

2016 BetonKalender

Beton im Hochbau
Silos und Behälter

Vorwort

Der Beton-Kalender 2016 widmet sich den Themenschwerpunkten „Beton im Hochbau“ und den „Silos und Behältern“. Aktuelles Wissen kombiniert mit Erfahrungen aus der Praxis wird dabei geboten. Durch die renommierten Autoren aus der Industrie, Ingenieurpraxis und Wissenschaft ist es gelungen, neben normativen Grundlagen vor allem Erfahrungswissen und aktuelles neues Erkenntniswissen zu verbinden.

Für die breite Betonanwendung im Hochbau werden die Grundlagen insbesondere zu Baustoffen, Bemessung und Konstruktion, Fertigteilbau und Normen in aktuellster Fassung zusammengestellt. Silos und Behälter gehören zu den Herausforderungen des Konstruktiven Ingenieurbauwesens, weshalb die Aufbereitung spezifischen Know-hows von besonderer Bedeutung ist.

Harald Müller und *Udo Wiens* haben das Kapitel „Beton“ bearbeitet und aktuelle Forschungsergebnisse und Normenhinweise ergänzt. In diesem Beitrag werden grundlegend die Zusammensetzung, Herstellung und Nachbehandlung der verschiedenen Betonarten beschrieben und spezielle Abschnitte über Sichtbeton, Leichtbeton, hochfesten Beton und Faserbeton sowie über die Ökobilanz von Beton ausgearbeitet. Durch die ständige Optimierung der Betoneigenschaften kommt, neben den Gesteinskörnungen und Zementarten, den Betonzusatzmitteln und -stoffen eine besondere Bedeutung zu. Den lastunabhängigen und -abhängigen Verformungseigenschaften wird ein umfangreicher Abschnitt gewidmet und die mechanischen Eigenschaften des Betons werden detailliert behandelt. Es wurden außerdem die betontechnologischen Anforderungen beim Bau von Silos und Behältern besonders ausgearbeitet. Neben den mechanischen und abrasiven Beanspruchungen können erhöhte Temperaturen und chemische Beanspruchungen durch das Füllgut auftreten.

Jörg Moersch und *Sven Junge* erläutern in ihrem Beitrag „Betonstahl und Spannstahl“ die Betonstahlprodukte nach DIN 488 mit Bezug zu DIN EN 1992. Zusätzlich werden die Listen mit den aktuell bauaufsichtlich zugelassenen Spannstählen wiedergegeben. Betonstahl in Stabform nach DIN 488-2, Ringe nach DIN 488-3, Betonstahlmatten nach DIN 488-4, Sonderelemente und räumliche Bewehrungsgeflechte werden genauso wie Unterstützungskörbe und Gitterträger nach DIN 488-5 behandelt. Zusätzlich werden die hochfesten Bewehrungs-

stähe mit Streckgrenzen von 670 MPa, feuerverzinkte Betonstähe, Bewehrungen aus glasfaserverstärktem Kunststoff und Spannstähle angeführt. Außerdem wird ein Ausblick auf die zukünftige europäische Betonstahlnorm EN 10080 gegeben.

Alfred Steinle, *Hubert Bachmann* und *Mathias Tillmann* haben in ihrem wiederaufgenommenen und weiterentwickelten Beitrag „Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau“ sowohl die verschiedenen Besonderheiten des Fertigteilbaus bei Modellierung und Bemessung als auch die Praxis der Verbindungstechnik herausgearbeitet. Wertvoll ist die Zusammenstellung nationaler, europäischer und einiger internationaler Produktnormen mit Stand 2015. Auch wird auf die Toleranznormen und die Herstellungstoleranzen eingegangen. Der Fertigteilbau ist oft Initiator für optimierte Betontechnologien, effiziente Verbindungstechniken und steht zunehmend für eine erhöhte Automatisierung im Bauwesen. Die grundsätzlichen Möglichkeiten der Aussteifung von Skelettbauten im Hochbau wurden genauso wie die konstruktive Durchbildung der Decken- und Dachscheiben, der Balken, Stützen und Wände sowie der Köcher- und Blockfundamente aufgezeigt. Ein wichtiger Abschnitt im Betonfertigteilbau sind die Knotenpunkte, für welche die Bewehrungsführung und die konstruktive Ausbildung der Auflagerbereiche, Anschlussbereiche und Stütze-Fundament-Verbindungen gezeigt werden. Einzelfragen der Bemessung, wie die Teilflächenbelastung, die Bewehrungsführung der Lagerung, der Stützenfüße und der Wand-Decken-Verbindungen, die Stabwerksmodellierung von ausgeklühten Auflagern und Konsolen, die Schweiß-, Schraub- und Muffenverbindungen und die Schubkraftübertragung in den Fugen sowie die Bemessung der Vorspannung im sofortigen Verbund, werden behandelt. Ein Abschnitt wird auch den Fassaden aus Betonfertigteilen sowie der Herstellung der Fertigteile gewidmet.

Johannes Furche und *Ulrich Bauermeister* haben in ihrem aktualisierten Kapitel „Elementbauweise mit Gitterträgern nach Eurocode 2“ die Elementdecken und die Wände als Verbundbauteile mit Gitterträgern zusammengestellt. Bei den bauaufsichtlich zugelassenen Gitterträgern können neben den genormten Betonstählen auch bauaufsichtlich zugelassene Sonderformen der Bewehrung oder nicht-rostende Betonstähe (B500BR mit gerippter und B500NG mit glatter Oberfläche) Anwendung finden. Bei den Elementdecken wird im Normalfall die gesamte untere Biegezugbewehrung in die Fertig-

teilplatte gelegt. Es werden sowohl Bemessungshilfen für den Montagezustand als auch für den Einbauzustand gegeben. Neben den linearen Verfahren ohne und mit begrenzter Momentenumlagerung können nichtlineare Verfahren oder Verfahren nach der Plastizitätstheorie Anwendung finden. Elementdecken erfordern neben dem Querkraftnachweis, wie bei monolithischen Bauteilen, auch den Nachweis der Schubkraftübertragung in der horizontalen Verbundfuge zwischen dem Aufbeton und dem Betonfertigteil, welcher detailliert mit unterschiedlich behandelte Verbundfuge und zusätzlicher Verbundbewehrung dargestellt wird. Da Elementdecken auch direkt im Durchstanzbereich von Flachdecken eingesetzt werden können, wird die Bemessung und konstruktive Durchbildung des Durchstanzens dargestellt. Mit umfangreichen Bemessungstabellen und Berechnungsbeispielen wurde dieser Beitrag praxisnah aufbereitet.

Thomas Friedrich hat im Beitrag „Multifunktionale Betondecken“ die zweckmäßige Integration der Bautechnik in die Deckensysteme aus Beton als besondere Bauart aufgegriffen. Dabei werden neben allgemeinen Vorgaben zur Ermittlung der Zonen für die Anordnung von Leitungen, die Plattenbauteile mit produktionsbedingtem Hohlraum sowie die Deckenplatten mit Sandwichquerschnitt behandelt. Multifunktionale Decken sollten zumindest eine Ebene innerhalb des Querschnitts für die Integration von Leitungen bereitstellen. Zusätzlich kann die tragende Deckenkonstruktion auch thermoaktiv genutzt werden. Möglich ist auch die Verbesserung der Akustik mit Streifenabsorbieren in der Deckenuntersicht, welche in der Decke integriert sein sollten. Bei Sichtbetonanforderungen kommt der oberflächenbündigen Integration von Dosen, Beleuchtungskörpern und Sicherheitselementen Bedeutung zu. Konstruktiv stellen die einzelnen Betonrippen zwischen der oberen und unteren Platte eine schubfeste Verbindung dar, welche mit entsprechender Bewehrung auszubilden ist.

Thomas Putke, Konrad Bergmeister und *Peter Mark* behandeln in ihrem Beitrag „Wirtschaftliches Konstruieren und Bewehren“ die Kunst der System- und Topologieoptimierung, Ansätze zur Materialminimierung und das kraftflussorientierte Entwerfen und Konstruieren. Mit der nichtlinearen FE-Modellierung und experimentell ermittelten Spannungstrajektorien kann mit Spannungsfeldern, Kraftflussbereichen oder Stabwerksmodellen die Bemessung für die Tragsicherheit durchgeführt werden. Auch werden Entwurfshilfen für Tragstrukturen mit Beispielen von einer Brücke sowie ausgewählte Stabwerksmodelle für wiederkehrende D-Bereiche gegeben. Die vereinfachte Ermittlung von Verankerungs- und Übergreifungslängen für gute undmäßige Verbundbedingungen nach DIN EN 1992-1-1 mit dem deutschen Nationalen Anhang wurde tabellarisch zusammengestellt. Minimaler Materialein-

satz unter Wahrung von Funktion und Gestaltung kombiniert mit innovativen Betontechnologien sind die Rahmenbedingungen für gute Konstruktionen.

Stefan Ehmann, Karl Morgen und *Cornelius Ruckenberg* haben aus zahlreichen Forschungs- und Praxiserfahrungen den Wissensstand zum Thema „Silos“ aus Beton zusammengestellt. Die Grundeinheit eines Silos ist die Silozelle mit einem meist zylindrischen Raum und variantenreicher Grundfläche des Siloschaftes. Mehrere freistehende, nicht miteinander lastabtragende Silozellen werden als Silo-Gruppe und zusammengesetzte Silozellen als Silobatterien bezeichnet. Den Einflüssen verschiedener Schüttgüter auf die Silowände ist ein eigener Abschnitt gewidmet. Entscheidend beim Entwurf einer Siloanlage sind die zu erfüllenden Funktionen und Kapazitäten sowie die einzulagernden Schüttgüter. Umfassend werden die geometrisch verschiedenen Siloformen beschrieben und der Brand- und Explosionsschutz behandelt. In Siloanlagen werden die Schüttgüter mit maschinellen Einrichtungen bewegt, solche Betriebsbedingungen müssen bei der Konstruktion beachtet werden. Die Aussteifung von Silos erfolgt durch die rundum laufenden Wände – meist lotrechte Zylinderschalen. Neben den äußeren Lasten, wie Eigengewicht, Schnee- und Eis, Wind und Erdbeben kommt den Einwirkungen infolge der Schüttgüter beim Füllen und Entleeren und aus Staubexplosion oder Brand eine besondere Bedeutung zu. Im Beitrag werden auch die indirekten Einwirkungen aus Temperatur, Kriechen und Schwinden sowie Imperfektionen und Setzungen behandelt. Bei der baulichen Durchbildung muss besonders auf die durch die Krümmung der Bewehrung entstehenden Umlenkkräfte geachtet werden.

Doerte Laing-Nepustil, Wolf-Dieter Steinmann, Christoph Niklasch und *Thomas Voigt* haben das Thema „Thermische Energiespeicher – auch in Beton“ behandelt. Darin werden die wesentlichen Kriterien für die Auswahl und den Entwurf sowie die verschiedenen Speicherprozesse für thermische Energiespeicher dargelegt. Hinweise für die anlagentechnische Auslegung und Anwendungen ergänzen den Beitrag.

Josef Roetzer verfasste einen Beitrag zur „Planung und Auslegung von Flüssigerdgastanks“. Dabei hat er nach einer geschichtlichen Einführung zur Entwicklung der Erdgasverflüssigung und der LNG-Anlagen (Liquefied Natural Gas) die verschiedenen Tanktypen beschrieben. Im Prinzip wird ein Stahl-innentank von einem meist vorgespannten Betonaußentank umschlossen. Die Anforderungen im Betriebszustand werden sowohl durch die Eigen-, Nutz- und Klimlasten als auch durch thermische Beanspruchungen und verschiedene Betriebszustände definiert. Die Berechnung der Tanks im Gebrauchs- und Bruchzustand erfolgt mittels 2-D bzw. 3-D-Finite-Elemente-Modellierungen; mit den

Hauptspannungstrajektorien kann dann für die Diskontinuitätsbereiche (Krafteinleitungen in das Fundament, in die Dachschale sowie Spannkrafteinleitungen) mittels Stabwerksmodellen die Bemessung durchgeführt werden. Wichtig sind bei diesen Flüssigerdgastanks auch die dynamische Betrachtung der schwappenden Flüssigkeit (bei Erdbeben) und die resultierenden Beanspruchungen auf die Wände. Mit Hinweisen für die Bauausführung wird dieser Beitrag abgerundet.

Holger Tebbe, Jesko Gerlach und Björn Siebert haben das Thema „Landwirtschaftliches Bauen – Chemischer Angriff auf Betonbauwerke“ aufgegriffen. Gerade bei landwirtschaftlichen Anlagen ist der chemische Angriff auf Betonstrukturen eine nicht zu unterschätzende Komponente. Biogasanlagen erzeugen heute etwa 7 % des Bruttostroms in Deutschland. Für ihren Betrieb sind Bauwerke zur Vorlagerung, Aufbereitung und Lagerung der Gärreste notwendig. Das chemische Angriffspotenzial auf den Beton ist deshalb groß, weil mehrstufige Abbauprozesse von organischem Material zu Biogas in einem pH-Werte-Bereich von 4,5 bis 7,5 stattfinden. Wertvolle Hinweise zur Dichtigkeit und zur Konstruktion werden sowohl für Biogasbehälter und Gärfutter-silos, für Fahr-silos und weitere Betonkonstruktionen für die landwirtschaftliche Nutzung gegeben.

Joost Walraven erklärt als Verantwortlicher des international erarbeiteten Model Codes 2010 das neue Konzept für das Entwerfen und Bemessen von Betonkonstruktionen. Im *fib* Model Code 2010 werden neben aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen auch neue Entwicklungen, wie die Lebenszyklus-bemessung, nichtlineare FE-Berechnungsmethoden für Konstruktionsbeton, die Bewertung von bestehenden Konstruktionen, die Nachhaltigkeit und der Einsatz von Hochleistungsbeton sowie Stahlfaserbeton behandelt. Das Primat der Lebenszyklusana-lyse schlägt sich in der Gliederung nieder, wo Leistungsanforderungen, Entwurf, Ausführung, Erhaltung und Management sowie Rückbau gleichermaßen dargestellt werden.

Den umfangreichen Abschnitt Normen und Regelwerke hat *Frank Fingerloos* mit großer Fachkenntnis zusammengestellt. Spezifisch werden die wesentlichen Regeln aus Eurocode 1 zu den Einwirkungen erläutert und zusammengestellt. Der Eurocode 2 DIN EN 1992-1-1 mit Nationalem Anhang für Deutschland wird wieder in einer kompakten Fassung für den Hochbau abgedruckt und erläutert. Dabei sind schon die aktuellen A1-Änderungen zum Eurocode 2 und DIN EN 1992-1-1/NA/A1 aus 2015 berücksichtigt. DIN EN 1992-3 mit Nationalem Anhang für die Silos und Behälterbauwerke wird vollständig in einer konsolidierten Fassung dargestellt. Praxisgerecht werden die Tabellen zur Bemessung im Brandfall nach DIN EN 1992-1-2 und DIN 4102-4 aufbereitet und zusammengestellt. Die aktuelle DIN 1045-100 für Ziegeldecken wird wiedergegeben, erläutert und um Bemessungshilfsmittel und -beispiel ergänzt. Des Weiteren ist die DAfStb-Richtlinie für den „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ vollständig abgedruckt. Der Beitrag wird wieder abgerundet mit den Listen der wichtigsten Technischen Baubestimmungen für den Betonbau sowie der Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton und der Merkblätter des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins und der Österreichischen Bautechnik Vereinigung.

Der Beton-Kalender 2016 stellt mit den Themenschwerpunkten „Beton im Hochbau“ und „Silos und Behälter“ ein praxisgerechtes Nachschlagewerk und für wissenschaftlich interessierte Bauingenieure ein Referenzwerk dar. Die Herausgeber wünschen den Leserinnen und Lesern, viel Praktisches und Wissenswertes darin zu finden.

Wien, Berlin, Darmstadt, im September 2015

Konrad Bergmeister, Wien

Frank Fingerloos, Berlin

Johann-Dietrich Wörner, Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

1

I	Beton	1			
	Harald S. Müller, Udo Wiens				
1	Einführung und Definition	3	4	Junger Beton	49
1.1	Allgemeines	3	4.1	Bedeutung und Definition	49
1.2	Definition	3	4.2	Hydratationswärme	49
1.3	Klassifizierung von Beton	4	4.3	Verformungen	50
1.3.1	Betonarten	4	4.4	Dehnfähigkeit und Rissneigung	51
1.3.2	Betonklassen	5	4.5	Bestimmung der Festigkeit	
1.3.3	Betonfamilie	7		von jungem Beton	52
2	Ausgangsstoffe	8	5	Lastunabhängige Verformungen	53
2.1	Zement	8	5.1	Allgemeines	53
2.1.1	Arten und Zusammensetzung	8	5.2	Temperaturdehnung	53
2.1.2	Bautechnische Eigenschaften	12	5.3	Schwinden	54
2.1.3	Bezeichnung, Lieferung und Lagerung	14	5.3.1	Ursachen	54
2.1.4	Anwendungsbereiche	15	5.3.2	Mathematische Beschreibung	56
2.1.5	Zementhdratation	19	6	Festigkeit und Verformung von Festbeton	58
2.1.6	Der Zementstein	19	6.1	Strukturmerkmale	58
2.2	Gesteinskörnungen für Beton	22	6.2	Druckfestigkeit	58
2.2.1	Allgemeines	22	6.2.1	Spannungszustand und Bruchverhalten von Beton bei Druckbeanspruchung ..	58
2.2.2	Art und Eigenschaften des Gesteins ..	23	6.2.2	Einflüsse auf die Druckfestigkeit	59
2.2.3	Schädliche Bestandteile	24	6.2.2.1	Ausgangsstoffe und Beton-	
2.2.4	Kornform und Oberfläche	27		zusammensetzung	59
2.2.5	Größtkorn und Kornzusammensetzung	28	6.2.2.2	Erhärtungsbedingungen und Reife	60
2.3	Betonzusatzmittel	30	6.2.2.3	Prüfeinflüsse	64
2.3.1	Definition	30	6.2.3	Festigkeitsklassen	65
2.3.2	Arten von Zusatzmitteln	30	6.3	Zugfestigkeit	65
2.3.3	Anwendungsgebiete	31	6.3.1	Bruchverhalten und Bruchenergie	65
2.3.4	Weitere Anforderungen	33	6.3.2	Einflüsse auf die Zugfestigkeit	66
2.4	Betonzusatzstoffe	33	6.3.3	Zentrische Zugfestigkeit	66
2.4.1	Definitionen	33	6.3.4	Biegezugfestigkeit	67
2.4.2	Inerte Stoffe und Pigmente	34	6.3.5	Spaltzugfestigkeit	67
2.4.3	Puzzolanische Stoffe	34	6.3.6	Verhältnismwerte für Druck- und Zugfestigkeit	67
2.4.4	Latent-hydraulische Stoffe	39	6.4	Festigkeit bei mehrachsiger Beanspruchung	68
2.4.5	Organische Stoffe	39	6.5	Spannungs-Dehnungsbeziehungen ..	69
2.5	Zugabewasser	39	6.5.1	Elastizitätsmodul und Querdehnzahl ..	70
3	Frischbeton und Nachbehandlung	40	6.6	Einfluss der Zeit auf Festigkeit und Verformung	71
3.1	Allgemeine Anforderungen	40	6.6.1	Die zeitliche Entwicklung von Festigkeit und Elastizitätsmodul	71
3.2	Mehlkorngehalt	40	6.6.2	Verhalten bei Dauerstandbeanspruchung	72
3.3	Rohdichte und Luftgehalt	41	6.6.3	Zeitabhängige Verformungen	72
3.4	Verarbeitbarkeit und Konsistenz	41	6.6.3.1	Definitionen	72
3.5	Transport und Einbau	44	6.6.3.2	Kriechverhalten von Beton	73
3.6	Entmischen	45			
3.7	Nachbehandlung	47			
3.7.1	Nachbehandlungsarten	47			
3.7.2	Dauer der Nachbehandlung	47			
3.7.3	Zusätzliche Schutzmaßnahmen	49			

