

Schöck Isokorb® – Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der Langzeiteigenschaften

Ausragende Bauteile wie Balkone stellen Wärmebrücken dar und werden daher im Verbindungsbereich standardmäßig mit den tragenden Wärmedämmelementen Schöck Isokorb® entkoppelt. Infolge üblicher Nutzlasten treten Verformungen sowie Schwingungen in der Balkonplatte auf, welche zusätzlich durch die Wahl des Anschlusselements beeinflusst werden. Dieser Beitrag zeigt anhand von Untersuchungen an der MPA Karlsruhe, welchen Einfluss der Schöck Isokorb® auf die Eigenfrequenz der Balkonplatte und damit auch auf deren Schwingungsverhalten ausübt. Zudem werden in Abhängigkeit von Materialien wie nichtrostender Stahl- oder Glasfaserbewehrung produktbezogene Drehfedersteifigkeitswerte abgeleitet und die zugehörige Berechnungsformel validiert. Die daraus ermittelten Steifigkeitswerte können in die Gebrauchstauglichkeitsnachweise von FE-Programmen einfließen. Dem Planer bietet sich damit die Möglichkeit einer präzisen Verformungsberechnung bei der Bauwerksmodellierung.

Stichworte Balkonplatte; Gebrauchstauglichkeit; Steifigkeit; Drehfedersteifigkeit; Ermüdung; Schwingung; Eigenfrequenz; Verformung; Wärmedämmelement; Schöck Isokorb®

1 Einleitung

Die langjährige und partnerschaftliche Zusammenarbeit der Schöck Bauteile GmbH mit der MPA Karlsruhe reicht bis in das Jahr 1984 zurück. Vor allem der hohe Anspruch an Qualität und Sicherheit sorgt dafür, dass verschiedenste Entwicklungs- und Zulassungsprüfungen von Schöck-Produkten gemeinsam erfolgreich durchgeführt wurden. Anhand der hier beschriebenen Versuchsserie zeigt sich einmal mehr die herausragende Ausstattung des Prüflabors der MPA Karlsruhe, die anspruchsvolle Versuche ermöglicht.

Die Schöck Bauteile GmbH ist ein Unternehmen der weltweit tätigen Schöck Gruppe mit 13 internationalen Vertriebsstandorten und über 1000 Mitarbeitenden. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung und Herstellung von nachhaltigen Produkten, die mit hohem bauphysikalischem Nutzen und besonderen Material- und Einbaueigenschaften aktuelle Anforderungen der Baubranche beantworten. Dazu gehören Lösungen zur Verminderung von Wärmebrücken an ausragenden Bauteilen wie Balkonen, Lösungen zur Vermeidung von Trittschall in Treppenhäusern sowie thermisch trennende Fassadenbefestigungen und zeitgemäße Bewehrungstechnik.

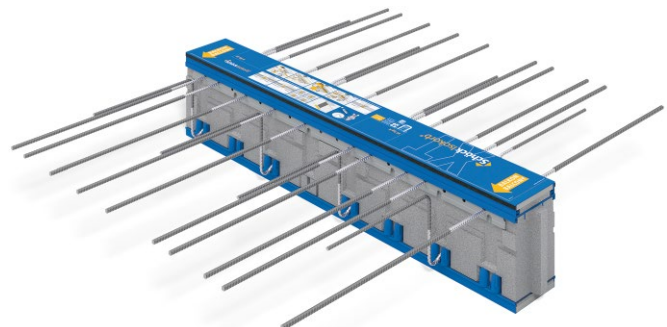
Schöck Isokorb® – Serviceability under consideration of the long-term properties

Cantilever components such as balconies produce thermal bridges, and therefore it is standard practice to isolate them in the connection area with the Schöck Isokorb® load-bearing thermal insulation element. Normal live loads cause deformations and vibrations to occur in the balcony slab that are further influenced by the choice of connection element. This article shows the effect of Schöck Isokorb® on the natural frequency of the balcony slab and thus also on its vibration behaviour, based on investigations at the Materials Testing and Research Institute (MPA Karlsruhe). Additionally, product-related torsion spring strength values are derived depending on materials such as stainless-steel or glass-fibre reinforcement, and the corresponding calculation formula is validated. The stiffness values determined from this can be used in serviceability checks within FE programs. This offers designers the possibility of a precise deformation calculation during structural modelling.

Keywords balcony slab; serviceability; stiffness; torsional spring stiffness; fatigue; vibration; natural frequency; deflection; thermal insulation element; Schöck Isokorb®

Wärmebrücken an ausragenden Bauteilen sind häufig die Ursache für erhöhten Heizwärmeverlust, feuchte Wände und Schimmelpilzbildung. Das tragende Wärmedämmelement Schöck Isokorb® (Bild 1) minimiert Wärmebrücken auf höchstem Niveau, vermeidet damit Bauschäden und bietet dem Planer optimalen Gestaltungsfreiraum. Das Haupteinsatzgebiet ist hierbei der Anschluss von Balkonen.

Das Prinzip einer materialbedingten Wärmebrücke, die durch eine ausragende Platte entsteht, wird in Bild 2



Quelle: Schöck Bauteile GmbH

Bild 1 Schöck Isokorb®, Produktabbildung
Schöck Isokorb®, product illustration

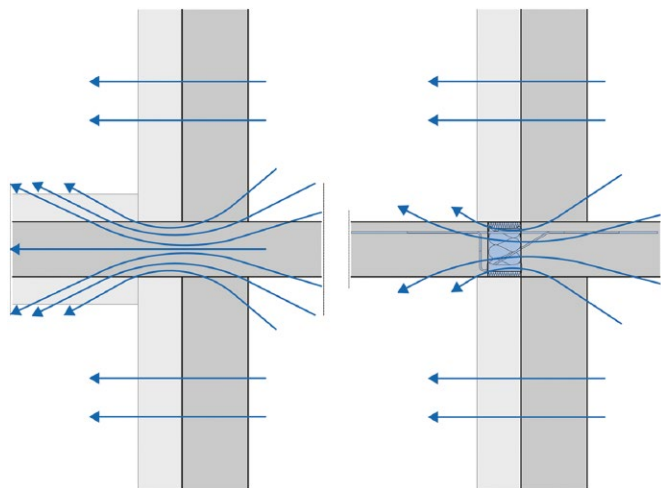


Bild 2 Wärmebrücke und Wärmeverlust links ohne, rechts mit Schöck Isokorb®
Thermal bridge and thermal loss left without, right with Schöck Isokorb®

