

Diploma Thesis

Production of SCSC plates for different applications

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Marco Fruhmann, BSc

Matr.Nr.: 01425063

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Josef Fink**

Dipl.-Ing. Dr.techn. **Patrik Takács**

Institut für Tragkonstruktionen
Forschungsbereich Stahlbau
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/E212-01, 1040 Wien, Österreich

Wien, im September 2020



Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Tragwerksplaner bei der Firma RWT Plus ZT GmbH begleitend zu meinem Masterstudium an der TU Wien. An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich für die Möglichkeit bedanken, mich abseits der Arbeit in ausreichendem Maße, der Erstellung dieser Diplomarbeit widmen gedurft zu haben. Auch die Flexibilität, mit der das Unternehmen auf meine Bedürfnisse eingegangen ist, sei hier nochmals ausdrücklich erwähnt.

Besonderer Dank gilt Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef FINK für die Anregung zur Bearbeitung dieses Themas, für die fachlichen Ratschläge, sowie für die Organisation von Zusammenkünften mit anderen Firmen.

Ein sehr großes Dankeschön gilt Herrn Dipl. Ing. Dr.techn. Patrik TAKÁCS für die nette und sehr kompetente Zusammenarbeit als betreuender Assistent. Vielen Dank, dass wir viele Themen sehr rasch und unkompliziert auf kurzem Wege besprechen und behandeln konnten. Besonders in Zeiten einer globalen Pandemie, wo sich die Betreuung von Angesicht zu Angesicht als sehr schwierig gestaltet, möchte ich mich für die unkomplizierten Videotelefonate bedanken.

Vielen Dank auch an Herrn Dipl.Ing.(FH) Reinhard PAMMINGER für seine fachliche Expertise im Bereich der Betontechnologie.

Natürlich gilt an dieser Stelle ein sehr großer Dank meiner Familie, welche immer dazu beigetragen hat, mir dieses Studium überhaupt zu ermöglichen und bei all meinen Problemen zu jeder Zeit hinter mir stand. Ein großer Dank gilt meiner Freundin Julia für die unermüdliche Geduld und das große Verständnis, welches sie neben ihrer Arbeit noch für mich aufwenden konnte. All diese Dinge haben mir die Bearbeitung dieses Themas ungemein erleichtert und für die notwendige Zuversicht in schwierigeren Zeiten gesorgt.

In diesem Sinne möchte ich mich recht herzlich bei all meinen Freunden bedanken, die dazu beigetragen haben, dass ich meine Studienzeit an der TU Wien mit solch einer Freude genießen durfte.

Kurzfassung

Im Zuge der weiterführenden Forschungsarbeiten zur, von der TU Wien entwickelten SCSC (*Steel-Concrete-Steel-Composite*) - Platte, sollen hiermit Methoden zur Herstellung dieser entwickelt werden. Bei bisherigen Großversuchen wurden lediglich einzelne Plattenelemente mit einer Breite (in Brückenlängsrichtung) von ca. 3,20 m und einer Länge (In Brückenquerrichtung) von ca. 4,30 m hergestellt. Diese hatten noch dazu den Vorteil, dass der zu betonierende Körper vollkommen quaderförmig war.

Im Zuge dieser Arbeit sollen verschiedene Methoden entwickelt werden, mit denen unterschiedliche Formen, für unterschiedliche Anwendungsgebiete, der SCSC-Platte hergestellt werden können. Grundsätzlich sind drei verschiedene Arten der Anwendung, mit jeweils unterschiedlichen Formen der zu betonierenden Körper, zu untersuchen.

- Herstellung von SCSC-Plattenelementen als Fahrbahnplatten für Trogbriicken mit nachträglich angeschweißten Hauptträgerstegen. Dabei sind die Abschlussbleche der Platte schräg angeordnet, um der Kontur des Hauptträgerstegs zu folgen.
- Herstellung von Trogbriicken mit SCSC-Fahrbahnplatten, an denen die Hauptträgerstege bereits angeschweißt sind.
- Herstellung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Plattenbrücke. Die Lochdübelleisten der SCSC-Platte sind im Gegensatz zur Verwendung als Fahrbahnplatte in Brückenlängsrichtung orientiert. Die Bezeichnung der Abmessungen der Platte bleiben jedoch in Bezug auf die Orientierung der Lochdübelleiste gleich. Diese Konstruktionsform ist jener aus den Großversuchen aus [23] am ähnlichsten. Der Hauptunterschied liegt in der größeren Breite (In Brückenquerrichtung) der herzustellenden Elemente von bis zu etwa 6 m. In der vorliegenden Arbeit wurden Plattenelemente mit bis zu 13 m Breite behandelt.

Für jede dieser Anwendungen werden Varianten entwickelt und auf Grundlage aller relevanten Aspekte, die zu diesem Zeitpunkt am sinnvollsten erscheinende Variante bis zu einem gewissen Detailgrad ausgearbeitet. Die Betonierhilfskonstruktionen werden nach den geltenden Eurocodes für Stahl (Reihe EN 1993-1-x), genauer nach der EN 1993-1-1 [18] sowie nach dessen nationalem Anwendungsdokument ÖNORM B 1993-1-1 [16] vorbemessen. Hinsichtlich der Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen und Materialien sowie der Lastkombinationsregeln werden die Konstruktionen wie Traggerüste nach der DIN 12812 [4] behandelt. Die Angaben zur Bemessung in dieser Norm ergänzen lediglich die relevanten Eurocodes.

Das Hauptaugenmerk bei der Ausarbeitung liegt auf der hohlraumfreien Befüllung des Verbundkörpers, um so die Tragwirkung der Verbundplatte optimal ausschöpfen zu können. In weiterer Folge soll, natürlich im Hinblick auf die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zu anderen Fahrbahnplattentypen, wie zum Beispiel der Grobblechplatte, eine günstige Variante zur Herstellung gefunden werden. Jedoch steht die technische Ausführbarkeit in dieser Arbeit an oberster Stelle.

Abstract

In the course of further research work on the SCSC (*Steel-Concrete-Steel-Composite*) - plate which is developed by the Vienna University of Technology, methods for its production are to be developed. In previous large-scale tests, only individual plate elements with a width (in longitudinal direction of the bridge) of approximately 3,20 m and a length (in transverse direction of the bridge) of approximately 4,30 m were produced. These had the additional advantage that the body to be poured was completely cuboid.

In the process of this work, different methods are to be developed with which different forms, for different ranges of application, of the SCSC plate can be produced. Basically, three different types of application, each with different shapes of the bodies to be concreted, are to be investigated.

- Production of SCSC plate elements as track plates for trough bridges with post-welded main girder webs. The end panels of the plate are arranged at an angle to follow the contour of the main beam.
- Production of trough bridges with SCSC track plates to which the main girder webs are already welded.
- Production of SCSC plates for use as plate bridges. The dowel strips of the SCSC plate are oriented in the longitudinal direction of the bridge in contrast to the use as a track plate. However, the designation of the plate dimensions remains the same with regard to the orientation of the dowel strips. This construction form is most similar to that used in the large-scale experiments. The main difference lies in the larger width (in the transverse direction of the bridge) of the elements to be produced, up to about 6 m. In the present work, plate elements with a width of up to 13 m have been treated.

For each of these applications, variants are developed and, based on all relevant aspects, the variant that seems most appropriate at that time is worked out to a certain degree of detail. The auxiliary concrete structures are designed according to the applicable Eurocodes for steel (series EN 1993-1-x), more precisely according to EN 1993-1-1 [18] and its national application document ÖNORM B 1993-1-1 [15]. With regard to the partial safety factors of the actions and materials as well as the load combination rules, the structures are treated like supporting structures according to DIN 12812 [4]. The design information in this standard only supplements the relevant Eurocodes.

The main focus of the design is on the void-free filling of the composite body, in order to be able to optimally exploit the load-bearing capacity of the composite panel. Subsequently, of course, a favourable variant for production is to be found, in view of the economic competitiveness with other types of track panels, such as the heavy plate, for example. However, the technical feasibility is the top priority.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 8 |
| 1.1 | Motivation und Problemstellung | 8 |
| 1.2 | Zielsetzung | 9 |
| 2 | Grundlagen | 11 |
| 2.1 | Trogbrücken | 11 |
| 2.2 | Aufbau und Tragprinzip der SCSC-Platte | 12 |
| 2.3 | Allgemeine Voraussetzungen für den Betoniervorgang | 15 |
| 2.3.1 | Frischbetondruck | 15 |
| 2.3.2 | Konsistenz des Betons | 17 |
| 2.3.3 | Temperaturbeanspruchung von Beton | 19 |
| 2.4 | Plattenquerschnitt der SCSC-Platte zur Verwendung als Fahrbahnplatte | 20 |
| 2.4.1 | Massenermittlung | 20 |
| 2.5 | Brückenquerschnitt mit SCSC-Fahrbahnplatte | 21 |
| 2.5.1 | Massenermittlung | 23 |
| 2.6 | Montagestöße der SCSC-Platte | 24 |
| 2.7 | Transportkriterien | 24 |
| 2.7.1 | Transport auf der Straße | 27 |
| 2.7.2 | Transportteile - Brückenquerschnitt | 27 |
| 2.8 | Verwendete Programme / Programmsettings | 33 |
| 2.8.1 | Programmsettings | 34 |
| 3 | Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Herstellung des Betonkörpers | 36 |
| 4 | Herstellung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Fahrbahnplatte | 38 |
| 4.1 | Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung des Betonfüllkörpers | 40 |
| 4.1.1 | Vertikales Aufstellen der Plattenelemente und Überfüllen bis zur vollständigen Füllung des Hohlkörpers | 40 |
| 4.1.2 | Vertikales Aufstellen der Plattenelemente und nachträgliches Verfüllen mit Vergussmörtel | 41 |
| 4.1.3 | Schiefstellung der Plattenelemente auf ca. 60° mittels fixem Betoniertisch, Einpumpen von ECC/SCC-Beton an der Unterseite | 42 |
| 4.2 | Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen | 45 |
| 4.2.1 | Allgemeine Vorgaben | 45 |
| 4.2.2 | Belastungsannahmen | 48 |
| 4.2.3 | Ausgewählte Analysen der SCSC-Platte im Zustand der Betoneinbringung | 50 |
| 4.2.4 | Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion | 54 |
| 5 | Herstellung von Trogbrücken mit SCSC-Fahrbahnplatten | 62 |
| 5.1 | Unterschiedliche Ausführungsformen des Betoniertisches | 63 |
| 5.2 | Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung des Betonfüllkörpers | 65 |
| 5.2.1 | Einfüllen mit Trichterkonstruktion | 65 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.2 | Einpumpen von ECC-, oder SCC-Beton an der Unterseite- System Doka - Sperrschieber D125 SCC - | 68 |
| 5.2.3 | Einfüllen mit Fülltrog, Abheben der Füllkonstruktion direkt nach Fertigstellung des Betoniervorgangs | 70 |
| 5.2.4 | Einfüllen mit Fülltrog, Beton noch in der Füllkonstruktion anhärten lassen | 71 |
| 5.2.5 | Verwendung des Hauptträger - Hohlkastens als Fülltrog | 72 |
| 5.2.6 | Teilweises Füllen bis zur Einfüllöffnung, nachträglicher Verguss mit schwindfreiem Vergussmörtel | 73 |
| 5.3 | Favorisierte Herstellungsweise | 74 |
| 5.4 | Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen | 76 |
| 5.4.1 | Allgemeine Vorgaben | 76 |
| 5.4.2 | Belastungsannahmen | 77 |
| 5.4.3 | Ausgewählte Analysen der SCSC-Platte im Zustand der Betoneinbringung | 80 |
| 5.4.4 | Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion | 83 |
| 5.4.5 | Vordimensionierung und ausgewählte Analysen der Drehtischkonstruktion | 90 |
| 6 | Herstellung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Plattenbrücken | 96 |
| 6.1 | Herstellung des Betonfüllkörpers | 97 |
| 6.2 | Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen | 101 |
| 6.2.1 | Allgemeine Vorgaben | 101 |
| 6.2.2 | Belastungsannahmen | 101 |
| 6.2.3 | Ausgewählte Analyse der SCSC-Platte im Zustand der Betoneinbringung | 103 |
| 6.2.4 | Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion | 106 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 112 |
| 7.1 | Fertigung von SCSC-Plattenelementen - Schiefstellung der Plattenelemente auf ca. 60° mittels fixem Betoniertisch, Einpumpen von ECC/SCC-Beton an der Unterseite | 112 |
| 7.2 | Betoniervorgang der Platte mit bereits angeschweißten Hauptträgerstegblechen - Betoniervorgang auf Drehtisch, einpumpen von ECC-Beton an der Unterseite . . | 114 |
| 7.3 | Herstellung von SCSC-Elementen zur Verwendung als Plattenbrücken | 114 |
| 7.4 | Ausblick und weiterer Forschungsbedarf | 116 |
| A | Datenblätter DOKA Füllstützen und Sperrschieber | 117 |
| B | Ergänzungen zu den Vordimensionierungen der Betonierhilfskonstruktionen | 119 |
| B.1 | Summe der Vertikallasten aus Eigengewicht des Betons (Lastfall 2) und Frischbetondruck (Lastfall 11). Exemplarisch für das Modell im Winkel von 60° | 119 |
| B.2 | Ergänzung zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion 60° | 120 |
| B.2.1 | Lastaufbringung | 120 |
| B.2.2 | Ergebnisse - Schnittgrößen | 123 |
| B.2.3 | Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen | 126 |
| B.2.4 | Detailbemessung Auflagersituation | 132 |
| B.3 | Ergänzung zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion 30° | 136 |
| B.3.1 | Lastaufbringung | 136 |
| B.3.2 | Ergebnisse - Schnittgrößen | 137 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B.3.3 | Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen | 140 |
| B.4 | Ergänzung zur Vordimensionierung der Drehtischkonstruktion | 145 |
| B.4.1 | Lastaufbringung und Kombinatorik | 145 |
| B.4.2 | Ergebnisse - Schnittgrößen | 152 |
| B.4.3 | Knicklängenbestimmung für verschiebliche Rahmen | 154 |
| B.4.4 | Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen | 156 |
| B.4.5 | Detailbemessung Bolzenverbindung | 163 |
| B.5 | Ergänzung zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungs- konstruktion 90° | 168 |
| B.5.1 | Lastaufbringung und Kombinatorik | 168 |
| B.5.2 | Ergebnisse - Schnittgrößen | 169 |
| B.5.3 | Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen | 172 |
| C | Pläne | 177 |
| D | Stabilitätsnachweise Drehtisch (exemplarisch für alle geführten Stabilitätsnachweise) | 192 |

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Brücken, im Speziellen Eisenbahnbrücken, haben durch ihre Bauart, oder die beim Bau der Brücke verwendeten Materialien, eine begrenzte Lebensdauer. Diese geplante Lebensdauer, welche bereits während der Planung berücksichtigt wird, liegt bei Brücken bei mindestens 100 Jahren. Dies entspricht laut EN 1990 [17] der höchsten Nutzungsdauer, welche normativ festgelegt ist.