6.6.3.3	Vorhersageverfahren	75	10.3	Porenbeton	122
6.6.4	Verhalten bei dynamischer Beanspruchung.	77	10.4	Haufwerksporiger Leichtbeton	123
6.6.5	Ermüdung	77	11	Faserbeton	124
7	Dauerhaftigkeit	81	11.1	Allgemeines	124
7.1	Überblick über die Umweltbedingungen, Schädigungsmechanismen und Mindestanforderungen	82	11.2	Zusammenwirken von Fasern und Matrix	125
7.2	Widerstand gegen das Eindringen aggressiver Stoffe.	89	11.2.1	Ungerissener Beton	125
7.3	Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton	90	11.2.2	Gerissener Beton	126
7.3.1	Allgemeine Anforderungen	90	11.3	Fasern	133
7.3.2	Carbonatisierung	91	11.3.1	Stahlfasern	134
7.3.3	Eindringen von Chloriden	93	11.3.2	Glasfasern	134
7.4	Frostwiderstand	95	11.3.3	Organische Fasern	135
7.5	Frost- und Taumittelwiderstand.	95	11.3.3.1	Kunststofffasern (Polymere)	135
7.6	Widerstand gegen chemische Angriffe	97	11.3.3.2	Kohlenstofffasern	136
7.7	Verschleißwiderstand.	98	11.3.3.3	Fasern natürlicher Herkunft – Zellulosefasern.	136
7.8	Feuchtigkeitsklassen nach Alkali-Richtlinie	98	11.4	Zusammensetzung	136
8	Selbstverdichtender Beton	99	11.4.1	Beton	136
8.1	Allgemeines	99	11.4.2	Fasern	137
8.2	Mischungsentwurf	100	11.5	Eigenschaften	137
8.3	Frischbetonprüfverfahren an Mörtel	101	11.5.1	Verhalten bei Druckbeanspruchung.	137
8.4	Prüfungen am Beton	102	11.5.2	Verhalten bei Zugbeanspruchung und bei Biegebeanspruchung	138
8.5	Eigenschaften.	105	11.5.3	Verhalten bei Querkraft- und Torsionsbeanspruchung	138
9	Sichtbeton	105	11.5.4	Verhalten bei Explosions-, Schlag- und Stoßbeanspruchung	138
9.1	Einführung	105	11.5.5	Kriechen und Schwinden	139
9.2	Planung und Ausschreibung	105	11.5.6	Dauerhaftigkeit	139
9.3	Betonzusammensetzung und Betonherstellung	106	11.5.7	Frost- und Taumittelwiderstand.	140
9.4	Einbau und Nachbehandlung	107	11.5.8	Verhalten bei hoher Temperatur	140
9.4.1	Schalung und Trennmittel	107	11.5.9	Verschleißwiderstand.	140
9.4.2	Ausführung und Nachbehandlung	108	11.6	Übereinstimmungsnachweis und Prüfungen	140
9.5	Beurteilung	108	11.7	Richtlinie „Stahlfaserbeton“	141
9.6	Mängel und Mängelbeseitigung.	109	12	Ultrahochfester Beton	141
9.7	Sonder-Sichtbetone	110	13	Nachhaltiger Beton	141
10	Leichtbeton	111	13.1	Einführung	141
10.1	Einführung und Überblick	111	13.2	Ökobilanz von Beton	142
10.2	Konstruktionsleichtbeton nach DIN EN 1992-1-1	112	13.3	Mischungsentwicklung	143
10.2.1	Grundlegende Eigenschaften	112	13.3.1	Optimierung der Packungsdichte der granularen Ausgangsstoffe.	146
10.2.2	Leichte Gesteinskörnung	113	13.3.2	Bewertung der Leistungsfähigkeit der Bindemittelzusammensetzung	149
10.2.3	Betonzusammensetzung.	114	13.4	Methoden der Leistungsbewertung	149
10.2.4	Herstellung, Transport und Verarbeitung.	117	13.5	Zusammensetzung und Eigenschaften nachhaltiger Betone	151
10.2.5	Festbetonverhalten von Konstruktionsleichtbeton	118	14	Normative Entwicklung	154
10.2.6	Zur Planung von Bauwerken aus Konstruktionsleichtbeton	120	14.1	Neue EN 206 und DIN 1045-2	154
10.2.7	Selbstverdichtender Konstruktionsleichtbeton	121	14.2	Widerstandsklassen – das neue Konzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken für die zukünftige EN 206	155
			15	Literatur	156

II	Betonstahl und Spannstahl	169
	Jörg Moersch, Sven Junge	
	Einleitung	171
1	Betonstahl	171
1.1	Betonstahl nach europäischer Norm	171
1.2	Betonstahl nach DIN 488	173
1.2.1	Einführung	173
1.2.2	Stahlsorten, Eigenschaften und Kennzeichnung nach DIN 488-1	173
1.2.3	Bauaufsichtlich anerkannte Zertifizierungs- und Überwachungsstellen für die Herstellung und Verarbeitung von Betonstahl	178
1.2.4	Betonstahl in Stäben nach DIN 488-2	179
1.2.5	Arbeitshilfen für Betonstabstahl	180
1.2.6	Betonstahl in Ringen nach DIN 488-3	188
1.2.7	Betonstahlmatten nach DIN 488-4	188
1.2.8	Lieferprogramme für Betonstahlmatten nach DIN 488-4 und bauaufsichtlicher Zulassung	200
1.2.9	Anwendungshilfen für Betonstahlmatten	207
1.2.10	Gitterträger nach DIN 488-5	213
1.2.11	Anwendungshilfen für Gitterträger ..	215
1.2.12	Bewehrungsdraht nach DIN 488-3	215
	1.3	Ausgewählte Betonstähe nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen
	1.3.1	Betonstabstahl
	1.3.1.1	B500A mit Sonderrippung
	1.3.1.2	Betonstabstahl B500B mit Gewinderippen Typ SAS 500
	1.3.1.3	Hochfester Bewehrungsstahl mit Gewinderippen Typ SAS 670/800 ..
	1.3.2	Betonstahl in Ringen
	1.3.2.1	Betonstahl in Ringen B500A mit Nenndurchmesser 14,0 und 16,0 mm
	1.3.2.2	Betonstahl in Ringen B500B mit Sonderprofilierung „Europrofil“
	1.3.2.3	Betonstahl in Ringen B500B mit Sonderrippung „TWR“
	1.3.3	Betonstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand
	1.3.3.1	Feuerverzinkte Betonstähe
	1.3.3.2	Nichtrostender Betonrippenstahl
	1.3.4	Nichtmetallische Bewehrung
	2	Spannstähle
	2.1	Stand der europäischen Normung bei Spannstählen
	2.2	Spannstähle mit allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen; Stand: 04.2015
III	Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau	237
	Alfred Steinle, Hubert Bachmann, Mathias Tillmann	
1	Allgemeines	249
1.1	Vorteile der Werksfertigung	249
1.2	Geschichtliche Entwicklung	250
1.3	Europäische Normung	252
2	Entwerfen von Fertigteilmbauten	257
2.1	Allgemeines	257
2.2	Toleranzen und Passungsberechnungen	259
2.2.1	Allgemeines	259
2.2.2	Toleranznormen	260
2.2.3	Passungsberechnungen	264
2.3	Herstellung	266
2.4	Transport und Montage	269
2.4.1	Allgemeines	269
2.4.2	Transport	269
2.4.3	Montage	271
2.5	Nachhaltigkeit	273
2.6	Beispiele zum Entwurf	273
3	Aussteifung von Fertigteilmbauten	275
3.1	Allgemeines	275
	3.2	Belastungen der Aussteifungselemente
	3.2.1	Allgemeines
	3.2.2	Lastfall Wind
	3.2.3	Lastfall Lotabweichung
	3.2.4	Lastfall Erdbeben
	3.2.5	Lastfall Zwang (Schwinden und Temperatur)
	3.3	Tragelemente zur Aussteifung
	3.3.1	Typische Aussteifungselemente
	3.3.1.1	Allgemeines
	3.3.1.2	Gegliederte Wandscheiben
	3.3.1.3	Scheiben mit großen Öffnungen
	3.3.1.4	Rahmen und Verbände
	3.3.1.5	Räumliche Systeme
	3.3.1.6	Aus Fertigteilen zusammengesetzte Scheiben
	3.3.2	Anordnung der Aussteifungselemente
	3.4	Verteilung der Horizontallasten
	3.4.1	Allgemeine Vorgehensweise
	3.4.2	Überschlagsformeln zur Vordimensionierung

3.5	Nachweis der aussteifenden Bauteile	291	6.3.6	Dimensionierung der Lagerung	330
3.6	Konstruktive Durchbildung	293	6.3.7	Bemessung und Konstruktion der Lagerung	331
3.6.1	Deckenscheiben	293	6.4	Stützenstöße	334
3.6.2	Wandscheiben	293	6.4.1	Allgemeines	334
4	Bauteile des Betonfertigteilbaus	294	6.4.2	Stützenstoß im Mörtelbett (harte Lagerung)	334
4.1	Allgemeines	294	6.4.3	Stützenstoß mit verformbaren Fugenmaterialien	336
4.2	Decken- und Dachplatten	294	6.4.4	Biegesteife Stöße	337
4.2.1	Allgemeines	294	6.4.5	Stützenstöße mit hochfestem Betonstahl	338
4.2.2	Vollplatten	295	6.5	Wand-Decken-Verbindungen	341
4.2.3	Hohlplatten	295	6.6	Querkraftbolzen	341
4.2.3.1	Allgemeines	295	6.6.1	Allgemeines	341
4.2.3.2	Spannbetonhohlplatten	295	6.6.2	Große Randabstände $a_{\parallel} \geq 8\varnothing_B$ bzw. $a_{\perp} \geq 8\varnothing_B$	343
4.2.3.3	Stahlbetonhohlplatten	297	6.6.3	Geringe Randabstände $a_{\parallel} < 8\varnothing_B$ bzw. $a_{\perp} < 8\varnothing_B$	343
4.2.4	Elementdecken	297	6.6.4	Weitere Hinweise zu Querkraftbolzen	344
4.2.4.1	Allgemeines	297	6.7	Schweißverbindungen	344
4.2.4.2	Vorgespannte Elementdecken	298	6.8	Schraub- und Muffenverbindungen	348
4.2.5	Deckenplatten mit Stegen (TT-Platten)	299	6.9	Sonstige Verbindungsmittel	348
4.2.6	Sonstige Deckensysteme	301	6.10	Transportanker	351
4.3	Balken	301	6.10.1	Allgemeines	351
4.3.1	Pfetten, Riegel, Unterzüge	301	6.10.2	Einwirkungen	351
4.3.2	Dachbinder	303	6.10.3	Ermittlung des zulässigen Tragwiderstands	352
4.4	Stützen	305	6.10.4	Weitere Hinweise für die Bemessung	354
4.5	Wände	307	6.10.5	Konsequenzen aus der Maschinenrichtlinie	354
4.5.1	Allgemeines	307	6.10.6	Inkompatibilität von Transportankersystemen	355
4.5.2	Elementwände	307	6.11	Schubkraftübertragung in Fugen	355
4.6	Fundamente	309	6.11.1	Allgemeines	355
4.6.1	Allgemeines	309	6.11.2	Bemessung	355
4.6.2	Angeformte Fundamente	309	6.11.3	Oberflächenkategorien	358
4.6.3	Köcher- und Blockfundamente	310	6.11.4	Bauliche Durchbildung	359
4.6.4	Sonstige Fundamentarten	313	6.11.5	Ermüdung	361
5	Knotenpunkte des Betonfertigteilbaus	314	6.12	Decken- und Wandscheiben	361
5.1	Allgemeines	314	6.12.1	Allgemeines	361
5.2	Pfettenauflager	315	6.12.2	Deckenscheiben	362
5.3	Binderauflager	316	6.12.3	Wandscheiben	363
5.4	Deckenplattenaufleger	317	6.12.4	Sonstiges	365
5.4.1	TT-Platten	317	6.13	Querkräfte in Deckenplatten	366
5.4.2	Spannbetonhohlplatten	319	6.14	Ausgeklinte Auflager	369
5.5	Unterzugauflager	319	6.14.1	Allgemeines	369
5.6	Wandplattenaufleger	321	6.14.2	Bemessung	369
5.7	Balkonplatten	322	6.15	Konsolen	372
5.8	Treppenaufleger	322	6.15.1	Allgemeines	372
5.9	Stütze/Fundament	325	6.15.2	Bemessung	372
6	Einzelfragen zur Bemessung	326	6.15.3	Bauliche Durchbildung	378
6.1	Allgemeines	326	6.15.4	Trägerkonsolen	378
6.2	Teilflächenbelastung	326	6.15.5	Nachträglich angeschlossene Konsolen	379
6.3	Lagerung	327	6.16	Nachweis der Kippsicherheit	381
6.3.1	Allgemeines	327	6.16.1	Allgemeines	381
6.3.2	Elastomerlager	327			
6.3.3	Technische Regelwerke zu Elastomerlagern	328			
6.3.4	Ansätze zur Bemessung von Elastomerlagern	329			
6.3.5	Horizontalkräfte	330			

6.16.2	Vereinfachte Kippnachweise	381	7.6.1.1	Allgemeines	422
6.16.3	Rechnerische Nachweise	382	7.6.1.2	Hinterlüftete Fassaden	422
6.16.4	Nachweis der Auflager	386	7.6.1.3	Befestigung und Verankerung	423
6.17	Brandschutzbemessung	388	7.6.1.4	Einwirkungen	424
6.17.1	Allgemeines	388	7.6.2	Kleinformatige vorgehängte Fassadenplatten	424
6.17.2	Grundlagen der Brandschutz- bemessung	388	7.6.2.1	Allgemeines	424
6.17.2.1	Allgemeines	388	7.6.2.2	Befestigung und Verankerung	424
6.17.2.2	Bemessung nach Eurocode	389	7.6.2.3	Einwirkungen und Bemessung	426
6.17.2.3	Bemessung nach DIN 4102-4	390	7.7	Weitere Entwicklungen für Betonfassaden	426
6.17.2.4	F- oder R-Klassifizierung?	391	7.8	Bauphysik	427
6.17.3	Stahlbeton- und Spannbetonbalken	391	7.8.1	Energetische Betrachtungen und Wärmeschutz	427
6.17.4	Stahlbetonstützen	392	7.8.1.1	Allgemeines	427
6.17.4.1	Rechnerische Ermittlung	392	7.8.1.2	Wärmebrücken	427
6.17.4.2	Tabellenwerte	393	7.8.1.3	Sommerlicher Wärmeschutz	431
6.17.5	Stahlbeton-Kragstützen	394	7.8.2	Feuchtigkeitsschutz	433
6.17.6	Brandwände	394	7.9	Ausführungsbeispiele	433
6.17.7	Putzbekleidungen	394	7.9.1	Züblin-Haus	433
6.17.8	Anschlüsse, Fugen und Verbindungen	394	7.9.2	Gemeindezentrum in Mannheim-Neuhermsheim	433
6.18	Vorspannung im sofortigem Verbund	397	7.9.3	Bürogebäude Ohligsmühle	435
6.18.1	Allgemeines	397	7.9.4	Tour Total	436
6.18.2	Betondeckung	398	7.9.5	ROC Mondriaan in Den Haag	436
6.18.3	Vorspanngrad	398	8	Herstellung	437
6.18.4	Spannkraftverluste	398	8.1	Herstellungsverfahren	437
6.18.5	Dekompression	400	8.1.1	Allgemeines	437
6.18.6	Begrenzung der Spannungen	400	8.1.2	Ortsfeste Fertigung	437
6.18.7	Übertragung und Verankerung der Vorspannung	401	8.1.3	Umlauffertigung	441
6.18.8	Spaltzug und Stirnzug	402	8.2	Betone im Fertigteilbau	442
7	Fassaden aus Betonfertigteilen	403	8.2.1	Allgemeines	442
7.1	Allgemeines	403	8.2.2	Frischbeton	443
7.2	Entwurf	405	8.2.3	Festbeton	443
7.3	Oberflächen	406	8.2.4	Ultrahochfester Beton	444
7.3.1	Allgemeines	406	8.2.5	Selbstverdichtender Beton	446
7.3.2	Gestaltung durch die Schalung	406	8.2.6	Faserbetone	446
7.3.3	Nachträglich bearbeitete Oberflächen	407	8.3	Wärmebehandlung und Nachbehandlung	448
7.3.4	Witterungsverhalten	408	8.4	Bewehrung	449
7.3.4.1	Allgemeines	408	8.4.1	Allgemeines	449
7.3.4.2	Planung	408	8.4.2	Material	449
7.3.4.3	Oberflächenschutz, Pflege und Wartung	409	8.4.3	Bewehrungszeichnungen	451
7.4	Fugenabdichtung	409	8.4.4	Ausführung	451
7.5	Betonsandwichelemente	411	8.5	Spannbettvorspannung	453
7.5.1	Allgemeines	411	8.5.1	Allgemeines	453
7.5.2	Abmessungen und Schichtdicken	411	8.5.2	Material	453
7.5.3	Verbindungsmitel	413	8.5.3	Ausführungsunterlagen	453
7.5.4	Einwirkungen	414	8.5.4	Herstellung	455
7.5.5	Bemessung	419	8.6	Qualitätssicherung	458
7.5.6	Verformungen	420	8.6.1	Allgemeines	458
7.5.7	Rissverhalten	420	8.6.2	Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)	458
7.5.8	Bauliche Durchbildung	421	8.6.3	Fremdüberwachung	459
7.6	Vorgehängte Fassadenplatten	422	8.6.4	Zertifizierung und Kennzeichnung	459
7.6.1	Großformatige vorgehängte Fassadenplatten	422	9	Literatur	460

IV	Elementbauweise mit Gitterträgern nach Eurocode 2	469
	Johannes Furche, Ulrich Bauermeister	
1	Einführung	471
2	System	472
2.1	Systementwicklung und Grundlagen	472
2.2	Gitterträger	476
2.2.1	Entwicklung von Gitterträgern	476
2.2.2	Bauaufsichtliche Zulassungen	478
2.2.3	Materialeigenschaften der Gitterträger	481
2.2.3.1	Zulassung und Norm	481
2.2.3.2	Gitterträger nach DIN 488	481
2.2.3.3	Gitterträger nach Zulassung	487
2.3	Fertigteile mit Gitterträgern	489
2.3.1	Eurocode 2 und bauaufsichtliche Zulassungen	489
2.3.2	Produktnormen für Fertigteile mit Gitterträgern	489
3	Elementdecken	489
3.1	Montagezustand	489
3.1.1	Grundlagen	489
3.1.2	Bemessungshilfen für den Montagezustand	493
3.1.3	Verstärkte Gitterträger	500
3.1.4	Besondere Aspekte der Anwendung	507
3.1.4.1	Montagestützweite nach europäischer Produktnorm	507
3.1.4.2	Biegetragverhalten bei gezogenem Gitterträgerobergurt	508
3.1.4.3	Kragarme	509
3.1.4.4	Stoßen von Gitterträgergurten	510
3.1.4.5	Sonderkonstruktionen	510
3.2	Endzustand	515
3.2.1	Grundlagen der Bemessung	515
3.2.1.1	Monolithische Tragwirkung	515
3.2.1.2	Drillsteifigkeit von Elementdecken ..	516
3.2.1.3	Bemessung mit der Finite-Elemente-Methode (FEM)	519
3.2.1.4	Gebrauchszustand von Elementdecken	521
3.2.1.5	Normenregelungen zur Bemessung und Konstruktion	524
3.2.2	Biegebemessung	524
3.2.2.1	Querschnittsbemessung	524
3.2.2.2	Bemessungsverfahren und Momentenumlagerung	525
3.2.3	Querkraftbemessung	528
3.2.3.1	Grundlagen und Modelle	528
3.2.3.2	Schubkraftübertragung in Verbundfugen	529
3.2.3.3	Querkraftnachweis	535
3.2.3.4	Bemessungsbeispiele und Bemessungshilfen	540
3.2.4	Konstruktion	543
3.2.4.1	Verbundbewehrung	543
3.2.4.2	Querkraftbewehrung	550
3.2.4.3	Plattendicken und Randbewehrung ..	551
3.2.4.4	Auflager	551
3.2.4.5	Bewehrungsstöße	556
3.2.5	Durchstanzen	559
3.2.5.1	Bemessungskonzept	559
3.2.5.2	Erste Durchstanzversuche an Elementdecken	561
3.2.5.3	Filigran-Durchstanzbewehrung FDB II	562
3.2.5.4	Durchstanzsysteme in Elementdecken	569
3.2.6	Nicht vorwiegend ruhende Einwirkung	571
3.2.6.1	Grundlagen	571
3.2.6.2	Erste Versuche mit Gitterträgern	572
3.2.6.3	Aktuelle Regelungen	573
3.2.6.4	Bemessungsbeispiele und Bemessungshilfen	574
3.2.7	Elementdecken mit integrierten Leitungen	578
3.2.7.1	Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung	578
3.2.7.2	Gitterträger als örtliche Querkraftzulage	580
4	Balken-, Rippen- und Plattenbalkendecken	581
4.1	System	581
4.2	Montagezustand	583
4.3	Endzustand	584
4.3.1	Grundlagen	584
4.3.2	Bewehrung und Konstruktion	584
4.3.3	Zulagebewehrung	586
4.3.4	Balkendecken	588
4.3.5	Stahlbetonrippendecken	588
4.3.6	Plattenbalkendecken	589
4.3.7	Bemessungshilfen	589
5	Elementwände	603
5.1	System	603
5.2	Montagezustand	604
5.3	Endzustand	611
5.3.1	Bemessungsgrundlagen	611
5.3.2	Gelenkig gelagerte Wände	612
5.3.3	Biegesteife Anschlüsse	615
5.3.4	Nicht vorwiegend ruhende Einwirkung	615
5.3.5	Konstruktion	616
5.4	Wasserundurchlässige Betonbauwerke	619
5.4.1	Elementwandlängen und Bewehrung	619
5.4.2	Elementwände nach WU-Richtlinie	621