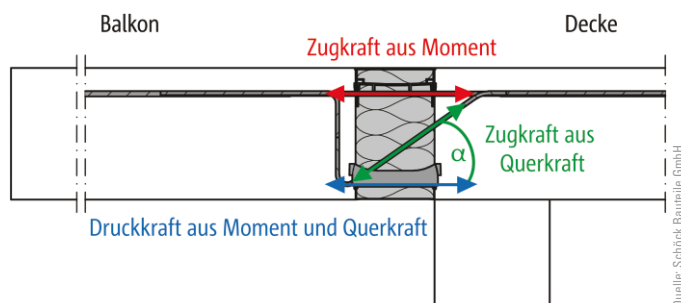


Bild 3 Schöck Isokorb®, inneres Fachwerk
Schöck Isokorb®, interior truss

veranschaulicht. Die Dämmschicht an der Außenwand wird durch die Stahlbetonplatte mit vergleichsweise hoher Wärmeleitfähigkeit durchdrungen. An dieser Stelle treten nun erhöhte Wärmeströme auf und setzen die Dämmeigenschaft der Gebäudehülle herab. Links in Bild 2 sind die Wärmeverluste eines ungedämmten Anschlusses schematisch dargestellt. Mit der rechts gezeigten Produktlösung Schöck Isokorb® lassen sich die Wärmeströme hingegen auf ein Minimum reduzieren.

Durch das Durchtrennen des tragenden Bauteils ist bei einem auskragenden Balkon aufgrund seines Eigengewichts, seiner Ausbau- und Verkehrslast am Anschluss ein Biegemoment und eine Querkraft mittels Schöck Isokorb® zu übertragen. Hierfür werden Zug- und Druckkomponenten fachwerkartig angeordnet (Bild 3). Der Zwischenraum besteht aus einem Dämmstoff mit besonders niedriger Wärmeleitfähigkeit bzw. hohem Wärmedurchlasswiderstand.

Das einwirkende Moment wird im Anschlusselement in eine oben liegende Zugkraft (rot) und eine unten liegende Druckkraft (blau) im Fachwerk aufgeteilt. Die Querkraft wird durch einen schräg durch die Dämmfuge verlaufenden Querkraftstab (grün) übertragen. Die Komponenten zur Zugkraftübertragung bestehen im Bereich des Dämmkörpers sowie 100 mm links und rechts davon aus hoch-

tragfähigem nichtrostendem Stahl, an dessen Enden Betonstahl angeschweißt ist. Dieser sorgt im angrenzenden Stahlbeton für den nötigen Verbund und die Krafteinleitung in die Platten. Der nichtrostende Stahl im Fugenbereich stellt dabei den notwendigen Korrosionsschutz sicher und bietet gleichzeitig eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit gegenüber dem üblichen Betonstahl. Alternativ kann auch Schöck Combar® aus glasfaserbewehrtem Kunststoff eingesetzt werden, welcher einen nochmals erheblich höheren Wärmedurchlasswiderstand gegenüber nichtrostendem Stahl aufweist. Die Druckkomponenten sind Drucklager HTE-Compact®, die aus mikrostahlfaserbewehrtem ultrahochfestem Feinbeton bestehen. Mit ihren besonders hohen Wärmedurchlasswiderständen wurden sie speziell für diesen Einsatzzweck entwickelt. Optional werden bei wechselseitiger Beanspruchung Stahldruckstäbe verwendet.

Der Schöck Isokorb® ist modular aus drei statischen Tragkomponenten aufgebaut: Zugstäbe, Querkraftstäbe und Drucklager HTE-Compact®. Diese sind in einem Neopor® Dämmkörper fixiert. Die drei Tragkomponenten gibt es in Ausführungen unterschiedlicher Durchmesser, Längen und Formen. In Kombination mit verschiedenen Dämmkomponenten ergeben sich dadurch nahezu beliebig viele Produktvarianten.

2 Problemstellung

Mittlerweile gehört das Minimieren von Wärmebrücken zum Arbeitsalltag der Planer und die Produktlösung Schöck Isokorb® wird als Stand der Technik angesehen. Mit den steigenden Anforderungen der Nutzer an das Gebäude ergeben sich ergänzende Fragestellungen an die Hersteller. Zwei Themen gewinnen hier immer mehr an Bedeutung: Durch das Modellieren und das Bemessen der Bauwerke mit FE-Programmen wünschen sich die Planer zum einen systemabbildende Eingangsparameter wie Steifigkeitswerte vom Hersteller, um das Bauteil möglichst realitätsnah zu modellieren. Zum anderen rückt die Gebrauchstauglichkeit des Bauteils mit stetig zunehmender Balkonauskragung immer mehr in den Fokus. Unter Gebrauchstauglichkeit wird dabei das Verformungs- und Schwingverhalten bei Berücksichtigung des Anschlusses verstanden. Nach aktuellen Umfragen wird die Entwässerung des Balkons zu mehr als 70% über ein Gefälle zum Gebäude hin ausgeführt (Bild 4). Dies erfolgt meist aus optischen Gründen, sodass das Regenfallrohr an der Hauswand liegt und möglichst nicht sichtbar im Vordergrund sein soll. Um eine intakte Entwässerung zum Gebäude hin über die gesamte Bauteillebensdauer zu gewährleisten, muss die Überhöhung des Balkons vom Planer unter Berücksichtigung der verschiedenen Einwirkungen ermittelt werden.