Ist das Ende der Lebensdauer einer Brücke erreicht, muss abgewogen werden, ob es sinnvoll erscheint, die Brücke zu sanieren oder ob diese neu errichtet werden muss. Durch die veraltete Bauweise von Brücken mit offener Fahrbahn, bei der die Schwellen direkt auf der Konstruktion aufliegen, ergibt sich vor allem bei Trog-, Fachwerktrog- und Bogenbrücken eine sehr niedrige Bauhöhe [11]. Als Bauhöhe wird der vertikale Abstand zwischen der Schienenoberkante (SOK) und der Konstruktionsunterkante (KUK) bezeichnet. Der heutige Stand der Technik sieht für Eisenbahnbrücken, aufgrund höherer lärmschutztechnischer Anforderungen, einen Gleiskörper im Schotterbett mit rund 55 cm Höhe oder eine Ausführung als feste Fahrbahn vor, bei welcher der Schotter und die Bahnschwellen durch einen festen Oberbau aus Beton oder Asphalt ersetzt werden. Diese neuen Oberbauten besitzen aufgrund ihrer Beschaffenheit eine weitaus größere Höhe als die bestehenden Oberbauten mit offener Fahrbahn. Geht man nun davon aus, dass der bestehenden Brücke eine gewisse SOK zugeordnet ist, welche aufgrund der sehr geringen zulässigen Gradienten bei Eisenbahntrassen große Auswirkungen auf die Gleishöhe in weiten Bereichen vor und hinter der Brücke hätte, und die KUK durch das bestehende Lichtraumprofil der Straße, der Eisenbahntrasse oder des Gewässers festgelegt ist, darf somit die Bauhöhe der Brücke, trotz des höheren Oberbaus, nicht höher sein als die der bestehenden Brücke. Dies stellt eine große Herausforderung an die Konstruktionen von Ersatzneubauten dar, wobei die herkömmlichen Konstruktionsformen zur Abtragung der Vertikallasten in die Hauptträger relativ rasch die geforderte maximale Bauhöhe übersteigen und somit ein teurer "Schienenverzug" in der Höhe notwendig wäre. Abbildung 1.1 soll die beschriebene Problematik schematisch darstellen [11].

Als Lösungsansatz, speziell für Stützweiten bis 25 m wurde vom Institut für Tragkonstruktionen/ Stahlbau an der TU Wien ein neuartiger Plattentyp entwickelt, welcher die Problematik der geringen Bauhöhe durch eine sehr schlanke Bauweise umgeht, welche aber dennoch im Vergleich zu Trogbrücken mit Grobblechen als Fahrbahnplatte einige Vorteile zu bieten hat. Es handelt sich hierbei um die so genannte *Steel-Concrete-Steel-Composite* oder auch kurz SCSC-Platte genannt. Im Zuge einiger abgeschlossener ([11], [24], [23]) sowie laufender Forschungsarbeiten an der TU Wien wurde die Platte hinsichtlich ihrer statischen Tragfähigkeit sowie ihres Widerstandes gegen Ermüdungsbeanspruchungen untersucht. In einigen Versuchen im Zuge dieser Arbeiten wurden auch Probekörper zur experimentellen Untersuchung des Tragverhaltens der Platte hergestellt, welche jedoch zur einfacheren Handhabung, und da nur die Eigenschaften der Platte selbst untersucht werden sollten, ohne Hauptträgerstege gefertigt wurden. Dies führt zu der

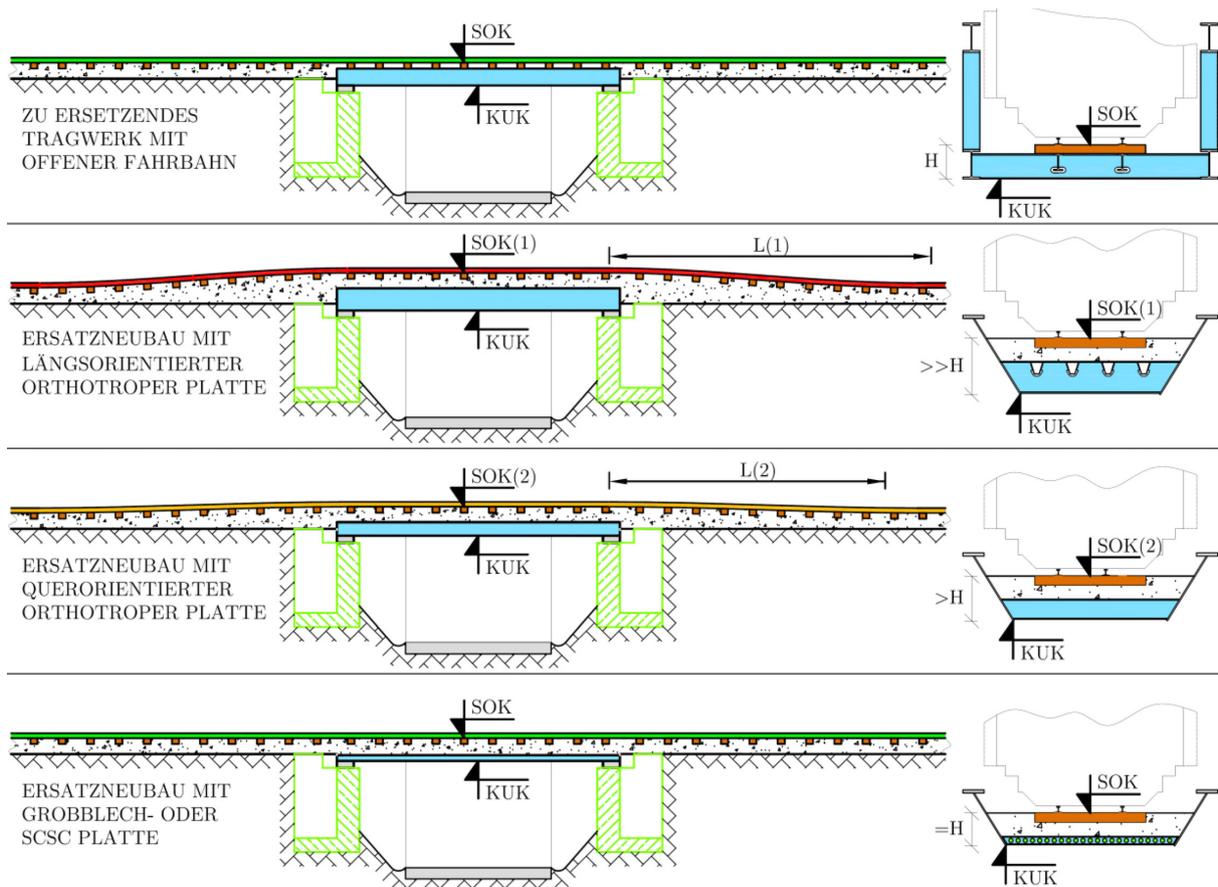


Abb. 1.1: Veranschaulichung der Problematik von Ersatzneubauten bei gegebenen Randbedingungen der Schienenoberkante und des Lichtraumprofils aus [11]

Problemstellung, dass die Herstellung der gesamten Brücke, von den einzelnen Blechen bis zum fertigen Querschnitt, inklusive Füllbeton, noch nicht vollständig entwickelt und durchdacht wurde. Dies führt auch zur Zielsetzung, die in dieser Arbeit angestrebt und nachstehend erläutert wird.

1.2 Zielsetzung

Im Zuge dieser Arbeit sollen unterschiedliche Konzepte erarbeitet werden, welche aufzeigen wie eine mögliche endgültige Brücke mit einer Spannweite von bis zu 26 m hergestellt werden kann. Diese beinhalten Überlegungen zum Betoniervorgang der Brücke, sowohl im Werk als auch auf der Baustelle für unterschiedliche Konstruktionsausführungen der Stahlbauteile der Brücke zum Zeitpunkt des Betoniervorganges. Ebenfalls wird die Vordimensionierung und die konstruktive Durchbildung der für die Herstellung der Brücke relevanten Betonierhilfskonstruktionen bis zu einem gewissen Detaillierungsgrad ausgearbeitet. Die Bemessung der Stahlkonstruktionen wird prinzipiell nach der Reihe EN 1993-1-x durchgeführt. Einige Randparameter wie zum Beispiel die Teilsicherheitsbeiwerte von Stahl, sowie die Kombinationsregeln für Einwirkungen werden von der Norm zur Bemessung von Traggerüsten DIN 12812 [4] übernommen. Die DIN 12812 [4] ist exemplarisch für den folgenden Anwendungsfall anzuwenden, "(...) um die durch den frisch eingebauten Beton erzeugten Lasten so lange aufzunehmen, bis die Konstruktion selbst eine ausreichende Tragfähigkeit erreicht hat [4]". Dies trifft in dem vorliegenden Fall hinsichtlich der entstehenden Frischbetondrücke zu. Die Angaben zur Bemessung in dieser Norm ergänzen

lediglich die relevanten Eurocodes und ersetzen keine Nachweisformate.

Die Überlegungen zum Betoniervorgang sollen einen prinzipiellen Überblick darüber geben, wie der Betonkörper für verschiedene Ausführungsformen der SCSC-Platte hergestellt werden kann und welche Vor- und Nachteile damit verbunden sind.

Für die SCSC-Platte sowie für die Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion werden für den Bauzustand (also für den Zustand des Betoniervorganges), lediglich mit den Lasten aus dem Frischbetondruck sowie den Lasten aus dem Eigengewicht der Stahlbauteile selbst, ausgewählte Spannungsanalysen geführt und die Verformungen in Bezug auf die Ebenheit der fertigen Deckbleche beurteilt. Für die Bemessung der Drehtischkonstruktion werden zusätzliche Lasten aus Wind und Arbeitsbetrieb berücksichtigt. Sämtliche Erdbebenlasten werden in dieser Arbeit vernachlässigt. Dies soll die Machbarkeit der gewählten Konstruktionsform der Betonierhilfskonstruktionen demonstrieren, dient aber nicht der endgültigen Bemessung der SCSC-Platte. Eine detailliertere Analyse der SCSC-Platte im Hinblick auf die Betrachtung der Spannungsgeschichte aus dem Frischbetondruck in Überlagerung mit den auftretenden Spannungen aus der Haupttragwirkung der Brücke würde den Rahmen dieser Diplomarbeit übersteigen und wurde deshalb nicht behandelt. Im Zuge der Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen wurden noch weitere Vereinfachungen getroffen. So wurden die einzelnen Elemente, welche mit dem Frischbetondruck beaufschlagt werden, in zwei Teilmodellen separat analysiert, da dies den Rechenaufwand für die Machbarkeitsstudie erheblich reduziert. Die Lastübergabe vom Modell zur Analyse der SCSC-Platte zum Stabmodell zur Analyse der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion erfolgte so, als würden die Sekundärträger starre Auflager für die SCSC-Platte darstellen. Die Steifigkeit der Träger der Schalungskonstruktion wird dadurch überschätzt, was zu einer Laststeigerung und somit zu einer konservativen Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion führt ("Steife Konstruktionen ziehen Kräfte an"). Im Umkehrschluss entzieht sich die SCSC-Platte den Lasten, weshalb Verformungen und Spannungen unterschätzt werden. Die Verformungen der Deckbleche zwischen den Sekundärträgern werden jedoch richtig abgebildet, was für die Ebenheit der Oberfläche von großer Bedeutung ist. Die vorliegende Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in vier Teile, welchen folgende Zielsetzungen der Reihe nach zuzuordnen sind:

- **Darstellung allgemeiner Einflüsse auf die Herstellung einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte.** Dies beinhaltet allgemeine Voraussetzungen für den Betoniervorgang, Ermittlung der Massen der einzelnen Teilquerschnitte, Transportkriterien etc.
- **Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung von SCSC-Plattenelementen als Fahrbahnplatten für Trogbrücken,** bei denen die Hauptträgerstege in einem nachfolgenden Schritt angeschweißt werden.
- **Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung des Betonkörpers der Fahrbahnplatten einer Trogbrücke,** bei welcher die Hauptträgerstege bereits angeschweißt sind.
- **Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Plattenbrücke.** Hierbei stellt die SCSC-Platte bereits den fertigen Brückenquerschnitt dar.

Das nachstehende Kapitel gibt vorab einen theoretischen Input über die grundlegenden Begriffe und Informationen, die für diese Arbeit von Bedeutung sind. Außerdem wird über Transportmöglichkeiten sowie über die in dieser Arbeit verwendeten Programme, Auskunft gegeben und wichtige Programmsettings für die Nachvollziehbarkeit der geführten Nachweise aufgezeigt.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Trogbrücken

Um ein möglichst großes Lichtraumprofil unter der Brücke zu generieren, ist es ratsam, die Tragstruktur der Brücke nicht unter, sondern neben beziehungsweise über der Fahrbahn zu situieren. Dies schafft jedoch auch einige Nachteile in Bezug auf den Lastweg. Bei einer Ableitung der Lasten zur Seite der Fahrbahn hin, müssen erheblich weitere Lastwege zurückgelegt werden, als bei einer Deckbrückenkonstruktion, bei welcher die Last direkt unter der Schwelle der Schienenkonstruktion aufgenommen wird. Grundsätzlich ist es anzustreben, die Wege der Lastableitung so kurz wie möglich zu halten, um ein Optimum des Konstruktionseigengewichtes zu generieren. Dies ist klarerweise ein großer Vorteil der Deckbrücke im Vergleich zur Trogbrücke. Lässt es die Umgebung zu, beziehungsweise ist unter der Brücke genügend Platz, um das erforderliche Lichtraumprofil einzuhalten, ist auf jeden Fall die Deckbrücke der Trogbrücke vorzuziehen. Auch deswegen, weil die Deckbrücke in Bezug auf die Dauerhaftigkeit, einige große Vorteile (z.B. Streusalzeinwirkung auf die Konstruktion bei Straßenbrücken) gegenüber der Trogbrücke aufweist. Häufig ist das Lichtraumprofil unter der Brücke jedoch schon von der bestehenden Situation, welche die Brücke erst notwendig macht, definiert und darf unter keinen Umständen unterschritten werden. Somit ist immer öfters, im speziellen bei Ersatzneubauten, der Einsatz einer Brückentragkonstruktion als Trogbrücke unumgänglich.

