2017 BetonKalender

Spannbeton
Spezialbetone

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Vorwort

Innovationen treiben Wirtschaft und Gesellschaft an, dies gilt auch für die Bauwirtschaft. Der Bauablauf im Jahr 2017 hat nicht mehr viel mit dem Treiben auf Baustellen vor 50 oder gar 100 Jahren zu tun: Einsatz von Maschinen, Automation in der Baulogistik sowie Effizienzsteigerungen durch Optimierung der Prozesse haben Erhebliches bewirkt. Die Innovationen im Bereich der Baustoffe, insbesondere die Gestaltbarkeit von Beton, ermöglichen den Bau anspruchsvoller und ästhetisch wertvoller Gebäude von hoher Qualität und Funktionalität.

Daher ist es besonders wichtig, neue Baustoffe und Produkte zu entwickeln und im Rahmen einer ganzheitlichen Sicherheitsbetrachtung in die Baupraxis einzuführen. Materialkonforme Bemessungsverfahren, qualitätsüberwachte Herstellung, Lebenszyklusbetrachtungen mit kontinuierlichem Monitoring und periodischen Instandhaltungen gewährleisten ein entsprechendes Sicherheitsniveau. Dabei gilt mehr als in anderen Bereichen unseres täglichen Lebens, dass Sicherheit absoluten Vorrang hat. Wir können es uns trotz der prototypenhaften Entwicklung der meisten Bauvorhaben nicht erlauben, dass die Sicherheit auf Kosten von Wirtschaftsoptimierung leidet. Dieser Grundsatz wird häufig genug als Innovationsbremse angesehen.

Der Beton-Kalender 2017 befasst sich in einer Reihe von Beiträgen mit der Herstellung, mit Produkterweiterungen sowie mit verschiedenen Anwendungen von Spezialbetonen und deren Qualitätssicherung sowie erstmalig mit der bautechnischen Anwendung von tragenden Kunststoffbauteilen. Das aktuelle Wissen über den Spannbeton wurde im Teil 1 aufgearbeitet und durch ein Autorenteam bearbeitet. Zusätzlich ergänzen wertvolle Beiträge über die Bestandteile des Betons sowie deren Wirkungsweisen, Bemessung und Anwendungen den ersten Band.

Stephan Geßner, Roland Niedermeier, Mark Alexander Ahrens, Josef Hegger, Oliver Fischer und *Peter Mark* haben den aktuellen Stand der Entwicklung von Spannbeton zusammengefasst. Besondere Schwerpunkte in diesem Beitrag sind die Schnittgrößenermittlung mit analytischen und praktisch üblichen Verfahren, die Bemessung und konstruktive Durchbildung von Tragwerken und Verankerungsbereichen auf der Grundlage des Eurocodes 2 EN 1992 insbesondere mit Deutschem Nationalen Anhang. Spezifisch sind im Beitrag der Einbau, das Vorspannen und Verpressen im Allgemeinen und die Vorspannung von Balken behandelt. Neben innovativen Weiterentwicklungen des Spannbetons im Brückenbau werden auch externe Spannglieder und die nachträgliche Verankerung und Umlenkung von Spanngliedern in Bestandsbauwerken behandelt.

Thomas M. Sippel hat die Verankerungs- und Bewehrungstechnik bearbeitet und sowohl die speziellen als auch die vorgefertigten Bewehrungselemente in einem klar strukturierten Überblick zusammengestellt. Die verschiedenen Ankerformen zur Erhöhung des Durchstanzwiderstandes, die Betonstahlverbindungen und Bewehrungsanschlüsse sowie Elemente zur Querkraftübertragung werden dargestellt, die konstruktiven Regeln angeführt und wertvolle Hinweise zur Bemessung gegeben. Eine besondere Relevanz hat dieser Beitrag auch dadurch, dass am 1. Juli 2013 die bestehende Bauproduktenrichtlinie durch die Europäische Bauproduktenverordnung ersetzt wurde. Die bis zum 30. Juni 2013 erteilten Europäischen Technischen Zulassungen bleiben bis zum Ende ihrer Geltungsdauer weiterhin gültig. Neue Europäische Technische Bewertungen (European Technical Assessment = ETA) wurden entwickelt, die im Gegensatz zu den Europäischen Technischen Zulassungen keine Gültigkeitsdauer mehr haben. Die neuen ETAs werden auf der Basis von europäischen Bewertungsdokumenten (European Assessment Document = EAD) ausgestellt.

Harald Beitzel und *Marc Beitzel* behandeln in ihrem Beitrag die Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung von Beton. Die Ausführungen berücksichtigen die an das europäische Regelwerk angepassten deutschen Normen, insbesondere DIN 1045-2 als nationales Anwendungsdokument zu DIN EN 206-1 sowie die Baugeräteliste 2015. Die Herstellung von Beton mit innovativen Produktions- und Förderanlagen wird neben der Sonderbehandlung durch Abkühlen, Erwärmen, Mischen und der Steuerung der Anlagen sowie dem Transport von Beton behandelt. Wertvoll für die Praxis sind die Abschnitte über Betone mit besonderen Eigenschaften, in denen die dazu notwendigen Technologien und Maschinenanlagen beschrieben werden. Dem Einbau von Beton, der Leistungsermittlung der Rüttler und der Nachbehandlung wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Christoph Müller hat einen profunden Beitrag über Zement geschrieben. Nach einer geschichtlichen Einführung über die Zemententwicklung geht der

Autor auf die ökologische Komponente (hoher Energiebedarf für die Herstellung) und den aktuellen Stand der Normung von Zement ein. Die aktuellen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 enthalten die Anwendungsregeln für die Normzemente in Abhängigkeit von den Expositionsklassen. Die Verwendung der verschiedenen Zementarten wird in vielen technischen Richtlinien geregelt, die auszugsweise im Beitrag kommentiert werden. Die Eigenschaften der verschiedenen Zemente und der Vergleich der Anwendungsregeln für Zemente im Rahmen nationaler Anhänge zur europäischen Betonnorm EN 206-1 am Beispiel eines Betons für eine bestimmte Expositionsklasse (XF1) werden genauso wie Hinweise zur praxisgerechten Verwendung von Zementen und deren Wirkungen auf die Eigenschaften des Frisch- und Festbetons gut nachvollziehbar behandelt. Abschließend werden einige Erkenntnisse für die Umweltverträglichkeit der Zementbestandteile zusammengefasst.

