Slim-Floor Verbundträger für große Spannweiten – CoSFB

M. Braun

Zusammenfassung

Die Integration von Trägern in die Decke hat sich im üblichen Hochbau bereits seit Jahrzehnten als sogenannte Slim-Floor Bauweise, im Brückenbau als WiB Bauweise (WiB, Walzträger im Beton), etabliert und bewährt. Neben den offensichtlichen Vorteilen, wie z. B. ein erhöhter Feuerwiderstand der Träger, Entkopplung der Planung und Installation der Haustechnik von der des Tragwerks, einfache und schnelle Montage durch Vorfertigung u. a., wurde die Wirtschaftlichkeit der Bauweise durch die Neuentwicklung eines integrierten Deckenträgers in Verbundbauweise, des CoSFB (Composite Slim-Floor Beam), insgesamt verbessert. In diesem Beitrag wird die Bemessung des CoSFB erläutert, wobei auf die Besonderheiten wie die Bemessung der Verbundfuge und die Abschätzung des Schwingungsverhaltens der Decke eingegangen wird.

Bild 1. Störungsfreie Installation der Haustechnik bei Slim-Floor Decken

1 Die Slim-Floor Bauweise

Die Slim-Floor Bauweise, die durch die Integration des Trägers in die Decke gekennzeichnet ist, bietet alle Vorteile einer Flachdeckenbauweise. So wird die Verlegung der Haustechnik unter der Decke nicht durch Unterzüge gestört, die Planung und Montage der Tragstruktur wird von der der Haustechnik entkoppelt und aufwändige Trägerdurchführungen sind nicht mehr erforderlich. Auch ist die Haustechnik recht einfach zugänglich und kann so ohne großen Aufwand auf zukünftige Anforderungen angepasst werden (**Bild 1**). Weitere wesentliche Vorteile sind der integrierte Feuerwiderstand der Deckenträger und eine geringe Konstruktionshöhe, was eine optimale Ausnutzung der Gebäudehöhe ermöglicht (**Bild 2**). Für typische Anwendungen liegt das Trägergewicht bezogen auf die Deckenfläche üblicherweise zwischen 20 kg/m² und 25 kg/m².

Die Deckenträger werden in der Regel aus handelsüblichen Walzprofilen gefertigt, wobei prinzipiell zwei Trägerarten, IFB und SFB, unterschieden werden: – Der IFB wird aus einem am Steg geteilten HE- oder IPE-Profil hergestellt, an das ein breites Untergurtblech angeschweißt wird (**Bild 3a**). – Der SFB besteht aus einem Walzprofil das am Unterflansch durch ein angeschweißtes Blech ergänzt wird (**Bild 3b**). Das angeschweißte Blech dient zur Auflagerung der Deckenelemente und ermöglicht so einen schnellen Baufortschritt.

Bild 2. Optimale Ausnutzung der Gebäudehöhe

Etwa ab Mitte der 80iger Jahre des vergangenen Jahrhunderts verbreitete sich die Anwendung der Slim-Floor Bau-

Dipl.-Ing. Matthias Braun

ArcelorMittal Europe – Long Products
66, rue de Luxembourg
4009 Esch-sur-Alzette
Luxembourg
mathias.braun@arcelormittal.com