Die steigende Bedeutung des Schwingverhaltens lässt sich auf den Wunsch nach höheren Komfortstandards zurückführen. Die Entwicklung hin zu größeren Auskragungslängen und schlankeren Bauteilen verstärkt die

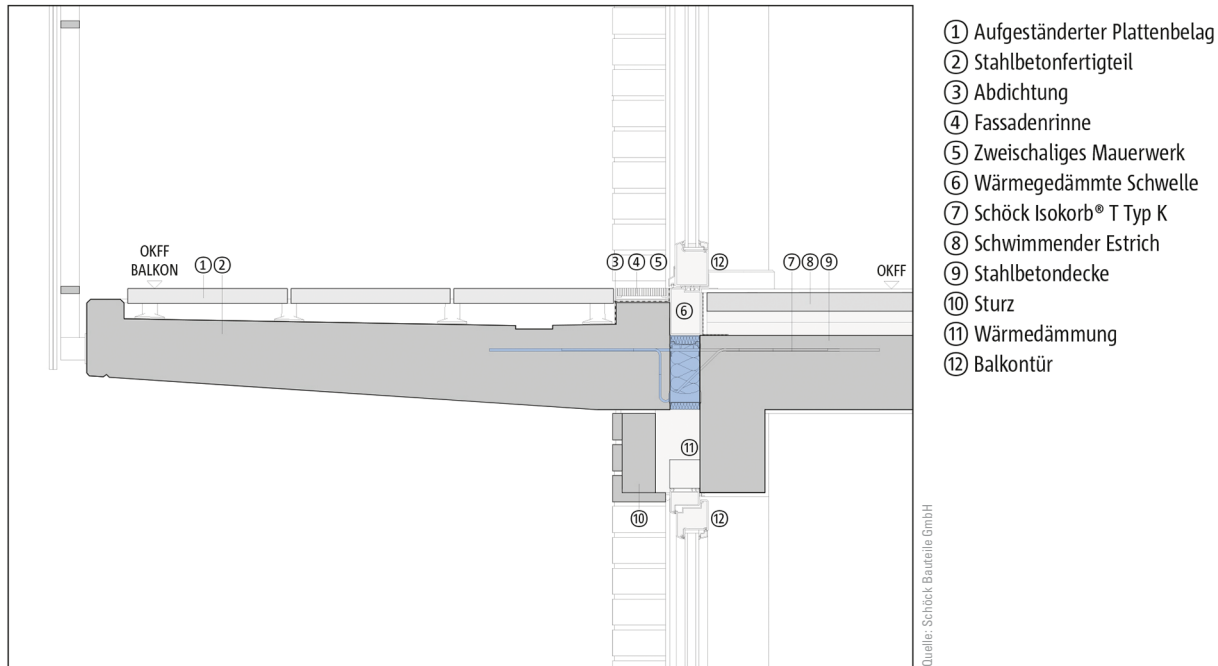


Bild 4 Anschluss frei auskragender Balkon an Stahlbetondecke mit Entwässerungsrichtung zum Gebäude
Connection of cantilevered balcony to reinforced concrete slab with drainage direction to the building

Schwinganfälligkeit der Balkone. Zur Schwingungsbegrenzung gibt es jedoch keine normativen Regelungen in Deutschland. Dem Planer eine einfache und eindeutige Aussage zur Schwingungsbegrenzung eines Stahlbetonbalkons zu geben und ihm die Bemessung der Gebrauchstauglichkeit des Balkons zu erleichtern, sieht Schöck als eine Herausforderung an, die durch die nachfolgend beschriebenen Versuche und die neuen produktbezogenen Parameter wie Drehfedersteifigkeitswerte zur Berechnung der Verformung gelöst werden.

Die European Engineered Construction Systems Association e.V. empfiehlt eine Begrenzung der ersten Eigenfrequenz des Systems auf $\geq 7,5$ Hz. Dabei handelt es sich um eine konservative Empfehlung, bei der unter anderem keine Dämpfung berücksichtigt wurde [2]. Eine ingenieurmäßige Erklärung für den Grenzwert der Eigenfrequenz $> 7,5$ Hz bietet die Betrachtung einer menscheninduzierten dynamischen Beanspruchung eines Balkons durch „mutwilliges Hüpfen“. Da die zugehörige Erregerfrequenz vorwiegend in einem Bereich von 1,8 Hz bis 3,4 Hz liegt, wird im vorliegenden Fall eine maximale Frequenz von 3,4 Hz angenommen. Da eine Schwingung auch durch ein Vielfaches dieser Frequenz angeregt werden kann, ist ebenso zu der doppelten Erregerfrequenz von 6,8 Hz (2. Harmonische) ein Sicherheitsabstand von etwa 10% empfehlenswert. Dadurch lässt sich der Grenzwert 7,5 Hz ableiten. Durch eine Frequenzabstimmung (hier: Bauteileigenfrequenz höher als Erregerfrequenz) lässt sich das Zusammentreffen von Bauteileigenfrequenz und möglichen Erregerfrequenzen (Resonanzfall) vermeiden [3]. Es handelt sich bei dieser Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit um eine Bewertung auf Basis des menschlichen Wohlbefindens. Es ist eine Frage der subjektiven Wahrnehmung, ob eine bestimmte Schwingungsfrequenz als unangenehm empfunden wird oder nicht. Der emp-

fohlene Grenzwert von 7,5 Hz dient jedoch als etablierter Richtwert.

Das Ziel der Versuche war zum einen, die Parameter zur Berechnung der Drehfedersteifigkeit zu bestimmen, mit der es möglich ist, die Drehfedersteifigkeit für beliebige Komponentenbestückungen des Schöck Isokorb® realitätsnah abzuschätzen. Damit lassen sich zur Balkonbemessung mit FE-Programmen die Schnittkraftverläufe und das daraus resultierende Verformungsverhalten originalgetreu ermitteln. Zum anderen ging es um die Validierung der Berechnungsformel zur Abschätzung der Eigenfrequenz eines freiausragenden Balkons mit Schöck Isokorb® unter Berücksichtigung von Langzeiteigenschaften.

