TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

2021

Konstruktiver Ingenieurbau

Titelbild: Zero-Zementbeton – Alkalisch-aktivierter Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung

Inhalt

4 Holz, das einiges einstecken muss

5 Grüne Innovation

6 Drohnenflüge und Scan to BIM

7 Erdbebenauslegung ohne bleibende Schäden

8 Alle Fasern auf Kurs? – Richtungsanalyse von Stahlfasern in Spritzbeton

10 Erdbebensicherheit des leistungsstärksten Kernkraftwerks Europas

11 Im Holzbau hoch hinaus

12 Under Pressure – Der Königinnenweg vom Frischbeton zum Festbeton

14 Hochleistungsbeton der scheint und blendet – Heliostat aus Nanodur®-Beton

16 IMPAKT – Analyse mit FEM

17 Klimakiller Beton? Ein Lehre Plus-Projekt

18 Zero-Zementbeton im Praxistest

20 Basalt – Material der Zukunft

21 Impakt auf multiple Barrieren

22 Da könnte man am Rad drehen…

24 Standsicherheit durch Gefrieren

25 Vorträge 2021

27 Wenn Lehm zweimal in den Ofen kommt

28 Bloß nichts kaputt machen

30 Auf der Suche nach den Ursachen für den Performance Gap

31 Klimagerechtes und nachhaltiges Bauen

32 Baubeginn des Großtomographen „Gulliver“

34 “Please turn on your magic beam – Mr. Sandman bring us a dream“

36 Damit die Wärme nicht fernbleibt

37 Out-of-plane Tragfähigkeit von Mauerwerk

38 Kaputt und ausgelaugt, und dann?

40 Fertigteile im massiven Verkehrswasserbau

42 Holzhybridbauweise als Gamechanger?

44 Großmaßstäbliche Verbundträgerversuche

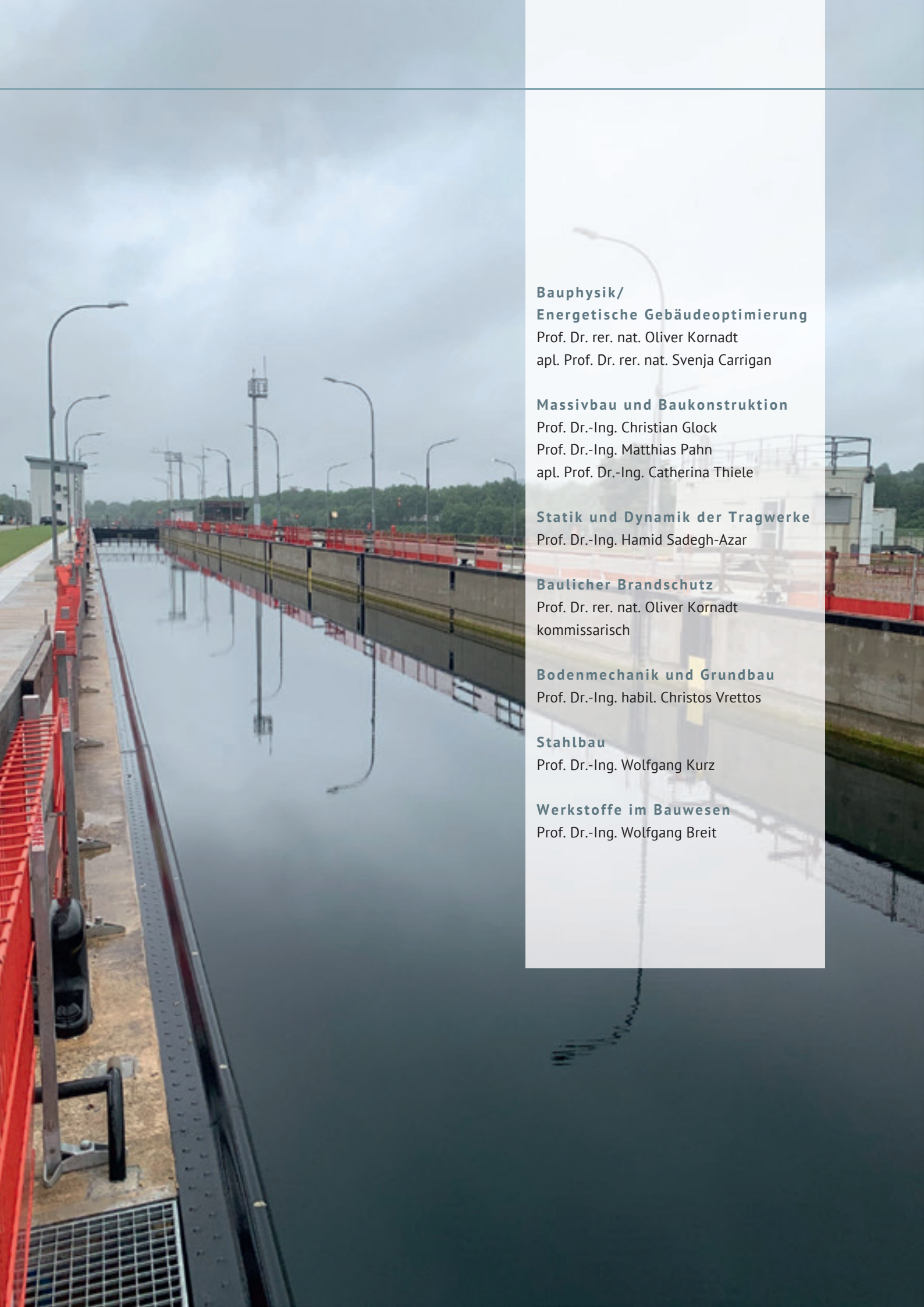
45 Ruhe bitte!

46 Kurz berichtet…

51 Nordischer Gott der Normung? O – DIN!

55 Mitarbeiter | Promotionen…

57 Veröffentlichungen 2021



Bauphysik/
Energetische Gebäudeoptimierung
Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kornadt
apl. Prof. Dr. rer. nat. Svenja Carrigan

Massivbau und Baukonstruktion
Prof. Dr.-Ing. Christian Glock
Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn
apl. Prof. Dr.-Ing. Catherina Thiele

Statik und Dynamik der Tragwerke
Prof. Dr.-Ing. Hamid Sadegh-Azar

Baulicher Brandschutz
Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kornadt
kommissarisch

Bodenmechanik und Grundbau
Prof. Dr.-Ing. habil. Christos Vrettos

Stahlbau
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz

Werkstoffe im Bauwesen
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit

Liebe Freunde und Freundinnen des Konstruktiven Ingenieurbaus!

In den letzten Jahren ist der Zielkonflikt zwischen wirtschaftlichem Wachstum, Wohlstand und Nachhaltigkeit mehr und mehr in das Zentrum öffentlicher – vielleicht auch privater – Diskussionen gerückt. Da ist zum einen das Bewusstsein um den in Deutschland erreichten Wohlstand, gepaart mit Skepsis, ob und wie dieser gehalten werden kann und verbunden mit der Befürchtung einer schiefen Verteilung. Zum anderen zweifeln immer mehr Menschen an dem bisherigen Mantra der Wirtschaftsweisen zur Korrelation zwischen stetigem Wirtschaftswachstum und Wohlstandssicherung. Wachstum als politische Prämisse wird abgelöst von einem Ruf nach Nachhaltigkeit. Und der Begriff Nachhaltigkeit wird mehr und mehr zu einem großen Sammelbecken für eine Vielzahl von politischen Zielen, wie Armutsbekämpfung, Geschlechtergerechtigkeit, Energiewende, Recycling und Klimaschutz, um nur einige zu nennen. Die UN-Agenda zur Nachhaltigen Entwicklung listet hier ganze 17 Ziele auf. Zur Erinnerung: Ursprünglich stammt der Begriff aus der Forstwirtschaft und bedeutet „Fälle nur so viel Holz wie auch nachwächst“.

Kein Wunder, dass sich hier viele Zielkonflikte auftun, über die nicht nur politische Parteien streiten, sondern Junge gegen Alte, Landbewohner gegen Städter, Vielflieger gegen Home-Office-Arbeitende, und so weiter, und so weiter. Dabei suchen alle wohl „nur“ nach einem neuen Zielbild einer lebenswerten Zukunft und geeigneten Schritten dahin.

Und um diese geeigneten Schritte geht es in dem vorliegenden Jahresbericht des Konstruktiven Ingenieurbaus! Wir Bauingenieure stehen seit den Anfängen unseres Berufsstandes im Zentrum der Gestaltung unserer Umwelt. Mit all den Spezialisierungen und Facetten der Berufsgruppe der (Bau-)Ingenieure sind wir aufgefordert, die Vision einer lebenswerten Zukunft mit zu definieren, innovative Lösungen für den Weg dahin zu entwickeln und trotzdem den Blick für das Machbare zu behalten – und dies auch zu artikulieren.

Ich würde mich freuen, wenn diese Gedanken Sie beim Lesen der Berichte dieses Heftes begleiten. Allen Studierenden, Forschenden, Lehrenden und Praktizierenden auf dem Gebiet des Konstruktiven Ingenieurbaus wünsche ich viel Enthusiasmus und genug Ausdauer bei der Bewältigung ihrer Aufgaben, ganz im Sinne einer – noch – lebenswerteren Zukunft.

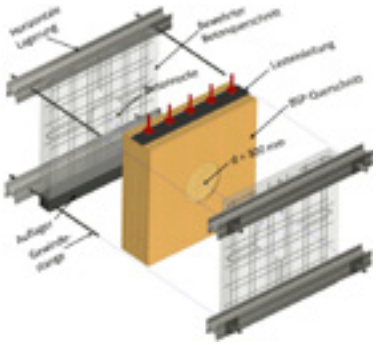
Ihr

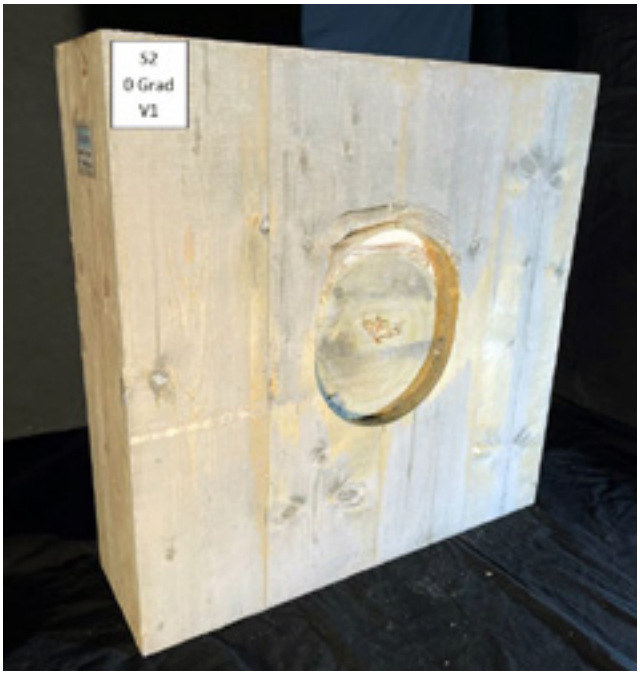
Michael Blaschko
Honorarprofessor im Fachbereich Bauingenieurwesen,
Lehrbeauftragter im Fachgebiet „Massivbau und Baukonstruktion“

Holz, das einiges einstecken muss

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wird eine zweiachsig spannende Holz-Beton-Verbunddecke (HBV-Decke) entwickelt, welche die Vorteile der bereits etablierten Flachdecke in Massivbauweise mit den Vorzügen des HBV-Baus verbinden soll. Dabei kommt der Entwicklung des Verbundmittels besondere Beachtung zu, da aktuell kein Verbundmittel existiert, welches eine richtungsunabhängige Schubkraftübertragung ermöglicht.

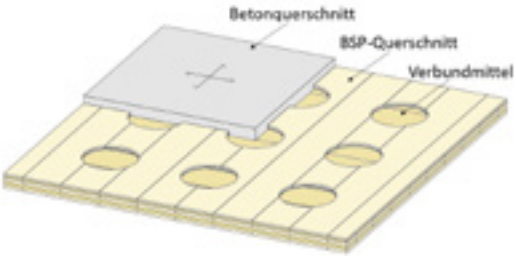
Für das neuartige Verbundmittel wird eine zylindrische Ausnehmung in das Brettsperrholz (BSP) eingefräst, welche dann im Zuge der Betonage formschlüssig ausgefüllt wird. Da diese Variante bisher noch nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen war, werden umfangreiche numerische und experimentelle Analysen durchgeführt. Dabei werden zur gezielten Charakterisierung der Verbundmitteleigenschaften Push-out-Versuche durchgeführt. Die Anforderungen an das Verbundmittel (Betonnocke) sind eine möglichst hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig duktilem Verhalten nach Erreichen der Maximallast. Deshalb muss das Versagen im BSP-Querschnitt auftreten, da ein Betonversagen der unbewehrten Nocke als spröde einzustufen wäre. Eine zusätzliche Anforderung an die Betonnocke in der HBV-Decke sind richtungsunabhängige Eigenschaften. Um dies zu überprüfen, wird die Orientierung der Holzfasern in den einzelnen BSP-Schichten variiert.





Bei den Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Betonnocke in der Lage ist, die gewünschten Zielkriterien zu erfüllen. So können hohe Tragfähigkeiten und Steifigkeiten erreicht werden. Die aufnehmbare Last verbleibt selbst bei großen Schlupfwerten näherungsweise konstant auf Traglastniveau. Gleichzeitig stellen sich lokal sehr große plastische Holzverformungen ein und auch der schlussendliche Versagensort liegt im Holzquerschnitt.

Nach der erfolgreichen Erprobung des Verbundmittels steht im nächsten Schritt die Untersuchung der Verbunddecke als Gesamtbauteil im Fokus. Hierzu wurden bereits erste numerische Simulationen durchgeführt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden Bauteilversuche konzipiert, welche im kommenden Jahr durchgeführt werden sollen.

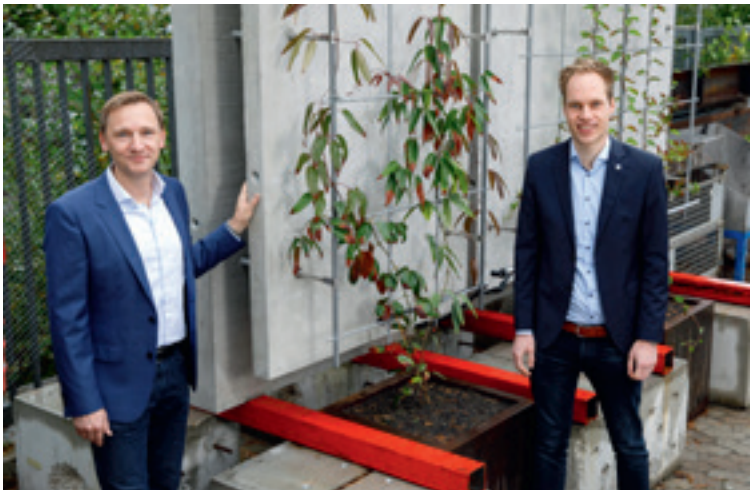


Grüne Innovation

Klimaschutz und Klimafolgenanpassungen sind zentrale Herausforderungen der Zukunft. Eine bereits spürbare Folge der Erderwärmung ist der Anstieg der Lufttemperatur in Städten. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts prognostizieren Klimamodelle eine weltweite Zunahme der Lufttemperatur um 1,4°C bis 4,0°C.

Neben dem Klimawandel und der einhergehenden globalen Erderwärmung stellt auch die steigende Urbanisierung eine immer größere Herausforderung für die Menschheit dar. Die Stadtbevölkerung wächst deutlich schneller als die gesamte Weltbevölkerung. Nach UN-Schätzungen werden bis zum Jahr 2050 über 6 Mrd. Menschen in Städten wohnen, dies entspricht gegenwärtig der Anzahl der Menschen, die die Erde bevölkern. Herausforderungen wie die demografische Entwicklung, soziale Problemviertel, Migrationsströme oder Nutzungskonflikte um freie Flächen sind zu bewältigen.

Entscheidende Lösungsansätze stellen bauteilbezogene Begrünungskonzepte zur nachhaltigen Gestaltung eines Stadtraums dar. Besonders die Fassade bietet durch ihre vertikalen Freiflächen ein enormes Potential zur Stadtbegrünung. Hierdurch wird das Mikroklima in urbanen Räumen verbessert, gleichzeitig steigt die Lebensqualität für den Menschen. Durch die Schaffung von Pflanzenmassen wird Kohlendioxid aus der Umgebungsluft gebunden und Sauerstoff gebildet. Die Verdunstung von Wasser über die Blätter erhöht die Luftfeuchtigkeit und senkt die Temperaturen in der Umgebung. Durch die Absorption von Staubteilchen auf der Blattoberfläche wird die Luftbelastung verringert.



Bildquelle: Reiner Voß, view / TUK

Mit dem Forschungsvorhaben „Entwicklung einer wärmebrückenfreien Betonfertigteilfassade mit integrierter Kletterhilfe zur dauerhaften Fassadenbegrünung“ gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, wurde ein Konzept für mehrschichtige Betonfertigteile mit einer integrierten Kletterhilfe zur dauerhaften Fassadenbegrünung für den Neubau in Form eines Demonstrators entwickelt. Hierdurch wird eine Lösung zur schnellen und einfachen Begrünung mit direkter Bewässerung von innerstädtischen Gebäuden geschaffen. Gleichzeitig wird das Mikroklima in urbanen Räumen verbessert und die Lebensqualität für den Menschen gesteigert. Das Begrünungssystem leistet somit einen positiven Beitrag für die Umwelt. Das System und das Konzept wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Vertiko GmbH entwickelt.

Fabian Kaufmann | Thomas Tschickardt | Christian Glock

Drohnenflüge und Scan to BIM

...für das digitale Planen und Bauen von morgen

Bildquelle: Wayss & Freytag Ingenieurbau AG

Die modellbasierte Projektabwicklung soll gemäß den Masterplänen „Masterplan BIM – Bundesfernstraßen“ und „Masterplan BIM für Bundesbauten“ der deutschen Bundesregierung im Jahre 2025 in den Regelbetrieb gehen. Der Lebenszyklus eines Bauwerksinformationsmodells (BIMs) erstreckt sich hierbei von der Planungs- über die Ausführungs- bis hin zur Betriebs- und Erhaltungsphase. Für die Anwendung von BIM in der Ausführungsphase ist das Erfassen von Daten und Informationen, z. B. über den Baufortschritt, von entscheidender Bedeutung. Aktuell existieren erste Forschungsansätze, die auf einer automatisierten Erfassung von Informationen mithilfe von photogrammetrischen Verfahren und / oder Laserscanning (engl. light detection and ranging, „LiDAR“) während der Ausführungsphase beruhen.

Im Ingenieurbau und insbesondere im Brückenbau bieten sich für den Erfassungsprozess Drohnen an. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, auf Grundlage des bauzeitlichen BIMs (Geometrie + Zeit = 4D-BIM) eine modellbasierte automatisierte Erfassung zu planen, zu validieren und durchzuführen. Eine weitere Herausforderung ist, die während der Befliegung erzeugte, unstrukturierte Punktwolke automatisiert in ein hinreichend detailliertes Wie-gebaut BIM (engl. as-built BIM) zu überführen. Solche Wie-gebaut BIMs sind notwendige Voraussetzung für nachgelagerte Auswertungsprozesse, z. B. die automatisierte Baufortschrittserfassung. Bei der Überführung von Punktwolken in Wie-gebaut BIMs ist die Bauteilerkennung ein zentraler Schritt der semantischen Informationsauswertung. Für die Bauteilerkennung in Punktwolken scheint der Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz vielversprechend und wird bereits beforscht. Die Methoden sind jedoch zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht ausreichend entwickelt, um sie in der Praxis flächendeckend einzusetzen. Nach der Erzeugung von Wie-gebaut BIMs können Qualitätssicherungsmaßnahmen, wie z. B. der geometrische Abgleich zwischen Wie-geplant/terminiert BIM (engl. as-designed/scheduled) und Wie-gebaut BIM durchgeführt werden, um die tatsächlichen Positionen und Abmessungen sequenziell validieren und beurteilen zu können.

Im Rahmen der voranschreitenden Digitalisierung und Automatisierung im Bauwesen entwickelt das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion die zuvor angesprochenen Forschungsansätze im Bereich automatisierte, drohnenbasierte Erfassung und Überführung von Punktwolken in BIMs weiter. Die Forschung wird momentan sukzessiv umgesetzt, wobei aktuell der Fokus im Bereich Drohnensimulation und Erzeugung synthetischer Trainingsdaten liegt. Durch die Kooperation mit der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG kann eine praxisgerechte Umsetzung im Forschungsumfeld gewährleistet werden.

Lukas Helm | Hamid Sadegh-Azar

Erdbebenauslegung ohne bleibende Schäden

Einsatz innovativer Ringfeder-Dämpfer

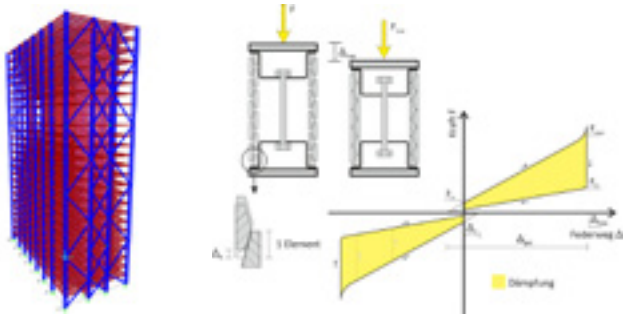
Jedes Jahr führen auf der ganzen Welt seismische Aktivitäten zu Schäden an Gebäuden. Auch in Europa, vor allem am Mittelmeer und auf dem Balkan, kommt es zu Schäden in Milliardenhöhe. So haben mehrere Erdbeben Ende 2016 in Mittelitalien insgesamt 299 Todesopfer gefordert und viele Orte wurden fast vollständig zerstört.