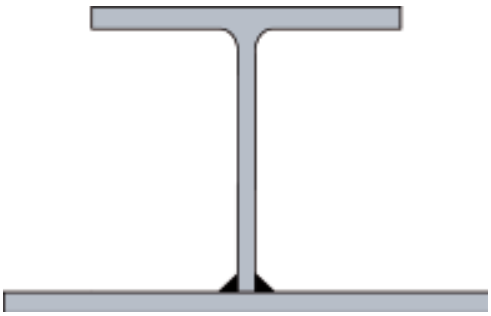

Bild 3a. IFB – Integrated Floor Beam

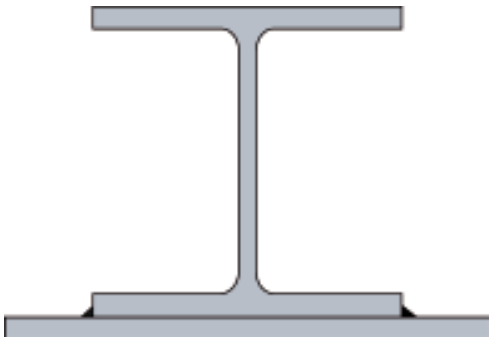

Bild 3b. SFB – Slim-Floor Beam

weise zunehmend, was in der Verwendung vorgespannter Hohlkörperdecken begründet ist [1]. Stützenraster von ca. 7 m x 12 m können so wirtschaftlich abgedeckt werden. Hierbei sollte das größere Rastermass mit den Spannbetonhohldielen und das kürzere mit den Slim-Floor Trägern überspannt werden. Träger und Decke benötigen dann eine nahezu gleiche Konstruktionshöhe und der Materialeinsatz wird minimiert. Diese „Trockenbauweise“ ermöglicht einen sehr schnellen Baufortschritt. Lediglich der Beton für den Fugenverguss zwischen den Deckenelementen und der Estrich ist noch auf der Baustelle zu vergießen (**Bild 4**).

Bild 4. Slim-Floor Träger mit Spannbetonhohldiele

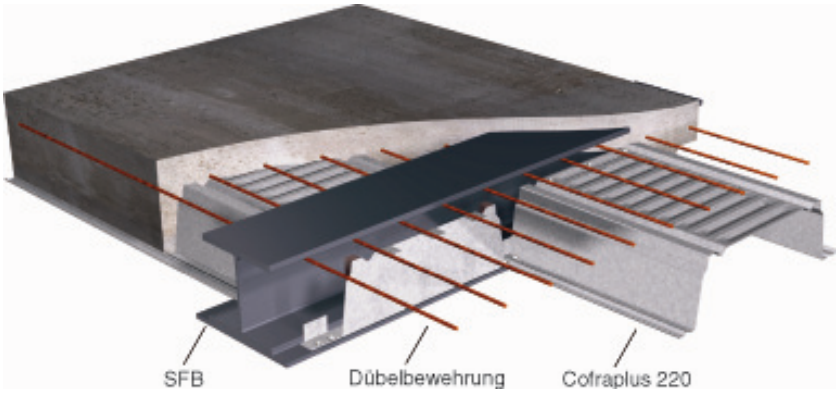

Bild 5. Slim-Floor Träger mit Cofraplus 220 Decke

Heute kommen vermehrt moderne Profilblechdecken und hohe, weitgespannte Stahl- und Verbundbleche zur Anwendung. Diese haben gegenüber der Ausführung mit Betonfertigteilen den Vorteil, dass die leichten Elemente meist ohne Kraneinsatz „per Hand“ verlegt werden können und die fertige Decke ein geringeres Eigengewicht hat. Die Verwendung von Ortbeton ermöglicht eine problemlose Ausbildung der Slim-Floor Träger als Verbundträger, was zu einer höheren Steifigkeit des Systems führt, den Materialeinsatz reduziert und größere Trägerspannweiten ermöglicht (**Bild 5**). Die Decke besitzt eine glatte, homogene Oberfläche, die Untersicht ist optisch ansprechend und ohne Fugen. Nachteilig gegenüber der Verwendung von Fertigteilen ist eine etwas erhöhte Montagedauer.