Definitionsgemäß ist eine Trogbrücke ein Brückentyp, bei dem die Fahrbahnplatte nicht über den Längsträgern angeordnet ist, sondern auf gleicher Höhe oder darunter. Abbildung 2.1 soll den Unterschied zwischen Deck- und Trogbrücken im Hinblick auf die Bauhöhe verdeutlichen. In diesem Sinne kann eine Trogbrücke in verschiedensten Konstruktionsformen ausgeführt werden. In Abbildung 2.2 sind einige mögliche Konstruktionsausführungen mit unterschiedlichen Ausbildungen der Fahrbahnplatte ersichtlich, welche alle per Definition den Trogbrücken zuzuordnen sind. Gereiht sind die Konstruktionsformen jeweils von der Form mit der höchsten zur niedrigsten Bauhöhe. Hier gilt Bauhöhe 1 > Bauhöhe 2 > Bauhöhe 3 > Bauhöhe 4. Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die Konstruktionsform mit einer 120 mm dicken Grobblech-Tafel ohne jegliche Aussteifungen im Feldbereich als tragende Fahrbahnplatte, die Konstruktion mit der niedrigsten Bauhöhe darstellt. Diese Ausführungsform weist aber einige Nachteile auf. Dazu zählen die schwierige Verfügbarkeit der dicken Bleche, die hohe Stahltonnage sowie die anspruchsvollen Schweißstöße der Platte [11]. Die SCSC-Platte bildet für solche Ansprüche eine sehr gute Alternative zur Trogbrücke mit 120 mm Grobblech als Fahrbahnplatte, da zum einen die verwendeten Blechstärken leicht erhältlich und als Standardtafeln schnell lieferbar sind und zum anderen, da die aufwändigen und teuren 120 mm Bedarfsschweißstöße nicht mehr notwendig sind. Die Konstruktionshöhe der Fahrbahnplatte steigt im Gegenzug nur marginal von 120 mm auf 200 mm. Möglich wird dies durch den sinnvollen Einsatz der Materialien, nur dort wo sie benötigt werden. Weiteres zur Konstruktionsweise der SCSC-Platte wird im Kapitel 2.2 beschrieben.

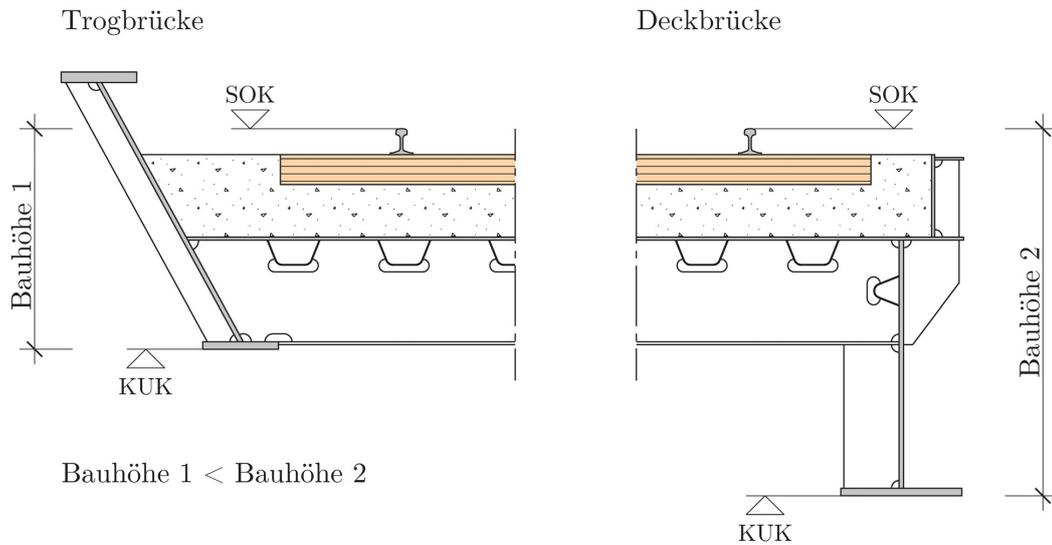


Abb. 2.1: Gegenüberstellung der Bauhöhen von Trog- und Deckbrücken

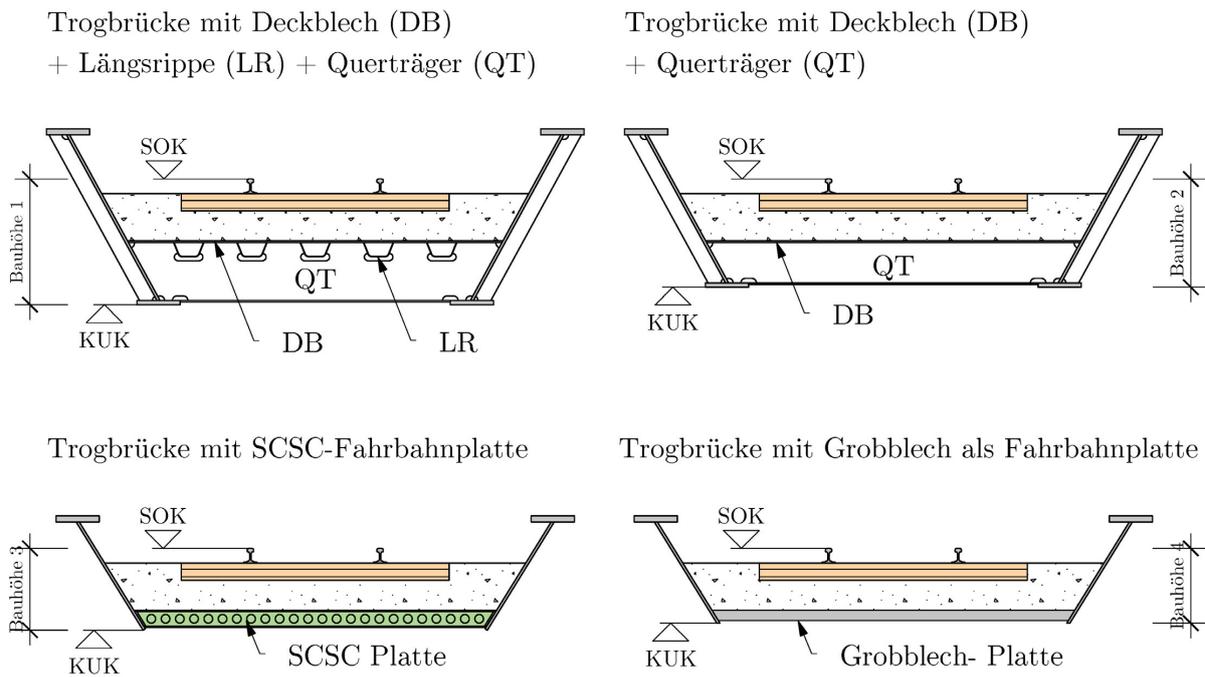


Abb. 2.2: Unterschiedliche Konstruktionsausbildungen der Fahrbahnplatte mit Hauptaugenmerk auf die Bauhöhe der Konstruktion

2.2 Aufbau und Tragprinzip der SCSC-Platte

Die *Steel-Concrete-Steel-Composite-Platte* oder kurz SCSC-Platte genannt zeichnet sich durch ihre besonders schlanke Bauhöhe von nur 200 mm, aufgrund ihrer besonderen Bauweise, aus.

Durch die Anordnung von billigem Material in der Nähe der Schwerlinie wird teurer Stahl, welcher zum Beispiel bei der Verwendung von Grobblechen als Fahrbahnplatte eingesetzt wird, durch wesentlich billigeren Beton ersetzt. Die Randfasern mit der höchsten Spannungsbelastung werden in effizienter Weise durch die Deckbleche abgebildet. In jeder Verbundplatte oder in jedem Verbundträger kommt der schubsteifen Verbindung zweier, oder wie in diesem Fall mehrerer Elemente, hohe Bedeutung zu. Diese "Verdübelung" des oberen und des unteren Blechs wird über den Füllbeton in kombinierter Wirkung mit den an den Deckblechen wechselseitig angeschweißten Dübelleisten gewährleistet. Durch diese Verdübelung und der einhergehenden schubsteifen Verbindung, werden die Steiner-Anteile der Deckbleche bestmöglich aktiviert [11]. Abbildung 2.3 zeigt den schematischen Aufbau der SCSC-Platte ohne das obere Deckblech.

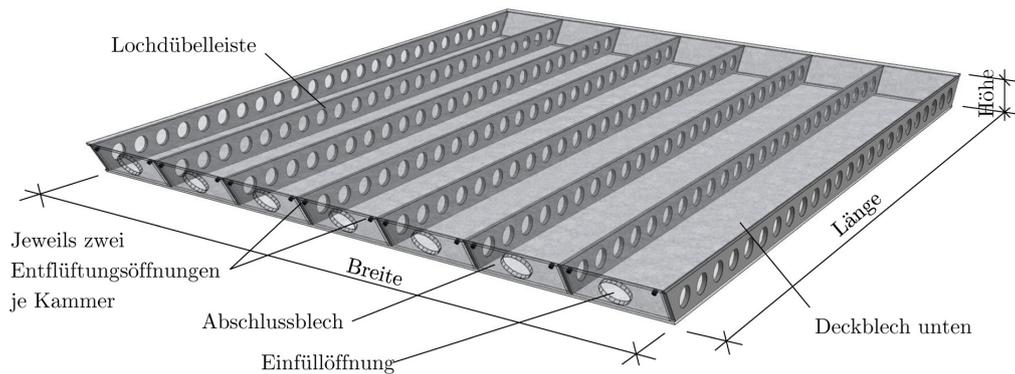


Abb. 2.3: Schematischer Aufbau der SCSC-Platte mit den Definitionen der Hauptabmessungen (Länge / Breite / Höhe)

Die grundlegende Montagereihenfolge der Platte ist in Abbildung 2.4 ersichtlich.

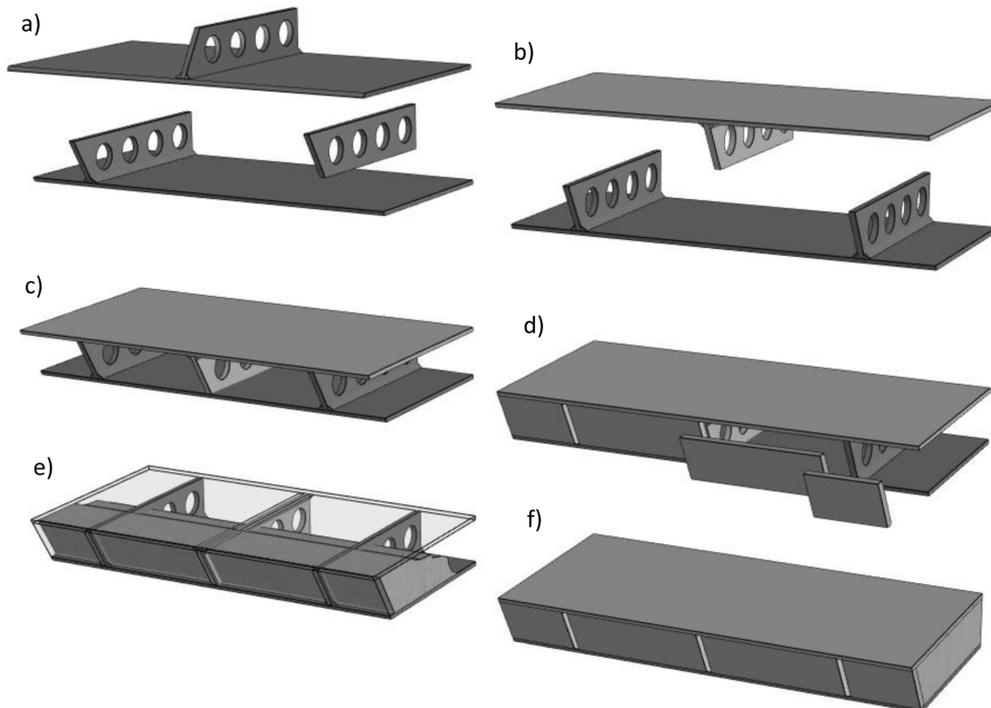


Abb. 2.4: Schematische Montagereihenfolge der Einzelelemente der SCSC-Platte

- a) Anschweißen der Dübelleisten mittels Kehlnähten auf das obere beziehungsweise das untere Deckblech.
- b, c) Die beiden Hälften werden zusammengeklappt und ausgerichtet. Die Dübelleisten des oberen und des unteren Deckbleches greifen kammartig ineinander [11].
- d) Die Abschlussbleche werden eingeschweißt: seitlich mit einer Kehlnaht möglich, da die Dübelleisten in etwa die halbe Blechdicke des Abschlussbleches nach innen springen. Oben und unten wird das Abschlussblech mit einer versenkten Kehlnaht an die Deckbleche geschweißt.
- e) Einfüllen des Betons in den geschlossenen Stahlkasten bis dieser vollständig gefüllt ist. Varianten zu diesem Einfüllvorgang werden in den weiteren Kapiteln behandelt.
- f) Fertiger Plattenquerschnitt.

Die Schubübertragung wird über horizontale Druckdiagonalen im Betonkern, welche sich zwischen den Dübelleisten am oberen Deckblech und den Dübelleisten am unteren Deckblech ausbilden, realisiert. Die Kraftübertragung von den Dübelleisten zum Beton erfolgt über den Kraftschluss durch die Löcher in den Dübelleisten. Die Funktion des Füllbetons beschränkt sich im Wesentlichen auf die schubfeste Verdübelung der außenliegenden Deckbleche und der Betonkörper wird nur durch Druckkräfte beansprucht. In [11] wurden verschiedene Formen von Dübelleisten untersucht, wobei festgestellt wurde, dass die Variante mit Lochdübelleiste die höchste Duktilität in den Versuchen erzielte. In Abbildung 2.5 ist das grundlegende Tragprinzip schematisch dargestellt [11].

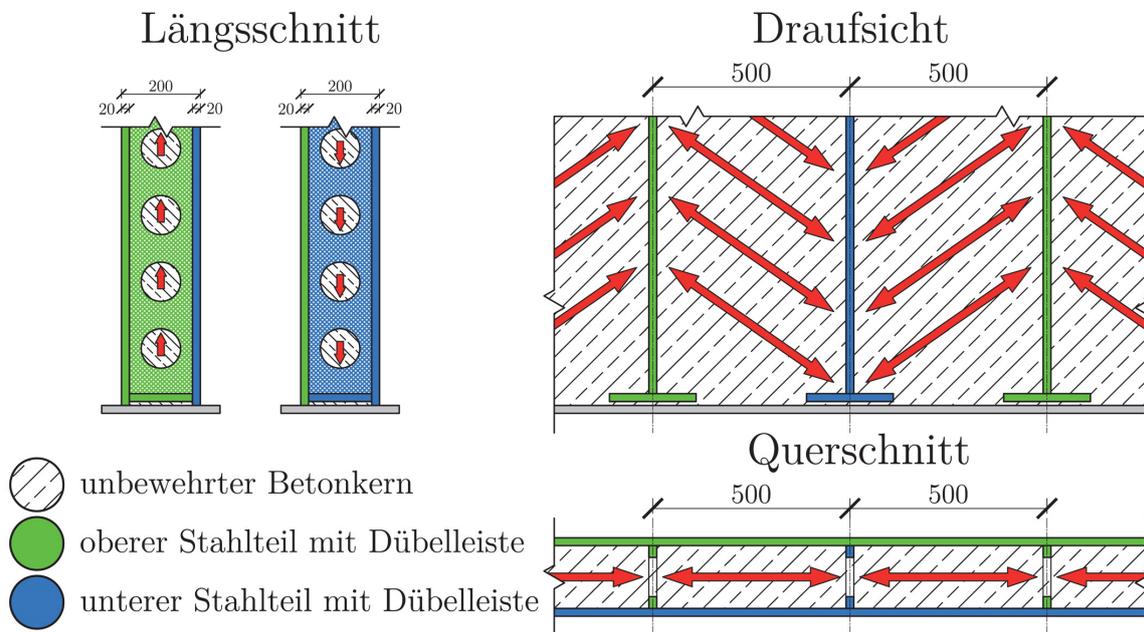


Abb. 2.5: Tragprinzip der SCSC-Platte aus [11]

Besonders wichtig ist die Kraftübertragung zwischen Betonkörper und den Endblechen der Brücke. In Abbildung 2.5 sind diese noch als lokale Steifenbleche eingezeichnet. Diese lokalen Steifenbleche wurden im Zuge der weiteren Detaillierung jedoch als durchgezogene "Abschlussbleche" festgelegt,

um lokale Spannungsspitzen zu reduzieren und dadurch die Ermüdungsfestigkeit zu erhöhen. Aufgrund der Tatsache, dass hohe Druckspannungen am Abschlussblech abgetragen werden, ist es wichtig, dass der Plattenkörper vollständig gefüllt ist und kein Hohlraum zwischen Betonkörper und Abschlussblech entsteht. Durch diesen Hohlraum kann sich keine Druckdiagonale vom Abschlussblech ausbilden, was dazu führt, dass die ersten Dübel weniger, jedoch alle weiteren Dübel erhöht beansprucht werden. Die allgemeinen Voraussetzungen, die für einen Betoniervorgang von Bedeutung sind, sollen deswegen nachstehend erläutert werden.