5.4.3	Ausführung als WU-Konstruktion . . .	623	6	Sonderkonstruktionen	627
5.5	Kerngedämmte Elementwände	624			
5.5.1	System und Gitterträger	624	7	Zusammenfassung	628
5.5.2	Konstruktion und Bemessung	625			
5.5.3	Wärmedämmung und Wärmedurchlasswiderstände	627	8	Literatur	629
V	Multifunktionale Betondecken	637			
	Thomas Friedrich				
1	Die Entwicklung der Stahlbetondecke für Hochbaukonstruktionen	639	11.2	Verbesserung der Akustik mit Streifenabsorbieren in der Deckenuntersicht	669
2	Flachdecke für große Spannweiten – mit dem Ziel der Gewichtsreduktion	642	11.3	Elektroleerrohre und Dosen für die Versorgung von Beleuchtung und Sicherheitselementen	672
3	Multifunktionale Bauteile: Begriff aus dem Maschinenbau – mögliche Ansätze im Bauwesen	644	11.4	Lüftungsleitungen und deren Anschluss an Deckenauslässe	674
4	Bauteilaktivierung als Impuls für die Entwicklung von multifunktionalen Betondecken	646	11.5	Kabelkanäle mit Anschluss zur Deckenoberseite für die Versorgung mit Strom und Telekommunikation	676
5	Verschiedene Wege zum neuen Konzept mit der multifunktionalen Decke	648	11.6	Sprinklerleitungen	677
6	Plattenbauteile mit produktionsbedingtem Hohlraum zur Integration von größeren Leitungen	652	11.7	Sonstige Leitungen	677
7	Nachhaltig Bauen – ein Wegweiser für multifunktionale Decken	653	11.8	Integrierte Beleuchtung	677
8	Grundlage für die Entwicklung einer flexiblen multifunktionalen Deckenkonstruktion für den praktischen Einsatz	655	11.9	Planungsaufwand für die verschiedenen Leitungen und Einbauteile	678
9	Deckenplatten mit Sandwichquerschnitt für die kontrollierte Integration der Leitungen	658	11.10	Montage und Verbindung der Leitungen	679
10	Vorgefertigte Deckenplatten mit Sandwichquerschnitt für Flachdeckenkonstruktionen	661	11.11	Funktionen der oberen Schale des Sandwichquerschnitts	680
11	Komponenten der Haustechnik für die Integration in den Sandwichquerschnitt von tragenden Plattenelementen	667	12	Zeitlicher Ablauf für die Zusammensetzung des Sandwichquerschnitts	680
11.1	Thermoaktive Komponenten	668	12.1	Obere Platte als Fertigteil	681
			12.2	Obere Platte in Ortbeton	684
			13	Querkraftwiderstand der Rippen und der Einfluss der Aussparungen	686
			13.1	Kleine meist runde Aussparungen	687
			13.2	Rechteckige große Öffnungen (b/h < 2)	688
			13.3	Große rechteckige Öffnungen mit der Höhe des Hohlraums	689
			14	Konstruktive Hinweise	690
			15	Zukunft der multifunktionalen Betondecken	692
			16	Literatur	693

Inhaltsverzeichnis

2

VII	Silos	741		
	Stefan Ehmann, Karl Morgen, Cornelius Ruckebrod			
1	Einleitung	743	6	Gründung
1.1	Allgemeines	743	6.1	Allgemeines
1.2	Abgrenzung, Begriffe und Definitionen	744	6.2	Bodenverbesserungen
1.3	Baustoffe	746	6.3	Flachgründungen
1.4	Schadensfälle	747	6.4	Pfahlgründungen
1.5	Betriebshandbuch und Typenschild ..	748	7	Einwirkungen
2	Schüttgüter	749	7.1	Allgemeines
2.1	Allgemeines	749	7.2	Eigenlasten
2.2	Mechanisch-statisches Verhalten ..	750	7.3	Nutzlasten
2.3	Schüttgutmechanisches Verhalten ..	751	7.4	Schnee- und Eislasten
2.4	Fließprobleme	751	7.5	Windlasten
2.5	Verschleiß	751	7.5.1	Horizontale Windlasten auf das Silobauwerk
2.6	Chemische und hygroskopische Einflüsse	752	7.5.2	Windlasten auf das Silodach
2.7	Einfluss der Temperatur	752	7.6	Einwirkungen infolge Schüttgütern
2.8	Staubexplosionen in Silozellen	753	7.6.1	Allgemeine Zusammenhänge, Grundlagen
2.9	Einflüsse aus der Lebensmittel- hygiene und der Produktqualitäts- erhaltung	753	7.6.2	Einwirkungen nach DIN EN 1991-4 auf vertikale Silowände
3	Entwurf einer Siloanlage	753	7.6.3	Einwirkungen nach DIN EN 1991-4 auf Siloböden und Silotrichter
3.1	Grundlagen	753	7.6.4	Einwirkungen unter speziellen Bemessungssituationen
3.2	Layout von Silos (Aufriss und Grundriss)	756	8	Indirekte Einwirkungen
3.3	Zellenformen	758	8.1	Temperatureinwirkungen
3.4	Brand- und Explosionsschutz	759	8.1.1	Klimatische Beanspruchung
3.4.1	Brandschutz	759	8.1.2	Temperaturbeanspruchungen infolge des eingelagerten Schüttgutes
3.4.2	Explosionsschutz	760	8.2	Kriechen und Schwinden
4	Fördern des Schüttgutes	763	8.3	Lotabweichungen / Imperfektionen
4.1	Allgemeines	763	8.4	Ungleichförmige Setzung des Baugrundes
4.2	Typische Fördereinrichtungen beim Betrieb von Silozellen	764	9	Einwirkungen aus außergewöhnlichen Bemessungssituationen
4.3	Befüllungseinrichtungen	764	9.1	Staubexplosionen
4.4	Entleerungseinrichtungen	765	9.2	Brandeinwirkung
4.5	Besondere Betriebsbedingungen ..	766	9.3	Erdbeben
5	Konstruktion	767	9.4	Fahrzeuganprall
5.1	Aussteifung	767	9.5	Dynamische Lasten bei der Entleerung von Silozellen
5.2	Silodächer und Decken	767	9.6	Ermüdungsrelevante Bemessungssituationen
5.3	Silowände	768		
5.4	Zellenwände als wandartige Träger ..	770		
5.5	Zellenecken	770		
5.6	Siloböden	770		
5.7	Zelleneinbauten und Zellen- ausrüstung	772		

10	Berechnung und Bemessung	809	11	Bauausführung	821
10.1	Schnittgrößenermittlung	809	11.1	Übersicht	821
10.1.1	Silozelle	809	11.2	Gleitbauverfahren	821
10.1.2	Besonderheiten bei Silobatterien	811	11.3	Kletterschalung	823
10.1.3	Temperaturlastfälle	812	12	Bauen im Bestand –	
10.1.4	Schnittgrößen aus Vorspannung	813		Instandsetzung, Umnutzung	823
10.2	Bemessung der Zellenwände	814	12.1	Allgemeines	823
10.2.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	814	12.2	Historische Entwicklung der	
10.2.2	Ermüdung	815		Lastansätze	824
10.2.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	817	12.3	Hinweise zur Ertüchtigung von	
10.2.4	Grenzzustand der Dauerhaftigkeit	818		Silobauwerken	824
10.2.5	Bauliche Durchbildung	819	13	Literatur	826
10.3	Bemessung Silotrichter und Siloböden	821			
VIII	Thermische Energiespeicher – auch in Beton	833			
	Doerte Laing-Nepustil, Wolf-Dieter Steinmann, Christoph Niklasch, Thomas Voigt				
1	Einleitung	835	3.2.3	Sensible Hochtemperaturwärmespeicher mit flüssigen Wärmespeichermedien	843
1.1	Allgemeines	835	3.2.4	Sensible Hochtemperaturwärmespeicher mit Feststoffen als Wärmespeichermedium	845
1.2	Energiewirtschaftliche Bedeutung von Speichersystemen	835	3.2.5	Beispielprojekte für sensible Wärmespeicher mit Feststoffspeichermedien	847
2	Übersicht Energiespeicher	836	3.3	Latente Hochtemperaturspeicher	855
2.1	Klassifizierung von Energiespeichern	836	3.3.1	Übersicht	855
2.2	Vergleich unterschiedlicher Speichersysteme	838	3.3.2	Aufbau	857
3	Wärmespeicher	839	4	Zusammenfassung und Ausblick	863
3.1	Übersicht Wärmespeicher	839	5	Literatur	865
3.2	Sensible Hochtemperaturspeicher	841			
3.2.1	Übersicht	841			
3.2.2	Klassifizierung sensibler Wärmespeicher	842			
IX	Planung und Auslegung von Flüssigerdgastanks	867			
	Josef Roetzer				
1	Einführung	869	2.9	Schadstoffemissionsbegrenzung in der EU	881
2	Geschichtliche Entwicklung der Erdgasverflüssigung	870	3	Regelwerke und Anwendungsbereiche	882
2.1	Industrialisierungsprozess und Energiebedarf	871	3.1	Geschichtliche Entwicklung der Vorschriften	882
2.2	Anfänge der Gasverflüssigung	871	3.2	EEMUA Nr. 147 und BS 7777	883
2.3	Die ersten Schritte zum Schiffstransport	873	3.3	EN 1473 Anlagen für Flüssigerdgas	884
2.4	Algerien wird erster Exporteur	874	3.4	EN 14620 Auslegung und Konstruktion von LNG-Tanks	885
2.5	Weiterentwicklung mit Peakshaving-Anlagen	875	3.5	API 620 Die US-Vorschrift für Stahltanks	887
2.6	Der erste deutsche LNG-Tank in Stuttgart	876	3.6	API 625 Kopplung von Beton und Stahl	888
2.7	Wilhelmshaven – der Versuch eines deutschen Importterminals	876	3.7	ACI 376 Die US-Vorschrift für Betontanks	888
2.8	Die Verflüssigung von Gas in Australien	877			

4	Definition der verschiedenen Tanktypen	888	7.2	Berechnungsverfahren nach <i>Housner</i>	912
4.1	Definition und Entwicklung der Tanktypen	888	7.3	Berechnungsverfahren nach <i>Veletsos</i>	914
4.2	Single-Containment-Tank-System	889	7.4	Regelungen in EN 1998-4, Anhang A	915
4.3	Double-Containment-Tank-System	891	7.4.1	Hydrodynamischer Druck auf den Tank	915
4.4	Full-Containment-Tank-System	891	7.4.2	Massen und zugehörige Hebelarme	918
4.5	Membran-Tank-System	894	7.5	Erdbebenauslegung von LNG-Tanks	919
5	Anforderungen und Auslegung	895	8	Ausführung	922
5.1	Anforderungen im Betriebszustand	895	8.1	Bauzustände und Bauausführung	922
5.2	Thermische Auslegung	896	8.1.1	Bodenplatte	922
5.3	Flüssigkeits- und Gasdruckprüfung	897	8.1.2	Tankwand	922
5.4	Bodenuntersuchung, Bodenparameter und zulässige Setzungen	899	8.1.3	Ringbalken	924
5.5	Anfälligkeit für Bodenverflüssigung	900	8.1.4	Stahldachkonstruktion	924
6	Berechnung der Tanks	902	8.1.5	Betondach	925
6.1	Anforderungen an die Berechnung der Betonstruktur	902	8.2	Wandschalung	928
6.2	Anforderungen an die Modellierung der Betonstruktur	903	8.3	Bewehrung	929
6.3	Stabwerksmodelle für Diskontinuitätsbereiche	904	8.4	Vorspannung	930
6.4	Liquid Spill	906	8.5	Ausstattung (Inklinometer, Heizung)	932
6.5	Feuer-Lastfälle	908	8.6	Betonierfugen	933
6.6	Explosion und Impact	910	8.7	Nachbehandlung von Betonoberflächen	933
7	Dynamische Berechnung	911	9	Zusammenfassung	934
7.1	Theorie der schwappenden Flüssigkeit	911	10	Literatur	934
X	Landwirtschaftliches Bauen – Chemischer Angriff auf Betonbauwerke	937			
	Holger Tebbe, Jesko Gerlach, Björn Siebert				
1	Einführung	939	3.5	Nachgärbehälter und Gärrestlager	951
2	Planungsgrundsätze	939	3.6	Besondere Hinweise zu Konstruktions- und Schutzprinzipien	952
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	939	3.6.1	Dichtheit	952
2.2	Wasserrechtliche Anforderungen	940	3.6.2	Chemischer Widerstand	953
2.3	Bautechnische Anforderungen	940	3.7	Besondere Hinweise für die Bauausführung	955
2.4	Gestalterische Anforderungen	941	3.8	Wartung und Inspektion	956
2.5	Beurteilung des chemischen Angriffspotenzials	941	3.9	Typische Schäden	956
3	Biogasanlagen	942	4	Fahrtilos	957
3.1	Allgemeines	942	4.1	Allgemeines	957
3.2	Historie	943	4.2	Historie	959
3.3	Aktuelle Regelungen	944	4.2.1	Entwicklung der Anlagen	959
3.4	Biogasfermenter	945	4.2.2	Entwicklung der normativen Vorgaben	960
3.4.1	Mikrobiologische Abbauprozesse	945	4.3	Aktuelle Regelungen	960
3.4.2	Chemisches Angriffspotenzial auf Beton	946	4.4	Gärprozesse im Silostock	960
3.4.2.1	Allgemeines	946	4.5	Chemisches Angriffspotenzial auf Beton	962
3.4.2.2	Flüssigphase	946			
3.4.2.3	Gasphase	948			
3.4.2.4	Abschätzung des chemischen Angriffsgrads	951			

4.6	Besondere Hinweise zu Konstruktions- und Schutzprinzipien	963	5.2	Güllebehälter	969
4.7	Wartung und Inspektion	966	5.3	Melkstände	970
4.8	Typische Schäden	966	5.4	Güllekanäle und Spaltböden	970
4.8.1	Siloinnenflächen	966	5.5	Ställe	970
4.8.2	Eindringverhalten an Rissen	967	5.6	Landwirtschaftliche Produktionsanlagen	970
4.8.3	Wandfugen	968	5.7	Kompostieranlagen	970
4.8.4	Anschlüsse Boden/Wand	968	5.8	Lager- und Verkehrsflächen	970
5	Sonstige landwirtschaftliche Anlagen	969	6	Zusammenfassung	970
5.1	Silagesickersaftbehälter	969	7	Literatur	971
XI	<i>fib</i> Model Code 2010 – ein neues Konzept für das Entwerfen und Bemessen von Betonkonstruktionen	975			
	Joost Walraven				
1	Geschichte der Model Codes für Betontragwerke	977	4.1.7.2	Thermische Ausdehnung	985
			4.1.7.3	Druck- und Zugfestigkeit	985
2	Allgemeine Merkmale des <i>fib</i> Model Codes 2010	977	5	Bemessung auf Querkraft	985
			5.1	Bauteile ohne Querkraftbewehrung ..	986
3	Struktur des <i>fib</i> Model Codes 2010 ..	978	5.2	Bauteile mit Querkraftbewehrung ..	987
4	Behandlung von einigen ausgewählten Kapiteln	980	6	Durchstanzen	988
4.1	Eigenschaften des Materials Beton ..	980	7	Stahlfaserbeton	990
4.1.1	Betonfestigkeitsklassen	980	8	Zuverlässigkeit von nichtlinearen FE-Berechnungen	993
4.1.2	Beziehungen zwischen Betonzugfestigkeit und Betondruckfestigkeit	980	9	Weiterentwicklung des <i>fib</i> Model Codes	994
4.1.3	Bruchenergie	981	10	Zusammensetzung der Expertengruppe, zuständig für den <i>fib</i> Model Code 2010	997
4.1.4	Übertragung von Schubkräften über Risse durch Rissverzahnung	981	11	Literatur	997
4.1.5	Schwinden	982			
4.1.6	Kriechen	984			
4.1.7	Temperatureffekte	984			
4.1.7.1	Reife	985			
XII	Normen und Regelwerke	999			
	Frank Fingerloos				
1	Einleitung	1001	2.10	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	1010
2	Eurocode 0 – DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung	1002	2.11	Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen	1011
2.1	Einführung	1002	2.12	Kombinationsregeln für Einwirkungen	1011
2.2	Annahmen und Voraussetzungen ..	1003	2.12.1	Allgemeines	1011
2.3	Grundlegende Anforderungen	1004	2.12.2	Kombinationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit ..	1013
2.4	Geplante Nutzungsdauer	1004	2.12.3	Kombinationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	1014
2.5	Dauerhaftigkeit	1005	2.12.4	Vereinfachte Kombinationen im üblichen Hochbau	1015
2.6	Grenzzustände	1006			
2.7	Einteilung der Einwirkungen	1007			
2.8	Statische Berechnung	1008			
2.9	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	1008			

