## Koppelung der Deckenelemente zur Deckenscheibe

Neben den vertikalen Lasten tragen Decken horizontale Belastungen aus Wind, Erdbeben oder Imperfektionen ab. Die Decken leiten die über die Außenhaut eingetragenen Lasten an die Kerne oder aussteifenden Wände weiter, von wo aus sie in das Fundament übertragen werden. Im Fall einer monolithischen Decke in Ortbetonbauweise ist eine solche Scheibenwirkung ohne weitere Maßnahmen gegeben. Fertigteildecken, wie die in diesem Projekt betrachteten HBV-Decken, müssen jedoch zunächst kraftschlüssig zu einer Scheibe verbunden werden. Die Verbindungen zwischen den HBV-Deckenelementen müssen die horizontale Kraftübertragung sicherstellen. Dabei treten Kräfte parallel und quer zur Fuge auf. Die parallel zur Fuge verlaufenden Kräfte sind über die Reibung in der Fuge zu übertragen, während Kräfte quer zur Fugenebene in einem Ringbalken aufgenommen werden.

Im Folgenden werden verschiedene Detaillösung zur Kopplung der Deckenelemente vorgestellt und deren Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Dazu werden die Verbindungen zunächst statisch bemessen. Der Dimensionierung liegen folgende Annahmen zugrunde. Es wird von einer Deckenscheibe mit 16,2 m Tiefe und 29,7 m Breite ausgegangen. Diese Breite entspricht ungefähr dem zulässigen Abstand zwischen Treppenhäusern (bzw. der max. Fluchtweglänge aus dem Brandschutzkonzept) und stellt die Stützweite der Deckenscheibe dar. Insgesamt besteht die Decke somit aus 2x11 HBV-Deckenelementen mit einer Länge von 8,1 m und einer Breite von 2,7m. Abbildung 69 zeigt den Grundriss eines FE-Modells der Deckenscheibe in SofiSTik.

Chart

Description automatically generated

Abbildung 1 vereinfachtes Gebäudemodell zur Ermittlung der Aussteifungskräfte

Abbildung 2 Referenzdecke zur Ermittlung der Koppelkräfte

Als Belastung wird überschlägig angenommen, dass ein Winddruck von 0,8 kN/m² und ein Windsog von 0,5 kN/m² wirkt. Die Geschosshöhe wird auf 3,5m festgelegt. Daraus ergeben sich Linienlasten am Deckenrand in der Höhe von 2,50 kN/m (Druck) bzw. 1,75 kN/m (Sog).

Aus diesen Lasten ergibt sich eine Koppelkraft zwischen den Deckenelementen von 43 kN (siehe Abbildung xy). Im Ringbalken fiele für diese Last eine Bewehrungsmenge von 1 cm² an. In den folgenden Details finden sich teilweise höhere Bewehrungsmengen, so dass auch höhere Lasten aufgenommen werden können Die Bewehrung / Ausnutzung ist jeweils angegeben.

Die Wahl der Verbindungsart ist von mehreren Randbedienungen abhängig. Die folgenden Varianten stellen Ausführungsvorschläge für unterschiedliche Randbedienungen dar.

Diagram

Description automatically generated

Abbildung 70 FE Modell mit Membrankräfte und Koppelkräften an den Fugen

## Ortbeton Ringbalken

Diagram

Description automatically generated

Abbildung 71 Grundriss und Schnitte: Kopplung der Deckenelemente durch Ortbeton-Ringbalken

Die Verbindung mittels eines Ringbalkens aus Ortbeton hat den Vorteil, relativ große Normalkräfte im Ringbalken aufnehmen zu können. Ein Ortbeton-Ringbalken kann höhere Bewehrungsmengen aufnehmen, da die Koppelung über einen Bewehrungsstoß erfolgt und nicht über die massiveren Koppler der folgenden Varianten. Diese Konstruktion erlaubt große Toleranzen und bietet ein hohes Maß an Flexibilität. Einbauteile ohne Krafteinleitung in die Decke, beispielsweise Q- Isokörbe und Schubdorne, können einfach eingebaut werden, sodass auch auskragende Balkone ausgeführt werden können

In diesem Detail sind je 3 Ø 10 Bewehrung oben und unten eingesetzt, entsprechend 4,7 cm². Das ist größer als 1,0 cm² Mindestbewehrung (und entspricht einer Ausnutzung von ~20%). Bei dieser Variante müssen die Bewehrungsstöße versetzt ausgeführt werden, Steckbügel bis Ø 8 sind möglich. In der Ortbetonausführung sind auch größere Stabdurchmesser möglich.

Die Längsfuge zwischen den Fertigteilen wird vergossen – ohne zusätzliche Fugenbewehrung, siehe Nachweis dazu unter 1.1.4

Der Nachteil der Ortbeton-Ringbalken besteht darin, dass die Rückbaumöglichkeiten begrenzt sind und ein Downcycling somit nicht zu vermeiden ist. Im Vergleich zu den im Folgenden dargestellten Fertigteilvarianten ist der Ortbeton-Ringbalken relativ langsam in der Herstellung. Aus konstruktiver Sicht sind zusätzliche Schutzmaßnahmen vor Betonfeuchtigkeit für das Holz nicht erforderlich. Aus optischen Gründen wird empfohlen, ein Kompriband oder ähnliche Abdichtungen als Schutz vor Verschmutzungen des Randträgers einzusetzen.