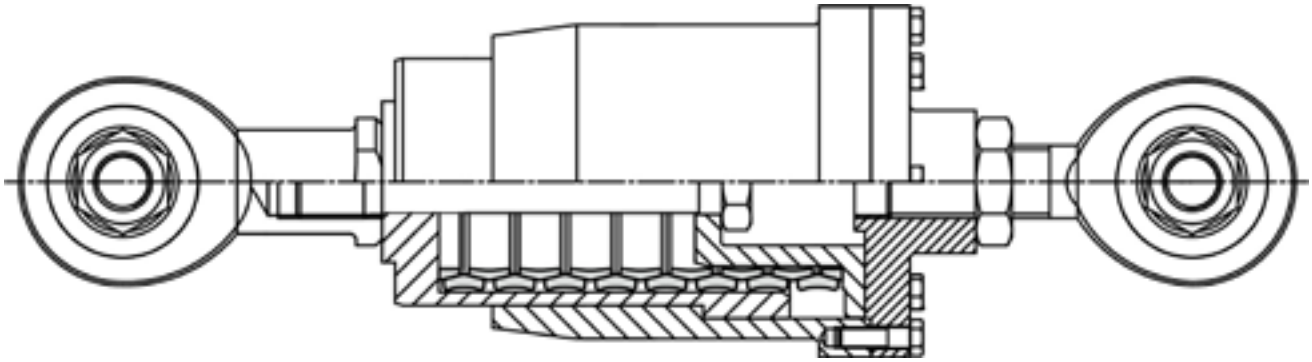
Beim erdbebensicheren Bauen müssen Gebäude den Erdbeben standhalten und dürfen nicht einstürzen. Eine innovative Lösung die Tragfähigkeit eines Gebäudes bei seismischer Einwirkung zu erhöhen ist der Einsatz von Dämpfern. Diese wandeln Bewegungsenergie in Wärmeenergie um, wodurch Schwingungen und somit die Belastung auf die Tragstruktur reduziert wird. Ringfedern haben genau diese Wirkung und somit ist der Einsatz als Dämpfer naheliegend. Zudem bieten sie eine Reihe von Vorteilen: Sie sind äußerst robust, hitzebeständig, langlebig und wartungsarm. Ihr Verhalten ist superelastisch, wobei die Feder trotz großer Verformungen und hoher Energiedissipation immer wieder in den Ausgangszustand zurückkehrt.

Die Ringfedern, oder auch Reibungsfedern genannt, werden aus zyklisch belastbarem Federstahl hergestellt. Sie bestehen dabei aus Außen- und Innenringen mit jeweils konischen Berührungsflächen. Die Federn werden axial belastet und dadurch dehnen sich die Außenringe im Durchmesser aus, während die Innenringe gestaucht werden. Die Verformung der Ringe ist elastisch, aber es entstehen so hohe Reibkräfte, dass die Rückstellkraft schließlich sehr viel kleiner ist, als die maximale Verformungskraft. Typischerweise beträgt die Reduktion ca. 66 %.

Anhand von einem Hochhausprojekt wurde die Anwendung von Ringfedern als Dämpferelement in den Aussteifungsverbänden numerisch untersucht. Die Berechnungen haben gezeigt, dass die Schnittgrößen durch den Einsatz der Dämpfer signifikant reduziert wurden.

Die Untersuchungen haben verdeutlicht, dass ein mit Ringfedern ausgestattetes Gebäude ein Erdbeben ohne große plastische Verformungen und Schäden übersteht und somit ein maßgeblicher Beitrag zum Investitionsschutz (Wirtschaftlichkeit) und zum nachhaltigen Einsatz von knappen Materialien und Ressourcen geliefert wird.





Anja Tusch | Wolfgang Breit | Frank Schuler

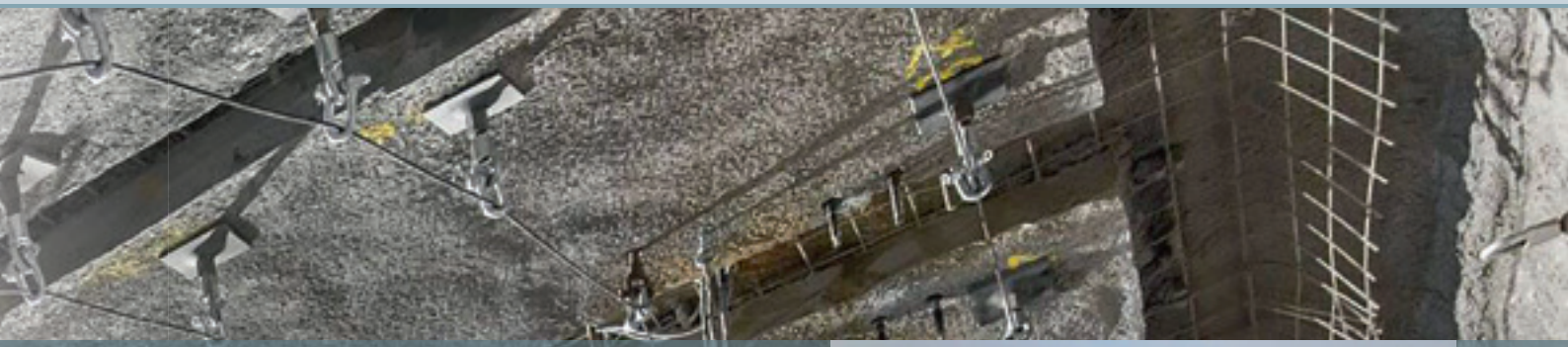
Alle Fasern auf Kurs? – Richtungsanalyse von Stahlfasern in Spritzbeton

Bildquelle: Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)

Im niedersächsischen Salzgitter wird aktuell das ehemalige Eisenerzbergwerk Schacht Konrad zum Endlager ausgebaut. Für die Herstellung der Tunnelschalen aus Spritzbeton sollte in Teilabschnitten konventionelle Bewehrung durch Stahlfaser ersetzt werden. Hierzu ist es erforderlich, die Stahlfasern statisch anzurechnen. Die in Deutschland anwendbaren Bemessungskonzepte der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ können nicht ohne Weiteres angewendet werden, da die Richtlinie die Anwendung von Stahlfaserspritzbeton derzeit noch aufgrund nicht ausreichender baupraktischer Erfahrung ausschließt. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass durch das Spritzverfahren eine ungünstige Faserorientierung orthogonal zur Spritzrichtung resultiert. Somit entspricht die Faserorientierung einer zweidimensionalen Ausrichtung parallel zu den Begrenzungsflächen. Für den vorliegenden Anwendungsfall „Schacht Konrad“ kann die sonst als ungünstig eingestufte Faserausrichtung jedoch als vorteilhaft angesehen werden. Da im Tunnelbau die Hauptspannungen in Ringrichtung verlaufen, wird erwartet, dass sich durch die Ausrichtung der Fasern in Längsrichtung der Spannungen ein vorteilhaftes System ausbildet, in dem die Fasern bemessungstechnisch in Ansatz gebracht werden können.

In Abstimmung zwischen der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), der Prüfgemeinschaft Schacht Konrad und den Planern wurde festgelegt, dass die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ bei der Bemessung sowie der Ermittlung der Leistungsklassen zur Anwendung kommen soll. Hierzu galt es einen Stahlfaserspritzbeton zu qualifizieren, der die notwendigen Verarbeitungseigenschaften aufweist und die Anforderungen an die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit erfüllt. Die notwendigen Nachweise waren im Rahmen einer Erstprüfung zu erbringen und mussten, da die Regelwerke nur „in Anlehnung“ angewendet werden können, gutachterlich begleitet und bewertet werden. Im Rahmen dieser gutachterlichen Begleitung, die durch die Ingenieurgesellschaft bsm² Breit · Schuler · Merkel Beratende Ingenieure PartGmbB, Kaiserslautern übernommen wurde, wurden durch das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen ergänzende Untersuchungen auf Basis bildanalytischer Auswertung von Computertomographie-Aufnahmen von aus Probekörpern und/oder Bauteilen entnommenen Bohrkernproben durchgeführt. Die Ergebnisse konnten zur Klärung der Fragestellung der im Bauteil vorliegenden Faserorientierung beitragen und damit die Annahme der Ausrichtung der Fasern in radialer Richtung bestätigen. Nach erfolgreichem Abschluss der Untersuchungen im Rahmen der Erstprüfung sowie deren Bewertung und der im Anschluss erfolgten Genehmigung der Bauweise durch das Bergamt finden die ausführungsbegleitenden Untersuchungen zur Qualitätssicherung statt.

Bildquelle: Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)



Einsatz von stahlfaser-verstärktem Spritzbeton zur Herstellung von Tunnelschalen im Endlager Schacht Konrad.

Bildquelle: Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)

Bildquelle: Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)

Erdbebensicherheit des leistungsstärksten Kernkraftwerks Europas

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes METIS leitet das Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke die Untersuchung der Methoden zur Bewertung der Strukturen und Komponenten europäischer Kernkraftwerke im Hinblick auf ihre Erdbebensicherheit. Im Zuge des Projektes werden die neu entwickelten Methoden an einem Berechnungsbeispiel mit den bisherigen Ansätzen verglichen. Als Grundlage der Strukturen dienen bei dieser Untersuchung das ukrainische Kernkraftwerk Saporischschja, welches mit einer Nettoleistung von 5.700 MW aus sechs Reaktorblöcken das leistungsstärkste in Europa ist und zu den leistungsstärksten Weltweit zählt.

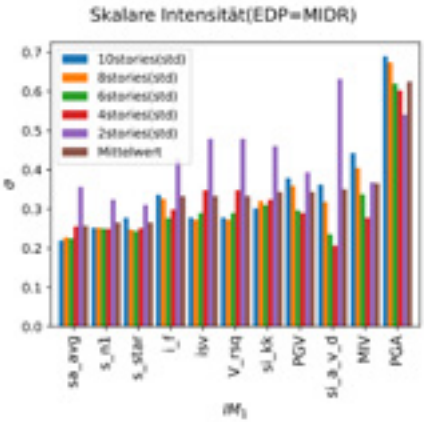
Bildquelle: Denamax, Wikipedia, CC BY-SA 4.0

Um die Erdbebensicherheit der Strukturen besser bewerten zu können wird die Struktur in Zusammenhang mit einem fiktiven Standort in Italien untersucht. Die wesentlich höhere Erdbebengefährdung in Italien erlaubt den beteiligten Ingenieuren eine tiefergehende Untersuchung der Erdbebensicherheit weit über die Designgrenzen der Strukturen und Komponenten hinaus.

Während im letzten Jahr die zu betrachtenden kritischen Strukturen ausgewählt wurden, geht es nun an die Modellierung jener. In einem zweitägigen europäischen Forschungstreffen wurden dabei die neuen Methoden diskutiert und die neuen Entwicklungen im Hinblick auf die gesamte Berechnungskette besprochen. Neben den Strukturen werden jedoch auch die Methoden zur Beschreibung der Erdbebeneinwirkung betrachtet. Hierbei ist im Erdbebeningenieurwesen immer noch die maximale Beschleunigung als seismischer Intensitätsparameter geläufig. Zusammenhänge zwischen diesem und der Gebäudeschädigung infolge Erdbeben sind jedoch nicht immer gegeben, sodass die Auswahl passenderer Ingenieurseismologischer Parameter zu einer der großen Aufgaben des Erdbebeningenieurwesens im 21. Jahrhundert zählt.

Infolge der neu entwickelten Methoden wird es möglich sein, Sicherheiten gegen eine Erdbebeneinwirkung mit einer neuen Genauigkeit und unter Berücksichtigung detaillierterer Effekte zu bewerten um somit einen erheblichen Beitrag zur Sicherheit kritischer Infrastrukturen in Europa zu liefern.

Bildquelle: Tubs, Wikipedia, CC BY-SA 3.0



Sabine Scheidel | Oliver Kornadt

Im Holzbau hoch hinaus

Der Holzbau erfreut sich einer immer weiterwachsenden Beliebtheit. Die Vielzahl an Publikationen zu Holzgebäuden in der Gebäudeklasse 5, die nicht nur innerhalb Deutschlands, sondern Europaweit zu verzeichnen sind, bestätigt dies. Holz ist als ökologischer Baustoff geeignet, im Bauwesen eine namhafte Reduzierung des CO_2-Ausstoßes zu bewirken. Die noch weit verbreiteten Baustoffe, wie Stahl oder Mauerwerk sind in deren Herstellung mit deutlich höheren Emissionsausstößen verbunden. Holz bietet hingegen den Vorteil, dass das Material CO_2 langfristig bindet und somit auf natürliche Weise dazu beiträgt, die Klimaschutzziele einzuhalten. Zudem ist der Holzrahmenbau durch seine unterschiedlichen Vorfertigungsgrade besonders Zeiteffektiv bei der Errichtung und hat auch im urbanen Bauen durch sein günstiges Verhältnis von Tragfähigkeit und Eigengewicht viele Vorteile.

Ein deutlicher Unterschied zu den mineralischen Baustoffen zeigt sich bei Holz im Bereich der Brennbarkeit. Während Stahl, Mauerwerk und Beton zu nichtbrennbaren Baustoffen gehören, ist Holz als natürlicher Baustoff in die Kategorie der normalentflammbaren Baustoffe einzuteilen. Dies erschwert den Einsatzbereich in hohen Gebäuden, denn baurechtlich kann Holz ohne einen zusätzlichen Schutz nur bis zur Gebäudeklasse 3 eingesetzt werden. Mit einer allseitigen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung und einer nichtbrennbaren Dämmung ist die Verwendung in Gebäudeklasse 4-Objekten gestattet. Dies regelt die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise. In einigen Bundesländern wurde auch die Gebäudeklasse 5 für den Holzbau freigegeben. Die genannte Richtlinie sieht hierfür allerdings nur den Massivholzbau vor.

Zur Berechnung von Holzrahmenbauteilen kann mit dem additiven Berechnungsverfahren, welches in der DIN EN 1995-1-2 Anhang E beschrieben wird, ein Nachweis der raumabschließenden Funktion nach Ingenieurmethoden durchgeführt werden. Diese ist jedoch in der aktuell gültigen Norm nur auf eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten begrenzt und beinhaltet keine Werte zur Anwendung brennbarer Dämmstoffe. Um die Anwendbarkeit des Holzrahmenbaus voranzutreiben, beschäftigt sich das Fachgebiet Baulicher Brandschutz mit der Firma Pirmin Jung Deutschland GmbH mit der Möglichkeit das Verfahren auszuweiten. Dabei werden klein- und großmaßstäbliche Brandversuche sowie thermische Simulationen genutzt, um das bestehende additive Berechnungsverfahren für raumabschließende Bauteile zu optimieren und die Anwendung von brennbaren Dämmstoffen und für Gebäude bis zur Hochhausgrenze einzubinden. Das Projekt wird vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert.

Sara Blietschau | Wolfgang Breit

Under Pressure – Der Königinnenweg vom Frischbeton zum Festbeton

Im Beton enthaltene Luftporen beeinflussen in Abhängigkeit von ihrem Gesamtvolumen neben der Verarbeitbarkeit des Frischbetons ebenfalls die Festigkeitseigenschaften des Festbetons. Je nach Exposition eines Bauteils ist jedoch vorrangig das Luftporengefüge, folglich die Größe, Verteilung und das Volumen der Poren, ausschlaggebend für die spätere Dauerhaftigkeit.

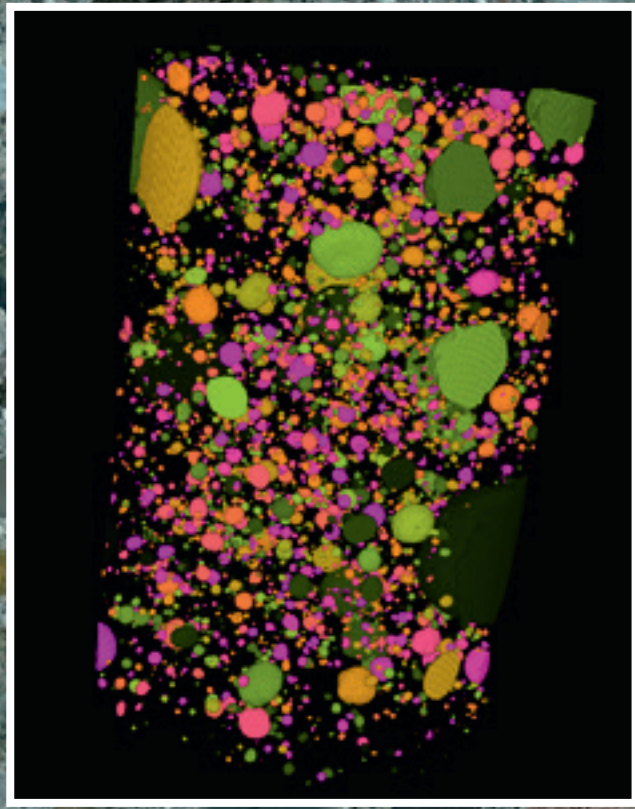
Während mit dem Druckausgleichverfahren nach DIN EN 12350-7 der Luftgehalt am Frischbeton innerhalb weniger Minuten bestimmt werden kann, ist eine Untersuchung des Luftporengefüges erst am Festbeton möglich. Messverfahren, die dabei zur Abschätzung der Dauerhaftigkeit bei Frostangriff mit und ohne Taumittel herangezogen werden können, sind zum einen die Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes nach DIN CEN/TS 12390-9 bzw. BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ (innerhalb von 49 Tagen nach Probenherstellung) sowie zum anderen das Messlinienverfahren nach DIN EN 480-11, bei dem neben dem Luftgehalt am Festbeton ebenfalls die Kenngrößen Abstandsfaktor und Mikroluftporengehalt bestimmt werden (frühestens sieben Tage nach Herstellung).

Da eine inhomogene Luftporenverteilung trotz eines eingehaltenen Frischbetonluftporengehalts eine unzureichende Dauerhaftigkeit zur Folge haben kann, die Versuchsdurchführung am Festbeton als zeitaufwendig gilt, mit hohen Investitionskosten in die Prüfgeräte verbunden und erst abgeschlossen ist, wenn das Material bereits verbaut wurde, liegt es nahe Verfahren zu entwickeln, die eine Untersuchung des Luftporengefüges am Frischbeton oder -mörtel dahingehend ermöglichen, dass Aussagen zu den Festbetoneigenschaften getroffen werden können.

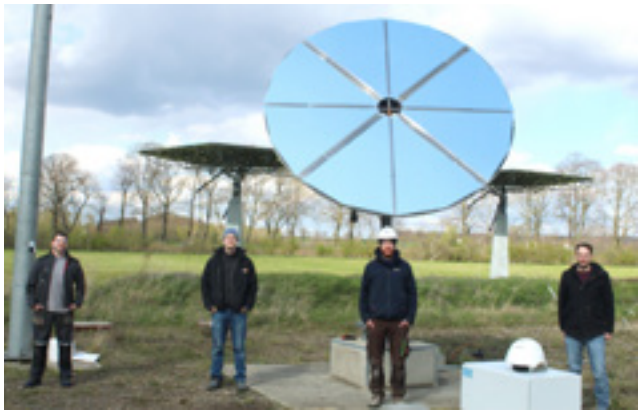
Ein solches Prüfverfahren, das durch ein mehrstufiges Druckausgleichverfahren eine Korrelation zum Abstandsfaktor herstellen soll, wird im Rahmen eines seit 2019 laufenden AiF ZIM Forschungsvorhabens am Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern in Kooperation mit der Firma Testing Bluhm und Feuerherdt GmbH, Berlin untersucht. Ziel des Forschungsvorhabens ist dabei die Weiterentwicklung dieses Prüfverfahrens zur Prognose der Festbetoneigenschaften aus den Ergebnissen der Frischbetonuntersuchungen.

In bisherigen Versuchen wurde die aus Kompression und Löslichkeit der Luftporen resultierende Antwort der Frischbetonproben auf Druckeinwirkungen geprüft und ausgewertet sowie eine Gegenüberstellung dieser Daten mit den zugehörigen Festbetonkenndaten (Luftporengefüge am Festbeton und Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand) vorgenommen. Des Weiteren stellte die Untersuchung von unter Druckeinwirkung ausgehärteten Proben einen Teil der Versuchsserie dar. Aus den Daten können erste Korrelationen abgeleitet werden. Dabei wurde deutlich, dass Faktoren wie die Art (künstlich, natürlich, Kombination) und die Menge an zugegebenem Luftporenbildner die Reaktion des Frischbetons auf Druck beeinflussen. Für die angestrebte Optimierung des nach DIN EN 12350-7 normativ geregelten Druckausgleichverfahrens, das aufgrund von nicht isothermen Zustandsänderungen und einem als tendenziell unzureichend angesehenen Prüfdruck kritisiert wird, waren umfangreiche Versuche ebenfalls Bestandteil des Projektes. Diese umfassten neben vergleichenden Frischbetonuntersuchungen mit variierenden Prüfdrücken, außerdem die Aufzeichnung der internen Temperatureinwirkung bei Drucksteigerung im System. Der Einfluss verschiedener Prüfdrücke sowie interner und externer Temperaturdifferenzen konnte so untersucht und ausgewertet werden.

Zur Festlegung eines optimalen Überdrucks und zur Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Tenside auf die Löslichkeit sind zusätzliche Versuchsreihen geplant, die in weiteren Forschungsarbeiten vertiefend analytisch und experimentell untersucht werden.



Hochleistungsbeton der scheint und blendet – Heliostat aus Nanodur®-Beton



Mit dem Pariser Klimaabkommen hat sich die Europäische Union das Ziel gesetzt, als erster Kontinent klimaneutral zu werden. Basierend auf den Daten der International Energy Agency (IEA) bestand die Gesamtenergieversorgung Europas noch im Jahr 2019 zu über 70% aus fossilen Energieträgern (https://www.iea.org/regions/europe). Durch die fortschreitende Digitalisierung der Gesellschaft ist zudem ein Anstieg des Energiebedarfs zu erwarten, den es in Zukunft mit erneuerbaren Energien zu decken gilt.