3	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-1:	6.6	Windeinwirkungen	1051
	Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten	6.6.1	Winddruck	1051
		6.6.2	Windkräfte	1053
3.1	Einführung	6.7	Aerodynamische Beiwerte	1054
3.2	Einteilung der Einwirkungen	6.7.1	Beiwerte für vertikale Wände von Gebäuden mit rechteckigem Grundriss	1054
3.3	Bemessungssituationen	6.7.2	Beiwerte für Flachdächer	1057
3.4	Eigengewicht	6.7.3	Beiwerte für Pultdächer	1058
3.5	Nutzlasten	6.7.4	Beiwerte für Sattel- und Trogdächer	1060
3.5.1	Grundlagen	6.7.5	Beiwerte für Walmdächer	1063
3.5.2	Charakteristische Werte	6.7.6	Beiwerte für Sheddächer	1063
3.5.3	Trennwandzuschlag	6.7.7	Beiwerte für Innendruck	1063
3.5.4	Lagerflächen mit Gabelstaplern	6.7.8	Beiwert für mehrschalige Wand- und Dachflächen	1067
3.5.5	Parkhäuser	6.7.9	Beiwerte für freistehende Wände und Brüstungen	1069
3.5.6	Fahrzeugverkehr auf Hofkellerdecken und auf planmäßig befahrbaren Deckenflächen	6.7.10	Beiwerte für Vordächer	1069
3.5.7	Nicht begehbbare Dächer	6.8	Kraftbeiwerte	1069
3.5.8	Abminderungsbeiwerte α_A (Einzugsfläche) und α_n (Anzahl der Geschosse)	6.8.1	Beiwerte für Anzeigtafeln	1069
3.5.9	Horizontallasten auf Zwischenwände und Absturzsicherungen	6.8.2	Beiwerte für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt	1071
		6.8.3	Beiwerte für Bauteile mit kantigem Querschnitt	1071
4	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-2:	6.8.4	Beiwerte für Bauteile mit regelmäßigem polygonalem Querschnitt	1071
	Brandeinwirkungen auf Tragwerke	6.8.5	Abminderungsbeiwert ψ_f zur Berücksichtigung der Schlankeit	1074
4.1	Einführung	6.9	Abminderung des Geschwindigkeitsdrucks bei vorübergehenden Zuständen	1074
4.2	Allgemeines	6.10	Sonderfall Reihenhäuser	1076
4.3	Mechanische Einwirkungen im Brandfall	7	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-5:	
			Temperatureinwirkungen	1077
5	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-3:	7.1	Einführung	1077
	Schneelasten	7.2	Temperatureinwirkungen und -verteilung	1077
5.1	Einführung	7.3	Temperaturprofile	1077
5.2	Anwendungsbereich	7.4	Temperaturkoeffizienten	1079
5.3	Charakteristische Schneelast auf dem Boden	8	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-6:	
5.4	Außergewöhnliche Schneelast in Norddeutschland		Einwirkungen während der Bauausführung	1079
5.5	Schneelast auf Dächern	8.1	Einführung	1079
5.6	Formbeiwerte für Dächer	8.2	Bauausführungslasten beim Betonieren	1079
5.7	Schneeüberhang an Dachtraufen	9	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-7:	
5.8	Schneefanggitter und Dachaufbauten		Außergewöhnliche Einwirkungen	1080
		9.1	Einführung	1080
6	Eurocode 1 – DIN EN 1991-1-4:	9.2	Anprall durch Kraftfahrzeuge	1080
	Windlasten	9.3	Anprall durch Gabelstapler	1082
6.1	Einführung	9.4	Innenraumexplosionen	1082
6.2	Anwendungsbereich und Annahmen	10	Eurocode 1 – DIN EN 1991-3:	
6.3	Windzonen und Geländekategorien		Krane und Maschinen	1083
6.4	Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis zu einer Höhe von 25 m			
6.5	Höhenabhängige Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 300 m Höhe			

11	Eurocode 2 – DIN EN 1992-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau	2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten 1153
		2.4.1	Allgemeines 1153
		2.4.2	Bemessungswerte 1153
		2.4.2.1	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Schwinden 1153
11.1	Bauaufsichtliche Einführung in Deutschland 1084	2.4.2.4	Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe 1153
11.2	Einleitung 1084	2.4.3	Kombinationsregeln für Einwirkungen 1154
11.3	Abschnittsweise Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 mit Nationalem Anhang 1086	2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit 1154
11.4	Normentext – Kurzfassung	NA.2.8	Bautechnische Unterlagen 1154
	Eurocode 2 – DIN EN 1992-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau:2011-01 1147	NA.2.8.1	Umfang der bautechnischen Unterlagen 1154
	Inhalt 1147	NA.2.8.2	Zeichnungen 1154
	Vorwort 1148	NA.2.8.3	Statische Berechnungen 1154
	Nationaler Anhang zu EN 1992-1-1 1148	NA.2.8.4	Baubeschreibung 1155
1	Allgemeines 1148	3	Baustoffe 1155
1.1	Anwendungsbereich 1148	3.1	Beton 1155
1.1.1	Anwendungsbereich des Eurocode 2 1148	3.1.1	Allgemeines 1155
1.1.2	Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1 1149	3.1.2	Festigkeiten 1155
1.2	Normative Verweisungen 1149	3.1.3	Elastische Verformungseigenschaften 1156
1.2.1	Allgemeine normative Verweisungen 1149	3.1.4	Kriechen und Schwinden 1157
1.2.2	Weitere normative Verweisungen 1149	3.1.5	Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen 1159
1.3	Annahmen 1150	3.1.6	Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit 1159
1.4	Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln 1150	3.1.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung 1160
1.5	Begriffe 1150	3.1.8	Biegezugfestigkeit 1160
1.5.1	Allgemeines 1150	3.1.9	Schweißen unter mehraxialer Druckbeanspruchung 1161
1.5.2	Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm 1150	3.2	Betonstahl 1161
1.5.2.1	Fertigteile 1150	3.2.1	Allgemeines 1161
1.5.2.2	Unbewehrte oder gering bewehrte Bauteile 1150	3.2.2	Eigenschaften 1161
2	Grundlagen der Tragwerksplanung 1152	3.2.3	Festigkeiten 1162
2.1	Anforderungen 1152	3.2.4	Duktilitätsmerkmale 1162
2.1.1	Grundlegende Anforderungen 1152	3.2.5	Schweißen 1162
2.1.3	Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung 1152	3.2.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung 1164
2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen 1152	4	Dauerhaftigkeit und Betondeckung 1164
2.3	Basisvariablen 1152	4.1	Allgemeines 1164
2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse 1152	4.2	Umgebungsbedingungen 1165
2.3.1.1	Allgemeines 1152	4.3	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit 1165
2.3.1.2	Temperatúrauswirkungen 1152	4.4	Nachweisverfahren 1165
2.3.1.3	Setzungs-/Bewegungsunterschiede 1152	4.4.1	Betondeckung 1165
2.3.2	Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen 1153	4.4.1.1	Allgemeines 1165
2.3.2.1	Allgemeines 1153	4.4.1.2	Mindestbetondeckung c_{min} 1169
2.3.2.2	Kriechen und Schwinden 1153	4.4.1.3	Vorhaltemaß 1170
2.3.3	Verformungseigenschaften des Betons 1153	5	Ermittlung der Schnittgrößen 1171
		5.1	Allgemeines 1171
		5.1.1	Grundlagen 1171
		5.1.3	Lastfälle und Einwirkungskombinationen 1172
		5.1.4	Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung) 1172

5.2	Imperfektionen	1172	6.4	Durchstanzanzen	1197
5.3	Idealisierungen und Vereinfachungen	1174	6.4.1	Allgemeines	1197
5.3.1	Tragwerksmodelle für statische Berechnungen	1174	6.4.2	Lasteinleitung und Nachweisschnitte	1197
5.3.2	Geometrische Angaben	1175	6.4.3	Nachweisverfahren	1201
5.3.2.1	Mitwirkende Plattenbreite (alle Grenzzustände)	1175	6.4.4	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung	1203
5.3.2.2	Effektive Stützweite von Balken und Platten im Hochbau	1175	6.4.5	Durchstanztragfähigkeit für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung	1205
5.4	Linear-elastische Berechnung	1176	6.5	Stabwerkmodelle	1206
5.5	Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung	1177	6.5.1	Allgemeines	1206
5.6	Verfahren nach der Plastizitätstheorie	1177	6.5.2	Bemessung der Druckstreben	1207
5.6.4	Stabwerkmodelle	1177	6.5.3	Bemessung der Zugstreben	1207
5.7	Nichtlineare Verfahren	1178	6.5.4	Bemessung der Knoten	1208
5.8	Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	1179	6.6	Verankerung der Längsbewehrung und Stöße	1210
5.8.1	Begriffe	1179	6.7	Teilflächenbelastung	1210
5.8.2	Allgemeines	1179	7	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	1211
5.8.3	Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	1180	7.1	Allgemeines	1211
5.8.3.1	Grenzwert der Schlankheit für Einzeldruckglieder	1180	7.2	Begrenzung der Spannungen	1211
5.8.3.2	Schlankheit und Knicklänge von Einzeldruckgliedern	1180	7.3	Begrenzung der Rissbreiten	1211
5.8.3.3	Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung im Hochbau	1181	7.3.1	Allgemeines	1211
5.8.4	Kriechen	1182	7.3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite	1212
5.8.5	Berechnungsverfahren	1183	7.3.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung	1214
5.8.6	Allgemeines Verfahren	1183	7.3.4	Berechnung der Rissbreite	1216
5.8.8	Verfahren mit Nennkrümmung	1183	7.4	Begrenzung der Verformungen	1218
5.8.8.1	Allgemeines	1183	7.4.1	Allgemeines	1218
5.8.8.2	Biegemomente	1183	7.4.2	Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung	1219
5.8.8.3	Krümmung	1184	7.4.3	Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung	1220
5.8.9	Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte	1184	8	Allgemeine Bewehrungsregeln	1221
5.9	Seitliches Ausweichen schlanker Träger	1186	8.1	Allgemeines	1221
6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)	1186	8.2	Stababstände von Betonstählen	1222
6.1	Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	1186	8.3	Biegen von Betonstählen	1222
6.2	Querkraft	1187	8.4	Verankerung der Längsbewehrung	1223
6.2.1	Nachweisverfahren	1187	8.4.1	Allgemeines	1223
6.2.2	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung	1188	8.4.2	Bemessungswert der Verbundfestigkeit	1223
6.2.3	Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung	1189	8.4.3	Grundwert der Verankerungslänge	1225
6.2.4	Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten	1191	8.4.4	Bemessungswert der Verankerungslänge	1225
6.2.5	Schubkraftübertragung in Fugen	1193	8.5	Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung	1227
6.3	Torsion	1195	8.7	Stöße und mechanische Verbindungen	1227
6.3.1	Allgemeines	1195	8.7.1	Allgemeines	1227
6.3.2	Nachweisverfahren	1195	8.7.2	Stöße	1227
6.3.3	Wölbkrafttorsion	1197	8.7.3	Übergreifungslänge	1229
			8.7.4	Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße	1229

8.7.4.1	Querbewehrung für Zugstäbe	1229	9.10.2.5	Vertikale Zuganker	1247
8.7.4.2	Querbewehrung für Druckstäbe	1230	9.10.3	Durchlaufwirkung und Verankerung von Zugankern	1247
8.7.5	Stöße von Betonstahlmatten aus Rippenstahl	1230	10	Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen	1247
8.7.5.1	Stöße der Hauptbewehrung	1230	10.1	Allgemeines	1247
8.7.5.2	Stöße der Querbewehrung	1231	10.1.1	Besondere Begriffe dieses Kapitels	1248
8.9	Stabbündel	1232	10.2	Grundlagen für die Tragwerksplanung, grundlegende Anforderungen	1248
8.9.1	Allgemeines	1232	10.3	Baustoffe	1249
8.9.2	Verankerung von Stabbündeln	1232	10.3.1	Beton	1249
8.9.3	Gestoßene Stabbündel	1233	10.3.1.1	Festigkeiten	1249
9	Konstruktionsregeln	1233	10.3.1.2	Kriechen und Schwinden	1249
9.1	Allgemeines	1233	10.5	Ermittlung der Schnittgrößen	1249
9.2	Balken	1233	10.5.1	Allgemeines	1249
9.2.1	Längsbewehrung	1233	10.9	Bemessungs- und Konstruktionsregeln	1250
9.2.1.1	Mindestbewehrung und Höchstbewehrung	1233	10.9.1	Einspannmomente in Platten	1250
9.2.1.2	Weitere Konstruktionsregeln	1234	10.9.2	Wand-Decken-Verbindungen	1250
9.2.1.3	Zugkraftdeckung	1234	10.9.3	Deckensysteme	1250
9.2.1.4	Verankerung der unteren Bewehrung an Endauflagern	1234	10.9.4	Verbindungen und Lager für Fertigteile	1253
9.2.1.5	Verankerung der unteren Bewehrung an Zwischenauflagern	1235	10.9.4.1	Baustoffe	1253
9.2.2	Querkraftbewehrung	1236	10.9.4.2	Konstruktions- und Bemessungs- regeln für Verbindungen	1253
9.2.3	Torsionsbewehrung	1238	10.9.4.3	Verbindungen zur Druckkraft- Übertragung	1253
9.2.4	Oberflächenbewehrung	1238	10.9.4.4	Verbindungen zur Querkraft- Übertragung	1254
9.2.5	Indirekte Auflager	1238	10.9.4.5	Verbindungen zur Übertragung von Biegemomenten oder Zugkräften	1254
9.3	Vollplatten	1239	10.9.4.6	Ausgeklinkte Auflager	1254
9.3.1	Biegebewehrung	1239	10.9.4.7	Verankerung der Längsbewehrung an Auflagern	1254
9.3.1.1	Allgemeines	1239	10.9.5	Lager	1255
9.3.1.2	Bewehrung von Platten in Auflagernähe	1239	10.9.5.1	Allgemeines	1255
9.3.1.3	Eckbewehrung	1239	10.9.5.2	Lager für verbundene Bauteile (Nicht-Einzelbauteile)	1255
9.3.1.4	Randbewehrung an freien Rändern von Platten	1240	10.9.5.3	Lager für Einzelbauteile	1256
9.3.2	Querkraftbewehrung	1240	10.9.6	Köcherfundamente	1258
9.4	Flachdecken	1240	10.9.6.1	Allgemeines	1258
9.4.1	Flachdecken im Bereich von Innenstützen	1240	10.9.6.2	Köcherfundamente mit profilierter Oberfläche	1258
9.4.2	Flachdecken im Bereich von Randstützen	1241	10.9.6.3	Köcherfundamente mit glatter Oberfläche	1258
9.4.3	Durchstanzbewehrung	1241	10.9.7	Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen	1258
9.5	Stützen	1243	NA.10.9.8	Zusätzliche Konstruktionsregeln für Fertigteile	1258
9.5.1	Allgemeines	1243	NA.10.9.9	Sandwichtafeln	1259
9.5.2	Längsbewehrung	1243	12	Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton	1259
9.5.3	Querbewehrung	1243	12.1	Allgemeines	1259
9.6	Wände	1244	12.3	Baustoffe	1259
9.6.1	Allgemeines	1244	12.3.1	Beton	1259
9.6.2	Vertikale Bewehrung	1244	12.5	Ermittlung der Schnittgrößen	1259
9.6.3	Horizontale Bewehrung	1245	12.6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)	1260
9.6.4	Querbewehrung	1245			
9.7	Wandartige Träger	1245			
9.10	Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen	1245			
9.10.1	Allgemeines	1245			
9.10.2	Ausbildung von Zugankern	1246			
9.10.2.1	Allgemeines	1246			
9.10.2.2	Ringanker	1246			
9.10.2.3	Innen liegende Zuganker	1246			
9.10.2.4	Horizontale Stützen- und Wandzuganker	1247			

12.6.1	Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	1260	1.6	Formelzeichen	1273
12.6.2	Örtliches Versagen	1260	1.7	Besondere Formelzeichen im Eurocode 2, Teil 3	1273
12.6.3	Querkraft	1260	2	Grundlagen der Tragwerksplanung	1273
12.6.4	Torsion	1261	2.1	Anforderungen	1273
12.6.5	Auswirkungen von Verformungen von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	1261	2.1.1	Grundlegende Anforderungen	1273
12.6.5.1	Schlankheit von Einzeldruckgliedern und Wänden	1261	2.3	Basisvariablen	1273
12.6.5.2	Vereinfachtes Verfahren für Einzeldruckglieder und Wände	1262	2.3.1	Einwirkungen und Umwelteinflüsse	1273
12.7	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	1263	2.3.1.1	Allgemeines	1273
12.9	Konstruktionsregeln	1263	2.3.2	Material- und Produkteigenschaften	1273
12.9.1	Tragende Bauteile	1263	2.3.2.3	Wasserdurchlässiger Beton	1273
12.9.2	Arbeitsfugen	1263	3	Baustoffe	1274
12.9.3	Streifen- und Einzelfundamente	1263	3.1	Beton	1274
Anhang A (normativ): Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe		1264	3.1.1	Allgemeines	1274
A.1	Allgemeines	1264	3.1.3	Elastische Verformungseigenschaften	1274
A.2	Tragwerke aus Ortbeton	1264	3.1.4	Kriechen und Schwinden	1274
A.2.3	Reduktion auf Grundlage der Bestimmung der Betonfestigkeit im fertigen Tragwerk	1264	3.1.11	Wärmeentwicklung und Temperaturverteilung infolge Hydratation	1274
Anhang B (normativ): Kriechen und Schwinden		1265	3.2	Betonstahl	1274
B.1	Grundgleichungen zur Ermittlung der Kriechzahl	1265	3.2.2	Materialeigenschaften	1274
B.2	Grundgleichungen zur Ermittlung der Trocknungsschwinddehnung	1266	3.3	Spannstahl	1274
Anhang C (informativ): Eigenschaften des Betonstahls		1267	3.3.2	Materialeigenschaften	1274
C.1	Allgemeines	1267	4	Dauerhaftigkeit und Betondeckung	1274
Anhang E (normativ): Indikative Mindestfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit		1268	4.3	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit	1274
E.1	Allgemeines	1268	5	Schnittgrößenermittlung	1274
12	Eurocode 2 – DIN EN 1992-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 3: Silos und Behälterbauwerke aus Beton		5.12	Ermittlung der Schnittgrößen infolge Temperatur	1274
12.1	Erläuterungen	1269	5.12.1	Allgemeines	1274
12.2	Normentext		5.13	Berechnung der Schnittgrößen infolge Innendruck	1275
Eurocode 2 – DIN EN 1992-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 3: Silos und Behälterbauwerke aus Beton:2011-01		1270	6	Grenzzustände der Tragfähigkeit	1275
Inhalt		1270	6.2	Querkraft	1275
Vorwort		1270	6.9	Nachweis für Staubexplosion	1275
Besondere Regelungen für DIN EN 1992-3 und Verbindung zu DIN EN 1992-1-1		1271	6.9.1	Allgemeines	1275
Nationaler Anhang für DIN EN 1992-3		1272	6.9.2	Bemessung tragender Bauteile	1275
1 Allgemeines		1272	7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	1275
1.1 Anwendungsbereich		1272	7.3	Rissbildung	1275
1.1.2 Geltungsbereich von Eurocode 2 – Teil 3		1272	7.3.1	Allgemeines	1275
1.2 Normative Verweisungen		1272	7.3.3	Begrenzung der Rissbildung ohne direkte Berechnung	1277
			7.3.4	Berechnung der Rissbreite	1277
			7.3.5	Begrenzung der Rissbreite infolge Zwang	1277
			8	Bauliche Durchbildung	1277
			8.10	Spannglieder	1277
			8.10.1	Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren	1277
			8.10.1.3	Hüllrohre für Spannglieder im nachträglichen Verbund	1277
			8.10.4	Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder	1277
			9	Konstruktionsregeln für Bauteile und spezielle Regeln	1278
			9.6	Stahlbetonwände	1278