Rolf Breitenbücher behandelt die Gesteinskörnungen. Dabei werden neben den normativen Rahmenbedingungen (z. B. europäische Produktnorm EN 12620, nationales Anwendungsdokument DIN 1045-2) die verschiedenen Arten von Gesteinskörnungen beschrieben. In einer Zeit mit größerem Ressourcenbewusstsein werden künstliche, rezyklierte und aus Tunnelausbruch hergestellte Zuschläge immer wichtiger. Durch die größere Vielfalt an Betoneigenschaften werden an die Gesteinskörnungen höhere Ansprüche gestellt. Sowohl die physikalischen, chemischen als auch die mechanischen Eigenschaften werden vermehrt überprüft, da sie die Merkmale des Betons bestimmen. Die Kornzusammensetzung und das Größtkorn sind entscheidend für den Wasseranspruch und die Leimmenge. Wesentlich wird die Druckfestigkeit des Betons durch die Gesteinskörnung beeinflusst.

Zum aktuellen Stand der Technik geschalter Sichtbetonflächen haben *Klaus R. Goldammer* und *Denis Kiltz* einen Beitrag verfasst. Mit unterschiedlichen Schalungshauttypen und handwerklicher, nachträglicher Behandlung wie Schleifen, Stocken oder Lasieren des Betons können Sichtbetonflächen ästhetisch gestaltet werden. Obwohl es viele Richtlinien zur Herstellung von Sichtbeton gibt (DBV, VDZ, ÖBV etc.), stecken handwerkliches Können und Sorgfalt sowie Fachwissen dahinter, um ansehnliche Sichtbetonflächen zu gestalten. Neben der Auswahl der Schalung, des Trennmittels, der Betonzusammensetzung und der Nachbehandlung wird im Beitrag auch das Thema der Beurteilung von Sichtbetonflächen und die Vorgehensweise bei Abweichungen behandelt.

Klaus Holschemacher, Frank Dehn, Torsten Müller und *Frank Lobisch* setzen sich mit den Grundlagen des Faserbetons auseinander. Umfassend werden die natürlichen mineralischen und pflanzlichen Fasern und künstlich hergestellte Faserwerkstoffe beschrieben. Wesentlich ist die Wirkungsweise der Fasern, wozu aktuelle Forschungsergebnisse über den Einfluss des Fasergehaltes und der Faserorientierung berücksichtigt sind. Ein Anwendungsfeld von Fasern aus Polypropylen und Polyvinylalkohol sind brandbeanspruchbare Betone, die in einem eigenen Beitrag vertiefend behandelt werden. Den Stahlfasern kommt eine besondere Bedeutung zu. In diesem Beitrag wird neben der Herstellung und der Verarbeitung von Stahlfaserbeton auch die Nachbehandlung praxisnah beschrieben. Das Tragverhalten, die Dauerhaftigkeit und die Wirkung von Frost-Tau-Wechseln sowie die elektrische Leitfähigkeit werden erklärt. Auch dem Glasfaserbeton wird ein eigener Abschnitt gewidmet und die Wirkungsweisen sowie die vielfältigen Anwendungen anhand von Beispielen aufgezeigt. Die hochbewehrten Faserbetone SIFCON/SIMCON werden erwähnt, wobei diese von *Stephan Hauser* in Teil 2 vertiefend dargestellt werden.

Frank Dehn, Oliver Fischer und *Marko Orgass* widmen sich in ihrem Beitrag dem Polypropylenfaserbeton. Dabei wird ein Überblick zur normativen und bauaufsichtlichen Einordnung von Polypropylenfasern sowie zu den mit den Anwendungen zusammenhängenden spezifischen Eigenschaften des PP-Faserbetons gegeben. Mit Beispielen aus dem Hoch-, Ingenieur- und insbesondere Tunnelbau werden die Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt. In der Ingenieurpraxis ergeben sich immer Fragen zu den Eigenschaften der Fasern und zur Qualitätssicherung. Die Autoren haben aktuelle Forschungsergebnisse sowie baupraktische Erfahrungen mit PP-Faserbetonen in diesem Beitrag gebündelt.

Der Teil 2 widmet sich speziellen Bauteilen aus Beton und tragenden Kunststoffbauteilen. Den Abschluss bilden die Zusammenstellungen über aktuelle Normen und Regelwerke.

Stephan Hauser beschreibt erstmalig im Beton-Kalender den mikrobewehrten Hochleistungsbeton. Der mikrobewehrte Hochleistungsbeton wird aus einer mit feinen Stahldrähten räumlich geformten Mikrobewehrung mit einem hochfesten Infiltrationsmörtel hergestellt. Mit diesem Hochleistungsbeton wurden freitragende, geschosshohe Treppen (8 cm dick), Dachschalen, Fassadenplatten (5 cm dick) und fugenlose Deckenverstärkungen (3 bis 6 cm dick) sowie Schutzelemente bei Explosionsereignissen gebaut. Neben der Herstellung und dem aktuellen Stand des Wissens wird im Beitrag die Bemessung mit vergleichbaren k_D-Tabellen wie im Stahlbeton angeführt. Illustrativ werden verschiedene Anwendungen mit dem mikrobewehrtem Beton an ausgeführten Beispielen gezeigt.

Andrej Albert, Karsten Pfeffer und *Jürgen Schnell* behandeln die Hohlkörperdecken in einem umfassenden Beitrag. Vor über 125 Jahren (1892) wurde

die Idee, Decken aus Hohlziegeln und mit einer Zugbewehrung aus Flachstahl herzustellen, von Johann Franz Kleine als Patent angemeldet. Zwischenzeitlich entstanden multifunktionale Deckenelemente mit integrierten Wärme-, Brand- und Schallschutzfunktionen. Im Beitrag wird der aktuelle Stand primär in Deutschland dargestellt und aktuelle Forschungsergebnisse zur Ermittlung der Tragfähigkeit an verschiedenen Hohlkörpersystemen aufgezeigt. Das Bemessungsmodell von zweiachsig gespannten Hohlkörperdecken basiert auf der Annahme der vollen Drillsteifigkeit. Diese Annahme gilt, wenn die für Rippen- und Kassettendecken vorgesehenen Regelungen gemäß den Normen oder aufgrund einer bauaufsichtlichen Zulassung erfüllt werden. Die konstruktive Ausbildung, die dazu notwendige Betontechnologie und einige wichtige Anmerkungen zur Bauausführung und zu den Kosten runden den Beitrag ab.

Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen sind Thema des Beitrags von *Hans Werner Nordhues, Johann-Dietrich Wörner, Claudia Westerkamp-Freitag* und *Lukas Wörner*. Einleitend werden einige wichtige Hinweise zum Sicherheitskonzept gegeben und dann die Werkstoffe und deren Eigenschaften beschrieben. Die Bemessung erfolgt nach dem Prinzip der Schadensakkumulation, bei dem die verschiedenen Einwirkungen zu einer schadensäquivalenten Ersatzlast für einen definierten Bemessungszeitraum zusammengefasst werden. Am Beispiel eines Einfeldträgers aus glasfaserverstärkten Kunststoffen werden die Tragfähigkeitsnachweise für Biegung und Querkraft sowie die Stabilitätsnachweise aufgezeigt. Mit dem Nachweis zur Gebrauchstauglichkeit und mit wertvollen Praxishinweisen zur konstruktiven Durchbildung sowie zu einigen Schadensfällen wird dieser Beitrag abgerundet.