Zur Nutzung der solarthermischen Energie eignen sich, insbesondere in sonnenreichen Gebieten, großflächige Solarkraftwerke. Im Falle von punktfokussierenden Solarkraftwerken, wird die solare Energie in einem Punkt, dem sogenannten Fokalpunkt fokussiert. In diesem wird ein thermisches Medium erhitzt und so die Sonnenenergie mittels Kraftwerksprozessen nutzbar gemacht. Die Fokussierung des auf die Erde treffenden Sonnenlichts erfolgt über große, frei einstellbare Spiegelflächen. Diese verfahrbaren Spiegelsysteme werden als Heliostat bezeichnet.

Im Rahmen des Erkenntnistransferprojekts: „Adaptive Präzisionsstrukturen von Heliostaten aus Hochleistungsbeton für punktfokussierende Solarkraftwerke“ wurde die mögliche Umsetzung eines Heliostaten aus Hochleistungsbeton untersucht. In Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum und weiteren Partnern, wie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Durcrete GmbH, der Innogration GmbH und der Almeco GmbH wurde das Projekt 2017 ins Leben gerufen und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, Fördernummer: 389020360) gefördert.

Die Aufgabe des Fachgebiets Massivbau und Baukonstruktion bestand in der Umsetzung und Herstellung eines Großdemonstrators mit einer optimierten Betonstruktur zum Lastabtrag der reflektierenden Spiegelflächen. Dazu wurden vier filigrane Betonfertigteile mit einer Strebenbreite von 40 mm (Querstreben) bzw. 50 mm (Hauptstreben) hergestellt. Die Formgebung erfolgte mit Hilfe einer fünfteiligen, mit Epoxidharz beschichteten Negativschalung aus Polystyrol. Der verwendete Hochleistungsbeton basiert auf dem Nanodur® Compound 5941 der Firma Dyckerhoff GmbH und wurde durch einen präzise vorgefertigten, geschweißten Bewehrungskorb mit zusätzlicher Mikrobewehrung an den Oberflächen verstärkt.

Die vier hergestellten Fertigteile wurden final in der Mitte des Heliostaten an einen Stahlring mit der Heliostatenaufhängung angeschraubt. Die Spiegelfläche wurde mit acht Zuschnitten des Materials VEGAPRIME der Almeco GmbH ausgeführt, die über bereits bei der Herstellung der Betonbauteile, eingelassene Gewindehülsen verschraubt wurden. Mit einem Gesamtdurchmesser von 3,2 m wird somit eine Spiegelfläche von rund 8 m² realisiert. Durch zwei unabhängige, elektrisch betriebene Linearantriebe können sowohl der Azimut Winkel als auch die Neigung der Spiegelfläche stufenlos eingestellt werden.

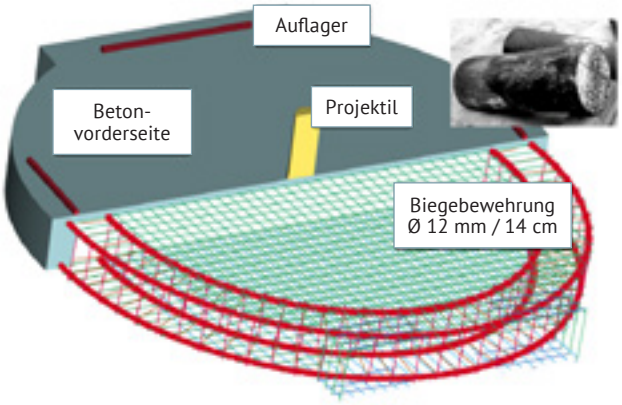
Nach einem ersten Testaufbau im Labor für konstruktiven Ingenieurbau der Technischen Universität Kaiserslautern, konnte der modular hergestellte Heliostat wieder in seine Einzelteile zerlegt und anschließend auf dem Solarfeld des DLR in Jülich aufgebaut werden. Dort wurde der Heliostat durch das DLR optisch mittels Fotogrammmetrie vermessen und qualifiziert.

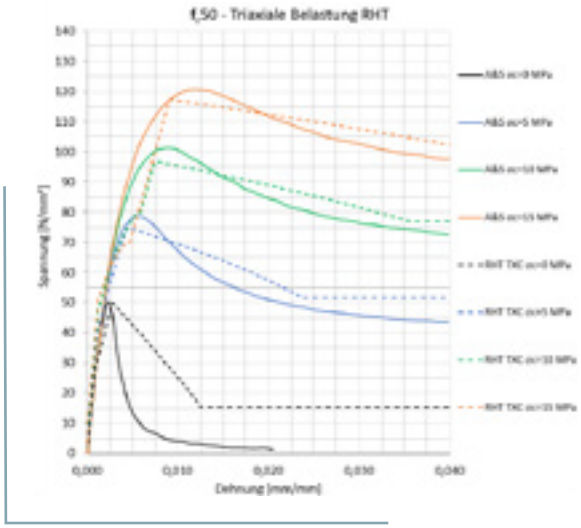
IMPAKT – Analyse mit FEM

Dynamische Impaktbelastungen wie der Flugzeugabsturz oder Projektilaufprall stellen außergewöhnliche Belastungen und dementsprechend eine große Herausforderung bei der Gestaltung und Bemessung von Bauwerken dar. Insbesondere die Stahlbetonstrukturen von nuklearen oder industriellen Anlagen mit erhöhten Sicherheitsanforderungen müssen absichtlichen oder unbeabsichtigten Aufprallszenarien standhalten.

Basierend auf experimentellen Ergebnissen skalierter Impakttests und den enormen Fortschritten hinsichtlich rechnergestützten Ressourcen (Rechenleistung) in den letzten beiden Jahrzehnten, konnten numerische Berechnungsmethoden, insbesondere die Finite Elemente Methode (FEM) dazu genutzt werden vorhandene Analysemethoden und Ansätze zur Schädigungssimulation infolge Stoßbeanspruchungen, weiterzuentwickeln bzw. deren Robustheit zu prüfen und zu optimieren. Dies geschieht im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsprojektes „Robuste Ingenieurmodelle zur Schädigungssimulation von Stahlbetonstrukturen infolge stoßartiger Belastungen“.

Dabei werden zunächst die wesentlichen methodische Aspekte eines numerischen Analysemodells, basierend auf der Finite-Elemente Methode (FE-Methode) aufbereitet. Besonders wichtig ist hierbei die Werkstoffcharakterisierung der in den Versuchen beteiligten Materialien, wie die Projektil- und Bewehrungsstähle und der Betone der Zielkörper. Es stehen verschiedene parametergesteuerte Materialmodelle zur Verfügung, die werkstoffspezifische Eigenschaften durch geeignete Parameteranpassung beschreiben können. Bereits existierende Methoden zur Kalibrierung dieser Parameter werden untersucht und ggf. angepasst. Ziel soll es somit sein ein phänomenologisch funktionierendes Simulationsmodell zu erstellen. Im Rahmen dieser Erprobung wurde eine Eingrenzung der verwendeten Modelle auf das Karagozian&Case (K&C) -Modell, das Winfrith-Modell sowie das RHT-Modell vorgenommen.





Zur Erprobung und Verifikation der Materialmodelle werden im nächsten Schritt experimentelle Impaktversuche untersucht. Die Analyse beinhaltet zunächst die Aufbereitung der experimentellen Impaktszenarien, gefolgt von der geometrischen Modellierung der Systembestandteile, die Werkstoffcharakterisierung sowie die Kontaktdefinitionen zwischen beteiligten Körpern. Anschließend werden die Berechnungsergebnisse den experimentellen Daten gegenübergestellt und lokale Schädigungsphänomene, Verformungen sowie Reaktionskräfte analysiert.

Klimakiller Beton? Ein Lehre Plus-Projekt

Für eine gute Ingenieursausbildung ist auch eine zeitgemäße, moderne Form der Lehre erforderlich. Innovative Lehrkonzepte und -ideen werden von der Technischen Universität Kaiserslautern seit Jahren im Rahmen des Projekts „Qualitätsentwicklung Lehre Plus“ konsequent gefördert. Im laufenden Förderungszeitraum, der unter der Thematik Kompetenzorientierung steht, konnte das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen erneut ein Wahlfach platzieren, diesmal zum Thema „Klimakiller Beton? Kreative Wege zu mehr Nachhaltigkeit in der Betontechnologie“. Das Lehre-Plus-Projekt bietet Studierenden des Bauingenieurwesens und der Architektur die Möglichkeit innovative Technologien jenseits der klassischen Betontechnologie kennen zu lernen und sich im Rahmen eines Planspiels mit der ökologischen Dimension des Baustoffs Beton auseinanderzusetzen. Hierfür sollen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer eine Betonzusammensetzung für ein Fassadenelement entwickeln, welche im Vergleich zu einem Normalbeton nachhaltiger ist. Dabei agieren sie als Expertinnen und Experten für unterschiedliche Themengebiete wie rezyklierte Gesteinskörnung, alternative Zemente, alkalisch-aktivierte Bindemittel und Ökobilanzierung von Baustoffen, die sich für das Erreichen des Projektzieles austauschen und abstimmen müssen. Nach dem Konzept des forschenden Lernens gestalten die Studierenden eigenständig die verschiedenen Phasen der Produktentwicklung vom Entwurf der Betonzusammensetzung über die Planung und Umsetzung der Laborversuche bis hin zur Herstellung eines Demonstrationsobjektes. Die Evaluation erfolgt durch die Beurteilung des Agierens innerhalb des Planspiels und das Führen eines E-Portfolios.

Zero-Zementbeton im Praxistest

Bildquelle: City of Ghent

Beton ist einer der beliebtesten und meist verwendeten Baustoffe weltweit. Insbesondere der enthaltene Zement schlägt jedoch mit großen CO_2-Emissionen zu Buche. Klimaschutz, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft spielen daher in der Betontechnologie eine immer wichtigere Rolle, um gesteckte Umweltschutzziele in der Zukunft einhalten zu können. Das Interreg-Projekt URBCON „By-products for a sustainable concrete in the urban environment" widmet sich dieser Thematik. Ziel ist die Entwicklung von nachhaltigen Betonen mit hohen Anteilen von Nebenprodukten anderer Industriezweige sowie niedrigem Primärrohstoffbedarf. Als Bindemittel kommen alkalisch-aktivierte Schlacken wie Hüttensand, Edelstahlschlacke oder Kupferschlacke zum Einsatz, sodass der Portlandzementanteil auf 0 % reduziert werden kann. Der Primärrohstoffbedarf wird darüber hinaus durch den Einsatz von rezyklierter Gesteinskörnung minimiert.

Im Rahmen von vier Pilotprojekten soll die Tauglichkeit dieser Betone demonstriert werden. 13 Projektpartner von Universitäten – darunter das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern – Anbietern von Nebenprodukten, Planern der öffentlichen Hand sowie weitere Experten aus den Bereichen Betontechnologie, Lebenszyklusanalyse und digitale Plattformen arbeiten dabei gemeinsam an neuen, nachhaltigen Betonzusammensetzungen. Die ersten beiden Pilotprojekte wurden im Jahr 2021 fertig gestellt.

Der Projektpartner Kamp C plant und realisiert ein nachhaltiges Bürogebäude, welches zudem vollständig demontierbar sein wird. Die Fundamente dieses Bauwerks wurden mit einem URBCON Beton hergestellt, welcher in Zusammenarbeit der Projektpartner Resourcefull und der Universität Gent entwickelt wurde. Auf die 55 m^3 Beton entfielen 13.000 kg weniger CO_2-Emissionen als bei Einsatz eines klassischen Betons.

Beton bestehend aus einem alkalisch-aktivierten Bindemittel ist nicht nur nachhaltiger als klassischer Beton, sondern kann auch schön aussehen. Eine architektonisch ansprechende Sitzbank auf Basis von alkalisch-aktivierter Schlacke und kalziniertem Ton wurde im November in der Innenstadt von Gent installiert und lädt nun zum Verweilen ein.

Am Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern wurden zwei Bindemittelzusammensetzungen entwickelt und auf die Betonebene hochskaliert. Positiv hervorzuheben ist eine Druckfestigkeit von über 90 MPa und ein zu Normalbeton vergleichbares E-Modul. Eine Frühfestigkeit von mehr als 25 MPa nach 24 Stunden sowie die gute Verarbeitbarkeit des Frischbetons ermöglichen einen Einsatz im Bereich der Fertigteilherstellung. Die Berechnung der mit dieser Betonzusammensetzung verbundenen CO_2-Emissionen ergab eine Verringerung von 60 % gegenüber Normalbeton. Im November 2021 wurden zwei Platten aus dem entwickelten alkalisch-aktivierten Beton mit natürlicher und rezyklierter Gesteinskörnung hergestellt, die ihre hervorragenden mechanischen Eigenschaften unter Beweis gestellt haben.

Bildquelle: Resourcefull

Bildquelle: Resourcefull

Szymon Grzesiak | Milan Schultz-Cornelius | Matthias Pahn

Basalt – Material der Zukunft

Basalt ist ein natürliches Gestein und wird im Bauwesen für unterschiedliche Bauprodukte verwendet. So wird es z.B. für die Herstellung von Wärmedämmstoffen und als Fasermaterial für Faserverbundkunststoffe eingesetzt. Dazu werden aus dem Gestein dünne Fasern gesponnen, die hohe mechanische Eigenschaften aufweisen und im Strangziehverfahren zur Herstellung von Profilen aus Faserverbundkunststoff genutzt werden. Weitere Vorteile von Basalt liegen in der großen Verfügbarkeit dieses natürlichen und mineralischen Rohstoffes und seiner guten Rezyklierbarkeit. Diese Vorteile in Kombination mit der sehr hohen Zugfestigkeit machen die Basaltfaser zu einem echten Konkurrenten der Carbonfaser, die zudem – um den Faktor zehn – kostenintensiver ist und für dessen Produktion deutlich mehr CO_2 ausgestoßen und Primärenergie benötigt wird.

Das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion beschäftigt sich aus diesem Grund mit der Forschung und Entwicklung von hochleistungsfähigen Verstärkungsmaterialien die bereits etablierte Produkte aus Carbonfasern substituieren sollen und beim Bauen im Bestand eingesetzt werden können. Dazu wird mit weiteren Partnern aus Industrie und Forschung eine basaltfaserverstärkte Kunststofflamelle grundlegend entwickelt, mit der Biegebauteile im Massivbau ertüchtigt werden können. Dazu wird dieses innovative Verstärkungssystem mittels eines Klebstoffes an der Betonoberfläche befestigt. Durch den Verbund zwischen Beton und Lamelle werden Kräfte übertragen, wodurch das Bauteil durch diese außenliegende Bewehrung ertüchtigt wird.

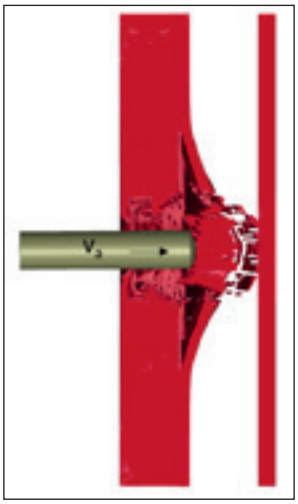
Das System weist ein großes Potential hinsichtlich Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit bei gleichzeitig sehr hohen mechanischen Eigenschaften der Lamelle auf. Durch die hohen Festigkeiten können kleine Lamellendicken realisiert und der Transport und Montageaufwand wird in der Baupraxis geringgehalten. Ziel des Forschungsprojektes sind ein Bemessungsmodell sowie Grundlagen für planende Ingenieure zur Anwendung des Systems in der Baupraxis.

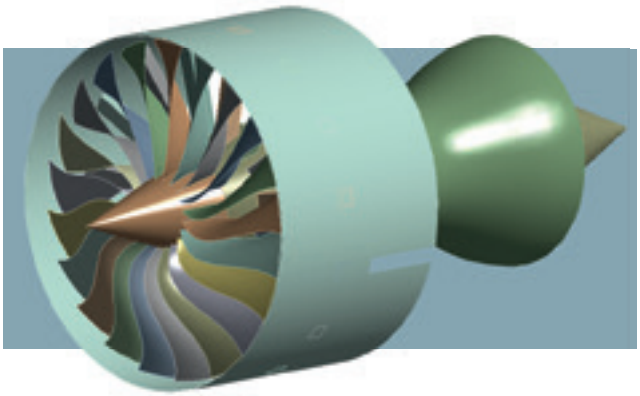
Impakt auf multiple Barrieren

Aufgrund der verlängerten Nutzungszeiträume von Zwischenlagern zur Lagerung hochradioaktiver Stoffe, ergibt sich die Notwendigkeit einer langfristigen Gewährleistung der Sicherheit von kerntechnischen Anlagen. Insbesondere bei dynamischen Ereignissen wie dem absichtlichen oder unabsichtlichen Flugzeugabsturz müssen die Anlagen mit erhöhten Sicherheitsanforderungen standhalten.

Kerntechnische Anlagen bestehen in der Regel aus der massiven Außenhülle und weiteren sekundären Barrieren im Inneren. Bei Letzteren handelt es sich oft ebenfalls um Stahlbetonstrukturen. Bei der Analyse der Auswirkungen des Belastungsszenarios Flugzeugabsturz auf kerntechnische Anlagen ist es notwendig, die Schäden an sämtlichen betroffenen Stahlbetonbarrieren zu analysieren und zu bewerten.

Inwieweit innenliegenden Stahlbetonstrukturen bzw. zusätzliche sekundäre Stahlbetonbarrieren einen Schutz von Anlagenteilen mit erhöhten Sicherheitsanforderungen gewährleisten können, wird im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsvorhaben „Weiterentwicklung von Methoden zur Simulation stoßbeanspruchter Stahlbetonstrukturen“ (Sim SEB Phase II) untersucht. Ziel ist es unter anderem, die Schutzwirkung vorgelagerter Barrieren zu beurteilen und sowohl Belastung als auch Schädigung nachgelagerter Barrieren zu ermitteln, damit eine wirksame sowie effiziente Dimensionierung multipler Barrieren gewährleistet werden kann.





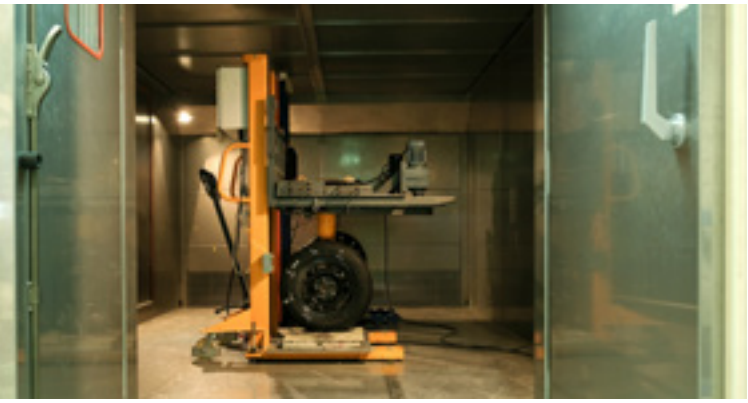
Zur Entwicklung einer vereinfachten und praxistauglichen Methode zur Vorhersage und Quantifizierung des Schadens an multiplen Stahlbetonbarrieren werden mit Hilfe numerischer Finite Elemente Modelle Parameterstudien, der Masseanteil perforierender Wrackteile bzw. Komponenten des Flugzeugs oder der Turbine, durchgeführt. Relevant ist hier insbesondere der Einfluss der harten, nicht verformbaren Flugzeugkomponenten wie der Turbinenwelle oder des zentralen Flügelkastens. Infolge der reduzierten Masse werden bekannte sowie im Vorhaben SimSEB [1] entwickelte empirische und analytische Ansätze genutzt, um den weiteren Schaden zu bestimmen. Die Ergebnisse der ganzheitlichen numerischen Simulationen auf multiple Barrieren dienen als Vergleichsbasis für die empirischen sowie analytischen Ansätze.

[1] Distler, P.; Feldbusch, A.; Sadegh-Azar, H. (2021): Weiterentwicklung der Analysemethoden zur Simulation der Schädigung und der induzierten Erschütterungen in Stahlbetonstrukturen infolge stoßartiger Belastungen, Teilvorhaben: Verhalten von Stahlbetonstrukturen bei Stoßbelastungen unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung: Abschlussbericht.

Jonas Lillig | Sara Blietschau | Joachim Schulze | Wolfgang Breit

Da könnte man am Rad drehen…

Regelwerkentwurf zur realitätsnahen Bestimmung des Verschleißwiderstandes befahrener OS-Systeme



Befahrene Oberflächenschutzsysteme (OS-Systeme) in Garagen und Parkhäusern sind einer Verschleißbeanspruchung ausgesetzt, die sich insbesondere im Bereich von Rampen, in Kurven und vor Schranken in Form von mechanischem Materialabtrag, Rissen oder Adhäsionsversagen zeigt. Derartige Schadensbilder führen zu einer Aufhebung der Schutzwirkung des Oberflächenschutzsystems und gefährden damit die Dauerhaftigkeit der Betonkonstruktion. Um vorzeitige Sanierungen der Beschichtung, die in der Regel mit einer (Teil-)Sperrung des Parkhauses verbunden sind, zu verhindern, ist die Auswahl eines Oberflächenschutzsystems mit einer an den individuellen Belastungsfall angepassten Verschleißbeständigkeit unerlässlich. Problematisch ist hierbei jedoch, dass die aktuellen normativen Prüfverfahren zur Bestimmung der Verschleißbeständigkeit die in der Praxis auftretende Beanspruchungssituation nicht realitätsnah widerspiegeln und die Abriebfestigkeit der geprüften Systeme überschätzen. Besser geeignet zur Bestimmung der Verschleißbeständigkeit ist der Parking Abrasion Test (PAT), der durch das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern in zahlreichen Forschungsvorhaben mit verschiedenen Projektpartnern weiterentwickelt wurde. Bei dem Parking Abrasion Test rotiert ein handelsüblicher PKW-Reifen unter einer realitätsnahen Auflast auf einer Stelle des Beschichtungssystems und der dabei auftretende Verschleiß wird gemessen. Dieses Prüfverfahren soll im Rahmen eines WIPANO-Forschungsvorhabens (WIPANO – Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen) in ein Regelwerk überführt werden.