9.6.5	Eckverbindungen von Wänden	1278	6.1	Bemessung auf Biegung	1296
9.6.6	Anordnung von Bewegungsfugen	1278	6.2	Bemessung für Querkraft	1296
9.11	Zusatzregeln für Wände	1278	6.3	Durchstanzen	1297
9.11.1	Mindestbewehrung und Mindestabmessungen.	1278	6.4	Ermüdung	1297
Anhang K (informativ): Einfluss der Temperatur auf die Betoneigenschaften		1278	7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	1297
K.1	Allgemeines	1278	8	Bewehrungsregeln	1297
K.2	Baustoffeigenschaften bei Minustemperaturen	1278	9	Konstruktionsregeln	1297
K.3	Baustoffeigenschaften bei höheren Temperaturen	1279	9.1	Mindestbewehrung	1297
Anhang L (informativ): Berechnung der Dehnungen und Spannungen von Betonquerschnitten infolge Zwang.		1281	9.2	Deckendicke	1297
L.1	Beziehungen für die Spannungen und Dehnungen bei ungerissenen Betonquerschnitten	1281	9.3	Querverbindung	1297
L.2	Abschätzung des Zwangs	1281	9.4	Deckenaufleger	1297
Anhang M (informativ): Berechnung von Rissbreiten infolge Zwang		1281	9.5	Scheibenausbildung	1298
M.1	Allgemeines	1281	Anhang A (normativ): Ergänzende Regelungen für Ortbetonziegeldecken		1298
M.2	Zwang an den Bauteilenden	1281	A.1	Bauausführung	1298
Anhang N (informativ): Anordnung von Bewegungsfugen		1282	A.2	Überwachung	1299
13	DIN 1045-100: Ziegeldecken (Stahlsteindecken)	1283	Anhang B (normativ): Ergänzende Regelungen für vorgefertigte Ziegeldecken		1299
13.1	Erläuterungen zu DIN 1045-100 – Einführung	1283	B.1	Herstellung	1299
13.2	Lastannahmen	1283	B.2	Übereinstimmungsnachweis.	1299
13.3	Baustoffe	1283	B.2.1	Allgemeines	1299
13.4	Ermittlung der Schnittgrößen.	1286	B.2.2	Werkseigene Produktionskontrolle	1299
13.5	Bemessung und Konstruktion	1286	B.2.2.1	Allgemeines	1299
13.5.1	Dauerhaftigkeit	1286	B.2.2.2	Durchführung	1299
13.5.2	Biegung	1287	B.2.2.3	Ausgangsstoffe und Zwischenprodukte.	1299
13.5.3	Bemessung für Querkraft.	1288	B.2.2.4	Endprodukte	1299
13.6	Vereinfachter Verformungs- nachweis mit Begrenzung der Biegeschlankheit	1290	B.2.2.5	Aufzeichnungen	1299
13.7	Bemessung im Brandfall	1291	B.2.3	Fremdüberwachung	1300
13.8	Konstruktionsregeln.	1291	B.2.3.1	Erstüberwachung	1300
13.9	Bemessungsbeispiel Ziegeldecke, einachsigt gespannt	1291	B.2.3.2	Regelüberwachung.	1300
13.10	Normentext	1294	B.2.3.3	Sonderüberwachung.	1300
DIN 1045-100: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 100: Ziegeldecken:2011-12		1294	B.2.4	Zertifizierung der Übereinstimmung	1300
Vorwort		1294	B.2.5	Kennzeichnung	1300
1	Allgemeines.	1294	B.2.6	Lieferscheine	1300
1.1	Anwendungsbereich	1294	B.3	Auslieferung, Transport und Lagerung.	1300
1.2	Normative Verweisungen	1294	Anhang C (informativ): Eigenlasten		1300
1.3	Begriffe	1295	14	Nachweise der Feuerwiderstands- dauer nach DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall und DIN 4102-4 mit Tabellenverfahren	1301
1.3.1	Ziegeldecke	1295	14.1	Einführung zu Tabellenverfahren nach Eurocode 2 und DIN 4102-4	1301
1.4	Formelzeichen	1295	14.2	Bauordnungsrechtliche Anforderungen	1301
2	Grundlagen der Tragwerksplanung	1295	14.3	Einwirkungen im Brandfall	1305
3	Baustoffe	1295	14.4	Betondeckung und Achsabstand der Längsbewehrung	1305
4	Dauerhaftigkeit und Betondeckung.	1295	14.4.1	Betondeckung	1305
5	Ermittlung der Schnittgrößen	1296	14.4.2	Achsabstand	1306
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit	1296	14.5	Deckenplatten	1308
			14.5.1	Allgemeines	1308

14.5.2	Vollplatten	1309	4.3.3.1	Abfließende Hydratationswärme . . .	1354
14.5.3	Flachdecken	1310	4.3.3.2	Temperatureinwirkungen aus Witterungseinflüssen	1354
14.5.4	Rippdecken.	1311	4.3.3.3	Temperaturen aus aufgestellten Behältern oder Abwasserableitung .	1356
14.5.5	Hohlplatten.	1311	4.3.3.4	Temperatureinwirkungen aus dem Beaufschlagungsfall	1356
14.5.6	Deckenplatten aus Fertigteilen. . . .	1311	4.3.3.5	Schwinden und Kriechen	1356
14.5.7	Ziegeldecken (Stahlsteindecken) . .	1315	4.3.3.6	Bauwerk-Baugrund- Wechselwirkung	1356
14.6	Balken	1315	4.3.4	Einwirkungen aus Verformungsbehinderung	1356
14.6.1	Allgemeines	1315	4.4	Kombination von Einwirkungen für den Dichtheitsnachweis	1357
14.6.2	Dreiseitig brandbeanspruchte Balken	1318	5	Nachweise.	1357
14.6.3	Vierseitig brandbeanspruchte Balken	1320	5.1	Nachweise der Dichtheit.	1357
14.7	Zugglieder	1320	5.1.1	Allgemeines	1357
14.8	Stützen	1320	5.1.2	Vereinfachter Nachweis	1357
14.8.1	Tabelle für Stützen in ausgesteiften Tragwerken	1320	5.1.3	Nachweis in ungerissenen Bereichen	1358
14.8.2	Berechnung der Branddauer R für Stützen in ausgesteiften Tragwerken	1322	5.1.4	Nachweis der Mindestdruck- zonendicke	1359
14.9	Wände	1323	5.1.5	Nachweis von Trennrissen	1359
14.9.1	Allgemeines	1323	5.1.6	Nichttragende FDE-Dicht- schichten.	1360
14.9.2	Tragende Betonwände	1324	5.1.7	Nachweis der Dichtheit im Bereich von Bewegungsfugen und Übergängen zu anderen Dichtkonstruktionen	1360
14.9.3	Nichttragende raumabschließende Wände	1325	5.2	Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit	1360
14.9.4	Brandwände	1325	6	Mindestbewehrung	1360
14.10	Auflager und Konsolen	1326	7	Konstruktion und Bauausführung . . .	1361
14.10.1	Balkenaufleger	1326	7.1	Entwurfs- und Konstruktions- grundsätze	1361
14.10.2	Stahlbetonkonsolen	1326	7.2	Bauteile von Anlagen	1361
14.11	Putzbekleidungen.	1326	7.3	Konstruktive Durchbildung	1362
14.12	Betonabplatzungen.	1330	7.3.1	Bewehrung	1362
14.13	Hochfester Beton $\geq C55/67$	1330	7.3.2	Befestigungen, Verankerungen und Einbauteile	1362
15	Listen und Verzeichnisse	1332	7.3.3	Fugen	1362
15.1	Technische Baubestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau	1332	7.3.4	Durchdringungen	1364
15.2	Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e. V. . . .	1350	7.3.5	Gleitschichten	1364
15.2.1	DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wasser- gefährdenden Stoffen (BUmwS):2011-03	1350	7.4	Hinweise für die Bauausführung. . .	1365
Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktion unbeschichteter Betonbauten			7.4.1	Allgemeines	1365
Inhaltsverzeichnis.		1350	7.4.2	Schalung und Schalungsanker. . . .	1365
Vorbemerkung		1350	7.4.3	Abstandhalter zur Sicherung der Betondeckung.	1365
1 Anwendungsbereich		1351	7.4.4	Bauablauf, Betonierabschnitte	1368
2 Begriffe		1351	7.4.5	Betoneinbau und -verdichtung	1368
3 Sicherheitsbeiwerte.		1352	7.4.6	Nachbehandlung.	1368
4 Einwirkungen und Beanspruchungen für den Dichtheitsnachweis		1352	7.4.7	Kontrollprüfungen	1368
4.1 Physikalische Einwirkungen		1352	7.5	Bautechnische Unterlagen	1368
4.2 Chemische Einwirkungen		1354	8	Überwachung und Konzept für den Beaufschlagungsfall	1368
4.3 Mechanische Einwirkungen infolge Last und Zwang		1354	8.1	Planung	1368
4.3.1 Allgemeines		1354	8.2	Bauausführung	1368
4.3.2 Einwirkungen aus Last		1354	8.3	Instandsetzung	1369
4.3.3 Einwirkungen aus eingepprägten Verzerrungszuständen		1354			

8.4	Überwachung der baulichen Anlagen	1369	4.5	Eindringen von chemisch angreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton	1377
8.4.1	Überwachung durch den Betreiber	1369	4.6	Eindringen von wassergefährdenden Stoffen bei zusätzlichem mechanischen Angriff (Verschleiß)	1377
8.4.2	Überwachung durch den Sachverständigen	1369		Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	1377
8.4.3	Dokumentation	1369		Anlage	1379
8.5	Konzept für den Beaufschlagungsfall	1369		Teil 3: Instandsetzung	
	Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	1370		Inhaltsverzeichnis	1380
	Teil 2: Baustoffe und Einwirken von wassergefährdenden Stoffen			Vorbemerkung	1380
	Inhaltsverzeichnis	1371		1 Anwendungsbereich	1380
	Vorbemerkung	1371		2 Begriffe	1380
1	Anwendungsbereich	1371		3 Allgemeine Anforderungen	1380
2	Begriffe	1371	3.1	Allgemeines	1380
3	Anforderungen	1371	3.2	Baustoffe	1380
3.1	Beton	1371	3.3	Fachbetrieb	1380
3.1.1	Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)	1371	3.4	Überwachung	1380
3.1.2	Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton)	1372	4	Zustandserfassung und Instandsetzungskonzept	1381
3.1.3	Flüssigkeitsdichte nichttragende Dichtschicht nach Eindringprüfung (nichttragende FDE-Dichtschicht)	1372	5	Vorbereitende Maßnahmen	1381
3.2	Bewehrungsstahl und Hüllrohre	1372	5.1	Maßnahmen bei einem Bauwerksschaden	1381
3.3	Stahlfasern	1372	5.2	Maßnahmen nach einer Beaufschlagung	1381
3.4	Fugenabdichtungen	1373	5.2.1	Allgemeines	1381
3.5	Rissinjektionen	1373	5.2.2	Dekontamination	1381
3.6	Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen für besondere Beanspruchungen	1373	5.2.2.1	Allgemeines	1381
			5.2.2.2	Selbstreinigung	1381
4	Rechenwerte für die Bemessung von Beton bei Einwirkung wassergefährdender Stoffe	1373	5.2.3	Abtrag kontaminierter Schichten	1382
4.1	Allgemeines	1373	6	Instandsetzung der Rückhalteeinrichtung	1382
4.2	Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton	1374	6.1	Allgemeines	1382
4.2.1	Physikalische Grundlagen	1374	6.2	Neue Dichtfläche	1382
4.2.2	Eindringtiefen für die Bemessung bei einmaliger zeitlich begrenzter Beaufschlagung	1374	6.2.1	Allgemeines	1382
4.2.3	Eindringtiefen für die Bemessung bei intermittierender Beaufschlagung	1375	6.2.2	Neue Dichtfläche ohne Verbund mit der Tragschicht	1382
4.3	Eindringen von chemisch angreifenden wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton	1375	6.2.3	Neue Dichtfläche im Verbund mit der Tragschicht	1382
4.3.1	Chemische Grundlagen	1375	6.3	Dichtflächenergänzung	1383
4.3.2	Schädigungstiefen für die Bemessung	1376	6.4	Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen	1383
4.4	Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton	1376	6.4.1	Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen auf nicht kontaminiertem Betonuntergrund	1383
4.4.1	Betonbauteile mit durchgehenden Rissen	1376	6.4.2	Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen bei kontaminierten Untergründen	1383
4.4.2	Betonbauteile mit durchgehenden überdrückten Rissen	1376	6.5	Betonersatz	1383
			7	Instandsetzung der Bewehrung	1384
			7.1	Allgemeines	1384
			7.2	Instandsetzung korrosionsgeschützter Bewehrung	1384
			7.2.1	Beschichtete Bewehrung	1384
			7.2.2	Bewehrung aus nichtrostendem Stahl	1384
			8	Füllen von Rissen	1384
			9	Instandsetzung der Fugen	1385
			9.1	Arbeitsfugen	1385
			9.2	Bewegungsfugen	1385

Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	1385	A.5.3	Prüfvorrichtung und Prüfung	1392
Anhang A: Prüfverfahren (normativ)		A.5.4	Auswertung	1393
Inhaltsverzeichnis	1385	A.5.5	Prüfbericht	1393
A.1 Biegezugfestigkeit	1385	A.6	Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in Dichtschichten	1393
A.1.1 Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbeton	1385	A.6.1	Zweck der Prüfung	1393
A.1.2 Biegezugfestigkeit von Dichtschichten	1385	A.6.2	Prüfbeton und Probekörper	1393
A.2 Eindringen von wasser- gefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton	1386	A.6.3	Durchführung der Prüfung	1394
A.2.1 Zweck der Prüfung	1386	A.6.4	Auswertung und Prüfbericht	1394
A.2.2 Prüfbeton und Probekörper	1386	A.7	Prüfung der Medienbeständigkeit von Fasern in Beton oder in Dichtschichten	1394
A.2.3 Prüfvorrichtung	1387	A.7.1	Zweck der Prüfung	1394
A.2.4 Prüfung	1388	A.7.2	Prüfbeton und Probekörper	1394
A.2.5 Auswertung	1388	A.7.3	Durchführung der Prüfung und Prüfbericht	1394
A.2.6 Prüfbericht	1389	Normen, Richtlinien und andere Unterlagen		1395
A.3 Eindringen von wasser- gefährdenden Stoffen in ungerissenen Faserbeton mit hohem Fasergehalt	1389	Anhang B – Erläuterungen (informativ)		
A.3.1 Zweck der Prüfung	1389	Erläuterungen zu Teil 1 der Richtlinie		1395
A.3.2 Prüfbeton und Probekörper	1389	Erläuterungen zu Teil 2 der Richtlinie		1404
A.3.3 Prüfung	1389	Erläuterungen zu Teil 3 der Richtlinie		1410
A.3.4 Auswertung	1389	Erläuterungen zu Anhang A		1412
A.3.5 Prüfbericht	1389	Hinweise auf Berichte zur Thematik „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ in der DAfStb-Schriftenreihe		1413
A.4 Bestimmung der Schädigungstiefe betonangreifender wasser- gefährdender Stoffe	1390	15.2.2 Verzeichnis der DAfStb-Richtlinien		1415
A.4.1 Zweck der Prüfung	1390	15.3 Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV): Merkblätter und Sachstandsberichte		1417
A.4.2 Prüfbeton und Probekörper	1390	15.4 Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV): Richtlinien, Merkblätter und Sachstandsberichte		1418
A.4.3 Prüfung und Auswertung	1390			
A.4.4 Prüfbericht	1391			
A.5 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton	1391			
A.5.1 Zweck der Prüfung	1391			
A.5.2 Prüfbeton und Probekörper	1391	16	Literatur	1420
Stichwortverzeichnis				1427

- dynamische Einflüsse beim Transport bzw. Einflüsse aus unterschiedlichen Hebezeugen,
- Lage und Anzahl der Transportanker im Fertigteil sowie die Anschlagart (Axialzug, Schrägzug oder Querzug).

Anzahl und Belastung der Transportanker sind entsprechend den einzelnen Abhebe- und Transportzuständen zu ermitteln, wobei das ungünstigste Verhältnis aus Einwirkungen und Widerständen maßgebend ist.

Abheben mit Schalungshaftung

Einwirkungen F_Q aus Schalungshaftung ergeben sich zu:

$$F_Q = \frac{1}{n} \cdot (F_G + F_{adh}) \cdot z \quad (57)$$

mit

F_Q Last am Transportanker

n Anzahl der tragenden Transportanker

F_G Eigengewicht des Fertigteils, $F_G = V \cdot \rho_G$

mit

V Volumen des Fertigteils in m^3

ρ_G Wichte des Betons in kN/m^2
($\rho_G = 25 \text{ kN/m}^3$ für Stahlbeton und Spannbeton)

F_{adh} einwirkende Last aus Schalungshaftung,
 $F_{adh} = q_{adh} \cdot A_f$

mit

q_{adh} Grundwerte der Schalungshaftung nach Tabelle 25

A_f Kontaktfläche zwischen Beton und Schalung zum Zeitpunkt des Hebens

z Schrägzugfaktor $z = 1/\cos \beta$ mit β nach Bild 139b. Bei Axialzug ist $z = 1$ zu setzen.

Tabelle 25. Mindestwerte der Schalungshaftung q_{adh}

Schalungstyp und Oberflächenbeschaffenheit ^{a)}	$q_{adh}^{b)}$ [kN/m^2]
Geölte Stahlschalung, geölte kunststoffbeschichtete Schaltafel	$\geq 1,0$
Lackierte Holzschalung	$\geq 2,0$
Rohe Holzschalung	$\geq 3,0$

^{a)} Strukturierte Oberflächen sind gesondert zu betrachten. Die Mindestwerte der Tabelle gelten nur bei geeigneten Maßnahmen zur Reduzierung der Schalungshaftung wie z. B. dem Betonieren auf Kipptischen oder dem Einschalten der Rüttelvorrichtung während des Ausschalvorgangs.

^{b)} Für die Berechnung ist die gesamte Kontaktfläche zwischen Schalung und Beton anzusetzen.

Aufrichten

Bei einem einseitig auf dem Boden aufliegenden Fertigteil (Bild 139) ergibt sich die Einwirkung F_Q :

- Bei axialem Querzug (Bild 139a):

$$F_Q = \frac{1}{n} \cdot \frac{F_G}{2} \cdot \Psi_{dyn} \quad (58)$$

mit

F_Q Querkraft am Transportanker (Querzug) quer zur Bauteillängsachse

Ψ_{dyn} Dynamikfaktor nach Tabelle 26

- Bei schrägem Querzug (Bild 139b):

$$F_Q = \frac{1}{n} \cdot \frac{F_G}{2} \cdot \Psi_{dyn} \cdot z \quad (59)$$

F_{QZ} Querkraft am Transportanker (schräger Querzug) schräg und quer zur Bauteillängsachse, z. B. beim Abheben aus der Horizontalen

Transport unter Schrägzug

Die Kraft F_z auf den Transportanker in Richtung der Seilachse ergibt sich zu:

$$F_z = \frac{1}{n} \cdot F_G \cdot \Psi_{dyn} \cdot z \quad (60)$$

(Erläuterungen siehe vorheriger Abschnitt)

6.10.3 Ermittlung des zulässigen Tragwiderstands

Die zulässigen Lasten der kommerziellen Transportankersysteme sind den Produktunterlagen der Transportankerhersteller zu entnehmen.

Die zulässigen Lasten nach CEN TR 15728 können auf Basis der Eurocodes rechnerisch ermittelt werden. Für den einfachsten Fall eines zugbeanspruchten Bewehrungsstabes ergibt sich eine rechnerische Traglast $N_{Rd,c}$ von (Bild 140):

$$N_{Rd,c} = \frac{\pi \cdot \varnothing \cdot l_{bd} \cdot f_{bd}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} \quad (61)$$

Tabelle 26. Dynamikfaktor

Randbedingung	Dynamikfaktor Ψ_{dyn}
Turmdrehkran, Portalkran, Mobilkran	1,3
Heben und Transportieren auf ebenem Gelände	2,5
Heben und Transportieren auf unebenem Gelände	≥ 4

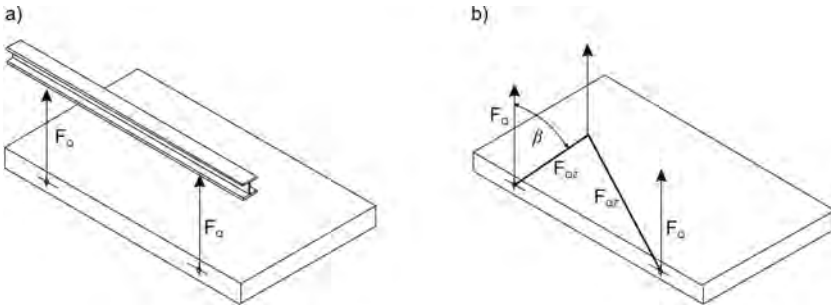


Bild 139. Kräfte beim Lastfall Aufrichten; a) mit Traverse, b) ohne Traverse

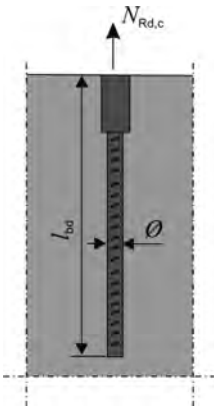


Bild 140. Traglast eines zugbeanspruchten Bewehrungsstabes

mit

\varnothing Stabdurchmesser

f_{bd} Bemessungswert der Verbundfestigkeit nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.2

l_{bd} Bemessungswert der Verankerungslänge nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.4

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ und α_4 Beiwerte nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.4

Für den Fall eines zugbeanspruchten Bewehrungsstabes mit Kopfbolzen oder Ankerplatten ergibt sich (Bild 141):

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \quad (62)$$

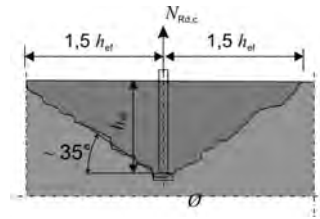


Bild 141. Traglast eines zugbeanspruchten Bewehrungsstabes mit Kopfbolzen oder Ankerplatten

mit

$$N_{Rd,c}^0 = \frac{k_N}{\gamma_c + \gamma_{1+h}} \cdot \sqrt{f_{c,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (63)$$

Empfohlener Wert für $k_N = 11,9$

Bei Querkraftbeanspruchung ergibt sich in Anlehnung an CEN TS 1992-4-1 bzw. EN 1992-4 (Bild 142):

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{f,V} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{re,V} \quad (64)$$

mit

$$V_{Rd,c}^0 = \frac{k_V}{\gamma_c + \gamma_{1+h}} \cdot \varphi^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{c,cube}} \cdot \alpha_{a1}^{1,5} \quad (65)$$

Empfohlener Wert für $k_V = 2,3$

$$l_f = \min \left\{ \begin{array}{l} h_{ef} \\ 8\varphi \end{array} \right. \quad (66)$$

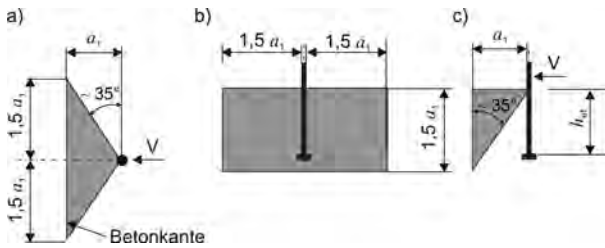


Bild 142. Zulässige Querkraft eines Bewehrungsstabes mit Kopfbolzen oder Ankerplatten; a) Draufsicht, b) Ansicht, c) Schnitt

6.10.4 Weitere Hinweise für die Bemessung

Die Mindestbetonfestigkeit zum Zeitpunkt des Abhebens aus der Schalung sollte 15 N/mm^2 betragen.