2 CoSFB, moderner Slim-Floor Träger in Verbundbauweise

Um die Optimierung des Stahlverbrauchs und die Vergrößerung der Trägerspannweiten bemüht, hat ArcelorMittal einen neuen Flachdeckenträger in Verbundbauweise entwickelt (**Bild 6**). Mit diesem innovativen Träger können Trägerspannweiten bis zu 14 m, bei einer Konstruktionshöhe von lediglich 40 cm und einem Trägerabstand bis zu 10 m, wirtschaftlich realisiert werden. Es entstehen große, stützenfreie Räume die flexibel an heutige und zukünftige Nutzungen anpassbar sind. Im Vergleich zu Slim-Floor Trägern ohne Verbundtragwirkung wird so eine signifikante Vergrößerung der Spannweite erzielt, ohne nennenswerten Mehraufwand in Fertigung oder Montage. In der Fertigung müssen lediglich die Öffnungen im Trägersteg vorgesehen werden, bauseits werden diese dann mit einem handelsüblichen Bewehrungsstab bewehrt und anschließend beim Betonieren der Decke direkt mit vergossen. Diese Art eine Verbundtragwirkung zwischen Stahlprofil und Ortbeton zu erzeugen, wird als „Betondübel“ bezeichnet und ist im Brückenbau bereits seit Jahrzehnten als WiB Bauweise etabliert. Aufgrund ihrer Einfachheit in Herstellung und Montage und ihrer hohen Tragfähigkeit ist die Verwendung von Betondübeln äußerst wirtschaftlich. Unter Gebrauchslasten lassen sie wenig Schlupf zwischen dem Stahlprofil und dem Ortbeton zu, gleichzeitig weisen sie bei höheren Lasten ein duktiles Verhalten auf. Detaillierte Erläuterungen zum Tragverhalten können [2] entnommen werden.
Die Verwendung von Betondübeln ermöglicht eine Reduzierung der Betonüberdeckung über dem Trägeroberflansch auf ein Minimum, wodurch die Deckenstärke optimal

vom Träger ausgenutzt werden kann. Der wirtschaftliche Anwendungsbereich liegt bei Trägerspannweiten von etwa 6 m bis 14 m. Spannweiten unter 6 m sind zwar technisch möglich, jedoch ist es nicht in allen Fällen sinnvoll hierfür einen Verbundträger zu verwenden. Ausgehend von einer Deckenstärke von 40 cm, ergibt sich eine maximale Trägerspannweite von ca. 35 x 0,40 m = 14 m. Da meist die Trägerspannweite und nicht die Belastung bemessungsrelevant wird, sollte der Trägerabstand immer möglichst groß gewählt werden und so den Stahlverbrauch zu optimieren.
Grundsätzlich ist die Bauweise flexibel in der Verwendung der Deckenelemente. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die Kammer des Trägers vollständig ausbetoniert wird und genügend Betonüberdeckung über dem Oberflansch vorhanden ist. So können als mögliche Deckenelemente entweder Betonteilfertigteile mit späterer Ortbetonergänzung oder auch Profilblechdecken, wie z. B. Cofraplus 220 [3] verwendet werden (Bild 5).

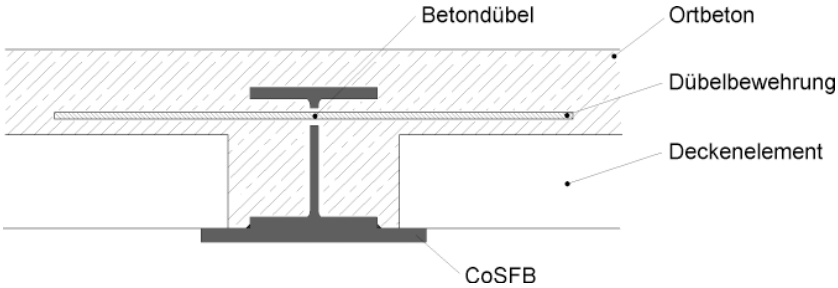

Bild 6. CoSFB – Querschnitt mit Dübelbewehrung [2]