Hierzu wurde in umfangreichen Versuchsreihen der Einfluss der Parameter Reifenart, Pausenzeiten, Prüfablauf, Prüfalter und Prüfklima sowie einer möglichen Reinigung der Prüffläche auf den Verschleißwiderstand ermittelt. Außerdem wurden verschiedene Verfahren zur Messung der Verschleißtiefe hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung und ihrer Messpräzision untersucht. Diese Ergebnisse wurden in einer Verfahrensvorschrift zusammengefasst, die aktuell durch die Projektbeteiligten kommentiert wird. Nach Einarbeitung dieser Stellungnahmen soll die Verfahrensvorschrift in einen Regelwerkentwurf überführt werden.

Wesentlich für den Regelwerkentwurf ist die Ermittlung von Präzisionsdaten für den Parking Abrasion Test. Hierzu wird aktuell ein Laborvergleichsversuch mit insgesamt fünf Teilnehmern und sieben Prüfständen durchgeführt, bei dem alle Teilnehmer Systeme unterschiedlicher Verschleißbeständigkeit entsprechend der aktuellen Verfahrensvorschrift prüfen. Somit dient der Laborvergleichsversuch neben der Bestimmung der Vergleichs- und Wiederholpräzision auch der Überprüfung der Praxistauglichkeit der Verfahrensvorschrift.

Finales Ziel des Forschungsvorhabens ist es, durch Erstellung eines Regelwerkentwurfes für den Parking Abrasion Test, diesen als Prüfverfahren zur Bestimmung der Verschleißbeständigkeit von befahrenen Oberflächenschutzsystemen anstelle der aktuell verwendeten Prüfverfahren, die als ungeeignet zu bewerten sind, zu etablieren. Damit könnte zukünftig die Auswahl eines Beschichtungssystems mit einer für die individuelle Beanspruchungssituation passenden Abriebfestigkeit erfolgen, sodass teure Instandsetzungsmaßnahmen und dazu notwendige Parkhaussperrungen vermieden werden können.

M1.2
M3
M2
M1
M3

Standsicherheit durch Gefrieren

Die Bodenvereisung ist ein Bauverfahren im Tief- und Tunnelbau, bei dem der Boden durch künstliches Gefrieren des Bodenwassers verfestigt wird. Der dadurch entstehende Frostkörper verleiht dem Baugrund eine erheblich höhere Festigkeit und schützt gleichzeitig vor Wasserzutritt, bis diese Funktionen vom Bauwerk selbst übernommen werden können. Zum Gefrieren werden Gefrierlanzen in den Boden eingebracht, die dem umgebenden Boden die Wärme entziehen. So entstehen zylinderförmige Frostkörper um die Gefrierlanzen, die sich nach einer gewissen Zeit zu gefrorenen Kubaturen verbinden. Typischerweise werden Temperaturen von -10°C bis -20°C erreicht. Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung des Verfahrens ist ein ausreichend hoher Wassergehalt des Bodens und keine zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten.

Die Materialeigenschaften des gefrorenen Bodens, insbesondere seine zu erwartende Kurz- und Langzeitfestigkeit, werden mittels aufwendiger Laborversuche ermittelt. Hierfür eignen sich einaxiale oder triaxiale Druckversuche sowie Versuche zur Bestimmung des Kriechverhaltens sehr gut. Dabei wird die gefrorene Bodenprobe während des Versuchs ständig gekühlt, um die geforderte niedrige Temperatur aufrecht zu erhalten. Hierfür ist eine anspruchsvolle Versuchstechnik notwendig. Im Rahmen von Tunnelbauvorhaben wurden umfassende Untersuchungen gefrorener Böden im bodenmechanischen Labor der Technische Universität Kaiserslautern durchgeführt und daraus Kennwerte für die Standsicherheit während des Vortriebs ermittelt.

Ausgewählte Vorträge 2021

20. Januar
Final Conference of SeRaMCo – Precast Concrete in the Circular Economy, online
Anja Tusch: SeRaMCo – Development of new concrete mixes from recycled aggregates from unknown resources
Co-Autor: Wolfgang Breit

20. Januar
Final Conference of SeRaMCo – Precast Concrete in the Circular Economy, online
Christian Glock: SeRaMCo – Introduction of the Project
Co-Autor: Timo Hondl

28. Januar
Konferenz Assessment of Existing Structures – Joint Commitee in Structural Safety, online
Christian Glock: Determination of Characteristic Compressive Strength of Existing Structures According to EN 13791:2019
Co-Autorin: Rabea Sefrin

25. Februar
65. BetonTage, online
Fabian Kaufmann: Ready for BIM – Digitalisierung der Erfassung und Beurteilung von Bestandsbauwerken
Co-Autor: Christian Glock

25. Februar
65. BetonTage, online
Christian Glock: Betonbauteile aus R-Beton – Anwendungsbeispiele und Herstellung der SeRaMCo-Produkte
Co-Autor: Timo Hondl

09. März
Veep Conference – the experience of Veep and other H2020 projects promotion circular Economy for buildings, online
Christian Glock: Secondary Raw Materials for Concrete Precast Products – Projekt SeRaMCo
Co-Autor: Timo Hondl

18. März
Deutscher Bautechnik-Tag 2021, online
Christian Glock: Betonbau – Quo vadis? Massivbau zwischen Tradition und Zukunft

06. Mai
Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V. AGI-Frühjahrstagung, online
Wolfgang Breit: Ressourcenknappheit – Können rezyklierte und wiedergewonnene Gesteinskörnungen eine Lösung im Betonbau sein?

29. Juni
Digitaldebatte zur 5. Design & Build Konferenz, online
Christian Glock: Bauen im Wandel zwischen Tradition und Zukunft

29. Juni
1. Fachkongress Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur, Ostfildern
Thomas Tschickardt: Drohnenbasierte Erfassung von as-built Modellen zur Automatisierung im Brückenbau
Co-Autoren: Christian Glock und Fabian Kaufmann

27. Juli
9. International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete, online
Nicole Schmeckebier: Engineering model for the vertical shear capacity of composite slabs with additional reinforcing steel
Co-Autor: Wolfgang Kurz

27. Juli
9. International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete, online
Christina Thein: Studies on load introduction in composite columns with high-performance materials
Co-Autoren: Teodora Bogdan, Wolfgang Kurz, Przemyslaw Schurgacz, Ozgun Ergun, Markus Knobloch, Omer M. Anwaar und Markus Schäfer

28. Juli
9. International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete, online
Philipp Hauser: Non-linear analysis of composite beams with minimal modelling and calculation effort for strain-limited design
Co-Autor: Wolfgang Kurz

29. Juli
9. International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete, online
Yannick Broschart: Development of a consistent design concept for composite dowels
Co-Autoren: Wolfgang Kurz, Kevin Wolters, Georgios Christou, Markus Feldmann, Josef Hegger und Martin Claßen

02. September
Eurosteel 2021, Sheffield
Yannick Broschart: Development of a new design approach for composite dowels positioned close to the concrete surface
Co-Autoren: Wolfgang Kurz, Kevin Wolters, Georgios Christou und Martin Claßen

03. September
41. Darmstädter Massivbauseminar – Innovationen im Bauwesen durch Forschung und Entwicklung, Darmstadt
Christian Glock: Einsatz von Recyclingmaterial für Betonfertigteile

14. September
Betonbauwerke in der Trinkwasserspeicherung, Ostfildern
Melanie Merkel: Realkalisierungsvermögen von mineralischen Beschichtungen – Ergebnisse eines DVGW geförderten Forschungsvorhabens
Co-Autor: Wolfgang Breit

15. September
Betonbauwerke in der Trinkwasserspeicherung, Ostfildern
Helmut Richter und Melanie Merkel: Instandsetzung mit besonderen Herausforderungen am Beispiel des Wasserwerks Schierstein
Co-Autor: Wolfgang Breit

16. September
17. D-A-CH Tagung Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, online
Konstantin Goldschmidt: Versagenswahrscheinlichkeiten im Erdbebeningenieurwesen in Deutschland
Co-Autor: Hamid Sadegh-Azar

16. September
17. D-A-CH Tagung Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, online
Lukas Helm: Realitätsnahes analytisches Modell zur Berechnung der out-of-plane Tragfähigkeit von unbewehrten Mauerwerkswänden unter Erdbebenbelastung
Co-Autor: Hamid Sadegh-Azar

05. November
57. Aachener Baustofftag und BÜV-Fortbildung Sachkundiger Planer, Aachen
Wolfgang Breit: Verschleißuntersuchungen an Beschichtungssystemen
Co-Autoren: Joachim Schulze, Jonas Lillig, Sara Blietschau

05. November
57. Aachener Baustofftag und BÜV-Fortbildung Sachkundiger Planer, Aachen
Ayhan Celebi und Felix Becker: Anwendbarkeit des Instandsetzungsverfahrens 8.3
Co-Autoren: Wolfgang Breit, Christoph Dauberschmidt

10. November
Betonbau der Zukunft – Fachkonferenz mit Best Practices, München
Wolfgang Breit: Ressourcenschonung neu umgesetzt im Regelwerk – Beton mit rezyklierter und wiedergewonnener Gesteinskörnung
Co-Autorin: Sophie Burgmann

15. November
BIBM Congress 2021, Kopenhagen
Christian Glock: SeRaMCo – Secondary raw materials for precast elements
Co-Autor: Timo Hondl

19. November
Patent- und Informationszentrum (PIZ) Rheinland-Pfalz an der Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern
Christian Glock: Bauen zwischen Tradition und Zukunft – Patent Hochwasserschutzsperre
Co-Autor: Kasem Maryamh

23. November
18. OpenOLAT LMS-Konferenz 2021, Kaiserslautern
Robert Adams: OpenOLAT good-practice: Praktikum Betone für besondere Anwendungen

Wenn Lehm zweimal in den Ofen kommt

Der Bedarf an Baustoffen mit stetig steigenden Anforderungen an den Wärme-, Schall- und Brandschutz für das Mauerwerk im Wohnungsbau wächst kontinuierlich. Dem dargestellten hohen Bedarf an Ziegelprodukten für den Mauerwerksbau folgend, muss die Ziegelindustrie zeitnah mit marktgerechten Produkten reagieren, die den zuvor genannten stetig steigenden bauphysikalischen Anforderungen gerecht werden. Die hierfür erforderlichen innovativen Maßnahmen beinhalten neben rohstoffseitigen bzw. brenntechnischen Optimierungen zielführende Anpassungen der geometrischen Lochbild- und Stegausbildung sowie den Einsatz von Füllstoffen (Leichtstoffe) als hochwärmedämmende Komponente.

Ergebnis dieser Anpassungen sind innovative wärmedämmende Hochlochziegel, welche den Anforderungen der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. Bauartgenehmigungen gerecht werden. Zur Deklaration des Produktes und dessen Einsatzmöglichkeiten ist der Nachweis für die bauphysikalischen Eigenschaften zu erbringen, die auch den Brandschutz betreffen und eine Einstufung in die Feuerwiderstandsklassen festlegt. Aktueller Stand für wärmedämmende Hochlochziegel ist, dass für eine Klassifizierung der Feuerwiderstandsdauer sehr zeit- und kostenintensive Großbrandversuche punktuell für ein Produkt gemäß den europäisch harmonisierten Normen DIN EN 1363-1 und DIN EN 1363-2 sowie DIN EN 1365-1 an geschosshohen Wänden durchgeführt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen die Tabellenwerte im nationalen Anhang der DIN EN 1996-1-2/NA für eine schnelle und einfache Einstufung der Feuerwiderstandsdauer von Mauerwerkswänden erweitert werden, sodass in Zukunft nicht nur Normziegel mit einer Rohdichteklasse ≥ 0,8 in Kombination mit Normalmauermörtel und/oder Leichtmauermörtel, sondern auch die im Dünnbettverfahren vermauerten wärmedämmenden Hochlochziegel (Rohdichteklasse < 0,8), schnell klassifiziert werden können.

Erste Untersuchungen beinhalteten unter anderem eine Auswertung von Prüfberichten von bereits durchgeführten Feuerwiderstandsprüfungen an Mauerwerkswänden aus wärmedämmenden Hochlochziegel unterschiedlichster Prüfinstitute. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich vor allem dicke Außenstege auf der feuerzugewandten Seite positiv auf die Feuerwiderstandsdauer und den Ausnutzungsfaktor α_{fi} der Wand auswirken.

Bei einer Brandbelastung nehmen die Temperaturen innerhalb des Ziegels vom Brandraum nach außen ab, was innerhalb der Ziegelstruktur zusätzlich zu lokal unterschiedlichen thermischen Ausdehnungen führt. Aus diesen sowie den aus den Auflagern resultierenden Druckspannungen stellt sich ein Beulen der Wand ein. Dieses Verformungsverhalten konnte auch den Prüfbeobachtungen der vorliegenden Berichte sowie den darin gemessenen Verformungen der Wände entnommen werden. Allgemein führt das Beulen dazu, dass die Fugen im Brandraum aufklaffen und sich Teilflächenbelastungen auf der brandabgewandten Seite ergeben. Somit wird ein Randbereich der Ziegel stark druckbeansprucht, was auch erklärt, wieso sich dicke Außenstege äußerst positiv in Bezug auf den Feuerwiderstand auswirken. Im Foto ist eine Ziegelwand nach Brandbeanspruchung dargestellt.

Im weiteren Verlauf des AIF-IGF Forschungsprojektes, welches zusammen mit dem Institut für Ziegelforschung Essen e. V. durchgeführt wird, sind Brandversuche an Mauerwerkskörpern unterschiedlichsten Abmessungen und Lastniveaus geplant. Auch wird zwischen Großkammerziegeln und kleingelochten Ziegeln unterschieden, welche verfüllt und unverfüllt geprüft werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen und Versuchsergebnissen sollen als übergeordnetes Ziel Werte für den Mindestfeuerwiderstand für wärmedämmende Hochlochziegel mit definierten Eigenschaften erstellt werden, sowie eine kostengünstigere und kleinformatige Alternative zu den aktuell großformatigen Brandversuchen zur Klassifizierung des Feuerwiderstandes aufgezeigt werden.

Bloß nichts kaputt machen

Zerstörungsfreie Prüftechnik

Bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, kurz ZfP (DIN EN 1330) wird die Qualität eines Werkstücks getestet, ohne das Material selbst zu beschädigen. Hierzu werden verschiedene physikalische Effekte ausgenutzt.

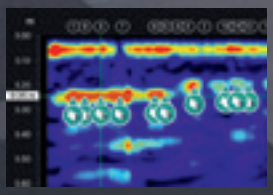
Unter den ersten zerstörungsfreien Werkstoffprüfungen waren wohl die Bestimmung der Dichte durch die Verdrängungsmethode nach Archimedes und die Sichtprüfung, d. h. das Betrachten eines Bauteiles auf äußerlich erkennbare Mängel. Am häufigsten werden aber darunter Prüfungen auf Bauteilfehler verstanden (Blumenauer, Werkstoffprüfung).

Die Komplexität der zerstörungsfreien Prüfungen, die im Bereich des Beton- und Stahlbetonbaus angewendet werden, hat in den zurückliegenden Jahren immer mehr zugenommen und an Bedeutung gewonnen, insbesondere natürlich deswegen, da nicht zerstörend in die Bausubstanz eingegriffen werden muss. Die in den letzten Jahren deutlich weiterentwickelten Messverfahren, die beispielsweise auf Basis von Ultraschall und Radar agieren, lassen immer tiefere Blicke in das Bauwerk zu.

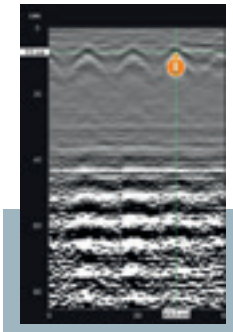
Das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen hat in den zurückliegenden Jahren die Palette der zerstörungsfreien Messtechnik kontinuierlich erweitert und verfügt aktuell über die modernsten Geräte, die am Markt verfügbar sind. So werden die zerstörungsfreien Prüfverfahren im Rahmen von Auftragsuntersuchungen und gutachterlichen Stellungnahmen erfolgreich eingesetzt.

Aber auch in der studentischen Ausbildung wird der zerstörungsfreien Prüftechnik ein hoher Stellenwert beigemessen. Im Rahmen der Vorlesungsreihen „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ und „Bauschäden“ des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen werden den Studierenden die Gerätschaften sowohl in Theorie als auch in der praktischen Anwendung vorgestellt. Da sowohl in der Bedienung der Gerätschaften als auch in der Interpretation der Ergebnisse umfangreiche Erfahrungen notwendig sind, wird diese Aufgabe im Rahmen von Lehraufträgen durch die beiden ehemaligen Mitarbeiter des Fachgebietes Dr.-Ing. Melanie Merkel und Dr.-Ing. Frank Schuler (beide bsm² PartGmbB) übernommen, die ihre langjährige Praxiserfahrung aus dem Bereich „Bauwerksinstandhaltung“ an interessierte Studentinnen und Studenten weitergeben.

Ultraschall-Impuls-Echo: Hierbei handelt es sich um eine Untersuchungsmethode, die sich besonders zur Detektion von stofflichen Inhomogenitäten sowie von Bauteilabmessungen auf Basis eines Ultraschall-Impuls-Echo Verfahrens eignet.



Ultraschall – Rekonstruktion (Rückwandortung)

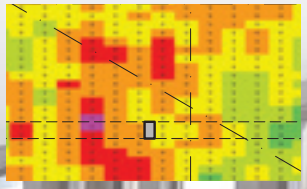


Radargramm (Bewehrung)

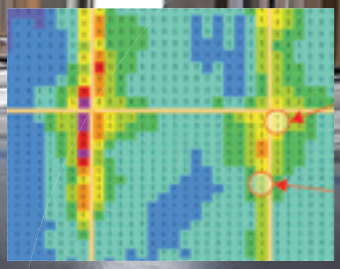
Radar mit Multifrequenz Antenne (SFCW-Technik): Zerstörungsfreies Verfahren, das die Reflektion elektromangnetischer Wellen im Bereich von „Dichteänderungen“ nutzt. Dies ermöglicht u. a. die Detektion von tiefer liegenden Bewehrungslagen sowie von Spanngliedern.

Betondeckungsmessung: Elektromangnetisches Verfahren zur Ortung schlaffer Bewehrung. Es können sowohl Betondeckung als auch der Abstand der Bewehrungsstäbe bestimmt werden.

Betondeckung als farbcodierte Kartendarstellung



Potenzialfeldmessung:
Zur Detektion aktiver Bewehrungskorrosion.



Potenziale als farbcodierte Kartendarstellung

Bildgebende Verfahren zur Bestandsuntersuchung, Objektlokalisierung, Qualitätssicherung und Schadenseingrenzung

Marco Hartner | Svenja Carrigan | Oliver Kornadt

Auf der Suche nach den Ursachen für den Performance Gap

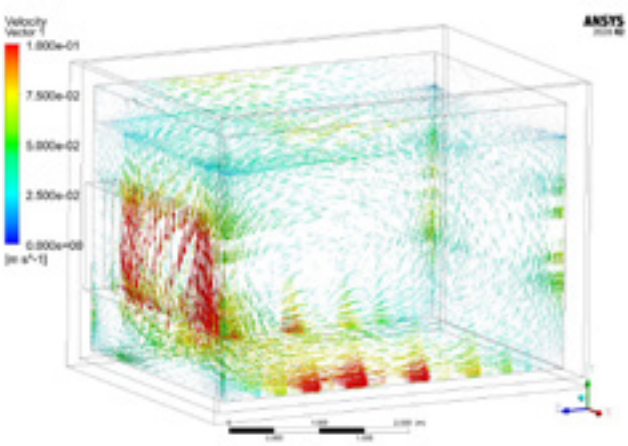
Realistische Gebäudelüftung vs. normative Vorgaben

Die tatsächlichen Energieverbräuche von Gebäuden weichen von den berechneten Energiebedarfswerten teilweise erheblich ab. Ursachen für diesen Performance Gap wurden in einem von der Forschungsinitiative Zukunft Bau geförderten Projekt detailliert untersucht.

Normative Ansätze für die Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden legen ein „normatives Nutzerverhalten" fest. Hierunter fallen eine konstante mittlere Raumsolltemperatur und eine konstante Luftwechselrate über den Tag. Oftmals wird der Performance Gap mit einem abweichenden Nutzerverhalten begründet, z. B. dass Nutzer eine höhere oder niedrigere Raumtemperatur präferieren.

Auch das Lüftungsverhalten hat im Winterfall einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Gebäudes. Um das Lüftungsverhalten genauer untersuchen zu können, wurde ein reales Gebäude, bei welchem der tatsächliche Energieverbrauch um 45 % unter dem berechneten Energiebedarf liegt, mit dem vorliegenden Aufbau der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung in das thermisches Simulationsprogramm TRNSYS übertragen.

Zunächst wurde unter Zugrundelegung eines realistischen Außenklimas der Jahresenergiebedarf für eine normative, konstante Luftwechselrate über den gesamten Tag ermittelt. Daraufhin wurden drei Nutzerprofile angelegt, bei welchen anstelle der konstanten Luftwechselrate zwei, drei bzw. vier Stoßlüftungen mit unterschiedlichen Lüftungsdauern angesetzt wurden. Im Tagesmittel ergibt sich bei allen drei Nutzerprofilen wiederum die normativ angesetzte Luftwechselrate.