## Geschweißte Stahl-Verbindung

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

Abbildung 72 Grundriss und Schnitte: Stahlbauverbindung zur Kopplung der Fertigteile

Bei der in Abbildung xy dargestellten Verbindungsvariante mit angeschweißtem Stahlblech ist die Verwendung von Ortbeton auf die Vergussfuge begrenzt. Die Randbewehrung an den späteren Rändern der Deckenscheibe wird im Werk in die Fertigteile mit einbetoniert. Vor der Betonage werden in den Ecken Stahlbleche an die Randbewehrung geschweißt. Diese werden bei der Betonage ausgespart und bleiben zugänglich. Im Bauwerk werden nebeneinander liegenden Fertigteile durch Verschweißen der Stahlbleche verbunden. Die Öffnung kann nachträglich mit Mörtel vergossen werden oder mit einer Brandschutzplatte oder einem Faserbetondeckel für Inspektionen oder für eine spätere Demontage gegen Brandbelastung geschützt werden.

Die Stahlblech-Verbindung erlaubt weniger Toleranzen als der Ortbeton-Ringbalken, sodass diese bei der Bemessung der Schweißnaht zu berücksichtigen sind. Dafür ermöglicht sie einen schnelleren Bauablauf als bspw. die Ortbetonvariante, da das Stahlblech direkt nach dem Montieren verschweißt werden kann und danach die volle Tragfähigkeit erreicht ist.

Die Durchmesser der Randbewehrung sollen auf Ø12 begrenzt werden. Je 2 mal 2 Ø12 entsprechen 4,5 cm², das ist größer als die ermittelte Mindestbewehrung von 1,0 cm² (Ausnutzung wie vor~20%), die Bewehrungseisen sollen jeweils eine Schlaufe bilden, um eine ausreichende Nahtlänge zu erlauben. Steckbügel im Bereich des Fertigteils bis Ø 8 sind möglich.

Neben der Schweißung am Fertigteilstoß ist es denkbar, die Stahlbleche stahlbaumäßig mit Schrauben zu verbinden. Die Toleranzen der Fertigung können durch Langlöcher ausgeglichen und über eine vorgespannte gleitfeste Verbindung angeschlossen werden. Die Raumforderung dieser Konstruktion ist größer und erst ab einer Plattenstärke von 12 cm oder mehr sinnvoll zu realisieren. Der Rückbau ist bei der geschweißten Kopplung etwas aufwändiger als bei einer geschraubten Lösung. Zum Brandschutz ist die Koppeltasche zu vergießen oder mit Mineralwolle und Brandschutzplatte zu schließen.

Die Längsfuge zwischen den Fertigteilen wird vergossen – ohne zusätzliche Fugenbewehrung, siehe Nachweis dazu unter 1.1.4

## Bewehrungsverbindung über Koppelelemente

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

Abbildung 73 Grundriss und Schnitte: Kopplung der Deckenelemente durch Kopplungselemente für die Bewehrung

Bewehrungsanschlüsse von beispielsweise BGW-Bohr GmbH oder HALFEN (siehe Abbildung oben) erlauben eine hohe Montageflexibilität und einen geringen Aufwand auf der Baustelle. Wie zuvor bei der Variante mit Stahlbelchen wird die Randbewehrung bereits im Werk einbetoniert. Auch hier werden bei der Betonage werden die Plattenecken ausgespart. Die Randbewehrung stehen aus dem Beton in den ausgesparten Eckbereich vor. Je nach Wahl des Koppelelements ragen die Eisen als freies Stabende hervor oder sind zu einer Schlaufe gebogen. Bei schmalen Trägern oder ungeraden Stabanzahlen ist die Variante mit freien Stabenden zu bevorzugen. Benachbarte Fertigteile können im Bauwerk direkt nach dem Einheben gekoppelt werden. Die Variante ist in der Herstellung somit schneller und weniger aufwändig als die Lösung mit Ortbeton-Ringbalken oder geschweißten Stahlblechen. Wie bereits bei der Stahlblech Variante kann die Öffnung durch eine Brandschutzplatte oder einen Faserbetondeckel abgedeckt werden oder vergossen werden.

Die Kopplungselemente sind lösbar und ermöglichen einen vollständigen Rückbau. Der Verguss der Koppeltasche ist einfacher, aber stellt größere Anforderungen beim Rückbau.

Bei der Verwendung vom BGW-Bügelschloss ist die Randbewehrung auf 4 Ø12 (entsprechend 4,52 cm²) bzw. 2 Ø 16 (entsprechend 4,0 cm²) begrenzt. Der HALFEN MBT ist für ungerade Stabanzahl geeignet.