3 Zur Bemessung von integrierten Deckenträgern

3.1 Einfluss der Querbiegung

Aufgrund der lokalen Einleitung der Deckenlasten in die Auflagerplatte wird diese und bei SFB auch der untere Flansch des Walzprofils, auf Biegung in Querrichtung zur Trägerlängsachse beansprucht. Diese sogenannte „Querbiegung“ und die zugehörigen Querkräfte sind beim lokalen Tragfähigkeitsnachweis der entsprechenden Querschnittsteile zu berücksichtigen. Auch ist die lokale Verformung der Auflagerplatte und des unteren Flansches zu begrenzen.
Der Einfluss der Querbiegung ist auch bei der Bestimmung der Biegetragfähigkeit des Profils zu berücksichtigen. Gemäß dem statischen Satz der Traglasttheorie gilt, dass eine beliebige, statisch zulässige und sichere Spannungsverteilung eine sichere, untere Grenze der plastischen Querschnittstragfähigkeit darstellt. Die Forderung nach statischer Zulässigkeit ist erfüllt, wenn die aus der Integration des Spannungszustandes resultierenden Schnittgrößen im Gleichgewicht mit den Schnittgrößen aus der Tragwerksberechnung stehen. Die Spannungsverteilung ist sicher, wenn an keiner Stelle des Querschnitts die Fließbedingung verletzt wird, d. h. wenn die aus einer Fließhypothese resultierende Vergleichsspannung kleiner oder gleich der Fließspannung ist. Dies kann z. B. durch die Einhaltung der Fließbedingung nach von Mises erfolgen:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x * \sigma_y - \sigma_x * \sigma_z - \sigma_y * \sigma_z + 3 * \tau_{xy}^2 + 3 * \tau_{xz}^2 + 3 * \tau_{yz}^2} \leq f_{y,d} \quad (1)$$

Werden die Träger als Einfeldträger ausgebildet und mit einer Gleichstreckenlast belastet, so ist im Bereich des maximalen Biegemomentes die Querkraft und somit die entsprechende Schubspannung vernachlässigbar klein. Ebenfalls ist die Schubspannung im Unterflansch, bedingt durch die kontinuierlich eingeleitete Last und den relativ kleinen Hebelarm, vernachlässigbar. Somit entfallen sämtliche Schubspannungsglieder $\tau_{xy} \approx \tau_{xz} \approx \tau_{yz} \approx 0$ und die obige Fliessbedingung vereinfacht sich zu:

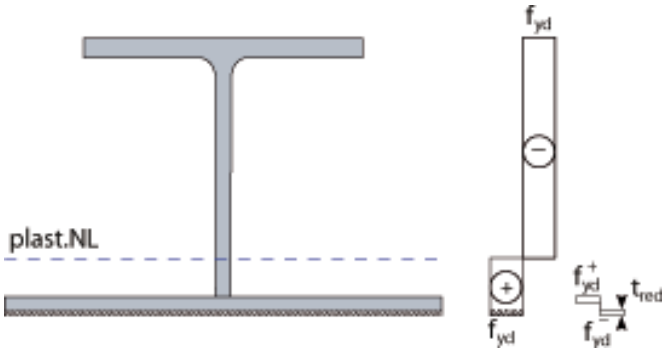

Bild 7. Einfluss der Querbiegung auf die Längsbiegetragfähigkeit

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y} \leq f_{y,d} \quad (2)$$

Besitzen die Spannungen σ_x und σ_y das gleiche Vorzeichen wird die obige Bedingung auch dann noch erfüllt, wenn beide bis zum Bemessungswert der Streckgrenze $f_{y,d}$ ausgenutzt werden. Haben sie dagegen ein unterschiedliches Vorzeichen, so können beide nicht gleichzeitig den Wert $f_{y,d}$ annehmen, ohne die Fliessbedingung zu verletzen.
Die Einhaltung der Fliessbedingung kann durch ein vereinfachtes Verfahren sichergestellt werden [4]: Die Bereiche, in denen σ_x und σ_y ein unterschiedliches Vorzeichen besitzen, werden bei der Ermittlung der Biegetragfähigkeit des Trägers nicht berücksichtigt. Diese wird für einen „Ersatzträger“ bestimmt, wobei die Stärke der Platte und ggfs. die des Unterflansches des Walzprofils, um den Einfluss der lokalen Biegung reduziert wird. Liegt die plastische Nulllinie z. B. im Steg eines IFB-Querschnittes, so kann die in **Bild 7** dargestellte Spannungsverteilung angenommen werden. Die reduzierte Dicke des Unterflansches ergibt sich dann zu:

$$t_{red} = t - \Delta t$$

$$\text{mit } \Delta t = 0.5 * t * \left(1 - \sqrt{1 - M_{Ed,plate} / M_{pl,Rd,plate}}\right)$$

$$\text{und } M_{pl,Rd,plate} = 0.25 * b * t^2 * f_{y,d} \quad (3)$$

Diese Methode ist vor allem zur Handrechnung und zur Kontrolle exakterer Verfahren geeignet. Eine exakte Berücksichtigung der Spannungen aus „Querbiegung“ nach [5] ist in die Software [6] eingearbeitet. Prinzipiell ist die Querbiegung auch bei einer Lasteinleitung in den Oberflansch zu berücksichtigen. Wird der Träger nicht als Einfeldträger ausgebildet oder werden Einzellasten eingeleitet, so ist ein M/V-Interaktionsnachweis zu führen. Dies kann z. B. nach [7] erfolgen.

Tabelle 1. Empfohlene charakteristische Werte der Längsschubtragfähigkeit je Ausnehmung P_{Rk} in [kN], [2]

Betonklasse/ Stegdicke	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50 bis C55/67
7,5 mm ≤ t_w < 15,5 mm	117	125	135	122
15,5 mm ≤ t_w	148	157	166	122

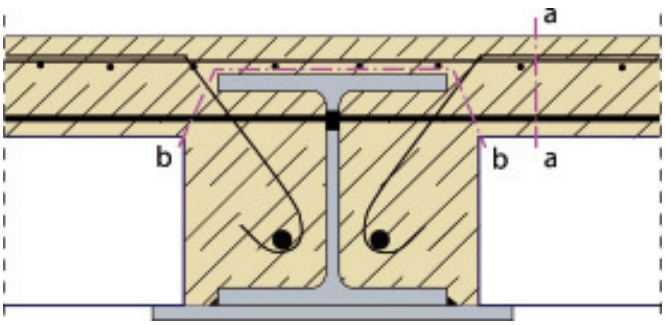

Bild 8. Kritische Schnitte zur Schubsicherung von CoSFB

3.2 Längsschubtragfähigkeit von CoSFB-Betondübeln

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, wird bei CoSFB der Ortbeton durch die Verwendung von Betondübeln statisch aktiviert. Zur Bemessung der Verbundfuge werden die in der **Tabelle 1** angegebenen charakteristischen Werte der Dübeltragfähigkeit empfohlen [2], wobei der zur Ermittlung der Bemessungswerte zu verwendende Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_v = 1{,}25$ beträgt. Aufgrund ihres duktilen Verhaltens können die CoSFB-Betondübel in Trägerlängsrichtung äquidistant angeordnet werden. Auch darf die Teilverbundtheorie angewendet werden. Da die Betondübel unter Gebrauchslasten kaum Schlupf zulassen, muss dieser bei den Nachweisen nicht berücksichtigt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Kammer des Trägers stets voll ausbetoniert wird. Weitere Hinweise zur Verwendung können ebenfalls [2] entnommen werden.

3.3 Schubsicherung des Betongurtes bei CoSFB

Wie bei herkömmlichen Verbundträgern ist auch bei CoSFB nachzuweisen, dass die Längsschubkraft in die seitlichen Betongurte eingeleitet werden kann. Für CoSFB ist der Nachweis in den kritischen Schnitten a – a und b – b zu führen (**Bild 8**). Beim Nachweis bleibt die Dübelbewehrung in der Regel unberücksichtigt, sodass die Anordnung zusätzlicher Bewehrung erforderlich wird.

