion der Universität Stuttgart):

Stuttgart21 – Ein Ansatz für das Bauen von morgen;

- Dipl.-Ing. (FH) Alexander Wellisch (Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Inneres und Sport – Feuerwehr): Urbaner Holzbau in Hamburg – Wie viel Gewicht muss auf die Feuersicherheit gelegt werden?

– kw –

Die Termine der kommenden BVPI-Arbeitstagen:

- Arbeitstagung 2022: 16./17. September, Berlin
- Arbeitstagung 2023: 15./16. September, Hamburg
- Arbeitstagung 2024: 20./21. September, Wiesbaden

BÜV-Ausbildungsreihe für Sachkundige Planer ruft ein immer größeres Interesse an der Zertifizierung hervor Die nächsten Lehrgänge in den kommenden Jahren in Berlin, Hamburg und Feuchtwangen stehen schon fest

Der Arbeitskreis Bauwerkserhaltung, -instandsetzung und -überwachung des Bau-Überwachungsvereins (BÜV) hat ein neu aufkeimendes und immenses Interesse an seiner Ausbildungsreihe für Sachkundige Planer für den Schutz und die Instandhaltung von Betonbauteilen konstatiert. Den Grund sieht er in der jüngst vollzogenen Erweiterung seines ursprünglichen Ausbildungsplans um einschlägige Lehrmodule der Bundesanstalten für Wasserbau und Straßenwesen mit vier Lehreinheiten von je 45 Minuten Dauer und in der Anpassung des Lehrinhalts an die Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt-TR, Teil 1 und Teil 2, Stand Mai 2020).

Der Arbeitskreis, dessen Mitglieder als Referenten und Prüfer dieser Lehrgänge fungieren, geht davon aus, dass sich der Ausbildungsbedarf und das Interesse der Fachwelt an diesem Tätigkeitsfeld in den kommenden Jahren noch einmal vervielfachen werden, weil die DIBt-TR als eingeführt gilt und mit

der Änderung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 2020/1 (MVV TB) sukzessive in den Bundesländern in Gebrauch genommen wird.

Anfang Oktober 2021 fand nunmehr der 16. Ausbildungslehrgang Sachkundiger Planer für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauteilen in Feuchtwangen statt. Von der limitierten Zahl zur Verfügung stehender Teilnahmepplätze waren alle binnen kürzester Zeit vergeben worden. Erstmals in den 14 Jahren, in denen er seine Ausbildungslehrgänge organisiert und abwickelt, hat der BÜV für einen Tag vorab ein *Webinar* durchgeführt. Nachdem sie dabei einige Lehrvideos gesehen hatten, mit denen sie ihr Grundwissen auffrischen konnten, hatten die Lehrgangsteilnehmer die Möglichkeit, gezielte Fragen an den betreffenden Referenten zu stellen.

Der Ausbildungslehrgang selbst verlief in Organisation und Durchführung perfekt und wurde von den Lehrgangsteilnehmern überaus positiv aufgenommen, was sich auch am Prüfungstag positiv niederschlug.

Kennzeichnend für den 16. Ausbildungslehrgang ist, was auch von verschiedenen Referenten oftmals bestätigt worden ist, die hohe fachliche Qualität des technischen Wissens und die profunde praktische berufliche Erfahrung aller Lehrgangsteilnehmer auf diesem Arbeitsgebiet. Es nahm daher nicht wunder, dass von den angetretenen Teilnehmern nahezu alle ihre Prüfung bestanden haben.

Ausblick auf künftige Ausbildungsveranstaltungen

Der Bau-Überwachungsverein bietet seine Lehrgänge in Kooperation mit der Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft, der HafenCity Universität in Hamburg, der Hochschule München, der Bayerischen BauAkademie in Feuchtwangen, der Bayerischen Ingenieurkammer-Bau sowie in Zusammenarbeit mit der Zertifizierstelle des Deutschen Instituts für Prüfung und Überwachung (DPÜ) an, die als Personalzertifizierungsstelle nach DIN EN ISO IEC 17024 von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert ist.

NACHRICHTEN

Die Ausbildung erstreckt sich über jeweils sechs Tage und schließt mit einer schriftlichen und mündlichen Prüfung und der Möglichkeit ab, sich als Sachkundiger Planer zertifizieren zu lassen.

Vom BÜV-Arbeitskreis Bauwerkserhaltung ist bis auf Weiteres folgender Turnus für die zukünftigen Ausbildungslehrgänge festgelegt worden:

- Frühjahrsveranstaltungen (Februar/März) im jährlichen Wechsel zwischen der HafenCity Universität in Hamburg und der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin.
- Herbstveranstaltungen (Oktober) alljährlich bei der Bayerischen BauAkademie in Feuchtwangen.

Termine der nächsten BÜV-Ausbildungslehrgänge

Für die nächsten BÜV-Ausbildungslehrgänge hat der BÜV-Arbeitskreis Bauwerkserhaltung folgende Termine festgelegt:

- 17. Ausbildungslehrgang Sachkundiger Planer: 18./21. bis 26. Februar 2022, HTW-Berlin,
- 18. Ausbildungslehrgang Sachkundiger Planer: 07./10. bis 15. Oktober 2022, BBA-Feuchtwangen,
- 19. Ausbildungslehrgang Sachkundiger Planer: Frühjahr 2023, Termin noch offen, wird in Kürze festgelegt, HCU-Hamburg,

- 20. Ausbildungslehrgang Sachkundiger Planer: 06./09. bis 14. Oktober 2023, BBA-Feuchtwangen.

Bei der Zulassung zur Teilnahme werden, wie immer, jene Bewerber vorrangig behandelt werden, deren primäres Ziel die Erlangung eines gesonderten professionellen Qualitätsmerkmals in Form einer Zertifizierung gemäß DIN EN ISO/IEC 17024 ist, die nach bestandendem Lehrgang vorgesehen ist und für deren Erhalt besondere fachliche Kriterien erfüllt werden müssen.

Sofern die Aufnahmekapazitäten es erlauben, sind aber auch jene Teilnehmer willkommen, die lediglich an der Vortragsreihe interessiert sind. Deren Teilnahme findet ihren Abschluss mit einer entsprechenden Bescheinigung.

Es empfiehlt sich, dass zertifizierungswillige Teilnehmer im ersten Schritt dem BÜV folgende Bewerbungsunterlagen einsenden:

- einen formlosen Antrag auf Teilnahme am Lehrgang,
- einen tabellarischen Lebenslauf mit Lichtbild,
- Kopien des Diploms mitsamt Zeugnis, des Bachelor-, Master- oder eines gleichwertigen Abschlusses einer ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Fachrichtung oder des Studiums an einer FH, TH oder 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 (hier empfiehlt es sich, telefonisch Kontakt zum BÜV aufzunehmen und sich hinsichtlich der Darstellungsweise beraten zu lassen).

Nach bestandener Prüfung sowie im Sinne der angestrebten Zertifizierung müssen eine fachliche Unabhängigkeitserklärung und ein polizeiliches Führungszeugnis beigebracht werden, das nicht älter als drei Monate ist.

Bewerbungen können und sollten bei bestehendem Interesse bereits jetzt eingereicht werden, und zwar in digitalisierter Form beim Bau-Überwachungsverein BÜV

Kurfürstenstr. 129

10785 Berlin

Tel.: 030/3198914-13

E-Mail: vidackovic@bvpi.de

Die Bewerbung alleine verpflichtet oder berechtigt den Kandidaten noch nicht zur Teilnahme. Erst nach der Auswertung der Bewerbungsunterlagen durch die Prüfungskommission erhält dieser Nachricht darüber, ob er zu Ausbildung und Prüfung, somit auch zur Zertifizierung, prinzipiell zugelassen worden ist. Der Teilnehmer entscheidet dann, ob er an der Veranstaltung teilnehmen wird.

Dipl.-Ing. Momcilo Vidackovic, BVPI

Mit ELBA schafft die Bundesvereinigung der Prüfeningenieure die Schnittstelle für den Datenaustausch ohne Medienbruch

Unabhängige Kommunikationsplattform für den digitalen Datenaustausch prüfpflichtiger bautechnischer Unterlagen

ELBA – hinter diesem Kürzel verbirgt sich ein neues Instrument, das der Arbeitskreis Digitalisierung der Bundesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik (BVPI) derzeit entwickelt. ELBA steht für die *Elektronische Bautechnische Prüffakte* und stellt eine webbasierte Daten- und Kommunikationsplattform für bautechnische Nachweise dar, in der die jahrzehntelangen Erfahrungen der hochtätigen Prüfeningenieure in eine digitale Arbeitsweise transformiert und allen beteiligten Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Sie soll es allen Nutzern

möglich machen, sich jederzeit auf einem identischen Informationslevel zu bewegen und die mitwirkenden Bauaufsichten im digitalen Genehmigungsprozess entlasten.

ELBA ist eine der Reaktionen der deutschen Prüfeningenieure und Prüfsachverständigen auf das 2017 in Kraft gesetzte Gesetz zur Verbesserung des Onlinezugangs zu Verwaltungsleistungen (kurz: Onlinezugangsgesetz, OZG), mit dem der Bund und



die Länder per Gesetz verpflichtet werden, ihre Verwaltungsleistungen durch Digitalisierung und Vernetzung bis Ende 2022 auch elektronisch über Verwaltungsportale anzubieten. Konkret beinhaltet das zwei Aufgaben: Zum einen müs-

sen 575 Verwaltungsleistungen auf Bundes-, Länder- und kommunaler Ebene digitalisiert werden und zum anderen muss eine IT-Infrastruktur geschaffen werden, die mit nur wenigen Klicks den Zugriff auf die Verwaltungs-

leistungen ermöglicht. Die Nutzerorientierung hat bei der OZG-Umsetzung oberste Priorität, das heißt alle Digitalisierungsprozesse sind danach ausgerichtet, im Endeffekt möglichst anwenderfreundlich zu sein. Auch Baugenehmigungsverfahren müssen bis zum Ablauf dieser Frist vollständig digitalisiert sein.

Die BVPI sieht in dieser gesamtstaatlichen Ausbildung digital nutzbarer Strukturen für die meisten staatlichen Verwaltungsakte auch eine großartige Chance, den Prüfprozess für bautechnische Nachweise auf der Grundlage jahrzehntelanger Erfahrung zu digitalisieren und hat, um eine bundesweit einheitliche Struktur aus dem Zentrum der harten alltäglichen Praxis entwickeln zu können, die Implementierung der Elektronischen Bautechnischen Prüfsakte ELBA mit einer Umfrage vorangetrieben, um die konkreten praktischen Bedürfnisse der späteren Anwender und ihre Anregungen für die Ausgestaltung dieser Plattform zu eruieren und in ihre Arbeit zu integrieren. In dieser Umfrage wurde nach den praktischen Erfahrungen mit der Digitalisierung im bautechnischen Prüfprozess gefragt und danach, wer nach Ansicht der befragten Prüferingenieure am digitalen bautechnischen Prüfprozess beteiligt sein sollte. Dezidiert wurde auch nach den größten Herausforderungen gefragt, die man bei der Einführung eines digitalen bautechni-

schen Prüfprozesses sieht und danach, was die eigene und die Arbeit der anderen Beteiligten im digitalen bautechnischen Prüfprozess erleichtern würde. Interessiert zeigten sich die Autoren der Umfrage auch an den ersten Schritten, die bei der Umsetzung des digitalen bautechnischen Prüfprozesses als erstes gegangen werden sollten.

Die BVPI hat mit der Entwicklung von ELBA das berufspolitische Ziel formuliert, einen wichtigen Teil der Digitalisierung des Planungs- und Bauprozesses zu übernehmen und gemeinsam mit Bauaufsichtsbehörden, Prüferingenieuren und Nachweiserbringern eine Schnittstelle zu schaffen, die einen kompletten digitalen Datenaustausch prüfpflichtiger bautechnischer Unterlagen ermöglicht. In einer elektronischen Akte können dann künftig Bauaufsichtsbehörden, Prüferingenieure und Nachweisersteller direkt, sicher und ohne Medienbrüche miteinander kommunizieren.

Die technischen Voraussetzungen garantieren hierbei eine ausfallsichere Datenverwahrung und stellen sicher, dass die Schnittstelle unabhängig vom verwendeten Digitalisierungsverfahren von jedem Anwender genutzt werden kann. Das System wird schnittstellenoffen sein und soll auch bei Bedarf die Anbindung von Datenbanken der Bauaufsichten ermöglichen. Einige Länder und Kommunen und Prüf-

ingenieure haben bereits funktionierende Antworten auf die bestehenden Herausforderungen gefunden. Die BVPI möchte diese Module und Lösungen in eine bundeseinheitliche Struktur einbeziehen, die eine Zusammenarbeit vereinfacht und gemeinsam mit allen Beteiligten eine Grundlage für ein sicheres und praxisorientiertes Arbeiten schaffen.

In der erwähnten online-Umfrage hatten die BVPI-Mitglieder sowie Behördenvertreter die Möglichkeit, ihre bereits gemachten Erfahrungen und Erwartungen im Zusammenhang mit der Digitalisierung des bautechnischen Prüfprozesses zu teilen. Dabei sprachen sich die Teilnehmer der Umfrage mehrheitlich für die Einheitlichkeit und Standardisierung sowohl des Prüfprozesses als auch der Technik aus. Es wird eine schnell verfügbare, einfach handhabbare, praktische Lösung gewünscht, die auf die technischen Voraussetzungen in den Behörden Rücksicht nimmt.

Die Ergebnisse der Umfrage bilden die Grundlage für einen Workshop mit Vertretern der Prüferingenieure und der Baubehörden aus allen Bundesländern, in dem die Anforderungen an die Elektronische Prüfsakte ELBA konkretisiert werden.

Ansprechpartner: Martin Hamann
mail@hamann-ingenieure.de

Neue Musterholzbaurichtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise

Ende Juni 2021 hat das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) die Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (M-HolzBauRL) veröffentlicht. Sie soll die bisherige Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFH HolzR) ablösen.

Vor der Ablösung steht noch der Abschluss des Notifizierungsverfahrens der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB, Ausgabe 2020/2) aus, mit der die M-HolzBauRL bauordnungsrechtlich konkretisiert wurde. Mit dem Abschluss des Verfahrens wird für Ende November 2021 gerechnet. Im Anschluss daran muss die notifizierte MVV TB in den einzelnen Bundesländern umgesetzt werden, um die Regelungen

der M-HolzBauRL in Kraft treten zu lassen. Frühestmögliches Inkrafttreten der Regelungen der M-HolzBauRL wird damit voraussichtlich Dezember 2021 sein.

In der neuen Richtlinie werden Anforderungen an feuerwiderstandsfähige Bauteile in Holzrahmen- und Holztafelbauweise für Standardgebäude der Gebäudeklasse 4 sowie an feuerwiderstandsfähige Bauteile in Massivholzbauweise für Standardgebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 beschrieben.

Neben den neuen Anforderungen an Massivbauteile werden in der neuen Richtlinie auch Anforderungen an Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen bei Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 ergänzt. Bei der Errichtung dieser feuerwiderstandsfähigen Bauteile handelt es sich um Bauarten, für die eine Übereinstimmungserklärung durch den

Anwender der Bauart (Unternehmer) nach Paragraph 16a Absatz 5 der Musterbauordnung der Länder (MBO) (nach Landesrecht) gefordert wird.

Die Muster-Holzbaurichtlinie steht auf der Webseite des DIBt zum Download zur Verfügung.

Die Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik (BVPI) hatte sich umfassend in das Anhörungsverfahren zur M-HolzBauRL eingebracht und mehr als zwanzig Änderungsbeziehungsweise Klarstellungsvorschläge vorgelegt. Erfreulicherweise wurden zahlreiche Vorschläge bei der finalen Ausformulierung der M-HolzBauRL vom DIBt aufgegriffen. (Siehe auch den Artikel „Die neue Holzbaurichtlinie als wichtiger Schritt zur weiteren Popularisierung der Holzbauweise“ von Dr.-Ing Mandy Peter auf Seite 35 dieser Ausgabe.)

Nach dem Hochhauseinsturz in Miami: US-amerikanische Bauexperten suchen den konkreten Erfahrungsaustausch

Die BVPI unterstützt die Erarbeitung einer Richtlinie für eine regelmäßige Überprüfung von Bauwerken in den USA

Mit Strategie und Beharrlichkeit hat der Vorstand der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik (BVPI) jenes Ziel verfolgt, das ihm vor einigen Jahren von der Mitgliederversammlung vorgegeben wurde: Im Zuge der fortschreitenden Globalisierung das unabhängige deutsche System der bautechnischen Prüfung mit seinem bewährten Vieraugenprinzip in ganz Europa und weltweit publik zu machen und für dessen Vorteile zu werben. Jüngstes der vielen Beispiele dafür, dass die technisch und wirtschaftlich unabhängige bautechnische Prüfung und Überwachung auch im Ausland auf großes Interesse stößt, ist die Mitwirkung von Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle vom Bundesvorstand der BVPI auf dem Podium eines hochkarätig besetzten Fachkongresses in West Palm Beach (Florida, USA) Ende August 2021. Anlass dieses Kongresses war der Champlain Towers South-Einsturz in Surfside (Miami), bei dem Ende Juni insgesamt 98 Menschen ums Leben kamen (siehe auch das *Editorial* auf Seite 3). US-amerikanische Baufachleute diskutierten darüber und suchten Wege, auf denen auch in den USA geeignete Inspektions- und Monitoring-Prozesse eingeführt werden können, um die strukturelle Qualität der gebauten Infrastruktur zuverlässig zu überwachen.

Die Einladung Hertles, auf dem Podium dieses Kongresses, der unter anderem vom *National Institute of Building Sciences* (NIBS) veranstaltet wurde, einer gemeinnützigen Nichtregierungsorganisation, die als Schnittstelle zwischen der US-amerikanischen Regierung und der Privatwirtschaft Fortschritte in der Bauwissenschaft und -technologie unterstützt, als Redner und Diskutant und an den Fachgesprächen in West Palm Beach teilzunehmen, geht auf die mittlerweile zahlreichen internationalen Kontakte zurück, die Hertle zusammen mit seinem BVPI-Vorstandskollegen Dr.-Ing. Markus Wetzels in Verfolgung entsprechender eindeutiger Wegweisungen der BVPI-Mitgliederversammlung in den vergangenen Jahren für die Vereinigung aufgebaut hat,

insbesondere zum *International Code Council* (ICC), der nach eigenen Angaben weltweit führenden Organisation, die Modellcodes und -normen sowie Sicherheitslösungen für Gebäude mit dem Ziel entwickelt, sichere, erschwingliche und nachhaltige Gebäude zu gewährleisten. Die guten internationalen Verbindungen, die Hertle und Wetzels dorthin und mittlerweile auch zu anderen global agierenden Institutionen entwickelten, sind insbesondere über Hertles und Wetzels jahrelange aktive Mitarbeit in einem internationalen Expertenforum gewachsen, dem *Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee* (IRCC), einer weltweiten Vereinigung von Organisationen und Institutionen, die mit der Erarbeitung von bautechnischen Vorschriften befasst sind. Ziel des IRCC ist es, die Einführung leistungsorientierter Bauvorschriften (*Performance Based Codes*) und den internationalen Erfahrungsaustausch im Zusammenhang mit Änderungen in den bautechnischen Anforderungen, insbesondere vor dem Hintergrund globalisierter Strukturen auf Seiten der Bauherren und der Bauausführenden, in den IRCC-Mitgliedsländern zu verstärken. All diese internationalen Aktivitäten der BVPI und ihres Vorstands gehen auf deren Überzeugung zurück, dass eine möglichst einheitlich gestaltete Internationalisierung der bautechnischen Prüfung ein absolut notwendiges Ziel und Mittel sei, um die Zukunft des Berufsstands der Prüferingenieure auch im europäischen und weltweiten geschäftlichen Miteinander zu sichern.

Besondere Beachtung in den Diskussionsbeiträgen, die Hertle auf dem Kongress in West Palm Beach leistete, war die im Jahr 2010 publizierte Richtlinie VDI 6200 (*Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung*), die, in der Folge des Einsturzes des Dachs der Eissporthalle in Bad Reichenhall im Jahr 2006, vom Verein Deutscher Ingenieure erarbeitet wurde. Diese Richtlinie war den Repräsentanten des ICC und des NIBS durchaus bekannt. Sie ist ihnen von besonderem Interesse, weil es in den USA keine technischen Regeln gibt, die eine vergleichbar regelmäßige und klar strukturierte Überprüfung von Bauwerken vorschreibt.

Hertles Darstellung dessen, was die VDI 6200 beinhaltet und verfügt, fand in West Palm Beach besondere Aufmerksamkeit auch deshalb, weil diese Darstellung aus erster Hand gegeben wurde. Hertle war, was in den Fachgremien in den USA nicht unbekannt geblieben war, als Obmann für die Erarbeitung dieser Richtlinie verantwortlich, und er wurde wohl auch deshalb, als einziger Nicht-Amerikaner, zu den Gesprächen und Diskussionen dieses Kongresses eingeladen.

Nach seiner Rückkehr aus den USA berichtete Hertle seinen Kollegen in Deutschland, dass der Einsturz des Hochhauses in Miami Reaktionen der US-amerikanischen Kollegen hervorgerufen habe, die mit jenen absolut vergleichbar seien, die nach dem Einsturz in Bad Reichenhall in Deutschland aufgekommen sind. Neben der Ursachensuche war es vor allem die Frage: Wie können strukturelle Probleme und Schwachstellen einer Konstruktion frühzeitig erkannt und behoben werden und mit welchem legalen Hintergrund müssen die Ingenieure ausgestattet werden, damit sie die damit verbundene Aufgabe wirtschaftlich und technisch unabhängig erfüllen können?

Das Unglück in Surfside hat den Kollegen in den USA deutlich vor Augen geführt, dass es in den Vereinigten Staaten erhebliche Defizite in Sachen bautechnische Prüfung, statisch-konstruktive Überwachung der Bauausführung und regelmäßige Überprüfung der Bauwerke gibt und das, obwohl es in den nationalen und lokalen Regelwerken ausreichend viele Hinweise darauf gebe, dass die Eigentümer und Verfügungsberechtigten für die Gewährleistung der Standsicherheit der Bauwerke selbst verantwortlich sind. So habe es nicht wunder genommen, so berichtete Hertle, dass in den Podiumsdiskussionen in West Palm Beach und in den zahlreichen Fachgesprächen am Rande des Kongresses sämtliche Probleme erörtert worden seien, die auch in Deutschland vor mehr als zehn Jahren ausführlich erörtert worden sind, nämlich:

- Bestandsschutz,
- fortgeschriebene Nachweisformate in den Normen und Regelwerken,



NACH DEM EINSTURZ EINES HOCHHAUSES in Miami (Florida, USA) suchen US-amerikanische Bauexperten nach neuen Instrumenten für die bautechnische Prüfung und Kontrolle. Dabei ist der Rat deutscher Kollegen sehr gefragt, so auch der von Prof. Dr.-Ing. Robert Hertle, Mitglied des Vorstandes der Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik (BVPI) (4. v.r.), der, wie hier auf einem Fachkongress in West Palm Beach, seine internationalen Kontakte nutzt, um die Vorteile der systematischen und legitimen unabhängigen Vieraugenprüfung im Ausland zu implementieren.

- Qualität und Verfügbarkeit von Bestandsunterlagen,
- Qualifikation des Überprüfenden,
- Dokumentation der Überprüfung.

Dabei seien auch auf diesem Kongress, so Hertle weiter, vergleichbar mit der Situation nach Bad Reichenhall in Deutschland, bei der Beurteilung der Situation und Erörterung möglicher Lösungsansätze die Divergenzen offen zu Tage getreten, die auf die unter-

schiedlichen Interessenlagen der Beteiligten zurückzuführen sind: Im Wesentlichen also der Gegensatz von ingenieurgemäßer Gründlichkeit und wirtschaftlichen Optimierungsstrategien der Eigentümer oder Verfügungsberechtigten

„Im Ergebnis“, so schreibt Hertle nach seinem Amerikabesuch, „kann festgehalten werden, dass unsere US-amerikanischen Kollegen, aufgrund der Tatsache, dass unser

technisches Regelwerk hinsichtlich der Überprüfung von Bauwerken, verglichen mit dem US-amerikanischen, deutlich weiter entwickelt ist, an einer Fortführung des Erfahrungsaustausches sehr interessiert sind und dass derzeit darüber gesprochen wird, ob und wie es möglich ist, gemeinsam an einer aktualisierten und auf die jeweiligen Belange abgestimmten Richtlinie zur regelmäßigen Überprüfung von Bauwerken zu arbeiten.“

– kw –

Leserbrief

„Digitale Statikdateien und Pläne können bei größeren Projekten durchaus zu Mehraufwand für die Prüfer führen“ Allein das Herunterladen der gültigen Unterlagen aus einem Datenpool kann sehr zeitaufwendig sein

Unter der Überschrift „Die Schwächen des analogen Prüfens sind eklatant“ hat der Geschäftsführende Gesellschafter der ZMH-Prüfsingenieure GbR (München), Dr. Ing. Peter Lenz, im Heft 58 des *PRÜFINGENIEURS* die großen Vorteile beschrieben, die seiner Ansicht nach den Prüfbüros winken würden, wenn sie in ihren Büros die Digitalisierung ihrer prüfenden Tätigkeit einführen würden. Sie bedeute, so schrieb er, weniger Kosten, eine effektive Zeitplanung und eine ungleich höhere Konsistenz und Transparenz als die herkömmliche analoge Prüfung. Zu diesem Beitrag erhielten wir ei-

ne Zuschrift von Dipl.-Ing. Johannes Springer, dem Geschäftsführenden Gesellschafter der Weihermüller & Vogel GmbH, Beratende Ingenieure für Bauwesen (Wiesbaden). Er meint, aus der Sicht seines Büros, das auf eine lange Tradition im Prüfgeschäft zurückblicken könne, es fehle in dem besagten Artikel der Aspekt, dass die digitale Prüfung auch zu Mehraufwand für den Prüfsingenieur führen könne. Weiter schreibt er:

„Gründe dafür können zum Beispiel sein:

- Es gibt heute in Zeiten der EDV-dominierten Standsicherheitsnachweise bei größeren

Projekten nicht mehr ‚die Statik‘, sondern eine Vielzahl von Statikdateien mit einzelnen Kapiteln wie zum Beispiel vorgezogene Lastermittlung, einzelne Geschoßdecken, Bodenplatte und so weiter, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten oft fragmentarisch zur Prüfung übergeben werden. Dazu kommen noch zwi- schendurch Ergänzungs- und Nachtragsseiten.

- Wie wird die Aktualität einer gepflegten Statikfassung oder -datei mit allen Nachtrags- und Ergänzungsseiten für die digitale Prüfung sichergestellt (auch im Hinblick auf eine Bestandsstatik)?
- Wie wird im digitalen Unterlagenlauf si-

NACHRICHTEN

chergestellt, dass überholte Statikseiten aus den Dateien entfernt werden?

Die Pflege der Statikdateien wird letzten Endes auf den Prüflingen abgewälzt, da bei ihm alle Informationen über die Statik zusammenlaufen.

Zu der im Artikel beschriebenen Prüfung von Ausführungszeichnungen am Bildschirm hätte ich noch folgende Anmerkung:

Bei der Prüfung von Werkstattzeichnungen im Stahlbau ist es oft erforderlich, dass mehrere großformatige A0-Pläne parallel geöffnet und betrachtet werden müssen. Bei der in unserem Hause geprüften Rheinbrücke Wiesbaden-Schierstein, deren Ganzstahl-Stromüberbauten eine Hauptspannweite von 205 Meter aufweisen, wurden insgesamt mehr als 2.000 Stahlbauwerkstattzeichnungen geprüft. Bei der Prüfung der Schüsse im

Bereich der Strompfeiler (Höhe des gevouteten Überbaus hier: etwa sieben Meter) mussten für eine effektive Prüfung immer sechs bis sieben A0-Pläne gleichzeitig betrachtet werden (Übersichtszeichnungen mit Schnitten, mehrere Zusammenbauzeichnungen sowie die zugehörigen Einzelteilzeichnungen und Detailpläne). Dies ist nach unserer Erfahrung auch mit großformatigen Bildschirmen nicht zu leisten – es besteht sogar die Gefahr, dass wichtige Punkte und Zusammenhänge schlechterdings übersehen werden. In solchen Fällen hat man mit der Prüfung von Planausschnitten am Bildschirm nicht die erforderliche Übersicht, und es gibt dann keine vernünftige Alternative zu Papierplänen.

Mein Fazit: Der digitale Planlauf mit Verteilung und digitaler Freigabe der Unterlagen durch die Projektbeteiligten ist bei größeren Projekten unabdingbar und funktioniert schon seit langem gut, zum Beispiel bei Pro-

jekten der Deutschen Bahn mit dem Programm EPLASS.

Beim Prüfen von digitalen Statikdateien und Plänen im Büro kann es, insbesondere bei größeren Projekten, zu deutlichem Mehraufwand für den Prüfer kommen. Aus unserer Erfahrung kann das Herunterladen und Zusammensuchen der gültigen Statikseiten aus einer Vielzahl von übergebenen Dateien oder sogar aus einem Datenpool sehr zeitaufwendig sein.

Ein besonderes Augenmerk ist auf die Strukturierung der digitalen Statik und Planunterlagen zu legen. Eine sinnvolle einheitliche Benennung der Statik- und Plandateien nach einem gemeinsamen Schema ist erforderlich, das aber auch konsequent beibehalten werden muss. Eine konsequente Ordnung in den Statikdateien ist auch im Hinblick auf eine Bestandsstatik für später unabdingbar.“

Zwanzig Jahre Bewertungs- und Verrechnungsstelle der Prüflingen in Berlin und Brandenburg: Zwanzig Jahre digitale Zusammenarbeit der BVS mit den beteiligten Prüflingenbüros

In Potsdam wird in diesen Tagen das zwanzigjährige Jubiläum der Bewertungs- und Verrechnungsstelle (BVS) der Prüflingen in Berlin-Brandenburg begangen. Sie steht den Bauaufsichtsbehörden, Bauherren und Prüfbüros in allen Belangen der hoheitlichen Prüfung zur Seite und ist damit ein wesentlicher Bestandteil für die Durchsetzung der unabhängigen Prüfung im bauaufsichtlichen Verfahren. Dieses Jubiläum soll Anlass für einen Rückblick auf die erfolgreiche Arbeit der BVS Berlin-Brandenburg sein, den hier der Geschäftsführer der BVS Berlin-Brandenburg, Dipl.-Ing. Olaf Kindler, und der Geschäftsführer der beteiligten Softwarefirma, Dipl.-Ing. (FH) Steffen Illner, geben.

Im Jahr 2001 gab es in der Vereinigung der Prüflingen für Bautechnik in Brandenburg (VPI Brandenburg) Bestrebungen, die Prüfgebührenabrechnung zu zentralisieren und zu vereinheitlichen. Treibende Kraft dieses Projekts war ihr damaliger Vorsitzender, Dr.-Ing. Dieter Zauft.

Das Konzept einer webbasierten Plattform entsteht

Die VPI Brandenburg stand vor der Möglichkeit, die organisatorischen und technischen Strukturen einer bereits bestehenden BVS zu kopieren oder eigene Wege zu gehen. Die begrenzten organisatorischen, personellen und finanziellen Mittel des kleinen Brandenburger Landesverbandes ließen eine neue Idee der konzeptionellen Organisation einer BVS entstehen.

Zentraler Bestandteil dieser Idee und Kern des Konzeptes war die Entwicklung einer webbasierten Plattform für die Kommunikation und Abrechnung mit den Prüfbüros. Dieses Konzept war neu, gleichzeitig aber auch sehr ambitioniert und zukunftsweisend.

Neue Wege, Widerstand und Schwierigkeiten

Das Internet war damals, 2001, noch kein Bestandteil unseres täglichen Lebens und die Idee, das organisatorische Konzept über eine Webplattform zu realisieren, war neu und ungewöhnlich.

Schnell wurde klar, dass die am Markt vorhandenen EDV-Programme nicht in der Lage waren, die Arbeit in der gedachten Form zu organisieren. Der Vorschlag, eine eigene webbasierte Plattform zu bauen, wurde deshalb anfänglich skeptisch betrachtet. Es gab viele Einwände und Bedenken. Die Post, das Telefon und das Telefax waren in den Köpfen und Büros der damaligen Entscheider die präsenten Transportwege für Informationen und Unterlagen. Im Sommer 2001 fand sich kein IT-Dienstleister, der das erdachte Konzept umsetzen konnte. Die Zeit drängte aber, da die BVS zum 1. Januar 2002 ihre Arbeit aufnehmen sollte.

In dieser Situation kam der BVS eine produktunabhängige Softwarefirma zur Hilfe, die damals schon über technische Erfahrungen mit der Realisierung von webbasierten Plattformen verfügte (*die lunds AG* in Berlin). Ihr Angebot, die Plattform für uns zu bauen und uns dann zu vermieten, gab unserer Entscheidung die richtige Richtung. Wir vereinbarten für die künftige Zusammenarbeit ein Verfahren, mit dem uns einerseits keine Investitionskosten

entstanden und mit dem andererseits der Softwarehersteller die Risiken des Entwicklungsprozesses trug (das SaaS-Verfahren = Software as a Service). Dieses Verfahren war 2001 noch vollkommen neu und ungewöhnlich. Heute gehört es zum alltäglichen Standard.

Im Spätsommer 2001 wurde die Umsetzung des Projektes in Auftrag gegeben und am 3. Januar 2002 das erste Projekt auf der neuen gemeinsamen Plattform angelegt.

Die Grundsätze der Zusammenarbeit

Die Prüfbüros stellen der BVS alle notwendigen Informationen über die Projekte und die Abrechnungsdaten zur Verfügung. Die BVS führt hierbei die Bewertungen und alle mit der Abrechnung verbundenen Tätigkeiten durch. Jedes Büro verwaltet jedoch im BVS-Programm seine eigenen Projekte.

Das Verfahren ist komplett transparent. Die Büros können jederzeit den Status ihrer Projekte und Abrechnungen einsehen und darauf Einfluss nehmen. Die BVS ist zudem für jedes Büro der kompetente Ansprechpartner in Bewertungs- und Abrechnungsfragen. Den Mittelpunkt der Zusammenarbeit bildet die Plattform für den zentralen Informationsaustausch.

Bereits nach kurzer Zeit war klar, dass die gewählte Art der Zusammenarbeit funktioniert. Folgende große Vorteile ergaben sich hierbei:

- Die Projektplattform lässt sich an jedem Ort, zu jeder Zeit und mit jedem IT-System erreichen. Alle Bestandteile (genutzte Dateiformate, Datenbanken, Hochverfügbarkeit) sind *Open Source*, es gibt also keine Lizenzbeschränkungen für die Anzahl der Nutzer oder Projekte.
- Alles findet in Echtzeit statt. Jede Information wird verarbeitet, die Wege der Informationen sind klar vorgegeben. Das *Projektjournal* ist die Schnittstelle zum Informationsaustausch zwischen der BVS und den Büros.
- Der Zeitversatz zwischen der Erstellung der Gebührenrechnung, der Bezahlung und der Weitergabe der Gebühren auf das Geschäftskonto des Prüfbüros wird auf ein Minimum reduziert.
- Jedes Projekt verfügt über eine exakte digitale Chronik beziehungsweise ein elektronisches Archiv aller relevanten Vorgänge, Dokumente und Zahlen. Keine Information wird gelöscht.

Die BVS als Multiplikator

2006 wurde der erste Geschäftsführer der BVS Brandenburg, Dr.-Ing. Klaus Fischer, al-



SIE FREUEN SICH ÜBER zwanzig Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit: der Geschäftsführer der Bewertungs- und Verrechnungsstelle der Prüfeningenieure Berlin-Brandenburg, Dipl.-Ing. Olaf Kindler (links), und der Vorstand der IUNDS AG, Dipl.-Ing. (FH) Steffen Illner.

tersbedingt in den Ruhestand verabschiedet. Nachfolger wurde Dipl.-Ing. Olaf Kindler, der bis heute die Geschicke der BVS lenkt. Im selben Jahr beschließt der Berliner Landesverband der VPI, der BVS Brandenburg beizutreten, sodass die BVS Berlin-Brandenburg entsteht.

Ein nicht unwesentlicher Vorteil der BVS Berlin-Brandenburg ist die rechtliche Verankerung der BVS in den Landesverordnungen und damit die enge Anbindung an die jeweiligen Obersten Bauaufsichten der beiden Bundesländer.

Der Arbeitsumfang der BVS Berlin-Brandenburg erweitert sich ständig. Neben der Bewertung und Abrechnung der hoheitlichen Prüfleistungen für die Standsicherheit und den Brandschutz ist die BVS für das gesamte Mahnwesen bis hin zur Vollstreckung der öffentlich-rechtlichen Gebührenforderungen zuständig.

Die BVS bearbeitet zudem alle mit den Gebührenforderungen im Zusammenhang stehenden Widersprüche und wird im Jahr 2006 durch die Landesregierung Brandenburg als Widerspruchsbehörde eingesetzt. 2017 wird die BVS Berlin-Brandenburg von der Senatsverwaltung Berlin als Widerspruchsbehörde für die Berliner Bauvorhaben bestimmt.

Neben den genannten Aufgabenfeldern liegt der Gewinn für die Prüfbüros in dem hohen Know-how der BVS. Insbesondere sind hier zu nennen:

- die effektive Organisation der Bewertungs- und Abrechnungsabläufe,

- die fundierte und nachvollziehbare Bewertung von Projekten und die Vereinheitlichung von Bewertungsverfahren,
- die rechtssichere Abrechnung von Projekten in Form und Inhalt,
- die Mediation der BVS in Streitfällen, die zu einer sehr niedrigen Quote von Zahlungsausfällen und Widersprüchen führt,
- die ständige Weiterentwicklung der webbasierten Plattform in Zusammenarbeit mit der beauftragten Softwarefirma.

In gebührentechnischen Fragen steht die BVS zudem den unteren Bauaufsichtsbehörden in Berlin und Brandenburg als kompetenter Ansprechpartner zur Verfügung. Gleichzeitig ist die BVS Beteiligter und Ansprechpartner für die Obersten Bauaufsichten in Anhörungsverfahren bei der Novellierung von Gesetzlichkeiten und im gegenseitigen Erfahrungsaustausch. Nicht zuletzt pflegt die BVS einen engen Kontakt zu den Bautechnischen Prüffämtern der Bundesländer Berlin und Brandenburg. Aber auch bei überregionalen Fragestellungen wird die BVS als unabhängige Institution angefragt.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil einer BVS ist die allgemeine Sicherstellung der einheitlichen Gebührenabrechnung. Mit ihr können sich die Prüfbüros darauf verlassen, dass die Gebühren landeseinheitlich abgerechnet werden und dass es keine unzulässigen Nachlässe gibt.

Wo steht die BVS Berlin-Brandenburg heute?

Die Nutzung einer gemeinsamen Plattform führt zu einem hohen Maß an Effizienz. In den vergangenen zwanzig Jahren wurden

durch die BVS Berlin-Brandenburg 230.000 Projekte der hoheitlichen Prüfung in den Bereichen Brandschutz und Standsicherheit in Berlin und Brandenburg realisiert. Das bedeutet ein Volumen von 550.000 Prüfberichten und 460.000 Gebührenrechnungen, 4,5 Millionen Einträgen in die Archive der Projekte und einer Million Zahlungsvorfällen.

Die beauftragte Softwarefirma ist vertraglich für die hochverfügbare, reibungslose Nutzung der Plattform Tag und Nacht (Stichwort: 24/7) verantwortlich, ebenso für die Erweiterung des Datenumfanges, die Bandbreite der Datenzugriffe und für die Entwicklung des Leistungsumfanges.

Digitalisierung als Herausforderung

Durch den Einsatz digitaler Technologien wandeln sich nicht nur Prozesse, sondern auch die Arbeitswelt der Menschen. Die Digitalisierung ist ein endloser Prozess der organisatorischen und technischen Transformation – so auch in der Arbeitswelt der BVS Berlin-Brandenburg.

Zu den grundlegenden Überzeugungen dieser Entwicklung gehören die gemeinsame Nutzung von und der barrierefreie Zugang zu Informationen, die nachhaltige Gestaltung von Infrastrukturen und Ökosystemen für den Informationsaustausch und, vor al-

lem, die Einbindung des Menschen in die jeweiligen Prozesse. Die Umsetzung dieser Grundgedanken hat in den vergangenen Jahren eine Reihe von Erweiterungen der Plattform der BVS Berlin-Brandenburg hervorgebracht.

Die 2010 entwickelte und mit dem Innovationspreis des Berliner Wirtschaftssenats ausgezeichnete Technologie *iODF*, mit der ohne spezielle Kenntnisse Dokumente erzeugt werden können, die sich mit Open Source-Software bearbeiten lassen, erzeugt jährlich ungefähr 120.000 Dokumente im freien ODF/PDF-Format. Neben der Abwicklung der für die Gebührenabrechnung notwendigen Dokumente produziert die Plattform individuelle, für die Büros angepasste Dokumente aller Art.

Die Nutzung von Metadaten gibt allen verfertigten Dokumenten eine eigene, jederzeit und überall abrufbare systemische präzise Zuordnung. Die Weiterverarbeitung über Schnittstellen für die Speicherung (das Dokument kennt seinen Speicherort auch im lokalen Netzwerk), für die Belange der digitalen Signatur, der automatisierten Weitergabe per E-Mail oder als Downloadlink sowie der Ablage und der dauerhaften Speicherung in gut geordneten Archivsystemen sind möglich (Stichwort *eBauAkte2021*).

Eine der großen Herausforderungen der Digitalisierung ist die Schaffung und Betreibung von Schnittstellen für den Datenaustausch. Es wurden und werden noch immer zahlreiche Projekte in vielen Bereichen realisiert, beispielsweise für

- den Datenexport in externe lokale IT-Systeme,
- die Nutzung von exportierten Daten in externen Systemen für Auswertung und Visualisierung,
- die Einrichtung von APIs, die durch die Absicherung mit X.509-Zertifikaten einen hohen Sicherheitsstandard für die Übergabe und Übernahme von Daten haben,
- die Abwicklung des Zahlungsverkehrs mit Geschäftsbanken (SEPA-Container),
- die Umsetzung und Implementierung des Formates XRechnung.

Die BVS Berlin-Brandenburg besitzt mit Ihrer erprobten webbasierten Plattform gute Voraussetzungen und Erfahrungen für die Bewältigung der vielfältigen Aufgaben in Bezug auf die weitere Digitalisierung der Prüfaufgaben und ihrer Gebührenabrechnung.