In einem abschließenden Kapitel werden von *Frank Fingerloos* unter Mitarbeit von *Enrico Schwabach* wieder relevante Normen und Regelwerke zusammengestellt. Für die Ausführung von Tragwerken aus Beton werden wertvolle Erläuterungen zu den Normen für die Bauausführung DIN EN 13670 und DIN 1045-3 gegeben, die in konsolidierter Fassung zusammengeführt sind.

Der Hauptteil DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: „Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“ zusammen mit dem deutschen Nationalen Anhang DIN EN 1992-1-1/NA wird im Beton-Kalender 2017 als konsolidierte Kurzfassung des Eurocode 2 abgedruckt.

Ergänzend ist die Betonnorm DIN EN 206-1 „Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ mit den deutschen Anwendungsregeln DIN 1045-2 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ in einer konsolidierten Fassung mit aufgenommen worden.

Da die auch abgedruckte „Stahlfaserbeton-Richtlinie“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) auf die Stahlbetonbemessung nach DIN EN 1992-1-1/NA, die Betonnormen DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und die Ausführungsnormen DIN EN 13670/DIN 1045-3 Bezug nimmt, ist im Beton-Kalender somit das komplette deutsche Regelwerk für Stahlfaserbeton enthalten. Dies vervollständigt die Erläuterungen in Teil 1.

Passend zu den Beiträgen über Zement und Gesteinskörnungen wird auch die „Alkali-Richtlinie“ des DAfStb abgedruckt.

Bedeutend für die Ingenieurpraxis sind auch die Verzeichnisse der wichtigsten für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau relevanten Baunormen und technischen Baubestimmungen, der aktuellen Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e. V. (DAfStb), der Merkblätter des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins E. V. (DBV) und der Richtlinien und Merkblätter der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV), wie stets am Ende dieses Kapitels.

Wertvolle Beiträge für die Ingenieurpraxis und für die wissenschaftliche Arbeit finden sich somit im Beton-Kalender 2017. Die Beiträge über die Bestandteile und die Verarbeitung des Betons sowie die verschiedenen Betonarten und Faserergänzungen stellen den aktuellen Wissensstand dar. Bemessung und aktuelle Erkenntnisse zum Spannbeton sowie Übersichten über die Verankerungs- und Bewehrungstechnik und die Hohlkörperdecken sind wesentliche Inhalte dieses Wissenskompendiums. Eine innovative Erweiterung stellt der Beitrag zu den tragenden Bauteilen aus Kunststoff dar. So ist auch der Beton-Kalender 2017 sicher wieder ein wertvolles Lehr- und Nachschlagebuch.

Wien, Berlin, Darmstadt, im September 2016

Konrad Bergmeister, Wien

Frank Fingerloos, Berlin

Johann-Dietrich Wörner, Darmstadt

Inhaltsübersicht

Inhaltsverzeichnis IX

Anschriften XXIX

I **Spannbetonbau – Entwicklung, Bemessung und Konstruktion** 1
Stephan Geßner, Roland Niedermeier, Mark Alexander Ahrens, Josef Hegger, Oliver Fischer, Peter Mark

II **Verankerungs- und Bewehrungstechnik** 101
Thomas M. Sippel

III **Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung von Beton** 163
Harald Beitzel, Marc Beitzel

IV **Zement und seine Anwendung** 235
Christoph Müller

V **Gesteinskörnungen für die Herstellung von Beton** 295
Rolf Breitenbücher

VI **Zum aktuellen Stand der Technik geschalter Sichtbetonflächen** 321
Klaus-R. Goldammer, Denis Kiltz

VII **Grundlagen des Faserbetons** 381
Klaus Holschemacher, Frank Dehn, Torsten Müller, Frank Lobisch

VIII **Polypropylenfaserbeton (PP-Faserbeton)** 473
Frank Dehn, Oliver Fischer, Marko Orgass

IX **DUCON® – Mikrobewehrter Hochleistungsbeton** 491
Stephan Hauser

X **Hohlkörperdecken** 519
Andrej Albert, Karsten Pfeffer, Jürgen Schnell

XI **Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen** 551
Hans Werner Nordhues, Johann-Dietrich Wörner, Claudia Westerkamp-Freitag, Lukas Wörner

XII **Normen und Regelwerke** 583
Frank Fingerloos

Stichwortverzeichnis 925

ordnet, die vielfältige Installationsmöglichkeiten eröffnen. Durch die Vorspannung lassen sich zudem weite Spannweiten realisieren, die eine flexible Raumgestaltung ermöglichen. Über den hierbei erreichten Stand gibt [18] einen guten Überblick.

3 Hohlkörperdecken heute

3.1 Anforderungen an Deckenplatten

Neben der Tragfähigkeit sowie dem Verhalten unter Gebrauchslasten bestimmen auch bauphysikalische Anforderungen die Auslegung von Stahlbetondecken. Hierzu zählen Kriterien des Schall- und des Brandschutzes und im Falle der Betonkernaktivierung auch der Wärmespeicherung und der Wärmeleitung.

Die Bemessung der tragenden Bauteile in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit erfolgt auf Grundlage der Eurocodes.

3.1.1 Einwirkungen

Der Ansatz der Einwirkungen wie Flächen-, Einzel- und Radlasten erfolgt unabhängig von der Art der Deckenkonstruktionen nach Eurocode 1 [19].

Üblicherweise ist die Anwendung von Stahlbetondecken mit integrierten Hohlkörpern auf die Anwendung unter vorwiegend ruhender Belastung begrenzt. Diese Einschränkung ist je nach Hohlkörperform und konstruktiver Ausbildung zu relativieren.

Bei der Ermittlung der Schnittgrößen infolge Eigenlasten und indirekten Einwirkungen wie Schwinden und Temperaturänderung ist allerdings die aufgelöste Betonstruktur zu beachten.

Angaben zur Eigenlastreduktion werden von den Herstellern der einzelnen Produkte zur Verfügung gestellt. Ein üblicher Wert liegt bei ca. 30 % Lastreduktion im Vergleich zur Massivdecke. Bei der Bemessung ist zu berücksichtigen, dass diese Lastreduzierung nur in den Bereichen mit eingebauten Hohlkörpern angesetzt werden darf.

3.1.2 Scheibenwirkung

Bei Hohlkörperdecken empfiehlt es sich, zur Betrachtung der Scheibenwirkung lediglich die durchgängig vorhandenen Plattenspiegel ober- und unterhalb der angeordneten Hohlkörper für eine Scheibentragwirkung heranzuziehen, es sei denn, dass gezielt angeordnete Massivstreifen für die Aufnahme von höheren Lasten ausgebildet werden.

