

32. SCHWEISSTECHNISCHE FACHTAGUNG

09. November 2022
Halle (Saale)
VORTRAGSBAND



32. SCHWEISSTECHNISCHE FACHTAGUNG

09. NOVEMBER 2022 - HALLE (SAALE)

Inhaltsverzeichnis

Christoph Gajda, SLV Halle GmbH 100 (+1) Jahre Lanz Bulldog – auch aus werkstofftechnischer Sicht ein interessantes Jubiläum..	4
Martin Hofmann, MHW Martin Hofmann Werkstofftechnik Woran hat es gelegen? - Vermeidbare Schadensfälle in der Schweißtechnik und atypisches Werkstoffverhalten.	16
Prof. Dr. Jochen Schuster, SLV Halle GmbH Historische Eisenwerkstoffe und ihre schweißmetallurgische Untersuchung..	43
Dr. Stefan Doliva, Ingenieurbüro Dr. Stefan Doliva Woran hat es gelegen? Ein Schaden in Beton und eine Sanierung in Stahl...	54
Bastian Poser, MT Aerospace AG Klassisches Rührreibschweißen in der Transformation zum additiven Schweißen?..	65
Steffen Wagner, SLV Halle GmbH Die neue DIN EN ISO 9712:2022-09 Welche Änderungen ergeben sich für die Qualifizierung sowie Erst- und Rezertifizierung von Personal für die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)?..	76
Werbeseiten / Vorankündigung.	92



32. SCHWEISSTECHNISCHE FACHTAGUNG

09. NOVEMBER 2022 - HALLE (SAALE)

Dr. Stefan Doliva, Ingenieurbüro Dr. Stefan Doliva

Woran hat es gelegen? Ein Schaden in Beton und eine Sanierung in Stahl.

Woran hat es gelegen? Ein Schaden in Beton und eine Sanierung in Stahl.

Dr. Stefan Doliva, Ingenieurbüro Dr. Stefan Doliva, Berlin

1 Einleitung

Im April 2019 wurde mein Ingenieurbüro gebeten, eine unabhängige Begutachtung vorzunehmen. Es handelte sich im Einzelnen um das unerklärliche Verformungsverhalten von Stahlbetondecken eines noch im Rohbau befindlichen Bürogebäudes.

Der Bauträger hatte das Vertrauen in das konzernerneigene Planungsbüro verloren und man suchte einen unabhängigen Dritten, der unvoreingenommen die vorliegenden Akten sichten und Erklärungen für die übergroßen Deckenverformungen finden sollte. Eine Verformungsberechnung des Tragwerksplaners lag vor und prognostizierte geringe Verformungen.

Es ging letztlich um folgende Fragen:

1. Warum verformen sich die Decken deutlich mehr als prognostiziert?
2. Wer trägt dafür die Schuld?
3. Was kann getan werden, um die Decken in die gewünschte Lage zu bringen?

Das Bauwerk wurde mit DGNB-Platin als besonders nachhaltiges Bauwerk ausgezeichnet. Da es sich um ein cradle-to-cradle-Projekt handelt, ist es nur zu 90% finanziert. Die fehlenden 10% sind das Bauwerk selbst.

2 Randbedingungen

Das zu betrachtende Bauwerk liegt in exponierter Lage in der Nähe des Potsdamer Platzes in Berlin-Kreuzberg unmittelbar am ehemaligen Anhalter Bahnhof (vgl. Abbildung 1). Der agierende Konzern hatte das Projekt entwickelt, mit dem eigenen Planungsbüro beplant und mit dem eigenen Bauträger errichtet.

Im Zuge der Entwicklung wurde das Objekt bereits vor Baubeginn an einen Investor verkauft, der es nach Vertragsschluss unmittelbar vermietete. Noch vor Baubeginn war also der Termin der Übergabe an den Mieter festgelegt. Aus diesem Grund saß stets ein Sachverständiger des Investors bei allen Besprechungen und Entscheidungen mit am Tisch.