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Illner, Vorstand der lunds AG
Dipl.-Ing. Olaf Kindler, GF der BVS Berlin-Brandenburg

Die Architekten und Ingenieure in NRW können sich nun auch als Prüffingenieure für Brandschutz anerkennen lassen

Mit Einführung der geänderten Landesbauordnung NRW (BauO NRW 2021) und der erforderlichen Anpassung der Verordnung über bautechnische Prüfungen (BauPrüfVO NRW) erfolgte Anfang Juli 2021 die Einführung des Prüffingenieurs für Brandschutz in Nordrhein-Westfalen.

Als Prüffingenieur für Brandschutz kann sich nun anerkennen lassen, wer

- über einen Studienabschluss der Fachrichtung Architektur, Hochbau, Bauingenieurwesen oder eines Studiengangs mit Schwerpunkt Brandschutz an einer deutschen Hochschule oder eines gleichwertigen Studiums an einer ausländischen Hochschule oder über den Abschluss der Ausbildung für mindestens den gehobenen feuerwehrtechnischen Dienst verfügt,

- mindestens fünf Jahre als staatlich anerkannter Sachverständiger tätig war und Projekterfahrungen mit höherem brandschutztechnischen Schwierigkeitsgrad sowie
- Projekterfahrungen über eine entsprechende Projektliste nachweisen kann.

Voraussetzungen für die Anerkennung als staatlich anerkannter Sachverständiger für Brandschutz sind unter anderem:

- die Mitgliedschaft in der Architektenkammer NRW oder in der Ingenieurkammer-Bau NRW,
- fünf Jahre Berufserfahrung in der brandschutztechnischen Planung und Ausführung,
- Kenntnisse in der Baustofftechnologie, im Bereich des abwehrenden Brandschutzes,

den gesetzlichen Grundlagen des vorbeugenden Brandschutzes sowie der entsprechenden Nachweisverfahren und Berechnungsmethoden,

- das erfolgreiche Durchlaufen des Anerkennungsverfahrens bei der Architektenkammer NRW beziehungsweise der Ingenieurkammer-Bau NRW.

Die Prüffingenieure werden im Auftrag der Behörden öffentlich-rechtlich tätig.

Die Bundesvereinigung der Prüffingenieure für Bautechnik (BVPI) begrüßte die Etablierung von Prüffingenieuren für Brandschutz in NRW. Wichtig sei allerdings, dass die allgemeinen Anerkennungs- und Qualitätsstandards für die Anerkennung von Prüffingenieuren, insbesondere die Prüfungsverfahren, eingehalten und auch durchgeführt werden.

DIBt-Präsident Breitschaft will sein Institut zu einem digitalen Dienstleister für das Bauwesen entwickeln

„Wir werden den Planern und Bauausführenden Wege zu europarechtlich verträglichen Bauprodukten weisen“

Am 1. November hat der Präsident des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft, offiziell seine zweite Amtszeit begonnen und dieses Anlasses wegen seine Absicht bekundet, die Arbeit des DIBt noch mehr als bisher auf das Ziel auszurichten, die „unvollständigen harmonisierten Bauproduktnormen zu vervollständigen und die Bauprodukteverordnung so zu verbessern, dass mangelhafte Normen künftig schneller geändert und aktualisiert werden können“. Da dieser Prozess allerdings einige Jahre in Anspruch nehmen werde, „versuchen wir im DIBt gemeinsam mit den Obersten Bauaufsichten, europarechtlich verträgliche Wege zu finden, um den Planern und Bauausführenden doch konkrete Hilfestellungen zu geben, wie sie sichere Produkte auswählen können“.

Breitschaft kündigte diese seine Absicht in einem Interview an, das er dem Newsletter des DIBt gab. Im Verlauf dieses Gesprächs fragte ihn dessen Redakteurin Carmen Holzwarth nach zu erwartenden größeren Änderungen des Bauordnungsrechts und erhielt die Antwort, dass er sich, zusammen mit seinen Kolleginnen und Kollegen in den Bundesländern, vor allem um eine größere Einheitlichkeit bei der Umsetzung der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) bemühen werde, die „von der Praxis immer wieder eingefordert“ werde. Am dringendsten sei ihm aber eine Antwort auf die Frage, „wie die Nachhaltigkeit in den Bauordnungen verankert werden kann“. Weil der Schutz von Klima und Ressourcen „das wichtigste Thema unserer Zeit“ sei, und das Bauen und Betreiben von Gebäuden „einen gewaltigen Anteil daran“ habe, liege es nahe, die Bauordnungen der Länder entsprechend anzupassen. Um diese Ziele zu erreichen, will Breitschaft, „mal als Bauingenieur gesprochen“, der Bauwirtschaft vom DIBt Impulse insbesondere für die Förderung klimafreundlicher Produkte und Bauweisen geben, industrielle Bauweisen, wie etwa den 3D-Druck oder das serielle und modulare Bauen stärken und die Modernisierung sicherheitstheoretischer Überlegungen für das Bauwesen vorantreiben.



DER PRÄSIDENT des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft, wurde 60 Jahre alt – und hat für seine zweite Amtszeit große Pläne.

Große Aufmerksamkeit will Breitschaft in seiner zweiten Amtszeit auch der Digitalisierung widmen. Der Verwaltungsrat des DIBt, so berichtet Breitschaft in seinem Interview, habe einer Digitalisierungsstrategie zugestimmt, um das DIBt in den nächsten zehn Jahren zu einem digitalen Dienstleister zu entwickeln. „Derzeit bauen wir deshalb unsere Kompetenzen im Bereich der Digitalisierung und der agilen Projekt- und Prozesssteuerung aus, weil wir hier große Bedarfe auf die Bauverwaltung zukommen sehen“, sagte Breitschaft.

Besonderen Wert legte Breitschaft in dem Interview auf die Darstellung der bestehenden und künftigen fachlichen Kompetenz des DIBt. Er wies darauf hin, dass die Bautechnik und deren Regelwerke sich ständig weiterentwickeln. Innovative Techniken und Verfahren, neue Regelungsansätze, geänderte Vorgaben oder auch die Entwicklung neuartiger Lösungen verlangten dem DIBt „als Kompetenzzentrum des Bundes und der Länder im

Bauwesen“ die Fähigkeit ab, mit jeder sich abzeichnenden oder sich einstellenden Entwicklung Schritt zu halten. „Die Pflege und der Ausbau unserer Expertennetzwerke“, sagte er, und „die Rekrutierung und Bindung qualifizierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind dafür unabdingbar“.

Die Aufgabe des DIBt ist die Wahrung öffentlicher Interessen, insbesondere in Bezug auf Standsicherheit, Brandschutz, Gesundheits- und Umweltschutz, Schall- und Wärmeschutz, Energieeinsparung, Nachhaltigkeit, Sicherheit in der Nutzung sowie Gewässerschutz. Was das bedeutet, zeigt diese Aufstellung. Das DIBt

- erteilt nationale Zulassungen;
- stellt Europäische Technische Bewertungen für Bauprodukte aus;
- erteilt Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) und vorhabenbezogene Bauartgenehmigungen (vBG) für das Land Berlin;
- veröffentlicht die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB);
- überprüft Standsicherheitsnachweise für bauliche Anlagen, die in ähnlicher Ausführung an unterschiedlichen Standorten verwendet werden sollen (Typenprüfung);
- bereitet die Anerkennung von Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen vor, die in der Fremdüberwachung von Bauprodukten tätig werden möchten;
- notifiziert notifizierte Stellen, die die Leistungsbeständigkeit CE-gekennzeichneter Bauprodukte bewerten und überprüfen;
- ist als Marktüberwachungsbehörde der Länder für CE-gekennzeichnete Bauprodukte tätig;
- fungiert als Registrierstelle für Energieausweise und Inspektionsberichte für Klimaanlagen nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG);
- fördert die Bauforschung;
- vertritt bauaufsichtliche Belange in der Normung;
- und wurde von zahlreichen Bundesländern als zuständige Behörde für den Schutz vor Radioaktivität in Bauprodukten nach §§ 134, 135 StrlSchG benannt.

Neuer Vorstand der Prüflingenieur in Bremen: Dr.-Ing. Maïke Timm löst Dipl.-Ing. Uwe Sabotke ab Die elektronische Prüffakte und die Verstärkung der Nachwuchswerbung sind ihre wichtigsten Themen

Im Rahmen der diesjährigen Mitgliederversammlung der Vereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik in Bremen (VPI Bremen), die coronabedingt digital stattfinden musste, wurde Dr.-Ing. Maïke Timm als neue Landesvorsitzende gewählt. Sie löst Dipl.-Ing. Uwe Sabotke ab, der nach 23jähriger Vorstandsarbeit (seit 2009 als Vorsitzender) für eine Wiederwahl nicht mehr zur Verfügung stand. Zu stellvertretenden Vorsitzenden wurden Dr.-Ing. Olaf Hemmy neu in den Vorstand und Dipl.-Ing. Karsten Foth wiedergewählt.

In den vergangenen 20 Jahren ist es ihrem bisherigen Vorsitzenden Dipl.-Ing. Sabotke gelungen, die Zusammenarbeit der VPI mit den Bauaufsichten in Bremen, Bremerhaven und im Bremer Umland zu intensivieren und ein vertrauensvolles, kooperatives sachlich orientiertes Miteinander zu schaffen. Insbesondere die hohe Wertschätzung, derer sich die Bauaufsicht im Land Bremen und die VPI gegenseitig erfreuen, führte, wie Sabotke in einer Rückschau schrieb, zu einem Paradigmenwechsel, denn die im Jahr 2002 eingeführte, politisch gewollte privatrechtliche Prüfung umfangreicher Bauantragsverfahren konnte nach intensiven und überzeugenden Gesprächen der VPI mit der Bauaufsicht in der Landesbauordnung 2009 wieder in das komplett hoheitliche Prüfverfahren überführt werden. Der gute Kontakt zur Bauaufsicht in



DIE NEUE VORSITZENDE der Vereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik in Bremen, Dr.-Ing. Maïke Timm, hat sich weit über den norddeutschen Raum hinaus einen guten fachlichen Ruf erworben. Sie löst am 1. Januar 2022 Dipl.-Ing. Uwe Sabotke als Vorsitzende ab, der dieses Amt seit 2009 innehatte.

Bremen habe auch dazu geführt, dass die VPI bei allen relevanten Änderungen der Bauordnung um Stellungnahme gebeten und als Diskussionspartner geachtet werde.

Als seine Partnerin im gemeinschaftlichen Ingenieurbüro STB Sabotke – Timm & Partner, das mit circa 70 Mitarbeitern in Bremen und Potsdam zu den großen Bauingenieurbüros im norddeutschen Raum zählt, tritt Dr.-Ing. Maïke Timm am 1. Januar 2022 den Vorsitz der Prüflingenieure an.

Als bis vor kurzem einzige Prüflingenieurin für Standsicherheit in Norddeutschland sowie

durch ihre Expertise als Partnerin im Büro STB habe Timm sich, wie Sabotke betonte, einen guten Ruf erarbeitet, der weit über den norddeutschen Raum ausstrahlt.

Die neue Vorsitzende hat die Einführung der elektronischen Prüffakte mit der festen Verankerung des Prüffwesens im digitalen Planungsprozess sowie die Gewinnung junger Kandidatinnen und Kandidaten für die Bewerbung um Anerkennung und Zulassung als Prüflingenieur als die beiden wichtigsten Themen bezeichnet, welche sie als Vorsitzende der Prüflingenieure in Bremen weiter voranbringen will.

Hinweise für den Umgang mit elektronischen Signaturen bei der digitalen Prüfung bautechnischer Nachweise

Die Bundesvereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik (BVPI) hat ein Grundlagenpapier herausgegeben, das Prüflingenieuren und Prüfsachverständigen sowie deren Auftraggebern praktische Erläuterungen und ganz konkrete und genaue Hinweise für den Umgang mit elektronischen Signaturen bei der digitalen Prüfung von bautechnischen Nachweisen gibt.

Das neunseitige Dokument ist vom Arbeitskreis Digitalisierung der BVPI erarbeitet worden und soll den Prüflingenieuren und Prüfsachverständigen und ihren Auftraggebern den konkreten Einstieg in die Handhabung elektronischer Signaturen erleichtern und diesbezügliche Empfehlungen abgeben. Neben den rechtlichen Grundlagen werden die wichtigsten Begriffe rund um die digitale Signatur erläutert und der Ablauf eines Digitali-

sierungsprozesses dargestellt. Abschließend werden Signaturbeispiele mit Unterschriftsbildern gezeigt.

Die Erläuterungen und Hinweise zum Umgang mit elektronischen Signaturen werden in dieser Ausgabe des PRÜFLINGENIEURs im Wortlaut veröffentlicht (Seite 60), können aber auch auf der Website der BVPI (www.bvpi.de) heruntergeladen werden.

EU-BauPV vs. Eurocodes: Mit der neuen prEN1991-1-2 wird ein Lösungsvorschlag zur Lückenschließung vorgelegt Er würde allerdings zu einer deutlichen Verschiebung der Verantwortlichkeiten auf die Planung und Prüfung führen

Durch eine Anpassung der normativen Anhänge C und A der neuen prEN1991-1-2 wird für den Betonbau eine vorläufige Lösung für die Regelungslücke zwischen Bauprodukteverordnung (EU-BauPV) und Bemessungsregelungen angeboten. Die Regelungslücke könnte, so der Vorschlag einer kleinen Arbeitsgruppe der EU-Kommission, durch eine Anpassung der normativen Anhänge C und A (Anforderungen an Baustoffe, Anpassung von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe) im Entwurf des Eurocode 2 geschlossen werden. Sofern sich dieser Lösungsvorschlag für den Betonbau durchsetzt, muss allerdings gefragt werden, welche Auswirkungen diese Lösung auf den Bauablauf haben würde – und welche neuen Haftungsfragen für Planer und Prüfer entstehen würden. Denn diese Lösung würde unzweifelhaft eine weitere deutliche Verschiebung der Verantwortlichkeiten von den Herstellern auf die Planer bewirken – zumal auch noch eine als künftiges europäisches Prinzip zu wertende Übertragung dieses Lösungsvorschlages auf alle anderen Eurocodes droht.

Mit Erscheinen des europäischen Normenentwurfes zur DIN EN 1992-1-1:2021-10 (Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1) zeigen

nach der Umstellung von der früheren EU-Bauprodukterichtlinie (BauprodukteRL) auf die heutige EU-Bauprodukteverordnung (EU-BauPV) unterschiedliche Lösungsversuche für dieses Problem.

Die Auswirkungen der Umstellung von der EU-Richtlinie zur EU-Verordnung sind seit spätestens 2014 bekannt und führten unter anderem zum Wegfall des bekannten Ü-Zeichens für Bauprodukte. Dies hatte zur Folge, dass Produkteigenschaften, die in den Eurocodes für Bemessung gefordert werden, nicht in den harmonisierten europäischen Produktnormen (hEN) und in anderen Quellen vorkommen, für die die BauprodukteVO relevant ist. Dass eine solche Regelungslücke unbedingt geschlossen werden müsse, ist in den beteiligten Kreisen unbestritten. Allein der Weg zur Lückenschließung ist umstritten beziehungsweise zumindest diskutabel.

Auf europäischer Ebene wurde in diesem Zusammenhang im CEN/TC250, dem Ausschuss der EU-Kommission, der die Gesamtverantwortung für alle europäischen Arbeiten an EU-Bauvorschriften trägt, eine horizontale Gruppe (AHG Interface) gebildet, die Lösungsansätze für dieses Problem liefern sollte. Eine Analyse der unterschiedlichen Konstellationen bei nicht vorhandenen und vorhandenen Regelungslücken zeigt die **Abb. 1**. Mit Erscheinen des Eurocodeentwurfs

prEN1991-1-2:2021 liegt nun für den Bereich Betonbau ein Lösungsvorschlag durch Anpassung der normativen Anhänge C (Anforderungen an Baustoffe) und A (Anpassung von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe) vor.

In Anhang C sollen danach die Anforderungen an Baustoffe aufgeführt werden, die unter dem Gesichtspunkt der Verwendbarkeit nach Eurocodebemessung von den Herstellern weder benannt werden können, dürfen oder wollen. Diese Eigenschaften detailliert zu beschreiben, soll nach diesem Vorschlag künftig Sache der Planer sein.

Im Anhang A des Eurocodeentwurfs soll zusätzlich eine Verknüpfung von Anforderungen an Bauprodukte, deren Herstellungsprozess und an das zu erwartende Zuverlässigkeitsniveau mithilfe anpassbarer Teilsicherheitsbewerte eingeführt werden. Dabei wird der Teilsicherheitsbeiwert für die Fertigteilherstellung teilweise direkt mit dem in der BauprodukteVO verankerten sogenannten AVCP-System (*Assessment and verification of constancy of Performance*) verknüpft.

Auch wenn die vorgeschlagene Lösung für den Bereich des Betonbaus gangbar erscheint und akzeptiert werden könnte, muss hinterfragt werden, welche konkreten Auswirkungen die vorgeschlagenen Änderungen auf

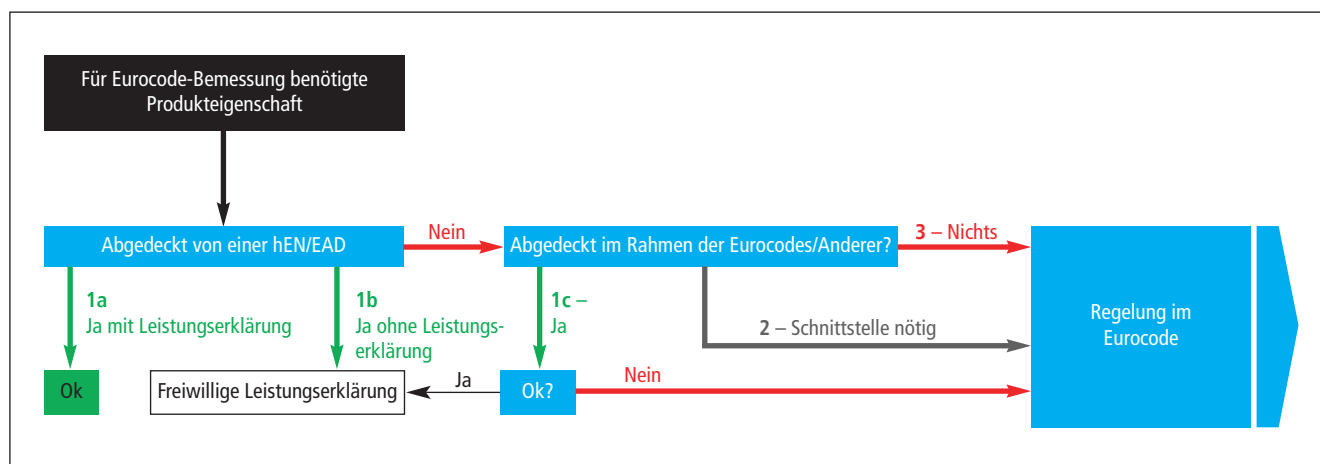


Abb. 1: Vorschlag der EU-Kommission für eine langfristige Problemlösung über harmonisierte Europäische Produktnormen CEN/TC250/N2632

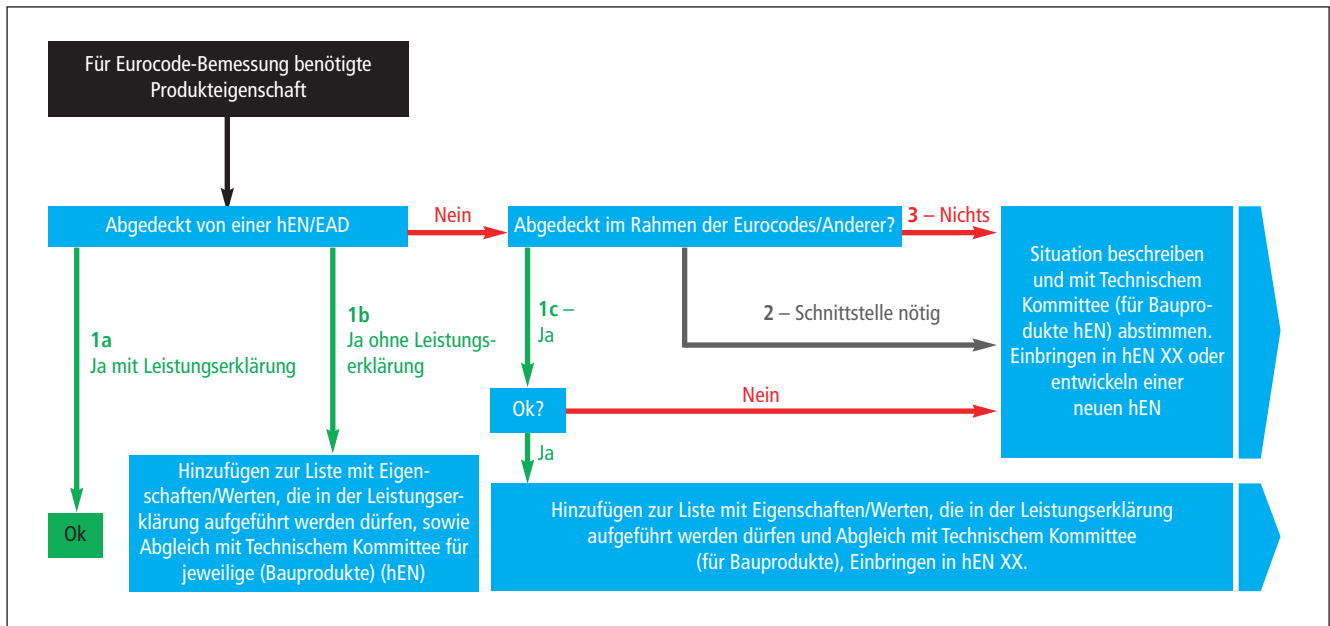


Abb. 2: prEN1992-1-1:2021 als umgesetztes Beispiel für einen Vorschlag für eine kurzfristige Problemlösung über Eurocodes CEN/TC250/N2328

den Bauablauf und damit auf damit entstehenden Haftungsfragen für die Planer und Prüfer haben werden, weil der vorgeschlagene Weg unzweifelhaft zu einer deutlichen Verschiebung der Verantwortlichkeiten von den Herstellern auf die Planer und Prüfer führt.

Gleiches gilt für die Einführung der anpassbaren Teilsicherheitsbeiwerte, denn ausreichende und belastbare wissenschaftliche Grundlagen für den vorgeschlagenen Verfahrensweg liegen aktuell (noch) nicht vor.

Eine Übertragung dieses Lösungsvorschlages

für den Betonbau auf alle Eurocodes und die Verankerung dieser Lösung als grundsätzliches Prinzip im prEN1990 (Eurocode 0, Grundlagen der Tragwerksplanung) und deren Anhang B ist vor diesem Hintergrund besonders kritisch zu sehen, zumal diesem Thema auf europäischer Ebene derzeit eine eher untergeordnete Bedeutung zuerkannt und deshalb nicht mit besonderer Aufmerksamkeit behandelt wird.

Nicht aus dem Fokus verloren werden sollte darüber hinaus aber, dass das eigentliche Problem in den lückenhaften harmonisierten

europäischen Normen (hEN) und nicht in den Bemessungsnormen zu suchen ist. Die Argumentation, dass die in prEN1992-1-1 für den Eurocode 2 (Abb. 2) angestrebte Vorgehensweise lediglich eine Zwischenlösung bis zur Überarbeitung und Komplettierung der hEN darstelle, ist mit äußerster Vorsicht zu genießen, denn einmal in die Eurocodes aufgenommene Formulierungen wieder zu streichen, dürfte einer Herkulesaufgabe gleichkommen.

Syndikusrechtsanwalt Henning Dettmer, BVPI
Dipl.-Ing. Christian Klein, BVPI

DAfStb-Entwurf für Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten mit Regelungen für die biegeeweiche Lagerung

Anfang Juli 2021 hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) den Gelbdruck der Richtlinie Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten zur Kommentierung veröffentlicht, die noch bis zum 30. November dieses Jahres möglich ist.

Der Entwurf wurde im DAfStb-Ausschuss Hohlplatten erarbeitet und hat drei Teile:

- A: Stahlbetonhohlplatten,
- B: Spannbetonhohlplatten und
- C: Allgemeine Anforderungen.

Im Teil B: Spannbetonhohlplattendecken hat sich der Ausschuss insbesondere mit der Problematik fehlender beziehungsweise ausgefallener bauaufsichtlicher Zulassungen beschäftigt. Hintergrund ist die unklare Anwendbarkeitssituation von Bemessungs- und Produktnorm in diesem Bereich (DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1168).

Als Neuerung enthält die DAfStb-Richtlinie Regelungen für die biegeeweiche Lagerung, die aus Gutachten abgeleitet wurden. Darüber hinaus sind in der DAfStb-Richtlinie Bestimmungen für die Bauausführung sowie

die Prüfung der Zugfestigkeit der Plattenstege enthalten.

Der Gelbdruckentwurf kann auf der Website des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton erworben werden. Er umfasst 44 Seiten und kostet 116,30 Euro. Die Einspruchsfrist endet planmäßig am 30. November 2021, die Einspruchssitzung wird voraussichtlich Anfang 2022 stattfinden.

<https://www.beuth.de/de/technische-regelentwurf/dafstb-fertigteilhohlplatten/343850007>

Stadtbildprägend, selbstbewusst, mit originärem Charakter: Die neue S21-Eisenbahnbrücke in Stuttgart-Bad Cannstatt Eine Stahlsegelbrücke mit einem innovativen Tragwerk in bisher nie dagewesener Form im Eisenbahnbrückenbau

Zwanzig Jahre hat es gedauert, bis der schon fertige Plan für eine neue Eisenbahnbrücke am Neckarknie zwischen Stuttgart und Bad Cannstatt dem Bauherrn übergeben werden konnte. Etliche Planungsstopps hatten den schönen Entwurf immer wieder auf Eis gelegt, mit dem Jörg Schlaich 1998 den Gestaltungswettbewerb für eine viergleisige neue Brücke über den Neckar im neuen Eisenbahnknoten des Gesamtprojekts *Stuttgart21* gewonnen hatte. Nun aber steht sie da, seine Stahlsegelbrücke, stadtbildprägend, selbstbewusst und mit dem eigenständigen ästhetischen Charakter einer bisher nie dagewesenen Form. 2025 soll sie, wenn der Oberbau und Probelastungen werden ausgeführt worden sein, in Betrieb gehen. Wie so viele solcher ungewöhnlichen, tonangebenden Projekte verlangten die Planung und der Bau dieser Stahlsegelbrücke wegen ihres für den Eisenbahnbrückenbau besonderen Tragwerks hohe Anforderungen an die Zusammenarbeit aller Beteiligten. Standardisierte Nachweisführungen waren, wie der folgende Beitrag anschaulich darstellt, teilweise normativ nicht anwendbar. Und die ausführende Firma hatte im Werk und auch vor Ort besondere fertigungstechnische Fähigkeiten sowohl für die Stahlbau- und Montagearbeiten als auch für die Gründungsarbeiten zu beweisen. So wurde diese Brücke ein weiteres Indiz dafür, wie notwendig die pragmatische und gegenseitig unterstützende Zusammenarbeit des Planers, des bautechnischen und des schweißtechnischen Prüfingenieurs, des EBA-Gutachters, der ausführenden Firma und des Auftraggebers für unverwechselbare Bauwerke sind.



Dipl.-Ing. Frank Schächner

studierte bis 2002 Bauingenieurwesen (Konstruktiver Ingenieurbau) an der Universität Karlsruhe (TH) und verfolgte seine professionelle Laufbahn als angestellter und selbstständiger Ingenieur im In- und Ausland bei verschiedenen namhaften und renommierten Ingenieurbüros; seit 2010 ist er bei schlaich bergemann partner sbp (Stuttgart), wo er in der Planung von Eisenbahnbrücken, Straßenbrücken, Fußgängerbrücken in Deutschland und weltweit tätig ist; seit Anfang 2021 ist Frank Schächner Administrative Director bei sbp.

f.schaechner@sbp.de/www.sbp.de

1 Einführung

Die Neu- und Ausbaustrecke des Projekts *Stuttgart21* mit den beiden Knotenpunkten Stuttgart und Ulm ist Bestandteil des *Europäischen Infrastrukturleitplanes* des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC), der 1922 in Paris mit dem Auftrag gegründet worden ist, die Bedingungen der Konstruktion und des Betriebes von Eisenbahnen für den internationalen Verkehr durch Standardisierung zu verbessern. Die Europäische Kommission nahm die Eisenbahn-Hochgeschwindigkeitsachse zwischen Paris und Budapest/Bratislava 1995 als Projekt 17 des TEN (Trans European Network) auf. Die *Magistrale für Europa* soll die ökonomische, politische und kulturelle Integration von Ost- und Westeuropa voran begünstigen, und etwa 34 Millionen EU-Bürger in fünf EU-Staaten näher zusammenbringen. Im Zentrum dieser Magistrale befindet sich der Großraum Stuttgart, wodurch ein umfangreicher Umbau des alten Schienennetzes und des Kopfbahnhofes erforderlich wurde. Für die Anbindung der verlegten Trasse an den neu geplanten Stuttgarter Hauptbahnhof ist der Neubau einer viergleisigen Eisenbahnbrücke über den Neckar als Ersatz für die bestehende Rosenstein-Eisenbahnbrücke erforderlich. Die neue *Neckarbrücke* liegt etwa 100 Meter nördlich der bestehenden Rosenstein-Eisenbahnbrücke aus dem Jahr 1914 und verbindet den neuen, nun als Durchgangsbahnhof um 90 Grad gedrehten Stuttgarter Hauptbahnhof mit dem Bahnhof Bad Cannstatt über den ebenfalls neu zu errichtenden DB-Rosensteintunnel (Abb. 1).

2 Wettbewerb und Entwurfshistorie

Der Entwurf der *Neckarbrücke* wurde im Jahr 1998 beim Gestaltungswettbewerb für eine neue Brücke über den Neckar von der Jury ausgewählt, die im Rahmen der Neuplanung des Eisenbahnknotens Stuttgart (*Stuttgart 21*) als zusätzliche beziehungsweise neue, viergleisige Querung des Neckars erforderlich wird.

Im Hinblick auf die schwierige städtebauliche Anbindung wurde 1998 zur Ideenfindung der neuen Bahnbrücke über den Neckar ein Gutachtertverfahren durchgeführt. Unter den vier eingereichten Entwürfen, die in Zusammenarbeit von Ingenieuren, Architekten und Landschaftsarchitekten entstanden, ging der nachfolgend beschriebene Entwurf von Jörg Schlaich (schlaich bergemann partner) als Sieger hervor (Abb. 2, Abb. 3).

Die Wettbewerbsjury schrieb über diesen Entwurf [1]:

Die Verfasser entwickeln ein Brückenbauwerk, das durch die Innovation seines Tragwerks besticht. Ein dünnes Brückenband, auf mehreren schlanken Stützen im Uferbereich und über den Neckar an Stahlsegeln aufgehängt, zeigt den Kraftfluss in der Konstruktion und bildet gleichzeitig eine skulpturale Form, die eine eindeutige Identifikation der Brücke mit der Stadt Stuttgart und der Flusslandschaft gestattet ...



© Tierbauamt Stuttgart

Abb. 1: Überblick über das Brückenensemble und die verkehrliche Situation im Jahr 2020 am sogenannten Neckarknie in Stuttgart-Bad Cannstatt: (von hinten nach vorne): neue Neckarbrücke, alte Rosenstein-Eisenbahnbrücke (momentan noch in Betrieb), Straßenbrücke König-Karls-Brücke



© plan b Agentur für Visuelle Kommunikation GmbH, 70180 Stuttgart

Abb. 2: Visualisierung des Ausführungsentwurfs für die Eisenbahnüberführung Neckar 2018 von schlaich bergemann partner

Im stark verbauten und verkehrlich belastenden Neckartal soll sich die neue Brücke zwischen dem westlich gelegenen Rosensteinpark und dem historisch gewachsenen Bad Cannstatt selbstbewusst und mit eigenständigem Charakter behaupten, sich gleichzeitig aber auch behutsam in das flache Flusstal einfügen.

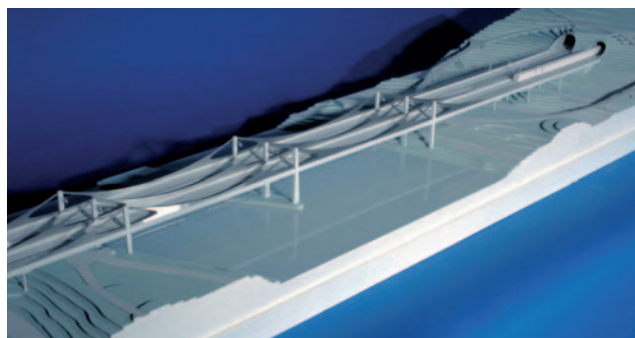
Mit klaren, aus dem Kraftfluss abgeleiteten Linien und schlanken Bauteilabmessungen soll mit minimalen Mitteln ein markantes und verständliches Brückentragwerk entstehen.

Das dünne Brückenband der äußeren, nur 210 Zentimeter hohen Längsträger ruht auf schlanken Einzelfeilern und ist in den Hauptfeldern über dem Neckar an Stahlseilen nach oben zu den Mastköpfen hin aufgehängt. Typologisch kann das Tragwerk zwischen einer Schrägseil- oder *Extradosed*-Aufhängung beziehungsweise einer Trogbücke mit nach der Momentenlinie geformten Stegen eingeordnet werden.

Diese für eine Eisenbahnbrücke bisher nie dagewesene Form überrascht zunächst. Dennoch erschließt sich dem Betrachter das logisch nachvollziehbare Tragverhalten. Dieses Tragprinzip lässt sich auch anschaulich aus bereits gebauten Brücken durch die Anwendung des

Umkehrprinzips von druck- oder zugbeanspruchten Tragwerken ableiten. Aus der Umkehrung von Bogenbrücken oder Sprengwerken entstehen die Zügelemente aus Zügel- und Segelblechen.

Als anschauliche Beispiele dienen der Glemstalviadukt in Schwieberdingen oder die Tavanasabrücke in der Schweiz, die hier in **Abb. 4** und



© schlaich bergemann und partner

Abb. 3: Wettbewerbsmodell 1998 der Eisenbahnbrücke über den Neckar 1998 von schlaich bergemann partner

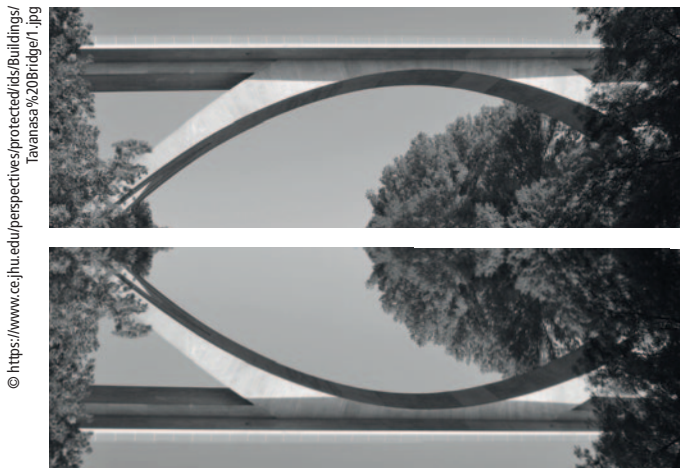


Abb. 4: Der 1962 fertiggestellte Glemstalviadukt in Schwieberdingen (Entwurf Hermann Bay, Architekt Wilhelm Tiedje)



Abb. 6: Die 1980 fertiggestellte Ganterbrücke am Simplon in der Schweiz (Designkonzept: Christian Menn (Entwurf), Entwurf: Blötzer+Pfammatter/Schneller-Schmidhalter-Ritz)

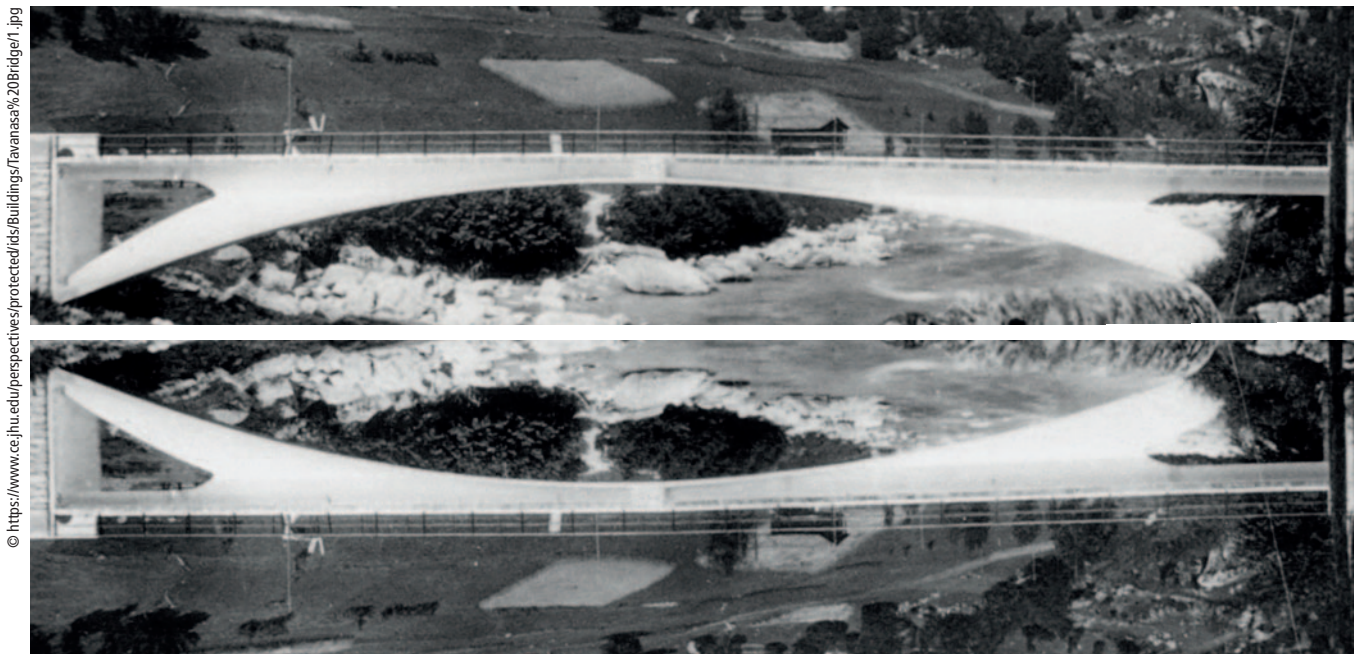


Abb. 5: Die Tavasabrücke über den Rhein in der Schweiz von 1906 (Entwurf Robert Maillart)

Abb. 5 durch die Anwendung des Umkehrprinzips jeweils im unteren Bild auf den Kopf gestellt wurden [3].

Das Tragprinzip der Ganterbrücke in der Schweiz kann ebenfalls als Veranschaulichung herangezogen werden (Abb. 6). Hier erfolgte im Vergleich zur Eisenbahnüberführung Neckar die Aufhängung aus Spannbeton statt aus Stahlblechen. Der Überbau wurde zum Pfeiler hin angevoutet.

3 Aufgabenstellung und Bemessungsgrundlagen

3.1 Aufgabenstellung

Die Trasse der neuen S21-Eisenbahnbrücke kommt vom Westen aus zwei getrennt voneinander laufenden Tunnelröhren unter dem Rosensteinpark, führt unmittelbar danach auf die Brücke, überquert zwei Gleise einer Stadtbahnlinie, eine stark befahrene Bundesstraße, dann

den Neckar mit einer Zwischenstützung auf der Mittelmole der Kraftwerks- und Schleusenanlage, danach Uferwege und eine innerstädtische Straße, um dann am östlichen Bahndamm in den Cannstatter Bahnhof zu münden (Abb. 7). Dabei kommen die in Tabelle 1 gelisteten Werkstoffe zur Anwendung.

Die viergleisige Überführung der neuen S21-Eisenbahnbrücke (zwei Gleise für Fernbahnen, zwei für S-Bahnen, Abb. 7) wird durch einen Überbau realisiert, der aus Stahlhohlkasten-Längsträgern und Aufhängungen aus sogenannten Stahlsegeln im Bereich der Strombrücke besteht.

Aufgrund der schiefwinkligen Querung der darunterliegenden Verkehrswege der Straßen und des Neckars im Winkel von circa 70 Grad sind die Pfeilerachsen und damit die Stützquerträger ebenfalls schief angeordnet. Die Stützquerträger bestehen aus biegesteifen Stahlhohlkästen, welche die Torsionsbeanspruchungen aus den Längsträgern und die Querbiegung der Maste aufnehmen.

Bauteil	Baustoff	Festigkeit, Lieferzustand	Einzelblechdicken
Gründungen, Widerlager	Stahlbeton	C35/45, C30/37	
Pfeiler	Stahlbeton	C50/60 (mit ± 10% Schwankung bei E-Modul)	
Fahrbahnplatte	Stahlbeton	C35/45, Rissbreite 0,2 mm	
Längs-/Querträger	Baustahl	S355 – S460 N/M/NL, Z25-35	20-95 mm
Maste	Baustahl	S355 J2+N, Z35	40-45 mm
Mastkopfplatte	Baustahl	S460 QL, Z35	200 mm
Mastkopfbleche	Baustahl	S460 N/M/ML/QL/QL1, Z35	90-125 mm
Zügel	Baustahl	S355–S460 N/M/ML/QL, Z35	65 125 mm (gefräst, LP)
Segel	Baustahl	S355 – S460 N/M/ML/QL, Z35	70-120 mm

Tab. 1: Werkstoffe für die viergleisige Überführung (siehe Abb. 7)

Auf den Stahlquerträgern ist mittels Kopfbolzendübel eine 30 Zentimeter dicke Betonplatte angeordnet, welche in Längsrichtung die Schotterlasten und Verkehrslasten von Querträger zu Querträger trägt (Abb. 8). Von Plattenmitte zu den äußeren Längsrändern hin erhöht sich die Plattendicke von 30 auf 38 Zentimeter, um die Entwässerung zu gewährleisten. In Brückenquerrichtung wirkt die Betonplatte im Verbund mit den darunter liegenden Stahlquerträgern. Auf der Betonplatte mit bituminöser Abdichtung und der Schutzbetonschicht ist der Oberbau mit 70 Zentimeter hohem Gleisschotter und beidseitigen Kabelkanälen angeordnet. Der Entwurf sieht eine siebenfeldrige Durchlaufträgerbrücke mit Stützweiten von jeweils circa 28, 37, 47, 77, 74, 54,50, und 28 Meter vor.

Die Regelquerträger bestehen aus gevouteten I-Profilen im Abstand von drei Metern. Sie sind über die gesamte Brückenlänge ebenfalls schiefwinklig angeordnet, um ein regelmäßiges und gestalterisch ruhiges Erscheinungsbild in der Brückenuntersicht zu gewährleisten.