Die Eigenfrequenzen des Feder-Masse-Systems (Schöck Isokorb®-Balkon-System) kann mithilfe von Gl. (1) für ungedämpfte Schwingung abgeschätzt werden. Hierbei handelt es sich um einen Schwinger mit einem rotatorischen Freiheitsgrad, der eine Drehschwingung um die Einspannstelle ausführt. Einfluss auf die Eigenfrequenz haben die Drehfedersteifigkeit k_ϕ , welche durch den Schöck Isokorb® Anschluss beeinflusst wird, und das Massenträgheitsmoment J der Balkonplatte, welches von der Balkongeometrie und der Masse beeinflusst wird.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_\phi}{J}}; \text{ mit } J = \left(\frac{1}{3} L^2 \right) M \quad (1)$$

mit:

k_ϕ	Drehfedersteifigkeit Schöck Isokorb®
ω	Kreisfrequenz
J	Massenträgheitsmoment
L	Balkonauskragungslänge
M	Masse Balkon

Da bei den Versuchen zur Aufbringung der Belastung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit eine massive Gewichtsplatte aus Beton verwendet wurde, erfolgt eine genauere Abschätzung des Massenträgheitsmoments J gemäß Gl. (2) durch Berücksichtigung der Höhe der gesamt wirkenden Masse von Balkon- und Gewichtsplatte.

$$J = \left(\frac{1}{3} L^2 + \frac{1}{12} H^2 \right) M \quad (2)$$

mit:

H Balkonhöhe + Höhe Gewichtsplatte

Von besonderem Interesse für den Planer ist eine zuverlässige Abschätzung der Drehfedersteifigkeit k_ϕ von Schöck Isokorb® Anschlüssen. Diese lässt sich mit Gl. (3) rechnerisch abschätzen. Effekte aus Werkstoffeigenschaften und der Bestückung werden über $k_{\phi,Z}$ (Zugkomponente) und $k_{\phi,D}$ (Druckkomponente) berücksichtigt. Ziel der Versuche war es, die Einflussparameter bestmöglich abzuleiten und zu definieren, um so für unterschiedliche Isokorb® Tragstufen und Höhen die Drehfedersteifigkeit k_ϕ bestimmen zu können. Durch das Parallelschalten der beiden versuchskalibrierten Steifigkeitskennwerte ergibt sich die Gesamtdrehfedersteifigkeit des Wärmedämmelements gemäß Gl. (3):

$$k_\phi = \frac{1}{\frac{1}{k_{\phi,Z}} + \frac{1}{k_{\phi,D}}} \quad (3)$$

3 Experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Produktsteifigkeiten und der Eigenfrequenzen

3.1 Versuchsplanung

Die an der MPA Karlsruhe durchgeführten Bauteilversuche mit dem Schöck Isokorb® sollten Aufschluss über die Produktsteifigkeiten und Eigenfrequenzen des Systems Balkonplatte/Anschluss unter Gebrauchslast im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) unter Berücksichtigung von Temperatureinflüssen geben. Es wurden fünf Produktvarianten des Schöck Isokorb® mit unterschiedlichen Zug-, Druckkomponenten und Dämmfugenbreiten für die Versuchsserie ausgewählt, um so den Einfluss aller produktrelevanten Parameter zu quantifizieren.

So wurden bei den Zugkomponenten Ausführungen mit Bewehrung aus nichtrostendem Stahl in verschiedenen Durchmessern und eine Ausführung mit Glasfaserbewehrung (Schöck Combar®) untersucht. Bei den Druckkomponenten wurden zwei Ausführungsvarianten untersucht: die Drucklanger HTE-Compact®, bestehend aus mikrostahlfaserbewehrtem ultrahochfestem Feinbeton, und Stahldruckstäbe aus nichtrostendem Stahl. Die geprüften Isokorb® Produktvarianten sind in Tab. 1 gegenübergestellt. Deren Bestückung wurde so gewählt, dass alle Varianten ein vergleichbares Bemessungswiderstandsmoment M_{Rd} aufwiesen.

Die Herausforderung bei der Messung von Balkoneigenfrequenzen allgemein ist das Aufbringen der im zu untersuchenden Einwirkungszustand vorherrschenden Belastung. Damit das Feder-Masse-System aus Balkon inklusive Belastung und Schöck Isokorb® Anschluss frei schwingen kann, muss die Belastung in Form von Gewichten aufgebracht werden. Ein Prüfzylinder hingegen würde freie Schwingungen blockieren.

Aus diesem Grund wurde für die Versuche eine Gewichtsplatte aus Stahlbeton mit der gleichen Grundfläche wie die Balkonplatte hergestellt, welche mittels Gewindestangen auf der Unterseite der Balkonplatte starr fixiert werden konnte. Gemäß Gl. (1) nimmt die Lage der auf den Balkon wirkenden Auflasten, wie etwa eine schwere Brüstung, über das Massenträgheitsmoment Einfluss auf die Eigenfrequenz des Bauteils. Die Masse der Gewichtsplatte war so dimensioniert, dass sich aus dem Eigengewicht der Balkonplatte und der angebrachten Gewichtsplatte ein einwirkendes Moment am Anschluss von mindestens 55 % des Bemessungsmoments M_{Rd} ergab.

Das Verhältnis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit (GZG) zum Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) von 0,55 ergibt sich aus der Annahme eines Lastverhältnisses von zwei Drittel ständigen Lasten (g) zu ein Drittel Verkehrslasten (q) unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte der jeweiligen Lastarten und Grenzzustände [4]. In Gl. (4) ist der Zusammenhang dargelegt.

$$\begin{aligned} \frac{GZG}{GZT} &= \frac{1,0 \cdot g + 0,3 \cdot q}{1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q} \\ &= \frac{1,0 \cdot \frac{2}{3} u + 0,3 \cdot \frac{1}{3} u}{1,35 \cdot \frac{2}{3} u + 1,5 \cdot \frac{1}{3} u} = 0,55 \end{aligned} \quad (4)$$

Tab. 1 Bauteilvarianten
Component variants

	Schöck Isokorb®				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Dämmfuge [mm]	80	80	120	120	120
Zugkomponenten	NR-Stahl Ø6,5	NR-Stahl Ø10	NR-Stahl Ø10	NR-Stahl Ø12	Combar® Ø13
Druckkomponenten	HTE-Compact®	HTE-Compact®	HTE-Compact®	NR-Stahl Ø12	HTE-Compact®

Um die Eigenfrequenzen zu ermitteln, wurden mithilfe eines Unwuchterregers, welcher gezielt eine einaxiale Unwucht erzeugt, durch Durchlaufen eines sogenannten Sweep alle Frequenzen von 2 Hz bis 80 Hz über einen Zeitraum von 3 Minuten hinweg angeregt. Durch mehrere auf der Balkonplatte angebrachte Beschleunigungssensoren wurde die Reaktion des Feder-Masse-Systems auf die jeweilige Erregerfrequenz gemessen. Mittels Fouriertransformation der während des Durchlaufens des Sweep gemessenen Beschleunigungssignale wurden Frequenzspektren generiert, aus welchen sich die Eigenfrequenzen bestimmen ließen.