3.4 Zur dehnungsbegrenzten Berechnung der Biegetragfähigkeit

Auf eine dehnungsbegrenzte Bestimmung der Biegetragfähigkeit des Trägers kann verzichtet werden, wenn der Unterschied zur vollplastisch ermittelten Biegetragfähigkeit weniger als 5 % beträgt. Diese Bedingung wird von Slim-Floor Trägern in Stahlbauweise (ohne eine Aktivierung der Verbundtragwirkung) in der Regel erfüllt, da die Nulllinie bei einer wirtschaftlichen Wahl des Trägerquerschnittes im Steg des Walzprofils liegt und die Flansche und die angeschweißte Platte meist vollständig „durchplastizieren“.
Bei Slim-Floor Trägern in Verbundbauweise (CoSFB) kann die Nulllinie recht nah am oberen Trägerflansch liegen und da die Betonstauchung für normalfeste Betone auf 3,50 ‰ zu begrenzen ist, kommt es nicht in allen Fällen zu einem „durchplastizieren“ dieses Flansches. Da sein Anteil an der Biegetragfähigkeit jedoch meist gering ist, ergeben sich auch hier nur geringe Unterschiede. Größere Abweichungen können sich allenfalls bei sehr hohen Trägern ergeben, mit einem geringen Anteil des Betons an der Biegetragfähigkeit. In diesen Fällen sollte allerdings hinterfragt werden, ob hier eine Aktivierung des Betons überhaupt sinnvoll ist.

3.5 Kontrolle der Spannungen unter Gebrauchslasten

Es muss sichergestellt werden, dass der Träger unter Gebrauchslasten ausschließlich elastisch ausgenutzt wird, d. h. dass in keinem Punkt des Querschnittes unter Gebrauchslasten (1.0-fachen Lasten) die Streckgrenze überschritten wird. Ist diese Bedingung eingehalten, so können die Verformungen und die Eigenfrequenz basierend auf einem elastischen Materialverhalten ermittelt werden. Folglich sind an allen signifikanten Stellen im Querschnitt Spannungsnachweise zu führen. Nähere Information können dem Hilfemenü von [6] oder dem Benutzerhandbuch zu [8] entnommen werden. Wird die Streckgrenze im Querschnitt bereits unter Gebrauchslasten überschritten, so ist die örtliche Plastizierung bei der Bestimmung der Verformungen zu berücksichtigen, was mitunter recht aufwändig sein kann [9].
Für CoSFB wird empfohlen, zusätzlich zumindest den Nachweis der maximalen Betondruckspannung am oberen Querschnittsrand zu führen. Sie kann bei diesen „gedrungenen“ und hoch ausgelasteten Querschnitten durchaus bemessungsrelevant werden. Wie für Verbundträger üblich, ist der Bauablauf hierbei zu berücksichtigen.

3.6 Steifigkeit von Slim-Floor Trägern

Verformungen

Wie in [10] und [11] ausgeführt, kann auch bei Slim-Floor Trägern in reiner Stahlbauweise von einem gewissen Mitwirken des Betons bei der Bestimmung der Trägerdurchbiegung und der Eigenfrequenz ausgegangen werden. Diese Untersuchungen sind jedoch rein empirisch, es liegen keine abgesicherten Bemessungsmodelle vor. Vor allem da das Mitwirken des Betons stark vom verwendeten Deckensystem abhängig ist, wird empfohlen den Beton bei der Bestimmung der Trägersteifigkeit nicht zu berücksichtigen.
Wird planmäßig eine Verbundtragwirkung erzeugt, etwa durch Beton- oder Kopfbolzendübel, so ist das Mitwirken des Betons selbstverständlich zu berücksichtigen. Dies kann entsprechend den üblichen Regeln des Verbundbaus durch die Bestimmung einer effektiven Breite des Betongurtes b_{eff} und die Verwendung von Reduktionszahlen erfolgen. Vereinfachend bleibt der Beton in der Zugzone unberücksichtigt. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die effektive Breite üblicherweise aufgrund der Vernachlässigung der Biegesteifigkeit der Decke unterschätzt wird [12], [13], [14].