3.2 Bemessungsgrundlagen

Die Brücke wurde für den viergleisigen Eisenbahnverkehr gemäß Streckenklassifizierung für das Lastmodell LM 71 mit Anpassungsbeiwert $\alpha = 1,0$ auf allen vier Gleisen, sowie für Überfahrten des Schwerlastmodells SW/0 auf den Fernbahngleisen ausgelegt. Die Entwurfs-

geschwindigkeiten wurden mit 120 km/h für die Fernbahnseite, sowie 80 km/h für die S-Bahnseite vorgegeben. Darüber hinaus waren die für Eisenbahnbrücken typischen Einwirkungen zu berücksichtigen (Entgleisung, unbelasteter Zug oder der Lastfall Bremsen-Bremsen gemäß TM 2009-140 I.NVT 4 (K).

Die Bemessung der Brücke einschließlich der Unterbauten und Gründungen erfolgte aufgrund der Stichtagsregelung des Eisenbahnbundesamtes zur Einführung der Eurocodes noch auf Basis der alten DB-Regelwerke, nämlich der Richtlinie 804 (Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke, Ausgabe 2003/2008) der DB AG sowie der DIN-Fachberichte.

Im Zuge der Ausführungsplanung der Eisenbahnüberführung Neckar wurden dabei aufgrund von Abweichungen von den DB-Regelwerken *Unternehmensinterne Genehmigungen* (UiG) der DB AG erforderlich.

Aufgrund von Abweichungen von den bauaufsichtlich eingeführten Regelwerken wurden ebenfalls folgende Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) durch das Eisenbahnbundesamt (EBA) erforderlich:

- die Verwendung dicker Bleche mit Blechdicken von mehr als 100 Millimeter,

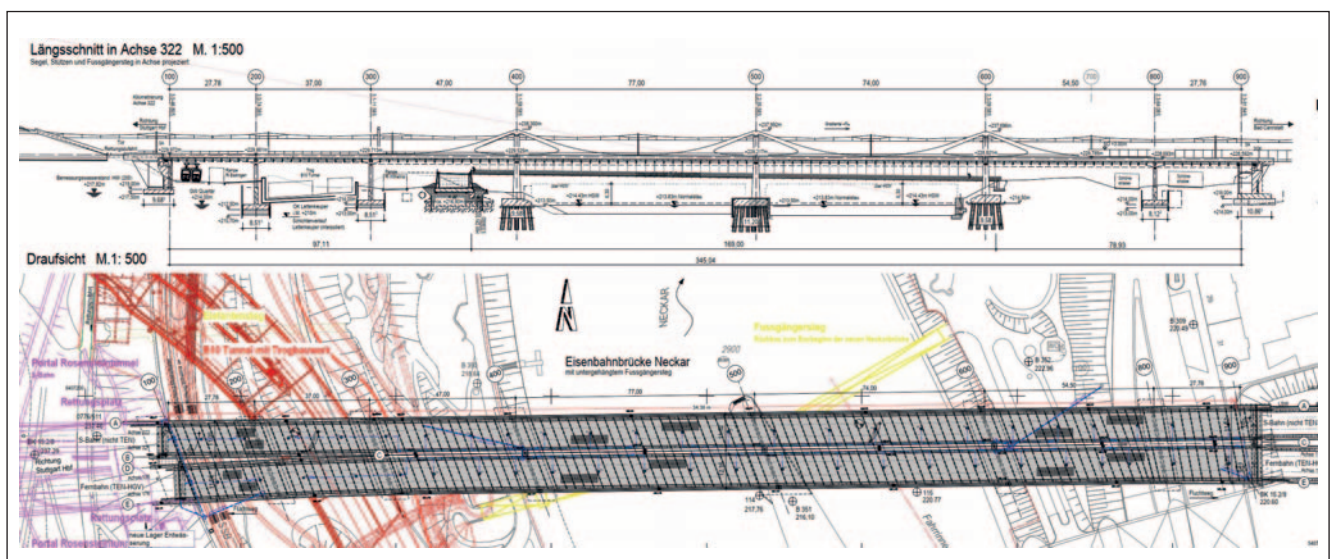


Abb. 7: Planansatz Längsschnitt und Grundriss

- die Verwendung von Baustahl S460 QL,
- die Anwendung von Berechnungs- und Bemessungsansätzen, die nicht in Gänze von bauaufsichtlich eingeführten Regelwerken abgedeckt sind (vor allem von Ansätzen für die Ermüdungsnachweise).

Bereits in der Entwurfsplanung wurden wichtige Berechnungsgrundlagen mit dem bautechnischen Prüfenieur gemeinsam abgestimmt und festgelegt. Auch während der Ausführungsplanung trugen die unterstützenden Abstimmungsgespräche zwischen Planer und Prüfenieur für die nicht-normativ geregelten Nachweisführungen wesentlich zur reibungslosen Erlangung der ZiE und zum Gelingen des Gesamtprojektes bei. Die Erlangung der ZiE erfolgte in Begleitung mehrerer iterativ entstandener Gutachten des ZiE-Gutachters Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen [4], [6].

4 Gründungen

Die *Neckarbrücke* liegt in der Kernzone des Stuttgarter Mineralwasservorkommens, das im Bereich des Neckars artesisch gespannt ist und dicht unterhalb der grundwasserleitenden Schicht und des Flussbettes

liegt. Natürliche Mineralwasseraufschlüsse in den Neckar sind an dieser Stelle zwar vorhanden, zusätzliche, künstliche Aufschlüsse durch Bautätigkeiten (zum Beispiel durch Gründungsarbeiten) waren aufgrund der Verordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart zum Schutz der staatlich anerkannten Heilquellen in Stuttgart-Bad Cannstatt und Stuttgart-Berg vom 11. Juni 2002 und durch das Amt für Umwelt auszuschließen. Das versehentliche Anschneiden eines Artesers in der Dichtschicht beim Bohren von Gründungspfählen oder ein Aufbruch aufgrund großflächigen Fundamentaushubs hätten zu einem Aufbrechen des Bodens und zum Hervorschießen einer Mineralwasser-Fontäne von mehr als zehn Meter Höhe führen können.

Die Fundamente mussten also wegen der Grund- und Mineralwasser-Problematik so flach wie möglich gegründet werden. Wegen der teilweise niedrigen zulässigen Sohlspannungen und hoher Setzungswerte wurden Fundamentplatten mit größeren Abmessungen erforderlich (circa 8 x 30 Meter unter den Vorlandstützen). Aufgrund der schiefwinkligen Überführung über die Straßen und den Fluss wurden die Fundamente und Pfahlkopfplatten im Grundriss als Parallelogramme ausgebildet. Die Abmessungen der Pfahlkopfplatten betragen 9 x 32 Meter in den Achsen 400 und 600 beziehungsweise in Achse 500 wurde die Geometrie der Bestandsmole angepasst.

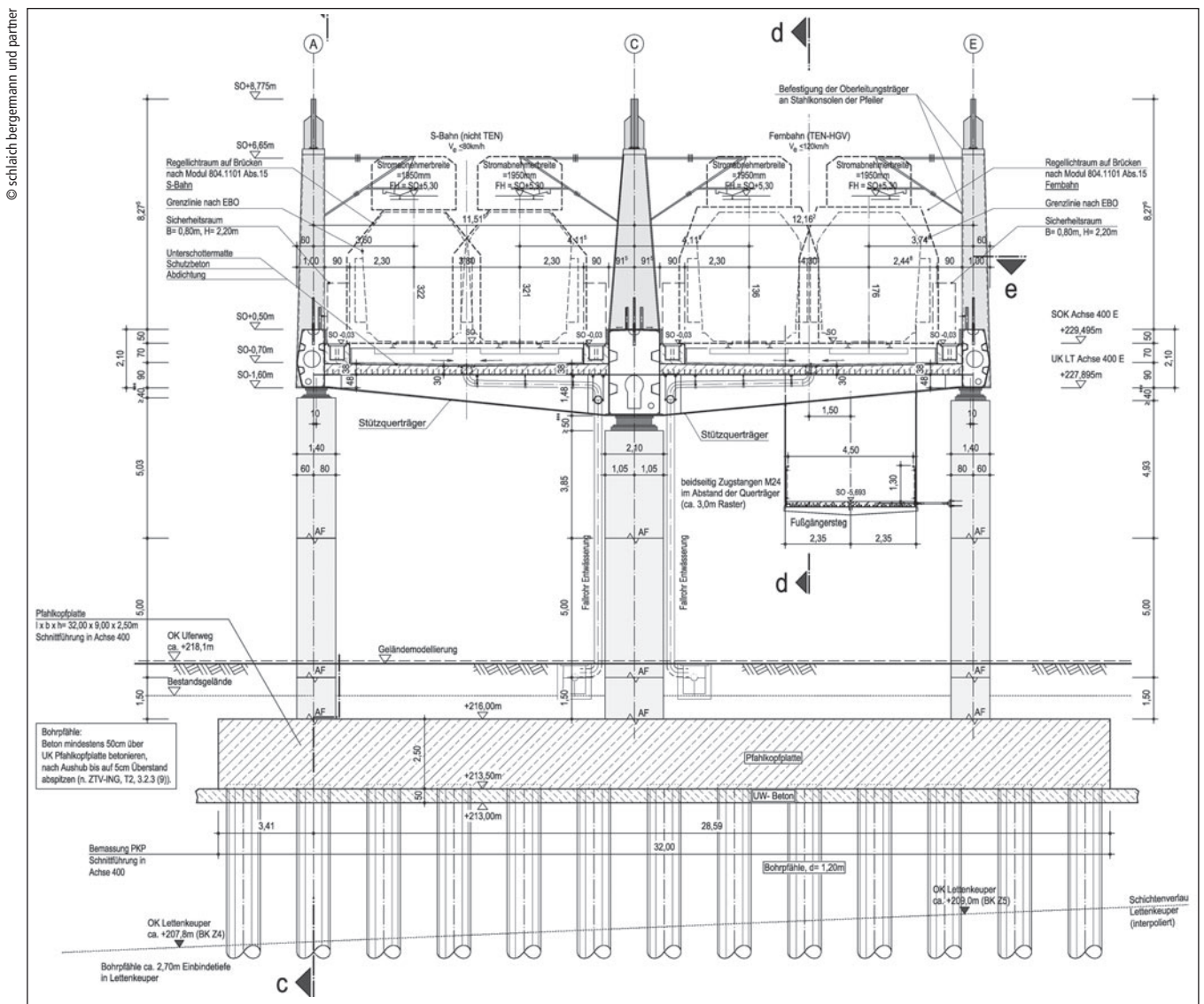
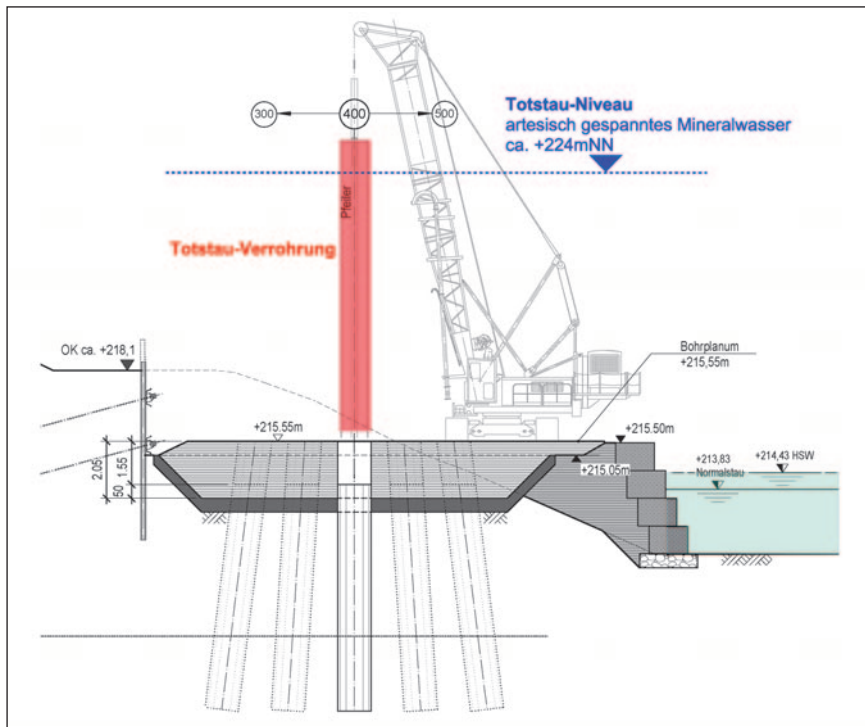


Abb. 8: Querschnitt der Hauptbrücke mit Tiefgründung



© schlaich bergemann und partner

Abb. 9: Aufsetzen der Totstau-Verrohrung im Fall eines Mineralwasseraufbruchs

Bei den Gründungen der Hauptbrücke (Abb. 8) an den beiden Uferseiten sowie in Flussmitte wurden Pfahlgründungen vorgesehen. Aufgrund der maximal zulässigen Einbindetiefe von nur 2,7 Meter in den Lettenkeuper war eine Vielzahl kurzer Bohrpfähle erforderlich. Im Falle eines Bodenaufbruchs durch das Anbohren eines Mineralwasser-Artesers während der Herstellung der Bohrpfähle wurde planerisch das Aufsetzen einer ungefähr zwölf Meter hohen Totstau-Verrohrung vorgeschlagen (Abb. 9). Diese hätte auf das im Boden befindliche Bohrohr aufgesetzt werden und das aufsteigende Mineralwasser innerhalb der Verrohrung totstauen können.

Die weitere Vorgehensweise für die Pfahlarbeiten, wie Aushub bis zum Pfahlfuß, das Einstellen des Bewehrungskorbes und die Betonage des Pfahls über die Totstau-Verrohrung, musste durch die ausführende Firma überprüft und sichergestellt werden. Arteser wurden während der Bauausführung keine angeschnitten, sodass das Verfahren nur zu Übungszwecken angewendet wurde.

Über die Herausforderungen bei der Gründung und über die Geologie und Hydrogeologie wurde in [7] ausführlich berichtet.

5 Statisches System und Besonderheiten des Berechnungsmodells

5.1 Statisches System

Das statische System in Längsrichtung ist ein siebenfeldriger, frei drehbar gelagerter Durchlaufträger. Das Längstragsystem besteht aus je zwei Stahl-Hohlkastenträgern in den Randfeldern im Bereich der getrennten Überbauten zwischen Achse 100 bis 300, beziehungsweise aus drei Stahl-Hohlkastenträgern bei der einteiligen Hauptbrücke Achse 300 bis 900.

Zwischen den Längsträgern sind im Abstand von drei Meter gevoutete Stahl-Querträger aus I-Profilen angeordnet. Die mittels konventionel-

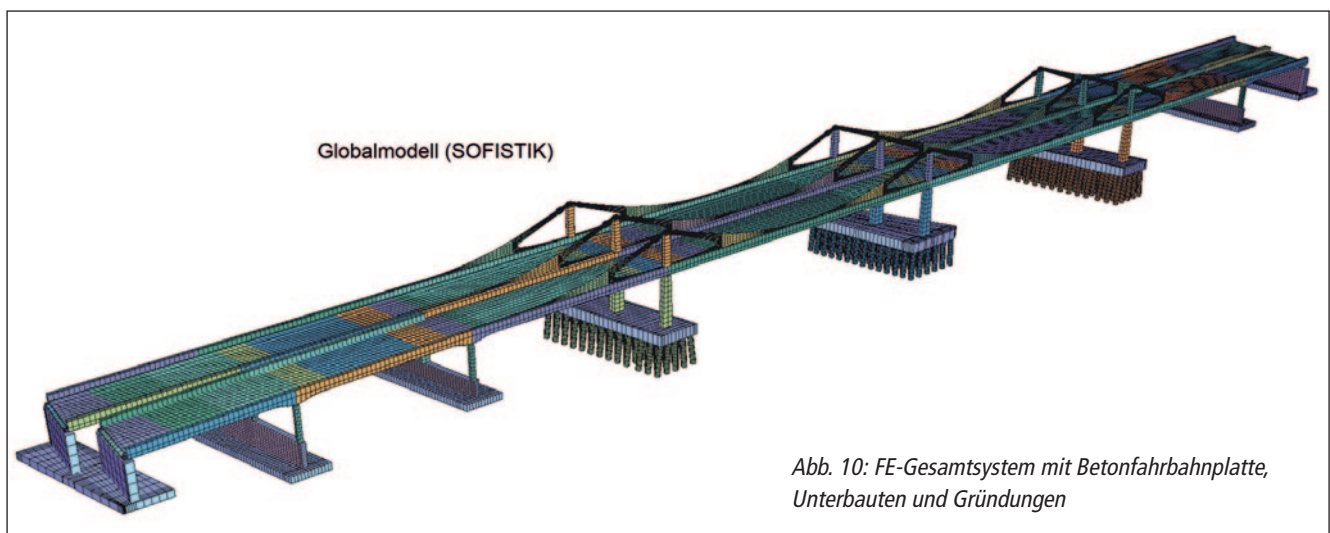
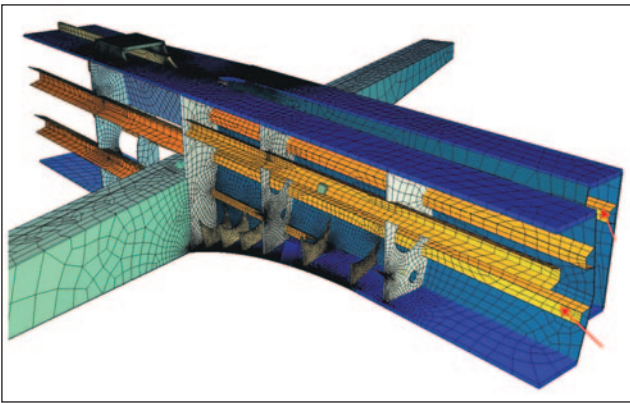


Abb. 10: FE-Gesamtsystem mit Betonfahrbahnplatte, Unterbauten und Gründungen

© schlaich bergemann und partner



© schlaich bergmann und partner

Abb. 11: 3D-Detail-Schalenmodell des Längsträgerhohlkastens einteilig/zweiteilig (Achse 300, Stegblech ausgeblendet), Stützquerträgerhohlkasten, Querschotte, Steifen

ler Kopfbolzendübel verbundene 30 bis 38 Zentimeter starke Stahlbeton-Fahrbahnplatte trägt in Brückenquerrichtung im Verbund, in Brückenlängsrichtung spannt die Stahlbetonplatte über den Querträgerabstand von jeweils drei Meter.

Die Querträger und Stützenachsen sind aufgrund der schrägen Unterquerung des Neckars mit 70 Grad schiefwinklig zur Bauwerksachse angeordnet, ab dem Ostufer verringert sich die Schiefwinklichkeit kontinuierlich auf einen Winkel von 80 Grad.

Längsträger und Querträger bilden als räumliches Gesamtsystem einen Stahlträgerrost, der über die Segel, Zügel und Maste im Bereich der Hauptbrücke zusätzlich zur Durchlaufwirkung der Längsträger gestützt wird.

Das räumliche FE-Berechnungsmodell wurde mit Stab-, Schalen- und Scheibenelementen als Gesamtsystem mit Unterbauten und Gründungsplatten- und pfählen diskretisiert (Abb. 10).

Im Stahlbau wurden einzelne, geometrisch komplizierte Verschneidungen durch 3D-Detailmodelle abgebildet und in das Gesamtmodell integriert (Abb. 11). Aufgrund der Vielzahl der Einzellastfälle durch die Zugüberfahrten und wegen der Kombinationsmöglichkeiten durch die viergleisige Befahrbarkeit der Brücke erfolgte, um die Datenbankgröße

auf ein bearbeitbares Maß zu reduzieren, die Bemessung dieser Detailmodelle anhand ausgewählter Verkehrslastfälle.

Durch Lagerung auf mehreren Festpunkten in den Hauptachsen 400, 500, 600 wurden die Steifigkeiten und Bettungswerte der Gründungspfähle jeweils variiert, untereinander kombiniert und die Auswirkungen auf die Gründungsbauteile und Unterbauten am Gesamtsystem ermittelt (siehe Abschnitt 5.3).

5.2 Lastabtragung Zügel und Segelblech

Die Geometrie der Segel- und Zügelbleche wurde aus statischen Optimierungsberechnungen und aus gestalterischen und herstellungstechnischen Gesichtspunkten gefunden.

Zwecks Minimierung von Biegespannungen sowie auch gestalterischer Gründe wegen sollten sich die Zügel von unten nach oben zum Mast hin in der Ansichtsfläche verjüngen, damit das Aufspannen der Segel wie bei einem richtigen Segeltuch erkennbar wird. Da die Zugkraft im Zügel seiner Länge nach gleich bleibt, sollte die vorhandene Querschnittsfläche unten und oben im Zügel ebenfalls gleichgroß sein, um gleiche Querschnittsspannungen zu erhalten. Daher vergrößert sich die Blechdicke der Zügel von unten nach oben von 70 bis maximal 250 Millimeter – und damit gegenläufig zu den Zügelhöhen in der Ansicht (Abb. 12).

Die erforderlichen Blechdicken an den Zügel- und Mastköpfen betragen an den Außenachsen maximal 180 Millimeter, an der höher belasteten Innenachse bis zu 250 Millimeter. Diese Blechstärken wurden mit zwei vertikal nebeneinanderstehenden Blechen mit 2 x 90 beziehungsweise bis 2 x 125 Millimeter realisiert, welche mit einer umlaufenden, eingelegten Schweißnaht zu einem Blechpaket gefügt wurden (Abb. 13).

Wegen der Überschreitung der normativ maximalen Blechdicke von 100 Millimeter wurde eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich. Ebenfalls wurde durch die gutachterliche Stellungnahme zur Blechdickenüberschreitung eine Stahlsorte QL aufgrund besserer Schweiß Eigenschaften für die dicksten Bleche mit 125 Millimeter gefordert [4], [6]. Da diese Stahlsorte bautechnisch bei Eisenbahnbrücken nicht eingeführt ist, wurde hierfür ebenfalls eine ZiE mit zusätzlichen Nachweisen notwendig. Die ZiE wurden im Zuge der Ausführungsplanung erlangt (siehe Abschnitt 5.4).

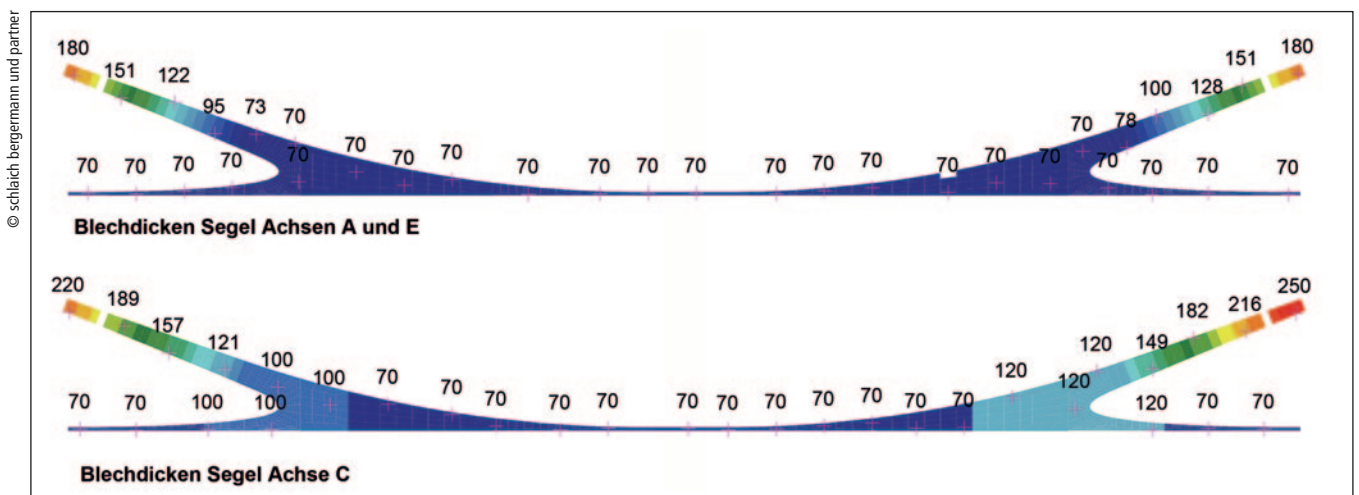


Bild 12: Die Blechdickenverteilung der Zügel- und Segelbleche; oben: Außenachsen A+E, unten: Innenachse C

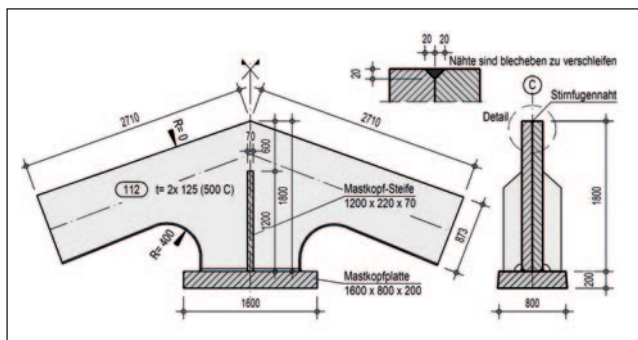


Abb. 13: Zügelanschluss am Mastkopf aus zwei stehenden Blechen

© schlaich bergemann und partner

Zur Vereinfachung der Herstellung und aus gestalterischen Gründen wurden für alle Zügel- und Segelabschnitte an den Außen- und Innachsen gleiche Ansichts-Geometrien gewählt. Es variieren hier, in Abhängigkeit von der Beanspruchung, nur die Blechdicken sowie die Höhe der Anschlussverzahnungen an der Segelunterkante (Abb. 14, Abb. 29).

Der Kraftfluss im Segelblech lässt sich mit den Spannungstrajektorien (hier aus dem Eigengewichtszustand) in Richtung und Größe anschaulich darstellen. Erkennbar wird hier, wie die aus dem Längsträger aufgesammelten Lasten in das Segelblech eingeleitet (blaue Zugspannungs-

trajektorien, Abb. 15) und über die Zügel zum Mastkopf hingeleitet werden. Die roten Druckspannungsbereiche sind sehr klein und können, je nach Verkehrslaststellung, ebenfalls zugbeansprucht werden.

5.3 Lagerung auf mehreren Festpunkten

Der Überbau wird in den drei tiefgegründeten Flusspfeilerachsen 400, 500, und 600 an insgesamt neun Pfeilern mit längsfesten Kalottenlagern horizontal gehalten (Abb. 16, Abb. 17). Diese Lagerung mit mehreren Festpunktachsen wurde gewählt, weil sich die beiden Widerlager baugrundbedingt nicht zur Abtragung höherer Längs- beziehungsweise Bremskräfte eigneten. Durch die normativ anzunehmende Bremskraft von neun Meganewton durch zwei Züge in gleicher Fahrtrichtung konnten diese hohen Horizontallasten über die neun Festpfeiler in die Pfahlkopfflatten und Tiefgründung in den Baugrund abgeleitet werden.

Für die Nachweise eines sicheren Lastabtrages waren die Pfahlfedersteifigkeiten an den drei Hauptachsen mit weichen und steifen Baugrundfedern zu variieren. In Abstimmung mit dem Bodengutachter wurden obere und untere Grenzwerte des Baugrunds in einem iterativen Prozess festgelegt.

Die Variation der Gründungssteifigkeiten hatte ebenfalls erheblichen Einfluss auf die Verteilung der Horizontallasten auf die Festpfeiler im Lastfall Bremsen. Die schlanken Stützen gehen dabei je nach Gründungssteifigkeit in den Zustand II über (gerissener Querschnitt), was

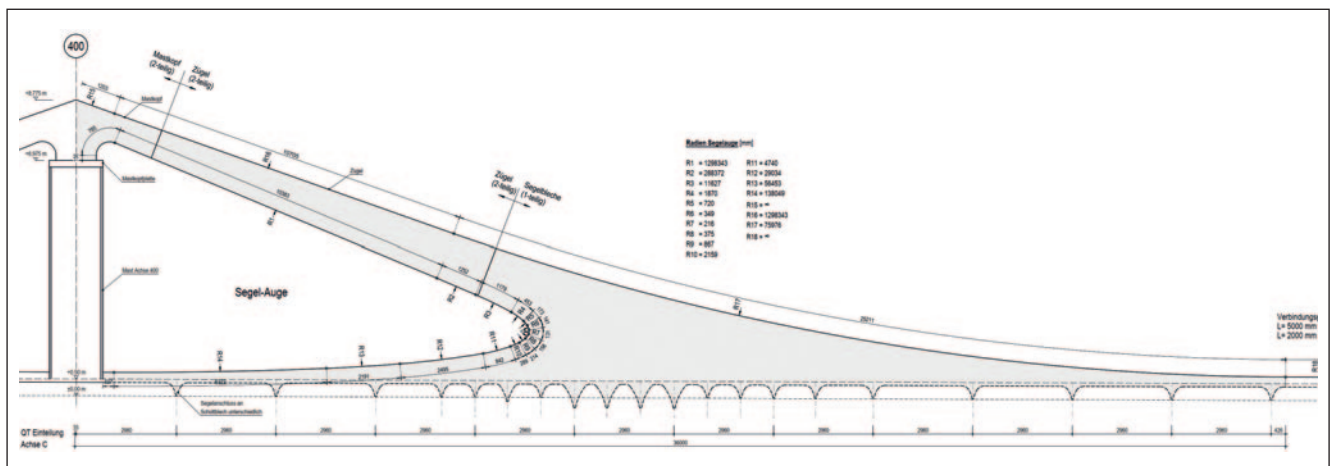


Abb. 14: Segelgeometrie und Anschlusszähne an die Längsträger-Hohlkastenquerschotte

© schlaich bergemann und partner

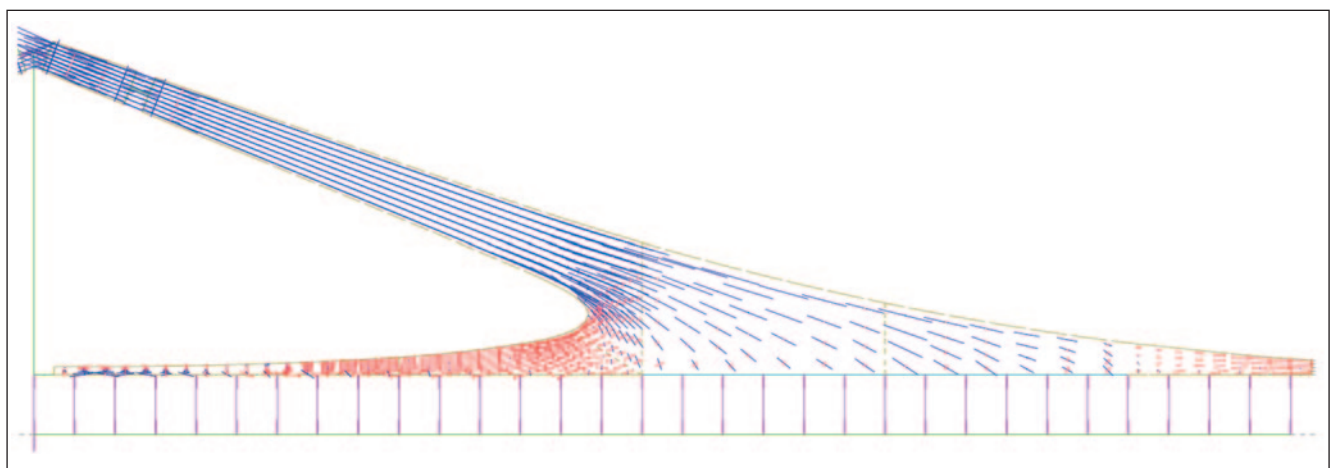


Abb. 15: Kraftfluss im Zügel und Segelblech – blau: Zugspannungstrajektorien, rot: Druckspannungstrajektorien

© schlaich bergemann und partner

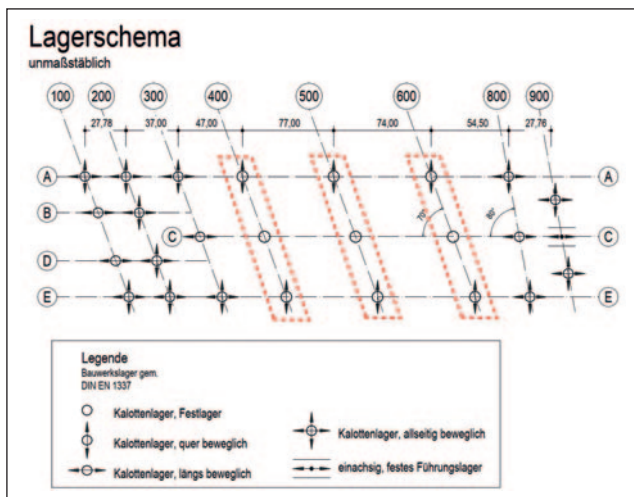


Abb. 16: Lagerschema

wiederum die Steifigkeitsverteilung in den neun Festpunktstützen verändert. Hierbei wurden geometrisch- und materiell-nichtlineare Berechnungsverfahren angewendet.

Durch die Optimierung von Pfeilersteifigkeiten, durch Querschnitts- und Bewehrungsvariationen, zusammen mit den angepassten Anordnungen der Bohrpfahlreihen bei den Tiefgründungen, konnten die maximal zulässigen Horizontalverformungen des Überbaus mit weniger als 30 Millimeter eingehalten werden.

Die Lagerung mit mehreren Festpunkten in Längsrichtung stellt auch hohe Anforderungen an die Bauausführung. Nach dem Einschieben des Überbaus muss das Festsetzen der Lager in Abhängigkeit von der Bauwerkstemperatur genau festgelegt werden. Nach dem Verschweißen der Lagerplatten mit den Längsträgern und nach dem Ausbetonieren der Lagersockel werden unmittelbar Zwangskräfte aufgrund von Temperaturänderungen des Überbaus sowie aus Schwinden der Fahrbahnplatte eingetragen.

5.4 Besonderheiten bei der Ermüdungsberechnung

Ermüdungsnachweise sind bei Eisenbahnbrücken aufgrund der hohen Verkehrslasten oft bemessungsrelevant. Die Nachweise werden in der Regel auf der Basis schadensäquivalenter Spannungsschwingbreiten erbracht. Die für die Ermittlung der Ermüdungsbeanspruchung anzusetzenden Schadensäquivalenzfaktoren λ_1 (Einflusslängenbeiwert), λ_2 (Verkehrsrängenbeiwert), λ_3 (Nutzungsdauerbeiwert) und λ_4 (Gleisan-



Abb. 17: Einzelpfeiler mit Kalottenlager

zahl) können für Spannweiten bis 100 Meter aus den Regelwerken entnommen werden.

Für eine wirtschaftliche Ausführung dieses viergleisigen Zügelgurttragssystems konnten die normativen Vorgaben für die Ermittlung des Schadensäquivalenzfaktors des Einflusslängenbeiwerts λ_1 allerdings nicht direkt übernommen werden. Aufgrund der durch die Zügelanschlüsse indirekt gelagerten Längsträger war die Ermittlung der Spannungsschwingbreiten mit dem LM71-Lastmodell für die Segelblechbereiche und Mastkopf-Bereiche ungeeignet. Die maßgebenden Stellen an den Mastköpfen, Zügel- und Segelblechen wurden daher mittels Betriebslastenzug-Überfahrten (Typenzüge 1 bis 5 gem. DIN-Fachbericht 101) ausgewertet. Dabei konnten deutlich kleinere Einflusslängenbeiwerte λ_1 ermittelt werden als mit herkömmlichem Verfahren und damit eine wirtschaftliche Bemessung erfolgen. Mit unabhängigen gutachterlichen Vergleichsberechnungen konnte die Ermittlung der Beiwerte bestätigt werden.

Aufgrund der besonderen geometrischen Form des Mastkopfes war die Anwendung des in den geltenden Regelwerken (DIN-Fachbericht 103) verankerten Nennspannungskonzepts für den Nachweis der Ermüdungssicherheit nur eingeschränkt möglich. Da in Teilbereichen des Mastkopfes keine eindeutige Definition der Nennspannung möglich ist, wurden die Ermüdungsnachweise hier teilweise auf Grundlage des Nennspannungskonzepts und teilweise auf Grundlage des Strukturspannungskonzepts geführt. Gemäß DIN-FB 103, Kap. 9.4.1 (1) ist für die

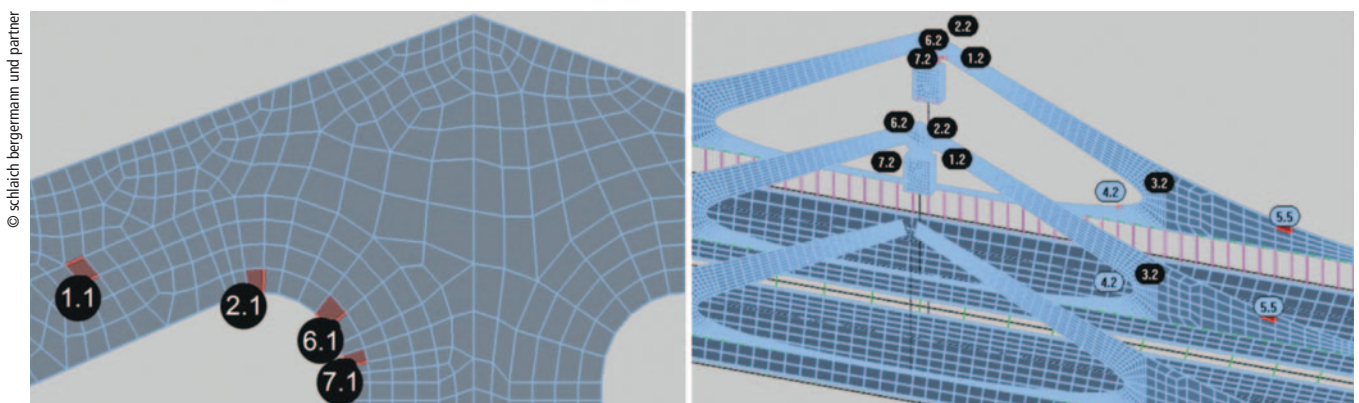
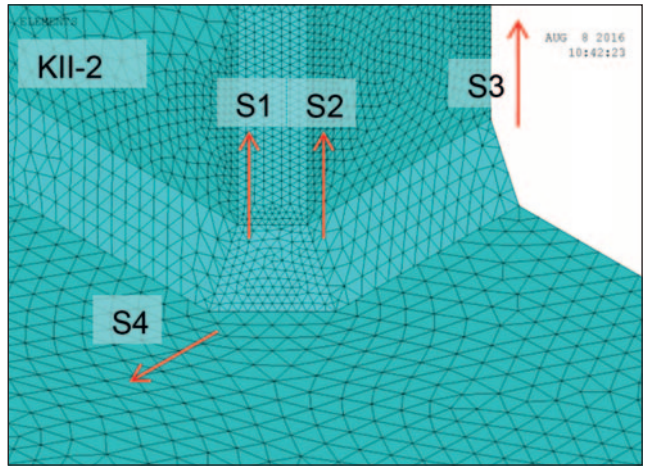
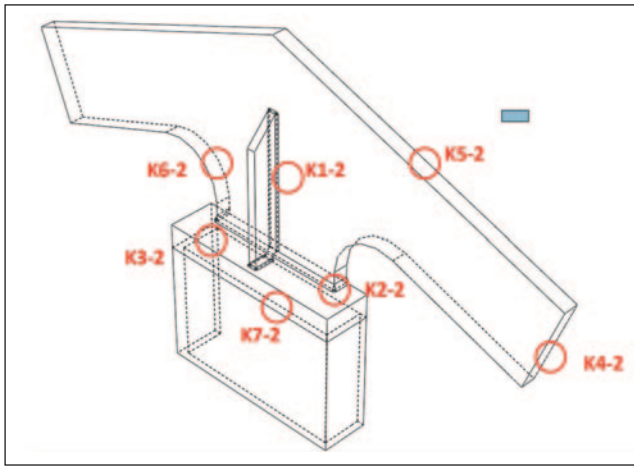


Abb. 18: Ermüdungsrelevante Bereiche am Mastkopf (links) und am Segelblech (rechts)



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Günther, Stuttgart

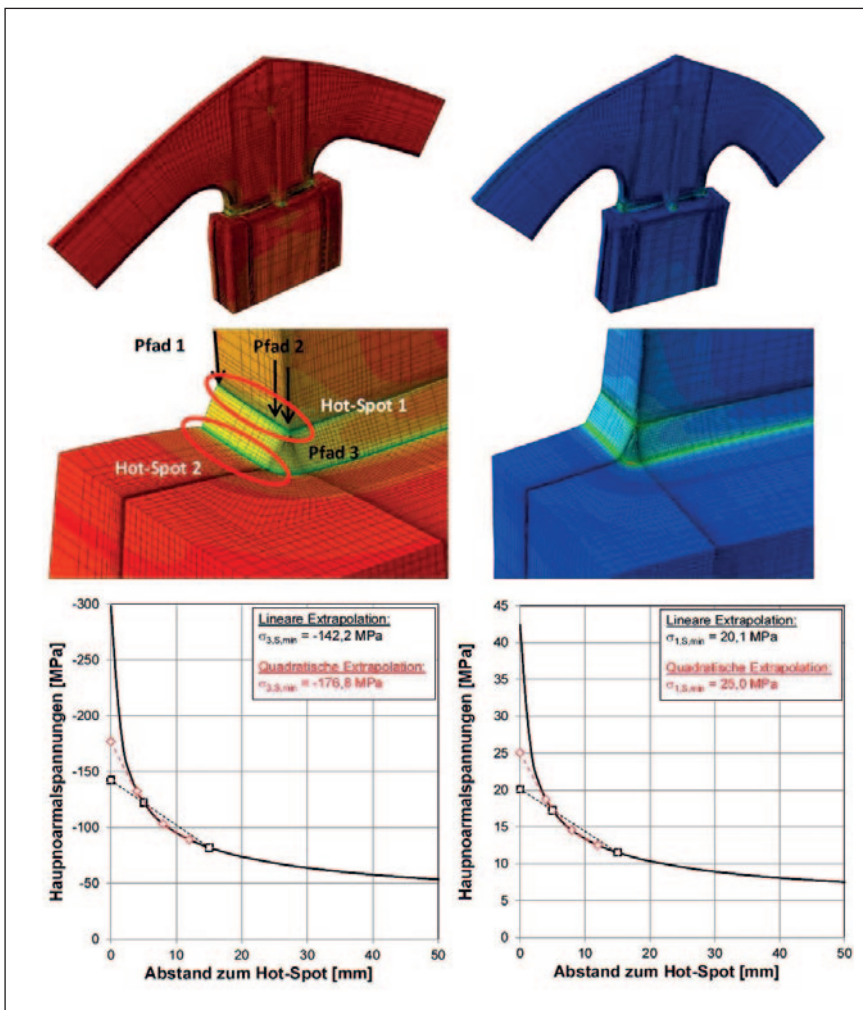
Abb. 19: FE-Volumenmodell, Kerbdetail K-II (links) mit Spannungspfaden S_1 bis S_4 (rechts)

Anwendung des Strukturspannungskonzeptes ebenfalls eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Die Ermüdungsnachweise am Mastkopf erfolgten in Zusammenarbeit mit dem bautechnischen Prüfenieur sowie durch eine gutachterliche Begleitung (vgl. [4], [6]). Im Rahmen dieser Begutachtung wurde auch die Anwendung der bestehenden Kerbfallklassen für die im Mastkopf vorkommenden großen Blechdicken $t > 100$ Millimeter überprüft (Abb. 18).