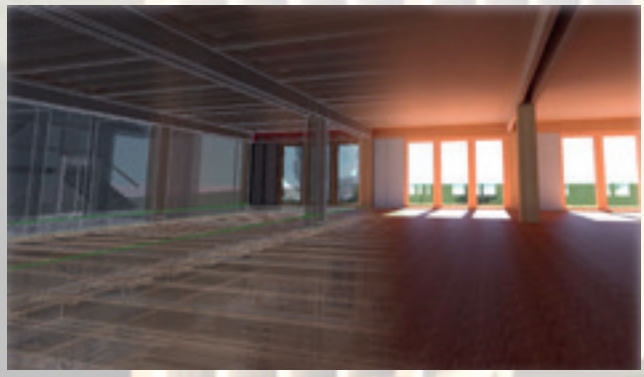
Ein wesentliches Ergebnis ist, dass das Ansetzen von realistischen Lüftungszeiträumen und -dauern für das betrachtete Gebäude ein um etwa 20 % verminderter Energiebedarf im Vergleich zur normativ angesetzten konstanten Luftwechselrate ergibt. Der durch die Änderung im Lüftungsverhalten verringerte berechnete Energiebedarf nähert sich dem tatsächlichen Energieverbrauch deutlich an. Die Anzahl und Dauer der Stoßlüftungen spielt in dem betrachteten Rahmen eine untergeordnete Rolle und bewirkt lediglich Änderungen im niedrigen einstelligen Prozentbereich.

Klimagerechtes und nachhaltiges Bauen:

Entwicklung einer adaptiven und optimierten BIM-basierten Tragwerksplanung über den gesamten Lebenszyklus

Der Holzbau und Holzhybridbau ermöglichen die überwiegende Verwendung von Holzwerkstoffen. Holz ist aufgrund seiner Fähigkeit CO_2 einzulagern und seiner, bei nachhaltiger Forstwirtschaft, unbegrenzten Verfügbarkeit ein sehr umweltfreundlicher Baustoff. Auch können Holzbauteile häufig wiederverwendet und am Ende ihres Lebenszykluses energetisch verwertet werden, sodass der Rohstoff maximal ausgenutzt werden kann und keine unverarbeitbaren Abfallprodukte bei Herstellungs- und Entsorgungsprozessen anfallen. Zudem eignen sich heimische Hölzer, wie Fichte und Buche sehr gut um auch modernere Holzwerkstoffe wie Brettsperrholz und Furnierschichthölzer herzustellen. In Kombination mit dem gegenüber Stein und Beton deutlich geringeren Eigengewicht kann somit auch die für den Transport benötigte Energie minimiert werden. Insgesamt ist Holz dadurch hervorragend geeignet, um klimagerechte und nachhaltige Bauten zu errichten.

In den letzten Jahren hat vor allem der Holzhybridbau zunehmend an Beliebtheit gewonnen. War er früher fast ausschließlich auf ein- bis zweistöckige Wohnhäuser beschränkt, werden heute auch Hochhäuser, Schwimmbäder, Brücken und Hallen in Holzbauweise errichtet. Neuartige Holzwerkstoffe ermöglichen immer innovativere Konstruktionsweisen und es besteht ein hoher Forschungsbedarf wie diese effizient mit bestehenden Bauweisen und Werkstoffen kombiniert werden können. Auch erfolgen Gebäudeplanungen zunehmend virtuell. BIM-Simulationen ermöglichen dabei eine gesamtheitliche, interdisziplinäre, digitale Modellentwicklung und 3D-Visualisierung. In diesem Zusammenhang werden zunehmend mehr Forschungsprojekte zu verschiedenen Aspekten des Holzbaus in Kombination mit BIM-Planungen durchgeführt.



Eines dieser Forschungsprojekte befasst sich mit der Entwicklung von Holzhybridbauwerken unter der Federführung von Professor Graf. Der Fachbereich Statik und Dynamik der Tragwerke wirkt bei diesem Forschungsprojekt aktiv mit und entwickelt eine adaptive und optimierte BIM-basierte Tragwerksplanung über den gesamten Lebenszyklus für ein wandelbares, siebenstöckiges Holzhybridbauwerk in Zusammenarbeit mit anderen Forschungsgruppen aus den Bereichen Architektur und Konstruktion (TU Kaiserslautern), Verbindungstechnik (KIT), TGA (TU München), Umweltplanung (TU Freiburg) und Brandschutz (TU München).Das Modell wurde mit einer BIM-Modellierungssoftware entworfen und enthält die Planungsdetails aller Forschungsgruppen. Neue Planungsdetails und Änderungen werden immer zeitnah durch einen Koordinator implementiert.

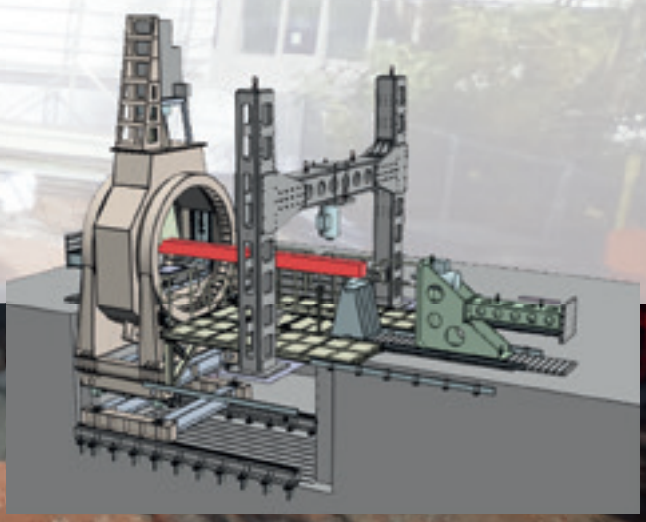
Das Modell enthält zum jetzigen Zeitpunkt bereits die Tragwerksplanung, das Aussteifungskonzept, das Brandschutzkonzept, Details über Werkstoffe, Kosten- und Ökobilanzdaten sowie die architektonischen Planungsdetails. Eine 3D-Visualisierung des Gesamtmodells mit VR-Brillen ist ebenfalls möglich. Auch sollen intelligente Abläufe zur multikriteriellen Optimierung von Bau-, Umbau- und Rückbauprozessen sowie zur effizienten CO_2-Bilanzierung entwickelt und in das Modell integriert werden.

Matthias Pahn | Catherina Thiele | Szymon Grzesiak

Baubeginn des Großtomographen „Gulliver“

An der Technischen Universität Kaiserslautern entsteht derzeit eine Anlage, die weltweit erstmalig die Verfolgung der Schädigungsprogression in Bauelementen mittels Computertomographie ermöglicht. Ein zentraler Bestandteil der Anlage ist der Computertomograph „Gulliver“ - ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der DFG-Großgeräteinitiative, gefördertes Großgerät. Es ermöglicht erstmals die bildgebende Untersuchung von Bauteilen und Tragwerken unter statischen und dynamischen Belastungszuständen und eröffnet eine neue Qualität in der Bauteilanalytik. Hinsichtlich der Herausforderungen für ein nachhaltiges und ressourceneffizientes Bauen erlauben die experimentellen Möglichkeiten eine ganzheitliche und ineinandergreifende Forschung auf Material-, Bauteil- und Tragwerksebene.

Im ersten Quartal des Jahres 2021 starteten die Bauarbeiten am Hallengebäude. Auf die Erstellung der Pfahlgründung und des Fundamentes folgten bis zum Jahresende 2021 die Betonage des Gantry-Kellers und dessen Abdichtung. Die Fertigstellung der Strahlenschutzhalle und der Beginn der Montage des Großgerätes ist für das späte Frühjahr 2022 geplant.



"Please turn on your magic beam – Mr. Sandman bring us a dream"

Die Computertomographie (CT) – den meisten vor allem aus der Medizin bekannt – bietet Möglichkeiten zur Charakterisierung und Beschreibung der dreidimensionalen Kornform von Gesteinskörnungen, die bisher mit klassischen labortechnischen Verfahren nicht bestanden. Die Bestimmung der Plattigkeitskennzahl FI nach DIN EN 933-3 oder der Kornformkennzahl SI nach DIN EN 933-4 sind lediglich für Korngrößen größer 4 mm geeignet. Hinzu kommt, dass für ein Korngemisch bzw. eine Schüttung von Körnern lediglich ein einziger Kennwert ermittelt wird. So gibt die Kornformkennzahl zum Beispiel an wie viel Prozent der Körner einer Korngruppe oder eines Korngemisches ein Verhältnis von Kornlänge zu Korndicke von größer drei aufweisen und damit nach Norm als „nicht-kubisch" anzusehen sind. Informationen über die Verteilung dieses Verhältnisses innerhalb der untersuchten Gesteinskörnungsprobe können jedoch nicht abgeleitet werden. Um Beton- und Mörteleigenschaften wie das Fließverhalten oder die Druckfestigkeit optimal einstellen zu können, wäre jedoch eine deutlich detailliertere Charakterisierung der jeweiligen Gesteinskörnungsprobe wünschenswert.

Im Rahmen des DFG-Projektes „Entwicklung von dreidimensionalen Kenngrößen für die Klassifizierung von Gesteinskörnungen" wurde daher der Frage nachgegangen, inwiefern CT-Aufnahmen von Gesteinskörnungen dazu genutzt werden können, Kornformeigenschaften detailliert zu bestimmen. Eine Anwendung in der industriellen Praxis setzt dabei voraus, dass die CT-Aufnahmen schnell anzufertigen sind, die Bildbearbeitung automatisiert abläuft und die Ergebnisse der Formanalyse dem Anwender einen Mehrwert gegenüber den klassischen labortechnischen Verfahren bietet. CT-Aufnahmen von verschiedenen Sanden mit Korngrößen zwischen 0,125 mm und 2,0 mm sowie von groben Gesteinskörnungen mit Körnern zwischen 2,0 mm und 4,0 mm wurden mit dem im Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen vorhandenen CT-ALPHA (ProCon X-Ray) erstellt.

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM wurde anschließend eine Routine entwickelt, die eine automatisierte Bildbearbeitung mit ToolIP (Fraunhofer ITWM) erlaubt. Hierfür wurden die CT-Aufnahmen in einem ersten Schritt in ein Binärbild umgewandelt, um anschließend Grenzen zwischen zwei Körnern, die sich berühren, zu identifizieren. Insbesondere der Schritt der Kornsegmentierung, der bisher ein zeitaufwendiges, manuelles Korrigieren erforderte, stellte hierbei eine große Herausforderung dar.

Das erarbeitete Verfahren ist nun für Anwender ohne Hintergrundwissen aus dem Bereich Bildbearbeitung geeignet. Geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen können dann mit der Software MAVI, erweitert durch MAVIparticle (Fraunhofer ITWM), bestimmt werden. Neue Parameter, wie z. B. das Kornvolumen und die Kornoberfläche, die einen maßgeblichen Einfluss auf den Wasseranspruch und das Zementleimvolumen haben, können ermittelt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit diverse weitere ggf. betontechnologisch relevante geometrische Merkmale, wie zum Beispiel die Abmessungen eines Quaders, welcher das Korn vollständig umhüllt und gleichzeitig ein minimales Volumen aufweist, zu berechnen. Mittels statistischer Korrelationsanalyse wurden im Anschluss vier verschiedene Kornformparameter identifiziert, die Informationen über die dreidimensionale Kornform der Körner sowie ihrer Verteilung innerhalb der Gesteinskörnungsprobe liefern. Neben den Parametern Plattigkeit und Kornform, welche auch mittels labortechnischer Verfahren bestimmt werden können, hat sich eine Erweiterung der Charakterisierung durch Parameter zur Beschreibung der Eckigkeit und der Regelmäßigkeit von Kornoberflächen als sinnvoll erwiesen.

Um einen Mehrwert für die Optimierung von Mörtel- und Betonzusammensetzungen zu generieren, stellt sich nun die Frage, inwiefern ein Zusammenhang zwischen Kornformeigenschaften und Parametern der Verarbeitbarkeit und Festigkeit von Mörtel und Beton besteht bzw. vorliegt. Dieser Thematik soll im Rahmen von Mörtelversuchen nachgegangen werden. Hierfür ist geplant, Frischmörteleigenschaften wie Ausbreitmaß, dynamische Viskosität und Fließgrenze sowie Festmörteleigenschaften wie Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit und E-Modul zu bestimmen und anschließend mit den Kornformeigenschaften zu korrelieren. Ziel ist es, Empfehlungen hinsichtlich einer optimalen Einstellung von Kornformeigenschaften der Sieblinie ableiten zu können.

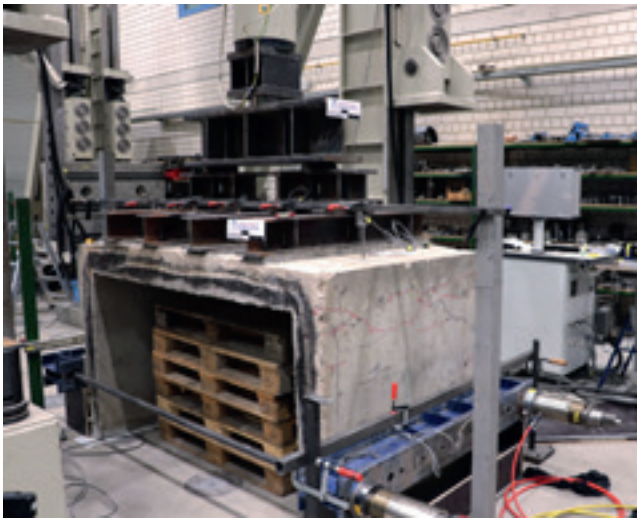
Warum Computertomographie nicht nur für den Sandmann interessant sein könnte ...

Rabea Sefrin | Michael Heckmann | Christian Glock

Damit die Wärme nicht fernbleibt

Bestandsanalyse von Kanalhauben eines Fernwärmeleitungssystems

Untersuchungsgegenstand dieses Industrieprojektes mit AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. sind Kanalhauben, die als Stahlbetonfertigteil hergestellt wurden und als unterirdische Abdeckung von Fernwärmeleitungen eingesetzt werden. Da keine Bestandsunterlagen bzgl. Einbau, Bemessung oder Herstellung dieser Bauteile vorliegen, kann das Alter lediglich auf etwa 50 Jahre geschätzt werden.



Im Laufe dieser Zeit unterliegen die Bauteile einem gewissen Alterungsprozess. Dieser resultiert zum einen aus den feuchten Umgebungsbedingungen und zum anderen aus den Einwirkungen der unterschiedlichen Belastungszustände wie Erddruck und Nutzlasten aus dem Fahrzeugverkehr oberhalb der Kanalhauben.

Im Rahmen der Bestandsanalyse fand im ersten Schritt eine Kartierung der Rissbilder, Fehlstellen oder sonstigen Schäden an drei unterschiedlichen Kanalhauben statt. Zusätzlich wurden Bohrkerne entnommen und geprüft, die Karbonatisierungstiefe, der Korrosionszustand der Bewehrung und die Ausbildung der Rahmenecken erfasst sowie der Chloridgehalt, die Stahlzugfestigkeit und die Betondeckung bestimmt. An einer der Hauben wurde ein Traglastversuch durchgeführt, bei dem sowohl eine vertikale Auflast als auch der Erddruck in Form einer horizontalen Last realisiert wurde.

Die an der Technischen Universität Kaiserslautern durchgeführten Untersuchungen dienen als Grundlage, die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Kanalhauben unter Berücksichtigung des erforderlichen Zuverlässigkeitsniveaus realistisch zu bewerten.

Out-of-plane Tragfähigkeit von Mauerwerk

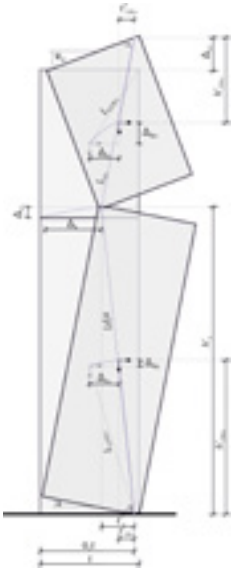
Experimentelle Untersuchungen auf einem Schwingungsprüfstand

Mauerwerk besitzt sehr gute Eigenschaften zum vertikalen Lastabtrag, dagegen können horizontale Lasten z. B. durch Erdbeben, insbesondere quer zur Ebene (out-of-plane, Plattenschub), nur begrenzt aufgenommen werden. Das out-of-plane Verhalten von unbewehrten Mauerwerkswänden ist von einer Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig und aufgrund der starken Nichtlinearität sehr komplex. Trotz der baupraktischen Relevanz hat sich in Literatur und Normung kein einheitliches Modell zur Berechnung der Tragfähigkeit etabliert.

Analytische Untersuchungen an der Technischen Universität Kaiserslautern im Rahmen der Dissertation von M. Lönhoff [1] haben gezeigt, dass die Vorhersage der out-of-plane-Tragfähigkeit mittels der bestehenden Verfahren eine starke Streuung aufweist. Zudem konnte in ersten experimentellen Untersuchungen nachgewiesen werden, dass die tatsächlich beobachtete dynamische Tragfähigkeit oftmals höher ist. Der Grund dafür ist, dass in den meisten Modellen wesentliche Einflussfaktoren nicht oder stark vereinfacht berücksichtigt werden.

Es wurde daher ein möglichst realitätsnahes analytisches Modell mit allen maßgebenden Einflussfaktoren entwickelt. Die wichtigsten Grundlagen und Berechnungsschritte des entwickelten Modells sind in [1] zu finden. Zur Verifikation des analytischen Modells wurden fachbereichsübergreifend umfangreiche Versuche auf einem dreiaxialen Schwingungsprüfstand des Lehrstuhls für Konstruktion in Maschinenbau und Fahrzeugtechnik (iMAD) durchgeführt und ausgewertet. Grundlage hierfür bildet der dort in den Prüf- und Laborhallen zur Verfügung stehende Schwingungsprüfstand.

Als zentrales Ergebnis der Versuche lässt sich festhalten, dass die Verformungen infolge der seismischen Einwirkung mithilfe der analytischen Methoden gut berechnet werden können. Dies beinhaltet die Ermittlung der nichtlinearen Kraftverformungsbeziehung, das Dämpfungsmodell und die Idealisierung der Wand zu einem äquivalenten Einmassenschwinger. Es wird auch deutlich, dass neben dem Einfluss der Wandgeometrie die Randbedingungen am Wandkopf eine maßgebende Rolle spielen. Damit die Tragfähigkeit richtig erfasst wird, müssen diese bekannt sein.



[1] Lönhoff, M.: Entwicklung eines Ingenieurmodells zur Beurteilung der out-of-plane-Tragfähigkeit von einachsig spannenden unbewehrten Mauerwerkswänden unter Erdbebeneinwirkung, Technische Universität Kaiserslautern, 2021.

Melanie Merkel | Wolfgang Breit

Kaputt und ausgelaugt, und dann?

Spezifische Regelungen bei der Instandsetzung von Trinkwasserbehältern werden in DVGW-Arbeitsblatt W 300-3 festgelegt. Zementgebundene Beschichtungen werden hierbei nach ihrer Fähigkeit, einen ausgelaugten oder carbonatisierten Beton zu realkalisieren, d. h. wieder für einen ausreichend hohen pH-Wert zu sorgen, unterschieden. Die sogenannten Auskleidungsprinzipien unterteilen sich dabei wie folgt:

- **A1:** Mit Realkalisierungsdepot, um ausgelaugte bzw. carbonatisierte Betonrandzonen wieder zu realkalisieren
- **A2:** Ohne Realkalisierungsdepot, da noch ausreichende alkalische Betondeckung vorhanden ist

Die Zugrundelegung der Realkalisierung (A1) basiert auf den Erkenntnissen der Instandsetzungsrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Für carbonatisierten Beton im Hochbau wurde die Möglichkeit der Realkalisierung bei ausgelaugten Betonuntergründen, wie sie in Trinkwasserbehältern vorkommen können, abgeleitet.

Im Rahmen eines vom Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) geförderten Forschungsvorhabens (W201835) wurde am Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern in Kooperation mit der RWTH Aachen University das Realkalisierungsvermögen von ausgelaugten und carbonatisierten Betonuntergründen untersucht. In diesem Zusammenhang wurde auch der Widerstand von mineralischen Beschichtungen gegenüber Auslaugungsprozessen bewertet.

Aus den Untersuchungsergebnissen konnte abgeleitet werden, dass der Realkalisierungsprozess in zwei Prozesse unterteilt werden muss, nämlich die im Rahmen des Vorhabens neu definierte Kontaktrealkalisierung und die zeitabhängige diffusionsgesteuerte Realkalisierung.

Unter der Kontaktrealkalisierung ist die Anfangsrealkalisierung der Betonrandzone zu verstehen, deren Tiefenwirkung und Dauer von unterschiedlichen Einflussfaktoren abhängig ist. Die Alkalien werden während der Applikation und Erhärtung mittels Konvektion „huckepack“ in den Beton transportiert.

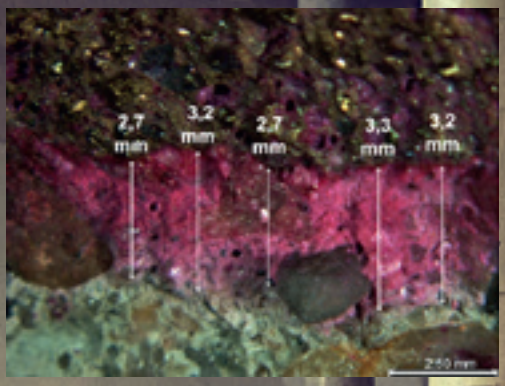
Die diffusionsgesteuerte Realkalisierung, die dem Wurzel-Zeit Gesetz folgt, stellt sich nach Erreichen der Ausgleichsfeuchte in Abhängigkeit von der Luftfeuchte ein. Einflussfaktoren wie bspw. das Feuchteangebot, der Mörteltyp und die Zementart des Untergrundbetons spielen dabei eine entscheidende Rolle.