Eine verspätete Übergabe an den Investor und damit an den Mieter hätte einen merkantilen Minderwert in Höhe von etwa 35 Mio. Euro zur Folge gehabt. Es bestand also schon von dieser Seite ein enormer Handlungsdruck.

3 Beschreibung und Entdeckung des Schadens

Im Bereich der Durchfahrt und des Eingangs, beides Zuwegungen zum überdachten Innenhof, waren über sechs Obergeschosse weitspannende Decken (Flachdecken) mit Spannweiten von 14 m und 12 m verbaut worden (vgl. Abbildung 2). Diese Decken wiesen dort eine Dicke von 32 cm auf.

Zur Verminderung der Eigenlasten waren die Decken mit Hohlkörpern System Cobiax versehen worden (vgl. Abbildung 3 und 6). Diese vermindern neben der Eigenlast jedoch auch die Deckensteifigkeiten, die Decke wird also weicher, sowie die Querkrafttragfähigkeit.

Diese Decke sollte nach den Berechnungen des Tragwerksplaners eine Durchbiegung von höchstens 2,8 cm im Endzustand, also nach 50 Jahren, aufweisen. Tatsächlich lag die Verformung schon unmittelbar nach dem Ausschalen im Mittel bei rund 7,0 cm – von 4,5 cm bis auf 9,5 cm ansteigend (vgl. Abbildung 4).

Dieser übermäßige Deckendurchhang wurde durch den Fassadenbauer beim Einbau der Fassade festgestellt. Er machte die Bauleitung darauf aufmerksam, dass zwischen Oberkante Fensterflügel und Unterkante Decke an einigen Stellen nur noch 3 mm Platz wären. In der Architekturplanung waren 8 cm vorgesehen.

Zum Zeitpunkt der Schadenfeststellung befand sich das Bauvorhaben also bereits nicht mehr im Rohbau sondern schon in der Phase des Innenausbaues. Während der nachfolgenden Sanierung wurde an einer Stelle das Nadelvlies verlegt, während hinter einer Staubschutzwand eine aufwändige Sanierung von Betondecken betrieben wurde.