Für die Kanten und die dazugehörigen Pfade S_1 und S_2 wurden die Spannungen und die lineare Spannungsextrapolation jeweils für die maximale und minimale Zügelnormalkraft für die maßgebenden Lastfälle ausgewertet (Abb. 19).

Im Bereich der Segelbleche setzen sich die ermüdungsrelevanten Spannungen teilweise aus lokalen Beanspruchungen infolge der Lasteinleitung sowie aus globalen Beanspruchungen des Segels aus der Haupttragwirkung zusammen. Für die Ermittlung der ermüdungsrelevanten



Prof. M. Feldmann [4], [6]

Abb. 20: Lineare und quadratische Spannungsextrapolation am Mastkopf

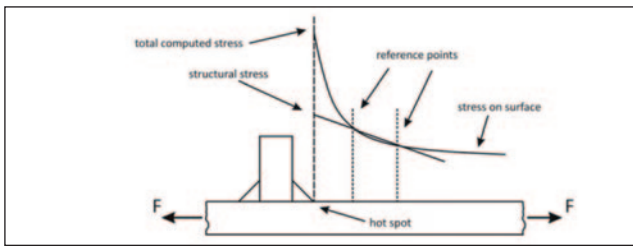


Abb. 21: Spannungsextrapolation der Strukturspannung zum Hot-Spot

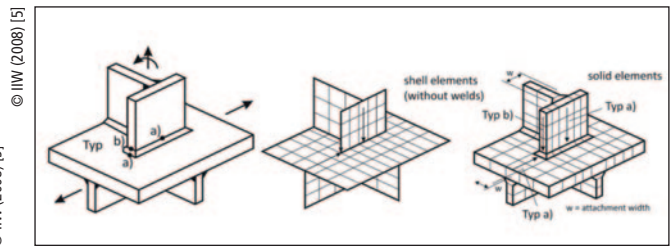


Abb. 22: Unterscheidung der Hot-Spots in Typ a und Typ b (gemäß [5])

vanten Beanspruchungen wurden daher, neben dem bestehenden Globalmodell, unterschiedliche FE-Submodelle verwendet. Die Modellierung und Spannungsermittlung erfolgt ausschließlich unter Verwendung von Volumenelementen mit dem Strukturspannungsverfahren (Abb. 19 rechts).

Die Ermittlung der Strukturspannungen erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise in der IIW-Richtlinie (Abb. 21, Abb. 22 [5]).

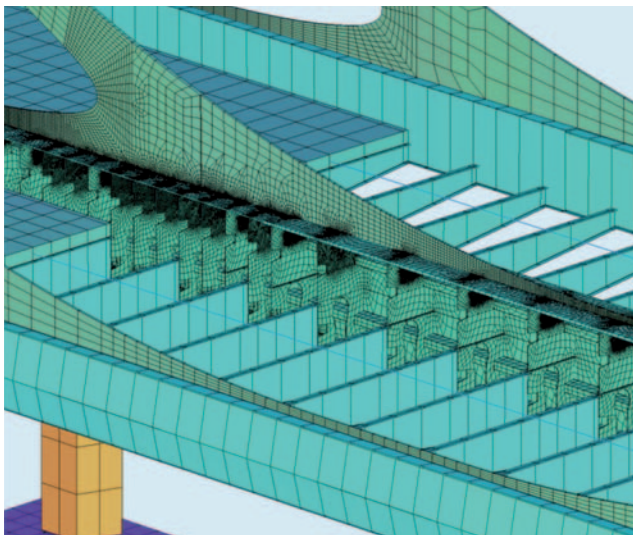


Abb. 23: Globalmodell mit Netzverfeinerung im Anschlussbereich der Segel-Querschottanschlüsse

Gemäß Abb. 19 findet eine Unterteilung der unterschiedlichen Hot-Spots in den Typ a und den Typ b statt. Der Typ a behandelt die Spannungsextrapolation entlang der Blechoberfläche hin zum Schweißnahtübergang, der Typ b die Spannungsextrapolation entlang der Blechkante hin zum Schweißnahtübergang. In Abhängigkeit von Typ a und Typ b werden unterschiedliche Stützpunkte für die Spannungsinterpolation und für die Ermittlung der Strukturspannung am Schweißnahtübergang (Hot-Spot) empfohlen (Abb. 21, Abb. 22).

Die Ermittlung der Strukturspannungen an den verschiedenen Mastkopf-, Zügel- und Segelbereichen und die daraus abgeleiteten Ermüdungsnachweise wurde im Rahmen einer gutachterlichen Begleitung durch Prof. Feldmann (RWTH Aachen) für die Erlangung der ZiE verifiziert. (Abb. 20).

5.6 Auswirkungen der Geometrie der Ausnehmung im Querschott auf den Ermüdungsnachweis

Die in den statischen Berechnungen durchgeführten Ermüdungsnachweise zeigten, dass die örtlichen Spannungen in den verschiedenen Anschlußdetails stark von geometrischen Ausbildungen der Steifengeometrien und der Form der Freischnitte in den Eckbereichen von Schottblechen abhängig sind. Beispielhaft wird dies an einem Anschlußdetail Querschott/Segelblech innerhalb des Längsträgerhohlkastens erläutert (Abb. 23, Abb. 24).

Die ellipsenförmigen Blechausehnungen in den Schottblechen wurden diesbezüglich durch Varianten des horizontalen (eH) und vertikalen (eV) Halbmessers des Ausschnitts statisch optimiert.

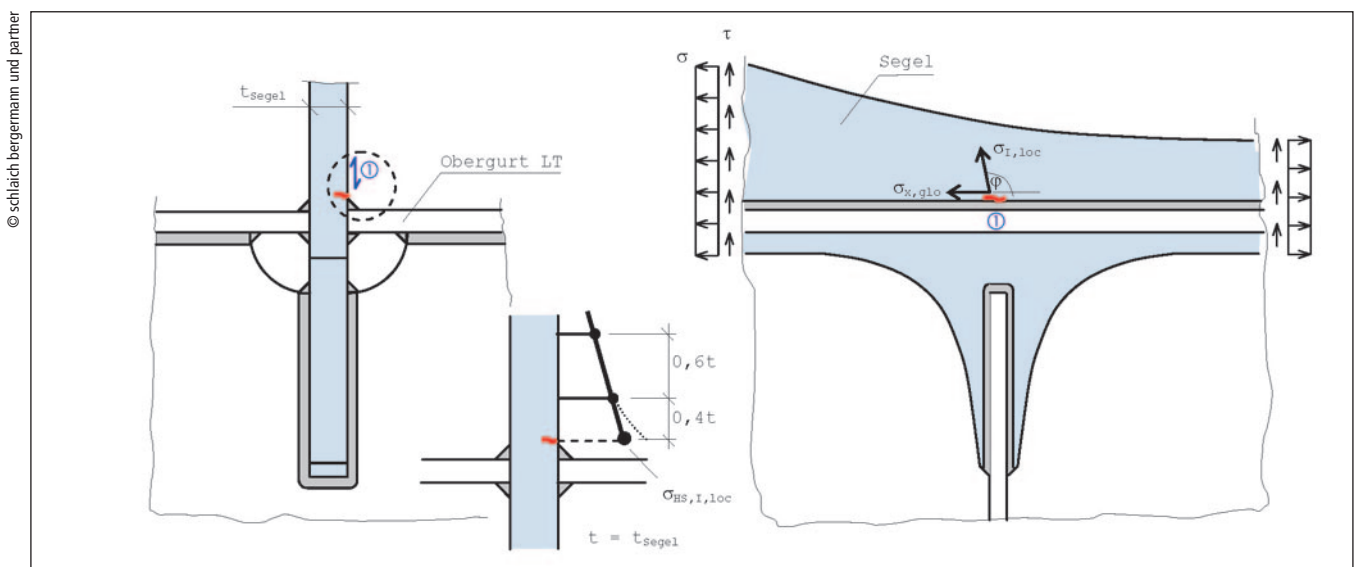
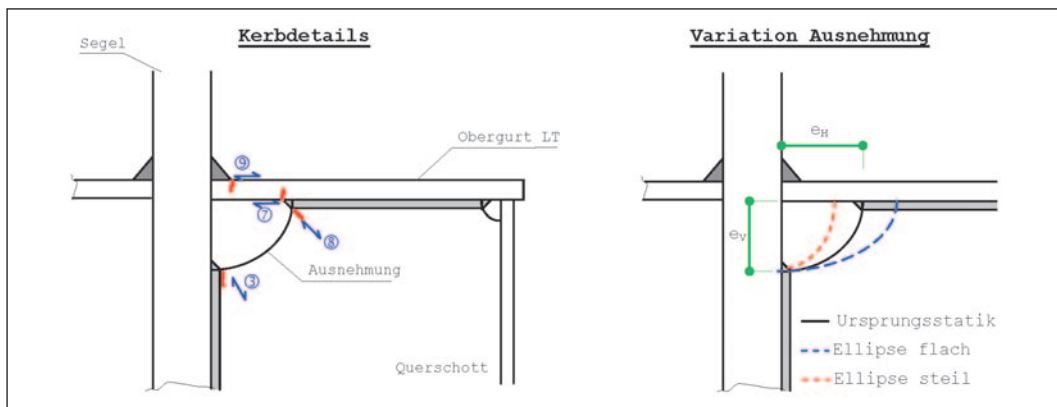


Abb. 24: Prinzip für die Ermittlung lokaler Lasteinleitungsspannungen infolge Segelaufhängung in den Längsträger

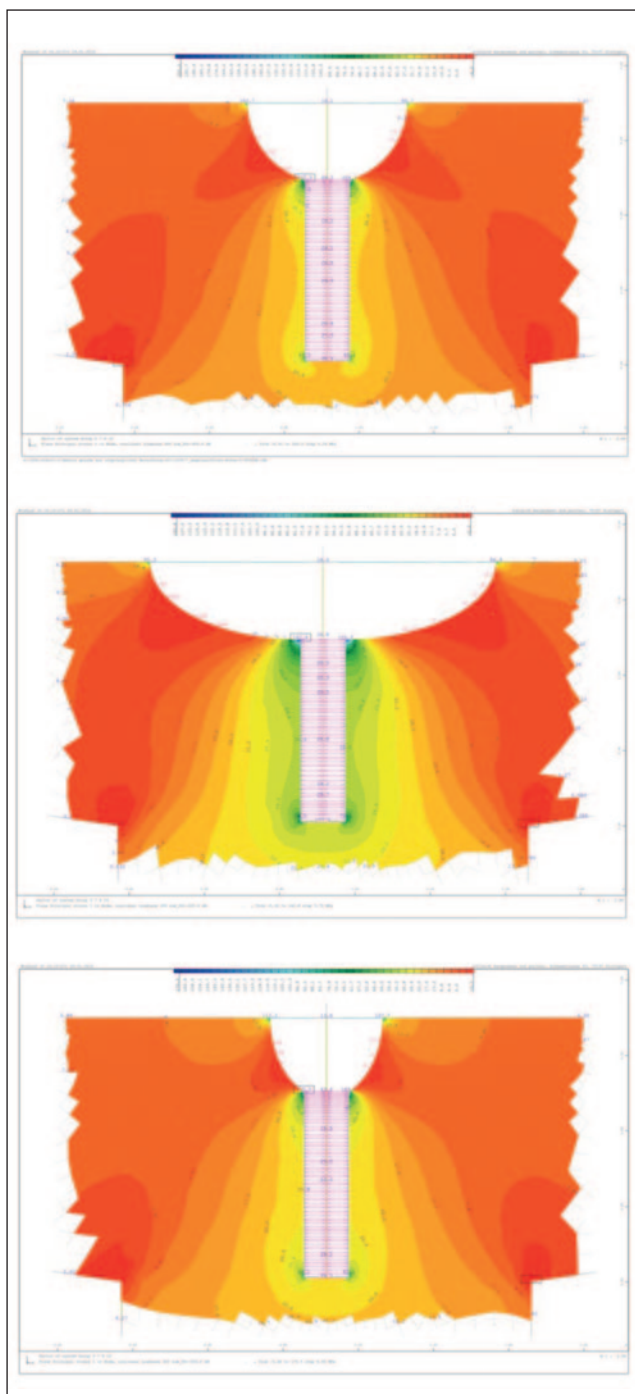
© schlaich bergemann und partner

© schlaich bergemann und partner



© schlich bergemann und partner

Abb. 25: Detail Lasteinleitung Segel, Querschott, LT-Obergurt, Kerbdetails und Variation der Ausnehmung



© schlich bergemann und partner

Abb. 26: Spannungsplots in Abhängigkeit von der Geometrie der Querschott-Ausnehmungen am Segelanschlussblech

Durch die geometrischen Optimierungsberechnungen an den Ausnehmungen der Querschottanschlüsse konnten die Spannungsschwingbreiten aus den Verkehrslasten deutlich reduziert und dadurch die Blechdicken minimiert werden (Abb. 26).

Abb. 26 zeigt, stellvertretend für andere kritische Kerbdetails, einzelne Spannungsplots eines Querschottanschlusses (im Längsträgerhohlkasten) an das Segelblech in Abhängigkeit von der Geometrie der Ausnehmung. Spannungskonzentrationen an den Ecken und Rändern konnten so lokalisiert werden.

6 Bauausführung

Nach Abschluss der Genehmigungs- und Ausführungsplanung wurden die Bauleistungen im Jahr 2015 ausgeschrieben und vergeben.

Die Bauausführung begann 2016 mit den Tiefgründungsarbeiten am Neckar. Die im Brückenbau üblichen Inselbaustellen an jeder Pfeilerachse waren durch die beengten Verhältnisse im Neckartal mit den jeweils durchgängig frei zu haltenden Verkehrswegen der Straßenbahnen, einer sehr stark befahrenen Bundesstraße, der Neckarschifffahrt, und so weiter aufwendig zu erschließen.

Aufgrund der strengen Vorgaben durch das Heil- und Mineralweschutzgesetz und der Vorgaben durch das Amt für Umwelt durften zudem nur örtlich begrenzte Baugruben ausgehoben werden, welche dann abschnittsweise herzustellen waren.

Den Bohrpfahlarbeiten an den Hauptachsen am Neckar waren Pfahlprobelastungen vorgelagert, um die kurze Einbindelänge der Gründungspfähle zusammen mit den rechnerischen Annahmen an Verformungen zu verifizieren. Die Probelastungen bestätigten die vom Baugrundgutachter vorgegebenen Kennwerte.

Zeitgleich zu den Arbeiten vor Ort wurden, nach erfolgter Werkstattplanung und Lieferung der Stahlbleche zur Baufirma, die Stahlsegmente der Längs- und Querträger und der Segel- und Zügelbleche im Werk bearbeitet und zu einzelnen, transportfähigen Segmenten verschweißt.

Die Einzelgewichte der Längsträgersegmente lagen zwischen 40 bis 110 Tonnen, mit Längen bis maximal 30 Meter. Die Anlieferung auf die Baustelle erfolgte mittels Schwertransporten über die Straße. Insgesamt wurden für die gesamte Brücke etwa 4600 Tonnen Baustahl verarbeitet.



© schlaich bergemann und partner

Abb. 27: Taktschiebverfahren – Vorbauschnabel über zweitem Flussfeld

Nach der Fertigstellung der Gründungen und der 26 Einzelstützen wurden im Jahr 2018 die Stahlsegmente *just-in-time* auf die Baustelle geliefert und auf den 50 Meter langen und 25 Meter breiten Taktkeller (Fertigungsplattform) in zehn Meter Höhe am Neckarwestufer gehoben.

Die einzelnen Stahlsegmente wurden hier zu einem Trägerrost zusammengefügt, die finale Deckbeschichtung witterungsgeschützt aufgebracht.

Die Hauptbrücke wurde dann im Taktschiebverfahren und mit Hilfe eines 20 Meter langen Vorbauschnabels sukzessive über den Neckar geschoben (Abb. 27).

Aufgrund der durch die Örtlichkeit begrenzten kurzen Taktkellerlänge wurde eine zusätzliche Hilfsstütze im Neckar für den Schubvorgang über das erste, 77 Meter lange Flussfeld erforderlich, da das Gegenge-

wicht des Überbaus im Taktkeller alleine nicht ausreichte, um die Spannweite zu überwinden. Im zweiten Flussfeld, der durch die Berufsschifffahrt genutzten Neckarseite, war genügend Brückenlänge, und damit Gegengewicht vorhanden, um ohne zusätzliche Hilfsstützen auszukommen.

Die jeweils zwischen 15 und 20 Meter langen Takte (Verschubeinheiten) wurden in zwölf Schubvorgängen im vier- bis fünfwöchigen Rhythmus über den Neckar geschoben. Somit konnte der Stahlbau der 250 Meter langen Hauptbrücke innerhalb eines Jahres erfolgen. Die Überbauträger in den Vorlandbereichen bis zu den Widerlagern wurden konventionell mit einem Mobilkran eingehoben.

Nach den Stahlbauarbeiten erfolgten die Schal- und Bewehrungsarbeiten der 30 bis 38 Zentimeter starken Betonfahrbahnplatte, die abschnittsweise mit bereichsweise vorgesehenen Schwindlücken hergestellt wurde.

Unterhalb der Eisenbahnbrücke wurde im Nachgang der 160 Meter lange Fußgängersteg über dem Neckar montiert (Abb. 28). Zunächst wurden M24 Edelstahl-Zugstäbe mit Bolzenverbindung von unten mit den Zuglaschen verbunden, die an die Untergurte der Querträger der Hauptbrücke angeschweißt sind. Danach erfolgte das Einbolzen der Stegquerträger und das Verschweißen der Randleche. Als untere „Schalung“ für die Betonage der Leichtbeton-Gehwegplatte, sowie der späteren Lastabtragung, dienen Holorib-Bleche.

Die Queraussteifung zur Aufnahme von Windlasten und Querschwingungen erfolgt über die 4,70 Meter breite Gehwegplatte und über horizontal befestigte Druck-/Zugstangen, die im Bereich der Hauptachsen mit den Stahlbetonstützen der Eisenbahnbrücke verbunden sind (Abb. 28).

Nach der Installation des Seilnetzgeländers und der LED-Beleuchtung konnte der abgehängte Fußgängersteg im April 2021 in Betrieb genommen werden (Abb. 29).



© schlaich bergemann partner/Frank Schächner

Abb. 28: Ansicht Südseite mit an Zugstangen abgehängtem Fußgängersteg



© schlaich bergemann partner/Andreas Schnabel

Abb. 29: Ansicht Segelgeometrie – in natura (Mai 2021)

7 Zusammenfassung

Der aus dem Jahr 1998 stammende Brückenentwurf konnte aufgrund mehrerer Planungsstopps im Gesamtprojekt *Stuttgart21* erst nach über zwanzig Jahren in Planung und Bau fertiggestellt und an den Bauherrn übergeben werden. Der Oberbau mit den Gleis- und Signalanlagen wird nun nachfolgend ausgeführt und Probelastungen aufgrund von ZiE-Forderungen bis zur Inbetriebnahme (voraussichtlich 2025) durchgeführt.

Der Entwurf dieser Stahlsegelbrücke stellte aufgrund des im Eisenbahnbrückenbau besonderen Tragwerks in Geometrie und Bauteilabmessungen hohe Anforderungen an die Planung, Ausführung und an die Zusammenarbeit aller Beteiligten. Standardisierte Nachweisführungen, vor allem Ermüdungsnachweise, waren normativ teilweise nicht anwendbar. Die frühzeitige und unterstützende Zusammenarbeit zwischen bautechnischem Prüflingenieur und dem Planer hat bei diesem Projekt aufgrund der Herausforderungen bei der Nachweisführung dieses besonderen Tragwerks wesentlich zum Projekterfolg beigetragen. Ebenfalls wurden die sehr hohen fertigungstechnischen An-

forderungen an die Stahlbau- und Montagearbeiten im Werk und auf den beengten Bauflächen vor Ort sowie die aufwendigen Gründungsarbeiten von der ausführenden Firma Max Bögl einwandfrei und mit großem Engagement durchgeführt.

Die Realisierung dieser stadtbildprägenden neuen Eisenbahnbrücke in Stuttgart wurde nur durch die pragmatische und gegenseitig unterstützende Zusammenarbeit des Planers, des bautechnischen sowie des schweißtechnischen Prüflingenieurs, des EBA-Gutachters, der ausführenden Firma sowie des Auftraggebers möglich.

8 Literatur

- [1] Peter, J., Albrecht, G.: Planungsverfahren Neckarbrücke Bad Cannstatt – Protokoll der Jurysitzung vom 24. Juli 1998
- [2] Schlaich, J.: Zur Gestaltung von Brücken. *Der Bauingenieur* 79 (Juli/August 2004)
- [3] Schlaich, M., Schlaich, J., Werwig, M.: Die Brücke über den Neckar in Bad Cannstatt. 4. Symposium Brückenbau, Leipzig 2004
- [4] Feldmann, M., Eichler, B.: Untersuchungen zur Bestimmung von Strukturspannungen und zur Kerbfallklassifizierung dicker Bleche für die Eisenbahnüberführung über den Neckar. Untersuchungen für die DB ProjektBau GmbH. RWTH Aachen, 18.12.2012
- [5] Hobbacher, A.: Recommendations for fatigue design of welded joints and components. IIW document IIW-1823-07 ex XIII-2151r4-07XV1254r4-07, International Institute of Welding, December 2008 bzw. Revision September 2013
- [6] Feldmann, M., Eichler, B., Günther, H.-P.: Prinzipien der Ermüdungsnachweisführung bei Bauteilen mit komplexer geometrischer Struktur. *Berichte der Fachtagung Baustatik-Baupraxis* 12 (2014), S. 537–545
- [7] Zimmerer, M., Wenger, P., Lienhart, C., Heer, S.: Planung und Bau der neuen Eisenbahnbrücke über den Neckar – Herausforderungen bei der Gründung. *Bautechnik* 94 (2017), H. 2, S. 104–114. DOI: <https://doi.org/10.1002/bate.201600092>

Projektbeteiligte

Bauherr: DB Netz AG

Auftraggeber: DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, PFA 1.5

Planung: schlaich bergemann partner, Stuttgart

Prüflingenieur: Dr.-Ing. Dietmar H. Maier, Karlsruhe (Bautechnik)
Dipl.-Ing. Jürgen Anders, SFI, EWE (Schweißtechnik)

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann, RWTH Aachen

Baugrundgutachter: Ingenieurgemeinschaft Stuttgart 21 Geotechnik, CDM Smith Consult GmbH/Dr. Spang GmbH

Bauausführung: Max Bögl Stahl- und Anlagenbau GmbH & Co. KG, Neumarkt in der Oberpfalz

Die neue Holzbaurichtlinie als wichtiger Schritt zur weiteren Popularisierung der Holzbauweise

Erstmals ist in Deutschland das Bauen mit massiven Holzelementen bis zur Hochhausgrenze möglich

Bei der Planung und Errichtung von Holzbauten ist bisher vor allem die Muster-Holzbaurichtlinie (M-HFH HolzR) von 2004 zu beachten, die in den letzten Jahren einer gründlichen inhaltlichen Revision unterzogen worden ist. Deren Resultat ist der Entwurf einer neuen *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise* (M-HolzBauRL), die derzeit mit der *Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen* (MVV TB) praktisch anwendbar gemacht wird. Die neue Muster-Richtlinie (Stand Oktober 2020) konkretisiert die Anforderungen an Holzbauten für die Gebäudeklassen 4 und 5 und stellt damit erstmals auch Planungsmöglichkeiten für das Bauen mit Massivholzelementen bis zur Hochhausgrenze bereit. Außerdem gibt sie Empfehlungen für die Ausführung von Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen. Die neue Richtlinie wird von der Fachwelt als weiterer wichtiger Schritt zur Expansion der Anwendung der Holzbauweise angesehen, auch wenn, wie die Autorin des folgenden Beitrages aus ihrer Sicht konstatiert, „bei der Überarbeitung brandschutztechnisch wohl noch mehr möglich gewesen wäre“. Insbesondere sei es, schreibt sie, „wünschenswert, in einer weiteren Fortschreibung dieser Richtlinie auch den Einsatz der Holztafelbauweise bis zur Gebäudeklasse 5 zu ermöglichen“.



Dr.-Ing. Mandy Peter

studierte Bauingenieurwesen und promovierte am Institut für Bauingenieurwesen der TU Berlin, war dort von 2003 bis 2007 auch Lehrbeauftragte für Baukonstruktionen und Ingenieurholzbau und von 2004 bis 2011 Geschäftsführerin des Holzbau Deutschland-Instituts in Berlin; seit 2008 ist Mandy Peter öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für Holzbau der IHK München; seit 2008 leitete sie als Prokuristin die Niederlassung München der *bauart Konstruktions GmbH & Co. KG Beratende Ingenieure* und ist seit 2019 Geschäftsführende Gesellschafterin. muenchen@bauart-konstruktion.de

1 Einführung

Der Klimaschutz und die Erhaltung sowie der sorgsame Umgang mit endlichen Ressourcen haben vor dem Hintergrund der jüngsten Klimaereignisse mehr denn je an Bedeutung gewonnen. Holz ist der in Deutschland bedeutendste nachwachsende Rohstoff. Das Bauen mit Holz kann somit einen bedeutenden Beitrag zum Erhalt des Klimas beitragen. Diese Erkenntnis findet zwischenzeitlich in Politik und Gesellschaft breite Anerkennung. Es wurde deshalb in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Förderprogrammen zum vermehrten Einsatz dieses Rohstoffes für die Errichtung von Gebäuden aufgelegt.

2 Überarbeitung der Holzbaurichtlinie von 2004

Um das Bauen mit Holz zu vereinfachen und die Anwendung auch bei mehrgeschossigen Gebäuden auf eine vereinheitlichte gesetzliche Basis zu stellen, die eine breite Anwendung bis zur Gebäudeklasse 5 ermöglicht, wurde in den vergangenen Jahren die *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise* (M-HFH HolzR) in der Fassung von 2004 [1] grundlegend überarbeitet.

Am 23. Juni 2021 hat das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) die neue *Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise* (M-HolzBauRL) in der Fassung vom Oktober 2020 [2] veröffentlicht. Die Anwendbarkeit der Richtlinie soll über die Bekanntmachung in der *Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen* (MVV TB 2020/2) ermöglicht werden. Diese Ausgabe befindet sich gemäß der EU-Richtlinie 2015/1535 derzeit im EU-Notifizierungsverfahren, das die Mitgliedstaaten der EU verpflichtet, die Kommission über jeden Entwurf einer technischen Vorschrift vor deren Erlass zu unterrichten, damit sie und die EU-Mitgliedstaaten den Wortlaut der technischen Vorschrift prüfen können. Im aktuellen Entwurf der MVV TB 2020/2 ist die Holzbaurichtlinie im Abschnitt 6.3 unter der laufenden Nr. A.2.2.1.4 enthalten.

Unabhängig von der MVV TB haben bereits im Vorfeld einige Bundesländer die Anwendung der neuen Muster-Holzbaurichtlinie im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren befürwortet. So gibt beispielsweise das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr mit Schreiben vom 27. Januar 2021 bekannt:

Es ist beabsichtigt, diese Muster-Holzbaurichtlinie als Technische Baubestimmung bekannt zu machen. Sollte das Verfahren der europäischen Notifizierung bis zum Inkrafttreten des Änderungsgesetzes bzw. bis zur Neuausgabe der Bayerischen Technischen Baubestimmungen (BayTB) noch nicht abgeschlossen sein, bestehen keine Bedenken dagegen, die Anwendung des Entwurfs der Muster-Holzbaurichtlinie in

Brandschutz- bekleidung	Abstand (a) der Befestigungsmittel untereinander auf der Trag- oder Unterkonstruktion Reihenabstände: Wand $e \leq 625$ mm, Decke $e \leq 400$ mm				Abstand zum Plattenrand bzw. zur Plattenfuge
	1. Lage (innen)		2. Lage (außen)		
	Klammern*	Schnellbau- schrauben*	Klammern*	Schnellbau- schrauben*	
2 x 18 mm Gipsplatte	$\geq \varnothing 1,53$ mm x 40 mm x 11,25 mm a ≤ 240 mm	$\geq \varnothing 3,5$ mm x 35 mm a ≤ 300 mm	$\geq \varnothing 1,53$ mm x 50 mm x 11,25 mm a ≤ 80 mm	$\geq \varnothing 3,5$ mm x 55 mm a ≤ 150 mm	≥ 15 mm
2 x 18 mm Gipsfaserplatte	$\geq \varnothing 1,53$ mm x 40 mm x 11,25 mm a ≤ 300 mm	$\geq \varnothing 3,5$ mm x 35 mm a ≤ 300 mm	$\geq \varnothing 1,53$ mm x 50 mm x 11,25 mm a ≤ 150 mm	$\geq \varnothing 3,5$ mm x 55 mm a ≤ 150 mm	≥ 15 mm

*Klammern und Schnellbauschrauben mit Leistungserklärung nach DIN EN 14566:2009-10

Tabelle 1: Brandschutzbekleidungen für Holztafelelemente der Gebäudeklasse 4 nach M-HolzBauRL [2]

der Fassung vom Oktober 2020 im Rahmen der Entscheidung über eine Abweichung nach Art. 63 Abs. 1 zuzulassen.

Die Änderungen der bisherigen Muster-Holzbaurichtlinie von 2004 betreffen im Wesentlichen:

- Konkretisierungen und Erleichterungen für die bislang schon bekannten Regelungen für eine Anwendung von Holztafelelementen in der Gebäudeklasse 4. Diese Bauteile müssen nicht mehr vollständig vorgefertigt sein. Sie können als *Bauart* gemäß den Vorgaben der Richtlinie auf der Baustelle erstellt werden;
- eine Neuaufnahme von Massivholzelementen ohne vollständige brandschutztechnische Bekleidung für die Gebäudeklassen 4 und 5;
- eine Anwendung von normalentflammbaren Baustoffen für Außenwandbekleidungen bis zur Hochhausgrenze (mit Ausnahme von Dämmstoffen).

Die Richtlinie gilt für Standardgebäude, die keine Anlagen oder Räume besonderer Art und Nutzung nach Paragraph 2 Absatz 4 der Musterbauordnung der Länder (MBO) enthalten. Sie dürfen jedoch mit Mittel- und Großgaragen verbunden sein.

3 Holztafelelemente in der Gebäudeklasse 4

Für Holztafelelemente in der Gebäudeklasse 4 sind die Regelungen der neuen Holzbaurichtlinie im Wesentlichen unverändert erhalten geblieben. Sie müssen auch zukünftig mit nichtbrennbaren Dämmstoffen in den Gefachbereichen ausgestattet sein und eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung für eine Schutzzeit von 60 Minuten erhalten. Die Bauteile müssen hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und des Raumabschlusses für eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten nachgewiesen sein. Dämmstoffe müssen hohlraumfüllend und mit einem Übermaß von zwei Prozent eingebaut werden.

Für Wände anstelle von Brandwänden und für Wände notwendiger Treppenträume, die unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung hochfeuerhemmend sein müssen, enthält die Richtlinie keine abschließenden Regelungen, sodass für diese Wände auch weiterhin eine Baugenehmigung gemäß Paragraph 16a der MBO erforderlich sein wird.

Als wesentliche Neuerung für hochfeuerhemmende Holztafelelemente der Gebäudeklasse 4 ist zukünftig keine Klassifizierung der Bekleidung in K₂60 nach DIN EN 13501-2 mehr erforderlich. Die Richtlinie definiert diesbezüglich, dass die Anforderungen als erfüllt gelten, wenn die Brandschutzbekleidung durch Anordnung einer zweilagigen Bekleidung der Dicke von 2 x 18 mm mit Gipsplatten des Typs GKF nach DIN 18180 in Verbindung mit DIN EN 520 beziehungsweise Gipsfaserplatten mit einer Mindestrohdichte von 1000 kg/m³ nach Europäisch Technischer Bewertung (ETA) ausgeführt wird (siehe **Tabelle 1**).

Somit können Bauteilaufbauten verwendet werden, für die lediglich ein Verwendbarkeitsnachweis vorliegt, der eine Tragfähigkeit und/oder einen Raumabschluss über 60 Minuten ausweist und nicht zusätzlich das Kapselkriterium beinhaltet, sofern die Bekleidungen die Anforderungen nach **Tabelle 1** erfüllen.

In der Fläche ist auch zukünftig ein Fugenversatz zwischen beiden Bekleidungslagen erforderlich. Als Vereinfachung darf jedoch im Anschlussbereich auf den doppelten Fugenversatz beziehungsweise auf den Stufenfalz verzichtet werden, wenn der Anschluss stumpf mit komprimiert eingebauten Dämmstreifen mit einer Dicke im nicht eingebauten Zustand von 20 mm ausgeführt wird (**Abb. 1**).

In allen Anschlussbereichen muss zusätzlich eine Verblockung der Bauteile durch Verschraubung mit einem maximalen Abstand von 500 mm erfolgen.

Bei Öffnungen für Einbauten wie Fenster, Türen, Verteiler und Lampenkästen oder Durchführungen ist auch zukünftig, wie bislang schon erforderlich, die Brandschutzbekleidung in den Öffnungsleibungen mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszuführen.

Eine Bekleidung von Stützen und Trägern ist nicht erforderlich, sofern sie hohlraumfrei ausgeführt werden.

Biogene Dämmstoffe bleiben auch weiterhin mit dem neuen Entwurf der Muster-Holzbaurichtlinie ausgeschlossen, da in Bezug auf unkontrollierte Glimmbrände und den erhöhten Löschaufwand bislang keine ausreichend fundierten Erkenntnisse aus Brandversuchen und Realbränden vorliegen.

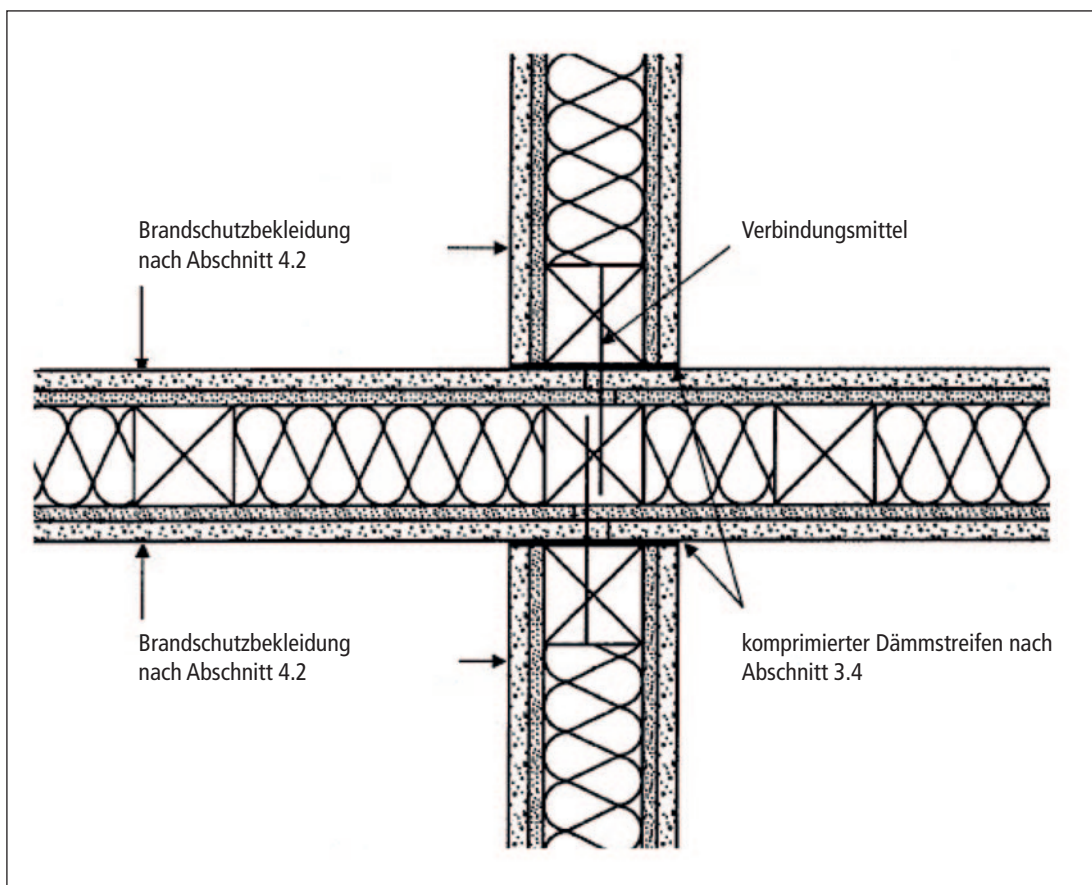


Abb. 1: Anschluss-tragende, raumabschließende Wände an durchlaufende Wand mit zusätzlichem Stiel nach M-HolzBauRL Oktober 2020 [2]

3 Massivholzelemente in den Gebäudeklassen 4 und 5

Bis zur Hochhausgrenze dürfen in Standardgebäuden nun erstmals auch Massivholzbauerteile eingesetzt werden, sofern die Nutzungseinheiten eine maximale Größe von 200 Quadratmetern nicht überschreiten. Dies gilt aber auch für größere Nutzungseinheiten, wenn diese durch Trennwände nach Paragraph 29 MBO in Abschnitte von nicht mehr als 200 Quadratmeter unterteilt sind.

Eine wesentliche Erleichterung gegenüber den Hohlraumkonstruktionen der Gebäudeklasse 4 stellt die Tatsache dar, dass für diese Wände eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen erforderlich ist, die eine Entzündung der brennbaren Bauteiloberflächen während eines Zeitraumes von mindestens 30 Minuten verhindert.

Dies gilt als erfüllt, wenn die Bekleidung aus einer mindestens 18 mm dicken Gipsplatte des Typs GKF nach DIN 18180 in Verbindung mit DIN EN 520 beziehungsweise Gipsfaserplatte mit einer Mindestroh-dichte von 1000 kg/m³ nach Europäisch Technischer Bewertung besteht und die vorgegebenen Anforderungen an die Befestigungsmittel und deren Abstände untereinander eingehalten werden. An der Außenseite von Außenwänden ist diese Art der Bekleidung nicht erforderlich.

Je Nutzungseinheit darf entweder die Decke oder maximal 25 Prozent aller Wände mit Ausnahme von Trennwänden, Wänden anstelle von Brandwänden sowie Treppenraumwänden, mit brennbaren Bauteiloberflächen verbleiben. Fenster- und Türöffnungen können bei der

mittlung der Flächengröße unberücksichtigt bleiben. Ebenso müssen Stützen nicht in die Berechnung mit einbezogen werden.

In der Gebäudeklasse 4 dürfen wiederum Wände anstelle von Brandwänden und Wände notwendiger Treppenräume in Holzbauweise auch mit Massivholzelementen ausgebildet werden, sofern sie unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung mit einer Feuerwiderstandsfähigkeit von 60 Minuten ausgelegt werden und mit den eben genannten Bekleidungen aus nichtbrennbaren Baustoffen ausgestattet sind.

In der Gebäudeklasse 5 bleibt auch zukünftig für Brandwände und Wände notwendiger Treppenräume die Anwendung der Holzbauweise ausgeschlossen.

Ebenso ausgeschlossen bleibt zunächst die Anwendung der Holztafelbauweise. Dies wird in erster Linie mit fehlenden Erkenntnissen zur Raumdichtigkeit sowie mit der Gefahr von Hohlraumbränden begründet. Zu diesen beiden Aspekten liegen jedoch mittlerweile ausreichend gesicherte Forschungsergebnisse vor, die belegen, dass auch diese Bauweise jene Sicherheitsanforderungen erfüllen können, die an die Bauteile der Gebäudeklasse 5 gestellt werden.

Die Tragfähigkeit (R) und der Raumabschluss (EI) der Elemente lassen sich prüftechnisch nachweisen. Hierzu liegt inzwischen eine Vielzahl von *allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen* (abP) und *allgemeinen Bauartgenehmigungen* (aBG) vor. An den Bauteilfügungen ist gemäß dem neuen Richtlinienentwurf stets eine Verblockung auszuführen, sodass massive Holzelemente dicht miteinander verschraubt werden, üblicherweise durch Einlage eines zusätzlichen komprimierten Steinwollgedämmstreifens, sodass diesbezüglich keine Unterschiede zu Fügungen bei Massivholzelementen in den Anschlussfugen bestehen.

4 Rauchdichtigkeit bei raumabschließend feuerwiderstandsfähigen Bauteilen

Gemäß Abschnitt 5.4.1 des Richtlinienentwurfes ist bei raumabschließend feuerwiderstandsfähigen Bauteilen besonderes Augenmerk auf die Ausbildung der Bauteilfugen zu legen, um die Übertragung von Rauch in andere Geschosse und Nutzungseinheiten im Brandfall wirksam zu behindern. Hierzu sind die Fugen weitestgehend dicht auszubilden.

Es ist dabei grundsätzlich zwischen Elementfugen und Bauteilfugen zu unterscheiden. Elementfugen entstehen im Stoßbereich einzelner Wand- oder Deckenelemente und somit als Fügungen innerhalb flächiger Bauteile. Bauteilfugen stellen den Verbindungsbereich zwischen Wänden oder Wand- und Deckenelementen dar.

Bei Elementfugen sind zur Sicherstellung einer ausreichenden Rauchdichtigkeit gemäß neuer Richtlinie die drei folgenden konstruktiven Maßnahmen umsetzbar:

- doppelter Stufenfalz oder mittig eingelegte Feder passgenau zusammengefügt und mit einer unter- oder oberseitig angeordneten nichtbrennbaren Bekleidung aus mindestens 18 mm Gipskarton-Feuerschutzplatten oder Gipsfaserplatten;
- stumpfer, untereinander kraftschlüssig verschraubter Stoß mit komprimiertem Steinwollgedämmstreifen in der Fuge mit einer Dicke im nicht eingebauten Zustand von mindestens 20 mm, ebenfalls mit unter- oder oberseitiger nichtbrennbarer Bekleidung aus mindestens 18 mm Gipskarton-Feuerschutzplatten oder Gipsfaserplatten;
- Ausbildung eines mehrschichtigen, hohlraumfreien Fußbodenaufbaus gemäß **Abb. 2**.