2.3 Allgemeine Voraussetzungen für den Betoniervorgang

Das Hauptaugenmerk beim Betoniervorgang liegt auf der hohlraumfreien und vollständigen Befüllung der Platte. Ebenso soll dieser Füllvorgang aus technischer und wirtschaftlicher Sicht so einfach und billig wie möglich erfolgen. Da Betonarten sich in ihren Eigenschaften hinsichtlich Konsistenz, Verdichtbarkeit, Entmischungsfahr etc. sehr stark unterscheiden, ist der Auswahl des Betons eine sehr große Rolle zuzuschreiben. Bei der Wahl des geeigneten Betons sind einige Grundlagen zu beachten, die im Folgenden punktuell angeführt werden.

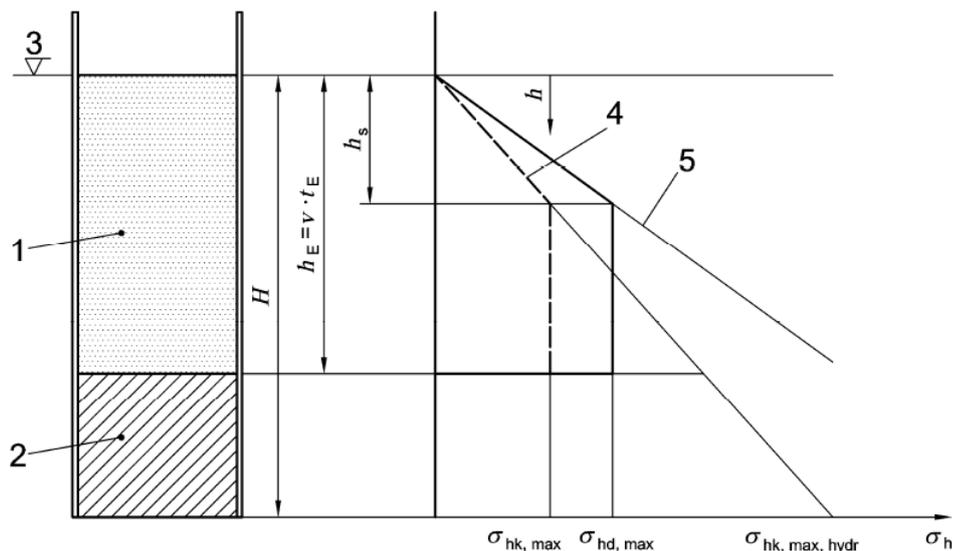
- Je höher die Konsistenzklasse, also umso fließfähiger der Beton, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit einer hohlraumfreien Befüllung der Platte.
- Je steiler der Neigungswinkel der Plattenelemente ist, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch zwischen Deckblech und Betonkern keine Lufteinschlüsse entstehen.
- Beton einer hoher Konsistenzklasse, speziell SCC-Beton, darf nicht nachträglich verdichtet werden. Das nachträgliche Verdichten würde den Beton entmischen und ist daher nicht zulässig.
- SCC-Beton ist aufgrund der hohen Anforderungen an den Transport und Einbau eher ungeeignet zur Anwendung auf der Baustelle. Dieser Spezialbeton sollte dabei bereits im Werk verarbeitet werden, wo die Randparameter des Betoniervorgangs genau kontrolliert werden können.
- Beton mit normaler Konsistenzklasse muss nach dem Einbringen in die Schalung verdichtet werden. Dieser Verdichtungsvorgang kann durch außen angebrachte Rüttler, so genannte Schalungsrüttler, oder durch Innenrüttler erfolgen.
- Der Beton kann entweder mittels Krankübel oder über eine Betonpumpe mit angeschlossenem Pumpenschlauch in die Schalung eingebracht werden. Soll eine Betonpumpe zum Einsatz kommen, muss der gewählte Beton pumpfähig sein. Das bedeutet, er muss ein ausreichendes Ausbreitmaß und einen relativ hohen Mehlkorngelalt besitzen, um gepumpt werden zu können.

2.3.1 Frischbetondruck

Beton ist im Zustand der Einbringung ein flüssiger Baustoff und wird erst durch die Hydratation des Zementleimes zu einem festen, tragfähigen Körper. Durch diese Eigenschaften entsteht durch das Einbringen des Betons ein Druck an den Innenseiten der Schalung, welcher als Frischbetondruck oder Schalungsdruck bezeichnet wird. Die Größe dieser Schalungsdrücke ist in der DIN 18218 [6] geregelt. Der Frischbetondruck ist als ruhende Last zu betrachten. Hauptaspekte, welche die Größe des Frischbetondrucks beeinflussen, sind nachstehend nach [6] aufgelistet.

- Rohdichte des Betons (Normalbeton, Leichtbeton, Schwerbeton).
- Hydrostatische Druckhöhe.
- Temperatur: Hierbei spielt sowohl die Frischbetontemperatur als auch die Außentemperatur eine Rolle, da sie den Erstarrungszeitpunkt des Betons beeinflussen. Ein etwaiges Beheizen der Schalung darf nicht als druckmindernd angesetzt werden.
- Art der Verdichtung: Bei Innenrüttlern ist die Eintauchtiefe der Rüttler von entscheidender Bedeutung. Sollen Schalungsrüttler zur Anwendung kommen, ist in den Bereichen, wo die Schalungsrüttler wirken, der hydrostatische Frischbetondruck anzusetzen.
- Betonzusatzmittel und Zusatzstoffe: Diese beeinflussen die Frischbetonkonsistenz sowie das Erstarrungsende.
- Erschütterungen während des Aushärtprozesses.
- Vorhandene Bewehrung im Bauteil: In stark bewehrten Bauteilen kann der horizontale Frischbetondruck signifikant geringer sein als in unbewehrten Bauteilen.

Bei Verwendung von Betone mit normaler Konsistenzklasse, welche mit einer vorgegebenen Steiggeschwindigkeit von maximal 7 m/h gegen die Steigrichtung eingebracht werden, stellt sich ein Frischbetondruck nach Abbildung 2.6 ein. Es ist zu erkennen, dass ab einer gewissen Füllhöhe der Frischbetondruck nicht mehr dem hydrostatischen Druck entspricht. Dieses Plateau, unter welchem sich eine konstante Druckverteilung einstellt, ist abhängig von der Steiggeschwindigkeit und dem Erstarrungsende des eingesetzten Betons.



Legende

- 1 Frischbeton
- 2 erstarrter Beton (Festbeton)
- 3 Betonspiegel
- 4 hydrostatischer Frischbetondruck
- 5 γ_F -facher hydrostatischer Frischbetondruck

Abb. 2.6: Verteilung des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe [6]

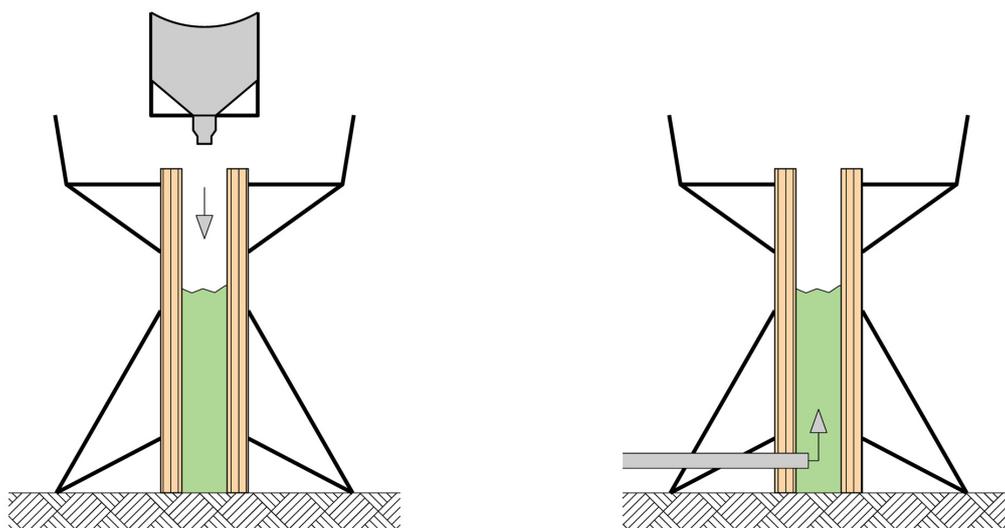
Eine Sonderform der Frischbetoneinbringung stellt das Einbringen des Betons in Steigrichtung dar. Bei diesem Verfahren wird der Beton durch einen Einfüllstutzen an der Unterseite der Schalung eingepumpt. Durch das Einbringen des Betons an der Unterseite ist der Frischbeton an der Einfüllstelle ständig in Bewegung, was zur Folge hat, dass immer der hydrostatische Druck für die Schalungsbemessung anzusetzen ist. Da zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht festgelegt ist, in welcher Form der Beton schlussendlich eingebracht wird, werden alle Konstruktionselemente, welche dem Frischbetondruck ausgesetzt sind, auf der sicheren Seite liegend mit dem hydrostatischen Frischbetondruck bemessen. Bei Betoneinbringung von hochfließfähigem Beton von unten in die Schalung steigt der Frischbetondruck linear mit der Höhe an. Gleichung 2.1 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Daraus folgt, dass auch der Konsistenz des Betons große Relevanz zuzuschreiben ist. Welche Unterschiede und wichtige Aspekte dabei berücksichtigt werden müssen, soll im nächsten Kapitel erläutert werden.

$$\sigma_{hk} = \gamma_C * H \quad (2.1)$$

σ_{hk}Frischbetondruck in $[\text{kN}/\text{m}^2]$

γ_CFrischbetonwichte mit $25 \text{ kN}/\text{m}^3$ nach DIN 12812 [4]

HHydrostatische Höhe in $[\text{m}]$



(a) Betoneinbringung gegen die Steigrichtung

(b) Betoneinbringung in Steigrichtung

Abb. 2.7: Unterschiedliche Varianten der Betoneinbringung in Bezug auf die Steigrichtung

2.3.2 Konsistenz des Betons

Nach Wendehorst [13] wird die Betoneigenschaft "Konsistenz" folgendermaßen beschrieben: "Unter der Konsistenz versteht man die äußere Beschaffenheit des Frischbetons, mit deren Hilfe die komplexe, nicht genau definierbare Eigenschaft der Verarbeitbarkeit eines Betons charakterisiert werden kann."

Die Frischbetonkonsistenz hat somit erheblichen Einfluss auf die Verarbeitbarkeit des Betons. Besitzt der Beton eine niedrige Konsistenz, so wird dieser als "steif" bezeichnet. Wird ihm jedoch eine hohe Konsistenz zugeschrieben, wird er als "weicher Beton" bezeichnet. Je höher die Konsistenz, also je weicher der Beton ist, umso leichter ist dieser zu verarbeiten und zu verdichten. Die maßgebenden Einflüsse auf die Konsistenz des Betons sind der Zementleimgehalt, die Kornzusammensetzung und bei dieser insbesondere der Mehlkorngelalt, die Kornform sowie etwaige Betonzusatzmittel. Werden keine Zusatzmittel eingesetzt, ist die Konsistenz des Betons lediglich abhängig von der Leimmenge. Diese ist wiederum abhängig von der zu umhüllenden Oberfläche der Gesteinskörner, also von der Kornzusammensetzung. Somit ist die Konsistenz nur in sehr geringem Maß abhängig vom Zementgehalt, abgeleitet daraus hat auch der W/Z-Wert nahezu keinen Einfluss auf diese.

Zur Einstufung der Verarbeitungsqualität von Beton wurden Konsistenzklassen nach EN 206 [2] eingeführt. Die Einstufung des Frischbetons in eine Konsistenzklasse kann nach unterschiedlichen, in ÖNORM EN 12350 festgelegten, Konsistenzprüfverfahren erfolgen.

- Setzmaß (ÖNORM EN 12350 - 2)
- Setzzeitmaß (ÖNORM EN 12350 - 3)
- Verdichtungsmaß (ÖNORM EN 12350 - 4)
- Ausbreitmaß (ÖNORM EN 12350 - 5)

Die am häufigsten angewendeten Verfahren sind der Ausbreitversuch sowie der Verdichtungsversuch. Mit dem Ausbreitversuch werden eher weiche Betone charakterisiert, mit dem Verdichtungsversuch eher steife Betone. Abbildung 2.8 zeigt den schematischen Ablauf der wichtigsten Konsistenzprüfverfahren.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Konsistenzklassen nach EN 206 [2], beziehungsweise nach dem Österreichischen Anwendungsdokument zu dieser Norm, der ÖNORM B 4701-1 [3].

Tab. 2.1: Ausbreitmaß - und Verdichtungsmaßklassen nach ÖNORM B4701-1 [3]

| Ausbreitversuch | | Verdichtungsversuch | | Konsistenzbeschreibung - |
|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|
| Klasse | Ausbreitmaß [mm] | Klasse | Verdichtungsmaß | |
| - | - | C0 | $\geq 1,46$ | erdfeucht |
| - | - | C1 | 1,45 - 1,26 | sehr steif |
| - | - | C2 | 1,25 - 1,11 | steif |
| F38 | 350 - 410 | - | - | steif plastisch |
| F45 | 420 - 480 | - | - | plastisch |
| F52 | 490 - 550 | - | - | weich |
| F59 | 560 - 620 | - | - | sehr weich |
| F66 | 630 - 690 | - | - | fließfähig |
| F73 | 700 - 760 | - | - | sehr fließfähig |

Soweit nichts anderes festgelegt, gilt in Österreich F45 als vereinbart. Beton ab einem Ausbreitmaß von $> 700 \text{ mm}$ wird als SCC-Betone *Self-Compacting-Concrete* oder SVB *selbstverdichtender Beton* bezeichnet. Diese extrem flüssigen Betone müssen nicht verdichtet werden. Eine nachträgliche Verdichtung würde sich sogar negativ auswirken, da sich der Frischbeton entmischen würde und somit an Homogenität verliert.