3.2 Versuchsaufbau

Der Balkon mit einer konstanten Höhe von 20 cm hatte zusammen mit der Gewichtsplatte eine Balkonlänge von 1,8 m und wurde an eine Platte aus Standardbeton mit ähnlichen Abmessungen angeschlossen. Das Widerlager wurde so konstruiert, dass Nebeneffekte aus der Deckenverformung und Deckenverdrehung ausgeschlossen werden konnten. In Bild 5 ist auf der Balkonplatte der Unwuchterreger vertikal über dem Massenschwerpunkt stehend zu erkennen, was dem Versuchsaufbau zur Anregung der Rotationsschwingung entspricht. Zur Anregung in horizontaler Richtung parallel zur Anschlussfuge konnte der Unwuchterreger entsprechend liegend auf der Balkonplatte befestigt werden.

3.3 Versuchsdurchführung

Um den Einfluss verschiedener Bauteilzustände bei einer simulierten Bauteillebenszeit von 25 Jahren zu erfassen, wurde die Balkonplatte zwischen den einzelnen Zuständen im Massenschwerpunkt zu Schwingungen angeregt und die Eigenfrequenz gemessen (Bild 6). In jedem Zwi-

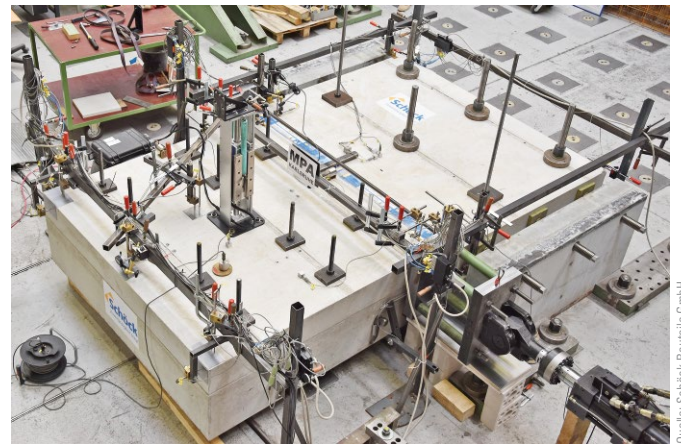


Bild 5 Versuchsaufbau
Experimental setup

schenstand wurde das Bauteil sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung nacheinander angeregt und gemessen. Nach dem Aktivieren der Gewichtsplatte wurden sechs Zwischenstände unter Auflast jeweils mit mindestens 50 Zyklen und mit unterschiedlichen horizontalen Auslenkungen dokumentiert. Anschließend wurde die Gewichtsplatte abgenommen und der entlastete Zustand betrachtet. Im letzten Schritt wurden in Summe 50% der Gesamtlastwechsel eines Ermüdungsversuchs beim Bauteil wieder unter Last aufgebracht und damit eine mittlere Bauteillebenszeit von 25 Jahren geprüft.

Ein Balkon ist als externes Bauteil außerhalb der Fassade den äußeren Temperaturschwankungen ausgesetzt und erfährt über seine Anschlusslänge hinweg aufgrund der Temperaturdehnungseigenschaften von Stahlbeton wechselhafte Längungen und Verkürzungen. Bei einem wie in Bild 7 dargestellten auskragenden Balkon ergeben sich die maximal auftretenden horizontalen Verformungsänderungen ($\max v_h$) gleichermaßen an beiden Anschluss-

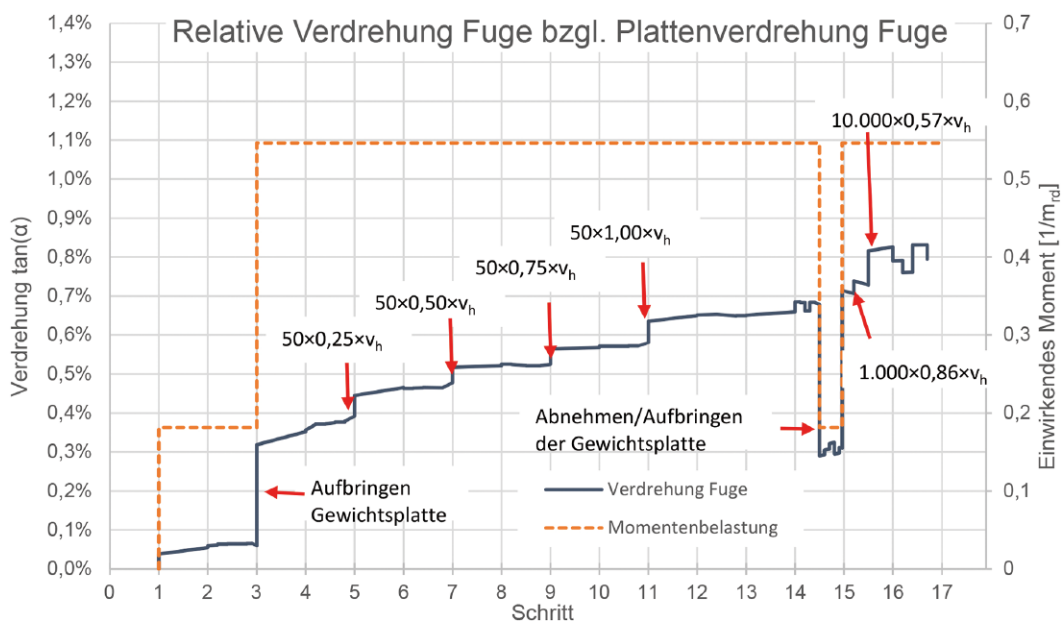


Bild 6 Verformungsmessungen
Deflection measurements

rändern, da der Festpunkt des Balkons in der Mitte der Anschlusslänge (s_{Fuge}) liegt.