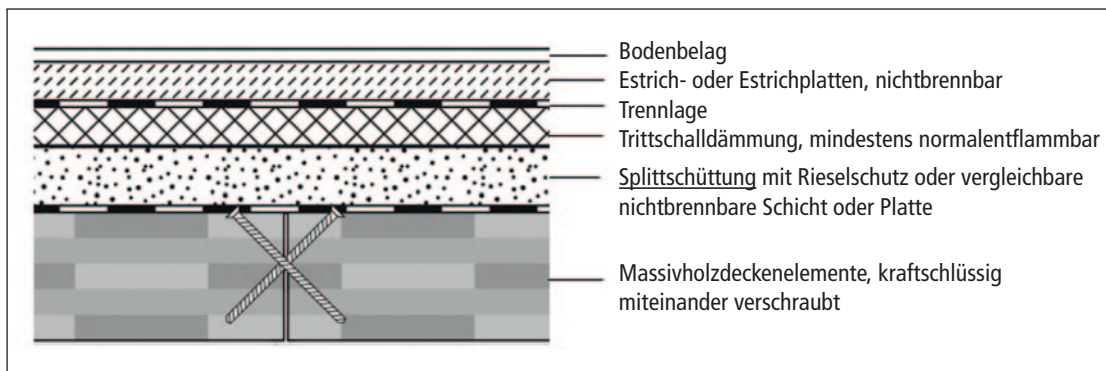


Abb. 2: Elementstoß einer unbelagten Massivholzdecke nach M-HolzBauRL Oktober 2020 [2]

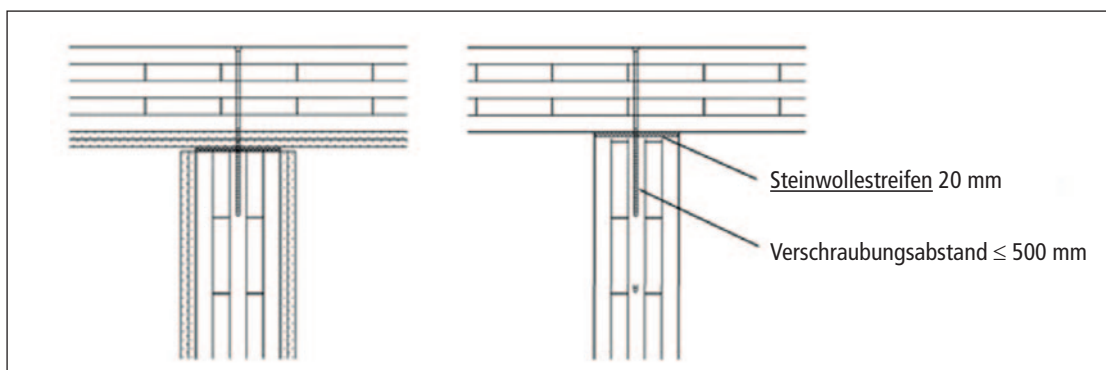


Abb. 3: Bauteilfugen

Bei Bauteilfugen gilt der Anschluss von Wänden oder Decken mit Wänden gemäß dem vorliegenden Richtlinienentwurf als ausreichend, sofern in der Fuge ein komprimierter Dämmstreifen aus Steinwolle eingebaut wird, der im nichteingebauten Zustand eine Mindestdicke von 20 mm aufweist und die Fugen zusätzlich in Abständen von höchstens 500 mm kraftschlüssig miteinander verschraubt werden (**Abb. 3**).

Einen Sonderfall stellt hierbei der Anschluss einer durchlaufenden Elementfuge über einer Bauteilfuge dar. Hier ist ein Anschluss gemäß **Abb. 4** auszuführen.

5 Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen

Zunehmend steht neben der Bestrebung zum ökologischen Bauen auch der Wunsch der Bauherren im Vordergrund, den Baustoff Holz am Gebäude auch erlebbar zu machen. Bereits in den vergangenen Jahren wurde daher eine wachsende Anzahl von mehrgeschossigen Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 mit Holzaußenwandbekleidungen ausgestattet. Da es keine Regelungen für diesen Einsatz gab, erfolgte die Anwendung jeweils über objektbezogene gutachterliche Stellungnahmen. In diesen wurde auf der Grundlage konstruktiver Maßnahmen die Gleichwertigkeit zu den bauordnungsrechtlich geforderten schwerentflammbaren Bekleidungen nachgewiesen.

Mit dem Entwurf der neuen Muster-Holzbaurichtlinie stehen nun erstmals einheitliche Regelungen für eine Ausführung von Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen zur Verfügung. Hierbei werden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bekleidungsart, zusätzliche konstruktive Maßnahmen beschrieben, bei deren Umsetzung eine Gleichwertigkeit erreicht werden kann (**Abb. 5**).

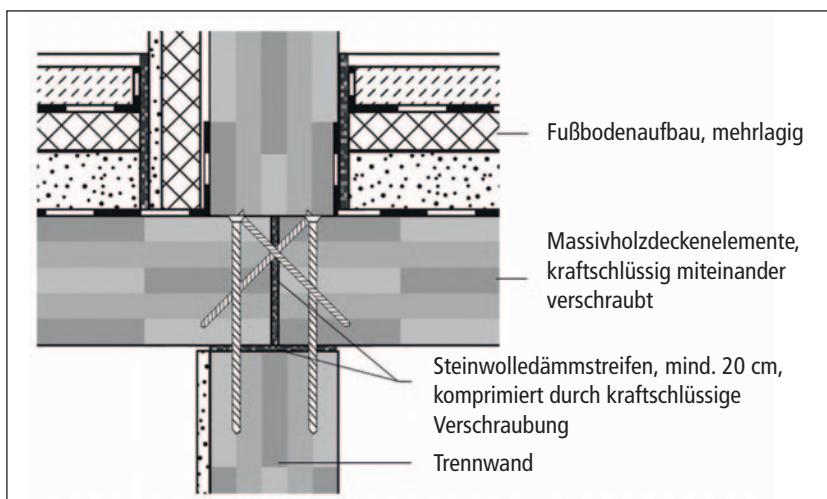


Abb. 4: Durchlaufende Elementfuge über Bauteilfuge



Abb. 5: Horizontale Brandschutzmaßnahme mittels Blechschürze nach [2]

Die Richtlinie unterscheidet zwischen horizontalen und vertikalen Bekleidungen. Für diese reichen die Unterscheidungen in den Maßnahmen von *offen* bis *kraftschlüssig verbunden*. Am günstigsten verhalten sich im Brandfall horizontal angeordnete Bekleidungen aus kraftschlüssig miteinander verbundenen Brettern. Sie erfordern demzufolge mit mindestens 50 mm den geringsten Überstand der horizontal umlaufenden Brandsperre. Demgegenüber am kritischsten zu bewerten sind vertikale offene Bekleidungen. Sie sind daher mit dem größten Überstand von mindestens 250 mm auszubilden.

6 Bauleitung und Übereinstimmungsbestätigung

Im Gegensatz zu den bisherigen Regelungen der Muster-Holzbaurichtlinie ist nach der neuen Fassung eine Überwachung und Bescheinigung über die ordnungsgemäße Ausführung der Arbeiten nun nicht mehr durch den Prüferingenieur für Standsicherheit erforderlich. Vielmehr hat der Bauherr nach §§ 53 i.V.m. 56 MBO einen Bauleiter zu bestellen, der auch die Durchführung der Anforderungen der Richtlinie auf der Grundlage der geforderten Planunterlagen überwacht. Er muss insbesondere

über die erforderliche Sachkunde und Erfahrung für den Holzbau und den Trockenbau verfügen. Ist dies nicht der Fall, hat der Bauherr gemäß § 56 Abs. 2 Satz 2 MBO geeignete Fachbauleiter für Holzbau und für Trockenbau zu bestellen, die diese Aufgabe übernehmen.

Zudem bedarf die Ausführung der Bauart nach der Muster-Holzbaurichtlinie der Bestätigung der Übereinstimmung durch den Anwender der Bauart (Unternehmer) nach § 16 a Abs. 5 MBO. Die Bestätigung beinhaltet sowohl die Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung als auch die Bestätigung der Einhaltung aller Regeln der Richtlinie.

7 Literatur

- [1] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHolzR, Fassung Juli 2004, veröffentlicht durch die Bauministerkonferenz
- [2] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolz-BauRL) Fassung Oktober 2020, veröffentlicht durch das Deutsche Institut für Bautechnik e.V.

Die Bodenvereisung ist vor allem für komplizierte Baumaßnahmen ein zuverlässiger und flexibler Baubehelf

Die thermische und mechanische Bemessung des Eisbetons verlangt aber die Berücksichtigung spezieller Fachgebiete

Mit der Bodenvereisung wird Boden durch künstliches Vereisen des Bodenwassers verfestigt und damit wasserundurchlässig gemacht. Der dabei gewachsene Frostkörper wirkt als Tragelement und schützt vor Wasserzutritt, bis diese Funktionen vom Bauwerk selbst übernommen werden können. Soweit so gut und bekannt. Weniger bekannt ist vielleicht, dass Frostkörper unter stationärer Belastung eine ausgeprägte Viskosität zeigen und auf die Spannung und die Temperatur ihres umgebenden Bodens synchron reagieren. Gefrorener Boden muss deshalb mit einer zeitabhängigen Steifigkeit bemessen werden, welche die Kriechverformungen während der Belastung berücksichtigt. Dies macht die Bemessung zwar komplizierter, ermöglicht aber während der Nutzung eine sichere Kontrolle des Tragverhaltens. Die genannten Merkmale machen die Bodenvereisung zu einer sehr sicheren Bauhilfsmaßnahme. Ihre Anwendung verlangt jedoch die Berücksichtigung einiger nicht zum klassischen Bauingenieurwesen gehörender Fachgebiete. Werden diese angemessen berücksichtigt, ist das Gefrierverfahren, wie der folgende Beitrag zeigt, insbesondere für komplizierte Baumaßnahmen ein zuverlässiger und äußerst flexibler Baubehelf.



Dr.-Ing. Wolfgang Orth

studierte von 1973 bis 1978 Bauingenieurwesen (Bodenmechanik und Grundbau) an der Universität Karlsruhe, schloss ein Aufbaustudium in theoretischer Mechanik und Physik an, promovierte über das mechanische Verhalten gefrorenen Sandes und begann seine berufliche Laufbahn als Leiter und später als alleinvertretungsberechtigter Geschäftsführer der Karlsruher Niederlassung des damaligen Ingenieurbüros Wibel und Leinenkugel; 1991 gründete er ein Ingenieurbüro für Bodenmechanik und Grundbau, die Dr.-Ing. Orth GmbH, deren geschäftsführender Gesellschafter er von 1991 bis 2019 war und deren wissenschaftlicher Berater er seit 2020 ist; Wolfgang Orth war von 2004 bis 2019 Lehrbeauftragter am Karlsruher Institut für Technologie (der früheren Universität TH Karlsruhe), war bis Juli 2020 Beratender Ingenieur der Ingenieurkammer Baden-Württemberg und ist Anerkannter Sachverständiger für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht.

1 Einführung

Die Verfestigung und Abdichtung von Böden durch Gefrieren des Porenwassers begann kurz nach der Erfindung leistungsfähiger Kältemaschinen vor rund 140 Jahren. Das erste Patent für ein *Verfahren zur Abteufung von Schächten in schwimmendem Gebirge* wurde 1883 dem Bergingenieur Hermann Pötsch verliehen. Lange Zeit wurde das Verfahren überwiegend im Schachtbau angewendet, heute ist es jedoch eine immer häufiger genutzte Bauhilfsmaßnahme auch in anderen Bereichen der Geotechnik.

Durch die Weiterentwicklung der Bemessungsverfahren sind Bodenvereisungen heute sehr gut berechenbar, und sie können mit der fortgeschrittenen Baustellenmesstechnik auch während der Ausführung zuverlässig kontrolliert werden.

2 Thermische Bemessung

2.1 Verfahrensprinzip

Beim Gefrierverfahren wird dem Boden durch in der Regel doppelwandige Rohre Wärme entzogen, indem man durch diese Rohre eine abgekühlte Flüssigkeit (üblicherweise eine Chlor-Calcium-Sole mit circa minus 35 °C) oder flüssigen Stickstoff mit einer Siedetemperatur von minus 196 °C leitet. Dabei kühlt sich der Boden immer weiter ab, bis das Porenwasser schließlich gefriert.

Die für das Gefrieren maßgebliche Bodeneigenschaften sind:

- Wärmeleitfähigkeit, im gefrorenen Zustand > als ungefroren,
- Wärmekapazität, im gefrorenen Zustand < als ungefroren,
- Kristallisationswärme beim Erstarren von Wasser.

Die maßgebenden Wärmetransportvorgänge im Boden sind:

- Wärmeleitung (Konduktion, Diffusion, in fester Materie),
- Konvektion (Wärmetransport durch bewegte Masse),
- Wärmeübergang (Wärmetransport an Grenzflächen fester Körper).

2.2 Frostwachstum um Gefrierrohre

Um die Gefrierrohre bilden sich mit der Zeit anwachsende Walzen aus gefrorenem Boden. Dabei sind die Wärme des Bodens aus dem ungefrorenen Bereich, an der Frostgrenze die Kristallisationswärme und anschließend die Wärme im gefrorenen Bereich bis zum Erreichen der Solltemperatur abzuführen. Ordnet man die Rohre in einer Reihe an, so wachsen die Walzen im Laufe der Zeit zu einer gefrorenen Wand zusammen. Bei einer kreisförmigen Anordnung entsteht ein gefrorener Zylinder, der senkrecht für Schächte (**Abb. 1**) und waagrecht für Tunnel als Stützkonstruktion dienen kann. Der Radius der Frostwalze wächst anfangs schnell und verlangsamt sich zunehmend. Die Frostausbreitungsgeschwindigkeit hängt sowohl von den Temperaturrand-

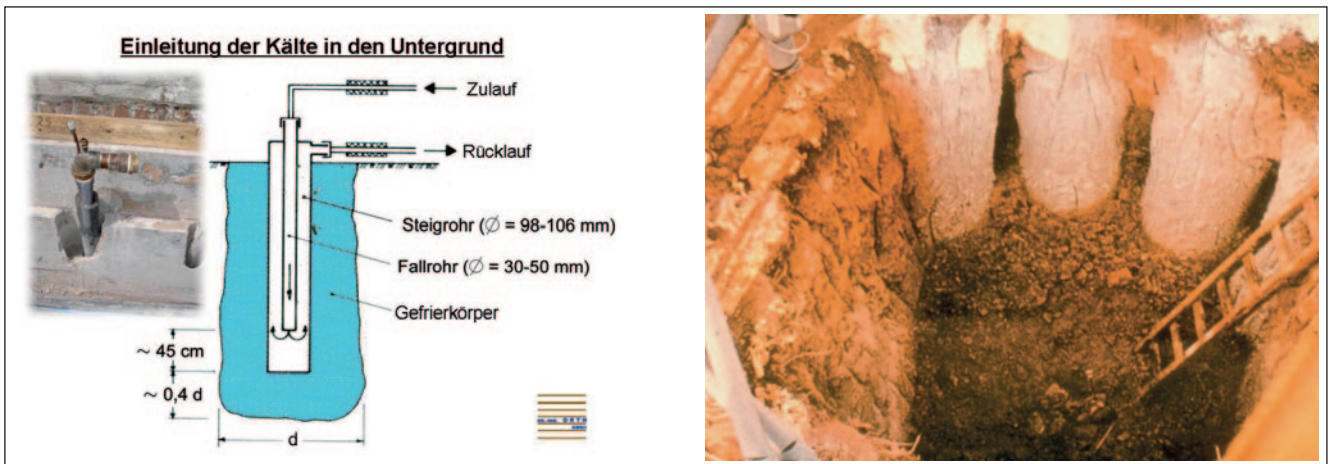


Abb. 1: Prinzipskizze Gefrierrohr und Geriehrrohrkopf

Frostkörper in einem Forschungsschacht vor dem Zusammenwachsen

bedingungen als auch von den Bodeneigenschaften, insbesondere dem Grundwasseranteil und gegebenenfalls von dessen Fließgeschwindigkeit ab. Bei strömendem Grundwasser wird das Frostwachstum durch den konvektiven Wärmetransport verlangsamt werden oder kann ganz zum Stillstand kommen (Abb. 2). Abhilfe ist durch einen kleineren Gefrierrohrabstand oder eine tiefere Gefriertemperatur zum Beispiel mit Stickstoff möglich, alternativ kann der Grundwasserstrom selbst zum Beispiel durch Injektionen oder Abwehrbrunnen beeinflusst werden.

2.3 Thermische Berechnungen

Für die Erwärmung oder Abkühlung maßgeblich ist die räumliche Veränderlichkeit des Temperaturgradienten, ausgedrückt durch die 2. Ortsableitung der Temperatur (Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung). Diese beschreibt den Zusammenhang zwischen dem räumlich variierenden Wärmestrom in einem Körper und der dadurch hervorgerufenen Temperaturänderung. Für die Planung von Bodenvereisungen sind vorlaufende thermische Berechnungen erforderlich, diese werden außer in einfachen Fällen mit numerischen Verfahren durchgeführt. Sie benötigen in der Regel eine Kalibrierung mit einem dimensionsunabhängigen analytischen Berechnungsverfahren.

Zunächst wird mit einer – meist auf analytischen Vorberechnungen basierenden – angenommenen Gefrierrohranordnung ein Frostkörper be-

rechnet und anschließend geprüft, ob er hinsichtlich seiner Dicke und der Temperaturverteilung den statischen Anforderungen genügt. Dies erfolgt oftmals im iterativen Wechselspiel mit den statischen Berechnungen.

In den Berechnungen sind auch Störfälle zu untersuchen, wie zum Beispiel der Ausfall einzelner Gefrierrohre oder eine vorübergehende Unterbrechung der Kältemittelversorgung. Nach dem Bohren der Gefrierrohre ist bei nennenswerten Abweichungen von der planmäßigen Lage die tatsächliche Gefrierrohrtopologie in einer neuen Berechnung zu überprüfen, bei Bedarf sind dann zusätzliche Gefrierrohre zu bohren.

2.4 Messüberwachung

In jedem Falle ist während der Nutzung eines Frostkörpers eine direkte Kontrolle seiner Ausdehnung und seiner Temperatur durch Temperaturmessungen durchzuführen. Die Messpunkte sind an den relevanten Punkten im Frostkörper anzuordnen, die sich aus den thermischen Berechnungen ergeben. Weiterhin sind für die Messpunkte Temperaturrichtwerte aus den Berechnungen abzuleiten. Die Richtwerte können sich für unterschiedliche Betriebszustände ändern (zum Beispiel Vortrieb, Aufbringen von Spritzbeton, Zustand nach der Sicherung). Wichtig für die Aussagekraft der Berechnungen ist, dass jedes Gefrierrohr mit gleicher Leistung beziehungsweise Temperatur dem Boden Wärme entzieht.

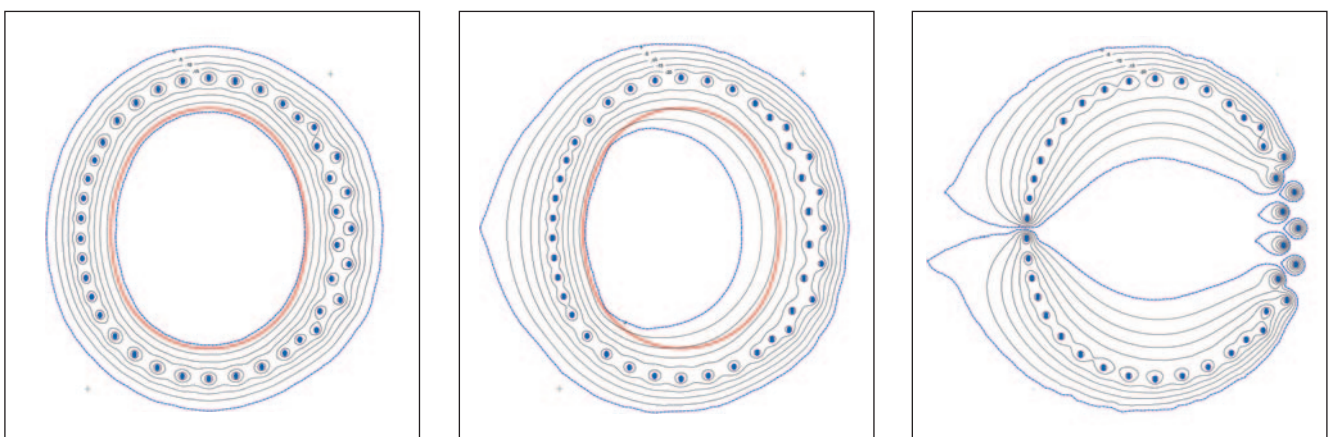


Abb. 2: Berechnete Frostausbreitung (Beispiel Albula Tunnel II)

Abb. 2 a: Acht Tage Einfrieren ohne Grundwasserströmung

Abb. 2 b: Fünfzehn Tage Einfrieren bei Grundwasserstrom 1,0 m/Tag

Abb. 2 c: Dreißeig Tage Einfrieren bei Grundwasserstrom 3,0 m/Tag

GEOTECHNIK

Die Temperaturmessungen ermöglichen Aussagen nicht nur an den Messpunkten, sondern mit den Gesetzen der Wärmeleitung auch über die Bereiche zwischen den Messstellen. Weiterhin homogenisiert sich ein Temperaturfeld im Laufe der Zeit, Schwachstellen können so allmählich heilen.

Ergänzend können die Verformungen zum Beispiel mit Neigungsmessern (Inklinometern) in der Tunnelfirste überwacht werden.

3 Mechanische Bemessung

3.1 Mechanisches Verhalten gefrorener Böden

Gefrorener Boden ist ein Vierphasen-Gemisch aus Mineralpartikeln, Eis, Wasser und Luft. Durch die Festigkeit des Poreneises wird der Bo-

den, ähnlich wie Beton durch den Zement, verkittet und erhält damit seine Festigkeit; gefrorener Boden kann deshalb als Eisbeton bezeichnet werden. Gleichzeitig wird das Porenwasser immobil, sodass der Boden wasserundurchlässig wird. Die Dichtigkeit ist im physikalischen Sinne vollständig, sodass eine Restwasserhaltung innerhalb von Frostkörpern entbehrlich ist. Die Tragfähigkeit hängt auch vom Grad der Wassersättigung ab, also vom Verhältnis von Wasser und Luft in den Bodenporen, was bei der Kennwertermittlung für die Berechnungen zu berücksichtigen ist.

Die Festigkeit und Steifigkeit werden maßgeblich durch das Poreneis bestimmt. Dieses kann in bestimmten Temperatur- und Verformungsgeschwindigkeitsbereichen verformt werden, ohne dass das Kristallgitter zerstört wird. Dabei wechseln einzelne Moleküle ihren Platz innerhalb des Kristalls; damit handelt es sich bei Eis, und damit auch bei gefrorenem Boden, nicht um einen Festkörper, sondern um eine Flüssigkeit. Die Häufigkeit dieser Platzwechsel und damit die Verformungsgeschwindigkeit hängen von der aufgebrachtten Spannung und der Temperatur ab.

Unter konstanter deviatorischer (gestaltändernder) Belastung erfährt gefrorener Boden eine zunächst sich verlangsamende, ab einem bestimmten Punkt aber wieder schneller werdende Verformung, bis schließlich der Bruch eintritt (Abb. 3). Der zeitliche Verlauf dieser Verformung kann durch die Dehnungsgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_m$ am Wendepunkt der Kriechkurve beziehungsweise durch die bis dahin verstrichene Kriechzeit t_m beschrieben werden (Abb. 4 links). Die Dehnungsgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_m$ lässt sich, basierend auf der Theorie der statistischen Mechanik von Prandtl, an einem bestimmten Boden aus wenigen Laborversuchen in Abhängigkeit von der Temperatur und von der aufgebrachtten Spannung berechnen [1]. Dabei müssen für das jeweilige

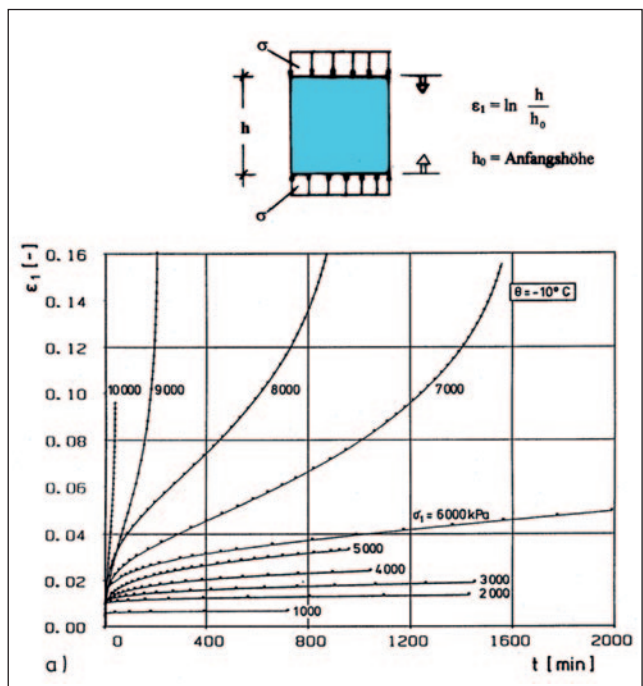


Abb. 3: Kriechen gefrorenen Bodens unter konstanter Spannung: links: Einaxialer Druckversuch am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik des Karlsruhe Instituts für Technologie mit angefrorenem Sand (oben die Probe, unten der Versuchsstand); rechts: Einaxiales Kriechen gefrorenen Sandes unter konstanter Druckspannung

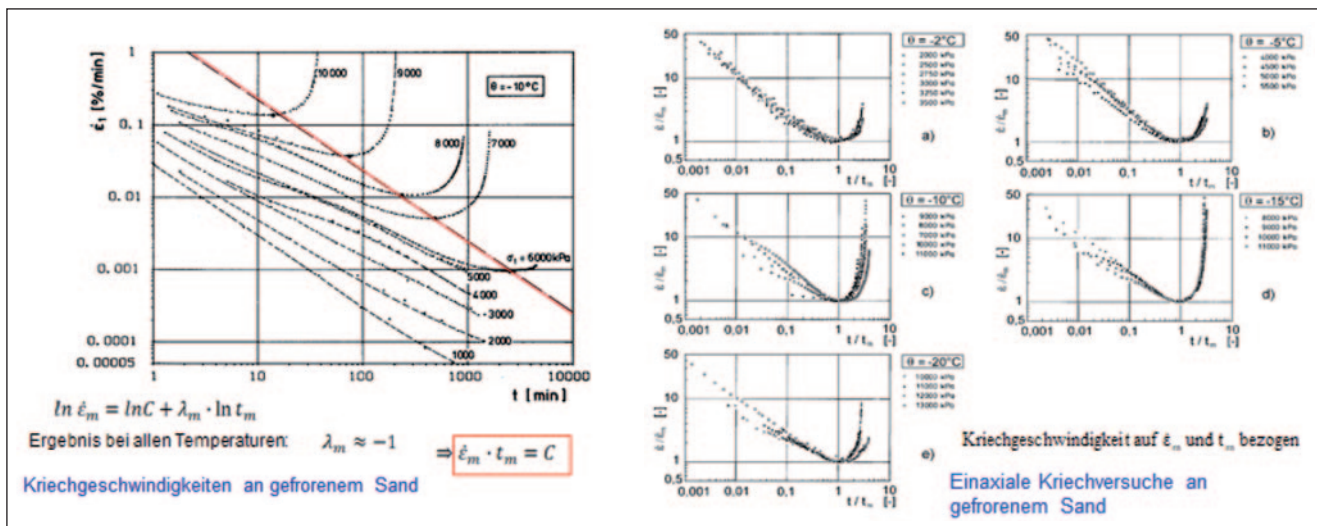


Abb. 4 Kriechgeschwindigkeiten: links: im doppelt logarithmischen Maßstab, rechts: auf $\dot{\epsilon}_m$ und t_m normiert [1]

Material dessen Betrag der Festigkeit (entsprechend der Bindungsenergie der Moleküle) und die Abhängigkeit von der Temperatur (entsprechend der Verteilung der thermischen Energiezustände) aus Versuchen mit unterschiedlichen Spannungen und Temperaturen ermittelt werden. Daraus lässt sich die Verformungsgeschwindigkeit am Wendepunkt in Abhängigkeit von Spannung und Temperatur geschlossen darstellen:

$$\dot{\epsilon}_m(\sigma, T) = \dot{\epsilon}_\alpha \cdot \exp \left[\left(\frac{K_1}{T} + \ln \epsilon_\alpha \right) \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_\alpha(T)} - 1 \right) \right]$$

Darin ist $\dot{\epsilon}_\alpha$ eine frei wählbare Bezugsgröße, für welche die Funktion $\sigma_\alpha(T)$ gilt, beide Größen sind also gekoppelt.

Als Beispiel lautet die Formel für die in **Abb. 4 rechts** dargestellten Kriechgeschwindigkeiten:

$$\dot{\epsilon}_m(\sigma, T) = \dot{\epsilon}_\alpha \cdot \exp \left[\frac{8030,1}{T_c + 273,4} \cdot \left(\frac{\sigma}{860 \cdot (-T_c)^{0,74}} - 1 \right) \right]$$

In der Praxis ist nicht die in obiger Formel definierte Verformungsgeschwindigkeit, sondern die innerhalb einer bestimmten Belastungsdauer eingetretene Verformung von Interesse. Der Zusammenhang zwischen der minimalen Kriechgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_m$ und der bis zum Wendepunkt der Kriechkurven verstrichenen Kriechdauer t_m ergibt sich aus der Auftragung der Geschwindigkeit im doppellogarithmischen Maßstab (**Abb. 4 links**). Verbindet man die Punkte minimaler Kriechgeschwindigkeit, so ergibt sich eine Gerade, die sich mit folgender Gleichung darstellen lässt:

$$\ln \dot{\epsilon}_m \ln C + \lambda_m \cdot \ln t_m$$

Aus den Versuchen zeigt sich, dass die Gerade auch bei unterschiedlichen Temperaturen stets die Steigung $\lambda_m \approx -1$ besitzt. Durch Delogarithmieren folgt daraus das Ergebnis

$$\Rightarrow \dot{\epsilon}_m \cdot t_m = C$$

Dies bedeutet, dass die Spannung und Temperatur den Kriechverlauf nur hinsichtlich des Zeitmaßstabs beeinflussen. Dies bestätigen auch

Versuchsergebnisse, wenn diese normiert aufgetragen werden (**Abb. 4 rechts**).

Da die Kriechverläufe (**Abb. 5 a**) bei unterschiedlichen Spannungen und Temperaturen sich somit im Wesentlichen nur im Zeitverlauf unter-

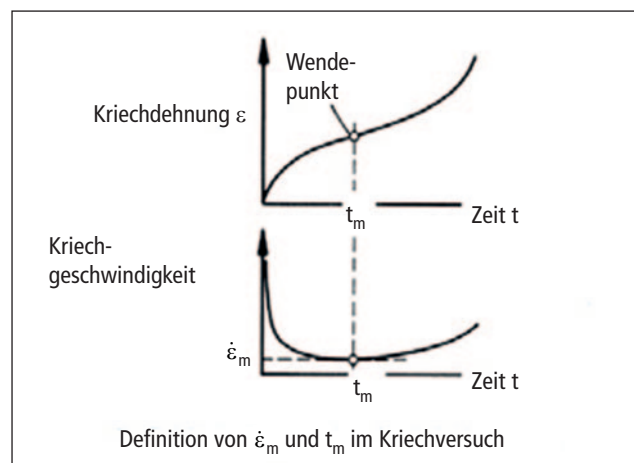


Abb. 5 a: Kenngrößen des Kriechverlaufs [1]

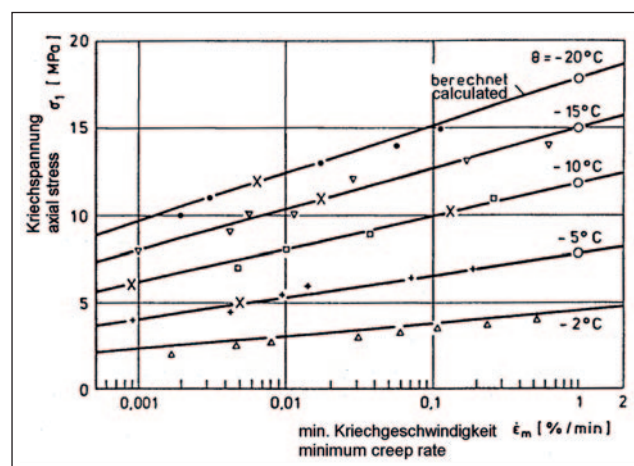


Abb. 5 b: $\dot{\epsilon}_m$ abhängig von Spannung und Temperatur [1]

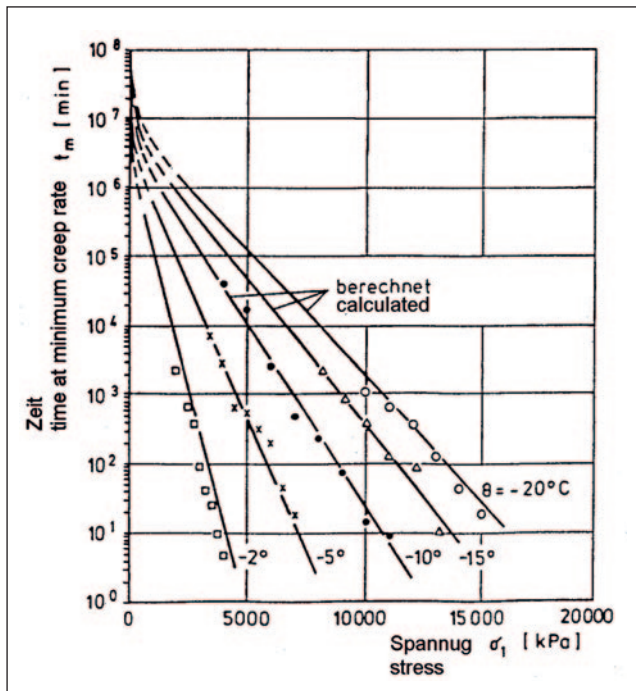


Abb. 5 c: t_m abhängig von Spannung und Temperatur [1]

scheiden und damit $\dot{\epsilon}_m \cdot t_m = \text{const.}$ ist, kann aus der minimalen Kriechgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_m$ (Abb. 5 b) auch die Kriechzeit t_m bis zum Wendepunkt (Abb. 5 c) ermittelt werden.

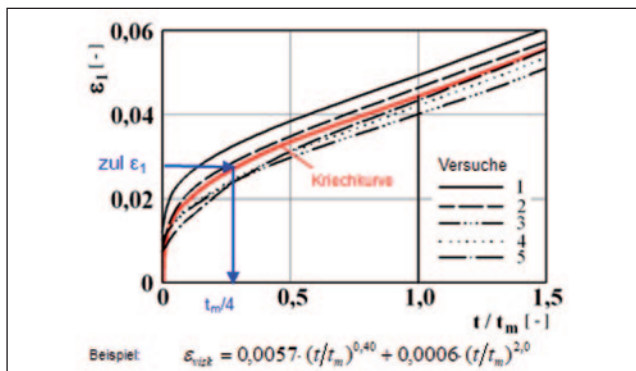


Abb. 6: Ermittlung der Dehnung abhängig von Zeit, Spannung und Temperatur mit $t_m(\sigma, T)$

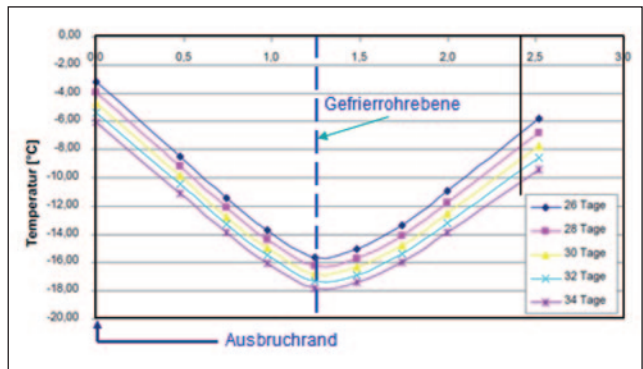


Abb. 8: Temperaturverteilung in einem Frostring ab dem Ausbruchrand links (Beispiel)

Entsprechend den nur hinsichtlich des Zeitmaßstabs variierenden Kriechgeschwindigkeitsverläufen bei verschiedenen Spannungen und Temperaturen unterscheiden sich auch die Kriechkurven nur hinsichtlich des Zeitmaßstabs, wie Abb. 6 zeigt. Stellt man den Kriechverlauf durch eine Approximationsformel dar, so kann damit, basierend auf den Ergebnissen einer begrenzten Anzahl von Versuchen, für einen gefrorenen Boden auch die bei einer bestimmten Spannung und Temperatur innerhalb einer bestimmten Belastungsdauer, das heißt, innerhalb eines bestimmten Anteils von t_m , die bis dahin eingetretene Verformung ϵ_{visk} berechnet werden.

Der Quotient aus Spannung und Verformung stellt einen temperatur-, spannungs- und zeitabhängigen Deformationsmodul dar (Abb. 7). Zusammen mit der Kenntnis der (räumlich variierenden) Temperaturverteilung (Abb. 8) können damit die Verformungen einer Konstruktion aus gefrorenem Boden berechnet werden.

Da der Deformationsmodul spannungsabhängig ist, sich die Spannung in einem Körper aber erst im Zuge der Berechnung ergibt, muss die Berechnung iterativ erfolgen. Man berechnet die Spannungsverteilung aus den äußeren Einwirkungen zunächst mit einem für die gewünschte Belastungsdauer geschätzten konstanten Deformationsmodul im gesamten Eiskörper, woraus sich eine erste Spannungsverteilung ergibt. Nun teilt man den Frostkörper in einzelne Elemente auf und setzt in jedem Element den für die jeweilige Spannung und die zuvor aus der thermischen Berechnung ermittelte Temperatur (und wieder für die gewünschte Belastungsdauer) ermittelten Deformationsmodul an. Dies wiederholt man, bis sich die errechneten Spannungen und die

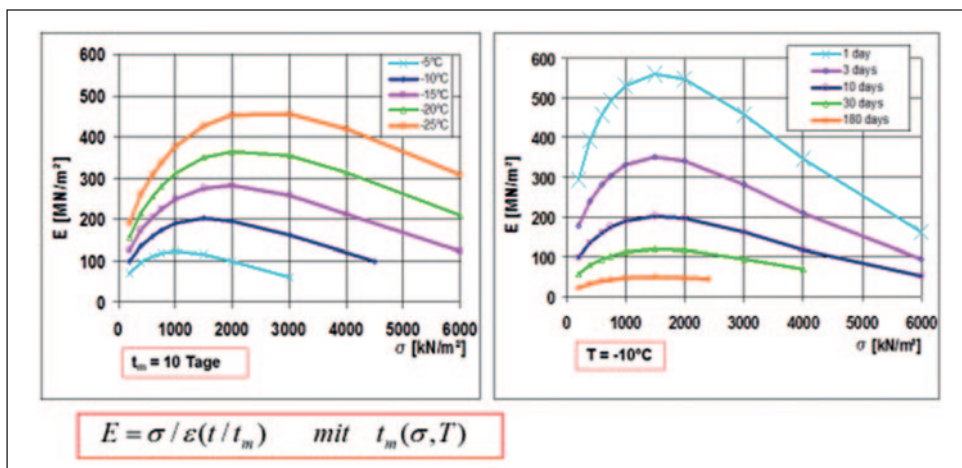


Abb. 7: Deformationsmodul E aus elastischer und viskoser Deformation (gefrorener Mittelsand)

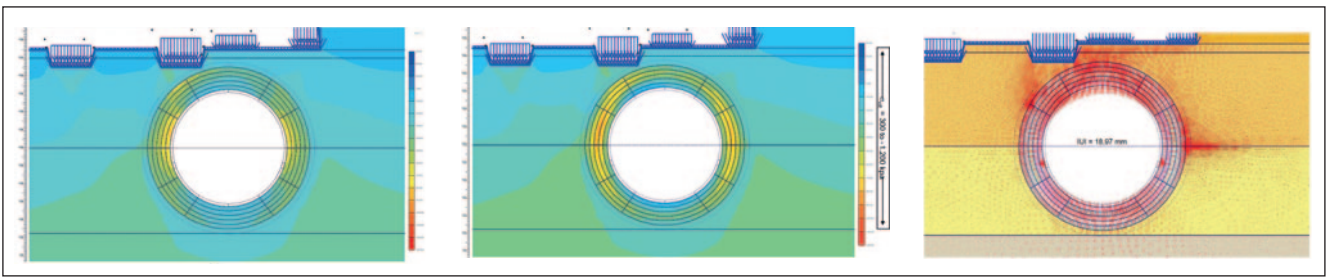


Abb. 9 a: Spannungsfeld mit konstantem Deformationsmodul ((1. Iterationsschritt) und...

Abb. 9 b: ... nach der Iteration mit Deformationsmodulen als Funktion von T, t und sigma

Abb. 9 c: Verformungsverteilung nach der Iteration

Verformungen nicht mehr wesentlich ändern (Abb. 9). Die Spannungsverteilung zeigt zu Beginn der Iteration entsprechend dem zunächst homogen angenommenen Material die höchsten Werte am Innenrand (Abb. 9 a), am Ende der Iteration ergeben sich die größten Spannungen erwartungsgemäß im kalten und damit besonders steifen Kern des Frostkörpers (Abb. 9 b).

Die Berechnung ergibt neben der Spannungsverteilung auch die Verformungsverteilung des Frostkörpers (Abb. 9 c), die während der Nutzungsdauer an charakteristischen Stellen zum Beispiel durch ein Horizontalinklinometer in einer zusätzlichen Bohrung über einem Frosttunnel gemessen werden kann. Durch den Vergleich beider Werte kann das Frostkörperverhalten im Sinne der Beobachtungsmethode zuverlässig beurteilt werden. Ein weiterer Sicherheitsgewinn ergibt sich aus der Viskosität, wegen der ein Frostkörper eine Überlastung zunächst durch schnelleres Kriechen anzeigt, aber nicht ohne Vorwarnung spontan versagt.