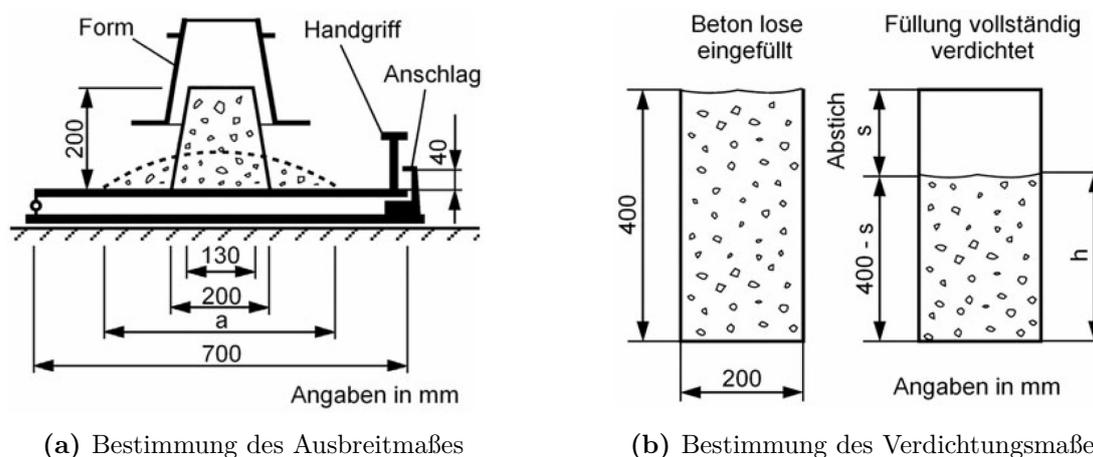


Abb. 2.8: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus vom Ausbreit- und Verdichtungsversuch nach [13]

2.3.3 Temperaturbeanspruchung von Beton

Im Zuge der Herstellung von Stahl-Beton-Verbund-Konstruktionen kann es, bedingt durch notwendige Montagestöße oder durch Anbringung verschiedener Anbauteile, zu einem Hitzeintrag durch Schweißarbeiten kommen. Da Stahl ein sehr guter Wärmeleiter ist, wird die Hitze durch Schweißarbeiten sehr schnell weitergeleitet. Dadurch sind diese Einflüsse durch externe Hitzeintragung auf den Beton besonders kritisch.

Bis zu einer Temperatur von 100 °C kann davon ausgegangen werden, dass es zu keiner Beeinträchtigung des Betongefüges kommt. Ab 100 °C beginnt jedoch das frei eingelagerte Wasser im Beton zu verdampfen. Dadurch kann sich in einer vollkommen geschlossenen Umgebung Wasserdampfdruck aufbauen. Oberhalb von 100 °C enthält der Beton kein freies Wasser mehr und das physikalisch gebundene Wasser in den Poren beginnt zu verdampfen, was zu einem weiteren Anstieg des Wasserdampfdrucks führen kann. Nach Wendehorst [13] darf Beton einer Temperatur von mehr als 250 °C nicht über längere Zeit ausgesetzt werden. Wirken Temperaturen nur kurzzeitig, also bis zu einer Einwirkungsdauer von 24 Stunden, so ist nach Wendehorst [13] bei einer Temperatur von 250 °C die Druckfestigkeit um 30% und der E-Modul um 40% abzumindern. Bei Temperaturen zwischen 80 °C und 250 °C sind die Abminderungsfaktoren für die Rechenwerte linear zu interpolieren. Auf Grundlage des betontechnischen Berichtes 62 [25] kann davon ausgegangen werden, dass sofern der Beton eine Temperatur von 300 °C nicht überschreitet, keine tiefgreifenden Strukturänderungen zu erwarten sind und der Beton nach Berührung mit feuchter Luft wieder seine ursprüngliche Festigkeit zurückgewinnt.

Im Temperaturbereich zwischen 150 °C und 400 °C findet nach [22] eine teilweise Freisetzung des Wassers der Calciumsilicathydrate (CSH) im Zementstein statt. Durch diesen Wasserdampftransport im Inneren des Betongefüges bauen sich Spannungen auf und es kann zu Abplatzungen kommen. Untersuchungen zu Abplatzungen von Beton in geschlossenen Umgebungen gibt es jedoch noch keine, somit kann nicht gesagt werden, ob Abplatzungen durch Temperaturbeanspruchung in der vorliegenden Umgebung eine Rolle spielen. Ab einer Temperatur von 500 °C beginnt die chemische Umwandlung von Calciumhydroxid und ab einer Temperatur von 700 °C kommt es in der Regel zur vollständigen Zerstörung des Betongefüges.

2.4 Plattenquerschnitt der SCSC-Platte zur Verwendung als Fahrbahnplatte

Wird die Platte als Fahrbahnplatte für Trogbriicken verwendet, so sind die Abschlussbleche in der Neigung der jeweiligen Stegbleche der Hauptträger anzuordnen. Soll die Platte als Plattenbrücke eingesetzt werden, so werden die Abschlussbleche aufgrund der einfacheren Herstellung auch in Bezug auf den Betoniervorgang horizontal hergestellt. Folgende Abbildung 2.9 zeigt den Regelquerschnitt der SCSC-Platte bei der Verwendung als Fahrbahnplatte. Die Dicke der Deckbleche wurde aus [23] ibernommen. Die Winkel der Abschlussbleche wurde anhand der Geometrie der Brücke aus der Regelstatik für Trogbriicken bis zu einer Länge von 20 m vom Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau an der TU Wien [7] gewählt. Die Dicke der Abschlussbleche soll gleich dick sein wie die Hauptträgerstege und wurde hier mit 30 mm angenommen. Dieser Querschnitt dient als Grundlage für die Massenermittlung zur weiteren Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen.

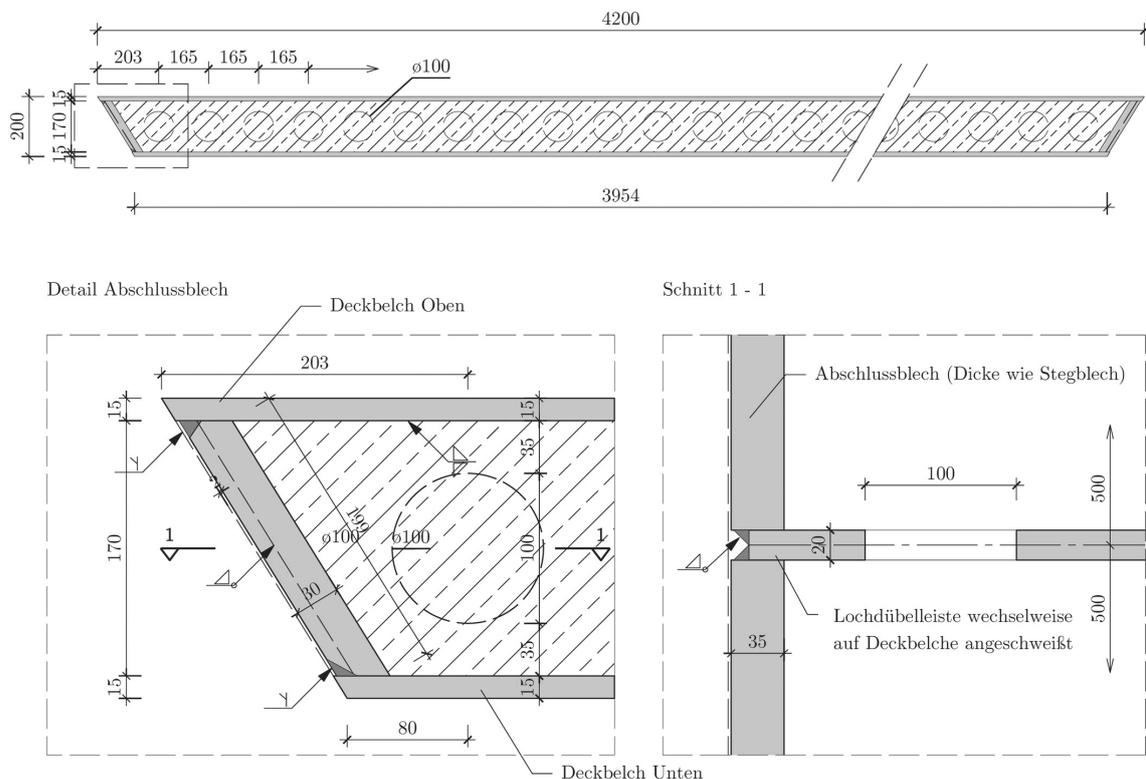


Abb. 2.9: Angenommener Querschnitt der SCSC-Platte inklusive Detailausschnitte zur Ausbildung des Abschlussbleches.

2.4.1 Massenermittlung

Als Grundlage zur Ermittlung der Krafteinwirkung, welche durch die Masse der Brücke für die spätere Vordimensionierung der notwendigen Betonierhilfskonstruktionen zustande kommt, wird die Erdbeschleunigung mit $10,0 \text{ m/s}^2$, auf der sicheren Seite liegend, angenommen. Die Masse

der Platte wird für einen Regelstreifen von 0,5 m Breite ermittelt. Folgende Dichten zur Massenermittlung wurden dabei berücksichtigt:

- Stahl $\rho_S = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Beton $\rho_B = 2500 \text{ kg/m}^3$ (In Anlehnung an DIN 12812 [4])

Volumina der einzelnen Teilkomponenten:

- Deckblech oben:
 $V_{\text{Deckblech}_o} = 0,015 * 4,200 * 0,5 = 0,0315 \text{ m}^3$
- Deckblech unten:
 $V_{\text{Deckblech}_u} = 0,015 * 3,954 * 0,5 = 0,02966 \text{ m}^3$
- Lochdübelleiste:
 $V_{\text{Lochdübelleiste}} = 0,02 * [(4,2 + 3,954) * 0,17 / 2 - 24 * 0,1^2 * \pi / 4] = 0,0101 \text{ m}^3$
- Abschlussbleche:
 $V_{\text{Abschlussbleche}} = 0,03 * 0,199 * (0,5 - 0,02) * 2 = 0,005731 \text{ m}^3$
- Betonkörper:
 $V_{\text{Beton}} = 0,17 * (4,125 + 3,9165) / 2 * 0,5 - 0,02 * [(4,125 + 3,9165) * 0,17 / 2 - 24 * 0,1^2 * \pi / 4] = 0,332 \text{ m}^3$

$$V_{\text{Stahl}_{SCSC}} = 0,0770 \text{ m}^3 / 0,5 \text{ m}$$

$$V_{\text{Beton}_{SCSC}} = 0,332 \text{ m}^3 / 0,5 \text{ m}$$

Massen der einzelnen Teilkomponenten:

$$M_{\text{Stahl}_{SCSC}} = 0,0770 * 7850 * 1 / 0,5 = \mathbf{1208,9 \text{ kg/m}}$$

$$M_{\text{Beton}_{SCSC}} = 0,332 * 2500 * 1 / 0,5 = \mathbf{1660 \text{ kg/m}}$$

2.5 Brückenquerschnitt mit SCSC-Fahrbahnplatte

Als Grundlage für die Dimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen sowie zur Massenbestimmung von einzelnen Teilabschnitten der Brücke wurde folgender Brückenquerschnitt in Abbildung 2.10, in Anlehnung an die Regelstatik für Trogbüden bis zu einer Länge von 20 m vom Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau an der TU Wien [7], herangezogen. Die vorliegende Regelstatik wurde in Abweichung mit den in den Abbildungen 2.10 - 2.12 dargestellten Brückenquerschnitten für Trogbüden mit einer Grobblechtafel als Fahrbahnplatte erstellt. Diese Grobblechtafel wurde für die erste Dimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen durch die SCSC-Platte ersetzt. Die Abmessungen der tatsächlich ausgeführten Brücke können von der vorliegenden Geometrie aufgrund der vorherrschenden Ortsverhältnisse und der detaillierteren projektbezogenen Berechnungen abweichen.

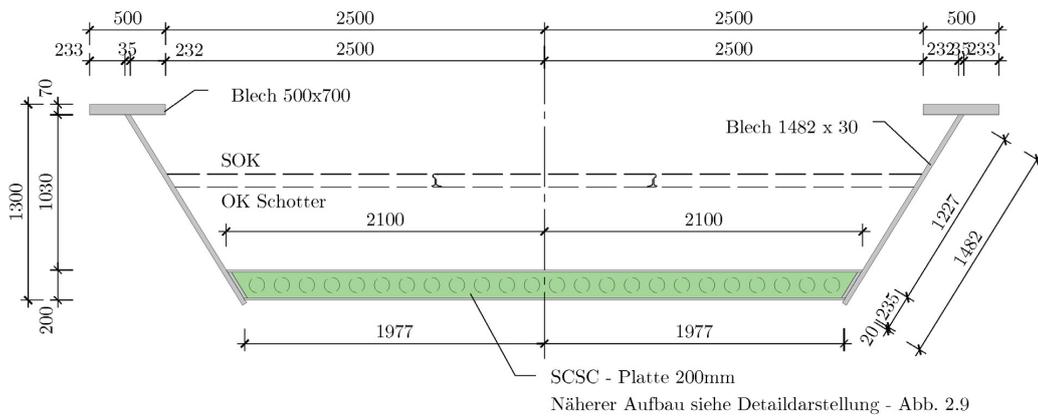


Abb. 2.10: Brückenquerschnitt im Regelbereich

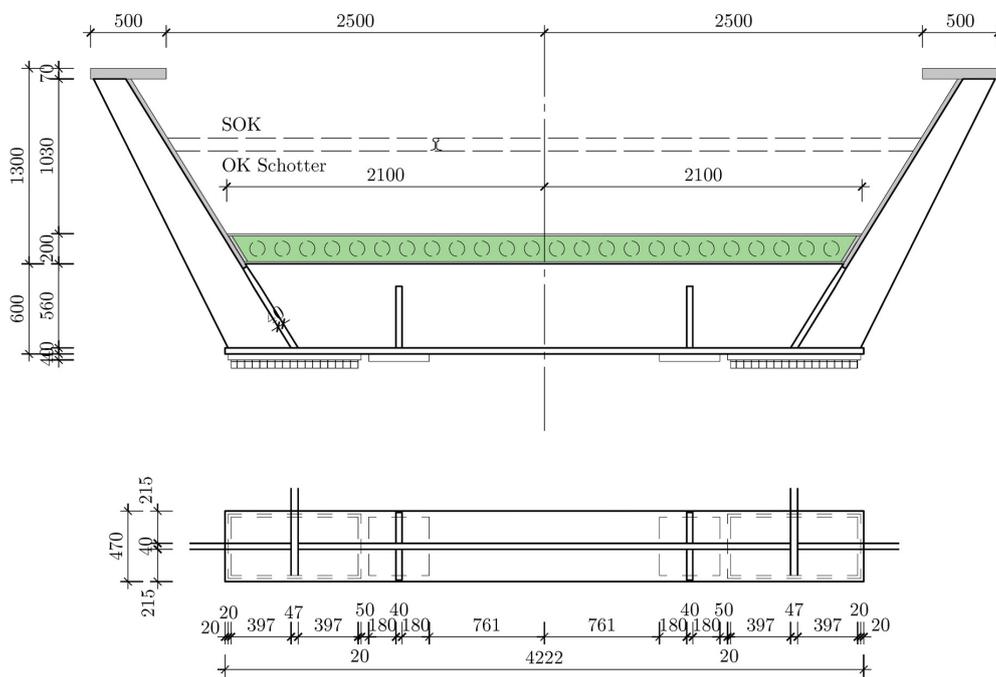


Abb. 2.11: Brückenquerschnitt am Endquerträger

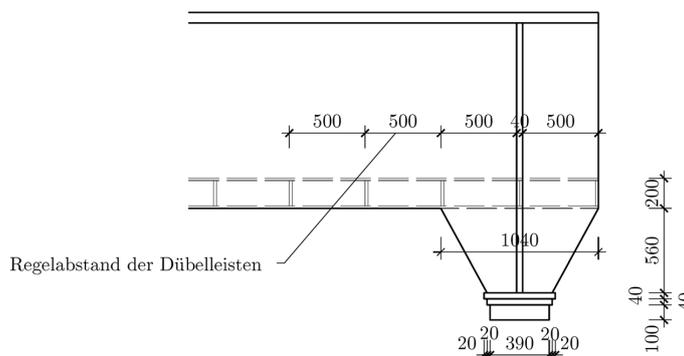


Abb. 2.12: Brückenquerschnitt am Endquerträger - Ansicht

2.5.1 Massenermittlung

Die Massen im Feldbereich der Brücke werden wieder auf einen Regelquerschnitt mit 0,5 m Breite bezogen.