3.1.3 Erdbeben

In erdbebengefährdeten Regionen muss der Aspekt der Erdbebengefährdung bereits frühzeitig beim Entwurfskonzept berücksichtigt werden, sodass ein konstruktives System gewählt wird, das die in DIN EN 1998-1 [20] enthaltenen Anforderungen mit annehmbaren Kosten erfüllen kann.

Die Geschossdecken spielen dabei eine sehr wichtige Rolle für das seismische Gesamtverhalten des Bauwerks. Sie verhalten sich wie horizontale Scheiben, die Trägheitskräfte sammeln und an die vertikalen tragenden Bauteile weiterleiten und dabei sicherstellen, dass diese Systeme bei der Aufnahme der horizontalen Erdbebenbeanspruchung zusammenwirken. Die Sicherstellung der Scheibenwirkung der Decken auf Geschossebene ist besonders wichtig bei komplizierten und unregelmäßigen Anordnungen vertikaler Tragsysteme oder dort, wo Systeme unterschiedlicher horizontaler Verformbarkeit zusammen verwendet werden. Die Geschossdecken sollten in ihrer Ebene steif und widerstandsfähig sein und wirksame Anschlüsse zu den vertikalen Tragstrukturen besitzen. Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene muss im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der vertikalen tragenden Bauteile ausreichend groß sein, sodass sich die Verformung der Decke nur unwesentlich auf die Verteilung der Kräfte an die vertikalen tragenden Bauteile auswirkt. Diesbezüglich sollten L-, C-, H-, I-, X-förmige Gebäudegrundrissformen sorgfältig untersucht werden. Besondere Vorsicht ist geboten bei nichtkompakten oder im Grundriss sehr langgestreckten Formen und in Fällen großer Deckenöffnungen, besonders, wenn Letztere sich in der Nähe von vertikalen Haupttragstrukturen befinden und somit die Wirksamkeit der Verbindung zwischen dem vertikalen und dem horizontalen Bauteil beeinträchtigen. Die Schnittkräfte in den Deckenscheiben dürfen näherungsweise durch Modellabbildung der Scheibe als wandartiger Träger oder ebenes Fachwerk oder als Diagonalstrebenmodell auf elastischen Lagern ermittelt werden.

Für Kernsysteme oder Wandsysteme sollte der Nachweis erbracht werden, dass die Weiterleitung der Horizontalkräfte von der Deckenscheibe an die Kerne oder Wände sichergestellt ist.

Zudem sind für die Bemessung von Deckensystemen im Hochbau vor allem Anforderungen an eine klare Regelmäßigkeit (Grundriss, Aufriss) gestellt, um durch die gleichförmige Geometrie ein günstigeres Verhalten im Erdbebenfall zu erreichen. Darüber hinaus sind statische Systeme so zu wählen, dass die Einwirkungen auf direktem Wege abgeleitet werden können und die Aussteifung in beide Hauptrichtungen vergleichbare Tragfähigkeiten und Verformbarkeiten aufzeigt. Somit ist für den Lastfall Erdbeben ein zweiachsig gespanntes Deckensystem von Vorteil. Versprünge oder Veränderungen der Konstruktion in einer Ebene sollen möglichst vermieden werden. Je einfacher die Tragkonstruktion und die Deckengeometrie gestaltet werden, desto günstiger wirkt sich dies auf die Bemessung des Gebäudes aus. Auch die Masse des

Bauwerks spielt eine wichtige Rolle. Mit dem Anstieg der Masse M erhöht sich i. d. R. die Gesamterdbebenlast und damit die Belastung auf das Gesamtgebäude.

3.1.4 Brandfall

Für die Tragwerksbemessung im Brandfall dient der Eurocode 1 [19] als Bemessungsgrundlage und bietet entsprechende Grundsätze in Abhängigkeit der Gebäudeart und Gebäudenutzung. Eine differenziertere Betrachtung für die konstruktive Bemessung ist im Eurocode 2 [21] gegeben. Hier sind umfangreiche Bemessungsverfahren aufbereitet, um den jeweiligen Brandfall in Gänze zu untersuchen. Zusätzlich ist die Unterscheidung zwischen den Nachweisverfahren bei der Basis für die Bearbeitung (tabellierte Werte, vereinfachte/allg. Berechnungsverfahren) [21] zu berücksichtigen. Für den maßgebenden Brandfall sind die Decken so zu dimensionieren, dass sie für die Dauer der Brandbeanspruchung ihre Tragfähigkeit behalten. Im Hinblick auf die Feuerwiderstandsklasse REI 90, die für eine Vielzahl von Gebäuden maßgebend wird, liegt eine Mindestdicke h_s von 200 mm unter Berücksichtigung der Mindestachsabstände a der Bewehrung zur nächstgelegenen Deckenspiegelseite als Grundlage der Dimensionierung für Flachdecken aus massivem Stahlbeton auf der sicheren Seite.

3.1.5 Schallschutz

Auch der Schallschutz ist eine wichtige Bemessungsgröße bei der Dimensionierung von Stahlbetondecken. Bei der Bewertung von Vollplatten ist eine Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse gegeben. Dies wird insbesondere beim Luftschall über die Bewertung der Grenzfrequenz f_g erkennbar. Über die Formel

$$f_g = \frac{60}{d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E_{dyn}}} \qquad (1)$$

fließen die Deckendicke d sowie die entsprechende Rohdichte ρ ein. Auch beim äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,W,eq}$, der als weiteres Bewertungskriterium für die Schallschutzbemessung hinzugezogen wird, spielt die Masse des zu bemessenden Bauteils eine Rolle. Hinzu kommt bei der Gesamtbetrachtung im Regelfall ein zusätzlicher Deckenaufbau, der als Trittschallverbesserungsmaß ΔL_W in Form eines Korrekturwerts berücksichtigt wird und den Gesamtwert deutlich verbessert. Generell ist bei der schalltechnischen Beurteilung von Stahlbetondecken die flächenbezogene Masse als Grundlage zu berücksichtigen [22].

3.1.6 Sonstige Anforderungen

Bei der Dimensionierung von Stahlbetondecken sind aufgrund der heutigen Anforderungen an Deckensysteme noch weitere Einflüsse auch durch Einbauteile zu berücksichtigen. Hierunter gehört vor allem eine Vielzahl von gebäudetechnisch bedingten Leitungen. Insbesondere die Bauteiltemperierung ist aus zeitgemäßem Bauen mit den verschiedenen Einbauvarianten nicht mehr wegzudenken. Die Systeme lassen sich mittlerweile in sämtliche Deckenquerschnitte integrieren. Meist liegen die Systeme auf der unteren Bewehrungslage oder auf einer Zwischenebene (Installationsebene) auf und können somit sogar in Deckenquerschnitte mit einem komplexen Aufbau, wie mit Sprinklerleitungen, Leerrohren und weiteren Einbauelementen integriert werden. Die nachfolgende schematische Darstellung (Bild 12) zeigt einen möglichen Deckenaufbau mit einem integrierten Kühl- und/oder Wärmesystem.