In Anlehnung an das in [1] beschriebene Prüfverfahren zur Untersuchung des Ermüdungsverhaltens von tragenden Wärmedämmelementen bei thermischer Einwirkung wurden zwischen den einzelnen Eigenfrequenzmessungen unterschiedliche Horizontalverschiebungen parallel zur Dämmfuge aufgebracht. Dies wurde durch einen seitlich angeordneten horizontalen Prüfzylinder ermöglicht (vgl. Bild 5). Von besonderem Interesse war hierbei die Änderung der Langzeiteigenschaften hinsichtlich Steifigkeit und Schwingungsverhalten des Schöck Isokorb®.

Die horizontale Verschiebung v_h wird gemäß Gl. (5) bestimmt.

$$v_h = \pm \frac{s_{\text{Fuge}} \cdot \alpha_c \cdot \Delta T}{4} \quad (5) \text{ Quelle: [1]}$$

mit:

s_{Fuge} Dehnfugenabstand
 α_c Temperaturdehnzahl Beton
 ΔT Temperaturänderung

Da die fünf Produktvarianten mit unterschiedlichen Komponenten bestückt waren, ergaben sich für jede Variante individuell aufzubringende horizontale Verschiebungsgrößen.

3.4 Versuchsergebnisse

3.4.1 Eigenfrequenzmessung

Zwischen den einzelnen Versuchsschritten (Bild 6) wurden die Eigenfrequenzen der Drehschwingung (Tab. 2) und der Schwingung parallel zur Fuge (Tab. 3) gemessen.

Alle fünf Produktvarianten weisen vergleichbare Momentenwiderstände auf, unterscheiden sich jedoch in Bestückung, Material und Dämmfugenbreite (Tab. 1). Bei der Gegenüberstellung von Variante 1 und 2 zeigt sich, dass sich ein größerer Querschnitt der Zugkomponente posi-

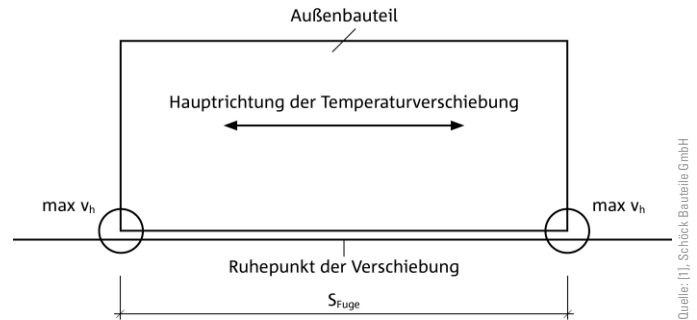


Bild 7 Verformungen infolge thermischer Einwirkungen
Deformation due to thermal changes

tiv auf die Drehfedersteifigkeit des Anschlusses auswirkt. Bei den Varianten 2 und 3 mit identischer Bestückung steigen die Eigenfrequenzen mit zunehmender Dämmfugenbreite. Die Zugkomponente der Variante 5 besteht abweichend zu den anderen vier Varianten aus der Glasfaserbewehrung Schöck Combar® und zeigt das beste Verhalten hinsichtlich des Verdrehens unter Ermüdungsbeanspruchung. Bei allen Varianten ist eine Abnahme der Eigenfrequenzen mit zunehmenden Lastwechseln zu beobachten.

3.4.2 Federsteifigkeit parallel zur Fuge

Die zyklischen Versuche ergaben, dass die zum horizontalen Verschieben der Balkonplatte erforderliche Horizontalkraft F_h von der aufgetragenen Verformungshistorie abhängt und ein deutlich nichtlineares Verhalten aufweist (Bild 8). Die Steifigkeit in horizontaler Richtung parallel zur Fuge $k_{||}$ lässt sich aus dem Quotienten aus Horizontalkraftänderung ΔF_h und Änderung der horizontalen Verformung Δv_h bestimmen.

$$k_{||} = \frac{\Delta F_h}{\Delta v_h} \quad (6)$$

Wie Bild 8 exemplarisch zeigt, kann somit die Federsteifigkeit parallel zur Dämmfuge nicht als unabhängiger Kennwert angegeben werden. Es sind vielmehr die Einbausituation im Bauwerk sowie die damit verbundenen horizontalen Verformungen mit zu berücksichtigen.

Tab. 2 Eigenfrequenz (Drehschwingung)
Natural frequency (torsional vibration)

Versuchsschritt	Eigenfrequenz Schöck Isokorb® [Hz]				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
2 (ohne Gewicht)	13,2	14,0	13,4	13,5	13,3
4 (mit Gewicht)	7,4	8,0	7,5	7,6	8,0
6 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 0,25 \cdot v_h$)	7,5	7,6	7,2	7,5	7,8
8 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 0,5 \cdot v_h$)	7,3	7,6	7,0	7,5	7,8
10 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 0,75 \cdot v_h$)	7,3	7,6	6,9	7,3	7,8
12 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 1,0 \cdot v_h$)	7,2	7,6	6,8	7,2	7,7
13 (nach Entfernen Dämmkörper)	7,2	7,5	6,8	7,1	7,6
14 (ohne Gewicht)	11,7	11,2	10,8	11,1	11,3
16 (mit Gewicht, nach $1000 \cdot 60 \text{ K} + 10000 \cdot 40 \text{ K}$)	7,1	7,4	6,7	7,1	7,5

Tab. 3 Eigenfrequenz (parallel zur Fuge)
Natural frequency (parallel to the joint)

Versuchsschritt	Eigenfrequenz Schöck Isokorb® [Hz]				
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
2 (ohne Gewicht)	59,0	65,3	52,9	33,5	46,6
4 (mit Gewicht)	30,9	44,1	37,9	18,7	37,5
6 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 0,25 \cdot v_h$)	30,5	43,5	37,2	16,6	26,3
8 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 0,5 \cdot v_h$)	29,6	41,0	36,7	15,2	26,1
10 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 0,75 \cdot v_h$)	29,2	42,5	36,6	14,4	26,1
12 (mit Gewicht, nach $50 \cdot 1,0 \cdot v_h$)	–	40,6	37,6	13,1	25,7
13 (nach Entfernen Dämmkörper)	23,9	38	35,4	10,9	19,6
14 (ohne Gewicht)	40,8	46,2	32,4	16,9	32,2
16 (mit Gewicht, nach $1000 \cdot 60 \text{ K} + 10000 \cdot 40 \text{ K}$)	23,6	37,7	35,6	10,0	18,9