3.2 Relaxation

Die Deformationen im Eis und damit auch in gefrorenem Boden treten bereits bei sehr kleinen deviatorischen Spannungen auf. Diese sind durch Platzwechsel der Moleküle verursacht. Dies bringt es mit sich, dass gefrorener Boden seine Spannungen abbaut, wenn eine weitere Verformung nicht möglich ist, er relaxiert (Abb. 10). In der Folge verliert gefrorener Boden zum Beispiel nach dem Einbau und Erhärten einer Spritzbetonschale rasch die Spannung, sodass Spritzbetonschalen stets auf den vollen Erd- und Wasserdruck zu bemessen sind.

3.3 Zugfestigkeit

Gefrorener Boden besitzt eine – im Vergleich mit der Druckfestigkeit allerdings erheblich kleinere – Zugfestigkeit (Abb. 11). Sie wurde zum

Beispiel bei der Bemessung biegebeanspruchter Frostplatten zur Gleisababfangung bei mehreren Bauvorhaben planmäßig genutzt [2]. Dies ist jedoch auf Frostkörper mit sehr tiefen Temperaturen und kurzzeitigen Belastungen beschränkt und verlangt in jedem Falle eine genaue Bemessung. Bei schlechtem Untergrund bis in größere Tiefe kann ein

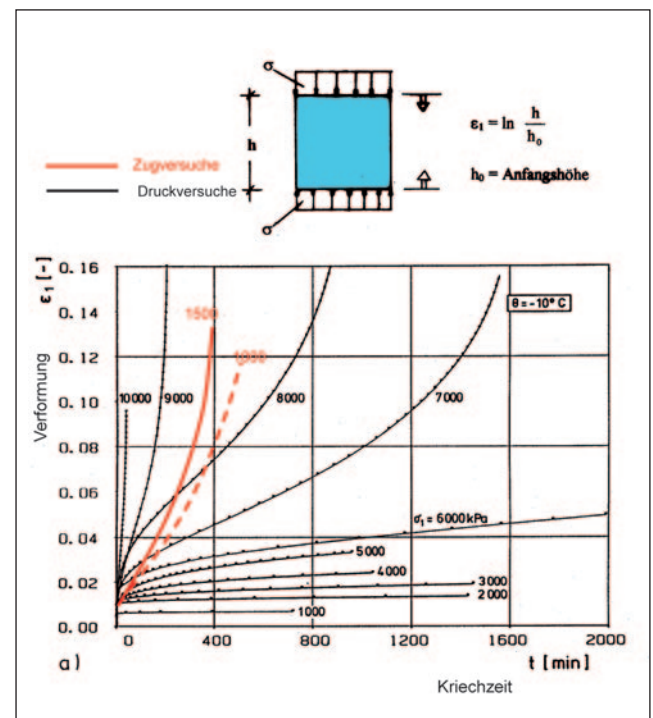


Abb. 11: Vergleich Kriechen unter Druck und unter Zug

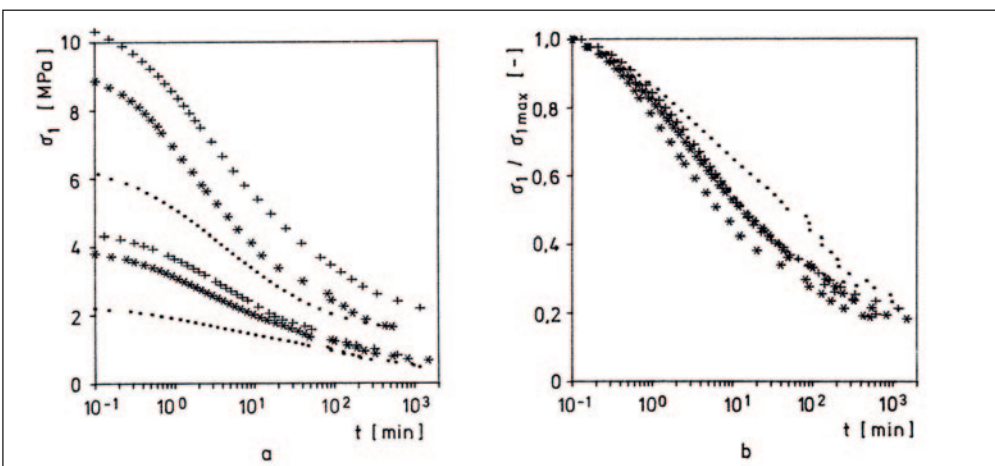


Abb.10: Relaxationsversuch an gefrorenem Sand bei -10 °C [1]: links bei verschiedenen Anfangsspannungen, rechts: Auf die Anfangsspannung normiert

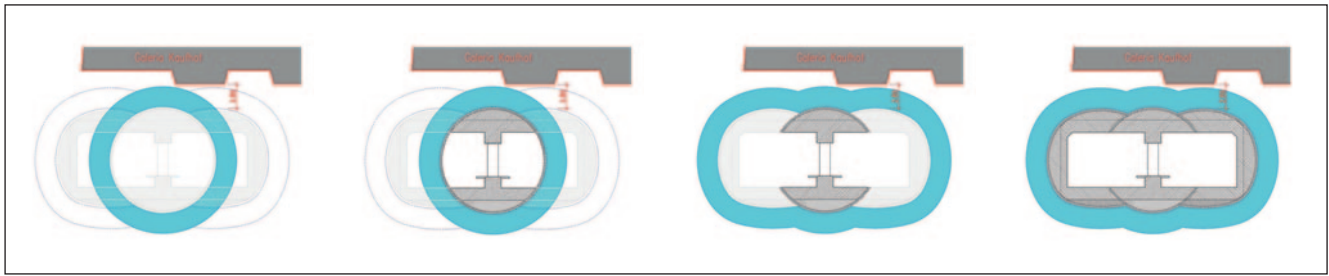


Abb. 12: Vereisungs- und Vortriebsreihenfolge bei breiten Querschnitten (Kaufhofgebäude an der Königsallee in Düsseldorf)

Frostkörper seine Lasten und sein Gewicht auch über Mantelreibung auf Pfähle übertragen [3].

Ansonsten werden üblicherweise gewölbte Frostkörper hergestellt, die mehr oder weniger nach Art eines Stützlinienbogens die Lasten ohne wesentliche Zugspannung abtragen. Sollen sehr breite Hohlräume zum Beispiel für einen Bahnhof mit Bahnsteigen aufgeföhren werden, so können diese nacheinander mit mehreren ringförmigen Frostkörpern gestützt werden, die sich auf einen vorher aufgeföhrenen Frostring abstützen, in dem bereits ein tragfähiger Innenausbau eingebracht ist (zum Beispiel für den Bahnhof Brandenburger Tor in Berlin oder für die Unterföhren des Kaufhofgebäudes an der Königsallee in Düsseldorf). Diese Bauweise erlaubt, unabhängig von der Geometrie des endgültigen Bauwerks, an die mechanischen Eigenschaften des geföhrenen Bodens angepasste Frostkörper, die auch vergleichsweise hohe Lasten mit relativ geringen Verformungen abtragen können. Bei der Unterföhren des immerhin sechsgeschossigen Kaufhofgebäudes an der Königsallee in Düsseldorf betrug der Abstand zwischen dem Ausbruchsrand und der Sohle des tiefsten Fundaments lediglich 2,89 Meter. Das Frostgewölbe überspannte dabei mehr als neun Meter lichte Breite (Abb. 12 und Abb. 13).

3.4 Inhomogene Festigkeit

Eine Besonderheit von Frostkörpern ist ihre inhomogene Festigkeits- und Steifigkeitsverteilung aufgrund der inhomogenen Temperaturverteilung bei der künstlichen Bodenvereisung. Durch die tiefere Temperatur im Kern nahe den Gefrierrohren ist dort die Festigkeit und Steifigkeit am größten, mit der zu den Rändern steigenden Temperatur nehmen beide ab und erreichen am Frostrand schließlich die Werte des ungeföhrenen Bodens (Abb. 8). Bei der hier unter Abschnitt 3.1 beschriebenen Berechnung wird dies durch die Wahl des Deformations-

moduls für die jeweilige Temperatur eines Berechnungselements berücksichtigt.

3.5 Besonderheiten des Bemessungsverfahrens

Die Viskosität geföhrener Böden erfordert eine von üblichen Baustoffen wie Beton oder Stahl abweichende Berechnungsweise. Im Gegensatz zu diesen Materialien haben geföhrene Böden eine ausgeprägte Viskosität, das heißt, sie kriechen unter stationärer Belastung. Die Viskosität hängt neben der Spannung stark von der Temperatur ab.

Eine Konstruktion aus geföhrenem Boden ist so zu bemessen, dass innerhalb der geföhrenen Standzeit die zulässigen Verformungen eingehalten werden. Solange die durch Messungen verifizierten Verformungen innerhalb der vorgegebenen Grenzen bleiben, ist damit gleichzeitig die Standsicherheit nachgewiesen.

Eine Überlastung kündigt sich frühzeitig durch eine Zunahme der Verformungen an, ein spontanes Versagen tritt jedoch nicht ein. Bei Bedarf können Frostkörper auch während der Nutzungsdauer durch verstärktes oder längeres Vereisen vergrößert und/oder verstärkt werden. Da keine feste Bruchgrenze existiert, von der ein bestimmter Abstand zu halten ist, und da der Standsicherheitsnachweis über die Verformungen und nicht über die Spannungen erfolgt, sind Teilsicherheitsbeiwerte für die Festigkeit eines Frostkörpers nicht sinnvoll. Insbesondere für ungeföhrene Böden gültige Sicherheitsbeiwerte sind für geföhrenen Boden nicht anwendbar.

Da in den meisten praktischen Fällen eine Ausnutzung der Tragfähigkeit eines Frostkörpers bis zum Ende der Kriechkurve zu nicht hinnehmbaren Verformungen führen würde, ist das Bemessungskriterium der Verformung lange vor der Überschreitung der Tragfähigkeit er-



Abb. 13: Stützenreihe des Mitteltunnels und Vortrieb Seitenstollen (Kaufhofgebäude an der Königsallee in Düsseldorf)

reicht und deshalb maßgebend. Für die Einwirkungsseite (zum Beispiel für Lasten aller Art) können Teilsicherheiten wie bei allen anderen Konstruktionen jedoch angebracht sein, um Streuungen auf der sicheren Seite abzudecken.

3.6 Frosthebungen

Beim Gefrieren von bindigen Bodenarten können durch zweierlei Mechanismen Volumenvergrößerungen und in der Folge Frosthebungen auftreten, die Auswirkungen auf Bauwerke in der Nähe haben können und deshalb bei der Bemessung ebenfalls zu berücksichtigen sind. Dies ist zum einen die Vergrößerung der Bodenporen durch die Volumenvergrößerung des Wassers um circa neun Prozent beim Phasenübergang auf Eis. Diese wirkt sich bei geringdurchlässigen Böden aus, wenn das Überschusswasser nicht annähernd drucklos abströmen kann, bei (feinkornfreiem) Sand und Kies tritt das Problem nicht auf. Die dabei sich einstellenden Drücke sind extrem hoch, sie können technisch nicht beherrscht werden, vielmehr müssen benachbarte Bauteile und dergleichen dies schadlos aufnehmen können. Allerdings betrifft die Volumenvergrößerung nur den Porenanteil im Boden, so dass sich für das gesamte Bodenvolumen meist kleine einstellige Prozentbeträge ergeben.

Der zweite Mechanismus ist die Bildung von Eislinsen, die infolge von Oberflächenkräften durch Wasseranlagerung an der Eisfront auftritt. Dies erfordert geringe Korndurchmesser mit kleinen Krümmungsradien sowie einen Wassernachschub bei ausreichender Durchlässigkeit. Dies ist normalerweise bei Schluff- und Tonböden der Fall.

Die Eislinsbildung ist zeitabhängig, sie hängt ferner vom Temperaturgradienten im Boden sowie von der Auflastspannung ab. Je nach Bodenart können dabei Drücke bis zu einem Megapascal auftreten.

Beim späteren Wiederauftauen können Volumenverkleinerungen entstehen, die in bestimmten Fällen den Betrag der vorherigen Frosthebungen überschreiten.

4 Besondere Merkmale des Gefrierverfahrens

Gefrorener Boden unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von anderen Stützmaterialien wie Beton oder Stahl. Im Gegensatz zu diesen Materialien haben gefrorene Böden eine ausgeprägte Viskosität, das heißt, sie kriechen unter stationärer Belastung. Die Viskosität hängt von der Spannung und von der Temperatur ab und variiert deshalb wie diese innerhalb eines Frostkörpers.

Gefrorener Boden muss deshalb außer in einfachen Fällen, in denen die Verformungen keine Rolle spielen und man mit vorsichtig gewählten Schätzwerten der Belastbarkeit rechnen kann, mit einer zeitabhängigen Steifigkeit bemessen werden, welche die Kriechverformungen während der Belastung berücksichtigt. Dies macht die Bemessung zwar komplizierter, ermöglicht aber während der Nutzung eine sichere Kontrolle des Tragverhaltens. Solange die Verformungen innerhalb der vorher berechneten Grenzen bleiben, verhält sich ein Frostkörper planmäßig. Eine Überlastung kündigt sich frühzeitig durch eine Vergrößerung und Beschleunigung der Verformungen an, ein spontanes Versagen tritt jedoch nicht ein.

Gefrorener Boden kann beliebig nahe an oder unter bestehenden Bauwerken hergestellt und wasserdicht angeschlossen werden.

Die Größe und Ausdehnung eines Frostkörpers kann zuverlässig durch Temperaturmessungen ermittelt werden. Dabei können Aussagen nicht nur für die unmittelbaren Messpunkte, sondern nach den Gesetzen der Wärmeleitung auch für die Bereiche dazwischen getroffen werden. Weiterhin vergleichmäßig sich das Temperaturfeld eines Frostkörpers im Laufe der Zeit, sodass eventuelle Fehlstellen im Laufe der Zeit geschlossen werden. Dies kann durch lokal strömendes Grundwasser allerdings be- oder verhindert werden und erfordert dann besonderes Augenmerk. Bei Bedarf können Frostkörper auch während der Nutzungsdauer durch verstärktes Vereisen vergrößert und/oder in ihren Tragverhalten verbessert werden.

Die genannten Merkmale machen die Bodenvereisung zu einer sehr sicheren Bauhilfsmaßnahme. Ihre Anwendung verlangt jedoch die Berücksichtigung einiger nicht zum klassischen Bauingenieurwesen gehörender Fachgebiete wie die Thermodynamik, Physik, Verfahrenstechnik und Messtechnik. Werden diese angemessen berücksichtigt, so ist das Gefrierverfahren insbesondere für komplizierte Baumaßnahmen ein zuverlässiger und äußerst flexibler Baubehelf, wie zahlreiche erfolgreiche Anwendungen in der Vergangenheit auch unter schwierigen Randbedingungen wie bei Überlagerungshöhen von 150 Meter und fünf bar Wasserdruck (Albula-Tunnel II) oder bei einer Bodenumgebungstemperatur von plus 28 °C und hohen Salzgehalten im Grundwasser (Tunnel Port Said/Ägypten) zeigen.

5 Literatur

- [1] Orth, W.: Gefrorener Sand als Werkstoff – Elementversuche und Materialmodell, Veröffentlichungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe, Heft 100, 1986
- [2] Rögener, B., Orth, W., Steinhagen, P.: Durchpressung einer Eisenbahnüberführung im Zuge der Ausbau- und Neubaustrecke Karlsruhe-Basel, Bauingenieur 68 (1993), 451 – 460, Springer-Verlag
- [3] Orth, W., Eisele, G., Seiler, J.: Unterfangungsvereisung am Neuen Museum in Berlin, Vortrag Baugrundtagung 2006 in Bremen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Weiterführende Literatur:

Witt, K.J. (Hrsg.): Grundbautaschenbuch, 8. Auflage, Teil 2, Geotechnische Verfahren, Kapitel 2.4 Bodenvereisung, 2018 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin

Müller, B., Orth, W.: Bodenvereisung unter schwierigen Bedingungen: Bahnsteigerweiterung beim U-Bahnhof Marienplatz München, Vortrag STUVA-Tagung 2005, Leipzig

Kellner, C., Vogt, N., Orth, W. Konrad, J.-M.: Ground Freezing: An efficient method to control the settlements of buildings, Int. Conf. on Numerical Simulation of Construction Process in Geotechnical Engineering for Urban Environment (NSC06), Bochum, Germany 2006

Lavdas, N., Zwicker, P., Schneider, A., Orth, W.: Neubau Albulatunnel II, Eis zähmt schwimmendes Gebirge in der Raibler-Rauwacke, Swiss Tunnel Congress 2017, Fachtagung für Untertagebau, Luzern

Orth W.: Thermische und mechanische Bemessung von Frostkörpern. Frühjahrstagung 16. Mai 2019 der Geotechnik Schweiz – Vereisungsmaßnahmen in der Geotechnik, Bern, Mitteilungen der Geotechnik Schweiz Heft 178, pp.3-20

Sensitivitätsanalysen unterstützen die Auslegung statischer Systeme und können Sicherheitsrisiken aufdecken

Optimierte Transparenz und mehr Information versprechen in Planung und Prüfung einen klaren praktischen Mehrwert

Mit Sensitivitätsanalysen kann man in der Tragwerksplanung wichtige Zusatzinformationen für die Berechnung, Bemessung und für die Sicherheitsbeurteilung gewinnen. Deshalb gibt dieser Beitrag eine Einführung in die Technik und einen Überblick über den Nutzen computergestützter Sensitivitätsanalysen, mit denen eine systematische Untersuchung der Empfindlichkeit von Antwortgrößen eines statischen Modells bei variierenden Parametern durchgeführt werden kann. Aus methodischer Sicht wird hier dargelegt, wie sich die bekannte traditionelle Technik der Einflusslinien als ein Berechnungswerkzeug für Sensitivitätsanalysen verallgemeinern lässt. Insbesondere geht der Beitrag auf die Anwendungspotentiale dieser Methoden in der Tragwerksplanung ein, was mit aussagekräftigen Strukturuntersuchungen dargestellt wird. Diese Beispiele belegen den praktischen Mehrwert und den Informationsgewinn, die sich aus der sensitivitätsanalytisch gewonnenen verbesserten Transparenz der Modelle für die Tragwerksplanung und für deren Prüfung ergeben können. Deutlich wird hier, dass mit Sensitivitätsanalysen das Verständnis statischer Systeme verbessert, Sicherheitsrisiken erkannt und die Aussagekräftigkeit statischer Berechnungen und Bemessungen erhöht werden können und dass damit der Aufwand für die Berechnung und für die Interpretation der Sensitivitäten gerechtfertigt ist.



Martin Fußeder, M.Sc.

studierte nach einer Ausbildung zum Bauzeichner von 2011 bis 2014 Bauingenieurwesen (Bachelor) an der Technischen Universität München, vertiefte dieses Studium 2016 im Rahmen eines Auslandssemesters an der Königlich Technischen Hochschule (KTH) in Stockholm, schloss von 2014 bis 2018 das Masterstudium Bauingenieurwesen an der Technischen Universität München an und ist seither wissenschaftlicher Mitarbeiter am dortigen Lehrstuhl für Statik von Professor Kai-Uwe Bletzinger.



Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger

studierte von 1978 bis 1984 Bauingenieurwesen an der Universität Stuttgart, avancierte 1984 zum wissenschaftlichen Mitarbeiter bei Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Ramm am Institut für Baustatik der Universität Stuttgart, promovierte dort zum Dr.-Ing., wurde 1996 auf die Professur für Numerische Methoden in der Baustatik der Universität Karlsruhe berufen und ist seit 1999 Inhaber des Lehrstuhls für Statik der TU München

1 Einführung

Modelle verknüpfen Eingangsparameter (Input) mit Ausgangs- beziehungsweise Antwortgrößen (Output). Im speziellen Kontext der Tragwerksplanung handelt es sich zum Beispiel um statische Modelle im Hoch- oder Ingenieurbau, wobei als Input verschiedene Parameter, beispielsweise für Lasten, Querschnittsgrößen oder Materialien, und als Output Schnitt- und Verschiebungsgrößen oder auch Traglasten in Frage kommen. In Abhängigkeit von der jeweils angewandten Methode zeigen Sensitivitätsanalysen qualitativ und quantitativ auf, wie sich eine Variation von Eingangsparametern auf die Antwortgrößen des Modells auswirkt. Dieses Wissen dient einerseits der Tragwerksplanung, -auslegung und -optimierung und andererseits der gezielten Prüfung und Beurteilung der Sicherheiten, um wichtige Inputgrößen zu identifizieren und gegebenenfalls deren Parameterwertschwankungen im Rahmen einer Bemessung entlang der gültigen Normen quantitativ zu berücksichtigen.

Saltelli [1] gibt einen Überblick über verschiedene Ansätze und Anwendungsszenarien, wobei die Einteilung in lokale und globale Sensitivitätsanalysen erfolgt. Globale Sensitivitätsanalysen werden typischerweise im Rahmen von Unsicherheits- oder Zuverlässigkeitsanalysen verwendet und berücksichtigen die probabilistischen Eigenschaften der Parameter (zum Beispiel Wahrscheinlichkeitsverteilung und deren Momente). Globale Sensitivitätsanalysen beziehen sich auf keine Parameterreferenzwerte, sondern schließen mögliche Realisationen der Parameterwerte im kompletten Parameterraum mit ein. Somit können auch Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Parametern erfasst werden.

Bei lokalen Methoden wird die Beziehung zwischen einer Antwortgröße R und einem Eingangsparameter s in Form der Ableitung dR/ds beschrieben. Da das Sensitivitätsmaß somit auf einer Linearisierung der funktionalen Beziehung zwischen R und s beruht, hängt die Aussagekraft vom Grad der Nichtlinearität des funktionalen Zusammenhangs ab. Ist dieser stark nichtlinear, können lokale Methoden nur Aufschluss über die Auswirkung kleiner Variationen der Parameterwerte von ihren Referenzwerten auf die Antwortgrößen geben. Des Weiteren werden durch die Ableitung dR/ds keine Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Parametern erfasst. Trotz der höheren Aussagekraft globaler Sensitivitätsmaße bieten sich aber für viele Fälle der praktischen Nutzung in der Tragwerksplanung insbesondere lokale Methoden an. Diese weisen deutlich weniger Berechnungsaufwand auf und benötigen zur Durchführung keine probabilistischen Eigenschaften der Parameter.

In der Forschung setzt man sich mit lokalen Sensitivitätsanalysen bereits seit den 1980er Jahren auseinander, wie [2] beispielhaft zeigt. Meist dienen hierbei lokale Sensitivitätsanalysen als Berechnungsmittel von Gradienten, die zum Beispiel in der Optimierung [3], der rechnerischen Modellanpassung [4] oder der Unsicherheitsanalyse [5] als

Inputwerte für die jeweiligen Algorithmen benötigt werden. Allerdings findet sich nur sehr wenig Literatur, die auf die Anwendung der Sensitivitätsanalyse als eigenständiges Ingenieurwerkzeug im Rahmen der alltäglichen Tragwerksplanung fokussiert ist. In diesem Sinn nutzen [6] bis [8] lokale Sensitivitätsanalysen als Werkzeug zur Prognose der Auswirkungen aufgrund von Steifigkeitsänderungen in statischen Modellen.

Die Autoren haben sich bereits in [9] mit der Anwendung von Sensitivitätsanalysen in der Tragwerksplanung auseinandergesetzt. Wesentliche Inhalte dieser Veröffentlichung werden in diesem Aufsatz wiedergegeben, wodurch der vorliegende Beitrag als dessen Zusammenfassung und Ergänzung betrachtet werden kann. Dabei handelt es sich um Forschungsergebnisse [10] im Rahmen der Überarbeitung und Überprüfung der *Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen* (GruSiBau, [11]). Die konkrete Zielsetzung dieses Forschungsprojektes war die Erarbeitung von Grundlagen für die Aufnahme von Sensitivitätsanalysen in Normen und eines entsprechenden Kapitels für die Fortschreibung der GruSiBau.

2 Computergestützte Sensitivitätsanalysen mit dem adjungierten Verfahren

2.1 Verfahrensablauf

Mit Hilfe von diskreten, adjungierten Sensitivitätsanalysen können die Ableitungen dR/ds einer Antwortgröße R (zum Beispiel einer Schnittgröße) nach verschiedenen Parametern s (etwa E-Modul) auf Basis von Finite-Elemente-Modellen computergestützt berechnet werden.

Bei der adjungierten Sensitivitätsanalyse handelt es sich um ein zweistufiges Verfahren. In einem ersten Schritt ist dabei die adjungierte Variable η als die Lösung des linearen statischen Problems

$$\mathbf{K}\eta = \frac{\partial R}{\partial \mathbf{u}} \tag{Gl. 1}$$

mit einer fiktiven Last $\partial R/\partial \mathbf{u}$ anstatt eines Lastvektors \mathbf{F} zu berechnen, wobei es sich bei \mathbf{K} um die Steifigkeitsmatrix und bei \mathbf{u} um die Zustandsgrößen (in der Regel um die Verschiebungsgrößen der FE-Knoten) handelt. Da die Antwortgröße R eine Funktion sowohl des Parameters s als auch der Zustandsgrößen \mathbf{u} ist, ist $\partial R/\partial \mathbf{u}$ die partielle Ableitung von R nach \mathbf{u} bei gegebenem Wert für s . Die Lösung von Gleichung (1) stellt den Hauptrechenaufwand der gesamten adjungierten Sensitivitätsanalyse dar und ist von den Parametern s unabhängig, für welche Ableitungen dR/ds zu berechnen sind. Die Sensitivitäten werden in einem zweiten Schritt in einer Art Nachlaufrechnung gemäß

berechnet.

$$\frac{dR}{ds} = \frac{\partial R}{\partial s} + \eta^T \left[\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial s} - \frac{\partial \mathbf{K}}{\partial s} \mathbf{u} \right] = \frac{\partial R}{\partial s} + \eta^T \mathbf{F}^* \tag{Gl. 2}$$

Der Ausdruck

$$\mathbf{F}^* = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial s} - \frac{\partial \mathbf{K}}{\partial s} \mathbf{u} \tag{Gl. 3}$$

wird als Pseudolast \mathbf{F}^* bezeichnet, der im Gegensatz zur adjungierten Variablen η von der betrachteten Antwortgröße R unabhängig ist, aber durch seine Abhängigkeit von den Parametern s den wesentlichen Parametereinfluss im Sensitivitätsterm nach Gleichung (2) widerspiegelt. Der Aufwand zur Berechnung der Pseudolasten, der partiellen Ableitungen $\partial R/\partial s$ und die Zusammenführung der einzelnen Terme in Gleichung (2) ist weitaus geringer als der zur Bestimmung der adjungierten Variablen η . Zusammengefasst zeichnen sich adjungierte Sensitivitätsanalysen somit dadurch aus, dass ihr Berechnungsaufwand von der Anzahl an Parametern s , für die Sensitivitäten zu berechnen sind, weitestgehend unabhängig ist. Stattdessen muss lediglich je Antwortgröße R eine zusätzliche Lösung des durch Gleichung (1) gegebenen statischen Problems durchgeführt werden. Für weiterführende Informationen und Hintergründe dieser Methode wird auf [12] verwiesen.

2.2 Zusammenhang mit der klassischen Technik der Einflusslinien

Die adjungierte Sensitivitätsanalyse weist eine ausgeprägte Verwandtschaft mit der klassischen Technik der Einflussfunktionen auf (allgemein für Einflusslinien oder -flächen) und kann als Verallgemeinerung oder Erweiterung des klassischen Ansatzes zur Berechnung von Sensitivitäten gesehen werden, was in [9] ausführlich diskutiert wird.

Der Zusammenhang zwischen beiden Methoden spiegelt sich insbesondere in zweierlei Hinsichten wider: Einerseits kann die adjungierte Variable η als Einflussfunktion der betrachteten Antwortgröße R identifiziert werden [13]. Andererseits weisen die beiden Rechenansätze auch eine formale Äquivalenz auf. In der Gegenüberstellung in Tabelle 1 wird deutlich, dass es sich bei beiden Methoden um äquivalente zweistufige Verfahren handelt.

Nachdem in einem ersten Rechenschritt die Einflussfunktion bestimmt wird, erfolgt anschließend jeweils eine Art Nachlaufrechnung. In die-

	klassische Einflussfunktionen	adjungierte Sensitivitätsanalyse (verallgemeinerte Einflussfunktionen)
1. Schritt	Bestimmung Einflussfunktion η	
	Aufbringung einer Einheitsverschiebung bzw. Einheitskraft (duale Belastung)	Lösung adjungiertes Problem (siehe Gleichung 1)
	unabhängig von Lasten \mathbf{F}	unabhängig von Parametern s
2. Schritt	Auswertung von Lasten: $\eta^T \mathbf{F}$	Auswertung von Pseudolasten: $\eta^T \mathbf{F}^*$
	/	+ $\partial R/\partial s$
Ergebnis	Funktionswert Antwortgröße R aufgrund \mathbf{F}	Ableitung Antwortgröße R nach Parameter s

Tab. 1: Vergleich der klassischen Technik der Einflussfunktionen mit der adjungierten Sensitivitätsanalyse

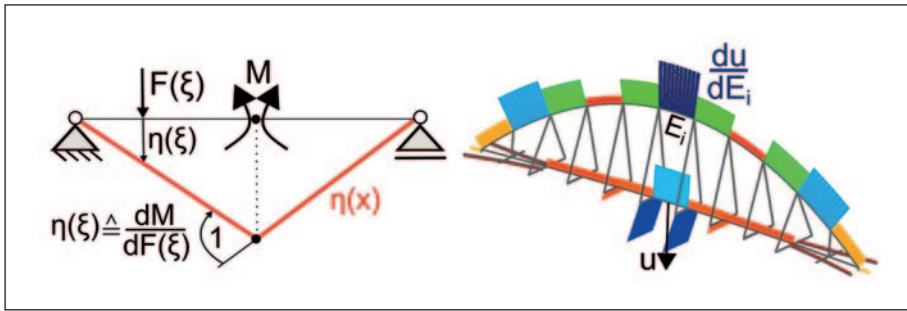


Abb. 1: An der Einflusslinie η des Moments M kann die Sensitivität nach der Last F am Lastangriffspunkt abgelesen werden (links). An der Sensitivitätskarte der Antwortgröße „vertikale Durchbiegung u “, bezogen auf die Parameter „E-Modul von Bauteilen“, kann die Sensitivität nach dem E-Modul E_i des i -ten Bauteils am i -ten Bauteil abgelesen werden (rechts).

ser werden im klassischen Ansatz tatsächliche Lasten auf der Einflussfunktion ausgewertet ($\eta^T F$), wohingegen es sich bei der adjungierten Sensitivitätsanalyse um die von den Parametern abhängigen Pseudolasten handelt ($\eta^T F^*$). Der einzige formale Unterschied ist die partielle Ableitung $\partial R/\partial s$. Aber in vielen praktischen Fällen existiert $\partial R/\partial s$ nur für eine begrenzte Anzahl von Parametern (insbesondere bei lokalen Antwortgrößen, die an einem Finite-Elemente-Knoten oder an einem Integrationspunkt definiert sind), oder $\partial R/\partial s$ kann mit der adjungierten Variablen zusammengeführt werden. Letzteres ist für die Antwortgrößen „Schnittgröße“ und „Auflagerkraft“ von großem Belang, da hierbei die partielle Ableitung als Vorverformung um „1“ entgegen der Kraftgrößenrichtung interpretiert werden kann und dem altbekannten Prinzip von Müller-Breslau entspricht. Somit passt $\partial R/\partial s$ die adjungierte Variable um den für die Einflusslinie charakteristischen Sprung oder Knick an. Dieser Umstand wird in [9] ausführlich für Auflagerkräfte behandelt. Insgesamt kann demnach festgestellt werden, dass die adjungierte Sensitivitätsanalyse in vielen praktischen Fällen der Auswertung der parameterabhängigen Pseudolasten auf der Einflussfunktion entspricht. Somit kann die numerische adjungierte Sensitivitätsanalyse mit klassischem Ingenieurverständnis bezüglich Einflusslinien anschaulich nachvollzogen werden.

2.3 Sensitivitätskarten

Die Ergebnisse der adjungierten Sensitivitätsanalyse können graphisch als Sensitivitätskarten aufbereitet werden. Die Darstellungsweise erfolgt dabei äquivalent zur Technik der Einflusslinien. Mit Hilfe der beispielhaften Einflusslinie $\eta(x)$ in **Abb. 1 (links)** lässt sich das Moment M in der Mitte eines Einfeldträgers infolge der Einlast F an der Stelle ξ mittels $M = \eta(\xi) \cdot F(\xi)$ berechnen. Wählt man im Rahmen der Sensitivitätsanalyse die Last F als den Parameter s und leitet die Antwortgröße $R \triangleq M$ danach ab, so zeigt sich gemäß $dM/dF(\xi) = \eta(\xi)$, dass die Sensitivität des Moments M nach dem Parameter F dem Funktionswert der Einflusslinie am Angriffspunkt ξ der Last F entspricht. Eine Einflusslinie kann somit als Sensitivitätskarte für den Parameter „Lastintensität“ interpretiert werden.

In diesem Sinne erfolgt auch die graphische Aufbereitung der Sensitivitäten nach allgemeinen Parametern. In **Abb. 1 (rechts)** ist die Sensitivitätskarte der Durchbiegung $R \triangleq u$ in Brückenmitte nach dem E-Modul der einzelnen Bauteile dargestellt. Die Sensitivitätsanalyse liefert hierbei für den E-Modul $s \triangleq E_i$ des i -ten Bauteils gemäß **Gleichung (2)** den skalaren Ableitungswert du/dE_i . Dieser skalare Wert ist in der Sensitivitätskarte als konstanter Wert über die Länge des i -ten Bauteils dargestellt. Somit ist auch hier – analog zur Einflusslinie – die Beziehung zwischen Antwortgröße und Parameter am Ort des Parameters ersichtlich. Anhand der Karte erkennt man, dass der E-Modul des Bauteils im Bogenscheitel die betragsmäßig größte Sensitivität aufweist und seine Variation somit die größte Auswirkung auf die Verschiebung u in der Mitte des Brückendecks hat.

3 Sensitivitätsanalysen in der Tragwerksplanung

3.1 Anwendungspotenziale

In der Revision der DIN EN 1990 [14] (Eurocode 0), die als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Jahre 2020 als Normentwurf veröffentlicht worden ist, findet sich in Paragraph 7.2.2 (5) die Empfehlung zur Anwendung von Sensitivitätsanalysen:

Es sollte eine Sensitivitätsstudie durchgeführt werden, wenn eine nichtlineare Grenzzustandsfunktion angewendet wird oder wenn keine explizit formulierte Grenzzustandsfunktion vorgegeben ist, um den sensitivsten Eingabeparameter zu ermitteln und um zu bestimmen, wie die in den Eurocodes festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte dafür anzuwenden sind.

Obleich dieser Normauszug dem Abschnitt über nichtlineare Berechnungen entnommen ist, wird auch im Falle von nicht explizit gegebenen Grenzzustandsfunktionen zu Sensitivitätsstudien geraten. Dieser Umstand liegt beispielsweise dann vor, wenn eine Bemessungsgröße durch die Blackbox in Form eines FE-Modells mit den Basisvariablen verknüpft ist und wenn das Modell aufgrund seiner Komplexität eine intuitive Abschätzung der Zusammenhänge zwischen Bemessungsgrößen und Basisvariablen nicht erlaubt. Ein Beispiel hierfür wird im folgenden Abschnitt 3.2 gegeben.

Obwohl die Revision der DIN EN 1990 [14] Sensitivitätsstudien in den Normenkontext einführt, werden keine Hinweise auf mögliche Methoden oder Hilfestellungen zur Durchführung gegeben. Die hier in Kapitel 2 vorgestellte Methode bietet sich hierzu allerdings an. Konkret kann der Wert der lokalen Sensitivität nach Normalisierung (siehe Kapitel 3, Abschnitt 3.2.2) Aufschluss über die Relevanz des jeweiligen Parameters geben. Weiterhin zeigt das Vorzeichen der Ableitung an, ob eine Vergrößerung des Parameterwerts günstigen oder ungünstigen Einfluss auf die Bemessungsgröße hat, wodurch festgelegt werden kann, wie der Teilsicherheitsfaktor anzuwenden ist (siehe Kapitel 3, Abschnitt 3.2.3). Weiterhin ist die Fähigkeit der adjungierten Sensitivitätsanalyse, Sensitivitäten sehr recheneffizient für eine hohe Anzahl Parameter berechnen zu können, von großem Vorteil (siehe Kapitel 2, Abschnitt 2.1). Im Rahmen der Tragwerksbewertung kann so auf eine hohe Anzahl Sensitivitätsinformationen bezüglich wichtiger Bemessungsgrößen zurückgegriffen werden. Dadurch wird es auch in komplexeren statischen Modellen leichter möglich, einflussreiche Parameter bezüglich der maßgebenden Bemessungsgrößen zu identifizieren. Für diese Fragen sind insbesondere Sensitivitäten nach den Steifigkeits- oder Materialparametern aller Bauteile beziehungsweise Finiten Elementen, Lastparametern, geometrischen Parametern oder Parametern der Rand- und Übergangsbedingungen von potenziellem Interesse.

Hier sei angemerkt, dass die Anwendungsmöglichkeiten über den Bemessungsprozess hinausgehen. Beispielsweise können Sensitivitätsanalysen auch bei der Erstellung und Optimierung des Tragwerksentwurfs assistieren oder verwendet werden, um die Zusammenhänge und Eigenschaften des eingesetzten statischen Modells zu ergründen. Letzteres wird in Kapitel 3, Abschnitt 3.3, für den Vergleich von Gesamt- und Baufortschrittsmodellen skizziert.

3.2 Beispiel 1: Sensitivitätsanalyse bei der Bemessung einer Dachfläche

3.2.1 Problembeschreibung

Nachfolgend wird als Beispiel eine Dachkonstruktion betrachtet (**Abb. 2**). Sie besteht aus einem Trägerrost aus Holz, der durch eine Holzplatte beplankt und auf Stützen punktförmig gelagert ist. Ein wesentliches Problem bei der Bemessung der Bauteile der Dachfläche ergibt sich aus dem Umstand, dass viele der Stützen nicht bis zur Gründung reichen, sondern nur bis zur Spannbetondecke des darunter liegenden Stockwerks. Die Verformungen der Spannbetondecke zum Beispiel aus Kriechen und Schwinden stellen somit eine zusätzliche Belastung der Dachkonstruktion dar. Es werden hierbei Verformungen von bis zu 30 Millimeter erwartet. Da kein Gesamtmodell des Gebäudes zur Bemessung verwendet wird, werden die Verformungen der Spannbetondecke im statischen Modell der Dachfläche ersatzweise in Form von Lagersenkungen berücksichtigt. Es wird vermutet, dass sich die Lagersenkungen insbesondere auf das umlaufende, steife Stahlfassadenband auswirken (siehe die Kennzeichnung in **Abb. 2**).

Im Rahmen der Bemessung des Fassadenbandes und der daran anschließenden Bauteile stellen sich insbesondere folgende Fragen:

- Ist der Einfluss der Auflagersenkungen auf die Bemessungsgrößen in einem solchen Maße vorhanden, dass diese bei der Bemessung berücksichtigt werden müssen?
- Welche der betrachteten Auflagersenkungen sind besonders relevant bezüglich einer bestimmten Bemessungsgröße?
- Haben die Auflagersenkungen einen günstigen oder ungünstigen Einfluss auf die Bemessungsgrößen? Und wie müssen die entsprechenden Teilsicherheitsfaktoren aufgebracht werden?

Im Folgenden wird erläutert, welche Informationen Sensitivitätsanalysen zur Beantwortung dieser Fragen liefern und wie dadurch die Biegebemessung des Fassadenbandes mit dem Teilsicherheitskonzept systematisch unterstützt wird.

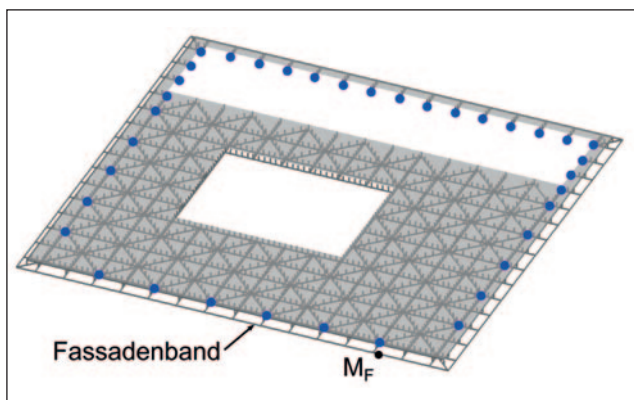


Abb. 2: Dachkonstruktion: Beplankter Trägerrost aus Holz mit Kennzeichnung des Ortes des maßgebenden Bemessungsmoments M_F des Fassadenbandes und der betrachteten Auflager (blaue Punkte)

3.2.2 Rechengrundlagen für die Sensitivitätsanalyse

Da der Fokus auf die Biegebemessung des Fassadenbandes gerichtet ist, wird das maßgebende Biegemoment des Fassadenbandes $R \hat{=} M_F$ (siehe die Kennzeichnungen in **Abb. 2**) als Antwortgröße für die Sensitivitätsanalyse gewählt, für welche Sensitivitäten nach den Magnituden der Lagersenkungen $s \hat{=} \hat{u}$ zu bestimmen sind. Die hierfür betrachteten Auflager sind in **Abb. 2** durch blaue Punkte gekennzeichnet.

Zur besseren Quantifizierbarkeit des Einflusses der Auflagersenkungen \hat{u} auf das Biegemoment M_F werden die Ableitungen gemäß *Gleichung (4)* normalisiert:

$$e = \frac{dM_F}{d\hat{u}} \cdot \frac{\delta_{\hat{u}}}{M_F} \cdot 100 [\%] \quad (Gl. 4)$$

Dabei wird für die Variation $\delta_{\hat{u}}$ ein Wert von 0,001 Meter gewählt. Eine normalisierte Sensitivität von $e = 1,0$ bedeutet somit, dass sich die Antwortgröße M_F um 1,0 Prozent ändert, falls die jeweilige Auflagersenkung um $\Delta \hat{u} = 0,001$ Meter variiert. Da bei statischen Berechnungen auf Grundlage von Theorie I. Ordnung ein linearer Zusammenhang zwischen Schnittgrößen und Auflagersenkungen besteht, stellt das Ergebnis von *Gleichung (4)* keine Approximation dar, sondern die tatsächliche Änderungsrate. Bei der Bestimmung der normalisierten Sensitivitäten nach *Gleichung (4)* wird eine Belastung der Struktur durch Eigengewicht G , Wind W und Schnee S mit ihren jeweiligen Bemessungswerten im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990 [15] (Eurocode 0) in der folgenden Einwirkungskombination angesetzt:

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot S \text{ mit } \gamma_G = 1,35; \gamma_Q = 1,5 \text{ und } \psi_0 = 0,5 \quad (Gl. 5)$$

Die Auflager verbleiben während der Sensitivitätsanalysen zunächst in ihrer unverschobenen Ausgangslage. Wird der aus der Einwirkungskombination resultierende Wert für M_F in *Gleichung (4)* verwendet, kann mit den daraus resultierenden normalisierten Sensitivitäten der Zuwachs des Biegemoments aufgrund der Auflagerverschiebungen zusätzlich zu der Auswirkung, basierend auf der Einwirkung nach *Gleichung (5)*, quantifiziert werden.