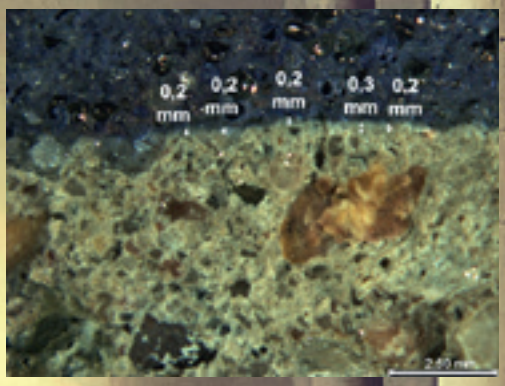
Im Rahmen des Prozesses der Realkalisierung ist der Alkalientransport im Porensystem des Altbetons zu betrachten. Eine pH-Wert Erhöhung kann dabei ausschließlich in der wässrigen Lösung erreicht werden. Noch während der Applikation des Instandsetzungsmörtels findet ein Alkalientransport in den Untergrund statt (Kontaktrealkalisierung). In den ersten Stunden der Hydratation überschreitet die Calcium-Ionenkonzentration dabei die Sättigungskonzentration von Calciumhydroxid in Wasser. Dadurch wird zunächst ein pH-Wert Anstieg der zu realkalisierenden Betonrandzonge > 10 (Umschlagpunkt Thymolphthalein) ermöglicht. Während der diffusionsgesteuerten Realkalisierung kann ein alkalisches Milieu mit einem pH-Wert > 10 nicht mehr gebildet werden.

Auf Basis der erzielten Erkenntnisse sind die derzeitigen Regelungen für Trinkwasserspeicher im Hinblick auf eine Realkalisierung zu hinterfragen. Sollte eine Auslaugung der Betonrandzone unterhalb des Wasserstands erfolgen, so geht mit der Lösung der Alkalien auch eine zeitlich und räumlich dicht gefolgte Zersetzung des Zementsteins einher. Eine tiefreichende pH-Wert Erniedrigung ohne ein Absanden der Betonoberfläche und Herauslösen des Zementsteins ist nicht zu erwarten. Aus diesem Grund liegen für eine klassische Realkalisierung, wie sie im Hochbau Stand der Technik ist, andere Randbedingungen vor und können nicht 1:1 übertragen werden. Eine durch die Zementsteinzerstörung geschädigte Betonoberfläche stellt keinen tragfähigen Untergrund für die Applikation eines Instandsetzungsmörtels dar. Im Rahmen einer Untergrundvorbereitung wird die geschädigte und ausgelaugte Betonrandzone abgetragen.

Neuste Erkenntnisse zum Realkalisierungspotenzial von zementgebunden Werkstoffen und Konsequenzen für das DVGW-Regelwerk

Oberhalb des maximalen Wasserstands herrscht eine hohe relative Luftfeuchte. Die Kondensatbildung, insbesondere an den Deckenflächen, führt zu einer Auslaugung der Betonrandzone, die nur wenige Millimeter umfasst. Eine Realkalisierung dieses Bereiches erreichte in den Untersuchungen ausschließlich einen pH-Wert nahe des Phenolphthaleinumschlagpunktes (pH-Wert ~8). Der neu gebildete Alkalitätspuffer ist damit wesentlich geringer als die eines intakten, alkalischen Betons. Inwieweit beispielsweise eine stabile, langfristige Repassivierung des Bewehrungsstahls in diesem Bereich entstehen kann, ist fraglich.





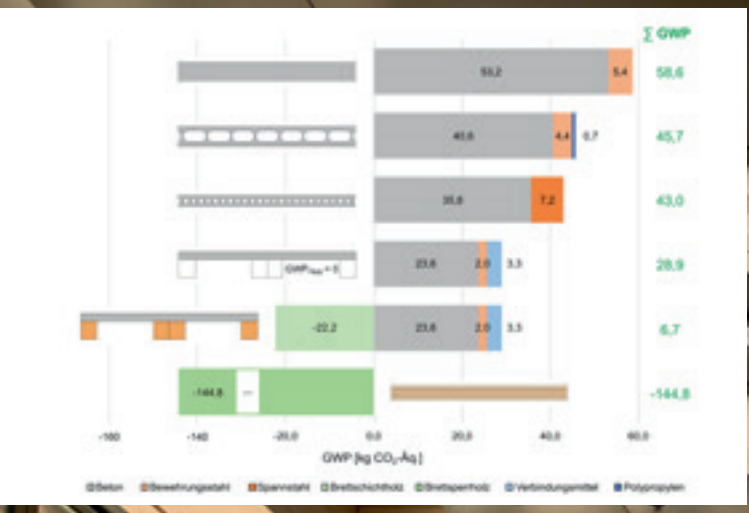
Sollte bei einer guten Belüftung der Wasserkammer eine Carbonatisierung der Betonrandzone entstehen, besteht im Umkehrschluss kein ausreichendes Feuchteangebot für eine Realkalisierung. Eine geringe relative Luftfeuchte kann zu einer Erniedrigung des pH-Wertes unterhalb des Phenolpthalienumschlagpunktes auch im zuvor realkalisierten Bereich führen. Ebenso kann es durch die Verlangsamung des Alkaliennachschubs zu einer Umverteilung der Alkalien kommen. In diesem Zusammenhang sind auch die Möglichkeiten der Realkalisierung im Hochbau zu hinterfragen, da deutlich geringere relative Luftfeuchten i. d. R. vorherrschen.

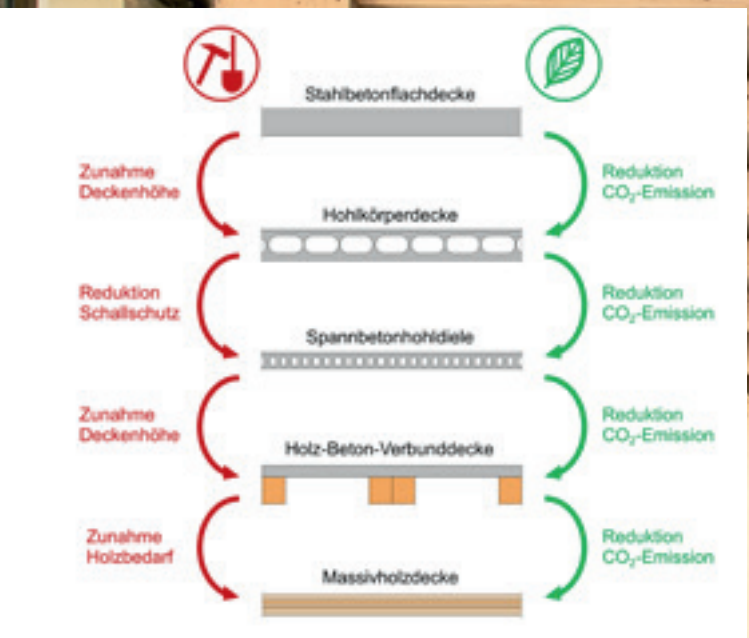
Die Anpassungsmöglichkeiten im Trinkwasserbereich werden in den entsprechenden Ausschüssen für die Überarbeitung des DVGW-Arbeitsblatts W 300-3 aktuell eingebracht. Die Realkalisierung der Betonrandzone soll für Trinkwasserbehälter nicht mehr als Instandsetzungsprinzip weiterverfolgt werden.

Fertigteile im massiven Verkehrswasserbau

Laut dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) wurden etwa 20 % aller Schleusenanlagen in Deutschland vor 1900 und etwa 60 % vor 1950 in Betrieb genommen. Mit einer angestrebten Nutzungsdauer von 100 Jahren ist diese bei einigen Bauwerken bereits erreicht oder wird in den nächsten Jahren erreicht sein. Somit stehen im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes eine Vielzahl an großen Instandsetzungs- und Neubaumaßnahmen von Wasserbauwerken an. Mit dem Kooperationsprojekt zwischen der Bundesanstalt für Wasserbau und der Technischen Universität Kaiserslautern zum Einsatz von Fertigteilen im massiven Verkehrswasserbau wird eine Konzeption zur Standardisierung von Fertigteillösungen für Verkehrswasserbauwerke angestrebt. Dabei steht vor allem das schnellere, robustere und nachhaltigere Bauen im Fokus des Forschungsvorhabens.

Werden Arbeiten an Verkehrswasserbauwerken nötig, so ist dies häufig mit langen Bauzeiten verbunden. Nicht selten müssen daher auch Abschnitte gesperrt werden. Um erhebliche Auswirkungen auf den Schifffahrtsbetrieb zu vermeiden, besteht ein Ziel darin, diese Bauzeiten so gering wie möglich zu halten. Dafür bietet der Einsatz von Fertigteilen eine geeignete Grundlage. Zum einen beschränken sie die Arbeitszeit am Standort auf ein Minimum, da ein Großteil der Arbeiten bereits im Fertigteilwerk erledigt werden kann. Zum anderen stellen sie aufgrund ihrer Fähigkeit, die Anforderungen aus Expositionsklassen und die Rissbildung infolge frühen Zwangs geschickt in einer geeigneten Betonrezeptur zu kombinieren, eine passende und dauerhafte Lösung dar. Ziel der Forschung ist die Herausgabe eines Leitfadens zum Einsatz von Fertigteilen im massiven Verkehrswasserbau. Dafür liegen aktuell Schleusenbauwerke mit einer maximalen Fallhöhe von 10m im Fokus, da diese in Deutschland ca. 92 % des gesamten Wasserbaus ausmachen.


∑ GWP
55,2
5,4
58,6
40,6
4,4
0,7
45,7
35,8
7,2
43,0
23,6
2,0
3,3
28,9
-22,2
23,6
2,0
3,3
6,7
-144,8
-144,8
-160
-140
-20,0
0,0
20,0
40,0
60,0
GWP [kg CO2-Äq]
Beton
Bewehrungsstahl
Spannstahl
Brettschichtholz
Brettsperrholz
Verbindungsmittel
Polypropylen


Stahlbetonflachdecke
Zunahme Deckenhöhe
Reduktion CO_2-Emission
Hohlkörperdecke
Reduktion Schallschutz
Reduktion CO_2-Emission
Spannbetonhohldiele
Zunahme Deckenhöhe
Reduktion CO_2-Emission
Holz-Beton-Verbunddecke
Zunahme Holzbedarf
Reduktion CO_2-Emission
Massivholzdecke

Michael Heckmann | Christian Glock | Benjamin Wagner | Andreas Pfnür

Holzhybridbauweise als Gamechanger?

Ökologische und Ökonomische Bewertung der Bauweise

Vor dem Hintergrund des nachhaltigen Bauens erfährt die Holzhybridbauweise in den vergangenen Jahren eine erhöhte Aufmerksamkeit. Doch wie ökologisch ist diese Bauweise verglichen mit am Markt etablierten Bauweisen und handelt es sich bei Holzhybridbürogebäuden um ein wirtschaftliches Immobilienprodukt? Diesen Fragen widmet sich das gemeinsame Forschungsprojekt des Fachgebiets Massivbau und Baukonstruktion der Technischen Universität Kaiserslautern und des Fachgebiets Immobilienwirtschaft und Baubetriebswirtschaftslehre der Technischen Universität Darmstadt.

Als Grundlage der Untersuchungen wurden zunächst die bestehenden Potenziale und Herausforderungen aus der Perspektive wesentlicher immobilienwirtschaftlicher Akteursgruppen erfasst. Hierfür erfolgte eine Befragung von insgesamt 37 Expertinnen und Experten, die den Akteursgruppen Nutzer, Investoren, Wertschöpfungskette Bau (Architekten, Planer, Baufirmen), Immobilienprojektentwickler sowie der Öffentlichen Hand und umweltorientierten NGOs zugeordnet werden können.

Da die Holzhybridbauweise insbesondere aufgrund des ihr zugesprochenen CO_2-Einsparpotenzials in den Fokus aktueller Debatten und Untersuchungen geraten ist, wurde dieses Potenzial anhand eines Deckenvergleiches ermittelt und bewertet. Hierfür erfolgte die Gegenüberstellung einer Holz-Beton-Verbunddecke (HBV-Decke) mit einer Stahlbetonflachdecke, einer Hohlkörperdecke aus Stahlbeton, einem Deckensystem aus Spannbetonhohldielen sowie einer Massivholzdecke aus Brettsperrholz. Durch die Tatsache, dass die Kohlenstoffspeicherwirkung von Holz bei einer ökobilanziellen Bewertung in Form negativer Werte berücksichtigt werden darf, weist die Massivholzdecke das mit Abstand günstigste Global Warming Potential (GWP) auf, welches die Menge der emittierten Treibhausgase in kg CO_2-Äq. angibt. Vor dem Hintergrund einer begrenzten Holzverfügbarkeit ist die Effizienz dieses Deckensystems allerdings kritisch zu hinterfragen, ebenso wie der negative ökobilanzielle Ansatz von Holz, denn dieser fördert und belohnt einen verschwenderischen Einsatz von Holz, z. B. durch Überdimensionierung.

Die insbesondere in Deutschland weit verbreitete Stahlbetonflachdecke geht aufgrund der großen Betonmengen mit dem höchsten GWP im Vergleich einher. Als eine Art Kompromisslösung schneidet die HBV-Decke zwar schlechter als die Massivholzdecke, jedoch besser als die berücksichtigten, z. T. ressourcenoptimierten Massivbauweisen ab. Selbst für den Fall eines neutralen Ansatzes für das GWP von Holz ($GWP_{Holz} = 0$) ist diese Aussage gültig.

Neben der Ökologie stellt auch die Ökonomie eine wesentliche Voraussetzung für die Zukunftsfähigkeit und Marktdiffusion einer Bauweise dar. Unter anderem hohe Materialpreise und eine aktuell überschaubare Verfügbarkeit von Planungs- und Baukompetenzen führen zu erhöhten Baukosten von Holzhybridgebäuden. In Form einer Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde daher geprüft ob und unter welchen Umständen sich die Holzhybridbauweise als wirtschaftlich für den Immobilienprojektentwickler herausstellt. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Bauweise insbesondere dann für den Projektentwickler wirtschaftlich wird, wenn Nutzer oder Investoren gefunden werden, die zu Zahlungsaufschlägen in Form geringfügig höherer Mieten oder Kaufpreise bereit sind. Grund für eine solche Bereitschaft können neben unternehmenseigenen Umweltzielen auch Anforderungen aus der EU-Taxonomie sein.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Holzhybridbauweise eine ökologische und gleichzeitig wirtschaftliche Bauweise darstellen kann. Auch wenn sie die konventionellen Bauweisen nicht ablösen wird, trägt sie schon jetzt dazu bei, dass der Anteil der herkömmlichen Stahlbetonbauweise leicht abnimmt. Insgesamt kann zukünftig von einem größeren Mix der Bauweisen ausgegangen werden, wobei unter anderem durch die Holzhybridbauweise ein spürbarer Handlungsdruck auf weniger ökologische Bauweisen entsteht. So fördert diese auch den Einsatz ressourcensparender Betondecken, z. B. als Rippen- oder Hohlkörperdecken oder auch Decken aus Spannbetonhohldielen.

Bildquelle: Pirmin Jung

Philipp Hauser | Wolfgang Kurz

Großmaßstäbliche Verbundträgerversuche

Verbundtragwerke aus Stahl und Beton stellen durch die optimierte Kombination und Beanspruchung der verwendeten Werkstoffe hoch effiziente und materialsparende Konstruktionen dar. Neben dem Trag- und Verformungsverhalten der beiden einzelnen Komponenten, Stahl und Beton, wird die Wirtschaftlichkeit von Verbundträgern hauptsächlich durch die Leistungsfähigkeit des Verbundmittels gekennzeichnet. Um weitere Verbesserungen hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu ermöglichen, werden in einem aktuellen DFG-geförderten Forschungsprojekt Berechnungsmethoden untersucht, die neben der Tragfähigkeit auch die Verformungen des Trägers und die Verformbarkeit der Tragelemente, insbesondere die Nachgiebigkeit der Verbundfuge, berücksichtigen.

Zur Verifizierung der untersuchten Berechnungsmodelle werden die Ergebnisse der Modellrechnung den Ergebnissen realer Bauteilversuche gegenübergestellt. Eine besondere Herausforderung der Modellierung stellen statisch unbestimmte Verbundträger mit Bereichen negativen Biegemoments, wie beispielsweise Durchlaufträger, dar. Die Rissbildung des Betons im Stützbereich führt zu einem Steifigkeitsverlust, was eine Umlagerung der Schnittgrößen zur Folge hat. Da hierzu keine ausreichenden Versuchsdaten zur Verfügung standen, wurden eigene großmaßstäbliche Versuche an Verbundträgern durchgeführt.

Mit dem Ziel einer genauen Ermittlung der Verformungen entlang der Trägerlänge, insbesondere in der Verbundfuge, sowie der Ermittlung der Beanspruchung der Teilquerschnitte wurden im Sommer großmaßstäbliche Belastungsversuche an drei 14 m langen, symmetrisch über zwei Felder spannenden Verbundträgern durchgeführt. Die drei Träger unterschieden sich lediglich in der Anzahl und der Verteilung der Verbundmittel, um so den Einfluss unterschiedlicher Verdübelungsgrade auf das Trag- und Verformungsverhalten zu untersuchen.

Durch Messung der Belastung sowie der Auflagergrößen konnte die Schnittgrößenumlagerung infolge des Steifigkeitsverlusts am Mittelauflager untersucht werden. Mithilfe von optischen Sensorfasern konnten während des Versuchs die Dehnungen des Stahlprofils an Ober- und Unterflansch kontinuierlich über die Trägerlänge ermittelt werden. Anhand dieser Dehnungsmessungen lassen sich die inneren Schnittgrößen der Verbundpartner bestimmen und somit die Verbundwirkung. Darüber hinaus konnten mittels 30 induktiven Wegaufnehmern die Verformung der Verbundfuge während des Versuchs sehr genau ermittelt werden.

Aktuell laufen die Auswertungen und Vergleichsrechnungen, aber erste Ergebnisse zeigen sehr gute Übereinstimmungen zwischen Modellrechnung und realen Versuchsergebnissen. Auf Grund der Besonderheit der Versuche mit einer Unterverdübelung im Stützbereich und der gleichzeitig sehr aufwendigen Messung der Verformungen und Beanspruchungen der Teilquerschnitte konnte mit den Versuchen ein wertvoller Beitrag für weitere Entwicklung im Verbundbau geleistet werden.

Ruhe bitte!

Hochschalldämmende Holzleichtbauwand mit raumakustisch wirksamem Modul

Ein großer Teil der Bildungsgebäude in Deutschland, wie Schulen oder Kindertagesstätten, zählen zum Altbestand und befinden sich darüber hinaus in einem renovierungsbedürftigen Zustand. Die Schalldämmung zwischen Klassenzimmern, Fluren und Aufenthaltsräumen ist vielfach verbesserungswürdig. Auch ist die Sprachverständlichkeit vieler Räume in älteren Bauwerken mangelhaft. Viele Schulgebäude müssten daher mit Akustikdecken, zusätzlich eingebrachten Absorberflächen und neuen Trennwänden mit höherer Schalldämmung nachgerüstet werden. Der Bedarf an Sanierungs- und Instandsetzungsgeldern liegt bereits im zweistelligen Milliardenbereich.

Das Fachgebiet Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung entwickelte in Kooperation mit der Firma PIRMIN JUNG eine neuartige Holzleichtbauwand, welche nicht nur den Schallschutz zwischen Räumen sondern auch die Raumakustik und damit die Sprachverständlichkeit deutlich verbessert. Neben umfangreichen Simulationen wurden in den akustischen Prüfständen des Fachgebietes mehrere Konstruktionsvarianten experimentell untersucht und akustisch bewertet.

Am Ende konnte ein Prototyp mit einem bewerteten Schalldämm-Maß von 64 dB mit nur 260 mm Dicke entwickelt werden. Auch war es möglich ein akustisches Modul zur Erhöhung der Schallabsorption in den Konstruktionsaufbau zu integrieren, ohne damit das Schalldämm-Maß negativ zu beeinflussen. Durch die zusätzliche Schallabsorption wird die Sprachverständlichkeit deutlich verbessert. Das Modul funktioniert ähnlich einer abgehangenen Akustikdecke.

Neben dem ursprünglichen Einsatzgebiet „Schule“ eignet sich die entwickelte Holzleichtbauwand, mit ihrem hohen bewerteten Schalldämm-Maß, auch sehr gut für andere Anwendungsszenarien mit hoher Schallexposition.

Neue Ausschüsse zum treibhausgasreduzierten und ressourcenschonenden Bauen im DAfStb und DBV

Am 07.12.2021 fand die konstituierende Sitzung des neuen Technischen Ausschusses „Nachhaltig bauen mit Beton“ vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) statt. Ziel des neuen Ausschusses ist es, den ökologischen Fußabdruck des Betonbaus im Sinne der Klimaschutzziele zu verbessern. Der Ausschuss wird von Prof. Dr.-Ing. Michael Haist vom Institut für Baustoffe der Leibnitz Universität Hannover und Prof. Dr.-Ing. Christian Glock vom Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion geleitet. Einen Tag zuvor, am 06.12.2021, fand die konstituierende Sitzung der Ad-hoc-Gruppe „Blue Guide Sustainable Concrete Construction“ des Deutschen Beton- und Bautechnikvereins DBV statt. Auch dieses Gremium verfolgt das Ziel, das treibhausgasreduzierte und ressourcenschonende Bauen voranzutreiben. Hier ist insbesondere die Planungs- und Bauwirtschaft beteiligt, um gemeinsam die Klimaschutzziele zu erreichen. Professor Glock vertritt die Technische Universität Kaiserslautern auch in diesem Gremium.