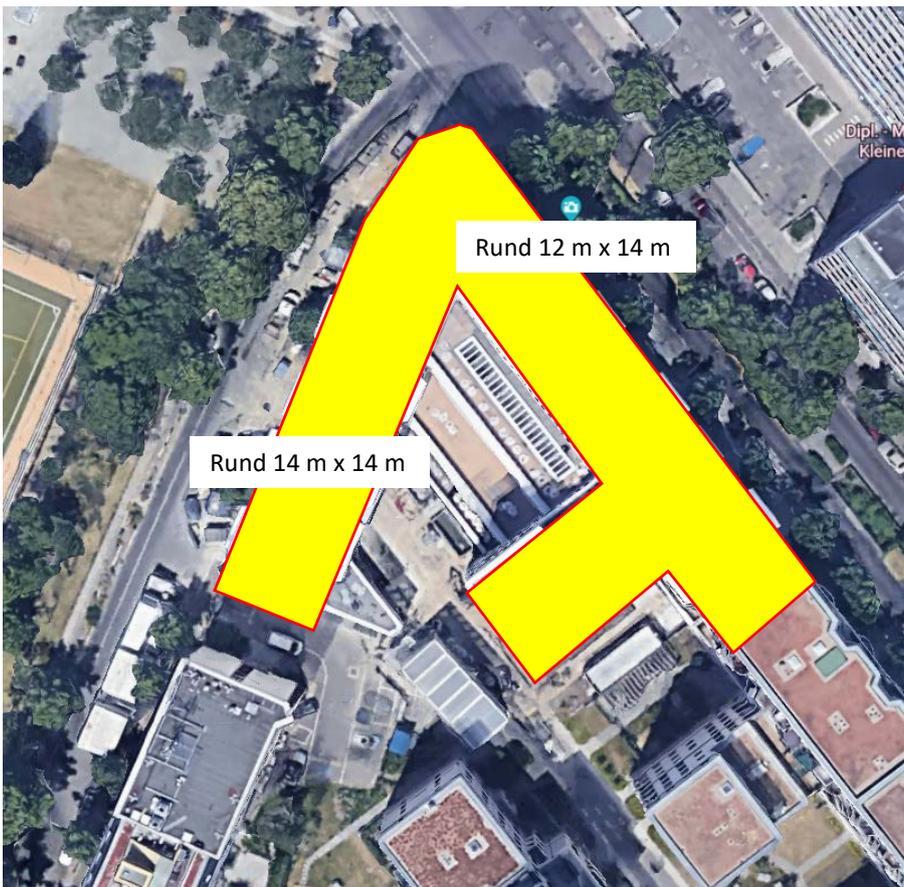


Abbildung 1: Übersicht des Bauwerkes mit den betroffenen Deckenbereichen, google earth am 23.09.2022



Abbildung 2: Blick vom Hof aus auf die Durchfahrt, Aufnahme des Verfassers

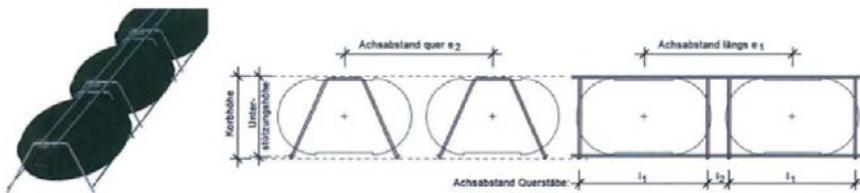
Insgesamt sind rund 192 m² und 168 m² über fünf Stockwerke betroffen, in Summe sind also 1.800 m² Stahlbetondecke in einer Dicke von 32 cm zu sanieren.

4 Ursache der übergroßen Verformung

In seiner Berechnung hatte der Tragwerksplaner die Methode der Finiten Elemente (FEM) benutzt. Die Hauptachsrichtungen und damit die Verlegerichtungen der Bewehrungen hatte er jedoch nicht an die verschränkte Geometrie des Baukörpers angepasst.

Weiterhin hatte er nicht bedacht, dass die Hohlkörper die Decke in eine Spannrichtung zwingen, sich also durch die Hohlkörper eine Art von „Rippendecke“ ausbildet (vgl. Abbildung 6). Somit liefert die Berechnung durch die FEM ein falsches Ergebnis.

Bild 1: Darstellung Hohlkörper / Haltekorb



Materialien

Hohlkörper:
 - bestehend aus HD-PE bzw. PP gemäß des beim DIBT und Fremdüberwacher hinterlegten Datenblattes
 - Anforderung: Formstabilität für Einbau und Betonage

Abbildung 3: Prinzipdarstellung Hohlkörper System „Cobiax“, Auszug aus AbZ

Der senkrechte Abstand zwischen den stützenden Bauteilen beträgt etwa 12 m, unter Berücksichtigung der Verschränkung von 30° werden daraus $12 \text{ m} / \cos 30^\circ = 13,9 \text{ m}$. Das ist ein Zuwachs von 15,5% (vgl. Abbildung 5). Da die Stützweite bei der Berechnung der Verformung zur vierten Potenz eingeht, erhöht sich das errechnete Ergebnis um $1,155^4 = 1,778$, also um knapp 78% bereits in der elastischen Berechnung. Das im Betonbau unvermeidliche Kriechen und Schwinden des Betons erhöht die Verformung dann zusätzlich um den Faktor 4 bis 7.



Abbildung 4: Blick vom Hof aus auf die Durchfahrt, Deckendurchhang visualisiert, Aufnahme des Verfassers

Neben den bereits beschriebenen Sachverhalten kam noch hinzu, dass die Verwendung dieser Hohlkörperdecken durch die Veränderung der Deckensteifigkeiten und der Querkrafttragfähigkeit gegenüber der ungeschwächten Decke einen zweiten Rechenlauf notwendig macht.

Im ersten Rechenlauf wird festgelegt, wo diese Hohlkörper zum Einsatz kommen können (vgl. Abbildung 6) und im zweiten Rechenlauf wird diese Festlegung bestätigt oder verworfen.