3.2 Hohlkörperdeckensysteme

Die Hohlkörperdecke stellt eine besondere Form der Stahlbetondecke dar. Dabei wird die Grundidee verfolgt, nicht erforderlichen Beton im Bereich statisch schwach beanspruchter Bereiche im Deckenquerschnitt einzusparen. Durch die geringere Eigenlast können die Deckenhöhe verringert, die Spannweite vergrößert und/oder die Nutzlast gesteigert werden. Hierdurch entstehen im Allgemeinen Kostenreduzierungen, resultierend aus der Decke selbst, aber auch aus den lastableitenden Bauteilen wie Unterzügen, Stützen, Wänden und Fundamenten.

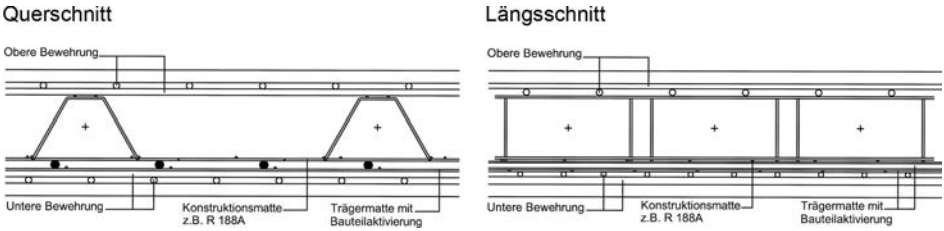


Bild 12. Idealisierter Längs- und Querschnitt einer massiven Stahlbetondecke mit integrierter Bauteiltemperierung

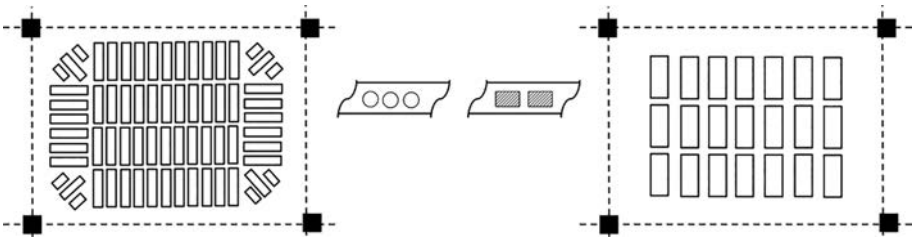


Bild 13. Vierseitig gelagerte Stahlbetonhohlplatten mit Hohlkörpern in Röhrenform oder mit Styroporfüllkörpern

3.2.1 Systemlösungen im Markt

Von der Hohldiele inspiriert hat sich bereits in den 60er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts *Helmut Aster* [23] mit dem Thema „vierseitig gelagerte Stahlbetonhohlplatten“ auseinandergesetzt. Dabei werden röhrenförmige Hohlkörper derart angeordnet und mit speziellen Bewehrungselementen zur Steigerung der Querkrafttragfähigkeit versehen, dass Lasten in mehrere Richtungen abgetragen werden können (Bild 13). Diese Bauweise erfuhr allerdings in der Praxis keine große Beachtung. Eine demgegenüber häufigere Verwendung kann dem Einbau von Styroporblöcken in Betondecken zugeschrieben werden [24] (vgl. Bild 13). Dabei werden Verdrängungskörper sogar oft bereits bei der Herstellung von Halbfertigteilplatten im Fertigteilwerk eingebaut (in Verbindung mit Halbfertigteilen allerdings meist einaxial gespannt).

Die Idee der mehraxial wirkenden Hohlkörperdecken wurde seit Ende der 90er-Jahre durch Produkte wie Airdeck, BeePlate, BubbleDeck, Cobiax oder Uboot und Nautilus aufgegriffen. In Tabelle 1 sind unterschiedliche für den Einbau in Stahlbetondecken vorgesehene Systeme schematisch gegenübergestellt.

Die dargestellten Hohlkörpersysteme unterscheiden sich durch folgende Merkmale:

- Hohlkörperform,
- Hohlkörpergrößen,
- Grundrissabmessungen der Hohlkörper,
- Anordnung im Grundriss,
- Transport und Montage,
- ggf. erforderliche Distanzstücke zwischen den Hohlkörpern,
- Abstand zu den tragenden Bewehrungsstäben,
- ggf. erforderliche Querkraftbewehrung.

Bestehen die Hohlkörper aus zwei Teilen, so lassen sich diese in der Regel effizient transportieren. Der Zusammenbau ist dann allerdings noch auf der Baustelle zu leisten, was den Aufwand erhöht. Werden die Hohlkörper bzw. Hohlkörpermodule vormontiert, bedeutet dies für die Baustelle einen geringeren Aufwand. Allerdings ist dann ein höherer Transportaufwand einzukalkulieren.

Die Form der Hohlkörper sowie deren Anordnung im Grundriss bestimmt als eines der wesentlichen Merkmale die resultierende Querkrafttragfähigkeit der Hohlkörperdecke.

Tabelle 1. Systemlösungen von mehraxial tragenden Hohlkörpern

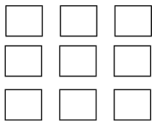
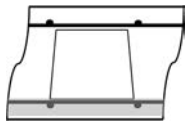
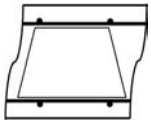
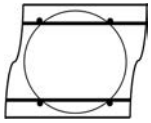
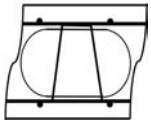
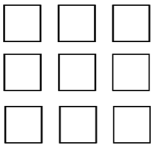
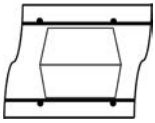
Systembeschreibung	Grundrissdarstellung	Schnittdarstellung	3-D-Darstellung
– rechteckige Hohlkörper zur Anwendung im Halbfertigteil – Öffnung an der Unterseite – Einbau in Halbfertigteile – Achsraster 30 cm × 30 cm – Hohlkörperhöhe zwischen 18 cm und 35 cm – Deckendicken zwischen 28 cm und 45 cm			

Tabelle 1. Systemlösungen von mehraxial tragenden Hohlkörpern (*Fortsetzung*)