Volumina der einzelnen Teilkomponenten:

- SCSC-Platte Stahlbauteile:
 $V_{Stahl_{SCSC}} = 0,0770 \text{ m}^3$ (aus Kapitel 2.4.1)
- SCSC-Platte Betonkörper:
 $V_{Beton_{SCSC}} = 0,332 \text{ m}^3$ (aus Kapitel 2.4.1)
- Hauptträgerflansche:
 $V_{Hauptträgerflansch} = 0,5 * 0,07 * 0,5 * 2 = 0,035 \text{ m}^3$
- Hauptträgerstege:
 $V_{Hauptträgerstege} = 0,03 * 1,482 * 0,5 * 2 = 0,044 \text{ m}^3$

$$V_{Stahl_{GesamtQS}} = 0,156 \text{ m}^3 / 0,5 \text{ m}$$

$$V_{Beton_{GesamtQS}} = 0,332 \text{ m}^3 / 0,5 \text{ m}$$

$$M_{Stahl_{GesamtQS}} = 0,156 * 7850 * 1 / 0,5 = \mathbf{2450 \text{ kg/m}}$$

$$M_{Beton_{SCSC}} = 0,332 * 2500 * 1 / 0,5 = \mathbf{1660 \text{ kg/m}}$$

Die Masse der zusätzlichen Bleche durch die Ausbildung des Endquerträgers werden als Punktmassen berücksichtigt und werden nicht wie die Massen des Brückenquerschnitts als Masse/Länge angegeben. Das Volumen der Bleche des Endquerschnitts wurde mittels 3D-CAD-Programm ermittelt.

$$V_{Stahl_{Endquerträger}} = 0,295 \text{ m}^3$$

$$M_{Stahl_{Endquerträger}} = 0,295 * 7850 = 2316 \text{ kg}$$

2.6 Montagestöße der SCSC-Platte

Wird die Platte in Teilquerschnitten gefertigt, ist es notwendig, diese auf der Baustelle aneinanderzufügen. Diese Stöße, welche erst auf der Baustelle verbunden werden, werden als Montagestöße bezeichnet. Zu diesen Montagestößen wurden bereits in der Arbeit zur Tragfunktionsanalyse [11] Überlegungen getroffen, welche in Abbildung 2.13 ersichtlich sind.

Speziell bei den geschweißten Varianten ist darauf zu achten, dass durch große Hitzeeinbringung zufolge Schweißarbeiten in Bereichen, welche direkt an den Betonkörper angrenzen, das Betongefüge gestört werden könnte.

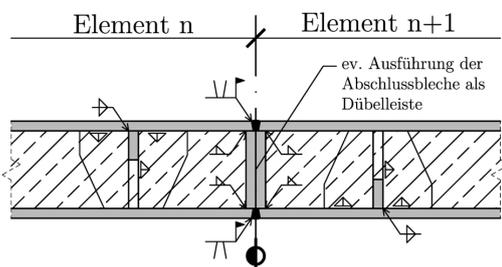
Zusätzlich zu den oben genannten Varianten wird noch eine zusätzliche Möglichkeit zur Ausbildung eines Montagestoßes in Abbildung 2.14 vorgeschlagen. Diese Variante hat nach Meinung des Verfassers zwei Vorteile: Zum einen erfolgt kein Hitzeeintrag durch Schweißarbeiten in unmittelbarer Nähe des Betonkörpers, da diese schon vorab abgeschlossen sind. Zum anderen wird die Wirkung des Füllbetons im Bereich der Dübelleiste (maßgebender Bauteil für die Stahlermüdung) nicht behindert oder eingeschränkt, da die Bauteilfuge im Beton zwischen den Dübelleisten liegt. Die Schubübertragung in der Arbeitsfuge des Betons wird durch eingelegte Bewehrungskörbe mit Abstellelementen bewerkstelligt. Der Bewehrungskorb muss hierbei bereits beim Zusammenfügen des oberen und des unteren Deckbleches eingelegt werden. Für den Betoniervorgang werden die beiden bereits gegossenen SCSC-Plattenelemente über einen stahlbaummäßigen Montageschweißstoß aneinandergesetzt. Dabei befindet sich der Beton aus Betonierabschnitt 2 (in hellgrau in Abbildung 2.14 dargestellt) noch nicht in der Kammer. Anschließend wird die Platte mit den Methoden aus den Kapiteln 4, 5 oder 6 in die jeweilige Position gebracht und ausbetoniert. Um eine zweistufige Füllung einer Kammer zu gewährleisten, befinden sich bei der Kammer, in welcher sich das Abschalelement befindet, zwei Einfüllöffnungen mit den notwendigen Entlüftungsöffnungen am Abschlussblech.

2.7 Transportkriterien

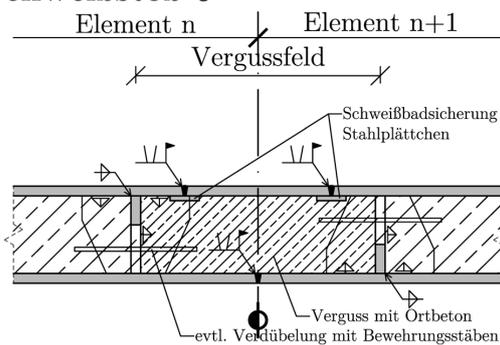
Der Transport von Bauteilen zur Baustelle stellt einen sehr wichtigen Teil bei der Herstellung von Bauwerken dar. Speziell im Brückenbau, wo sehr große Bauteile transportiert werden müssen, ist der Transport der einzelnen Brückenteile oder gar der gesamten Brücke von enormer Bedeutung. Speziell in der Stahlbaufertigung sind mehrere unterschiedliche Transportvorgänge nach [1] zu unterscheiden:

- Anlieferung und Lagerung des Rohmaterials
- Innerbetriebliche Transporte
 - in den einzelnen Bearbeitungsstationen
 - zum Zusammenbau der Bauteile
 - zur Konservierung, also zur Herstellung der notwendigen Beschichtungen oder Verzinkungen
 - zur Lagerung der fertigen Bauteile
- Transport zur Baustelle
- Transporte innerhalb der Baustelle

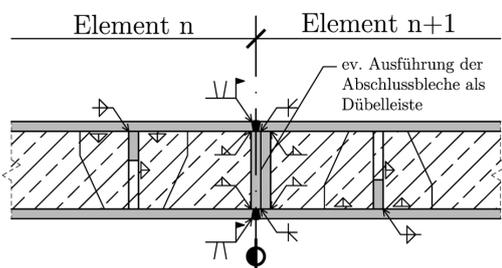
Schweißstoß 1



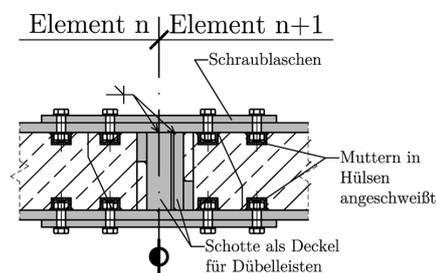
Schweißstoß 5



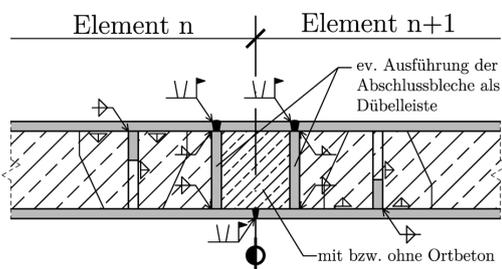
Schweißstoß 2



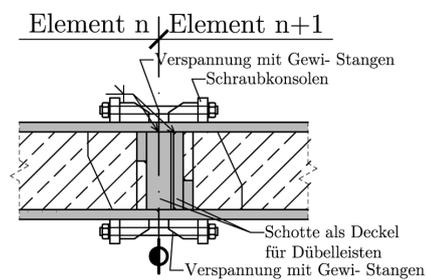
Schraubstoß 1



Schweißstoß 3



Schraubstoß 2



Schweißstoß 4

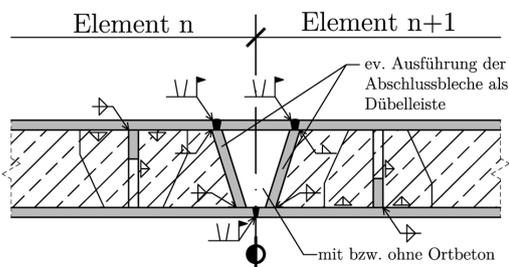


Abb. 2.13: Mögliche Ausführungsvarianten von Montagestößen aus [11]

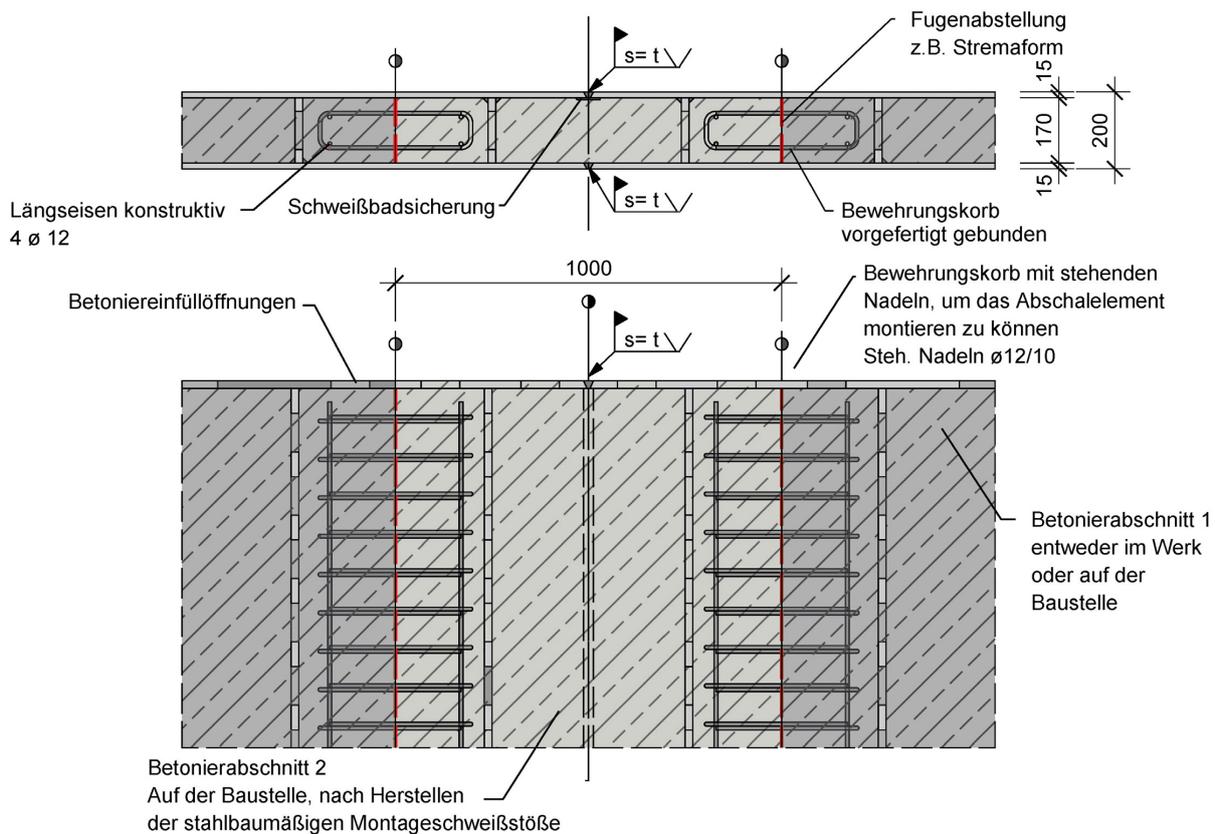


Abb. 2.14: Zusätzliche Ausführungsvariante eines Montagestoßes mit Bewehrungskorb und Abschalelement

Die wichtigsten und auch anspruchsvollsten Transportvorgänge sind der Transport vom Werk auf die Baustelle sowie die Transporte innerhalb der Baustelle. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass diese Transportvorgänge von externen Einflüssen betroffen sind und an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden müssen. Überlegungen zum Transport sollten schon vor Beginn der Planungsarbeiten angestellt werden, um eine technische sowie wirtschaftliche Machbarkeit zu gewährleisten. Generell sind dabei einige verschiedene Transportmöglichkeiten vom Herstellungsbetrieb zur Baustelle zu unterscheiden:

- Transport auf der Straße (LKW, Kleintransporter)
- Transport mit der Bahn
- Transport auf Wasserwegen (Schiffe, Pontons)
- Transport in der Luft (Hubschrauber); Diese Transportmöglichkeit spielt beim Transport von Brückenelementen die geringste Rolle

Für die Wahl der geeigneten Transportwege sind noch einige weitere Kriterien zu beachten, welche bereits vorab und individuell überlegt werden müssen:

- Gibt es bereits vorhandene Transportwege?
- Müssen zusätzliche Transportwege geschaffen werden?

- Gibt es Einschränkungen oder Engpässe an den vorhandenen Transportwegen, wie zum Beispiel Einschränkungen des Lichtraumprofils oder Tragfähigkeitsbeschränkungen?
- Gibt es Auflagen, welche einzuhalten sind (z.B Sondertransporte, Nachtfahrten etc.)?

Werden all diese Kriterien bestmöglich berücksichtigt, kann die optimale Transportvariante für das jeweilige Bauteil gefunden werden.