Die Weiterleitung der Kräfte aus dem Transportanker in das Fertigteil ist im Rahmen der Bemessung nachzuweisen. Darüber hinaus kann aufgrund unterschiedlicher Belastungsarten oder -richtungen eine Zusatzbewehrung erforderlich sein, die ebenfalls statisch nachgewiesen und in den Planungsunterlagen angegeben werden muss.

Im Fall von mehr als zwei Anschlagpunkten müssen zur Sicherstellung der Beteiligung aller Transportanker an der Lastabtragung sowie zur Realisierung eines statisch bestimmten Systems Transporthilfsmittel wie Ausgleichsgehänge oder -traversen verwendet werden (Bild 143).

Bei geneigten Anschlagmittelsträngen werden die Transportankersysteme durch Schrägzuglasten beansprucht. Der Neigungswinkel β (Bild 143) und damit die Höhe der Schrägzuglasten ergeben sich aus der Länge der Anschlagmittel und sind bei der Bemessung zu berücksichtigen.

Beim Aufstellen der Fertigteile werden die Transportanker nur mit der Hälfte des Gewichts belastet, die andere Hälfte stützt sich am Boden ab.

In den Elementzeichnungen für Fertigteile ist anzugeben: Art, Typ und Lage der Transportanker einschließlich Zusatzbewehrung, Mindestbetondruckfestigkeit zum Zeitpunkt des ersten Hebens, Angaben zur Nutzungsbeschränkung der Transportanker (z. B. Einsatz von Traversen, Ausgleichsgehängen oder eingeschränkter Schrägzug), Lage des Schwerpunkts bei asymmetrischen Bauteilen.

In der Montageanweisung müssen insbesondere Angaben zur Nutzungsbeschränkung der Transportanker und Vorgaben hinsichtlich Handhabung, Lastaufnahmemittel und Anschlagmittel enthalten sein. Näheres zum Inhalt einer Montageanweisung kann z. B. [23] entnommen werden.

Transportanker müssen vor dem Einbau frei von Schmutz- oder Partikel-, Öl-, Schmiermittel- und Fettanhaftungen sein. Im Zweifelsfall müssen sie sorgfältig gereinigt werden.

6.10.5 Konsequenzen aus der Maschinenrichtlinie

Lastaufnahmemittel kommerziell hergestellter Transportankersysteme fallen in den Bereich der Maschinenrichtlinie 2006/42/EC und müssen streng genommen mit einem CE-Kennzeichen versehen werden. Auch einbetonierte Lastaufnahmemittel unterlie-

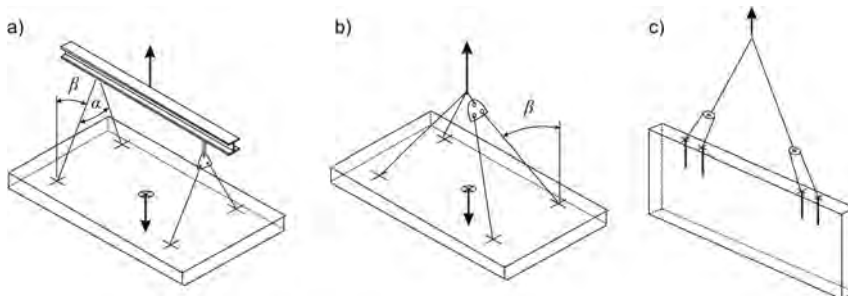


Bild 143. Einsatz von Transporthilfsmitteln; a) Traverse, b) und c) Ausgleichsgehänge

gen der Maschinenrichtlinie, da sie als integraler Bestandteil der Last dazu bestimmt, diese Last zu heben.

Im Fertigteilwerk hergestellte Transporthilfen fallen demgegenüber nicht in den Anwendungsbereich der Maschinenrichtlinie und müssen somit auch nicht mit einem CE-Kennzeichen versehen werden, da Lastaufnahmemittel nur dann der Maschinenrichtlinie unterliegen, wenn sie *gesondert* in Verkehr gebracht werden (siehe Artikel 2 in 2006/42/EC).

Hersteller von Betonbauteilen mit einbetonierten Transporthilfen bringen demnach keine Lastaufnahmemittel *gesondert* in Verkehr, sondern nur Betonbauteile mit integrierten Ösen oder Schlaufen (siehe auch [100]).

6.10.6 Inkompatibilität von Transportankersystemen

Seit Jahrzehnten sind Transportankersysteme verschiedener Hersteller auf dem Markt, deren Komponenten (Transportanker und Lastaufnahmemittel) herstellerübergreifend verwendet werden können. Dies erleichtert die Handhabung im Fertigteilwerk und insbesondere auf der Baustelle, da andernfalls alle möglichen Komponenten ständig vorrätig sein müssten, um auf alle Eventualitäten eingestellt zu sein.

Trotz der technischen Kompatibilität untersagen die Einbau- und Verwendungsanleitungen der Transportankerhersteller aus Gewährleistungsgründen das Mischen der Systeme. Der Status Quo der Inkompatibilität von Transportankersystemen stellt aus Sicht der Betonfertigteilhersteller seit vielen Jahren eine unbefriedigende Lösung dar und birgt Gefahren und Rechtsunsicherheiten.

Laut VDI-Richtlinie sind Transportankersysteme so zu entwerfen, dass eine eindeutige Zuordnung kompatibler Transportanker und Lastaufnahmemittel gewährleistet ist. Eine herstellerübergreifende Kompatibilität ist auch nach VDI-Richtlinie anzustreben, muss aber von den Transportankerherstellern nachgewiesen werden.

Auch der Verband der europäischen Zulieferindustrie sieht in herstellerübergreifenden Systemen für Anwender und Planer einen großen Vorteil [101]. Um dies umzusetzen, müssten lediglich mindestens zwei Transportankerhersteller für die jeweiligen Komponenten des gemeinsamen Transportankersystems die Verantwortung übernehmen.

Aufgrund der technischen Kompatibilität verschiedener Systeme ist deren auch rechtlich abgesicherte Verwendung seit vielen Jahren dringend erforderlich. Grundsätzlich sollte gelten:

Was in der Praxis zusammenpasst, muss auch in der Theorie zusammenpassen. Was aber laut Theorie nicht zusammenpassen darf, darf auch in der Praxis nicht zusammenpassen.

Im Fertigteilwerk hergestellte Transporthilfen könnten daher in Zukunft eine interessante Alternative darstellen, da sich die Frage einer Kompatibilität nicht stellen würde.

6.11 Schubkraftübertragung in Fugen

6.11.1 Allgemeines

Verbundfugen entstehen zwischen Betonierschnitten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten hergestellt werden, z. B. wenn Halbfertigteile nachträglich mit einer Ortbetonschicht ergänzt werden. Dies gilt sowohl für flächenartige Bauteile, z. B. Elementdecken oder TT-Platten (Bild 144a) als auch für stabförmige Bauteile, z. B. Plattenbalken (Bild 144b) oder bei nebeneinander liegenden Fertigteilen (Bild 144c).

Darüber hinaus existieren Verbundfugen mit Beanspruchungen quer zur Fuge wie z. B. bei nachträglich angeschlossenen Konsolen oder Deckenplatten (Bild 145).

6.11.2 Bemessung

Da die Einflussfaktoren zur Ermittlung des Schubtragverhaltens vielschichtig sind, muss das Ziel eines praxistauglichen Nachweisformats darin liegen, mit einfachen Ansätzen das Tragverhalten sicher abschätzen zu können. Die bekannten Nachweisformate für Verbundfugen basieren daher nicht nur auf versuchstechnischen Erkenntnissen, sondern beziehen auch ingenieurmäßige Betrachtungen mit ein, um eine schnelle, sichere und wirtschaftliche Bemessung von Verbundfugen zu ermöglichen.

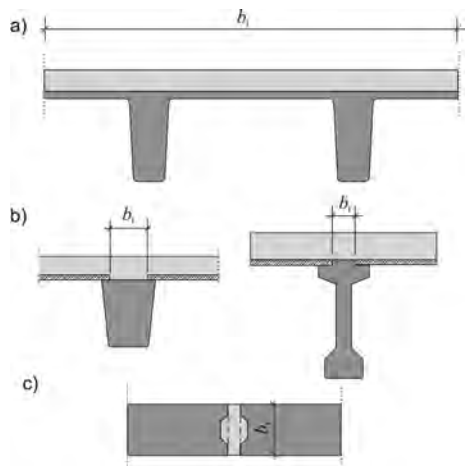


Bild 144. Beispiele für Verbundfugen; a) Deckenplatten, b) stabförmige Bauteile, c) zwischen Deckenplatten

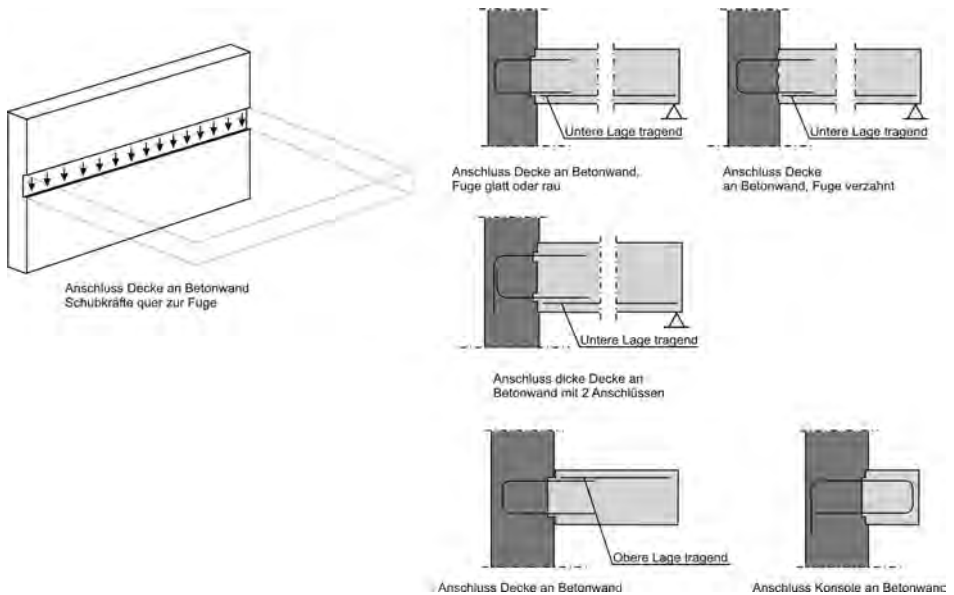


Bild 145. Beispiele für Verbundfugen mit Beanspruchungen quer zur Fuge

Die Schubkraftübertragung in Fugen wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1/NA, 6.2.5 geführt. Dabei ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Schubkraft v_{Edi} kleiner ist als der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit v_{Rdi} (Bild 146):

$$v_{Edi} = \frac{F_{cdi}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z \cdot b_i} \quad (67)$$

mit

F_{cdi} Normalkraft in der Betoneingängung

F_{cd} Gesamtnormalkraft im betrachteten Querschnitt

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

z Hebelarm des zusammengesetzten Querschnitts

b_i Breite der Fuge (siehe Bild 144)

Die Schubtragfähigkeit der Verbundfuge beruht nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 auf 3 Traganteilen:

$$v_{Rdi} = v_{Rdi,ad} + v_{Rdi,r} + v_{Rdi,s} \leq v_{Rdi,max} \quad (68)$$

$v_{Rdi,ad}$ Adhäsionsanteil (Haftverbund)

$v_{Rdi,r}$ Reibungsanteil (infolge äußerer Normalspannung senkrecht zur Fuge)

$v_{Rdi,s}$ Anteil der Verbundbewehrung (Spannfeder-Effekt oder Klemmwirkung der Bewehrung nach der Schubreibungstheorie)

Zur Vermeidung des Versagens der schiefen Druckstrebe wird als obere Grenze für die aufnehmbare Schubspannung $v_{Rdi,max}$ festgelegt.

Daneben gibt es noch weitere Tragmechanismen, wie die Dübelwirkung der Verbundbewehrung und den „Kinking-Effekt“ (Schrägzugwirkung der Fugenbewehrung bei großen Verschiebungen), die jedoch beim Nachweis nach DIN EN 1992-1-1 nicht herangezogen werden. Beim Ansatz nach [102] wird die Dübelwirkung hingegen berücksichtigt.

Die Schubreibungstheorie [103] geht von der Annahme aus, dass nach einem Riss in der Verbundfuge und daraus resultierenden Relativverschiebungen der Rissufer aufgrund der Rauigkeit gleichzeitig auch eine Trennung der Rissufer hervorgerufen wird. Diese Trennung erzeugt Zugspannungen in der Verbundbewehrung und gleichzeitig Druckspannungen auf den Beton, wodurch wiederum Reibungskräfte hervorgerufen werden (Bild 147). Die Bewehrung erfüllt somit prinzipiell die gleiche Funktion wie eine von außen aufgetragene Druckspannung senkrecht zur Fugenfläche.

Der Traganteil der Bewehrung wird somit erst aktiviert, wenn eine Verschiebung der Rissufer stattgefunden hat, während der Traganteil des Haftver-

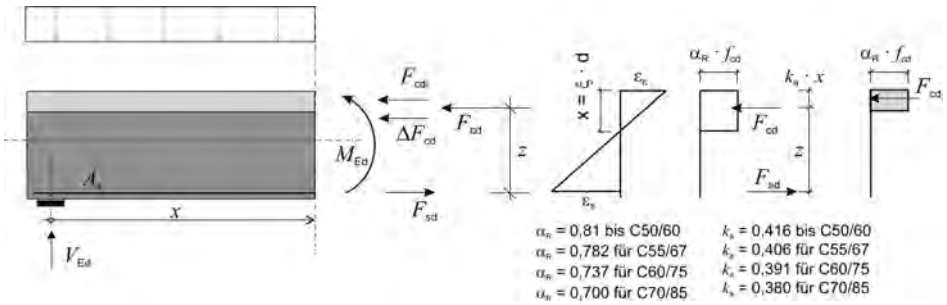


Bild 146. Verbundfugennachweis

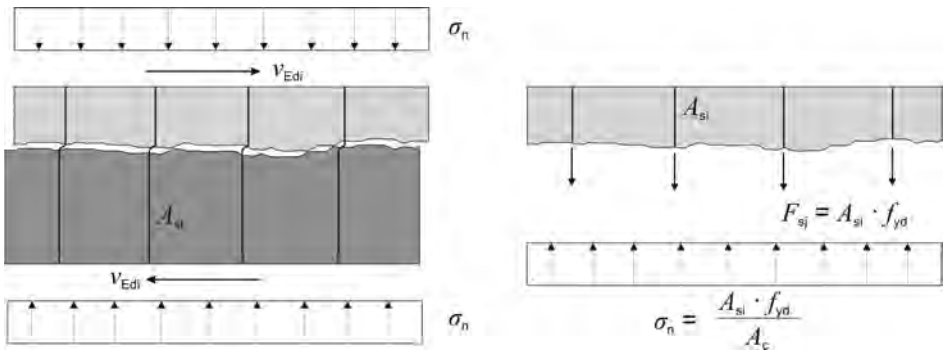


Bild 147. Schubreibungstheorie („Shear friction theory“ [103])

bunds davon ausgeht, dass diese Verschiebung noch nicht eingetreten ist. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsweise der einzelnen Tragmechanismen wird somit deutlich, dass eine Addition der Maximalwerte aller Traganteile genauso wenig nachvollziehbar erscheint wie die Betrachtung einzelner Traganteile getrennt voneinander.

Im Einzelnen berechnet sich die Schubtragfähigkeit zu:

$$V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \quad (69)$$

mit

- c, μ und ν Beiwerte, die von der Rauigkeit der Fuge abhängen (Tabelle 27)
- f_{ctd} Bemessungswert der Betonzugfestigkeit des 1. oder 2. Betonierabschnitts (der kleinere Wert ist maßgebend)
- σ_n Spannung rechtwinklig zur Fuge infolge der minimalen Normalkraft mit $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$

- $\rho = A_s/A_i$ A_s Querschnittsfläche der Verbundbewehrung
 A_i Fläche der Verbundfuge
- f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
- α Neigungswinkel der Verbundbewehrung mit $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
- f_{cd} Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

Bei (teilweise) vorgespannten Bauteilen sind die Spannungen infolge von Kriechen und Schwinden über die Verbundfuge bei der einwirkenden Schubkraft V_{Edi} zu berücksichtigen.

Aus einer Vergleichsstudie [104] ergaben sich für „sehr glatte“, „glatte“ und „raue“ Fugen geringere c-Beiwerte als nach EN 1992-1-1 (siehe auch [105]). Durch diese Reduzierung der Tragfähigkeit hätten sich insbesondere für hochbeanspruchte Fugen größere Bewehrungsmengen ergeben, als bisher erforderlich. Da dies nicht zu rechtfertigen gewesen wäre und die Wirtschaftlichkeit der Bauweise er-

Tabelle 27. Beiwerte in Abhängigkeit der Oberflächenbeschaffenheit

Oberflächenbeschaffenheit	c ^{a)}	μ	ν
verzahnt	0,5	0,9	0,7
rau	0,4 ^{b)}	0,7	0,5
glatt	0,2 ^{b)}	0,6	0,2
sehr Glatt	0	0,5	0 ^{c)}

a) Bei dynamischer oder Ermüdungsbeanspruchung darf der Adhäsionstraganteil des Betonverbundes nicht berücksichtigt werden ($c = 0$).

b) In den Fällen, in denen glatte oder raue Fugen unter Zug stehen, wird $c = 0$. Dies gilt auch bei nicht vermörtelten Fugen zwischen nebeneinander liegenden Fertigteilen aufgrund des fehlenden Haftverbundes.

c) Gilt nur bei fehlender äußerer Drucknormalkraft senkrecht zur Fuge. Bei vorhandener Drucknormalkraft darf der Reibungsanteil ($\mu \cdot \sigma_n$) ausgenutzt und $\nu = 0,2$ gesetzt werden (Begründung: Der Bewehrungsanteil darf bei sehr glatten Fugen nicht ausgenutzt werden, weil die Schubreibungstheorie nicht gilt).

schwert hätte, wurde im Nationalen Anhang zu DIN EN 1992-1-1 der Traganteil der Bewehrung mit dem Faktor 1,2 erhöht.

Eine Verbundfuge wird nicht sicherer, je mehr Verbundbewehrung eingelegt ist. Sicher ist eine Verbundfuge vielmehr, wenn eine *ausreichende* Rauigkeit vorhanden ist, die Ausführungshinweise nach DIN EN 13670 / DIN 1045-3 befolgt werden und die Verbundbewehrung so eingelegt wird, dass die Oberfläche der Fuge ausreichend aufgeraut werden kann.