Im vorliegenden Falle hatte der Bauherr diesen Zusatzaufwand nicht bezahlen wollen und der Tragwerksplaner hatte deshalb keine zweite Berechnung durchgeführt. Eine Bedenkenanzeige dazu lag nicht vor.

5 Sanierung der Decken

Die Sanierung der Decken wurde in unserem Hause geplant. Der Ansatz lautete wie folgt:

1. Die zu weichen Decken von 12 m x 14 m (Eingang) und 14 m x 14 m (Durchfahrt) wurden über alle Stockwerke – ohne Decke über KG und Dachdecke – entfernt und es wurden neue Decken eingebaut.
2. Die Standsicherheit des „hohlen Vogels“ wurde während der Bauzeit nachgewiesen.

3. Danach wurden über EG neue Unterzüge (Rand-, Mittel- und Randunterzug) eingebaut und die Decken wurden mit Stützen im Raster des Bestandsbaues wieder neu errichtet.

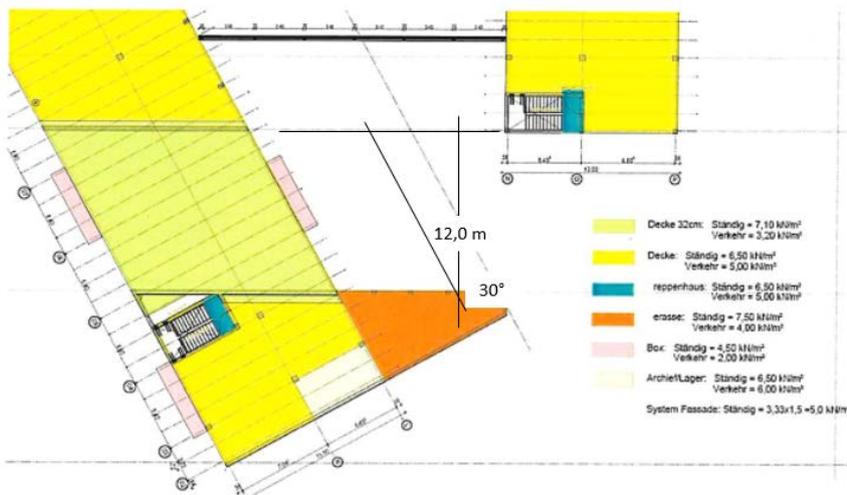


Bild 1: Ausschnitt aus dem Lastplan für die Decke über 1. OG

Abbildung 5: Ausschnitt Lastplan des Tragwerksplaners mit der zu Grunde liegenden Geometrie, Gutachten Dr. Stauch



Abbildung 6 Blick auf die Decke mit Cobiax-Hohlkörpern, Aufnahme der Bauleitung

Zu diesem Zweck wurden die 32 cm dicken Decken in Stücke zu 1 m x 1 m geschnitten und durch Kraneinsätze (vgl. Abbildung 7) aus dem Bauwerk gehoben und abgefahren. Da die einbetonierten Hohlkörper und der Beton nicht zu trennen waren, mussten die Deckenteile als Sondermüll abgefahren werden.

Da die Dübelleisten an den Stahlbetonstützen und die Anschlussbewehrungen der angrenzenden Deckenfelder erhalten bleiben mussten, verblieb ein Kranz von 1,50 m (vgl. Abbildung 8). Dieser wurde im Anschluss an das Herausschneiden durch Höchstdruckwasserstrahlen mit etwa 2.000 bar Wasserdruck entfernt (vgl. Abbildung 9).

Um die beim Wasserstrahlen auftretenden Lärmbelastigungen - das kann bis zum Überschallknall beim Durchschuss durch die Decke führen - gering zu halten, wurde eingerüstet. Anschließend wurde die Rüstung abgeplant, dann ein Trapezblech vorgesehen, dann eine Schicht OSB-Platten mit drei Lagen Vlies eingebaut.