2.7.1 Transport auf der Straße

Diese Transportart ist die häufigste, welche in Österreich für den Transport von Baumaterialien, von Bauteilen oder sonstigen für den Bau relevanten Teile angewendet wird. Sie ist auch die relevanteste Transportweise für die vorliegende Arbeit, deshalb wird sie im Gegensatz zu den anderen oben genannten Transportarten nun genauer behandelt. Prinzipiell wird in Österreich durch das KFG (Kraftfahrgesetz) aus dem Jahr 1967 geregelt, welche maximal zulässigen Gesamtgewichte sowie maximale Außenabmessungen ohne eine Genehmigung für einen Großraum- oder Schwertransport erlaubt sind. Werden diese Grenzwerte unterschritten, handelt es sich um einen normalen genehmigungsfreien Transport. Werden diese Grenzwerte jedoch überschritten, so sind Ausnahmegenehmigungen erforderlich. Prinzipiell ist es vorteilhaft, wenn Transporte ohne Sondergenehmigung erfolgen können. Die für die vorliegende Arbeit relevanten Grenzen finden sich in §4/7a KFG für Kraftfahrzeuge mit Anhänger sowie Sattelkraftfahrzeuge. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die höchstzulässigen Maße und Gewichte.

Tab. 2.2: Grenzabmessungen und Grenzgewichte nach KFG-1967 §4/7a

| Bezeichnung | Höhe | Breite | Länge | Maximalgewicht |
|----------------------------------------------|-------|--------|---------|----------------|
| Kraftwagen mit Anhänger | 4,0 m | 2,55 m | 18,75 m | 40.000 kg |
| Vorlauf- und Nachlaufverkehr | 4,0 m | 2,55 m | 18,75 m | 44.000 kg |
| Sattelkraftfahrzeuge | 4,0 m | 2,55 m | 16,5 m | 40.000 kg |
| Sattelkraftfzg. mit kranbarem Sattelanhängen | 4,0 m | 2,55 m | 16,5 m | 41.000 kg |

Die Achslast darf 10.000 kg, die Antriebsachse jedoch 11.500 kg nicht überschreiten. Wie oben beschrieben, ist bei Überschreitung dieser Grenzmaße eine Sondergenehmigung erforderlich. Grundsätzlich gibt es mit einer Sondergenehmigung keine Grenzen mehr für die Größe und Masse des Transportes. Der limitierende Faktor für solche Transporte sind die örtlichen Gegebenheiten und Traglastbeschränkungen auf dem Transportweg, welche unbedingt vor Planungsbeginn der Bauteile begutachtet werden müssen.

2.7.2 Transportteile - Brückenquerschnitt

Durch die in Kapitel 2.7.1 beschriebenen Grenzmaße und Grenzmassen ist es wichtig, sich vorab Gedanken über die Größe und Masse der zu transportierenden Bauteile zu machen.

Eine Brücke kann in den verschiedensten Formen geliefert werden. Angefangen von den kleinsten Elementen, wie zum Beispiel den einzelnen Blechen, welche schlussendlich auf der Baustelle zusammengesetzt werden, bis hin zur fertiggestellten Brücke. Je kleiner die zu transportierenden Teile, umso einfacher gestaltet sich der Transport. Jedoch ist der anschließende Aufwand auf der Baustelle dann umso größer. Wird hingegen der fertige Brückenquerschnitt geliefert, gestaltet sich der Restaufwand auf der Baustelle minimal, demgegenüber bringt die hohe Masse und die großen Bauteilabmessungen hinsichtlich des Transportes einige Herausforderungen an die Transportplanung mit sich. Nachfolgend sind einige Varianten von Lieferteilen dargestellt und beschrieben, welche für die Herstellung der Brücke sinnvolle Lösungen darstellen.

2.7.2.1 Lieferteil: SCSC-Platte mit 3,52 m Breite

Das einfachste und auch leichteste sinnvoll zu transportierende Element ist ein Teilstück der Fahrbahnkonstruktion bestehend aus einem SCSC-Plattenstreifen mit ca. 3,52 m Breite. Diese Breite resultiert aus der maximalen Nettoladehöhe eines Innenladers von maximal 3,75 m. Geht man davon aus, dass die Platte, bedingt durch den Dübelleistenabstand von 0,50 m bevorzugt in 0,50 m-Schritten hergestellt wird, ergibt sich eine maximal zu transportierende Breite von $3,50\text{ m} + 0,02\text{ m}$ da sich die Abstände immer auf die Achsen beziehen und somit einmal die Blechstärke der Dübelleiste addiert werden muss. Die Fahrbahnbreite mit 4,20 m (Hier im Zuge der eingeführten Notation als Länge bezeichnet) ist eine vorgegebene Größe, welche bei der Herstellung nicht verändert werden kann. Dies würde einen Montagestoß in Haupttragrichtung der Platte notwendig machen, welcher technisch- und wirtschaftlich nicht sinnvoll umsetzbar ist. Die einzelnen Plattenelemente werden erst auf der Baustelle zusammengesetzt und in einem weiteren Schritt werden die Stegbleche der Hauptträger angeschweißt. Die Platte kann vor dem Transportvorgang bereits im Werk oder erst auf der Baustelle ausbetoniert werden. Der Unterschied liegt lediglich in der Masse des Lieferteils.

Die Spezifikationen des Lieferteils beziehen sich auf die Orientierung der Lochdübelleisten und sind nicht bezogen auf die Anordnung des Elementes auf dem LKW.

Tab. 2.3: Spezifikationen Lieferteil SCSC-Platte mit 3,52 m Breite

| Bezeichnung | Höhe | Breite | Länge | Gewicht |
|-------------------------------------|-------|--------|--------|-----------|
| SCSC-Element 3,52 m exkl. Füllbeton | 0,2 m | 3,52 m | 4,20 m | 4.240 kg |
| SCSC-Element 3,52 m inkl. Füllbeton | 0,2 m | 3,52 m | 4,20 m | 10.045 kg |

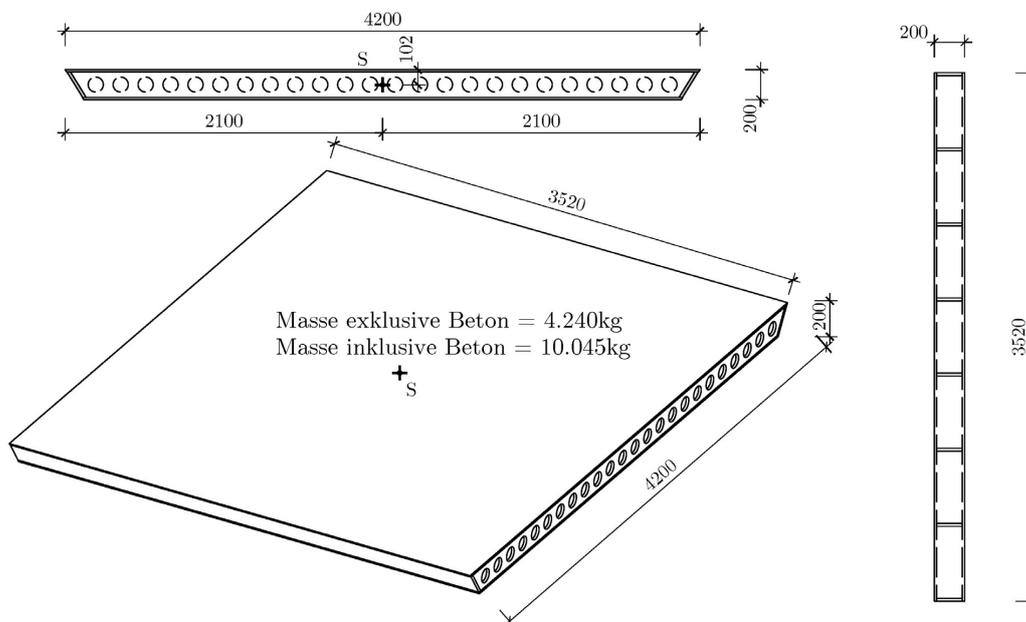


Abb. 2.15: Abmessungen Lieferteil SCSC-Platte mit 3,52 m Breite

Durch die gewählte Maximalbreite von 3,52 m können die einzelnen Platten auf einem Innenlader-LKW ohne Sondertransport stehend transportiert werden. Diese LKW-Typen kommen häufig

beim Transport von Fertigteilen, insbesondere Hohlwänden, oder fertigen Holzriegelwänden zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch einen extrem niedrigen Aufbau aus, mit welchem plattenförmige Bauteile besonders effizient transportiert werden können. Mit dieser Form des LKW-Aufbaus können Elemente mit einer Höhe von bis zu 3,75 m transportiert werden. Eine Zuladung von bis zu 31.000 kg ist je nach Typ des Innenladers möglich. Somit können drei bereits ausbetonierte SCSC-Plattenelemente mit einem Gesamtgewicht von 30.135 kg gleichzeitig transportiert werden. Dies ist vorab mit dem Logistikunternehmen abzuklären, welche zulässigen Nutzlasten bei dem vorhandenen Innenladermodell zugelassen werden dürfen.



Abb. 2.16: Anwendung Innenlader bei Betonfertigteilen ¹

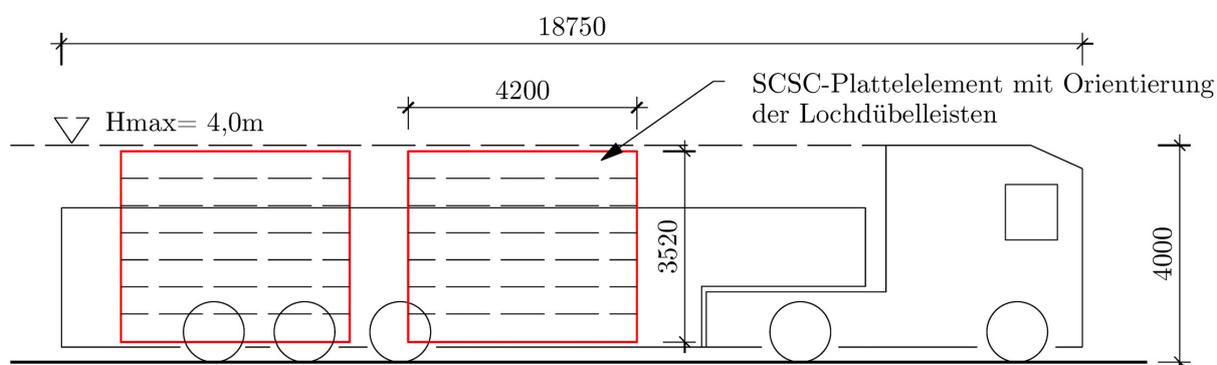


Abb. 2.17: Schematische Darstellung der Lage der SCSC-Elemente am Innenlader

¹https://www.bft-international.com/en/artikel/bft_Optimizing_logistics_processes_with_inloaders_2744723.html

2.7.2.2 Lieferteil: SCSC-Platte mit 13,0 m Breite

Eine weitere sinnvolle Breite, mit der vorgefertigte Plattenelemente transportiert werden können, sind 13,0 m. Geht man davon aus, wie in der vorliegenden Arbeit als Grundlage herangezogen, dass die fertige Brücke eine Gesamtlänge von 26,0 m besitzt, muss die Platte nur durch einen einzigen Montagestoß zusammengefügt werden. Die Stegbleche der Hauptträger werden erst auf der Baustelle angeschweißt. Auch ist die Elementbreite von 13,0 m noch relativ gut für den Transport auf der Straße handhabbar. Durch die vorgegebene Länge von 4,20 m ist die Platte jedoch zu hoch, um mit einem Innenlader ohne Sondergenehmigung transportiert werden zu können. Siehe dazu erläuternd Abbildung 2.19. Die Platte kann ebenso entweder im Werk oder auf der Baustelle unter Zuhilfenahme geeigneter Betonierhilfskonstruktionen ausbetoniert werden.

Die Spezifikationen des Lieferteils beziehen sich auf die Orientierung der Lochdübelleisten und sind nicht bezogen auf die Anordnung des Elementes auf dem LKW.

Tab. 2.4: Spezifikationen Lieferteil SCSC-Platte 13,0 m

| Bezeichnung | Höhe | Breite | Länge | Gewicht |
|-------------------------------------|-------|--------|--------|-----------|
| SCSC-Element 13,0 m exkl. Füllbeton | 0,2 m | 13,0 m | 4,20 m | 15.715 kg |
| SCSC-Element 13,0 m inkl. Füllbeton | 0,2 m | 13,0 m | 4,20 m | 37.296 kg |

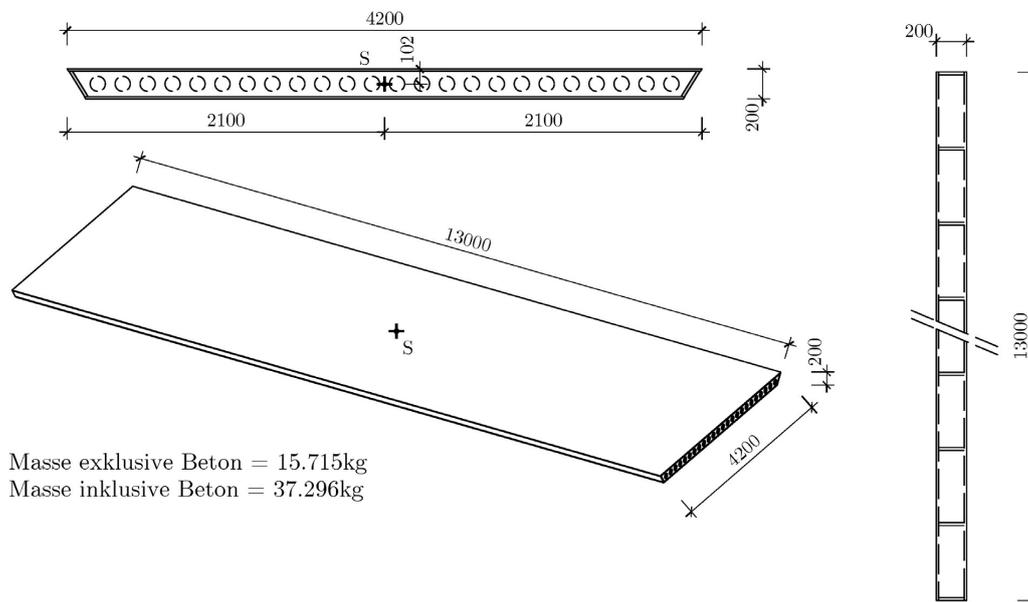


Abb. 2.18: Abmessungen Lieferteil SCSC-Platte 13,0 m

Wie bereits oben beschrieben, sind die Abmessungen des Lieferteils zu groß, um genehmigungsfrei transportiert werden zu können. Auch die Masse des bereits ausbetonierten Lieferteils mit ca. 37,2 Tonnen ist, durch die Gewichtsbeschränkung von 40 Tonnen Gesamtgewicht (Fahrzeug + Ladung), zu schwer, um genehmigungsfrei transportiert werden zu können.