Der Einbau der Verbundbewehrung erfordert einen nicht geringen Arbeitsaufwand. Da sich laut Theorie die Verbundbewehrung ohnehin erst an der Kraftaufnahme beteiligt, wenn die Verbundfuge gerissen ist, wäre es daher sinnvoller, ganz auf sie zu verzichten und die Übertragung der Schubkräfte in der Verbundfuge zunächst ausschließlich dem Beton zuzuweisen. Mit zu hohen Verbundbewehrungsmengen ist eine ausreichende Aufrauung schwer umzusetzen, was zu größeren Sicherheitsdefiziten führt als eine rein rechnerisch vermeintlich zu geringe Menge an Verbundbewehrung.

6.11.3 Oberflächenkategorien

Die Übertragung der Schubkräfte ist von den Rauigkeiten und Oberflächenbeschaffenheiten der Fugen abhängig. Zur Vereinfachung und zur besseren Handhabung wurden folgende Oberflächenkategorien festgelegt. Die Anforderungen an die Oberflä-

chenbeschaffenheit sind in den Elementzeichnungen anzugeben:

- sehr glatt: Die Oberfläche wurde gegen Stahl, Kunststoff oder glatte Holzschalung betoniert. Bei der Verwendung von Beton mit fließfähiger bzw. sehr fließfähiger Konsistenz im ersten Betonierabschnitt sollten unbehandelte Fugenoberflächen als sehr glatte Fugen eingestuft werden.
- glatt: Die Oberfläche wurde abgezogen oder im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt oder sie blieb nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung.
- rau: Die Oberfläche wird durch Rechen mit ca. 40 mm Zinkenabstand mindestens 3 mm tief aufgeraut oder die Gesteinskörnung wird mindestens 3 mm tief freigelegt (Bild 148). Andere Methoden, die ein äquivalentes Tragverhalten herbeiführen, sind ebenfalls zulässig, wenn die mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann bestimmte mittlere Rautiefe $R_t \geq 1,5$ mm bzw. die maximale Profilkuppenhöhe $R_p \geq 1,1$ mm beträgt.
- verzahnt: Das Korngerüst wird bei einer Gesteinskörnung mit $d_g \geq 16$ mm mindestens 6 mm tief freigelegt ($R_t \geq 3,0$ mm bzw. $R_p \geq 2,2$ mm, Bild 149a) oder es wird eine Verzahnung nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5, Bild 6.9 hergestellt (Bild 149b).

Die Unterschiede der Fugentragfähigkeiten sollen dem Tragwerksplaner und dem Hersteller die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Oberflächen und damit die große Bedeutung der „richtigen“ Oberflächenbehandlung verdeutlichen. Tragfähigkeiten von Verbundflächen mit verschiedenen Oberflächenrauigkeiten dürfen nach [49] entsprechend ihren Flächenanteilen addiert werden.

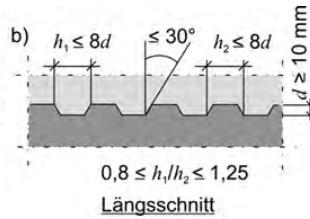
Für sehr glatte Oberflächen wurde die Obergrenze der Tragfähigkeit bei Fehlen einer äußeren Druck-



Bild 148. Raue Oberfläche



Bild 149. Verzahnte Oberfläche



normalkraft senkrecht zur Fuge sehr konservativ mit $\nu = 0$ festgelegt. Bei vorhandener Drucknormalkraft σ_n darf zumindest der Reibungsanteil mit $0,5 \sigma_n$ ausgenutzt und $\nu = 0,2$ gesetzt werden.

Trotzdem sind sehr glatte Fugen nur eingeschränkt nutzbar und spielen daher in der Praxis bislang keine Rolle. Aus Sicht der Autoren ist die restriktive Regelung, nach der unbehandelte Fugenoberflächen fließfähiger Betone ebenfalls als „sehr glatt“ einzustufen sind, zumindest zu hinterfragen.

Zur Bestimmung der Rauigkeit wird in der Regel das Sandflächenverfahren nach Kaufmann herangezogen. Bei diesem Verfahren wird eine bestimmte Menge Sand kegelförmig auf eine trockene Betonoberfläche geschüttet und kreisförmig mit einer Hartholzscheibe verteilt, bis ein weiteres Verteilen des Sandes nicht mehr möglich ist. Danach wird über den Durchmesser des so entstandenen Kreises die entsprechende Rautiefe in mm ermittelt. Das Verfahren wird sowohl in DIN EN 1992-1-1/NA, 6.2.5 (2) als auch in der ZTV-Ing Teil 1, Abschnitt 3 als Vergleichskriterium erwähnt.

Grundsätzlich gilt für alle Kontaktflächen, dass die Oberflächen frei von Zementmilch, losem Beton, Sägemehl, Eis, Öl etc. sein müssen, ausreichend angefeuchtet werden (DIN EN 13670 / DIN 1045-3, 8.4(5)), der Ortbeton eine weiche oder flüssige Konsistenz haben muss und sorgfältig verdichtet wird.

Insbesondere bei der Herstellung der Rauigkeit mit Stahlrechen kommt es auf den richtigen Erhärtungszeitpunkt des Betons an. Bei einem zu frühen Recheneinsatz ist der Beton noch nicht erhärtet und verläuft wieder, während bei zu spätem Recheneinsatz das Gefüge der gerade erhärtenden Betonrandzone durch Herausreißen der losen Gesteinskörnung empfindlich gestört wird.

Balkenartige Bauteile sollten stets mit einer rauen oder verzahnten Fuge ausgeführt werden, um zu verhindern, dass sich Schubrisse ungestört in der

Fuge fortsetzen. Die Bemessungsergebnisse für glatte Fugen können auf der unsicheren Seite liegen, falls es zu einem vollflächigen Abscheren der Fugenufer kommt. Bei plattenartigen Bauteilen wird das vollflächige Abscheren unwahrscheinlicher. Daher werden plattenartige Bauteile oft mit glatten Fugen ausgeführt.

6.11.4 Bauliche Durchbildung

Wie beim Querkraftnachweis auch darf die erforderliche Verbundbewehrung nach der Schubkraftlinie abgestuft werden (Bild 150). Eine Verbundbewehrung ist demnach erforderlich, wenn

$$v_{Edi} > c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n \tag{70}$$

Bewehrungsdruckdiagonalen dürfen nicht als Verbundbewehrung angerechnet werden, da das Schubreibungsmodell hier nicht zutrifft. Auf den Ansatz dieser in Richtung der Druckdiagonalen (gegen die Schubrichtung) geneigten Verbundbewehrung ist daher zu verzichten (Bild 151).

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7 sind für nachträglich ergänzte Querschnitte keine speziellen Nachweise vorgeschrieben. Somit können z. B. für Rissbreitennachweise im Fugenbereich oder Durchbiegungnachweise die gleichen Regeln angewendet werden wie für monolithische Bauteile. Darüber hinaus sind konstruktive Regelungen nach DIN EN 1992-1-1, 9.3.2 einzuhalten.

Nach DIN EN 1992-1-1, 10.9.3 (8) muss die Ortbetonschicht mindestens eine Dicke von 40 mm aufweisen. Die Querbewehrung für Biegung und andere Einwirkungen darf entsprechend Bild 152 entweder in den Fertigteilen oder im Ortbeton liegen. Sie darf bei zweiachsig gespannten Platten nach DIN EN 1992-1-1, 10.9.3 (13) nur dann berücksichtigt werden, wenn sie durchläuft oder nach Bild 152 gestoßen wird.

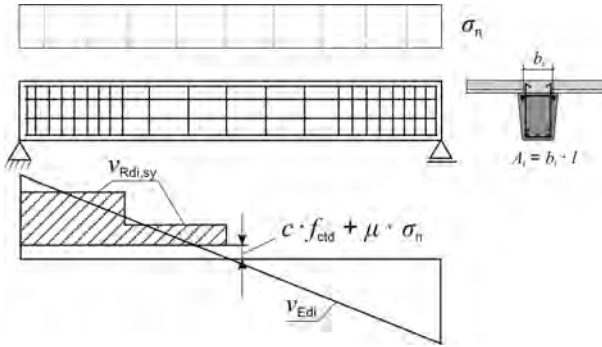


Bild 150. Erforderliche Verbundbewehrung nach der Schubkraftdeckungsline

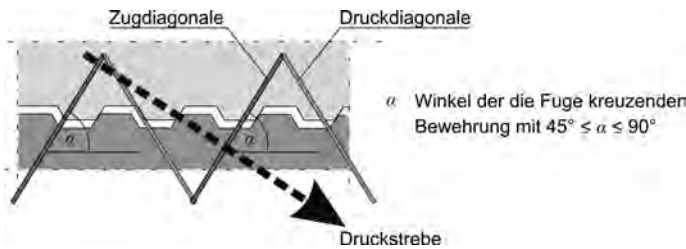


Bild 151. Ansatz der Zugdiagonalen als Verbundbewehrung

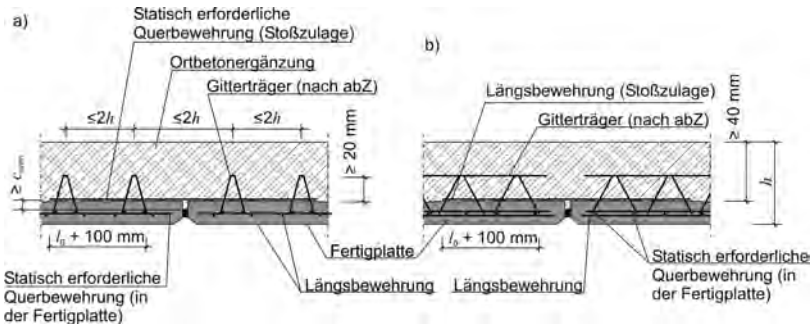


Bild 152. Tragstoß einer zweiachsig gespannten Fertigplatte mit Ortbetonerfüllung und Gitterträgern als Verbundbewehrung; a) Stoß der Querbewehrung, b) Stoß der Längsbewehrung

Insbesondere bei ortbetonerfüllten Fertigteilbalken werden Bügel als Verbundbewehrung eingesetzt. Bei flächenartigen Bauteilen werden häufig Gitterträger verwendet. Werden diese ausschließlich als Verbundbewehrung eingesetzt, müssen sie nicht über die volle Plattendicke reichen, sondern der Abstand zwischen OK Fertigteilplatte und UK Obergurt des Gitterträgers muss mindestens 20 mm betragen (Bild 152).

Bei Platten mit Gitterträgern als Querkraftbewehrung ist nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung der Bemessungswert der einwirkenden Quer-

kraft V_{Ed} auf $1/3 V_{Rd,max}$ zu begrenzen (mit $V_{Rd,max}$ nach von DIN EN 1992-1-1, 6.2.3 (4)).

Werden bei rau oder verzahnt ausgeführten Verbundfugen Bewehrungsstäbe direkt auf die Fugenoberfläche aufgelegt, so sind nach DIN EN 1992-1-1, 4.4.1.2 (9) für den Verbund dieser Stäbe nur mäßige Verbundbedingungen anzusetzen. Die Dauerhaftigkeit der Bewehrung ist jedoch im Bereich der Elementfugen zwischen den Fertigteilen durch das erforderliche Nennmaß der Betondeckung c_{nom} sicherzustellen (Bild 152).

6.11.5 Ermüdung

Der Ansatz in DIN EN 1992-1-1 sieht bei dynamischer oder Ermüdungsbeanspruchung eine Halbierung der c -Beiwerte vor. Ergebnisse vorliegender Untersuchungen haben bislang Zweifel hervorgerufen, ob dieser vereinfachte Ansatz in allen Fällen auf der sicheren Seite liegt. Nach DIN EN 1992-1-1/NA, 6.2.5 (5) ist daher der Adhäsionsbeiwert c zu null zu setzen.

Dynamische Versuche an mit Hochdruckwasserstrahlen aufgerauten Fugen mit einer Rautiefe von ≥ 3 mm [106] zeigten auf, dass der Adhäsionsanteil selbst bei gerissenen Fugen nicht vollständig gebrochen wurde und es kaum zu gegenseitigen Verschiebungen der Fugenufer und damit zu geringen dynamischen Beanspruchungen der Verbundbewehrung kam.

Anhand von weiteren versuchstechnischen Erkenntnissen konnte gezeigt werden, dass die Verbundfuge keine Schwächung des Querschnitts hervorruft und somit nicht für das Versagen des Querschnitts maßgebend war [107]. Diese und weitere Erkenntnisse sind als Ergänzung zum Eurocode in die österreichische Richtlinie RVS 15.02.34 „Bemessung und Ausführung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten“ eingeflossen. Bei Einhaltung der Festlegungen der RVS 15.02.34 dürfen die Beiwerte für Rauigkeit und Reibung wie für eine verzahnte Fuge mit ihren vollen Werten angesetzt und der Gesamtquerschnitt als monolithisch wirksam betrachtet werden.

Aus Sicht der Autoren ist es daher zu vertreten, auf einen Ermüdungsnachweis für eine reine Verbund-

bewehrung zu verzichten, wenn mindestens eine raue Oberfläche mit einer Rautiefe von 3 mm ausgeführt wird und der Adhäsionsanteil c nach DIN EN 1992-1-1/NA, 6.2.5 (5) vernachlässigt wird. Aktuelle Bemessungsbeispiele im Brückenbau bestätigen diese Auffassung [108].

Falls die Verbundbewehrung gleichzeitig Querkraftbewehrung ist, ist ein Ermüdungsnachweis für die Querkraftbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8 zu führen. Der Nachweis gegen Ermüdung des Betons ist nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7 zu führen. Für Gitterträger gelten die Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

6.12 Decken- und Wandscheiben

6.12.1 Allgemeines

Wie im Fertigteilbau üblich sind auch bei Decken- oder Wandscheiben die Fugen das schwächste Glied. Daher beeinflusst die Ausbildung der Fuge das Trag- und Verformungsverhalten von Decken- und Wandscheiben. Vertikalfugen von Wandscheiben werden vornehmlich durch Querkraften beansprucht, während Horizontalfugen in Wandscheiben und Fugen in Deckenscheiben durch Druck- und Zugkräfte in Verbindung mit Querkraften beansprucht werden (Bild 153).

Ausführliche Hinweise zum Nachweis der Aussteifung sind in Abschnitt 3 enthalten.

Wie beim Nachweis der Schubkraftübertragung von ortbetonergänzten Fertigteilen unter Biegebean-

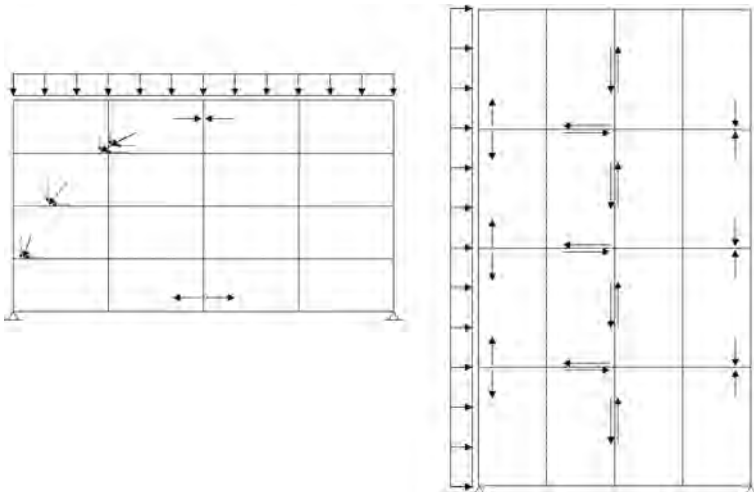


Bild 153. Beispielhafter Verlauf der Druck-, Zug- und Querkräfte in a) Deckenscheiben und b) Wandscheiben

spruchung ist auch bei Scheiben die Schubtragfähigkeit von folgenden Parametern abhängig:

- Oberflächenbeschaffenheit der Fuge,
- Druckspannungen senkrecht zur Fuge,
- Druck- bzw. Zugfestigkeit des Fugen- bzw. Fertigteilbetons,
- Bewehrungsanordnung und -menge.

Der Nachweis wird in der Regel nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 mit den oben beschriebenen Traganteilen Rauigkeit, Reibung und Bewehrung geführt. Falls Fugen von Decken- oder Wandscheiben unter Zug stehen, dürfen weder Rauigkeits- noch Reibungsanteile angesetzt werden.

6.12.2 Deckenscheiben

Eine aus Fertigteilen zusammengesetzte Decke kann als Scheibe bemessen werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Die Einzelteile der Deckenscheibe sind in den Fugen druckfest miteinander zu verbinden.
- Die in der Scheibenebene wirkenden Lasten können durch Bogen- oder Fachwerkwirkung zusammen mit den dafür bewehrten Randgliedern und Zugpfosten aufgenommen werden.
- Die zur Fachwerkwirkung erforderlichen Zugpfosten können durch Bewehrungen gebildet werden, die in den Fugen zwischen den Fertigteilen verlegt und in den Randgliedern entsprechend verankert werden. Die Bewehrung der Randglieder und Zugpfosten ist rechnerisch nachzuweisen.

Die erforderlichen Zugglieder zur Abtragung der horizontalen Lasten auf die Deckenscheibe werden durch Längsbewehrung in den Fugen bzw. in den Randgliedern gebildet oder durch Verschweißen einer in den Deckenelementen schon bei der Fertigung einbetonierten Ringankerbewehrung (siehe Abschnitt 6.7, Bild 133a).

Die Längsbewehrung in den Fugen wirkt als Biegezugbewehrung der Scheibe oder als Zugpfosten eines Fachwerkmodells (Bild 154). Die Druckkräfte dieses Fachwerks werden im Allgemeinen schräg über die Fugen hinweggeführt. Zur Übertragung dieses Scheibenschubs ist es ausreichend, wenn die Fugen – wie ein Scharnier wirkend – Querkräfte in Fugenlängsrichtung übertragen können (siehe Abschnitt 6.13, Bild 161a). Dies erreicht man durch entsprechende Verzahnung, bei sehr hohen Beanspruchungen durch Verschweißung der Fugenränder über Stahleinbauteile. Müssen die Fugen auch noch lastverteilende Plattenquerkräfte übertragen, so ist die Verzahnung für beide Richtungen auszubilden (siehe Abschnitt 6.13, Bild 161b). Die Aufnahme der dabei entstehenden horizontalen Spreizkräfte kann ebenfalls über die Längsbewehrung in

der Querrichtung geschehen. Die Horizontalkomponente der schrägen Druckkräfte aus der Querkraftbeanspruchung wird über die Deckenscheibe auf die Längsbewehrung der Querrichten abgetragen (siehe Abschnitt 6.13, Bild 165).

Die Übertragung von Schub- und Querkräften in der Plattenfuge kann auch über Verschlaufung in den Fugen erfolgen. Deren Tragfähigkeit wird in bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Auf die erhöhte Nachgiebigkeit bei Rissbildung ist zu achten.

Auf jeden Fall erhält man ein wesentlich günstigeres Trag- und Verformungsverhalten von aus einzelnen Fertigteilen zusammengesetzten Scheiben, wenn statt nur eines Ringankers eine Längsbewehrung in jeder Fuge angeordnet wird, die natürlich im Randglied entsprechend verankert sein muss. Neben der Funktion als Zugpfosten, d. h. als Schubbewehrung („Bügel“) der Deckenscheibe, haben die Fugenlängsbewehrungen noch die Windsoglasten und die Rückverankerungskräfte aus der Lotabweichung zu übernehmen, wozu sie in den Außenstützen verankert sein oder diese – bei nach innen versetztem Konstruktionsraster – schlaufenartig umfassen müssen. Sie haben schließlich noch die Aufgabe, die Bauwerke gegenüber außergewöhnlichen Belastungen (Erdbeben, Explosionsdrücke) ausreichend zusammenzuhalten (siehe Abschnitt 3.2). Die Ausbildung der Deckenscheibe hängt darüber hinaus wesentlich davon ab, ob sie die Horizontallasten an die vertikalen Aussteifungswände oder Kerne über Druck oder Zug abgibt und ob die Kräfteinleitung kontinuierlich über die gesamte Scheibentiefe oder nur konzentriert über relativ schmale Wandscheiben erfolgt.