In der unmittelbaren Nachbarschaft befanden sich zwei Hotels und mehrere Bürogebäude. Aufgrund der Lärmbelastigungen kam es zu mehreren Anzeigen und auch zu Lärmschutzmessungen durch die Baubehörde.

Nachdem die Decken bis auf die Decke über 6. OG und die Decke über KG entfernt worden waren, wurden die Vorkehrungen getroffen, die neue Konstruktion einzubauen.

Da das Stützenraster aufgenommen werden musste, war es notwendig, unterhalb der bestehenden Stützen Auflagertaschen zu schaffen. Dazu wurden die Decken über alle Stockwerke durch Schwerlaststützen abgefangen werden (vgl. Abbildung 10).



Abbildung 7 Blick vom Hof auf die ausgeschnittenen Decken, Aufnahme des Verfassers



Abbildung 8 Blick auf eine Decke mit verbliebenem Kranz vor dem Wasserstrahlen, Aufnahme des Verfassers

Nach diesem Schritt wurden an den Deckenrändern Dreiblechträger und in der Deckenmitte ein Kastenprofil verbaut. Alle Profile waren an den Stellen der Lastein- und -ausleitung mit Rippen bzw. Schotten versehen (vgl. Abbildungen 11 und 12). Diese Bauteile wurden werkstattgefertigt und vor Ort lediglich montiert.

Im Bereich des Eingangs wurden in Deckenmitte und am hofseitigen Rand Fachwerkträger HE 280 M verwendet (vgl. Abbildungen 13 bis 14). Diese mussten mit einer Fuge zu einer noch bestehenden Decke montiert werden. Die Fachwerke wurden in der Werkstatt in drei Teilen vorgefertigt und an Ort und Stelle verschweißt. Die Ergebnisse der Schweißung wurden mit 100% RT bestätigt. Alle Bauteile wurden aus Baustahl S355J0 gefertigt. Sie wurden sämtlich als Verbundbauteile mit Kopfbolzendübeln vorgesehen.

Die Träger waren mit einer Überhöhung versehen, die im Endzustand einen verbleibenden Stich von 20 mm ergeben sollte. Nach jeder Betonage wurde die Verformung der Träger gemessen und mit rechnerischen Prognosen abgeglichen. Nötigenfalls wurde die nachfolgende Betonage angepasst.



Abbildung 9 Blick auf eine freigestrahlte Decke mit Anschlussbewehrung der Decke und Dübelleiste an der Stahlbetonstütze, Aufnahme des Verfassers



Abbildung 10 Blick die freigestrahlten und abgefangenen Decken, gut zu erkennen die Auflagertaschen unter den Stützen, Aufnahme des Verfassers

Nach dem Einbau der Stahlkonstruktionen wurden die Stützen geschalt, bewehrt und betoniert. Danach erfolgte die Schalung der Decke, die anschließend bewehrt und betoniert wurde (vgl. Abbildung 16). Die eingetretene Durchbiegung der Stahlbauteile wurde gemessen und mit der Berechnung abgeglichen.

Nachfolgend wurde das nächste Stockwerk mit veränderten Stützenlängen nach dem gleichen Prinzip errichtet, sodass schlussendlich eine Überhöhung in Trägermitte von 20 mm eingehalten werden konnte (vgl. Abbildung 17).



Abbildung 11 Blick vom Hof auf die freistehende Struktur mit bereits eingebauten Unterzügen, Aufnahme des Verfassers