Systembeschreibung	Grundrissdarstellung	Schnittdarstellung	3-D-Darstellung
– runde, nach unten offene Hohlkörper zum Einbau auf der unteren Bewehrungslage – bienenwabenartige Anordnung – Hohlkörperdurchmesser ca. 70 cm – Hohlkörperhöhe zwischen 20 cm und 52 cm – Deckendicken zwischen 34 cm und 66 cm			
– kugelförmige Hohlkörper fixiert durch zwei Bewehrungsmatten – orthogonales Raster – Hohlkörperdurchmesser zwischen 18 cm und 50 cm – Deckendicke zwischen 23 cm und 60 cm geringe Betondeckung zum Hohlkörper, da die Hohlkörper durch die tragende Bewehrung in den Maschen fixiert sind			
– kugelförmige bzw. rotations-symmetrische Hohlkörper – fixiert in einem Fixierungskorb oder Gatter – Einbau zwischen der oberen und der unteren Bewehrungslage – Hohlkörperhöhen zwischen 10 cm und 45 cm – Deckendicken zwischen 20 cm und 70 cm			
– kastenförmige Hohlkörper – Einbau zwischen den Bewehrungslagen – Hohlkörperhöhen von 10 cm bis 56 cm – Deckendicken zwischen 20 cm und 70 cm – Hohlkörperbreite ca. 50 cm			

Werden Hohlkörper derart angeordnet, dass eine Art Rippen- bzw. Kassettendecke mit durchgehendem unteren Plattenspiegel entsteht, so sind deren Stege bzw. Balken entsprechend DIN EN 1992-1-1 [25] zu berechnen und konstruktiv auszubilden.

Soweit Abweichungen vom Anwendungsbereich des Eurocodes 2 auftreten, sind bauaufsichtliche Zustimmungen im Einzelfall einzuholen.

Derzeit verfügt in Deutschland lediglich ein System über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt [26, 27]. Hierfür konnte anhand umfangreicher Versuche die Tragfähigkeit auch ohne Querkraftbewehrung nachgewiesen werden.

3.3 Nachhaltigkeit und Ökobilanz

Den Themen „Nachhaltigkeit“ und „Ökobilanz“ muss auch in der Bauwirtschaft ein bedeutender Stellenwert beigemessen werden. Bauherren, Planer sowie ausführende Firmen berücksichtigen bei ihrem Handeln immer nachdrücklicher Aspekte der Nachhaltigkeit. Allein die heute bestehende Möglichkeit, Gebäude mit den verschiedensten weiterentwickelten Zertifizierungssystemen wie z. B. LEED, BREEAM, BNB oder DGNB (siehe www.usgbc.org, www.breeam.com, www.bnb-nachhaltigesbauen.de und www.dgnb.de) bewerten zu können, bringt die Akteure dazu, sich mit dem Thema ausführlich auseinanderzusetzen. Dementsprechend sind auch die einzelnen Bauteile bzw. Produkte zu bewerten. Sinnvolle Instrumente sind dazu u. a. Lebenszyklusanalysen (LCA) und Umweltproduktdeklarationen (EPD). Dabei geht es um eine generelle Bewertung der Umwelteigenschaften unter Berücksichtigung der Herstellung und Nutzung bis hin zum Rückbau. Eine Vielzahl von Umweltindikatoren wird mittels solcher Hilfsmittel bewertet. Die Ergebnisse werden den Anwendern in standardisierter Form zur Verfügung gestellt.

Übertragen auf die in diesem Kalenderbeitrag vorgestellten Bauteile geht es im Wesentlichen um die Bewertung der Material- und Energieeinsparung im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen. Bei genauer Betrachtung können sich bauteilbezogen bis zu 30 % Materialeinsparung, 15 % Reduzierung umwelttoxischer Stoffe und 20 % Energieeinsparung ergeben (Bild 14). Sondereffekte, die sich zusätzlich für das Gebäude als Ganzes einstellen, sind in diesen Angaben nicht enthalten. Wie oben bereits angedeutet, ist es bei derartigen Untersuchungen unerlässlich, auch die Herstellung, den Transport und die Entsorgung aller Bauteile zu berücksichtigen.

Im Falle von Kunststoffhohlkörpern spielt die Verwendung von recyceltem Ausgangsmaterial eine entscheidende Rolle bei der Bewertung. Ein weiterer Aspekt, der in die Bewertung einfließen sollte, ergibt sich aus der Tatsache, dass die verwendeten Kunststoffteile keine Verbindung mit dem sie umgebenden Beton eingehen. Hierdurch lassen sie sich bei einem herkömmlichen Abbruch und der anschließenden Entsorgung nahezu vollständig von den sonstigen Materialien trennen.

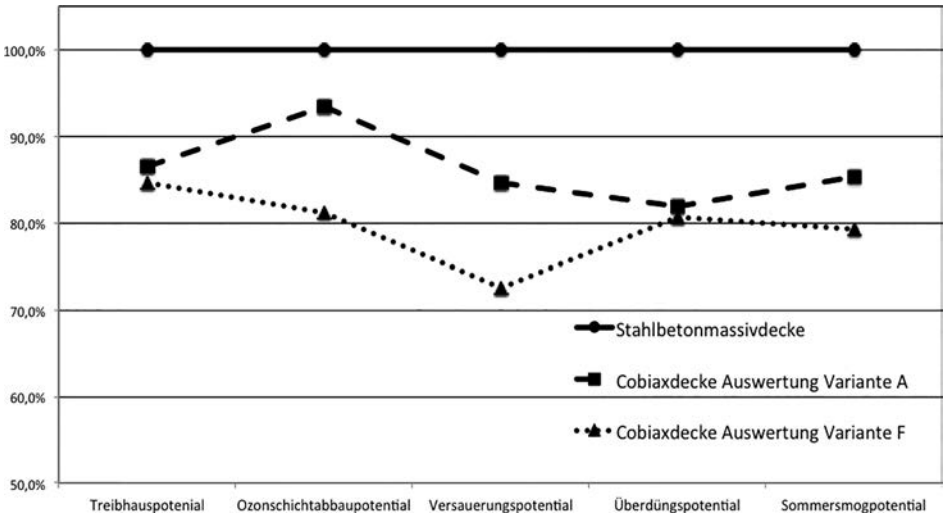


Bild 14. Vergleich der ökologischen Wirkung: Hohlkörperdecke und Massivdecke [28]

3.4 Regelwerke und Zulassungen

Nationale oder europäische Regelwerke speziell für Hohlkörperdecken liegen nicht vor. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen wurden in Deutschland bisher nur für zwei Deckensysteme des Herstellers Cobiax erteilt.

3.5 Erforschung des Tragverhaltens

3.5.1 Experimentelle Untersuchungen

Versuchsarten

Hinsichtlich des Trag- und Verformungsverhaltens von Hohlkörperdecken ist es unverzichtbar, neben theoretischen Überlegungen auch experimentelle Untersuchungen anzustellen, sofern die verbleibende Tragstruktur nicht eindeutig in den Anwendungsbereich des Eurocodes 2 [25] mit seinem nationalen Anhang fällt. Dies betrifft vor allem die Querkraft- und Durchstanztragfähigkeit, falls die Decken ohne Querkraftbewehrung ausgeführt werden sollen.