3.4.3 Drehfedersteifigkeit

Ziel dieser Bauteilversuche war es, ein analytisches Rechenmodell zur Bestimmung der Drehfedersteifigkeit zu finden. Für die Auswertung wurden die Versuchszustände vor und nach dem Anbringen der Hälfte der Lebenslastzyklen herangezogen. In Versuchsschritt 14 wurde die Balkonplatte von der Gewichtsplatte entlastet, der Nullzustand gemessen und anschließend wiederbelastet. Die Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi,s}$ kann aus dem Quotienten aus wirksamer Momentenänderung ΔM und Änderung der Verdrehung in der Fuge $\Delta\varphi$ bestimmt werden.

$$k_{\varphi,s} = \frac{\Delta M}{\Delta\varphi} \quad (7)$$

Im Versuchsschritt 16 wurden die Eigenfrequenzen nach dem Ermüdungsversuch erneut erfasst. Unter Verwendung der Eigenfrequenzformel Gl. (1) können die Drehfedersteifigkeiten durch Auflösen ermittelt werden. In Tab. 4 sind die Mittelwerte der in den Versuchen gemessenen Drehfedersteifigkeiten $k_{\varphi,s}$ sowie der rechnerisch ermittelten Drehfedersteifigkeiten $k_{\varphi,f}$ zusammengestellt.

Ausgehend von Gl. (3) und den aus den Versuchen ermittelten $k_{\varphi,s}$ und $k_{\varphi,f}$ wurde ein Rechenmodell zur Abschätzung der Drehfedersteifigkeit eines Schöck Isokorb® abgeleitet, welches den Einfluss aus der Bestückung, des Materials und des inneren Hebelarms berücksichtigt. Bei näherer Betrachtung aller Tragkomponenten zeigt sich, dass die Zugstäbe den größten Einfluss auf die Gesamtdrehfedersteifigkeit haben. Dies liegt daran, dass der Zugstab seine Kraft sukzessive über Verbundspannungen in den Stahlbeton einleitet und daher seine effektive Länge einer größeren als der Dämmfugenbreite entspricht. Im Weiteren konnte eine Abhängigkeit zwischen der im Zugstab vorhandenen Spannung und der effektiven Zugstablänge festgestellt werden. Zur Validierung des abgeleiteten Rechenmodells wurden Eigenfrequenzen mit den rechnerischen Drehfedersteifigkeiten $k_{\varphi,r}$ und der Gl. (1) bestimmt und den gemessenen Werten gegenübergestellt (Tab. 5). Über alle Versuche hinweg lagen die Abweichungen von den Versuchsergebnissen bei weniger als 5%, sodass eine hinreichend genaue Prognose erzielt werden konnte.

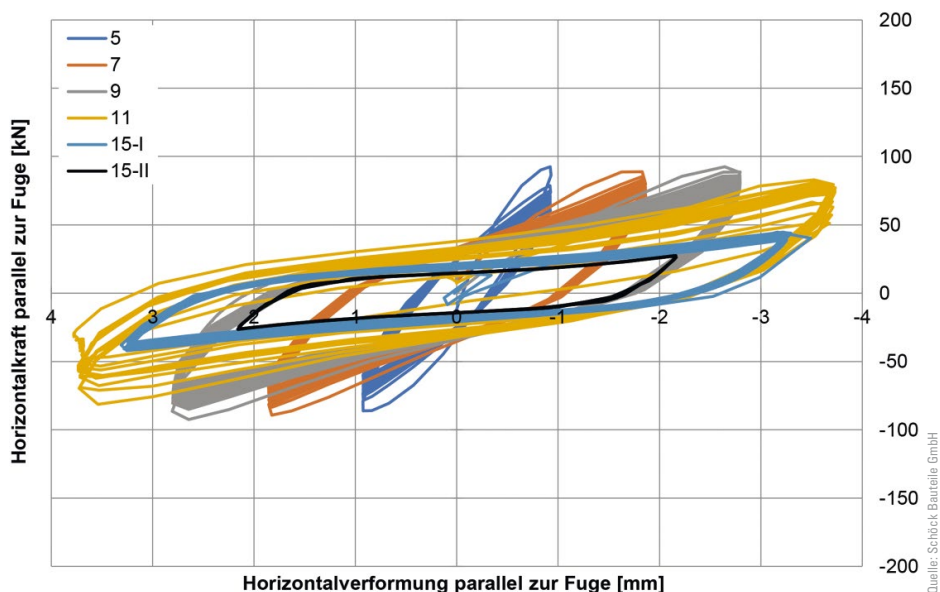


Bild 8 Ergebnisbeispiel Horizontalkraft über Horizontalverformung für einen Schöck Isokorb® mit Betondrucklager und Zugstäben aus nichtrostendem Stahl
Result example horizontal force over horizontal deformation for a Schöck Isokorb® with concrete pressure bearing and tension rods of stainless steel

Tab. 4 Drehfedersteifigkeiten aus statischer Belastungsänderung und aus der Rückrechnung der Gl. (1)
Torsional spring stiffnesses from static load changes and from the recalculation of the formula (1)

Schöck Isokorb®	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
ΔM [kNm/m]	17,6	17,6	18,5	18,5	18,7
$\Delta \varphi$ [rad] Schritt 14 Entlastung	0,00352	0,00298	0,00388	0,00261	0,00231
$\Delta \varphi$ [rad] Schritt 14 Belastung	0,0028	0,00325	0,00404	0,00297	0,00226
$k_{\varphi,s}$ [kNm/rad] Mittelwert	5596	5661	4673	6663	8181
f Schritt 16 [Hz]	7,11	7,40	6,72	7,06	7,48
$k_{\varphi,f}$ [kNm/rad]	5820	6296	5200	5791	6433