Für die Ermittlung der Scheibenschnittgrößen in Decken gibt es kein einheitliches Konzept. Sie wird zweckmäßig anhand von Fachwerkmodellen durchgeführt (Bild 154) [109]. Grundsätzlich muss man bei der Wahl eines geeigneten Fachwerkmodells beachten, dass die Last mit möglichst geringen Verformungen abgetragen werden sollte. Der Kraftfluss sollte daher vorzugsweise über die relativ steifen Druckstreben erfolgen.

Üblich ist es, die gesamte Zugkraft durch ein einziges Zugband am Rand aufzunehmen (z. B. Bild 154c). Häufig ist es jedoch nicht möglich, dieses Zugband mit den entsprechenden Verankerungen und Ecksausbildungen unterzubringen. Es bietet sich vielmehr an, die Zugkraft auf mehrere Fugen zu verteilen (z. B. Bild 154b und d). Bei einer Ausbildung von Zugpfosten in jeder Fertigteilfuge bei Annahme steiler Druckstreben nach Bild 154b und d ist zwar vordergründig mehr Bewehrung erforderlich als nach Bild 154a und c mit konzentrierten Zugstreben. Der Nachweis für die Fertigteilfugen kann jedoch entfallen, da sie nicht von den Druckstreben gekreuzt werden. Dies hat darüber hi-

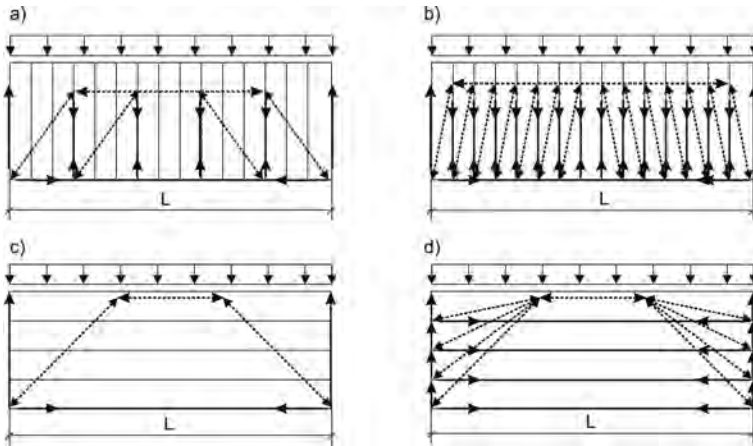


Bild 154. Fachwerksysteme von Deckenscheiben; a), b) Fugen parallel zur Stützrichtung, c), d) Fugen quer zur Stützrichtung

naus den Vorteil, dass die Rückhängung der Auflagerkraft auf mehrere Stellen verteilt werden kann.

Zur Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Einwirkungen, wie Anprall oder Explosion, gibt DIN EN 1992-1-1 in Abschnitt 9.10 den Einbau von Zugankern vor. Diese können aus innenliegenden Zugankern oder einem Ringanker bestehen. Es empfiehlt sich immer einen Ringanker vorzusehen, um eine Rissbildung der Deckenscheibe am Rand zu vermeiden. Der Ringanker muss den Mindestanforderungen der DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.10.2.2 genügen. Für die Bemessung darf die charakteristische Festigkeit des Stahls f_{yk} voll ausgenutzt werden. Außerdem darf man eine zur Aufnahme der planmäßigen Einwirkungen vorhandene Bewehrung auf die Ringanker anrechnen.

Die einwirkende Querkraft V_{Edi} darf dabei über die gesamte Fugenlänge l_i verteilt werden:

$$v_{Edi} = \frac{V_{Edi}}{l_i \cdot b_i} \leq v_{Rdi} \quad (71)$$

mit

V_{Edi} einwirkende Querkraft in der Fuge

l_i Fugenlänge

b_i Fugenbreite

Die Schubtragfähigkeit v_{Rdi} ist nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 zu ermitteln. Falls die Fugen nicht unter Druck stehen und unbewehrt ausgeführt werden, wirken außer der Rauigkeit keine weiteren Traganteile. Die Schubtragfähigkeit v_{Rdi} ist dann auf folgende Werte zu begrenzen:

- bei sehr glatten Fugen:
 $v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} \leq 0,10 \text{ N/mm}^2$,
- bei glatten und rauen Oberflächen:
 $v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} \leq 0,15 \text{ N/mm}^2$.

Die Definition der Oberflächen ist in Abschnitt 6.11.3 angegeben.

6.12.3 Wandscheiben

Aus Fertigteilen zusammengesetzte Wandscheiben kommen besonders im Großtafelbau vor. Die Wandelemente sollten dabei möglichst geschosshoch ausgebildet sein. Die in den vertikalen Fugen auftretenden Schubkräfte müssen nachgewiesen werden. Die Bewehrung, die sich aus der Zerlegung der Schubkraft in eine horizontale Zugkomponente und eine geneigte Druckkomponente ergibt, darf bei Scheiben, deren Gesamtbreite größer als die Geschosshöhe ist, in Höhe der Decken entsprechend zusammengefasst werden (Bild 155). Dabei ist allerdings zu beachten, dass eine unbewehrte Fuge zur Rissbildung neigt.

Die Horizontalfugen von Fertigteilwänden werden vorwiegend auf Druck beansprucht. Die Querkraftübertragung ist dann im Allgemeinen durch Reibung gewährleistet. In Sonderfällen ist eine Verzahnung erforderlich (Bild 156). Eventuell auftretende Zugkräfte werden in der Regel durch Schweißkonstruktionen (Abschnitt 6.7), Übergreifungsstöße (Bild 157) oder mittels zugelassener Schraubverbindungen (Abschnitt 6.8) aufgenommen. Bei allen Systemen ist die Montierbarkeit bzw. sind die Ausführungstoleranzen zu beachten.

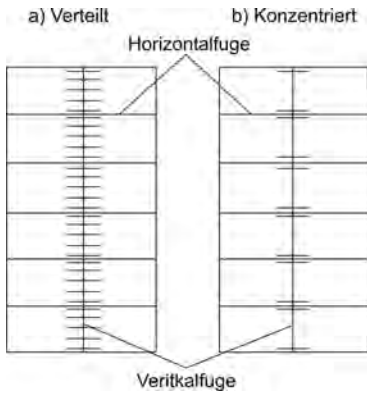


Bild 155. Unterschiedliche Horizontalbewehrungsanordnungen von Wandscheiben [110]

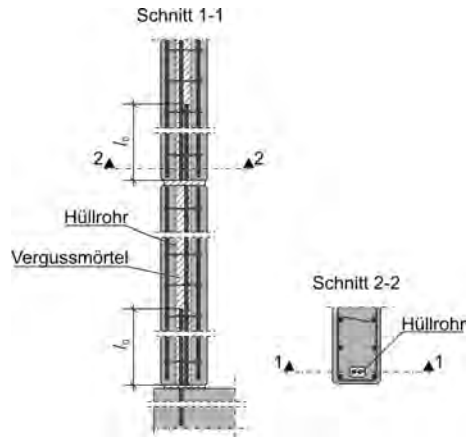


Bild 157. Wandverbindung durch Übergreifungsstoß



Bild 156. Kernwand mit verzahnter Horizontalfuge (Foto: Bremer AG)

Als Alternative zu einem Nachweis nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 können Wandscheiben nach [111] bzw. [112] bemessen werden. Damit können verschiedene Zahngeometrien bei unterschiedlichen Beanspruchungszuständen berechnet und entsprechend dimensioniert werden.

Unter Beachtung des in [112] empfohlenen globalen Sicherheitsbeiwerts von 2,5 für eine verzahnte Fuge, ergibt sich die aufnehmbare Schubkraft je Längeneinheit zu

$$v_{Rdi} = \frac{\kappa}{\gamma_{c,i}} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot \frac{B}{F_u} \cdot (0,04 + 0,44 \cdot (\rho \cdot f_{yd} + \sigma_N))} \geq v_{Edi} \quad (72)$$

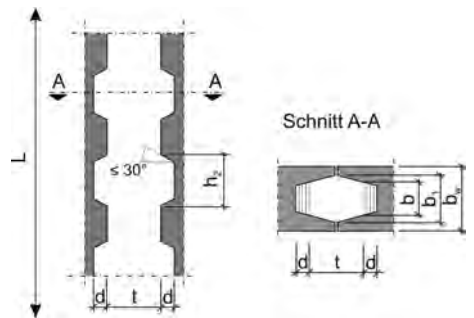


Bild 158. Definitionen für h_2 , h_1 , b , L

Tabelle 28. Beiwert κ

Betonfestigkeitsklasse	κ
C12/15	0,95
C16/20	0,95
C20/25	0,95
C25/30	0,93
C30/37	0,908
C35/45	0,885
C40/50	0,862
C45/55	0,839

mit

κ nach Tabelle 28

$\gamma_{c,i}$ Sicherheitsbeiwert nach [112]:

$$\gamma_{c,i} = \frac{2,5}{1,425} = 1,76 \quad (73)$$

$\frac{B}{F_u}$ Verhältnis der Zahnflächen an ihrer Basis bezogen auf die gesamte Fugenfläche

$$\frac{B}{F_u} = \frac{h_2 \cdot b}{h_1 \cdot L} \quad (74)$$

h_2, h_1, b, L nach Bild 158

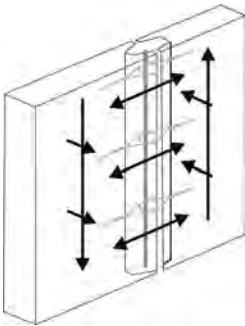


Bild 159. Seilschlaufensysteme zur Verbindung von Wandelementen

ρ Bewehrungsgrad

f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Bewehrungsstahls

σ_n Druckspannung rechtwinklig zur Fuge

In [3] sind Kurventafeln enthalten, in denen für ausgewählte Parameter die obige Gleichung ausgewertet wurde.

Falls die erforderliche Bewehrung konzentriert in der die Schubfuge kreuzenden Querfuge eingebaut wird, wird in [112] empfohlen, die Bewehrung um den Faktor 1/0,85 zu erhöhen.

6.12.4 Sonstiges

Von verschiedenen Herstellern wurden Fugeneinbauteile entwickelt, die durch in die Schalung eingelegte profilierte Blechkästen eine Verzahnung erzeugen. Als Bewehrung dienen Seilschlaufen. Mit speziellen Seilschlaufensystemen ist zudem eine Überlagerung aller Lastrichtungen (Querkräfte parallel und senkrecht zur Fuge sowie Zugkräfte) möglich (Bild 159). Die Fugen werden mit hochfestem Mörtel vergossen. Seilschlaufensysteme besitzen allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen.

Es sollte beachtet werden, dass infolge der Seilschlaufen die Rissweiten etwas größer sind ($\Delta w \sim 0,1 \text{ mm}$) als bei herkömmlichem Betonstahl. Neben Seilschlaufen in den Vertikalfugen sind in Bild 160 als weitere Einbauteile Wandschuhe zur Übertragung von Zugkräften dargestellt.

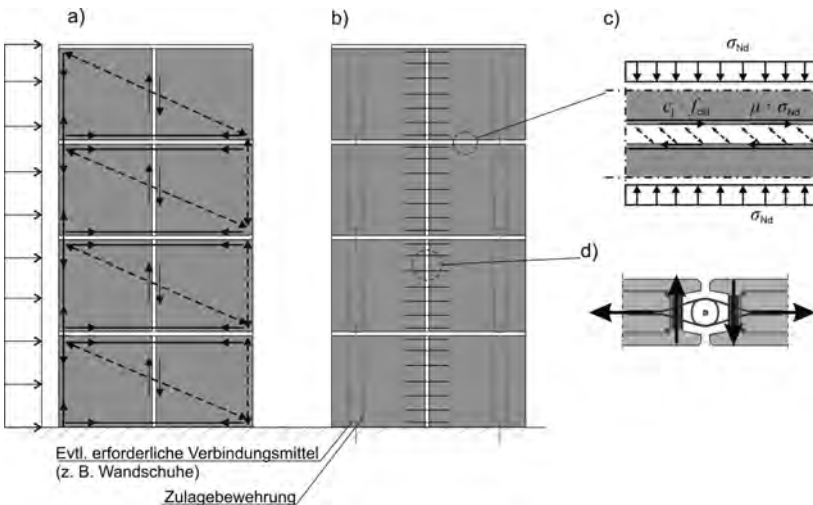


Bild 160. Wandscheibe; a) Darstellung des Kräfteverlaufs, b) Prinzipskizze, c) teilweise überdrückte horizontale Fuge, d) vertikale Fuge mit Seilschlaufen

6.13 Querkräfte in Deckenplatten

Fugen in Deckenscheiben müssen außer Schubkräften in Längsrichtung der Fugen auch Querkräfte senkrecht zur Fuge übertragen (Bild 161b).

DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 10.9.3 enthält einige grundsätzliche Regelungen. Demnach können Verbindungen zur Querkraftübertragung folgendermaßen realisiert werden:

- ausbetonierte Fugen mit oder ohne Querbewehrung (Bild 162a),
- Schweiß- oder Bolzenverbindungen (Bild 162b),
- bewehrte Ortbetonerfüllung.

Grundsätzliche Ausführungen zur Querkrafttragfähigkeit von Fugen werden in [111] und [113] vorgestellt.

Eine allgemeine Form des Nachweises ist [111] zu entnehmen. Danach beträgt der Bemessungswert der in der Fuge übertragbaren Querkraft (Bild 163):

$$v_{Rd} = \gamma_m \cdot \frac{v_0}{2,75} \cdot \sqrt[3]{\frac{f_{ck,cube}}{45}} \cdot \frac{\left(\frac{h_N}{0,15 h}\right)^{1,11} \cdot \left(\frac{h}{100}\right)^k}{\left(0,32 + 0,68 \frac{b_j}{h}\right)} \quad (75)$$

mit

γ_m gemittelter Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite ($\gamma_m = 1,425$)

$v_0 = 5,0 \text{ kN/m}$

h_N Höhe der Betonnase in mm, $h_N \geq h/3$

h Plattendicke in mm, $h \leq 200 \text{ mm}$

b_j Fugenbreite in mm

$k = 1,0$ für eine affine Fugenausbildung nach Bild 163b

$k = 1,4$ für eine höhenproportionale Fugenausbildung nach Bild 163c

Ein vereinfachter Bemessungsvorschlag für unbewehrte Fugen ist in Anlehnung an [111] in DAFStb-Heft 600 [49] übernommen worden. Danach beträgt der Bemessungswert der in der Fuge übertragbaren Querkraft:

$$v_{Rd} = v_{Rd,0} \cdot \sqrt[3]{\frac{f_{ck,cube}}{45}} \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{1,44} \leq v_{Ed} \quad (76)$$

mit

$v_{Rd,0} = 7,5 \text{ kN/m}$

$f_{ck,cube}$ charakteristischer Wert der Würfel-druckfestigkeit in MN/m^2

h Plattendicke in cm

Hierfür sind folgende Randbedingungen zu erfüllen:

- Der Vergussbeton muss mindestens die Festigkeitsklasse C16/20 aufweisen.
- Für die Größe der übertragbaren Fugenquerkraft ist die Biegezugfestigkeit des Fertigteilbetons maßgebend.
- Die Fugengeometrie sollte entsprechend Bild 163a ausgeführt werden;
- Es dürfen nur vorwiegend ruhende Lasten angesetzt werden. Bei nicht vorwiegend ruhenden Lasten ist eine statisch mitwirkende Ortbetonschicht als Lastverteilung vorzusehen.

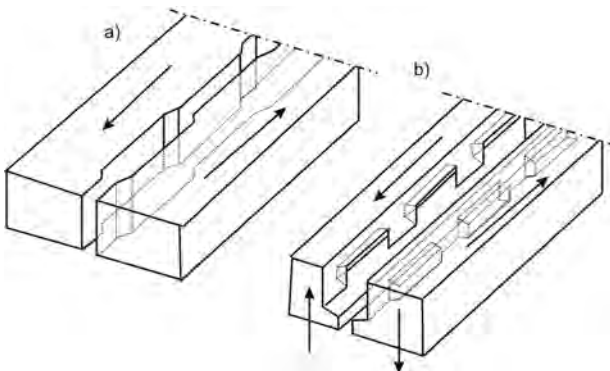


Bild 161. Deckenplatte; a) mit Schubkräften längs zur Fuge, b) mit Schubkräften und Querkräften

Der Nachweis gilt für Betonfestigkeitsklassen bis C45/55 und Plattendicken bis 200 mm. Beim Ansatz von $v_{Rd, Fuge,0} = 7,5 \text{ kN/m}$ ist zu beachten, dass dieser Wert bereits mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,5$ für veränderliche Einwirkungen angegeben ist.

Die Unterschiede der Fugentragfähigkeiten zwischen den Ansätzen nach DAfStb-Heft 348 und DAfStb-Heft 600 wird in Bild 164 verdeutlicht.

Die Fugenbreite sollte grundsätzlich so schmal wie möglich sein. Sie muss an der unteren Seite insbe-

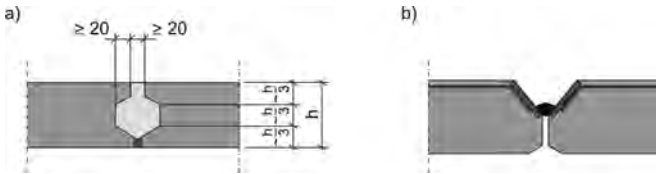


Bild 162. Beispiele für Fugen zur Querkraftübertragung; a) ausbetonierte Fugen, b) Schweißverbindung

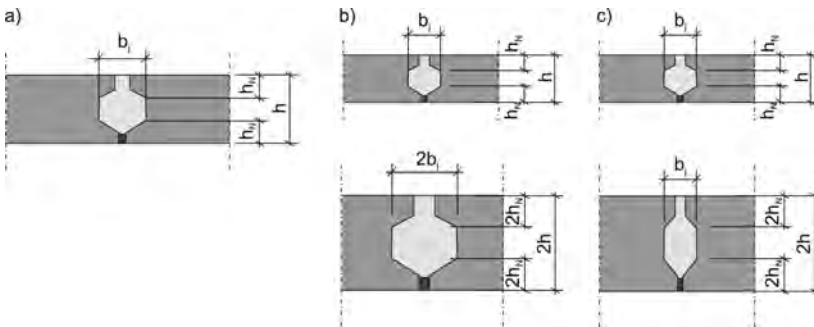


Bild 163. Fugenabmessungen; a) Grundform, b) affine Fugenausbildung, c) höhenproportionale Fugenausbildung bei gleichbleibender Fugenbreite (nach [111])

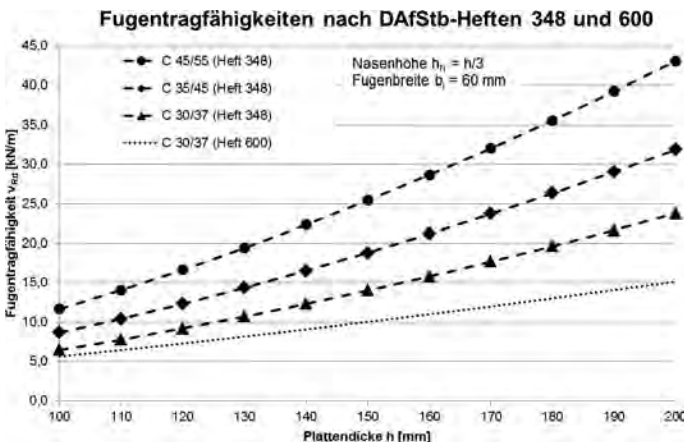


Bild 164. Fugentragfähigkeiten nach DAfStb-Heft 600 [49] und nach DAfStb-Heft 348 [111]

BESTELLSCHEIN

Stück	Bestell-Nr.:	Titel	Preis* €
	978-3-433-03074-5	Beton-Kalender 2016 - Schwerpunkte: Beton im Hochbau, Silos und Behälter; Bergmeister, Konrad / Fingerloos, Frank / Wörner, Johann-Dietrich (Hrsg.)	174,00
	908574	Gesamtverzeichnis Ernst & Sohn 2014/2015	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: November 2015 (homepage_Probekapitel)