Querkrafttragfähigkeit

Die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit kann zunächst analog zur Ermittlung bei Vollplatten an einachsig gespannten Versuchskörpern erfolgen. Die Ergebnisse werden jeweils Referenzversuchen an ungeschwächten Deckenplatten gegenübergestellt. Je nach geplantem Anwendungsbereich sind alle Versuche zumindest mit minimaler und maximaler Betonfestigkeit durchzuführen. Sofern das Hohlkörpersystem unterschiedliche Hohlkörperabmessungen umfasst, sind alle Versuche zumindest mit den kleinsten und größten Hohlkörperdurchmessern durchzuführen. Auch wurden bereits Hohlkörperdecken mit Längszugkräften getestet [29].

Jede Kombination ist mindestens dreimal zu prüfen, um eine statistische Auswertung der Ergebnisse vornehmen zu können.

Versuche, die auf die Ermittlung bauaufsichtlich einzuführender Bemessungsregeln zielen, müssen ungünstigste zu erwartende Einbausituationen abbilden. Dies betrifft die Abstände der Hohlkörper untereinander und die Dicke der verbleibenden Plattenspiegel. Es ist je nach Deckensystem abzuwägen, welche Abweichungen vom Plansoll möglich sind. Die Einplanung zusätzlicher Vorhaltemaße kann sinnvoll sein.

Weil die Schubübertragung in der ungerissenen Druckzone erheblich zur Tragfähigkeit von Stahlbetonplatten beiträgt, ist die Erfassung von Minimalmaßen hier von großer Bedeutung.

Der Achsabstand von Hohlkörpern ist vor allem dann im Versuch gegenüber planmäßigen Werten zu verringern, wenn in der Praxis in größeren Bereichen die Gesamthohlkörperzahl nicht eindeutig definiert ist. Sofern ein engerer Abstand in einer Hohlkörperreihe zwangsläufig einen größeren Abstand in der benachbarten Reihe nach sich zieht, ist dieser Aspekt von geringerer Wichtigkeit.

Sofern eine Auftriebssicherung der Hohlkörper mit Haltekörben aus Betonstahl erfolgt, ist abzuwägen, ob diese Stahlelemente aufgrund ihrer konstruktiven Ausbildung zur Querkrafttragfähigkeit herangezogen werden können. Andernfalls sind sie in Versuchskörper nicht einzubauen. In diesem Fall ist die Auftriebssicherung der Hohlkörper bei der Herstellung der Versuchskörper in anderer geeigneter Weise sicherzustellen, was eine vorausgehende umsichtige Planung erfordert.

Die Breite der Versuchskörper sollte zu $b \geq 4 - 5\ h$ gewählt werden, um ein Plattentragwerk zu prüfen und Umlagerungsmöglichkeiten auszunutzen. Seitlich ist jeweils ein halber Achsabstand neben den Hohlkörpern vorzusehen, um die verbleibende Gesamtstegbreite wirklichkeitsnah zu erfassen.

Je nach Hohlkörpertyp ist zu entscheiden, ob Versuche mit in Spannrichtung reihenweise angeordneten Hohlkörpern die geringste Querkrafttragfähigkeit erwarten lassen. Sofern dies nicht sichergestellt ist, sind zusätzlich Versuche mit einer im Grundriss verdrehten Anordnung durchzuführen. Dies erfordert, dass an den Rändern angeschnittene Hohlkörper eingebaut werden (Bild 15).

Die Versuchskörper sind so zu konzipieren, dass infolge der Abstände zwischen Auflager und Lasteinleitung das Querkraftversagen in einem vorher bestimmten Bereich auftritt. Mit einem Versuchskörper können dann zwei Versuche durchgeführt werden, wodurch Material und Zeit bei der Versuchsdurchführung eingespart wird (siehe Bild 16).

Um in die Versuchskörper realistische Längsbewehrungsmengen einlegen und trotzdem einen vorzeitigen Biegezugbruch vermeiden zu können, kann die Verwendung von Ankerstabstahl St 900/1100 mit Gewinderippen anstelle von Betonstahl B 500 sinnvoll sein. Die geringfügig höhere bezogene Rippenfläche des Stabstahls muss dann in Kauf genommen werden. Angesichts der Streuung der Materialeigenschaften des Betons empfiehlt es sich erfahrungsgemäß, die Längsbewehrung so zu dimensionieren, dass die Biegetragfähigkeit die erwartete Querkrafttragfähigkeit mindestens um 20 % übersteigt.

Bisher veröffentliche Versuchsergebnisse zeigen, dass das Versagen von Hohlkörperdecken mit dem von Vollplatten vergleichbar ist. Das Beispiel eines in Längsrichtung aufgesägten Versuchskörpers zeigt Bild 17.

Einachsige Querkraftversuche erlauben auch die Aufzeichnung des Riss- und Verformungsverhaltens.

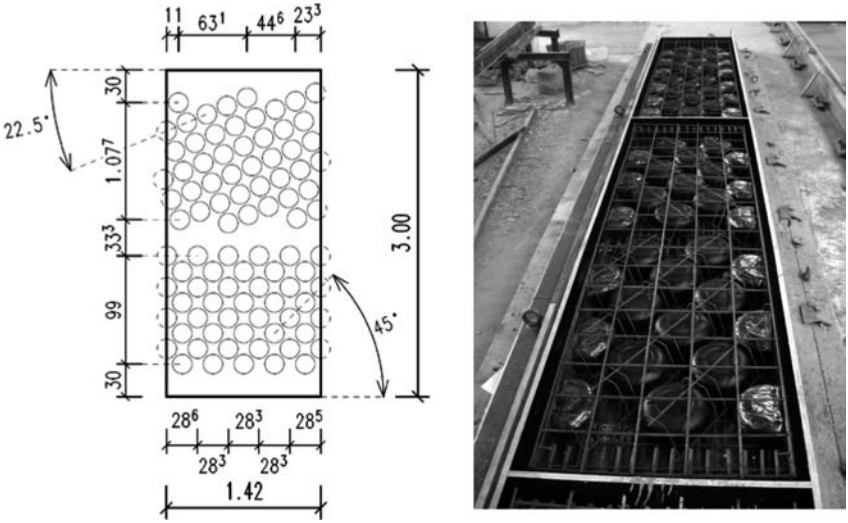


Bild 15. Versuchskörper mit verdrehter Hohlkörperanordnung im Grundriss (Quelle: Hochschule Bochum)