Deutscher Bautechniktag 2021

Am 18.03.2021 veranstaltete der DBV (Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.) den ersten virtuellen Deutschen Bautechnik-Tag. Bei diesem alle zwei Jahre stattfindenden Branchentreffen fanden sich 1500 Fachleute aus den Bereichen Auftraggeber, Bauwirtschaft, Planung, Politik und Verwaltung sowie Wissenschaft und Forschung ein. Das interessante Programm stand unter dem Motto „Baufabrik der Zukunft“. Die Technische Universität Kaiserslautern war mit dem Thema „Betonbau – Quo vadis? Massivbau zwischen Tradition und Zukunft“ von Professor Glock vertreten.

Bildquelle: Beton- und Stahlbetonbau, Ernst & Sohn/Wiley 2021

Betonheliostat ziert Titelbild der 8. „Beton- und Stahlbetonbau“-Ausgabe 2021

Der im Rahmen des DFG-geförderten Erkenntnistransferprojekts mit der Förderungsnummer 389020360 hergestellte Betonheliostat ziert die aktuelle Ausgabe der Fachzeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“. Der aus vier filigranen Betonfertigteilen bestehende Heliostat wurde in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum im Labor für Konstruktiven Ingenieurbau an der Technische Universität Kaiserslautern hergestellt. Die Streben der Betonstruktur besitzen eine mittlere Dicke von 1,8 cm und wurden aus dem Bindemittelgemisch Nanodur Compound 5941 gefertigt. Mit dem dargestellten Großdemonstrator wurde eine Spiegelfläche von ca. 8 m² erreicht, die für eine punktuelle Konzentration von Solarstrahlung in solarthermischen Kraftwerken genutzt werden kann. Zur optischen Qualifizierung steht der Heliostat zur Zeit auf dem Solarfeld des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt in Jülich. Nach der optischen Vermessung wird der Großdemonstrator dann auf dem Campus der Ruhr-Universität Bochum aufgestellt.

9th International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete

Vom 27. bis zum 29.07.2021 fand in Bochum die “9th International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete; kurz: Composite Construction” als online Konferenz statt. Durch 72 Fachbeiträge aus 18 Ländern soll die Composite Construction sowohl Forschern als auch Praktikern als Plattform dienen, um Innovationen und Erfahrungen im Zusammenhang mit Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen international austauschen und diskutieren zu können. Organisiert wurde die Veranstaltung durch den Lehrstuhl für Stahl,- Leicht- und Verbundbau der Ruhr-Universität-Bochum in Zusammenarbeit mit dem Institut für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart, dem Fachgebiet Stahlbau der Technischen Universität Kaiserslautern und der Faculty of Science, Technology and Medicine der Universität Luxemburg. Neben Tagungsstätten in Südafrika, Kanada und den USA wurde die Composite Construction zum zweiten Mal in Deutschland ausgetragen.

TAE 2021 – Drohnenbasierte Brückenerfassung

Aktuelle Themen aus Auftraggeber-, Unternehmens- und Forschungssicht zu beleuchten war das Anliegen des Fachkongresses in Ostfildern. Das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion konnte sich mit einem Vortrag zur drohnenbasierten Erfassung von as-built Modellen im Brückenbau einbringen und so das Themenspektrum bereichern. Mittels Verfahren des Machine Learnings können hierbei BIM-Modelle zu dynamischen digitalen Zwillingen des Bauwerks angereichert werden. Fabian Kaufmann stellte die Forschung vor. In reichhaltigen Diskussionen konnten weitere Herausforderungen im Infrastrukturbau erörtert werden. „BIM, Digitaler Zwilling und KI, das sind die Themen, die die digitale Transformation im Infrastrukturbau ermöglichen werden.“, so fasst Prof. Dr.-Ing. Christian Glock die gelungene Veranstaltung zusammen und weist darauf hin, dass die Forschung im Fachgebiet mit Hr. Tschickardt und Hr. Kaufmann hierzu weitere Beiträge liefern werde.

Online Digitaldebatte zur 5. Design & Build Konferenz

Am 29.06.2021 fand die Design & Build Digital statt unter dem Motto: „Fünf Jahrzehnte ohne Fortschritt: Warum stagniert die Arbeitsproduktivität am Bau? Wie effizient baut Deutschland?“ In der Webkonferenz wurden Wege aus der Stagnation diskutiert. Professor Glock regte die Diskussionsrunde mit dem Impulsvortrag „Bauen im Wandel zwischen Tradition und Zukunft“ an und diskutierte anschließend gemeinsam mit Reinhard Blaurock, geschäftsführender Gesellschafter der Vollack Gruppe sowie Dr. Tilmann Prinz, Bundesgeschäftsführer der Bundesarchitektenkammer. Die Moderation übernahm Thomas Zinnöcker, ehemaliger CEO der ista Gruppe sowie seitens des Veranstalters Rückerconsult Dr. Ulrich Nagel.

Prima Klima – Doppelklimakammer in Betrieb

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Forschungsgroßgerät Doppelklimaprüfkammer NCZ 2037 konnte zu Beginn des Jahres 2021 im Gebäude 60 der Technischen Universität Kaiserslautern, in dem sich die Labore des Konstruktiven Ingenieurbaus befinden, in Betrieb genommen werden. Mit einem Netto-Prüfrauminhalt von etwa 37 m³ je Klimakammer, einem Temperaturarbeitsbereich von -20 °C bis +70 °C und einer Temperaturänderungsgeschwindigkeit von ± 2,5 K/min sowie einem Feuchtearbeitsbereich von 15 % r. F. bis 95 % r. F. erfüllen die vollständig mit Edelstahl ausgekleideten Kammern höchste Ausstattungsansprüche für künftige Forschungsprojekte mit Anforderungen hinsichtlich differenzierter Feuchte- und Temperaturbereiche. Die Doppelklimakammer wurde federführend vom Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen beantragt. Die bauliche Umsetzung erfolgte durch die Firma AES System GmbH, Netzschkau. Der Betrieb der Kammern erfolgt unter Leitung des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen.

Saturday Learning

Am Samstag, dem 13.11.2021 nahm das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion zum wiederholten Mal an der Veranstaltung Saturday Learning teil. Im Rahmen einer halbstündigen Einführungsvorlesung wurden den etwa 30 anwesenden Schülerinnen und Schülern der Oberstufe zunächst das Berufsbild des Bauingenieurs nähergebracht. Daraufhin wurde von Professor Glock der Schwerpunkt der Veranstaltung, der Brückenbau thematisiert. Im Anschluss daran konnten die Schülerinnen und Schüler ihre Kreativität und die gelernten Eindrücke in einem Brückenbauwettbewerb einbringen und in einer Challenge gegeneinander antreten. Die tragfähigste Brücke, aus den gegebenen Materialen: Pappe, Spaghetti, Schnur und Heißkleber gewinnt und wurde nach den abschließenden Belastungsversuchen gekürt. Zum Abschluss der gelungenen Informationsveranstaltung gab es für die Interessierten noch einen Rundgang im Labor für konstruktiven Ingenieurbau.

Kooperation mit Wayss & Freytag Ingenieurbau AG im Bereich der Digitalisierung

Die Wayss & Freytag Ingenieurbau AG und das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion gehen seit Dezember 2020 gemeinsame Wege. Die Kooperation und das verbundene Forschungsvorhaben mit einer Dauer von drei Jahren untersucht die Digitalisierung im Brückenbau. Professor Glock freut sich auf die Zusammenarbeit mit Wayss & Freytag und den Bauingenieur Thomas Tschickardt, der die Forschung für beide Partner vorantreibt. Wayss & Freytag Ingenieurbau verfolgt seit mehreren Jahren eine ganzheitliche Strategie zur Implementierung von Digital Construction und BIM in allen operativen Geschäftsprozessen und ist das erste nach der BIM-Norm ISO 19650 zertifizierte Unternehmen in Deutschland. Wayss & Freytag Ingenieurbau verleiht zudem auch den Conrad Freytag Preis in enger Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Kaiserslautern für herausragende Studienleistungen.

AiF-Gutachterwahl

Erneut wurde Prof. Breit bei der AiF-Gutachterwahl zum Mitglied für die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) für den Bereich Wissenschaft in die Gutachtergruppe 1 Werkstoffe, Untergruppe 1.3 Nichtmetallische, anorganische Werkstoffe gewählt. Die Berufung erfolgt im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) als Fördermittelgeber und gilt für die Amtszeit 01.01.2022 bis 01.12.2024. Die vorwettbewerbliche IGF schlägt eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher Anwendung und bietet KMU Zugang zu aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen. Unter dem Dach der AiF-Forschungsvereinigungen werden neue Technologien für gesamte Branchen und zunehmend branchenübergreifend aufbereitet, um die Wettbewerbsfähigkeit mittelständischer Unternehmen zu erhalten und zu stärken. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi) fördert sie mit öffentlichen Mitteln.

Weiterbildung zum nachhaltigen Bauen mit über 300 Teilnehmenden

Am 29.09.2021 fanden sich bei der Veranstaltungsreihe „Weiterbildung für Tragwerksplanung“ über 300 Teilnehmende im virtuellen Konferenzraum zum Thema „Nachhaltiges Bauen“ zusammen. Die Veranstalter der Fachgebiete Massivbau und Baukonstruktion sowie Stahlbau konnten ein interessantes Programm mit namhaften Experten zum Thema gewinnen: Prof. Dr. Carl-Alexander Graubner von Bung Planen und Beraten, Ulrich Schweig von Ed. Züblin AG, Christian Herget von der Technischen Universität Darmstadt sowie Professor Glock vom Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion, der auch Einführung und Moderation übernahm.

Neu im Labor: Der CT-BETON für einen besseren Durchblick bei der WPK

Die kryptische Bezeichnung CT-BETON steht für einen Computertomographen, der bei der werkseigenen Produktionskontrolle von Gesteinskörnungen zum Einsatz kommen kann. Damit hat ein Computertomograph zum schnellen Scannen von Gesteinskörnungen für die Bestimmung der geometrischen Eigenschaften Einzug in das Labor des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen gehalten. Das Gerät wurde von der Firma ProCon X-Ray im Rahmen des gemeinsamen AiF-ZIM Forschungsvorhabens „Entwicklung innovativer Hochleistungsmörtel auf der Basis des Kriteriums der Kornform durch Anwendung von neuen computertomographischen 3D Mess- und Auswertetechniken“ entwickelt und konstruktiv umgesetzt und dem Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen zur Verfügung gestellt. Mit diesem, speziell für Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel konzipierten Gerät, soll die Anwendungsmöglichkeit der Computertomographie im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle untersucht und bewertet werden. Derzeit wird in Versuchsreihen mit unterschiedlichen Gesteinskörnungen und Korngruppen evaluiert, inwiefern ein schnelles und einfaches Scannen repräsentativer Probengrößen mit diesem Gerät möglich und ein Einsatz im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle denkbar ist.

Bildquelle: BIBM 2021

Internationaler BIBM Kongress in Kopenhagen

Die europäische Vereinigung der Fertigteilindustrie BIBM (Bureau International du Béton Manufacturé) veranstaltet alle drei Jahre einen internationalen Kongress. Vom 14. bis 16.11.2021 fand dieser in Kopenhagen statt. Kopenhagen lieferte mit ihrer Vorbildfunktion für Klimagerechtigkeit und Nachhaltigkeit den idealen Rahmen, denn viele Beiträge widmeten sich diesem Thema. Rund 300 Teilnehmende aus Industrie, öffentlichen Institutionen und Forschung aus zahlreichen europäischen Ländern nutzen die Konferenz zum persönlichen Austausch. Professor Glock stellte das europäische Forschungsprojekt SeRaMCo vor, das die Verwendung von Bauabfällen für den Betonfertigteilbau untersucht und vorantreibt. BIBM nutze die Konferenz auch um das "The Little Green Book of Concrete 2021" vorzustellen, das wichtige Hinweise für den nachhaltigen Bau liefert.

140 Jahre PIZ an der Technischen Universität Kaiserslautern

Am 19.11.2021 feierte das Patent- und Informationszentrum (PIZ) Rheinland-Pfalz an der Technischen Universität Kaiserslautern sein 140 jähriges Jubiläum mit einer Festveranstaltung sowie parallel online mit namhaften Gästen. Das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion war eingeladen, das Hochwasserschutz-Patent vorzustellen. Die am Fachgebiet entwickelte selbsttätige Hochwassersperre aus stahlfaserbewährtem UHPC Sandwichelementen besteht aus modularen Fertigteilen und ermöglicht einen wartungsfreien Hochwasserschutz. Nach einer Einführung von Professor Glock stellte Herr Kasem Maryamh die Hochwassersperre vor.

Weiterbildung zur Befestigungstechnik mit über 400 Teilnehmenden

Am 03.03.2021 fanden sich bei der Veranstaltungsreihe „Weiterbildung für Tragwerksplanung" wiederum über 400 Teilnehmende im virtuellen Konferenzraum zum Thema „Befestigungstechnik" zusammen. Die Veranstalter der Fachgebiete Massivbau und Baukonstruktion sowie Stahlbau konnten ein interessantes Programm mit namhaften Experten zum Thema gewinnen: apl. Prof. Dr.-Ing. Catherina Thiele, von unserem Fachgebiet, Dipl.-Ing. Rainer Becker, fobatec GmbH, Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann, Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt, Frankfurt University of Applied Science sowie Dr.-Ing. Marie Reichert, B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH. Die Einführung und Moderation übernahm Professor Glock vom Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion.

Final SeRaMCo Conference „Precast in the Circular Economy"

Am 20.01.2021 veranstaltete das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion die Abschlusskonferenz zum Forschungsprojekt SeRaMCo mit rund 100 internationalen Teilnehmern aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlicher Hand. Aufgrund der Situation im Zusammenhang mit dem Coronavirus wurde die Konferenz zunächst verschoben und nun als Online-Event umgesetzt. Die Eröffnung erfolgte durch unsere Vizepräsidenten Professor Werner Thiel, Frau Staatssekretärin Nicole Steingaß vom Ministerium des Innern und für Sport des Landes Rheinland-Pfalz, Programm-Direktor Mathieu Mori vom EU-Förderprogramm Interreg North-West-Europe sowie Professor Christian Glock als Lead Partner des Projektes. Die zahlreichen namhaften internationalen Referenten zeigten in interessanten Vorträgen und Diskussionen die erzielten Projektergebnisse von der theoretischen Forschung bis hin zur Umsetzung von Pilotprojekten aus Recyclingbeton. In den Pausen gab es kurzweilige Videos, die die Ergebnisse aus der dreijährigen Forschung präsentierten.

Robert Adams | Wolfgang Breit

Nordischer Gott der Normung? O – DIN!

Regeln sind wichtig oder „Et es wie et es“
(§ 1 Kölsches Grundgesetz)

Normen sind im Bauprozess von der Planung bis zur Prüfung und Ausführung ein fester und unverzichtbarer Bestandteil der täglichen Arbeit aller Beteiligten. Da sprichwörtlich nichts so beständig ist wie der Wandel, müssen Normen immer auch in regelmäßigen Abständen an den Erfordernissen der Realität überprüft und an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden.

Für den Anwender ist es dabei immer empfehlenswert, bereits frühzeitig die neuesten Entwicklungen im Auge zu behalten. Sei es, um bereits im frühen Stadium Einfluss auf die Entwicklungen nehmen zu können, sei es um mögliche rechtliche Folgen für das eigene Handeln in Rechnung stellen zu können.

Im Folgenden werden einige Neuerungen im Normensektor vorgestellt, an denen das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen beteiligt war bzw. ist.

Neues

aus der Normung

Nichts ist so beständig wie der Wandel oder „Nix bliev wie et wor“ (§ 5 Kölsches Grundgesetz)

Prüfverfahren, die wegen mangelnder Normungsreife noch nicht in Normen aufgenommen werden können, werden jedoch häufig mit Erfolg beispielsweise für die Schadensanalyse oder auch die Qualitätskontrolle angewendet. Um bei ihrer Anwendung vergleichbare und bewertbare Ergebnisse erzielen zu können, ist es erforderlich, die Vorgehensweisen zu vereinheitlichen und einem breiten Nutzerkreis zugänglich zu machen. Vor diesem Hintergrund hatte der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton schon 1985 beschlossen, für nicht genormte Prüfungen von Beton einheitliche Verfahrensbeschreibungen aufzustellen und sie je nach ihrer Bedeutung und Brauchbarkeit entweder als Empfehlungen oder Hinweise in einem besonderen Heft des DAfStb zusammenzufassen. Das Ergebnis war das Heft 422 „Prüfung von Beton – Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048“, das 1991 erschienen ist.

In der Zwischenzeit wurden einerseits viele der in Heft 422 beschriebenen Verfahren für die Prüfung von Frischbeton, Fest- und Bauwerksbeton in reguläre Normen überführt, andererseits wurden auch neue Prüfverfahren entwickelt, so dass verschiedene Anläufe gestartet wurden, das Heft 422 zu überarbeiten, die jedoch aus unterschiedlichen Gründen nicht zu Ende geführt wurden.

Um den Anwendern für neue und/oder nicht genormte Prüfverfahren für Beton wieder einheitliche Verfahrensbeschreibungen auf aktuellem Sachstand zur Verfügung stellen zu können, wird im Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen zurzeit eine Neuauflage von Heft 422 erarbeitet, in der die nicht genormten Prüfverfahren für Frisch- und Festbeton, sowie für die Prüfung von Beton an Bauwerken zusammengetragen und in einheitlichen, normenangelehnten Verfahrensbeschreibungen dokumentiert werden sollen.

Das Heft soll in eine DAfStb-Richtlinie „Prüfverfahren“ überführt werden und in der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton als neues Heft veröffentlicht werden.

Que sera sera oder „Et kütt wie et kütt“ (§ 2 Kölsches Grundgesetz)

Die Betontechnologie ist im Hinblick auf neue Betonzusammensetzungen und Verfahrensweisen bei der Verarbeitung in den letzten Jahren durch eine vergleichsweise stürmisch fortschreitende Entwicklung geprägt. Hochleistungsbetone, Faserbetone und Selbstverdichtende Betone finden sich heute in den Sortenverzeichnissen der meisten Transportbetonwerke und mit dem Carbonbeton steht ein neuer innovativer Baustoff vor der Markteinführung. Bei der Bauausführung lässt sich ein Trend zu weicheren Betonen erkennen und der Betoneinbau im Gleitbauverfahren nimmt zu.

Die einschlägigen deutschen Regelwerke DIN EN 206-1:2001 in Verbindung mit DIN 1045-2:2008 sowie DIN EN 13670:2011 in Verbindung mit DIN 1045-3:2012 tragen dieser Entwicklung naturgemäß nicht in ausreichendem Maß Rechnung. Darüber hinaus zeigen die Erfahrungen bei der Anwendung des Regelwerkes, dass die darin beschriebenen Abläufe insbesondere bei der Umsetzung komplexer Bauwerke dem erforderlichen Koordinierungsbedarf nicht mehr adäquat sind.

Um auch zukünftig eine hohe Qualität bei der Betonherstellung und Ausführung sicherzustellen, wurde vor diesem Hintergrund im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) ein Konzept zur Sicherstellung der BetonBau-Qualität (BBQ-Konzept) erarbeitet. Darin werden Betonbauqualitätsklassen definiert, die „die Unterscheidung des Anforderungsniveaus in technischer Hinsicht und hinsichtlich erforderlicher Kommunikation bzw. der Komplexität in den Bereichen Planung, Beton und Bauausführung von Bauwerken und Bauteilen aus Beton“ ermöglichen sollen.

Bei den Betonqualitätsklassen wird zwischen normalen Anforderungen BBQ-N, erhöhten Anforderungen BBQ-E und speziell festzulegenden Anforderungen BBQ-S differenziert. Zur Beschreibung des Anforderungsniveaus werden zusätzlich Klassen für die Planung, für Baustoffe und für die Bauausführung eingeführt: Planungsklasse PK, Betonklasse BK und Ausführungsklassen AK, jeweils für die Anforderungen normal (N), erhöht (E) und speziell (S).

Dieses Konzept wurde zwischenzeitlich in eine neue Normengeneration der DIN 1045 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ überführt. Bei dieser Gelegenheit wird auch die Anpassung an die europäische Normung erfolgen, die trotz mehrmaliger Novellierung der grundlegenden DIN EN 206 in den Jahren 2014, 2017 und zuletzt 2021 bisher nicht gelungen ist. Das Gelbdruckverfahren soll im Lauf des kommenden Jahres 2022 durchgeführt werden.

Im Vergleich zum gegenwärtigen Stand werden in den Qualitätsklassen BK-E und BK-S Anforderungen an die Kommunikation gestellt, die durch obligatorische Ausschreibungs- und Ausführungsgespräche zwischen den Beteiligten in der Planungs- und Ausführungsphase erfüllt werden müssen.

Inhaltlich werden für die Betonklasse BK-S über die Norm hinausgehende individuelle projektspezifische Festlegungen (z. B. über 50 Jahre hinaus verlängerte Nutzungsdauer) ermöglicht, so dass auf diesem Weg auch die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen der öffentlichen Verkehrsträger (ZTV-ING) oder Sonderlösungen an das allgemeine Regelwerk angebunden werden können.

Insbesondere für die ZTV-ING ergeben sich durch die vorgesehenen Regelungen der DIN 1045 sowohl Fragen im Hinblick auf die Auswirkungen des BBQ-Konzeptes als auch die nationale Umsetzung der DIN EN 206:2021, da hierdurch der für die ZTV-ING bisher maßgebliche DIN-Fachbericht FB 100 außer Kraft gesetzt wird.

In diesem Zusammenhang bestehende offene Fragen sollen im Rahmen des Projekts „Auswirkungen der Anforderungen des BBQ-Konzeptes (Beton Bau Qualitätsklassen) für Ingenieurbauwerke nach ZTV-ING“ im Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen untersucht und beantwortet werden.