Schwingungsverhalten

Das Wohlbefinden der Nutzer kann durch Schwingungen der Decke stark beeinträchtigt werden. Meist wird lediglich die untere Begrenzung der 1. Eigenfrequenz eines Bauteils empfohlen. Diese lässt allerdings nur bedingt auf das reale Schwingungsverhalten einer Decke und somit auf das Wohlbefinden der Nutzer schließen, da wichtige Einflussgrößen wie – momentane Tätigkeit des Nutzers, – Alter und Gesundheitszustand, – Körperhaltung, – werden Schwingungen erwartet, – Frequenz und Amplitude der Schwingungen etc.,

nicht berücksichtigt werden. Damit das Schwingungsverhalten von Decken auch ohne ein vertieftes Wissen der Baudynamik abgeschätzt werden kann, stehen praxistaugliche Bemessungsmodelle z. B. in [15] zur Verfügung. Diese Methoden betrachten keine isolierten Bauteile, sondern das Deckenfeld. Mit ihnen lassen sich die vertikale Beschleunigung bzw. die Geschwindigkeit der Deckenschwingung ermitteln, was eine bessere Beurteilung des Schwingungsverhaltens der Decke ermöglicht. Die Bemessungshilfe nach [15] wurde im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes entwickelt [16] und ist für übliche Konstruktionen des Hochbaus anwendbar. Mit ihr können die durch normales Begehen hervorgerufenen Deckenschwingungen beurteilt werden. Zur Beurteilung des Komfortverhaltens wird der OS-RMS_{90} Wert verwendet, der die Einstufung einer Decke in vorher festgelegte Akzeptanzklassen ermöglicht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die in diesem Beitrag gegebenen Hinweise zur Bemessung und zum Entwurf eines CoSFB sollen dem Tragwerksplaner die Anwendung der CoSFB Bauweise erleichtern. Die Wirtschaftlichkeit dieser Bauweise ist in einer optimalen Verwendung der Baustoffe (Baustahl und Beton) begründet, was zu einem äußerst geringen Materialverbrauch führt. Dies wirkt sich ebenfalls positiv auf die Bauzeit und den gesamten Bauablauf aus und reduziert die Emissionen der Baustelle auf ein Mindestmaß. Somit ist diese Bauweise aufgrund ihres geringen Bedarfs an Primärenergie und ihres sehr niedrigen CO_2-Äquivalentes pro Quadratmeter Deckenfläche, sowie der flexiblen Nutzung der Räume bei hohem Nutzerkomfort, in ihrer ganzheitlichen Bewertung äußerst nachhaltig [17].

Im Rahmen dieses Beitrages konnte nicht auf die rechnerische Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer von Slim-Floor Trägern eingegangen werden, sodass hier auf [18] verwiesen werden muss. Auch werden die Anschlüsse des Trägers an die Stützen nicht behandelt, es wird auf [19] und [20] verwiesen. Die Vorstellung geeigneter Vorbemessungsdiagramme und ein ausführliches Bemessungsbeispiel eines CoSFB ist für einen weiteren Beitrag geplant. Eine Vorbemessungssoftware für CoSFB wird in Kürze zum Gratis Download zur Verfügung stehen.

Literatur

[1] Swedish Institute of Steel Construction: Office Buildings in Steel – The Swedish Method. Publication No. 80. December 1983, Revised in 1991.

[2] *Braun, M., Hechler, O., Obiala, R.*: Untersuchungen zur Verbundwirkung von Betondübeln. Stahlbau 83 (2014), H. 5, S. 302 – 308, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.

[3] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung – ArcelorMittal Systemdecke Cofraplus 220. Zulassungsnummer Nr. Z-26.1–55, Berlin 2013.

[4] *Baehre, R., Peppin, R.*: Flachdecken mit Stahlträgern in Skelettbauten. Bauingenieur 70 (1995), S. 65 – 71, Springer VDI Verlag.