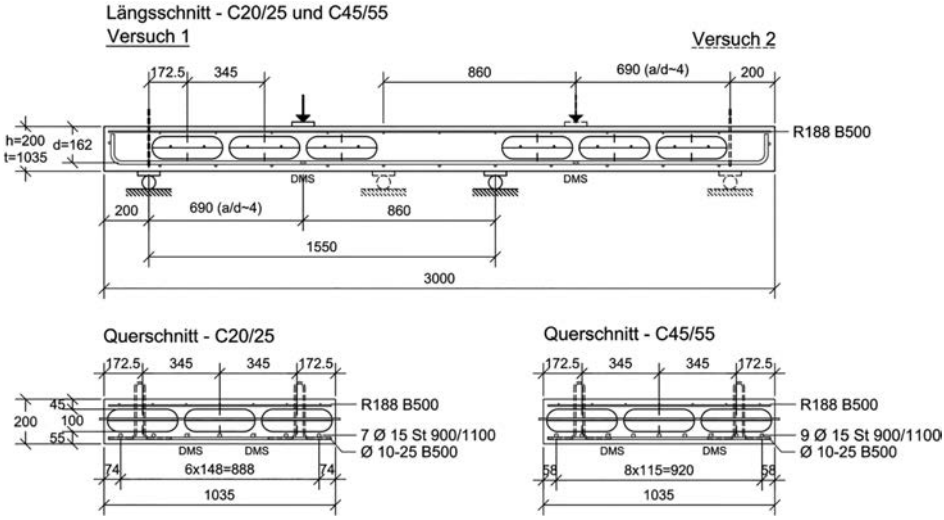


Bild 16. Längs- und Querschnitt eines Versuchskörpers mit 100 mm hohen abgeflachten Hohlkörpern (Quelle: TU Kaiserslautern)

Decken mit Hohlkörpern sind in besonderem Maße für einen Einsatz in mehrachsig gespannten Flachdecken geeignet. Bei mehrachsiger Spannrichtung treten zusätzlich zur Hauptbiegerichtung Querbiegemomente auf, die auch gegensinnig gegenüber den Hauptbiegemomenten wirken können. Um die Querkrafttragfähigkeit auch in solchen Deckenbereichen abzusichern, kann es sinnvoll sein, zusätzlich zu den einachsigen Versuchen auch solche mit eingetragener Querbiegung durchzuführen [15].

Bild 17. In Längsrichtung aufgesägter Versuchskörper im Steg und in der Hohlkörperachse nach Eintritt eines Querkraftversagens (Hohlkörperhöhe 220 mm) [16]

Hierzu wurde an der TU Kaiserslautern eine Versuchsanordnung entworfen, bei der Querbiegemomente durch eine zangenförmige Konstruktion eingetragen werden konnten (Bild 18).

Die Versuche wurden als Vier-Punkt-Biegeversuche angelegt (Bild 19). Die Größe der Querbiegemomente (Zug an der Plattenoberseite) wurde so gewählt, dass planmäßig Biegerisse von 0,4 mm Breite auftreten sollten. Die Zangen wurden an den Plattenseiten gleitend mithilfe doppelt aufgelegter Teflon-Scheiben gelagert, sodass ihre Wirkung als ungewollte Querkraftbewehrung weitestgehend ausgeschlossen werden konnte.

Solche Versuche mit einer unter Querzug stehenden Biegedruckzone haben einen moderaten Abfall der Querkrafttragfähigkeit, der mit dem bei Vollplatten vergleichbar ist, ergeben.

Schließlich kann auch die multiaxiale Tragfähigkeit in Großversuchen überprüft werden. Hierbei können insbesondere die Drillsteifigkeit und die Querkrafttragfähigkeit bei mehrachsiger Beanspruchung auch bei einer von der Hauptbiegemomentenrichtung abweichenden Richtung der Biegezugbewehrung erfasst werden. In einem an der TU Kaiserslautern durchgeführten Versuch wurden an der Platte vier Konsolen vorgesehen. Zwei dieser Konsolen dienten der Auflagerung, während an den anderen beiden eine Vertikallast nach unten eingeleitet wurde (Bild 20) [15].

Im Versuch bildeten sich Biegezugrisse zwischen den beiden Lasteinleitungspunkten an der Oberseite und – um 90° gedreht – zwischen den beiden Aufla-

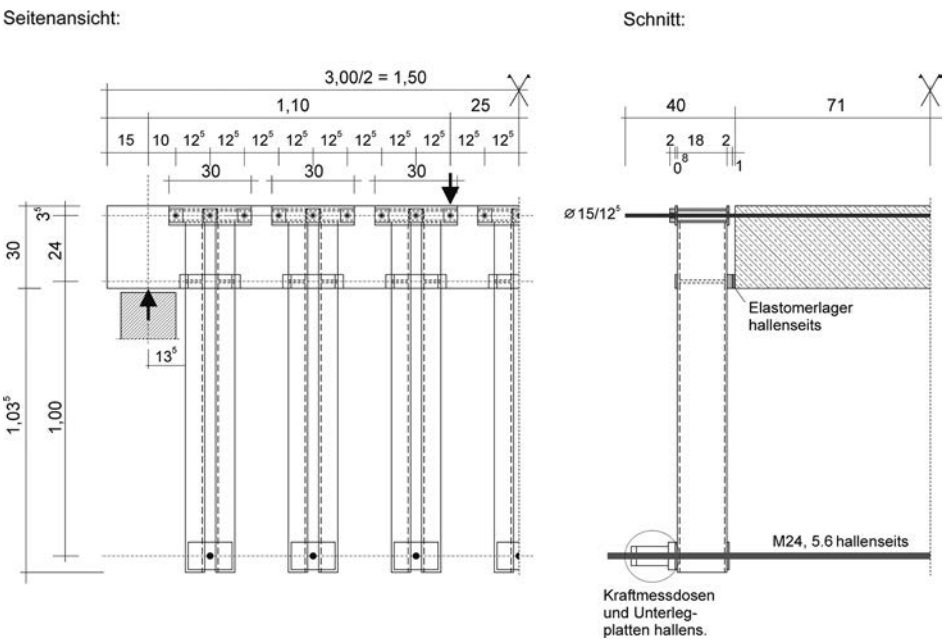


Bild 18. Stahlzangenkonstruktion in Versuchen zur Querkrafttragfähigkeit im Bereich gegensinniger Momente (Quelle: TU Kaiserslautern)

BESTELLSCHEIN FAX: +49 (0)30 47031 240 E-Mail: marketing@ernst-und-sohn.de

Stück	Bestell-Nr.:	Titel	Preis* €
	978-3-433-03123-0	Beton-Kalender 2017	174,00
	909538	Gesamtverzeichnis Ernst & Sohn 2016/2017	kostenlos
	bitte ankreuzen	Monatlicher E-Mail-Newsletter	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift: ☐privat ☐geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr. / VAT-ID No.			Fax
Straße//Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Vertrauensgarantie: Dieser Auftrag kann innerhalb von zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden.

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

Datum / Unterschrift

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.
Stand: Nov 2016 (homepage_Probekapitel)