3.2.3 Sensitivitätsbasierte Bewertung von Parametervariationen in der Bemessung

Abb. 3 zeigt die nach *Gleichung (4)* normalisierten Sensitivitäten des Bemessungsmoments M_F . Die Sensitivitäten sind hierbei als Vektorpfeile am Ort des jeweiligen Auflagers dargestellt. Die Länge und die Farbe des Pfeils geben Aufschluss über die Größe der Sensitivität. Anhand der Richtung des Pfeils ist das Vorzeichen der Sensitivität ablesbar. Für weitere Hinweise auf Sensitivitätskarten wird auf Kapitel 2, Abschnitt 2.3 verwiesen.

Hinsichtlich der in Kapitel 3, Abschnitt 3.2.1 formulierten Fragen lassen sich mit Hilfe der Sensitivitäten in **Abb. 3** folgende Aussagen treffen:

- Die normalisierten Sensitivitäten nehmen Werte von bis zu 9,19 an (das Moment ändert sich um 9,19 Prozent, falls sich das entsprechende Auflager um einen Millimeter senkt). Aufgrund dieser hohen Werte wird die Relevanz der Auflagersenkungen bei der Bemessung deutlich.
- Die sichtbaren Pfeile illustrieren, welche der Auflagersenkungen einen nennenswerten Einfluss auf das Bemessungsmoment haben. Anhand der Sensitivitätskarte erkennt man schnell, dass zwei Auflagersenkungen einen sehr großen (rote Pfeile) und vier weitere Auflagersenkungen einen im Vergleich dazu kleineren, aber dennoch nicht ver-

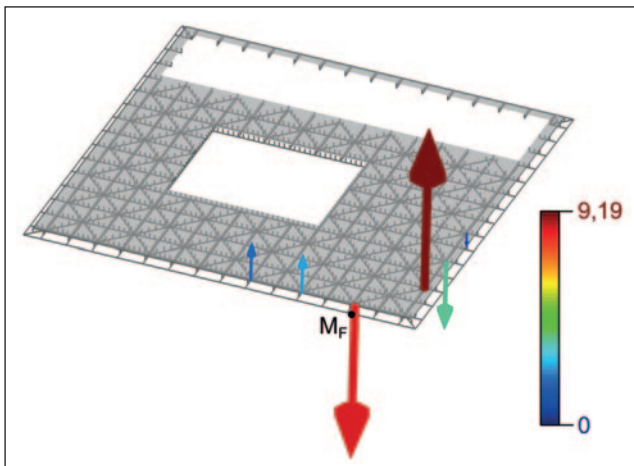


Abb. 3 Sensitivitätskarte einer Dachkonstruktion
(Antwortgröße: Bemessungsmoment M_F des Fassadenbandes;
Parameter: Lagersenkungen, Vorzeichendefinition: positive/negative
Sensitivitäten sind durch nach unten/oben gerichtete Vektorpfeile ersichtlich)

nachlässigbaren Einfluss auf das Moment M_F haben (blaue und grüne Pfeile). Die Sensitivitäten der übrigen Auflager sind im Verhältnis so niedrig, dass deren Vektorpfeile in den Sensitivitätskarten optisch nicht ersichtlich sind.

■ Anhand der Richtung der Vektorpfeile erkennt man, dass es sowohl Auflagersenkungen mit günstigem als auch mit ungünstigem Einfluss auf das Moment M_F gibt. Da M_F einen negativen Wert besitzt, weisen Sensitivitäten mit einem negativen Vorzeichen auf einen ungünstigen Einfluss bei einer Vergrößerung der Senkung des jeweiligen Auflagers hin.

Zusammengefasst ist also – aufgrund der hohen normalisierten Sensitivitäten und deren nicht einheitlichem Vorzeichen und in Anbetracht von vermuteten Auflagersenkungen von bis zu 30 Millimeter – mit großen Unterschieden beim Bemessungswert des Biegemoments zu rechnen, je nachdem, ob Lagersenkungen berücksichtigt und wie die entsprechenden Teilsicherheitsfaktoren appliziert werden. Zur Quantifizierung dieser Feststellungen werden die Bemessungsmomente auf drei Arten ermittelt, womit auch eine mögliche Integration der Sensitivitätsanalyse im Rahmen des Teilsicherheitskonzeptes deutlich wird:

- Einwirkungskombination nach Gleichung (5) ohne Ansatz der Lagersenkungen (Analyse 1);
- Einwirkungskombination nach Gleichung (5) und Ansatz der Lagersenkungen, wobei alle Lagersenkungen mit einem Teilsicherheitsfaktor von $\gamma = 1,35$ beaufschlagt werden (Analyse 2);
- Einwirkungskombination nach Gleichung (5) mit Ansatz der Lagersenkungen, wobei nur ungünstig wirkende Lagersenkungen (solche mit negativer Sensitivität) mit einem Teilsicherheitsfaktor von $\gamma = 1,35$ beaufschlagt werden (Analyse 3).

Die Bemessungsmomente dieser Berechnungen finden sich in **Abb. 4** und unterstreichen durch ihre bemerkenswerten Unterschiede die Relevanz der sorgfältigen Berücksichtigung der Lagersenkungen.

Hohe Sensitivitäten geben zusätzlich Auskunft darüber, an welchen Stellen die Verformungen im Tragwerksmodell der Spannbetondecke,

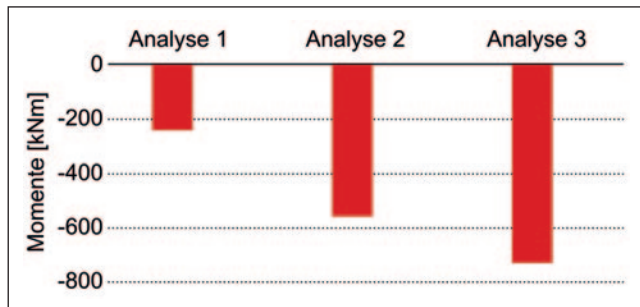


Abb. 4: Bemessungsmomente M_F des Fassadenbandes aus unterschiedlicher Handhabung der Lagersenkungen

die als Lagersenkungsintensitäten in der Dachfläche angesetzt werden, möglichst sorgfältig zu ermitteln sind. Nach einer Kontrolle, ob das Modell der Spannbetondecke zur Ermittlung der benötigten Verformungen geeignet ist, kann gezielt eine detaillierte Studie für diese Verformungen durchgeführt werden, um zu untersuchen, welche Bandbreite diese annehmen können.

Informationen hinsichtlich des Einflusses der Auflagerverschiebungen könnten auch durch klassische Parameterstudien – das heißt, durch wiederholte FE-Analyse mit einem jeweils anderen verschobenen Auflager – gewonnen werden. Hierbei besteht aber die Gefahr, dass relevante Auflagersenkungen übersehen und somit unberücksichtigt bleiben. Dieses Risiko ist durch die adjungierte Sensitivitätsanalyse reduziert, da systematisch alle Auflager betrachtet werden können. Die graphisch aufbereiteten Sensitivitäten erlauben zudem einen schnellen Überblick und dienen der Dokumentation und Kommunikation von Entscheidungen im Zuge der Bemessung (zum Beispiel, warum bestimmte Lagersenkungen mit einem Teilsicherheitsfaktor beaufschlagt werden und warum andere nicht).

3.3 Beispiel 2: Sensitivitätsanalyse in der Baufortschrittsmodellierung

3.3.1 Problembeschreibung

Die ganzheitliche Berechnung am geplanten Gesamttragwerk entspricht der Annahme, dass das Eigengewicht erst nach Fertigstellung auf das komplette Tragwerk zu wirken beginnt. In der Realität treten aber bereits während der Bauausführung Verformungen auf, die durch nachfolgende Bauabschnitte teilweise wieder kompensiert werden (etwa durch „zu langes“ Einbauen von Stützen in nachfolgenden Bauabschnitten). Werden diese Effekte aus dem Bauablauf bei der Berechnung berücksichtigt, ergeben sich zwangsläufig Unterschiede in den Verschiebungszuständen und Schnittkraftverläufen (siehe zum Beispiel [16]), welche sicherheitsrelevant sein können [17]. Aus diesen Gründen nehmen die Anforderungen an die Modellierung zu und das Verständnis der verwendeten Modelle wird wichtiger. Sensitivitätsanalysen können hierzu einen Beitrag leisten, da damit Eigenschaften des zugrundeliegenden Modells ermittelt werden können.

Dies soll in nachfolgend skizziert werden. Das hierfür betrachtete akademische Beispiel soll in abstrahierter Art und Weise aufzeigen, dass sich Sensitivitätsanalysen auch auf Modelle ausweiten lassen, die Systemänderungen infolge von Bauprozessen im Neubau oder beim Bauen im Bestand abbilden können. Die Intention des akademischen Beispiels ist die Darstellung des zusätzlichen Informationsgewinns durch Sensitivitäten, um die Transparenz der verwendeten Modelle zu erhöhen. Dadurch soll ein abstrahierter Eindruck hinsichtlich konkreter praktischer Anwendungsszenarien gegeben werden.

3.3.2 Vergleichende Struktur- und Sensitivitätsanalyse auf Basis eines Gesamt- und Baufortschrittsmodells

Zur Veranschaulichung wird ein idealisierter achtgeschossiger Hochbau betrachtet (**Abb. 5**), der einem Beispiel in [16] entlehnt ist. Die Decken dieses Hochbaus sind in den Kern eingespannt und die Stützen werden als Pendelstäbe modelliert. In der Folge wird angenommen, dass der steife Kern bereits errichtet worden ist und dass das restliche Tragwerk in acht Bauabschnitten erstellt werden wird. In jeder Bauphase werden somit drei Stützen und die darüber liegende Decke gebaut. Das verwendete Baufortschrittsmodell berücksichtigt die Stützenstauchung durch Eigengewicht während der Bauausführung durch Vorverformungen beim Ankoppeln des jeweils nächsten Bauabschnitts (Verformungsausgleich). Effekte wie Kriechen oder Schwinden bleiben vereinfacht unberücksichtigt.

In **Abb. 6** ist der Momenten- und der Normalkraftverlauf durch Eigengewicht, basierend auf Berechnungen am Gesamt- und Baufortschrittsmodell, vergleichend gegenübergestellt. Man erkennt folgende Unterschiede:

- Das betragsmäßig größte Moment des Gesamtmodells ist deutlich höher als im Baufortschrittsmodell;
- die betragsmäßig größten Momente befinden sich an jeweils unterschiedlichen Stellen im Tragwerk;

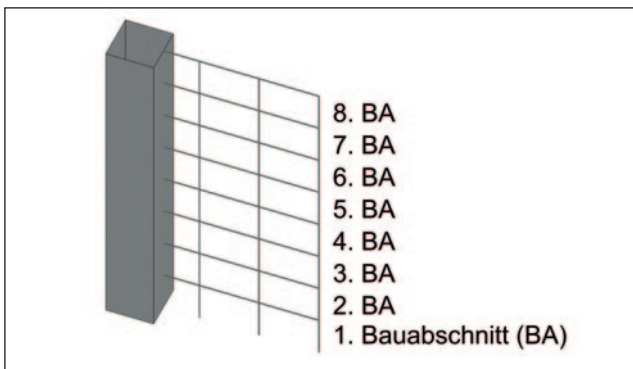


Abb. 5: Idealisierter achtgeschossiger Hochbau, welcher in acht Bauabschnitten (BA) erstellt werden soll

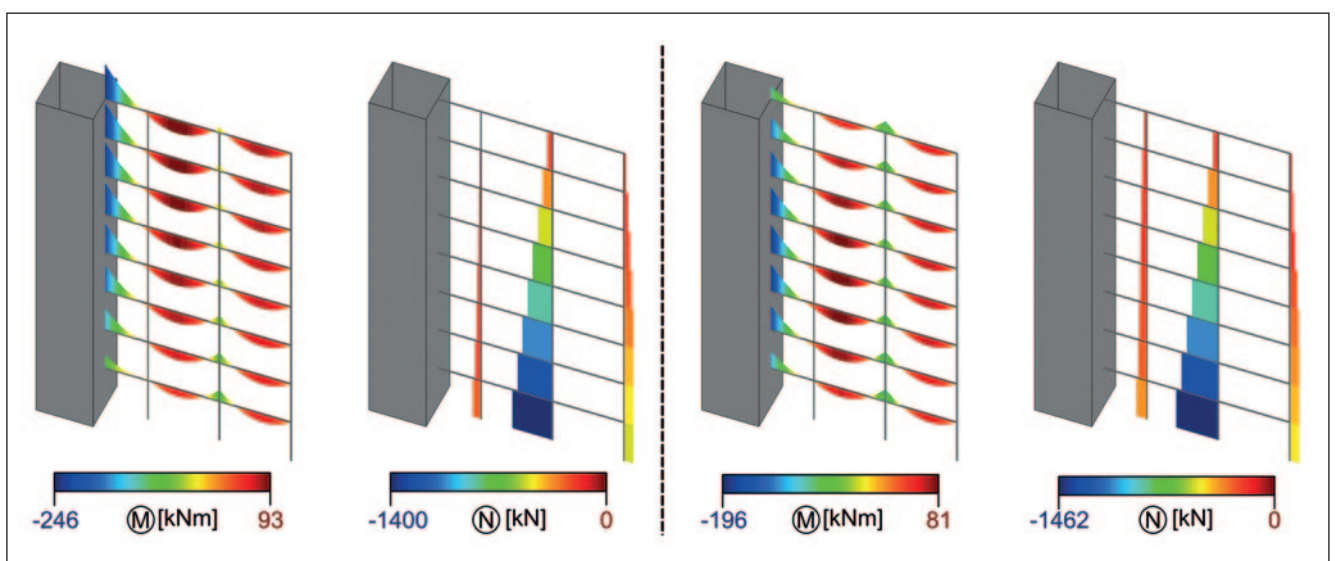


Abb. 6: Momente M und Normalkräfte N durch Eigengewicht, basierend auf dem Gesamtmodell (links) und dem Baufortschrittsmodell (rechts)

- die Stützennormalkräfte sind im Baufortschrittsmodell betragsmäßig höher als im Gesamtmodell.

Zum besseren Verständnis des Zustandekommens der betragsmäßig größten Biegemomente und zur Verbesserung der Transparenz der verwendeten Modelle werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Als Antwortgrößen dienen die Einspannmomente M_{BA4} und M_{BA8} der Decke über dem vierten Geschoss (maßgebendes Moment im Baufortschrittsmodell) und dem achten Geschoss (maßgebendes Moment im Gesamtmodell). Die Antwortgrößen sind zur besseren Orientierung in **Abb. 7** und in **Abb. 8** gekennzeichnet. Als Parameter werden die Eigengewichtslasten der Decken gewählt, dabei wird das Eigengewicht einer kompletten Decke als ein Parameter betrachtet. Die Sensitivitäten werden für jenen Zustand berechnet, der vorliegen wird, wenn alle acht Bauabschnitte errichtet worden sind.

Abb. 7 und **Abb. 8** zeigen die Sensitivitätskarten der Einspannmomente der Decke über dem vierten und dem achten Geschoss nach den Eigengewichtslasten. Die Sensitivitäten dieser acht Parameter sind dabei konstant über die Länge der jeweiligen Decke dargestellt. Weitere Hinweise bezüglich Sensitivitätskarten finden sich in Kapitel 2, Abschnitt 2.3. Anhand der Karten können folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Am Gesamtmodell hat das Eigengewicht aller Decken Einfluss auf die Biegemomente.
- Am Baufortschrittsmodell haben lediglich die Eigengewichtslasten von Bauteilen Einfluss, die nach der Decke errichtet werden, in der das jeweils betrachtete Biegemoment verortet ist. So hat beispielsweise nur das Eigengewicht der Decke über dem achten Geschoss Einfluss auf das Einspannmoment M_{BA8} (**Abb. 8, rechts**).
- Im Gesamtmodell wird der Einfluss der Eigengewichtslast der Decke über dem vierten Geschoss auf das Einspannmoment M_{BA4} unterschätzt (- 1,9 vs. - 2,6 in **Abb. 7**).
- Die Sensitivität des Einspannmoments M_{BA8} nach dem Eigengewicht der Decke über dem achten Geschoss ist in beiden Modellen identisch (- 3,0 in **Abb. 8**). Da im Gesamtmodell aber die Eigengewichtslasten aller Decken einen Einfluss auf M_{BA8} haben, ist das Moment im Gesamtmodell betragsmäßig deutlich größer als im Baufortschrittsmodell.

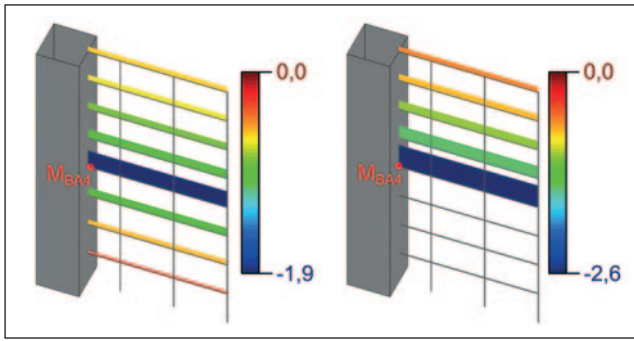


Abb. 7: Sensitivität des Moments M_{BA4} (siehe Kennzeichnung) nach den Eigengewichtslasten der Decken, basierend auf dem Gesamtmmodell (links) und dem Baufortschrittsmodell (rechts)

■ Auf Grundlage der Sensitivitäten wird deutlich, dass das verwendete Baufortschrittsmodell das Strukturverhalten wesentlich plausibler abbilden kann.

3.3.3 Quantifizierung von Lastumlagerungen im Baufortschrittsmodell

Nachfolgend wird gezeigt, wie mit Sensitivitätsanalysen Lastumlagerungen nach dem Ausbau von temporären Hilfsunterstützungen beurteilt werden können. Betrachtet wird hierzu eine Modifikation des idealisierten achtgeschossigen Hochbaus (siehe Kapitel 3, Abschnitt 3.3.2). Wie in **Abb. 9** erkenntlich ist, wurde die Stütze rechts neben dem Kern im Erdgeschoss entfernt.

Der Bauablauf sieht vor, dass an der Stelle der fehlenden Stütze zunächst eine temporäre Hilfsstütze eingebaut wird, die nach Abschluss des dritten Bauabschnittes wieder entfernt wird. Der Systemzustand nach Ausbau der Hilfsstütze und vor Errichtung des vierten Bauabschnittes wird als Bauabschnitt 3.1 gekennzeichnet. Betrachtet werden sollen die Auswirkungen des Bauablaufs auf die Normalkraft N in der darüber liegenden Stütze (siehe Kennzeichnung in **Abb. 9**). **Abb. 10** zeigt dann die Entwicklung der Stütznormalkraft während der Bauausführung.

Man kann sehen, dass die Normalkraft durch den Ausbau der Hilfsstütze stark abnimmt (Differenz zwischen den Bauabschnitten 3 und 3.1). Aus reiner Modellanschauung kann qualitativ gefolgert werden, dass nach dem Ausbau das Eigengewicht der Decke des ersten

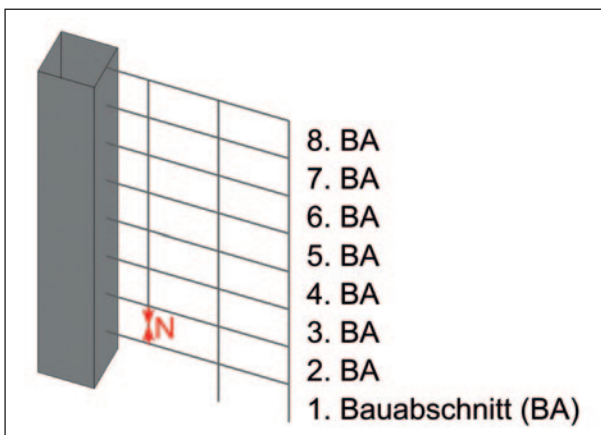


Abb. 9: Idealisierter achtgeschossiger Hochbau, der in acht Bauabschnitten (BA) erstellt werden soll. Die Stützenreihe direkt neben dem Kern ist nicht durchlaufend.

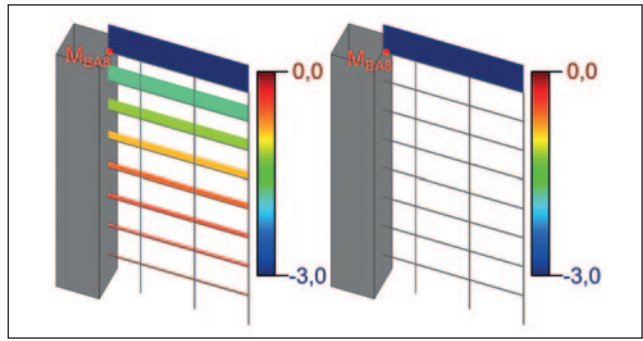


Abb. 8: Sensitivität des Moments M_{BA8} (siehe Kennzeichnung) nach den Eigengewichtslasten der Decken, basierend auf dem Gesamtmmodell (links) und dem Baufortschrittsmodell (rechts)

Bauabschnitts an der betrachteten Stütze zieht und sich das Eigengewicht der Decken aus dem zweiten und dritten Bauabschnitt aufgrund des Steifigkeitsabfalls von der betrachteten Stütze wegverlagert. Die Überlagerung dieser Effekte führt zu der beobachtbaren Abnahme der Drucknormalkraft.

Mit Sensitivitätsanalysen lassen sich diese Aussagen aus dem ingenieurmäßigen Modellverständnis zusätzlich quantifizieren. **Tabelle 2** zeigt die Sensitivitäten der Normalkraft N nach den Eigengewichtslasten der ersten drei Geschosse g_{1-3} . Da die Berechnungen des verwen-

Parameter g_i (Deckeneigengewicht)	g_1	g_2	g_3
Sensitivität vor Ausbau der Hilfsstütze (dN^V/dg_i)	0,00	-2,95	-2,06
Sensitivität nach Ausbau der Hilfsstütze (dN^N/dg_i)	1,84	-1,60	-1,10
Differenz: $\Delta N_{gi} = dN^N/dg_i - dN^V/dg_i$	1,84	1,35	0,96
proz. Anteil: $\Delta N_{gi} / \sum(\Delta N_{gi}) \cdot 100\%$	44%	33%	23%

Tab. 2: Quantifizierung der Lastumlagerung nach Ausbau einer temporären Hilfsstütze

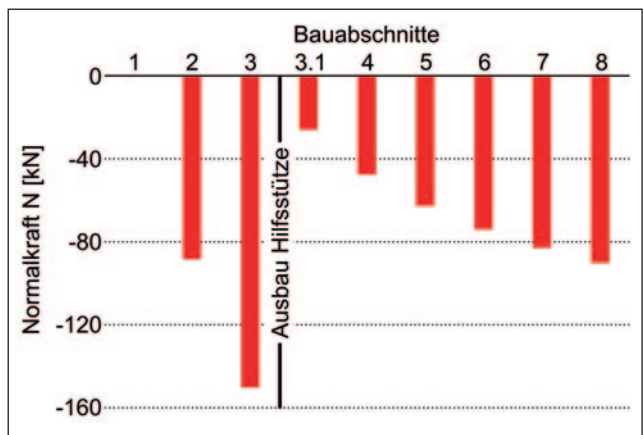


Abb. 10: Entwicklung der Stütznormalkraft N während der Bauausführung. Bauabschnitt 3.1 bezeichnet den Zustand nach Ausbau der Hilfsstütze.

deten Baufortschrittsmodells auf Theorie I. Ordnung basieren und somit das Superpositionsgesetz gültig ist, lässt sich mit der Differenz der Lastsensitivitäten vor und nach dem Ausbau der Hilfsstütze der tatsächliche Einfluss aus Umlagerung der einzelnen Deckenlasten auf die Änderung der Normalkraft quantifizieren. **Tabelle 2** zeigt die Berechnung der prozentualen Anteile der Umlagerung der Eigewichtslasten g_{1-3} an der Änderung der Normalkraft. Man erkennt, dass sich 44 Prozent der Normalkraftänderung auf die Zusatzbelastung aus g_1 und 56 Prozent auf die Umlagerung von g_2 und g_3 zurückführen lassen.

4 Zusammenfassung

Dieser Beitrag gibt eine kompakte Einführung in die adjungierte Sensitivitätsanalyse und deren Verwandtschaft mit der Technik der Einflussfunktionen. Die Methode zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass für nur eine Systemlösung je Antwortgröße (zum Beispiel maßgebende Bemessungsgrößen oder sonstige charakteristische Modellantworten) Sensitivitäten nach einer Vielzahl von Parametern in Form von Ableitungen bereitgestellt werden können.

Ein Fokus des Beitrages liegt auf der Veranschaulichung von Anwendungsmöglichkeiten und Potenzialen der Methoden in der Tragwerksplanung. Anhand der Bemessung eines Bauteils einer Dachkonstruktion wird geschildert, wie die Sensitivitätsanalyse zur Identifikation sicherheitsrelevanter Parameter eingesetzt werden kann und Sensitivitäten bei der Anwendung des semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzepts assistieren können. Obwohl in diesem Beispiel ein linearer Zusammenhang zwischen der betrachteten Antwortgröße und den Parametern herrscht und die Strukturanalyse mit Theorie I. Ordnung durchgeführt wird, ist es aufgrund der Komplexität des Tragwerks nicht ohne weiteres möglich, die Entscheidung zu treffen, wie die Teilsicherheitsfaktoren angewandt werden müssen. Sensitivitätsanalysen können hierbei Hilfestellung leisten.

In Form eines weiteren Beispiels wird beschrieben, wie Sensitivitäten zur Bestimmung der Eigenschaften von statischen Modellen eingesetzt werden können. Sensitivitätsanalysen liefern in diesem Kontext zusätzliche Informationen über Modellzusammenhänge und erhöhen somit die Transparenz der verwendeten Modelle.

Zusammengefasst können durch Sensitivitätsanalysen das Verständnis des verwendeten statischen Systems verbessert, Sicherheitsrisiken erkannt und in der Folge die Aussagekräftigkeit der statischen Berechnung und Bemessung erhöht werden, wodurch der zusätzliche Aufwand zur Berechnung und Interpretation der Sensitivitäten rechtfertigbar ist.

Das Ziel der in diesem Beitrag auszugsweise dargestellten Forschungsarbeit ist die Erarbeitung der normungstechnischen Grundlagen bezüglich Sensitivitätsanalysen. Die hierbei gesammelten Erkenntnisse sollen zu einem Kapitelentwurf für die Neuauflage der *Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen* (GruSi-Bau, [15]) führen.

5 Literatur

- [1] Saltelli, A. (ed.): Sensitivity analysis, Wiley paperback series, Wiley, Chichester, 2008
- [2] Haug, E.J.; Choi, K.K.; Komkov, V.: Design sensitivity analysis of structural systems 1st Edition, Mathematics in science and engineering, Academic Press, Orlando, 1986
- [3] Hojjat, M.; Stavropoulou, E.; Bletzinger, K.-U.: The Vertex Morphing method for node-based shape optimization. In: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 268 (2014), S. 494-513. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2013.10.015>
- [4] Mottershead, J.E.; Link, M.; Friswell, M.I.: The sensitivity method in finite element model updating: A tutorial. In: Mechanical Systems and Signal Processing 25 (2011), Heft 7, S. 2275-2296. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.10.012>
- [5] Luo, Z.; Wang, X.; Liu, D.: Prediction on the static response of structures with large-scale uncertain-but-bounded parameters based on the adjoint sensitivity analysis. In: Structural and Multidisciplinary Optimization 61 (2020), Heft 1, S. 123-139. <https://doi.org/10.1007/s00158-019-02349-w>
- [6] Kunow, T.: Modellfehler und Greensche Funktionen in der Statik. Kassel, Universität Kassel, Dissertation, 2008
- [7] Carl, O.: Statische und dynamische Sensitivitätsanalysen von geschädigten Tragwerken mit Greenschen Funktionen. Siegen, Universität Siegen, Dissertation, 2011
- [8] Hartmann, F.; Jahn, P.: Statik und Einflussfunktionen – vom modernen Standpunkt aus. Universität Kassel, 2019. <https://doi.org/10.17170/kobra-2019010785>
- [9] Fußeder, M.; Wüchner, R.; Bletzinger, K.-U.: Sensitivitätsanalyse mit verallgemeinerten Einflussfunktionen zur Tragwerksbewertung bei Modellparametervariationen In: Bauingenieur 96 (2021), Heft 06, S. 191-200. <https://doi.org/10.37544/0005-6650-2021-06-33>
- [10] Fußeder, M.; Teichgräber, M.; Bletzinger, K.-U.; Straub, D.: Schlussbericht des Forschungsprojektes GruSiBau 2.0, Dezember, 2020
- [11] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Beuth, Berlin, 1981
- [12] Giles, M.B.; Pierce, N.A.: An Introduction to the Adjoint Approach to Design. In: Flow, Turbulence and Combustion 65 (2000), Heft 3, S. 393-415. <https://doi.org/10.1023/A:1011430410075>
- [13] Belegundu, A.: Interpreting Adjoint Equations in Structural Optimization. In: Journal of Structural Engineering 112 (1986), Heft 8, S. 1971-1976. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1986\)112:8\(1971\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1986)112:8(1971))
- [14] DIN EN 1990, Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche und Englische Fassung prEN 1990:2020. Norm-Entwurf, Ausgabe Juli 2020
- [15] DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung. Deutsche Fassung, Ausgabe Dezember 2010
- [16] Bischoff, M.; Kimmich, S.: Computerstatik am Gesamtsystem - Modellierung ohne Grenzen? In: Tagungsband Baustatik-Baupraxis 11, Universität Innsbruck/TU Graz (2011)
- [17] Fastabend, M.; Schäfers, T.; Albert, M.; Lommen, H.-G.: Zur sinnvollen Anwendung ganzheitlicher Gebäudemodelle in der Tragwerksplanung von Hochbauten. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 10, S. 657-663. <https://doi.org/10.1002/best.200900022>

Die Brandschutzvorschriften für Standardgebäude sollten endlich bundesweit einheitlicher beschrieben werden

Könnten die MBO-Brandschutzregeln deshalb nicht als Technische Regel in die MVV TB aufgenommen werden?

Sechzehn Landesbauordnungen mit sechzehn teilweise deutlich differierenden Brandschutzvorschriften – das ist die Lage, die tagtäglich Anlass zu Kritik und Verdruss gibt und den Ruf nach bundesweit einheitlicheren Brandschutzregeln immer lauter werden lässt. Müssen, diese Frage wird deshalb heute immer häufiger gestellt, die Brandschutzanforderungen und -vorschriften unbedingt in der MBO enthalten sein? Oder könnten sie nicht auch – als Mittel der Vereinfachung und Beschleunigung – als eigenständige Technische Regel etabliert werden? Dieser Frage ist eine junge Bauingenieurin im Rahmen ihres Masterstudiums nachgegangen, und sie hat spektakuläre Resultate zutage gebracht. Der folgende Beitrag basiert auf ihrer Masterarbeit am Europäischen Institut für postgraduale Bildung (EIPOS) in Dresden und skizziert eine Antwort auf die Frage, wie eine Überführung der Brandschutzanforderungen aus der MBO in die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) als Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* aussehen könnte und welche Vorteile mit einer solchen Umstrukturierung einhergehen würden. Eines ist bei der Diskussion dieses wichtigen Themas unbestritten: Die materiellen Brandschutzregeln, die in der Musterbauordnung (MBO) den Ländern als Planungsstandards vorgeschlagen werden, sind auf Grund ihrer in Jahrhunderten gewachsenen historischen Entwicklungssubstanz ein außerordentlich wichtiger und sehr reicher Erfahrungsfundus, der nicht in Frage gestellt werden kann.



Lena-Elisabeth Buch, M. Eng.

studierte von 2013 bis 2017 Bauingenieurwesen (B. Eng.) an der Hochschule Mainz, arbeitete von 2015 bis 2017 parallel dazu als Werkstudentin im Sachverständigenbüro für baulichen Brandschutz Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jürgen Kleinmann in Mainz, absolvierte von 2017 bis 2020 am Europäischen Institut für postgraduale Bildung (EIPOS) in Dresden das Masterstudium Vorbeugender Brandschutz (M. Eng.) und arbeitet seit 2017 als Brandschutzplanerin im Ingenieurbüro Anwander GmbH & Co. KG in Sulzberg im Allgäu.

1 Einführung

Es hat einige Jahrhunderte gedauert, bis sich in Deutschland die Vorschriften für die Gefahrenabwehr im Brandfall zu ihrer heutigen Form entwickelt haben. So sind sie seit Mitte des 19. Jahrhundert ein fester Bestandteil der Bauordnungen geworden [1]. Als Standard- und Mindestanspruch enthält die *Musterbauordnung* (MBO), die den 16 Landesbauordnungen als Leitfunktion dient, heute vor allem für Standardbauten einen in sich geschlossenen Brandschutznachweis. Durch dieses Planungsangebot werden alle Schutzziele nach Paragraph 3 („Allgemeine Anforderungen“) in Verbindung mit Paragraph 14 („Brandschutz“) der MBO erfüllt. Dort heißt es wörtlich:

§ 14: Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Auf Grund der historischen Entwicklung des Brandschutzes und seiner Vorschriften, bieten uns die heute geltenden materiellen Brandschutzanforderungen einen wichtigen und sehr reichen Erfahrungsfundus. Somit steht außer Frage, dass diese Vorschriften als ein hohes Gut zu erhalten und weiterzuentwickeln sind. Gleichzeitig kann man aber auch hinterfragen, ob die Brandschutzanforderungen und -vorschriften zwangsläufig in der MBO enthalten sein müssen oder ob eine eigenständige Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* langfristig nicht erhebliche Vorteile im Vergleich mit dem heutigen Zustand bieten würde, die nach Einführung durch die Länder als Technische Baubestimmung zu beachten wäre.

Wie könnte eine Überführung der Brandschutzanforderungen aus der MBO in die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) [2] als Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* also aussehen? Und welche Vorteile würden mit einer solchen Umstrukturierung einhergehen?

2 Brandschutzanforderungen in der MBO

Die Brandschutzanforderungen nehmen im Vergleich mit anderen Bauwerksanforderungen der MBO einen signifikant großen Anteil ein (Abb. 1).

Während für die Standsicherheit bauordnungsrechtlich nur der allgemeine Schutzzielparagraph 12 MBO festgelegt und definiert wird und weiterführend zur Erfüllung der Schutzziele auf Technische Regeln in der MVV TB verwiesen wird, dehnen sich die Brandschutzvorschriften weit über den eigenen Schutzzielparagraphen 14 der MBO in der Musterbauordnung aus.

Die 16 Landesbauordnungen stellen heute zwar einen grundsätzlich gleichen Aufbau und Umfang der Brandschutzvorschriften mit der MBO dar, wurden aber in den einzelnen Anforderungen zur Erfüllung der Brandschutz-Schutzziele modifiziert, ergänzt, gestrichen oder aufgrund der Gesetzgebungskompetenz der Länder gar nicht erst übernommen. So divergieren bei näherer Betrachtung die Brandschutzvorschriften der Landesbauordnungen unterschiedlich stark.

3 MBO-Portrait 2.0 als (Er-)Lösung für Planer und Bauherrn

Im Hinblick auf immer größer werdende Bestrebungen nach einheitlicheren Vorschriften [4] könnte ein Wandel der hierarchischen Strukturen als eine Möglichkeit in Erwägung gezogen werden. So könnten in der MBO nur noch die allgemein formulierten Schutzziele nach § 14 MBO benannt und beschlossen werden, während die Brandschutzvorschriften zur Erfüllung der Schutzziele als separate Technische Regel eingeführt werden. Der Rechtscharakter der Brandschutzvorschriften würde erhalten bleiben und ebenso das gesellschaftlich akzeptierte Sicherheitsniveau der MBO. Jedoch würde die eigentliche Ausführung in einer eigenständigen Technischen Regel abgebildet werden können.

Visuell dargestellt bedeutet das, dass die blauen Kacheln aus dem Dokument-Portrait in **Abb. 1** aus der MBO herausgenommen und gebündelt an andere Stelle projiziert werden müssen. In der MBO würden demnach nur noch die Schutzziele nach Paragraf 3 in Verbindung mit Paragraf 14 der MBO sowie die sonstigen Schutzziele und Bauwerksanforderungen, als gelbe Kacheln verbleiben (**Abb. 2**).

Im Zuge der Ausarbeitung einer Technischen Regel können die längst überfälligen und unzähligen brandschutzrelevanten Unterschiede der 16 Landesbauordnungen aufgezeigt werden, um im nächsten Schritt

eine allgemein geltende Vorschrift als Technische Regel herauszuarbeiten und begründen zu können. Somit könnten die heute geltenden vielzähligen und nicht ausreichend begründeten inhaltlichen und redaktionellen Unterschiede der Brandschutzvorschriften in den 16 Landesbauordnungen weitestgehend entfallen, die das Bauen unnötig komplizierter und unübersichtlich machen und nach außen auch nicht mehr vertretbar sind. Der Grundstein für das Verständnis und für die Akzeptanz und für die Übernahme der Technischen Regel *Brandschutz für Standardgebäude* auf Landesebene wäre gelegt. Zumindest wären Modifizierungen der Vorschriften der Technischen Regel nur insoweit vertretbar, wenn diese landesspezifisch geboten und begründet sind

4 Beispiele für die Notwendigkeit einer bundesweiten Modifizierung der Brandschutz-Vorschriften

Warum

- ... werden nach der Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen und nach der Ausführungsverordnung in Baden-Württemberg Anforderungen an die Baustoffklasse des Bodenbelags im notwendigen Flur gestellt?
- ... genügen nach der Durchführungsverordnung für die niedersächsische Bauordnung auch bei Wohngebäuden der Gebäudeklasse 3 geringere Abstände der Bedachung zu anderen Gebäuden oder Grundstücksgrenzen und warum bemisst sich der erforderliche Abstand nach der Landesbauordnung Rheinland-Pfalz unabhängig davon, ob es sich um Wohngebäude handelt oder nicht?
- ... wird in den Landesbauordnungen Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz ein horizontaler Abstand von Dachflächenfenster und Traufkante von einem Meter beschrieben und zusätz-

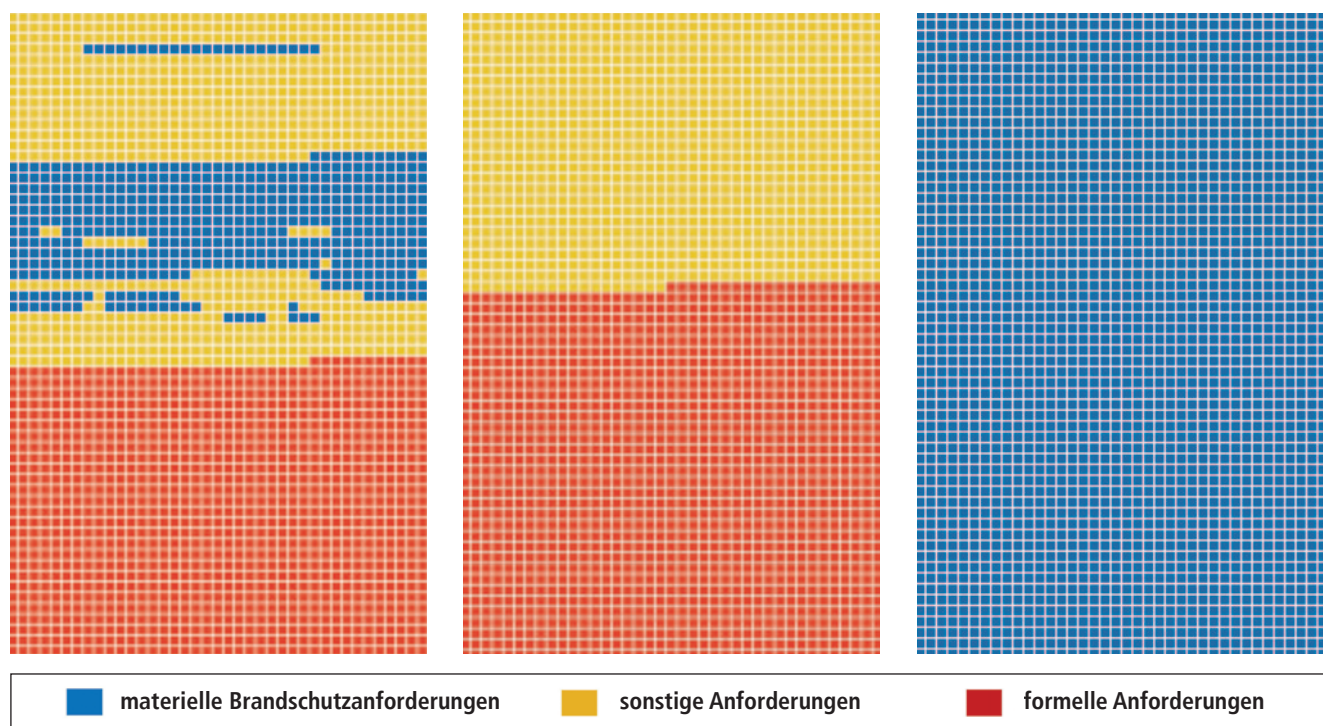


Abb. 1: Die Anforderungen an den Brandschutz nehmen im Vergleich mit anderen Bauwerksanforderungen der MBO einen signifikant großen Anteil ein, wie dieses Dokument-Portrait der MBO mit der MAXQDA VERBI Software zeigt [3].

Abb. 2: Zusammenhang zwischen MBO 2.0 (Mitte) und Technischer Regel (rechts) mit Legende [5]

lich gefordert, dass sich die Personen bemerkbar machen müssen? Warum wird die Forderung zum Bemerkbarmachen auch in den Vollzugsbekanntmachungen und Auslegungshilfen in Hamburg, Brandenburg oder Thüringen beschrieben?

■ ... muss die Dachöffnung bei zwei traufseitig aneinandergelagerten Gebäuden in Bayern und Hamburg nur einen Abstand von 1,25 Meter von der Brandwand einhalten und nach Paragraf 32 Absatz 6 der MBO einen Abstand von zwei Meter? Warum gibt es keine einheitliche Regelung dafür, wie der Abstand grundsätzlich zu messen ist?