Die Längsfuge zwischen den Fertigteilen wird vergossen – ohne zusätzliche Fugenbewehrung, siehe Nachweis dazu unter 1.1.4

## Fugenbemessung

Die Längsfugen zwischen den Fertigteilplatten werden in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1:2011-01, Abschnitt 6.2.5 geplant. Diese Fugen übertragen Schubkräfte parallel zu den Fugen und sollen unbewehrt ausgeführt, also nur vergossen werden, um Flexibilität und Zirkularität zu gewährleisten. Die Fugen werden „rau“ ausgeführt und für Schubkräfte parallel zur Fugenebene nachgewiesen. Der Nachweis ist nach DIN EN 1992-1-1/NA zu führen.

nRdi = c • fctd + μ • σn + ρ • fyd • (μ • sin α + cos α) ≤ 0,5 •⋅n • fcd (6.25)

Mit

ν: nach DIN EN 1992-1-1/NA, zu 6.2.2 (6) ist  für eine raue Fuge = 0,5

c: nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 (2) ist c für eine raue Fuge = 0,4

Der Bemessungswert der Betonzugfestigkeit wird definiert als

fctd = αct • fctk;0,05 / γ~~C~~ (3.16)

fctd = 0,85 • 2,0 / 1,5 = 1,13 MN/m²

Der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit wird definiert als

fcd = αcc • fck / γC (3.15)

fcd = 0,85 • 30 / 1,5 = 17 MN/m²

σn: Spannung Quer zur Fugenebene  0, auf der sicheren Seite liegend

ρ: As/Ai: Verhältnis der fugenkreuzenden Bewehrung zu der Fugenfläche  0

Damit wird nRdi = c • fctd ≤ 0,5 •⋅n • fcd

nRdi = 0,4 • 1,13 = 0,45 ≤ 0,5 • 0,5 • 17 = 4,25 [N/mm²]

Für eine Ausführung mit 10 cm Deckenplatte und einer Fugenlänge von 16,2 m können je Vergussfuge 729 kN übertragen werden.

V,längs = 0,45 x 0,1 x 16,2 = 0,729 MN entspr. 729 kN.

Chart, histogram

Description automatically generated

Abbildung 74 Auflagerreaktionen GzT am Referenzmodell

Die am Referenzmodell ermittelten Lasten betragen 94 kN im Lastfall GzT. Eine Ausführung ohne Fugenbewehrung und mit rauer Fuge kann die auftretenden Lasten aufnehmen. 729 kN > 94 kN.

Die unbewehrte Längsfuge kann beim Rückbau mechanisch gelöst werden. Wenn die Koppeltaschen nicht vergossen, sondern mit Brandschutzplatten verschlossen wurden, ist der Rückbau der Deckenelemente besonders einfach.

## Zusammenfassung und Fazit

Die unterschiedlichen Scheibenkopplungen übertragen alle ähnliche Maximalkräfte; gegenüber den am Referenzmodell ermittelten Mindestlasten sind höhere Lasten aufnehmbar, so dass auch statisch anspruchsvollere Deckensysteme möglich sind wie schmalere Deckenfelder oder horizontal auskragende Deckenscheiben.

Die Varianten unterscheiden sich daher nur durch die Herstellung/Bauweise und nicht durch ihre Tragfähigkeit.

Die Variante 1 mit dem Ortbetonringbalken ist besonders wirtschaftlich, in der Herstellung etwas langsamer als die beiden anderen Varianten, weil zur Erreichung der Tragfähigkeit der Ortbetonbalken aushärten muss. Der Längsfugenverguss erfolgt mit eine Spezialmörtel, der üblicherweise nach 24h tragfähig ist.

Die Variante 2 mit der geschweißten oder geschraubten Kopplung ist aufwändiger in der Montage, aber schneller, weil nur mit Spezialmörtel vergossen wird, der entsprechend schnell härtet. Das Schweißen oder Verschrauben der Konstruktion erlaubt weniger Toleranzen bzw. stellt höhere Anforderungen an die Genauigkeit der Fertigteile.

Variante 3 mit den Bewehrungskopplern erlaubt die schnellste Montage, ist aber teurer durch den Einsatz dieser Spezialverbinder.

Die Rückbaubarkeit bzw. die Zirkularität der Konstruktion ist umgekehrt zur Wirtschaftlichkeit bei Variante 3 am günstigsten und bei Variante 1 am aufwändigsten.

Die unterschiedlichen Varianten zur Scheibenausbildung werden anhand von folgenden Randbedingungen zu bewerten sein:

* Wirtschaftlichkeit
* Zirkularität bzw. Rückbaubarkeit
* Baugeschwindigkeit bzw. Vorfertigung
* Präferenzen des Lieferanten der HBV Decke

Diese Bewertung wird erst in der Projektumsetzung und für jeden Fall getrennt erfolgen können. Für das Forschungsprojekt ist als Optimierungsziel allerdings ausdrücklich die Wirtschaftlichkeit der Konstruktion gefordert, damit ist im Rahmen dieser Studie die Option 3.17.1 Ortbeton Ringbalken die optimale, weil wirtschaftlichste Variante.