In die Überarbeitung der DIN 1045-2 fließen auch neuere Erkenntnisse aus Forschungsvorhaben zu Beton mit rezyklierten und wiedergewonnenen Gesteinskörnungen ein, die vom Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen maßgeblich miterarbeitet worden sind. Auf dieser Grundlage wird auch ein stärkerer Einsatz von R-Beton in Ingenieurbauwerken möglich.

Bisher ist die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen in Brückenbauwerken des Bundesfernstraßennetzes im Regelbereich der ZTV-ING nicht zugelassen.

Im Rahmen eines weiteren Vorhabens „Ressourcenschonender Beton (R-Beton) in Brückenbauwerken: Machbarkeitsstudie und notwendige Verfahren zur Sicherstellung der Betonqualität“ sollen im Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen prinzipielle Einsatzmöglichkeiten von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen für Brückenbauteile und Ingenieurbauwerke erfasst werden. Die vorliegenden Erkenntnisse sollten im Hinblick auf die Verwendung in Bauteilen für Ingenieurbauwerke und unter Berücksichtigung der Belange im Bundesfernstraßennetz analysiert und die Möglichkeiten und Anwendungsgrenzen beschrieben sowie eingegrenzt werden.

Die Ergebnisse sollen als Grundlage für eine Anpassung der bestehenden Regelwerke im Umgang mit rezyklierten Gesteinskörnungen für Brücken- und Ingenieurbauwerke des Bundesfernstraßennetzes dienen.

§

§

Vertrauen ist gut – Kontrolle ist besser oder „Et hätt noch immer joot jejange“

(§ 3 Kölsches Grundgesetz)

In einem längeren Prozess wurde die europäische Norm EN 13791 „Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen“ in den zurückliegenden Jahren überarbeitet und liegt mit Ausgabedatum Februar 2020 nunmehr seit fast zwei Jahren in einer novellierten, vollständig überarbeiteten Fassung vor.

Die novellierte Fassung der DIN EN 13791 ist jedoch bisher noch nicht in die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) aufgenommen worden, so dass die Normen DIN EN 13791:2008 und NA20:2017 damit bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ihre Gültigkeit behalten (DIBt-Mitteilungen Stand November 2021) haben.

Die Aufnahme der novellierten Fassung in die MVV TB als Ersatz für die alte Norm kann erst nach Vorliegen eines Nationalen Anhangs (NA) und dessen Überprüfung erfolgen. Der Entwurf des nationalen Anhangs, der unter Federführung des Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen erarbeitet wurde, ergänzt bzw. präzisiert die Regelungen der DIN EN 13791 für die Anwendung in Deutschland. Über die inhaltlichen Änderungen der Hauptnorm und des NA wurde bereits an dieser Stelle im vergangenen Jahr berichtet.

Nach Freigabe des Einspruchsverfahrens im laufenden Jahr 2021 und Ablauf der Einspruchsfrist am 20. Oktober 2021 läuft derzeit die finale Abstimmung im zuständigen Normungsausschuss „Prüfverfahren für Beton“. Die Veröffentlichung des NA DIN EN 13791/A20 unter dem Titel „Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen; Änderung A20“ wird voraussichtlich im ersten Quartal 2022 erfolgen.

Die Zukunft war früher auch (nicht) besser oder „Wat wellste maache“

(§ 7 Kölsches Grundgesetz)

„Früher gab es Anstandsregeln, heute gibt es Abstandsregeln“. Der Spruch deutet auf ironische Weise an, dass auch die Welt des Normativen in einem ständigen Entwicklungsprozess begriffen ist.

Auch im Bauwesen bleibt es eine Herausforderung die Normung an den jeweils aktuellen Erkenntnis- und Entwicklungsstand anzupassen.

Wenn keine aktuellen Normen vorliegen, bleibt der Anwender bei der Lösung eines Problems auf seinen gesunden Ingenieurverstand angewiesen. Dabei mag dann im Einzelfall auch gelten: Wenn du ein Problem nicht lösen kannst, liegt es vielleicht daran, dass du dich an die Regeln hältst.

Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen: Karl Leidner seit August 2021 im Ruhestand

Nahezu drei Jahrzehnte stellte Karl Leidner seine unermüdliche Arbeits- und Schaffenskraft der Technischen Universität Kaiserslautern zur Verfügung. Nach der Einstellung 1992 im Fachbereich Massivbau und Baukonstruktion von Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Ramm und einem kurzen Intermezzo beim Materialprüfamt der Technischen Universität Kaiserslautern erfolgte 2002 der Wechsel ins Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, das von Herrn Prof. D. Kespohl geleitet wurde (seit 2007 Prof. Dr.-Ing. W. Breit). Jeder, der das Vergnügen hatte, mit Herrn Leidner zusammen arbeiten zu dürfen, weiß, welche Lücke an Arbeitsfreude, Kreativität und Kompetenz er in unserem Labor und im Fachgebiet hinterlässt. Wir werden den aufmunternden Aufruf „Attacke“ vermissen, wenn es darum geht, innovative Lösungen für neue Projekte und Problemstellungen zu finden. Alle Kollegen wünschen Herrn Leidner das Beste für seinen wohlverdienten Ruhestand.

Promotionen

14. Januar
Dr.-Ing. Arnaud Pavis d’Escurac
Zur Bemessung von Sandwichwänden aus Stahlbeton bei Berücksichtigung der Tragwirkung der Vorsatzschale
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Jürgen Schnell / Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz

26. Januar
Dr.-Ing. Moritz Lönhoff
Entwicklung eines Ingenieurmodells zur Beurteilung der out-of-plane-Tragfähigkeit von einachsig spannenden unbewehrten Mauerwerkswänden unter Erdbebeneinwirkung
Prof. Dr.-Ing. Hamid Sadegh-Azar / Prof. Dr.-Ing. Christian Glock

22. März
Dr.-Ing. Thomas Höhne
Nachweis der Gleichwertigkeit des brandschutztechnischen Sicherheitsniveaus zwischen konventionellen und neuen pädagogischen Schulbauformen
Prof. Dr.-Ing. Dirk Lorenz / apl. Prof. Dr.-Ing. Catherina Thiele

25. Mai
Dr.-Ing. Eva-Maria Ladner
Bewertung der Verschleißbeständigkeit von befahrenen Oberflächenschutzsystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit / Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach / Prof. Dr.-Ing. Udo Wiens

15. Juli
Dr.-Ing. Melanie Merkel
Realkalisierungspotenzial von zementgebundenen Werkstoffen im Trinkwasserbereich
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit / Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach / Prof. Dr.-Ing. Manfred Breitbach

Promotionen

02. September
Nicole Schmeckebier
Ingenieurmodell zur Berechnung der Querkrafttragfähigkeit von Stahlverbunddecken mit praxisrelevanter Betonstahlbewehrung
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz / Prof. Dr.-Ing. Nguyen Viet Tue

03. November
Dr.-Ing. Felix Breit
Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Rissverhalten von mehrlagig bewehrten Stahlbetonbauteilen bei Verwendung großer Stabdurchmesser
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Jürgen Schnell / Prof. Dr.-Ing. Christian Glock

Neue wissenschaftliche Mitarbeiter

Massivbau und Baukonstruktion
René Basters, M.Sc.
Aaron Dernbach, M.Sc.
Maximilian Kaiser, M.Sc.
Felix Ruppert, M.Sc.
Tobias Wendler, M.Sc.
Mohammad Yousefi, M.Sc.

Stahlbau
Manuel Risch, M.Sc.

Statik und Dynamik
Ina Münch, M.Sc.
Lars Heibges, M.Sc.

 Bildquelle: Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)

Ausgewählte Veröffentlichungen 2021

BLANDFORT, F.; GLOCK, C.; SASS, J.; SCHWAAR, S.; SEFRIN, R.: Efficient and comprehensive time-dependent reliability analysis of complex structures by a parameter state model, in: ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering 7 (2021), Nr. 2, 04021020.

BREIT, F.; GLOCK, C.: Rissverhalten von Stahlbetonbauteilen mit mehrlagig bewehrten Querschnitten bei Verwendung großer Stabdurchmesser – Cracking behaviour of reinforced concrete-elements with multiple-layer reinforced cross sections when using large diameters, in: BFT International 87 (2021), Nr. 2, S. 94.

BREIT, W.; LADNER, E.-M.; SCHULZE, J.; BLIETSCHAU, S.; MERKEL, M.; SCHULER, F.: Untersuchungen zu Umwelteinflüssen auf die Dauerhaftigkeit und Verschleißbeständigkeit von befahrenen Oberflächenschutzsystemen während der Applikations- und Nutzungsphase, in: Forschungsinitiative Zukunft Bau F 3219 (2021), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

BROSCHART, B.; KURZ, W.; WOLTERS, K.; CHRISTOU, G.; CLASSEN, M.: Development of a new design approach for composite dowels positioned close to the concrete surface, in: Proceedings of the 9th European conference on steel and composite structures (2021), Sheffield, S. 598-605.

BURGMANN, S.; DORNISCH-BUND, B.; BREIT, W.: Characterization scheme for natural and recycled fine aggregate shape based µCT imaging, in: Proceedings of the fib Symposium Concrete structures – New trends for eco-efficiency and performance (2021), online, S. 795-804.

BURGMANN, S.; GODEHARDT, M.; SCHLADITZ, K.; BREIT, W.: Influence of voxel size for µCT imaging of particles on measurement accuracy, in: Construction and Building Materials 289 (2021), 123148.

CARSTENS, S.; PAHN, M.: Adhesive shear strength and sliding friction of mineral foam insulated sandwich facades, in: BFT International 87 (2021), Nr. 12.

CARSTENS, S.; PAHN, M.: Durability of GFRP connectors under sustained compression load for use in sandwich walls, in: Proceedings of the fib International Conference on Concrete Sustainability (2021), Prag, S. 128.

CARSTENS, S.; PAHN, M.: Mineral foam insulation for sandwich walls, in: Proceedings of the Advanced Building Skins Conference and Expo (2021), Bern, S. 9-17.

DAUBERSCHMIDT, C.; BREIT, W.; BECKER, F.; CELEBI, A.: Instandsetzung von chloridbelasteten Bauteilen durch Applikation einer Beschichtung – Untersuchungen zu den Anwendungsgrenzen der Verfahren 7.7 und 8.3, in: Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021), Nr. 4, S. 248-261.

DISTLER, P.; SADEGH-AZAR, H.; HECKÖTTER, C.: Enhancement of engineering models for simulation of soft, and hard projectile impact on reinforced concrete structures, in: Nuclear Engineering and Design 378 (2021), 111187.

DONG, H.; YAO, X.; BURGMANN, S.; YE, G.: Drying shrinkage of alkali-activated slag concrete with natural/recycled aggregates, in: Proceedings of the 4th International RILEM Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites (2021), online, S. 757-764.

ETSCHEID, L.; RUPPIK, M.; SADEGH-AZAR, H.; HELM, L.: Analytische und experimentelle Analysen des out-of-plane-Verhaltens von Ziegelmauerwerk bei Erdbeben, in: Zi Ziegelindustrie International (2021), Nr. 5, S. 16-25.

FORMAN, P.; GLOCK, C.; MARK, P.: Schnelles Bauen – Motivation, Historie und Konzepte, in: Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021), Nr. 2, S. 2-11.

GLOCK, C.; HONDL, T.: Kreislaufwirtschaft im Betonfertigteilbau, in: DBZ Deutsche Bauzeitschrift (2021), Nr. 7-8, S. 52-55.

GLOCK, C.; HONDL, T.: Betonbauteile aus R-Beton – Anwendungsbeispiele und Herstellung der SeRaMCo-Produkte – Concrete components made from R-concrete – Application examples and production of SeRaMCo products, in: BFT International 87 (2021), Nr. 2, S. 56.

GLOCK, C.; HONDL., T.; KRANZLER, T.; NOLL, T.: Abbruchreste von heute sind die Rohstoffe von morgen – Tragende Fertigteile aus Recyclingbeton für Pilotprojekte in Thionville und Pirmasens, in: BDB Landesnachrichten Rheinland-Pfalz / Saarland (2021), Nr. 2, S. 25-28.

GLOCK, C.; KAUFMANN, F.; TSCHICKARDT, T.: Drohnenbasierte Erfassung von as-built Modellen zur Automatisierung von Prozessen des digitalen Planens und Bauens im Brückenbau, in: Tagungsband des Fachkongress Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur (2021), Esslingen, S. 367-374.

GOLDSCHMIDT, K.; SADEGH-AZAR, H.: Sicherheitstechnische Grundlagen der Erdbebenauslegung, in: Bauingenieur 96 (2021), Nr. 12, S. 411-420.

GROTT, M.; SPOHN, T.; KNOLLENBERG, J.; KRAUSE, C.; HUDSON, T. L.; PIQUEUX, S.; MÜLLER, N.; GOLOMBEK, M.; VRETTOS, C.; MARTEAU, E.; NAGIHARA, S.; MORGAN, P.; MURPHY, J. P.; SIEGLER, M.; KING, S. D.; SMREKAR, S. E.; BANERDT, W. B.: Thermal conductivity of the Martian soil at the InSight landing site from HP3 active heating experiments, in: Journal of Geophysical Research: Planets 126 (2021), Nr. 7, c2021JE006861.

GRZESIAK, S.; PAHN, M.; SCHULTZ-CORNELIUS, M.; HARENBERG, S.; HAHN, C.: Influence of fiber addition on the properties of high-performance concrete, in: materials 14 (2021), Nr. 13, 3736.

GRZESIAK, S.; PAHN, M.; SCHULTZ-CORNELIUS, M.; BIES, N.: Influence of different fiber dosages on the behaviour of façade anchors in high-performance concrete, in: CivilEng 2 (2021), Nr. 3, S. 556-579.

HARTNER, M.; CARRIGAN, S.; KORNADT, O.; BEECKEN, C.: Energiebedarfswerte nach EnEV versus Energieverbrauch – Ist es wirklich nur der Nutzer?, in: Bauen+ 7 (2021), Nr. 6, S. 8-12.

HARTNER, M.; CARRIGAN, S.; KORNADT, O.; LACHMANN, M.: Normatives vs. realistisches Lüftungsverhalten – Auswirkung von unterschiedlichen Lüftungsstrategien auf den Energiebedarf, in: Bauphysik 43 (2021), Nr. 3, S. 148-153.

HELM, L.; LÖNHOFF, M.; SADEGH-AZAR, H.: Untersuchungen zum Out-of-Plane-Verhalten von nichttragenden Mauerwerkswänden in deutschen Erdbebengebieten, in: Bautechnik 98 (2021), Nr. 11, S. 864-872.

HELM, L.; SADEGH-AZAR, H.; JAHNEL, L.; JANDREY, H.: Innovativer Einsatz von Ringfedern in der Erdbebenauslegung, in: Bautechnik 99 (2021), Nr. 1, S. 31-40.

KAUFMANN, F.; GLOCK, C.: Ready for BIM – Digitalisierung der Erfassung und Beurteilung von Bestandsbauwerken – Ready for BIM – Digitizing capturing and assessment of existing structures, in: BFT International 87 (2021), Nr. 2, S. 63.

KORNADT, O.; CARRIGAN, S.; HARTNER, M.; SCHÖNDUBE, T.; WILHELM, J.; LACHMANN, M.; LERMEN, H.; KISSINGER, M; BEECKEN, C.; BECKER, S.: Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch, in: Forschungsinitiative Zukunft Bau F 3217 (2021), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

KROHN, J.; CARRIGAN, S.; FRIEDRICH, T.; KORNADT, O.: Energy efficient heating and cooling ventilation system with integrated PCM heat storage units, in: Proceedings of the 15th ROOMVENT Conference (2021), Turin, S. 286-289.

MARTEAU, E., GOLOMBEK, M.; VRETTOS, C.; GARVIN, J.B.; WILLIAMS, N.R.: Soil mechanical properties at the InSight landing site on Mars, in: Proceedings of the 52nd Lunar and Planetary Science Conference (2021), online.

MECHTCHERINE, V.; DRESSLER, I.; EMPELMANN, M.; GEHLEN, C.; GLOCK, C.; KUHN, A.; LANWER, J. P.; LOWKE, D.; MÜLLER, S.; NEEF, T.; NERELLA, V.; STEPHAN, D.; VASILIC, K.; WEGER, D.; WIENS, U.: Digitaler Betonbau durch additive Verfahren – Sachstand und Forschungsbedarf, in: Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021), Nr. 11, S.881-900.

MERKEL, M.; BREIT, W.: Realkalisierungsvermögen und Beständigkeit von mineralischen Beschichtungen. in: Tagungsband des 6. Kolloquium Trinkwasserspeicherung in der Praxis (2021), Esslingen, S. 65-78.

PAPAMICHAEL, S.; VRETTOS, C.: Indentation tests and rolling simulations of a compliant wheel on soil at different consistencies, in: Journal of Terramechanics 94 (2021), S. 39-48.

PENKERT, F.; PAHN, M.: Switchable and load-bearing vacuum insulation panels for reinforced concrete walls under bending load. in: Proceedings of the fib Symposium Concrete Structures – New Trends for Eco-Efficiency and Performance (2021), online, S. 1862-1869.

PENKERT, F.; SCHULTZ-CORNELIUS, M.; PAHN, M.: Precast concrete facade with integrated trellis for permanent facade greening, in: Proceedings of the Advanced Building Skins Conference and Expo (2021), Bern, S. 336-344.

RICHTER, H.; MERKEL, M.; BREIT, W.: Instandsetzung mit besonderen Herausforderungen am Beispiel des Wasserwerks Schierstein. in: Tagungsband des 6. Kolloquium Trinkwasserspeicherung in der Praxis (2021), Esslingen, S. 225-236.

SCHEIDEL, S.; DIENST, S.; GÖTZ, T.; KORNADT, O.: Brandschutztechnisches Verhalten von raumabschließenden Holzrahmenkonstruktionen, in: Bauphysik 43 (2021), Nr. 4, S. 211-221.

SCHÖNDUBE, T.; KORNADT, O.; CARRIGAN, S.; LÜTZKENDORF, T.; BEECKEN, C; BECKER, S.: Weiterentwicklung der EnEV-Nachweisverfahren und -Anforderungen unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus, in: Forschungsinitiative Zukunft Bau F 3231 (2021), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

SCHULER, F.; BREIT, W.: Stahlfaserbeton – Charakterisierung von rissquerenden Fasern mittels Computer-Tomografie, in: Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021), Nr. 6, S. 450-459.

SCHWETZ, M.; PAHN, M.; ZEITLER, R.: Shear resistance of wall elements made of LAC, in: Tagungsband der 65. Betontage (2021), Neu-Ulm.

SEFRIN, R.; GLOCK, C.: Determination of in-situ concrete compressive strength under consideration of rearrangement effects, in: Proceedings of the fib International Conference on Concrete Sustainability (2021), Prag, S. 1-9.

SEFRIN, R.; GLOCK, C.; SSCHWABACH, E.: Ermittlung der charakteristischen Betondruckfestigkeit von Bestandstragwerken nach DIN EN 13791:2020 für geringe Stichprobenumfänge, in: Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021), Nr. 1, S. 35-44.

SPIEGEL, J.; HOFMANN, M.; SCHOCH, T.; KORNADT, O.: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit der Baustoffe auf das thermische Verhalten von Gebäuden, in: Bauphysik 43 (2021), Nr. 4, S. 231-242.

TAVASOLI, S.; BREIT, W.: Investigation of porosity and carbonation depth in alkali-activated GGBS mortar, in: Proceedings of the 4th International RILEM Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites (2021), online, S. 850-858.

TUSCH, A.; ADAMS, R.; BREIT, W.: Concrete containing recycled aggregates – development of new mixes and the challenges one has to face, in: Proceedings of the Final Conference of SeRaMCo – Precast Concrete in the Circular Economy (2021), online, S. 104-115.

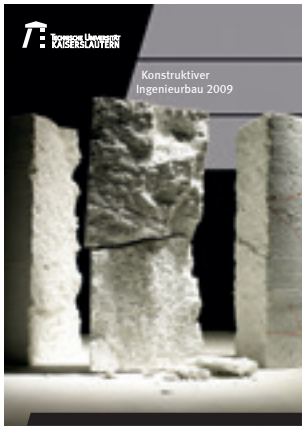
TUSCH, A.; BREIT, W.: RC-Frisch – Erhöhung der Anteile an wiedergewonnener Gesteinskörnung im Beton, in: TB-iNFO 22 (2021), Nr. 84, S. 22-26.

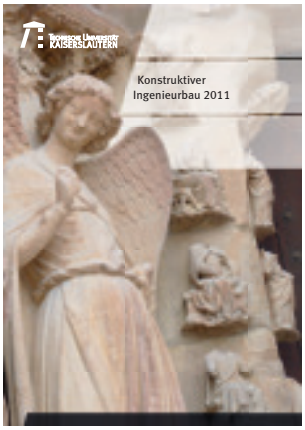
VRETTOS, C.: Näherungsverfahren zum Nachweis gegen Bodenverflüssigung in Gebieten mittlerer Seismizität nach DIN EN 1998-5/NA:2021, in: Bautechnik 98 (2021), Nr. 11, S. 873-879.

VRETTOS, C.: Design of piles for static loads, in: Analysis of Pile Foundations Subject to Static and Dynamic Loading (2021), A. Kaynia (Ed.), CRC Press, S. 1-51.

WEBER, A.; CARSTENS, S.; PAHN, M.: European assessment for GFRP-sandwich connectors, in: Proceedings of the 10th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (2021), online, S. 1764-1777.

Zu guter Letzt – Übersicht der Jahresberichte des Konstruktiven Ingenieurbaus





Impressum

Gestaltung und Satz
Hedeler.Design, Kaiserslautern

Bildnachweis
Bei allen nicht gekennzeichneten Bildern
liegt das Urheberrecht bei der
Technischen Universität Kaiserslautern

Druck
Kerker Druck, Kaiserslautern

Technische Universität Kaiserslautern
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiete des Konstruktiven
Ingenieurbaus

Gebäude 60
Gottlieb-Daimler-Straße
67663 Kaiserslautern

www.uni-kl.de