Weshalb

■ ... ist nach Paragraf 35 Absatz 2 der niedersächsischen Bauordnung eine Treppe ohne notwendigen Treppenraum nur in Wohngebäuden der Gebäudeklasse 1 und 2 zulässig?

■ ... werden in Baden-Württemberg und Hamburg zwischen Gebäuden auf einem gemeinsamen Grundstück Brandwände gefordert? Und weshalb werden in Niedersachsen und in Rheinland-Pfalz immer noch Brandwände bei aneinandergelagerten Gebäuden auf demselben Grundstück gefordert, die seit der MBO 2002 nicht mehr gefordert werden?

■ ... sind nach Paragraf 28 Absatz 5 der sächsischen Bauordnung bereits bei Gebäuden der Gebäudeklasse 3 Vorkehrungen für hinterlüftete Fassaden zu treffen und nach Paragraf 28 Absatz 5 MBO beziehungsweise mittlerweile auch nach allen anderen Landesbauordnungen erst ab Gebäudeklasse 4?

■ ... sind in Niedersachsen Terrassenvorbauten und Windfänge von den Anforderungen an Außenwände und Außenwandbekleidungen explizit ausgenommen?

Wieso

■ ... sind in Baden-Württemberg Fenster in offenen Gängen erst ab einer Brüstungshöhe von 1,20 Meter zulässig und in allen anderen Landesbauordnungen ab 0,90 Meter?

■ ... ist Schleswig-Holstein das einzige Bundesland, das explizit eine Öffnung zur Rauchableitung im Kellergeschoss von mindestens 0,50 Quadratmeter in der Landesbauordnung festhält?

■ ... muss der Balkon, über den angeleitet werden soll, nach den Landesbauordnungen in Brandenburg und Niedersachsen eine Feuerwiderstandsdauer haben?

■ ... genügt in Bayern für das Fenster zum Nachweis des zweiten Rettungsweges mittels einer Anleiterung durch die Feuerwehr ein Maß von 0,60 Meter Breite und einem Meter Höhe, während das gleiche Fenster in Berlin oder Rheinland-Pfalz mindestens 0,90 Meter breit und 1,20 Meter hoch sein muss?

■ ... ist gemäß den Handlungsempfehlungen in Hessen und Nordrhein-Westfalen auch ein Fenster zum Anleitern mit 1,20 Meter Breite und 0,90 Meter Höhe zulässig?

■ ... können wir uns nicht auf eine einheitliche Definition des Kellergeschosses nach Paragraf 2 der MBO einigen?

5 Ohne Gesetzesstatus lassen sich Technische Baubestimmungen dynamischer anpassen

Neben der Harmonisierung unserer Vorschriften für Standardgebäude würde die Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* auch die Spannungsverhältnisse im Bauwesen positiv beeinflussen. Ohne den Status eines Gesetzes und ohne die damit einhergehende Beschließung über die Landesparlamente lassen sich Technische Baubestimmungen durch Erkenntnisfortschritte dynamischer anpassen. Dies

soll nicht bedeuten, dass die Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* laufend fortgeschrieben werden soll, sondern dass lediglich Anpassungen der Technischen Regel analog zu den bisherigen zeitlichen Anpassungsspannen an Vorschriften einfacher übernommen werden können.

Es zeigt sich an anderen Stellen, dass eine Verankerung der Bauwerksanforderungen in einem Gesetz nicht erforderlich ist, um die Schutzziele und Sicherheitsanforderungen unserer baulichen Anlagen zu bewahren. Stattdessen ist es uns möglich, wie die Anforderungen an die Standsicherheit zeigen, dass die Bauwerksanforderungen auch ohne die MBO eingeführt und umgesetzt werden können.

Diese Art der hierarchischen Umgliederung ist mit den 2007 beschlossenen neuen Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB-Richtlinien) in Österreich vergleichbar [6]. Als Grundlage für die Vereinfachung und Harmonisierung von Bauvorschriften dienen diese OIB-Richtlinien der Festlegung der technischen Anforderungen, um die allgemeinen Schutzziele aus den Rechtsvorschriften der Länder zu erfüllen [7]. Eine in die MVV TB aufgenommene Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* hätte insofern dasselbe Ergebnis zur Folge: Die materiellen Anforderungen eines Standardgebäudes wären nicht mehr in einem Gesetz verankert. Alle brandschutztechnischen Anforderungen an bauliche Anlagen oder an Teile baulicher Anlagen, sei es für Standardgebäude als auch für Sonderbauten, ließen sich über die MVV TB abbilden.

Weiterhin würde eine Ausgliederung der Brandschutzvorschriften aus der MBO auch die Zuständigkeiten klarer regeln, was **Abb. 1** symbolisch anhand der Farbzusweisungen andeutet. Das Dokument-Portrait in **Abb. 1** zeigt anhand der gelb dargestellten Kacheln, dass die Paragrafen 26 bis 46 der MBO neben den materiellen Anforderungen an den Brandschutz auch andere Bauwerksanforderungen regeln. Zum Beispiel stellt der Paragraf 34 im Absatz 6 der MBO Anforderungen an die sichere Benutzbarkeit von Treppen, der Paragraf 39 Absatz 5 MBO Anforderungen an die Grundfläche eines Aufzugs im Gebäude oder der Paragraf 45 der MBO Anforderungen an die Anordnung und Zugänglichkeit von Räumen zur vorübergehenden Aufbewahrung fester Abfallstoffe. Die Zuständigkeit für die Berücksichtigung dieser Paragrafen obliegt demnach neben dem Ersteller des Brandschutznachweises auch dem Entwurfsverfasser. Durch die Ausgliederung der materiellen Brandschutzvorschriften aus der MBO würde die Zuständigkeit für die Prüfung und Berücksichtigung der Bauwerksanforderungen eindeutig getrennt voneinander aufgezeigt werden können und folglich die Schnittstelle klar geregelt sein (**Abb. 2**). Dies würde sich positiv auf die Planung unserer baulichen Anlagen auswirken.

6 Die Technische Regel in der MVV TB

Die MVV TB greift grundsätzlich die Schutzziele und die allgemeinen Anforderungen der Bauordnung auf, konkretisiert diese und verweist auf Technische Regeln, die zur Erfüllung der Grundanforderungen an Bauwerke notwendig und zu beachten sind (Technische Baubestimmungen).

Durch die Ausarbeitung einer Technischen Regel *Brandschutz für Standardgebäude* würden die historisch gewachsenen Brandschutzvorschriften nicht verlorengehen, sondern könnten vielmehr einen geeigneten Platz in den MVV TB, beziehungsweise in den Vorschriften der Länder einnehmen.

A 2	Brandschutz		
A 2.1	Allgemeine Anforderungen an bauliche Anlagen aus Gründen des Brandschutzes		
Bauliche Anlagen sind gemäß § 3 MBO ¹ i. V. m. § 14 MBO ¹ so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass			
<ul style="list-style-type: none"> ■ der Entstehung eines Brandes vorgebeugt wird ■ der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird ■ bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren möglich sind ■ wirksame Löscharbeiten möglich sind. 			
Konkretisiert werden die schutzzielbezogenen Brandschutzanforderungen für bauliche Anlagen, die gemäß § 2 Abs. 4 MBO ¹ keine Sonderbauten sind (sog. Standardgebäude), mit der Technischen Regel "Brandschutz für Standardgebäude" und den technischen Anforderungen der nachfolgenden Abschnitte. Bei Sonderbauten gemäß § 2 Abs. 4 MBO ¹ i. V. m. § 51 MBO ¹ sind zusätzlich die technischen Anforderungen nach Abschnitt A 2.1.20 zu beachten.			
Lfd. Nr.	Allgemeine Anforderungen an Standardgebäude gem. § 3 MBO ¹ i. V. m. 14 MBO ¹	Technische Regeln/Ausgabe	Weitere Maßnahmen
1	2	3	4
A 2.1	Brandschutz für Standardgebäude	TR Brandschutz für Standardgebäude: 2020-01 ²	A 2.1.1 bis A 2.1.10

Vorschlag

Vorschlag

Abb. 3: Mögliche Überführung der Technischen Regel in die MVV TB [8]: Technische Bauabstimmungen, die bei der Erfüllung der Grundanforderungen an Bauwerke zu beachten sind.

Die Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* ist dem Kapitel A 2 der MVV TB zuzuordnen. Anstelle der derzeitigen Verweise auf die Paragraphen 5, 26 bis 36, 39 bis 42, 46 und 47 der MBO zu Beginn des Kapitels A 2.1 könnte die Technische Regel *Brandschutz für Standardgebäude* in die MVV TB eingebunden werden (**Abb. 3**).

Mit einer Fußnote analog zu anderen Technischen Regeln des Kap. A 2.2 der MVV TB sollte festgelegt werden, dass eine Abweichung nach Paragraph 85a Absatz 1 Satz 3 MBO für die Technische Baubestimmung ausgeschlossen ist und nur nach Paragraph 67 der MBO in Betracht kommt.

7 Zusammenfassung

Im Hinblick auf zwingend einheitlichere Brandschutzvorschriften für Standardgebäude in Deutschland und eine einfachere Anpassung sollte das Ziel der MBO sein, nur noch die allgemein formulierten Schutzziele für den Brandschutz nach Paragraph 14 der MBO zu benennen. Durch die Ausarbeitung einer eigenständigen Technischen Regel *Brandschutz für Standardgebäude* können die Brandschutzanforderungen zur Erfüllung der Schutzziele für Standardgebäude bundesweit einheitlicher beschrieben werden. Dadurch würden die historisch gewachsenen Brandschutzvorschriften nicht verlorengehen, sondern vielmehr einen geeigneten Platz in den MVV TB einnehmen. Ohne den Status eines Gesetzes würden Anpassungen der Technischen Regel dynamischer vorgenommen werden können. Zudem ließen sich klare Schnittstellen in den Zuständigkeitsbereichen aufzeigen, und unter Berücksichtigung der derzeit geltenden Landesbauordnungen würde durch die Erarbeitung der Technischen Regel, eine weitestgehende Harmonisierung des Brandschutzes für Standardgebäude in Deutschland angegangen werden können.

Auch wenn die landesspezifischen Eigenheiten und Unterschiede für Planungsbüros Vorteile bieten können, so sind die unzähligen unterschiedlichen Brandschutzvorschriften je nach Landesgrenze längst nicht mehr für Standardgebäude vertretbar. Es ist Zeit, dass wir uns mit dem Vorschriftengerüst und der 16-fachen Brandschutzausführungen für Standardgebäude auseinandersetzen und weiterdenken. Die MVV TB bieten uns hierfür eine gute Möglichkeit.

8 Literatur/Quellen

- [1] Geburtig, Gerd / Buch, Lena (2020): Eine MBO ohne materielle Brandschutzanforderungen!?. In: FeuerTRUTZ Magazin, Bd. 04.2020, S. 16. Köln: FeuerTrutz Network GmbH
- [2] DIBt Mitteilungen Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Ausgabe 2020/1, Berlin 19.01.2021
- [3] Buch, Lena (2020): Eine Musterbauordnung ohne materielle Brandschutzanforderungen – Ausarbeitung einer Technischen Regel „Brandschutz für Standardgebäude“, Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Engineering an der DIU Dresden, Dresden 2020, unveröffentlicht
- [4] Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat (2018): Ergebnisse des Wohnungsgipfels am 21. September 2018 im Bundeskanzleramt. Berlin. Online verfügbar unter: <https://www.bmi.bund.de>, zuletzt geprüft am: 16.09.2021
- [5] ... wie [3]
- [6] Österreichische Institut für Bautechnik OIB (o. D.): OIB-Richtlinien. Online verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien>, zuletzt geprüft am: 16.09.2021
- [7] Mikulits, Rainer (2013): Das Konzept von leistungsorientierten bautechnischen Vorschriften. In: OIB aktuell, Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, 14. Jahrgang, 2013, Heftnr. 2, S. 4-5
- [8] ... wie [3]

Hinweise für den Umgang mit elektronischen Signaturen bei der digitalen Prüfung bautechnischer Nachweise

eIDAS-VO, ES, QES, AdES: Viele neue Kürzel für eine neue Art der Unterzeichnung relevanter Dokumente

Elektronische Signaturen – also mit elektronischen Informationen verknüpfte Daten, mit denen man den Unterzeichner oder dem Signaturersteller identifizieren und die Integrität der signierten elektronischen Informationen prüfen kann – werden sich über kurz oder lang im Büroalltag auch der Prüfsachverständigen und ihrer Auftraggeber etablieren. Die elektronische Signatur erfüllt technisch gesehen den gleichen Zweck wie eine eigenhändige Unterschrift auf Papierdokumenten – nur eben ohne gelbe Post, sondern als E-Mail. Der Arbeitskreis Digitalisierung der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPI) hat diese Entwicklung zum Anlass genommen, ein Grundlagenpapier zu erarbeiten, das Hinweise und Erläuterungen für den Umgang mit elektronischen Signaturen bei der digitalen Prüfung bautechnischer Nachweise enthält. Das neunseitige Dokument, das hier erstmals veröffentlicht wird, setzt auf die aktuellen Entwicklungen zur Einführung digitaler bauaufsichtlicher Verfahren in die Landesbauordnungen auf und soll den Prüfsachverständigen und Prüfsachverständigen sowie ihren Auftraggebern den Einstieg in den Umgang mit elektronischen Signaturen erleichtern und diesbezügliche Empfehlungen geben. Neben den rechtlichen Grundlagen werden in diesem Papier die wichtigsten Begriffe rund um die digitale Signatur erläutert und der Ablauf eines Digitalisierungsprozesses dargestellt. Abschließend werden Signaturbeispiele mit Unterschriftsbildern gezeigt. Der Arbeitskreis Digitalisierung arbeitet weiter an dem Thema und hat angekündigt, in nächster Zeit ein weiteres Dokument als Handlungshilfe für den Umstieg von der analogen auf die digitale bautechnische Prüfung vorzulegen.

Dem Arbeitskreis Digitalisierung der Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPI) gehören an:

Dr.-Ing. Manfred Arend (Bremen)

SRA Henning Dettmer (Berlin)

Dipl.-Ing. Jörg Duensing (Hannover)

Dipl.-Ing. Roland Eisler (Paderborn)

Dipl.-Ing. Martin Hamann (Berlin)

Dr.-Ing. Markus Hennecke (München)

Dipl.-Ing. Martin Hofmann (Mainz)

Dipl.-Ing. Christian Kühner (Hamburg)

Dr.-Ing. Stefan Kraus (Berlin)

Dipl.-Ing. Michael Posselt (Leipzig)

Prof. Dr.-Ing. Dirk Werner (Brandenburg)

1 Einführung

Im Oktober 2019 hatte die Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) Änderungen der Musterbauordnung der Länder (MBO) und der Muster einer Verordnung über Bauvorlagen und bauaufsichtliche Anzeigen. (Musterbauvorlagen-Verordnung, MBauVorVO) zur Erleichterung digitaler bauaufsichtlicher Verfahren in die Verbändeanhörung gegeben. Ziel war es, die MBO und die MBauVorVO einerseits von zahlreichen Schriftformerfordernissen zu befreien und andererseits die elektronische Übermittlung von Anträgen, Anzeigen und Mitteilungen als den zukünftigen Regelfall zu definieren [1].

Die Bundesvereinigung der Prüfsachverständigen für Bautechnik (BVPI) hat sich im Rahmen dieses Anhörungsverfahrens ausdrücklich dafür ausgesprochen, die Schriftform für die von Prüfsachverständigen zu erstellen den bauaufsichtlichen Prüfungen und deren Dokumente zu erhalten beziehungsweise deren Ersatz durch die elektronische Form zu ermöglichen.

In den vergangenen Monaten haben einige Bundesländer bereits begonnen, die von der ARGEBAU geplanten Änderungen der MBO und der MBauVorV in ihr jeweiliges Landesrecht zu übertragen.

Neben den Änderungen von MBO, MBauVorV und den entsprechenden Länderregelungen stellen auch die Anforderungen des Gesetzes zur Verbesserung des Onlinezugangs zu Verwaltungsleistungen (Online-Zugangsgesetz, OZG [2]) die Prüfsachverständigen bei der Prüfung von bautechnischen Nachweisen vor neue Herausforderungen.

Digital eingereichte bautechnische Nachweise (in der Regel im PDF-Format) sollen ohne Medienbruch digital geprüft werden. Am Ende des digitalen Prüfvorgangs müssen Prüfberichte sowie die geprüften bautechnischen Nachweise digital signiert werden. Der digitale Signaturprozess übernimmt somit zunächst die selbe Aufgabe wie die handschriftliche Signatur des Prüfsachverständigen bei der ursprünglichen Unterzeichnung auf Papier. Digitale Signaturprozesse leisten darüber hinaus aber auch weitere Zusatzfunktionen.

Diese Erläuterungen und Hinweise des Arbeitskreises Digitalisierung der BVPI sollen einen Einstieg in elektronische Signaturen für Prüfsachverständigen erleichtern und diesbezügliche Empfehlungen geben.

2 Erläuterungen

2.1 Einordnung in den Rechtsrahmen und Verfahren

Mit der Verordnung (EU) Nr. 910/2014 des europäischen Parlaments und des Rates über elektronische Identifizierung und Vertrauensdienste für elektronische Transaktionen im Binnenmarkt (eIDAS-VO) [3] der EU wird seit Mitte 2016 ein einheitlicher, europaweit gültiger,

Begriffsbestimmungen

Als **Elektronische Signatur (ES)** werden elektronische Daten bezeichnet, die anderen elektronischen Daten beigelegt oder logisch mit ihnen verbunden werden und die der Unterzeichner zum Unterzeichnen verwendet.

Die **Fortgeschrittene elektronische Signatur (AdES)** ist eine ES, die folgende, weitere Anforderungen erfüllt:

- Sie ist eindeutig dem Unterzeichner zugeordnet,
- sie ermöglicht die Identifizierung des Unterzeichners,
- sie wird unter Verwendung elektronischer Signaturerstellungsdaten erstellt, die der Unterzeichner mit einem hohen Maß an Vertrauen unter seiner alleinigen Kontrolle verwenden kann,
- sie ist mit den auf diese Weise unterzeichneten Daten verbunden, sodass eine nachträgliche Veränderung der Daten erkannt werden kann.

Elektronische Signaturerstellungsdaten sind eindeutige Daten, die vom Unterzeichner zum Erstellen einer elektronischen Signatur verwendet werden.

Die **Qualifizierte elektronische Signatur (QES)** ist eine AdES, die von einer qualifizierten elektronischen Signaturerstellungseinheit erstellt wurde und auf einem qualifizierten Zertifikat für elektronische Signaturen beruht.

Die **Elektronische Signaturerstellungseinheit** ist eine konfigurierte Software oder Hardware, die zum Erstellen einer elektroni-

schen Signatur verwendet wird.

Die **Qualifizierte elektronische Signaturerstellungseinheit** ist eine elektronische Signaturerstellungseinheit, die besondere Anforderungen des Anhangs II der eIDAS-VO [3] erfüllt.

Zertifikate für elektronische Signaturen sind elektronische Bescheinigungen, die elektronische Signaturvalidierungsdaten mit einer natürlichen Person verknüpfen und die mindestens den Namen oder das Pseudonym dieser Person bestätigen. Zertifikate verfügen in der Regel über ein Gültigkeitsdatum.

Ein **Qualifiziertes Zertifikat** für elektronische Signaturen ist ein von einem qualifizierten Vertrauensdiensteanbieter ausgestelltes Zertifikat für elektronische Signaturen, das bestimmte Anforderungen der eIDAS-VO erfüllt.

Ein **Vertrauensdienst** ist ein elektronischer Dienst, der in der Regel gegen Entgelt erbracht wird und unter anderem aus

- der Erstellung, Überprüfung und Validierung elektronischer Signaturen,
 - einem elektronischen Siegel oder einem elektronischen Zeitstempel,
 - Diensten für die Zustellung elektronischer Einschreiben sowie diese Dienste betreffende Zertifikate
- besteht.

Ein **Qualifizierter Vertrauensdienst** ist ein Vertrauensdienst, der die einschlägigen Anforderungen der eIDAS-VO erfüllt. Da es sich

bei der eIDAS-VO um eine europäische Verordnung handelt, werden qualifizierte Vertrauensdienste von einer Vielzahl von Anbietern innerhalb der EU-Staaten gegen Entgelt angeboten.

Ein **Gesetzliches Schriftformerfordernis** ist ein gesetzlich angeordnetes Formerfordernis, das insbesondere eine eigenhändige Unterschrift unter ein Dokument verlangt. Die grundlegende Regelung dazu findet sich in Paragraph 126 des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB). Das Schriftformerfordernis kann durch eine qualifizierte digitale Signatur ersetzt werden (§ 126a BGB). Paragraph 3a des Verwaltungsverfahrensgesetzes (VwVfG) sieht weitere Möglichkeiten zum Ersatz des Schriftformerfordernisses über digitale Wege vor.

Das **Gesetzliche Textformerfordernis** ist ein gesetzlich angeordnetes Formerfordernis, das eine lesbare, aber nicht unterschriebene Erklärung verlangt.

Integrität bezeichnet die Sicherheit, dass die Gültigkeit der elektronischen Signatur nur dann erhalten bleibt, wenn das Dokument nicht verändert wurde. Wird der Inhalt eines signierten elektronischen Dokumentes verändert, wird er durch Überprüfung die Signatur automatisch im Dokument für ungültig erklärt.

Identität oder **Authentizität** bezeichnen die eindeutige Identifizierbarkeit des Autors des digitalen Signaturprozesses. Das Datum der Erstellung der Signatur, sowie der Inhalt müssen für den Empfänger authentisch belegbar sein.

rechtlicher und organisatorischer Rahmen für einen vertrauenswürdigen elektronischen Geschäftsverkehr festgelegt. Damit sollen sichere und nahtlose digitale Transaktionen zwischen Unternehmen, Bürgern und Behörden anhand von elektronischen Signaturen ermöglicht werden.

Als eIDAS-VO-konforme Signaturen werden die fortgeschrittene elektronische Signatur (AdES) und die qualifizierte elektronische Signatur (QES) eingesetzt. Die QES gewährleistet die Authentizität des elektronischen Dokumentes, das heißt, der Unterzeichner kann mit einer QES eindeutig identifiziert und die Herkunft der Daten bestimmt werden. Außerdem stellt sie die Integrität der übermittelten Daten sicher, indem jede Veränderung der ursprünglichen Daten kenntlich gemacht werden kann.

2.2 Ablauf eines digitalen Signaturprozesses

Eine Person erhält von dem Anbieter elektronischer Vertrauensdienste ihrer Wahl ein Zertifikat mit einem sogenannten Schlüsselbund. Der Schlüsselbund besteht aus einem geheimen privaten und einem öffentlichen Schlüssel. Vor Herausgabe des Zertifikates und des Schlüsselbundes hat der Anbieter die Identität der anfragenden Person in geeigneter Form festgestellt. Je höher der Anspruch auf Vertrauen, desto höher wird der Anspruch auf eine rechtssichere Identitätsfeststellung sein. Nach dem Identifikationsverfahren „vertraut“ der Vertrauensdiensteanbieter somit der Person.

Beim elektronischen Signaturvorgang wird durch die verwendete Software und Hardware sowie Technologien aus der Kryptographie ein sogenannter Hashwert des elektronischen Dokumentes gebildet, der mit

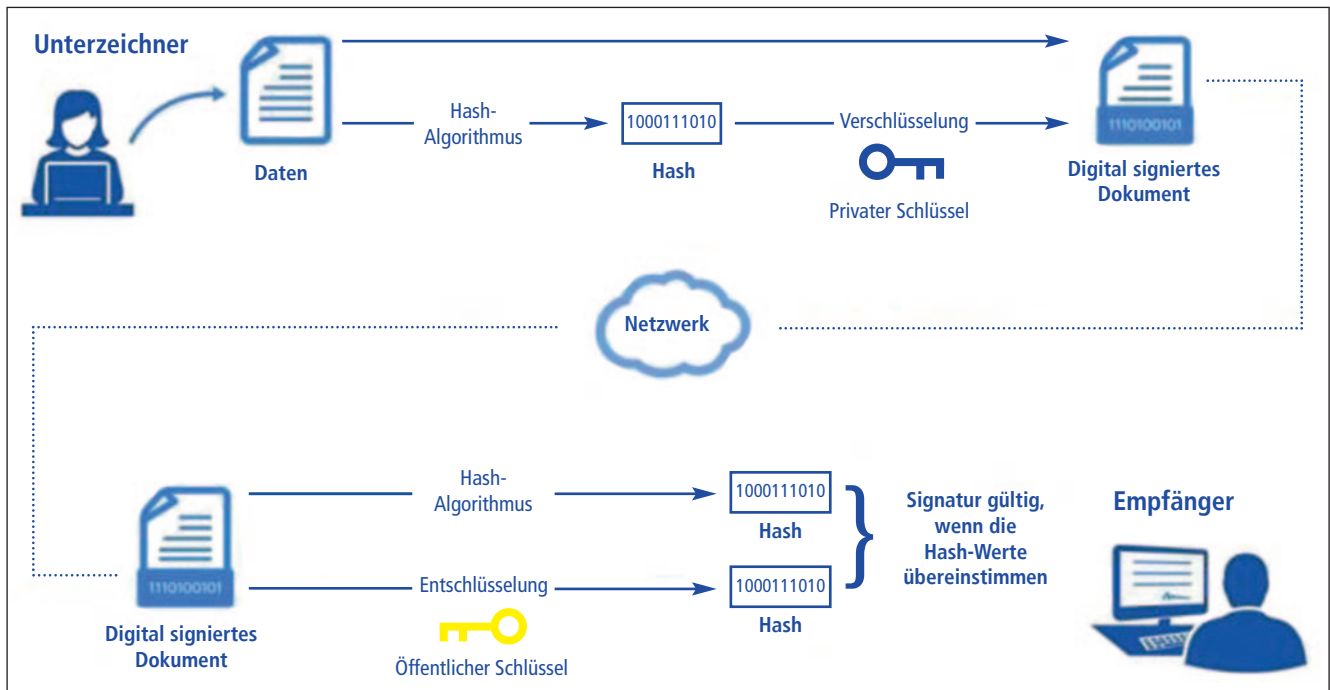


Abb. 1: Beim elektronischen Signaturvorgang wird ein Hashwert des elektronischen Dokuments gebildet, der mit einem geheimen privaten Schlüssel verschlüsselt wird. Dieser mathematische Teil der Dokumentenüberprüfung zur Integrität wird von den elektronischen Systemen automatisch angewendet.

dem geheimen privaten Schlüssel verschlüsselt wird. Dieser verschlüsselte Hashwert ist wie ein elektronischer Fingerabdruck zum Zeitpunkt der Signatur zu verstehen und eindeutig einem Dokument zuzuordnen. Der verschlüsselte Hashwert und der öffentliche Teil des Schlüsselbundes werden automatisch zum Bestandteil des signierten Dokumentes und beim Versand zum Beispiel einer signierten PDF-Datei mit diesem versendet.

Soll ein signiertes elektronisches Dokument auf Integrität geprüft werden, wird mit demselben mathematischen Verfahren der Hashwert des Dokumentes durch die Software des Empfängers erneut gebildet. Weiterhin wird mit dem mitgelieferten öffentlichen Schlüssel der mitgelieferte Hashwert des Dokumentes entschlüsselt, der zum Zeitpunkt der Signatur entstanden war. Die beiden Hashwerte werden automatisch verglichen. Ist der Hashwert unverändert geblieben, ist die Integrität des Dokumentes sichergestellt (Der „Fingerabdruck“ zum Zeitpunkt der Signatur ist identisch mit dem „Fingerabdruck“ zum Zeitpunkt der Dokumentenkontrolle – Das Dokument ist unverändert).

Dieser mathematische Teil der Dokumentenüberprüfung zur Integrität wird von den elektronischen Systemen automatisch angewendet. Da jede nachträgliche Veränderung an elektronischen Dokumenten den Hashwert zum Zeitpunkt der Prüfung verändert, kann mit diesem Vergleichsverfahren jede nachträgliche Veränderung am Dokument erkennbar gemacht werden (Abb. 1).

Der geheime private Teil des Schlüsselbundes ist kennwortgeschützt und verbleibt immer bei der signierenden Person auf gesicherten Speichermedien.

Ein Außenstehender, der die Autorenschaft des Signaturerstellers überprüfen möchte, muss darauf vertrauen können, dass der mit dem Dokument automatisch mitgelieferte öffentliche Schlüssel auch tatsächlich zu der im Schlüssel benannten Person gehört.

Ab diesem Punkt unterscheiden sich fortgeschrittene und qualifizierte Signaturen voneinander.

■ Fortgeschrittene Signatur (AdES):

Bei der fortgeschrittenen Signatur muss das ausgestellte Zertifikat inklusive des zugehörigen Schlüsselbundes nicht von einem qualifizierten Vertrauensdiensteanbieter erstellt sein. Jeder Anbieter der nach der eIDAS-VO nicht als qualifiziert gilt, kann das zuvor genannte Schlüsselpaar erstellen. Diese Möglichkeit ist unter anderem auch in einigen verfügbaren PDF-Programmen vorgesehen.

Weiterhin sind hierfür Vertrauensdiensteanbieter denkbar, welche die hohen Anforderungen an qualifizierte Anbieter der eIDAS-VO nicht erfüllen können oder wollen. Auch bei der AdES werden, wie oben erwähnt, Schlüsselpaare erstellt, die ebenso kennwortgeschützt sind, sodass der Signierende sich durch diese eigenen Zertifikate und das nur ihm bekannte Kennwort authentifiziert.

Ein öffentlicher Teil des Zertifikates, der zur Überprüfung der Signatur bei einem Empfänger erforderlich ist (Wurzelzertifikat), kann als Datei exportiert und den potenziellen Empfängern von elektronischen Dokumenten zur Verfügung gestellt werden. Diese Empfänger binden sich das Wurzelzertifikat, welches die Identität des Signaturerstellers durch den Anbieter des Vertrauensdienstes bestätigt, zum Beispiel in den lokalen Zertifikatspeicher als vertrauenswürdig ein und können damit in Zukunft die Authentizität eines vom Unterzeichner erstellten Dokumentes überprüfen.

Damit der Empfänger – nach erfolgreicher technischer Überprüfung der Signatur – auch tatsächlich von der Authentizität bezüglich des Absenders überzeugt sein kann, muss ihm der öffentliche Teil des Wurzelzertifikates vorher auf sicherem Wege übermittelt werden. Diese Übermittlung geschieht zum Beispiel durch persönliche Übergabe – oder besser: von öffentlich zugänglicher authentifizierter Website oder

über einen vertrauenswürdigen Verzeichnisdienst.

Die fortgeschrittene Signatur kann nach der eIDAS-VO – insbesondere bei der Kommunikation mit zuvor nicht bekannten Parteien – keine eindeutig gesicherten Rückschlüsse auf den tatsächlichen Autor liefern, solange das Vertrauen des Empfängers zu dem Anbieter des Vertrauensdienstes und seinem Wurzelzertifikat nicht vollständig geklärt ist.

In einigen Bundesländern bieten die hier zuständigen Bewertungs- und Verrechnungsstellen (BVS) Vertrauensdienste für Prüfsingenieure an und reichen nach erfolgreicher Identifikation den Prüfsingenieuren Zertifikate für fortgeschrittene elektronische Signaturen aus. Das in der Regel auf den BVS-Homepages öffentliche BVS-Wurzelzertifikat kann von jedem Empfänger signierter Dokumente auf seinem PC als vertrauenswürdige Stammzertifizierungsstelle gespeichert werden und somit zur lokalen Identitätsprüfung herangezogen werden. In den Bundesländern, in denen diese Regelung Anwendung findet, vertrauen die Empfänger von mittels AdES signierten Dokumenten somit der jeweiligen BVS als Anbieter von Vertrauensdiensten und damit den in dieser Form elektronisch signierten Dokumenten.

■ Qualifizierte elektronische Signatur (QES):

Bei der qualifizierten elektronischen Signatur werden dezidierte Anforderungen an die Anbieter von Vertrauensdiensten sowie an die verwendete Signatur-Hard- und -Software gestellt. Diese Anbieter müssen die vorgegebenen Standards nachweislich einhalten und diesbezüglich nach den Vorgaben der eIDAS-VO zertifiziert sein.

Dies beginnt damit, dass das zur Signierung verwendete Schlüsselpaar eindeutig der signierenden Person zugeordnet wird. Dies geschieht in der Regel, indem eine rechtlich anerkannte Identitätsprüfung dieser Person vorgenommen wird. Weiterhin ist die sichere Aufbewahrung und Verwendung des kennwortgeschützten privaten Schlüssels über eine entsprechend zertifizierte Hard- und Software (das heißt, Signaturkarten, Kartenleser, Signatursoftware und so weiter) zu gewährleisten.

Der Empfänger von mittels QES signierten Dokumenten kann die Identität des Signaturerstellers sofort mit seiner Software überprüfen, da die Wurzelzertifikate qualifizierter Vertrauensdiensteanbieter öffentlich zugänglich sind beziehungsweise bereits in den lokalen Zertifikatspeichern am PC eingelesen wurden. Eine manuelle Übermittlung von Wurzelzertifikaten kann bei QES entfallen.

■ Elektronische Siegel:

Mit der eIDAS-VO sind auch elektronische Siegel (Organisationszertifikate) möglich, welche als QES dienen. Diese neuen elektronischen Siegel können als digitaler Firmenstempel und gleichzeitig als Integritätsschutz für Dokumente eingesetzt werden. Inhaber dieses E-Siegels sind juristische Personen. Eine Organisation erhält so die Möglichkeit, ihre zeichnungspflichtigen Geschäftsunterlagen im Namen der Organisation zu unterschreiben. Damit ist der Ursprung beziehungsweise der Absender des Dokuments eindeutig identifizierbar. Elektronische Unterlagen können so mit einem Integritätsschutz versehen werden. Die Siegelerzeugung erfolgt dabei automatisiert und fördert so den Abbau von Papierarchiven.

■ Fernsignaturen:

Auf Grundlage der eIDAS-VO sind weiterhin auch Fernsignaturen möglich, welche als QES dienen. Alternativ zur Signaturkarte sollen Fernsignaturen die Möglichkeit bieten, qualifizierte Signaturen mit Hilfe

des Mobiltelefons zu erzeugen. Dabei kann auf die zusätzliche Infrastruktur für Signaturkarten und Lesegeräte verzichtet werden.

■ Einfache elektronische Signatur (ES):

Mit der einfachen elektronischen Signatur (zum Beispiel E-Mail-Signatur oder eingescannte Unterschrift) kann die Authentizität und Integrität eines Dokumentes nicht sichergestellt werden.

3 Rechtswirkungen

Hinsichtlich der Rechtswirkung einer elektronischen Signatur wird im Artikel 25 der eIDAS-VO Folgendes festgelegt:

- Eine qualifizierte elektronische Signatur hat die gleiche Rechtswirkung wie eine handschriftliche Unterschrift.
- Eine qualifizierte elektronische Signatur, die auf einem qualifizierten Zertifikat beruht, das in einem Mitgliedstaat ausgestellt worden ist, wird in allen anderen Mitgliedstaaten als qualifizierte elektronische Signatur anerkannt.

4 Empfehlungen

4.1 Bei vorliegender Schriftformerfordernis wird für die Signierung elektronischer Dokumente die Anwendung der qualifizierten elektronischen Signatur (QES) empfohlen. Hierzu sucht man sich aus den innerhalb der EU nach eIDAS-VO gelisteten qualifizierten Vertrauensdiensteanbietern einen Partner aus. Alle nach eIDAS-VO gelisteten Anbieter erzeugen am Ende des Prozesses eine qualifizierte elektronische Signatur.

Die jeweiligen Anbieter unterscheiden sich stark in den anfallenden Kosten für die Dienstleistung, den jeweiligen Gültigkeitsdauern der Signatur-Zertifikate, Verwahrungsorten der privaten Schlüssel, Handhabung der zugehörigen Signaturhardware und Signatursoftware und im Einzelfall auch in den angesprochenen Zielgruppen. Es wird deshalb empfohlen, mindestens bezüglich der oben genannten Kriterien Vergleiche bei mehreren Anbietern durchzuführen.

4.2 Der Umfang der Unterlagen, die im Rahmen der Prüfung durch den Prüfsingenieur durch QES zu signieren ist, richtet sich nach den länderspezifischen gesetzlichen Grundlagen. Diese können den LBO und den zugehörigen Landesprüfverordnungen entnommen werden, die den Ablauf der Prüfung der bautechnischen Nachweise regeln. Normalerweise sind bei vorliegendem Schriftformerfordernis mindestens die Prüfberichte, die bautechnischen Nachweise, die Ausführungsunterlagen (falls diese Prüfgegenstand sind), Überwachungsberichte sowie gegebenenfalls landesspezifische Formulare am Ende der Prüftätigkeit mit QES zu signieren.

4.3 Vor dem Erstellen einer Signatur wird empfohlen, das geprüfte elektronische Dokument durch einen geeigneten Prüfstempel und ein Unterschriftenbild zu kennzeichnen. Diese können in den meisten PDF-Editoren grafisch individuell vorbereitet und abgespeichert werden. Empfehlenswert ist weiterhin, beim Signaturvorgang automatisiert einen sichtbaren Datumsstempel (lokales Signaturdatum) auf dem digitalen Dokument zu verorten.

Die Empfehlungen unter 4.3 sind für wirksame und gültige QES formal nicht erforderlich. Jedoch schaffen diese Maßnahmen, insbesondere in



Abb. 2: Beispiele für Prüfstempel zur Verortung von Unterschriftenbildern von elektronischen Signaturen:



Abb. 3 Signaturbeispiele mit Unterschriftenbild

Übergangsphasen, ein in der Welt des Bauens vertrautes und allgemein bekanntes Layout einer durch den Prüfingenieur geprüften Unterlage (Abb. 2).

4.4 Durch QES signierte elektronische Dokumente, die nicht schreibgeschützt wurden, können durch PDF-Editoren im Nachhinein verändert werden. Das gegebenenfalls versehentliche Einfügen eines einzigen Punktes verändert das elektronische Dokument, verändert somit den Hashwert und würde eine elektronische Signatur brechen und dieses bei einer Integritätsprüfung der PDF-Software erkennbar machen. Zur Vermeidung von versehentlichen Änderungen am elektronisch signierten Dokument und dem damit verbundenen Brechen der QES wird empfohlen, die Dokumente beim Signaturvorgang im PDF-Editor mit einem Schreibschutz zu versehen.

Hinweis: Im Einzelfall kann es erforderlich sein, dass weitere Ergänzungen in vom Prüfingenieur geprüften bautechnischen Nachweisen erforderlich werden (zum Beispiel werden in einigen Bundesländern weitere Ergänzungen durch Bauaufsichtsbehörden an geprüften Unterlagen vorgenommen oder im Falle von Mehrfachprüfinstanzen im Ingenieurbau). In diesem Falle ist auf einen Schreibschutz der geprüften elektronischen Unterlagen zu verzichten.

4.5 Jede elektronische Signatur ist mit einem lokalen Zeitpunkt des PC verbunden, auf welchem die Signatur erstellt wurde. Diese lokale Zeitangabe kann aus unterschiedlichen Gründen von dem realen Zeitpunkt abweichen, an welchem tatsächlich signiert wurde. Ein plausibles, einfaches Beispiel hierfür wäre unter anderem, dass der lokale PC, mit dem signiert wird, fehlerhafte Zeiteinstellungen in der Systemsteuerung besitzt. Diese lokalen Einstellungen sind vom Empfänger nicht einsehbar.

Um zusätzliches Vertrauen in den gespeicherten Signaturzeitpunkt zu erlangen, wird daher empfohlen, einer elektronischen Signatur einen Zeitstempel eines unabhängigen Zeitservers hinzuzufügen. Diesen zu-

sätzlichen Dienst bieten einige qualifizierte Vertrauensdienstanbieter an.

4.6 In den Bundesländern, die eine BVS als vertrauenswürdigen Vertrauensdienstanbieter anerkennen, kann die AdES der BVS ebenso verwendet werden.

5 Literatur/Quellen/Links

- [1] Anhörungsverfahren zur Änderung der MBO und der MBauVorV zur Erleichterung digitaler bauaufsichtlicher Verfahren; ARGEBAU vom 02.10.2019
- [2] OZG im Wortlaut. (o. D.). Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. <https://www.onlinezugangsgesetz.de/Webs/OZG/DE/grundlagen/info-ozg/info-ozg-wortlaut/ozg-im-wortlaut-node.html>
- [3] eIDAS-VO: Verordnung (EU) Nr. 910/2014 des europäischen Parlaments und des Rates über elektronische Identifizierung und Vertrauensdienste für elektronische Transaktionen im Binnenmarkt vom 23. Juli 2014

Technische Richtlinie TR – 03107-1 Elektronische Identitäten und Vertrauensdienste im E-Government; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Version 1.1.1, vom 07.05.2019

Technische Richtlinie TR – 03125 (Anhang TRESOR) Beweiswerterhaltung kryptographisch signierter Dokumente; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Version 1.2.2 vom 02.07.2019

https://www.elektronische-vertrauensdienste.de/cdn_131/EVD/DE/Verbraucher/Vertrauensdienste/Signatur/Signaturstart.html

<https://esignature.ec.europa.eu/efda/tl-browser/#/screen/home>

HERAUSGEBER

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

ISSN 1430-9084

REDAKTION

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

TECHNISCHE KORRESPONDENTEN

Baden-Württemberg: Dr.-Ing. Ralf Egner, Freiburg

Bayern: Dr.-Ing. Markus Staller, Gräfelfing

Berlin: Prof. Frank Prietz, Berlin

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

Bremen: Dipl.-Ing. Ralf Scharmann, Bremen

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

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

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

Niedersachsen: Dipl.-Ing. Wolfgang Wienecke, Braunschweig

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

Rheinland-Pfalz: Dipl.-Ing. Martin Hofmann, Mainz

Saarland: Dipl.-Ing. Gerhard Müller, Eppelborn

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

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

Schleswig-Holstein: Dr.-Ing. Johannes Vogt, Ascheberg

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

vpi-EBA: Dr.-Ing. Markus Hennecke, München

Die Redaktion des PRÜFINGENIEURS bittet seine Leserinnen und Leser dafür um Verständnis, dass sie sich der Zeiterscheinung des grundsätzlichen, durchgängigen Genderns 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.

DRUCK

Vogel Druck und Medienservice, Leibnizstraße 5, 97204 Höchberg

DTP

Satz-Studio Heimerl, Scherenbergstraße 12, 97082 Würzburg

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

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

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

Auflage: 5000 Exemplare