[5] *Mathieu, J., Suttrop, W., et al.*: Bâtiments en Acier Multi-étagés – Guide de Conception pour les Planchers Minces à Poutres Incorporées. ECCS, CECM, EKS, N° 83, Annex F, ISBN; 92–9147–000–7.

[6] CTICM, ArcelorMittal R&D: ArcelorMittal Beam Calculator, Version 3.13. ArcelorMittal Commercial Sections, Technical Advisory, 66 rue de Luxembourg, L-4009 Esch-sur-Alzette. http://sections.arcelormittal.com/download-center/design-software/composite-solutions.html

[7] *Hothan, S., Ortmann, Chr., Kathage, K.*: Stahlbaunormen – Kommentierte Stahlbauregelwerke. Stahlbau Kalender 2010, 12. Jahrgang, S. 67 – 70, Herausgeber Prof. Ulrike Kuhlmann. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.

[8] ArcelorMittal R&D: IFB WIN 5.3, Benutzerhandbuch. S. 25. ArcelorMittal Commercial Sections, Technical Advisory, 66 rue de Luxembourg, L-4009 Esch-sur-Alzette.

[9] *Petersen, Chr.*: Stahlbau. 3. Auflage 2001, S. 257 – 261, Vieweg & Sohn Verlag.

[10] *Bode, H., Sedlacek, G., et al.*: Untersuchungen des Tragverhaltens bei Flachdecken-Systemen (Slim-Floor Konstruktionen) mit verschiedener Ausbildung der Platten und verschiedener Lage der Stahlträger. Forschungsprojekt P261, Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA), 1997. ISBN 3–930621–62–2.

[11] *Feldmann, M., Müller, C., Stengel J.*: Zum Tragverhalten von Stahlflachdecken. Bauingenieur 73 (1998), S. 427 – 434, Springer VDI Verlag.

[12] *Rieg, A., Kuhlmann, U.*: Verformungsbezogene mittragende Breite niedriger Verbundträger. Stahlbau 76 (2007), H. 11, S. 794 – 804, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.

[13] *Hanswille, G., Schäfer, M.*: Zur praktischen Ermittlung der Verformungen von Verbundträgern und Flachdeckensystemen unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbundfuge. Stahlbau 76 (2007), H. 11, S. 845 – 854, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.

[14] *Hauf, G., Kuhlmann, U.*: Verformungsverhalten von Slim-Floor Trägern. Stahlbau 80 (2011), H. 12, S. 904 – 910, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.

[15] *Feldmann, M., Heinemeyer, Ch., Völling, B.*: Design Guide for Floor Vibrations, Second Edition, ArcelorMittal Commercial Sections, , 66 rue de Luxembourg, L-4009 Esch-sur-Alzette. http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/Vibration/Vibration_EN.pdf

[16] *Sedlacek, G., et al.*: Gerneralisation of criteria for floor vibrations for industrial, office, residential and public building and gymnastic halls. European Commission, Final Report 2006. EUR 21972 EN. ISBN 92–79–01705–5.

[17] *Braun, M., Hechler, O., Hauf, G., Kuhlmann, U.*: Embodied energy optimization by innovative structural systems. Final Conference of the COST Action C25: Sustainability of Constructions – Towards a better built environment. Innsbruck, Austria, 2011.

[18] *Cajot, L.-G., Debruyckere, R., Franssen, J.-M.*: Sécurité incendie – Sécurité incendie et calcul de la résistance au feu des bâtiments en acier selon l'Eurocode 3. Edition de: Infosteel 2012. S. 30 – 47, Bruxelles 2012.

[19] *Kuhlmann, U., Hauf, G., Rieg, A.*.: Konstruktions- und Ausführungsmöglichkeiten von Anschlüssen bei Verbundflachdeckenträgern. Stahlbau 83 (2014), H. 4, S. 227 – 235, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.

[20] *Kurz, W.*: Flachdecken und Anschlußtechniken im Verbundbau. Der Prüfingenieur, Oktober 1997, S. 14 – 24, VPI, Bundesvereinigung der Prüfingenieure e.V.