Tab. 5 Vergleich der Versuchsergebnisse mit rechnerischen Abschätzungen
Comparisons of the experimental results with numerical evaluations

Schöck Isokorb®	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
$k_{\varphi,r}$ [kNm/rad] gemäß abgeleiteter Formel	5838	5693	4830	6079	7041
f_r [Hz] rechnerisch	7,12	7,04	6,48	7,38	7,83
f_v [Hz] gemessen	7,11	7,40	6,72	7,06	7,48
$\Delta (f_r - f_v) / f_v$ [%]	0,2	-4,9	-3,6	2,5	4,6

4 Zusammenfassung und Ausblick

Zur Reduzierung von Wärmebrücken bei Balkonen gilt der Anschluss der Balkonplatte mittels tragender Wärmedämmelemente bereits als Stand der Technik. Das Durchtrennen der Stahlbetonplatte und der Einsatz derartiger Produktlösungen ändern jedoch die Drehfedersteifigkeit an der Anschlussstelle. Durch den modularen Aufbau des Schöck Isokorb® mit einer frei kombinierbaren Anzahl an Zug-, Druck- und Querkraftkomponenten kann dieser optimal auf die jeweiligen Beanspruchungen und Anwendungsrandbedingungen abgestimmt werden. Um die im Fokus stehende Gebrauchstauglichkeit des auskragenden Bauteils möglichst realitätsnah zu simulieren, wurde eine Stahlbalkonplatte unter einer Auflast von mindestens 55 % des Widerstandsmoments zum Schwingen angeregt und bei mehreren Zwischenständen die Eigenfrequenzen und die Bauteilverformungen gemessen.

Basierend auf den Versuchsergebnissen konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Unter Berücksichtigung der Langzeiteigenschaften wie Temperatureinwirkungen und Ermüdung wurde anhand der gemessenen Verdrehungen und Eigenfrequenzen ein Rechenmodell zur Bestimmung der produktspezifischen Drehfedersteifigkeit $k_{\varphi,r}$ abgeleitet. Mithilfe dieses neu hergeleiteten Rechenmodells können die Einflüsse aus der Bestückung, des Materials und des inneren Hebelarms vom gewählten Produkt abgeschätzt werden. Die Validierung des analytischen Modells zeigt, dass die rechnerischen Eigenfrequenzen weniger als 5 % von den gemessenen abweichen.
- Das hergeleitete Rechenmodell ist auf alle Tragstufenvarianten der geprüften Typen übertragbar und ermöglicht eine realitätsnahe Abschätzung des Verformungsverhaltens sowie die Schwingungsminimierung

mittels Begrenzung der rechnerischen Eigenfrequenzen der auskragenden Balkonplatte auf Werte oberhalb von 7,5 Hz.

- Als Ergänzung zu den hier aufgeführten Auswertungen wurden zusätzliche analytische Untersuchungen weiterer statischer Anschlusssituationen, wie z.B. gestützte Balkone und unterschiedliche Balkongeometrien, durchgeführt. Ziel war es, weitere Erkenntnisse über die Streuung der Steifigkeit bezogen auf die durchgeführte Parameterstudie zu erlangen.
- Mit diesen gewonnenen Erkenntnissen wird es möglich sein, Planern für den Schöck Isokorb® produktspezifische Eingangsparameter für FE-Programme zur Verformungsberechnung bereitzustellen. Dadurch entfällt die bisherige manuelle Berechnung der Verformung.
- Mit den von Schöck bereitgestellten Drehfedersteifigkeiten hat der Planer zukünftig die Möglichkeit, die Schwingung eines mit Wärmedämmelementen angeschlossenen Balkons mit FE-Programmen zu ermitteln.
- Demnächst kann dem Planer mithilfe der validierten Formeln für jeden Schöck Isokorb® Anschluss die empfohlene maximale Auskragungslänge der Balkonplatte unter Einhaltung der ermittelten Grenzfrequenz von 7,5 Hz zur Verfügung gestellt werden.

Dank

Die dargestellten Versuche wurden an der MPA Karlsruhe im Rahmen eines Entwicklungsprojekts der Firma Schöck Bauteile GmbH durchgeführt. An dieser Stelle möchte Schöck einen besonderen Dank an die MPA Karlsruhe für die mehrjährige vertrauensvolle Zusammenarbeit und für die kompetente Planung und Durchführung zahlreicher Bauteilprüfungen aussprechen.

Literatur

- [1] EOTA (2018) *European Assessment Document – EAD 050001-00-0301 Load bearing thermal insulating elements which form a thermal break between balconies and internal floors*. Brüssel: EOTA.
- [2] ECS, European Engineered Construction Systems Association e.V. (2019) *Schwingungsverhalten auskragender und mit einem Kragplattenanschluss verbundener Balkonplatten*. Düsseldorf: ECS, European Engineered Construction Systems Association e.V.
- [3] SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH (2010) *Schöck Isokorb Typ K und Schöck Isokorb Typ KXT – Maximale Auskragungslängen unter Berücksichtigung des Schwingungsverhaltens*. Baden-Baden: Schöck Bauteile GmbH. Internes Dokument.
- [4] Deutsches Institut für Normung e.V. (2006) *DIN EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Autoren



Dipl.-Ing. Michael Müller (Korrespondenzautor)
michael.mueller@schoeck.de
Schöck Bauteile GmbH
Vimbucher Straße 2
76534 Baden-Baden



Dipl.-Ing. Zhijun Li
zhijun.li@schoeck.de
Schöck Bauteile GmbH
Vimbucher Straße 2
76534 Baden-Baden



Dipl.-Ing.(FH) Jernej Standeker
jerne.j.standeker@schoeck.at
Schöck Bauteile Ges.m.b.H
Thaliastraße 85/2/4
1160 Wien, Österreich

Zitieren Sie diesen Beitrag

Müller, M.; Li, Z.; Standeker, J. (2020) *Schöck Isokorb® – Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der Langzeiteigenschaften*. Beton- und Stahlbetonbau 115, Sonderheft 100 Jahre MPA Karlsruhe, S. 35–43.
<https://doi.org/10.1002/best.202000063>