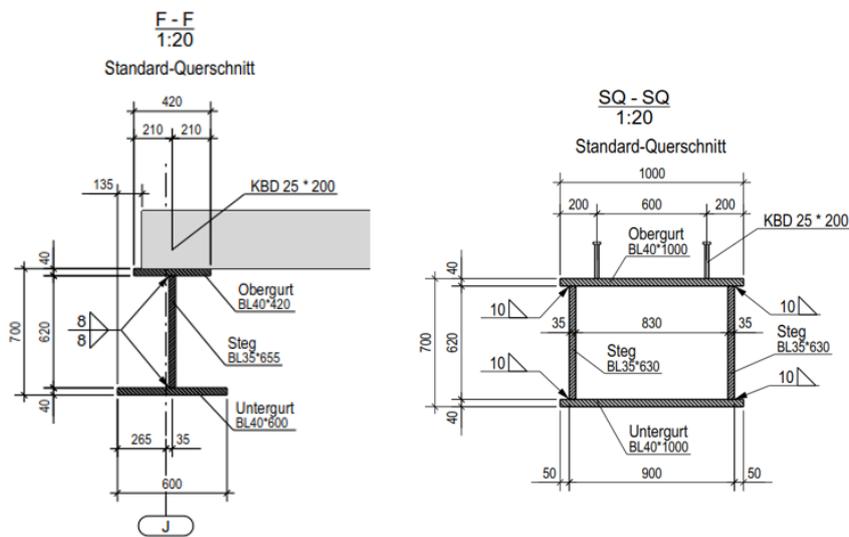


Abbildung 12: Querschnitte der verbauten Stahlprofile, Auszug aus der Werkplanung des Verfassers



Abbildung 13: Fachwerk zum Hof mit freigestrahlter Decke und Anschlussbewehrung, Aufnahme des Verfassers



Abbildung 14: Mittelfachwerk und Dreiblechträger (hinten), unter dem Fachwerk die Fuge zum Bestand, Aufnahme des Verfassers



Abbildung 15: Auflagerpunkt Fachwerk, noch nicht vergossen, Aufnahme des Verfassers



Abbildung 16: Blick vom Hof auf die Stahlträger und die erste betonierete Decke, Aufnahme des Verfassers

6 Zusammenfassung

Der Schaden ist nach Ansicht des Verfassers maßgeblich auf einen tragwerksplanerischen Fehler zurückzuführen.

Im Rahmen der FEM-Berechnung hätte der Kollege das Hauptachsensystem der Berechnung der Geometrie des Bauwerkes anpassen - also das Koordinatensystem der Platten drehen - oder dafür sorgen müssen, dass die Hohlkörper Cobiax - seiner Berechnung folgend - senkrecht zu den stützenden Bauteilen verlaufen. Es wäre seine Aufgabe gewesen dafür zu sorgen, dass ein zweiter Rechendurchlauf mit den - durch die Hohlkörper - verminderten Deckensteifigkeiten durchgeführt wird.

Hier ist sicher auch der Bauherr in die Pflicht zu nehmen, da er zum einen ein professioneller Bauherr ist, sich also nicht auf Unkenntnis zurückziehen kann, und zum anderen durch das Verwenden der Hohlkörper einen Kostenvorteil erzielt. Weniger Masse an Beton vermindert die einzubauenden Mengen an Beton und Betonstahl und hat sogar einen verringerten Einfluss auf die Abmessungen von Decken, Stützen, Wänden und Fundamenten.

Die Baufirma schließlich muss sich fragen lassen, warum sie nur im jeweils darunterliegenden Stockwerk Notsteifen unter die Decken gestellt hat. Nach Ansicht des Verfassers ist es erforderlich, Notsteifen über die gesamte Bauzeit in allen Stockwerken vorzusehen.

Der Werkstoff Stahl hat bei diesem Vorhaben also die Möglichkeit eröffnet, während des Ausbaus der angrenzenden Bereiche eine Sanierung von Teilen des Rohbaus durchzuführen. Durch seine definierten technologischen Eigenschaften war es möglich, das Verformungsverhalten auch über die Zeitabläufe genau einzustellen, sodass ein Nachjustieren der Betonagen de facto nicht erforderlich wurde. Ferner ermöglichte die Variabilität der Fertigung, Werkstattvoll- oder -teilverfertigung, einen reibungslosen Einbau in das Tragwerk. Somit konnte der Massivbau problemlos auf die vom Stahlbau vorbereiteten Werkstücke aufsetzen. Letztlich wurde das Vorhaben zum vereinbarten Zeitpunkt dem Investor übergeben.



Abbildung 17: Blick vom Hof auf das im Rohbau fertige Bauwerk, rechts und links endfertig montierte Fassadenelemente, Aufnahme des Verfassers