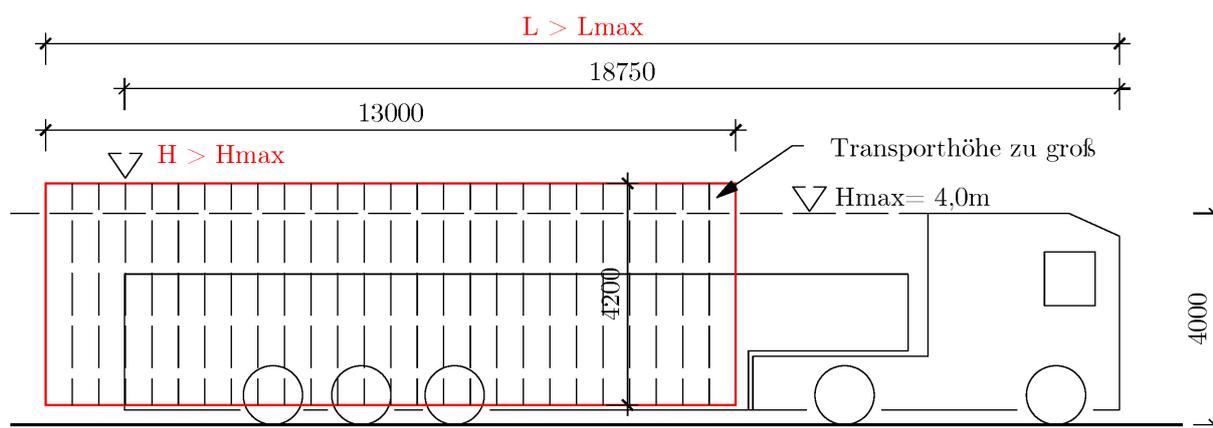


Abb. 2.19: Schematische Darstellung der Lage der SCSC-Elemente am Innenlader

2.7.2.3 Lieferteil: Brückenquerschnitt vollständig mit 13,0 m Länge

Ist von vollständigen Brückenteilen die Rede, bezieht sich die Länge der Elemente nicht mehr wie bei den Platten auf die Orientierung der Lochdübelleisten, sondern auf die Orientierung der Hauptträgerstege. Somit entspricht die Länge des Elements gleich der Länge in Brückenlängsrichtung. Die Variante, die Platte bereits mit angeschweißten Stegblechen zu transportieren, bringt hinsichtlich der nachträglichen Montage auf der Baustelle erhebliche Vorteile mit sich. Die Tatsache, dass die endgültige Brücke mit nur zwei Lieferteilen hergestellt werden kann, spricht für die gewählte Länge von 13,0 m. Hierdurch ist nur ein Montagestoß der Hauptträgerstege und -flansche sowie der SCSC-Platte notwendig.

Die Spezifikationen des Lieferteils beziehen sich auf die Orientierung der Hauptträgerstege und sind nicht bezogen auf die Anordnung des Elementes auf dem LKW.

Tab. 2.5: Spezifikationen Lieferteil Trogbücke mit 13,0 m

| Bezeichnung | Höhe | Breite | Länge | Gewicht |
|----------------------------------|--------|--------|--------|-----------|
| Trogbücke 13,0 m exkl. Füllbeton | 2,04 m | 6,0 m | 13,0 m | 34.166 kg |
| Trogbücke 13,0 m inkl. Füllbeton | 2,04 m | 6,0 m | 13,0 m | 55.746 kg |

Der eingetragene Schwerpunkt bezieht sich auf den Brückenkörper exklusive des Betons.

Die sperrigen Hauptträgerstege wirken sich negativ auf das Gewicht sowie auf die Transportabmessungen des Lieferteils aus. Ebenso darf der Querschnitt nicht ohne zusätzliche Stützkonstruktionen auf die Hauptträgerstege aufgelegt werden, da diese für eine solche Beanspruchung nicht ausreichend tragfähig sind und sich somit verbiegen könnten.

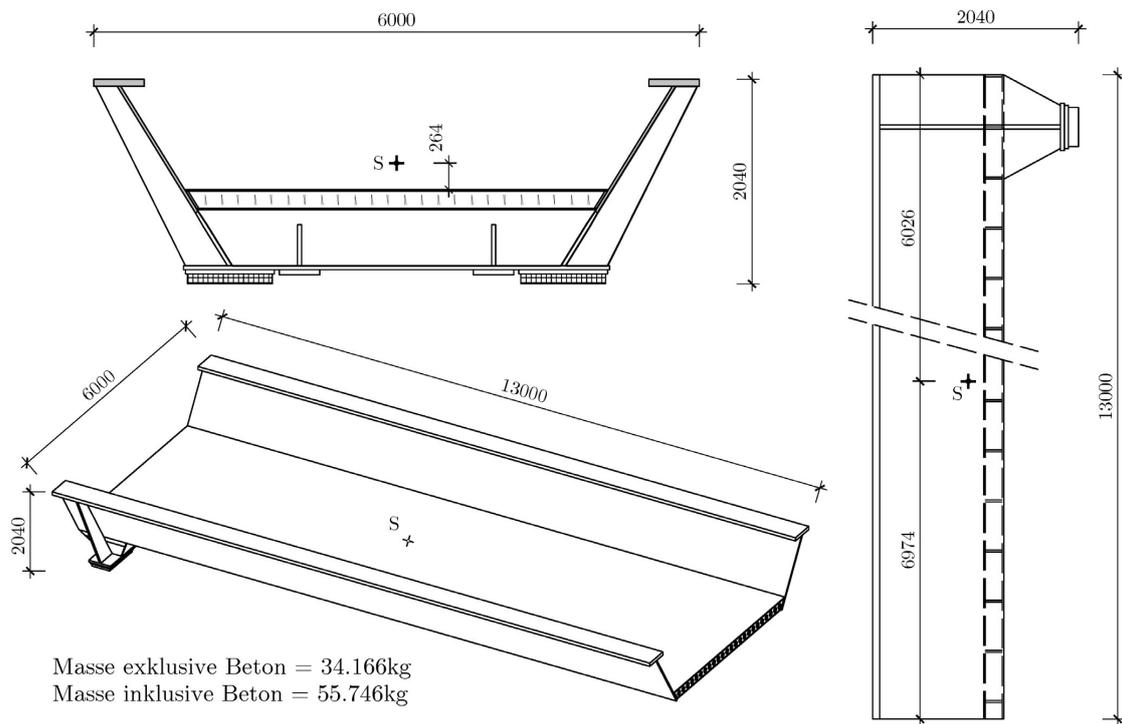


Abb. 2.20: Abmessungen Lieferteil Trogbücke 13,0 m

2.7.2.4 Lieferteil: Brückenquerschnitt vollständig mit 26,0 m Länge

Der größte lieferbare Transportteil ist der vollständige Brückenquerschnitt in seiner gesamten Länge. Dies ist hinsichtlich der nachträglichen Montage auf der Baustelle die günstigste Variante, da keine Arbeiten mehr an der primären Tragstruktur notwendig sind. Natürlich bringt diese Form des Lieferteils die größten Herausforderungen hinsichtlich des Transportes mit sich.

Die Spezifikationen des Lieferteils beziehen sich auf die Orientierung der Hauptträgerstege und sind nicht bezogen auf die Anordnung des Elementes auf dem LKW.

Tab. 2.6: Spezifikationen Lieferteil Trogbücke 26,0 m

| Bezeichnung | Höhe | Breite | Länge | Gewicht |
|----------------------------------|--------|--------|--------|------------|
| Trogbücke 26,0 m exkl. Füllbeton | 2,04 m | 6,0 m | 26,0 m | 68.332 kg |
| Trogbücke 26,0 m inkl. Füllbeton | 2,04 m | 6,0 m | 26,0 m | 111.492 kg |

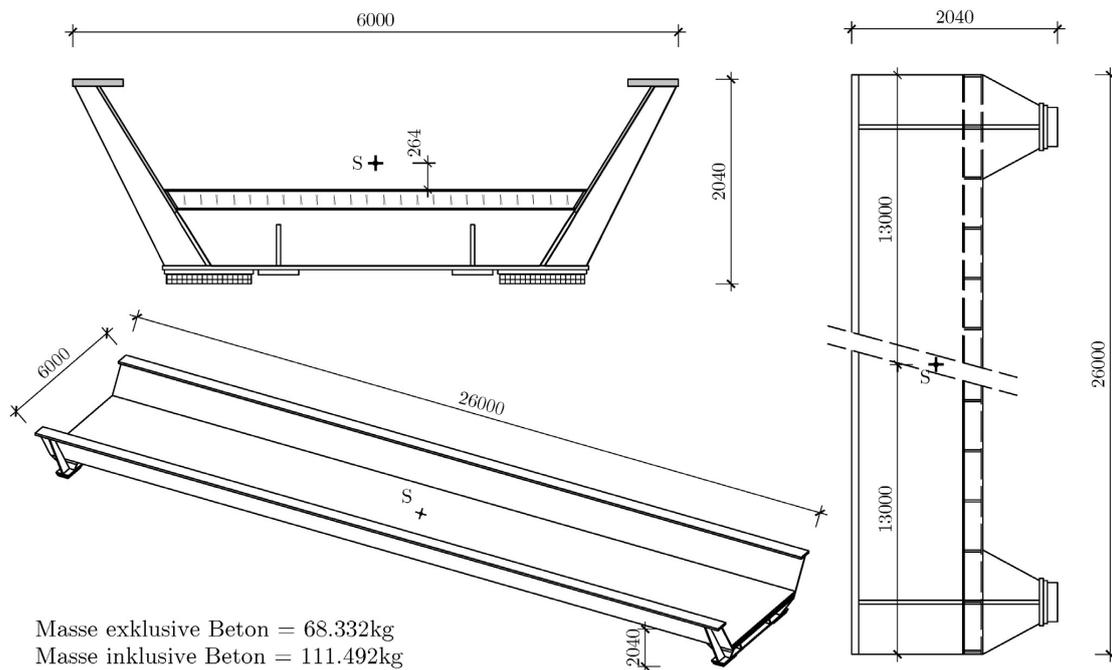


Abb. 2.21: Abmessungen Lieferteil Trogbrücke 26,0 m

Der eingetragene Schwerpunkt bezieht sich auch hier wieder auf den Brückenkörper exklusive Beton.

2.8 Verwendete Programme / Programmsettings

Für die Bemessung der Betonierhilfskonstruktionen wurden EDV-basierte Bemessungsprogramme verwendet. Die planlichen Darstellungen wurden mittels eines CAD-Programms erstellt. Folgende Programme kamen dabei zur Anwendung;

- Cadwork 2d, 3d
Version 26; build 342; Studentenlizenz
Cadwork Informatik AG
- Dlubal RSTAB 8
Version 8.21.02.151385; Studentenlizenz
Dlubal Software GmbH
- Dlubal RFEM 5
Version 5.07.15.126585; Studentenlizenz
Dlubal Software GmbH

Die für die Nachvollziehbarkeit der Vordimensionierung von den Konstruktionselementen relevanten Programmsettings werden nachfolgend beschrieben.

2.8.1 Programmsettings

2.8.1.1 Dlubal RStab 8

Beim Programm Dlubal RSTAB handelt es sich um ein EDV-basiertes Rechenprogramm zur Berechnung räumlicher Stabtragwerke. Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt in der vorliegenden Arbeit prinzipiell nach Theorie erster Ordnung, wobei die Schubnachgiebigkeit der Stäbe berücksichtigt wurde. Die elastischen Spannungsnachweise erfolgen im Modul "Stahl - Allgemeine Spannungsanalyse". Die Spannungen werden aus den Schnittgrößen der vorgegebenen Lastkombinationen (auf Designniveau) und den definierten Querschnittswerten der Profile ermittelt. Es werden Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen berechnet und mit definierten Grenzspannungen je nach Materialgüte verglichen. Zusätzlich zu den elastischen Spannungsnachweisen werden Nachweise nach EN 1993-1-1 [19] im Modul "STAHL EC3 - Bemessung nach Eurocode 3" geführt. Die Nachweiskonzepte hinsichtlich der plastischen Querschnittstragfähigkeit wurden in der vorliegenden Arbeit aufgrund der Anforderungen aus der DIN 12812 [4] (rein elastische Bemessung) nicht berücksichtigt. Auch hier müssen die Materialparameter mit den vorgegebenen Teilsicherheitsbeiwerten γ_M berücksichtigt werden. Dieses Zusatzmodul führt nicht nur reine Querschnittsnachweise, sondern auch die erforderlichen Stabilitätsnachweise am herausgelösten Ersatzstab. Hierbei sind speziell für das Biegedrillknicken zwei unterschiedliche Verfahren anwendbar. Zum einen das Verfahren nach EN 1993-1-1 [19] Kapitel; 6.3.2 - für gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse sowie das Verfahren nach EN 1993-1-1 [19]; Kapitel 6.3.3 - auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile. Zum anderen das allgemeine Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise nach EN 1993-1-1 [19]; Kapitel 6.3.4.

Bei den Verfahren nach Kapitel 6.3.2 sowie Kapitel 6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] müssen die Knicklängen für die Stäbe/Stabsätze manuell definiert werden. Die Knick und Drilllängen sind abhängig von den Lager- und Kopplungsbedingungen zwischen den Stäben. Das ideale Biegedrillknickmoment M_{Cr} wird automatisch mittels Eigenwertmethode ermittelt und nicht nach dem Nationalen Anhang ÖNORM B 1993-1-1 [16]. Mit den Beiwerten zur Schlankheit sowie automatisch ermittelten Interaktionsbeiwerten werden die Stabilitätsnachweise nach EC3 [19] geführt. Die allgemeine Formel für auf Biegung um beide Achsen sowie auf Druck beanspruchte Bauteile nach Kapitel 6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] lautet wie folgt:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (2.2)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (2.3)$$

Beim Verfahren nach Kapitel 6.3.4 aus EN 1993-1-1 [19] (Allgemeines Verfahren) wird mittels numerischer Methoden der kleinste Vergrößerungsfaktor $\alpha_{ult,k}$ ermittelt, mit welchem über die Berücksichtigung eines Abminderungsfaktors für die Schlankheit, der Stabilitätsnachweis gegen Biegedrillknicken geführt wird. Gleichung 2.4 beschreibt diesen Zusammenhang. Dazu sind die tatsächlich auftretenden Lagerbedingungen (Freiheitsgrade der einzelnen Knoten) am Ersatzstab

zu definieren. Mittels numerischer Methoden wird daraus für die gegebenen Randparameter $\alpha_{ult,k}$ ermittelt. Die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten des Ersatzstabes spielt bei der Ermittlung der Eigenform eine entscheidende Rolle.

$$\frac{\chi_{op} \cdot \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0 \quad (2.4)$$

2.8.1.2 Dlubal RFEM 5

Das Programm Dlubal RFEM ist ein Finite-Elemente Programm für die Berechnung von Platten, Scheiben, Schalen, Volumen und Stabwerken. Die Methode der finiten Elemente ist ein numerisches Näherungsverfahren und wird häufig für Probleme eingesetzt, bei denen es bis jetzt keine analytische Lösung gibt. Das Prinzip beruht darauf, komplexe Geometrien und Systeme in einfachere Teilelemente (den finiten Elementen) zu zerlegen, die durch ihre Knotenpunkte definiert sind. Durch diesen Vorgang werden kontinuierliche Systeme mit unendlich vielen Freiheitsgraden zu diskreten Systemen mit endlich vielen Freiheitsgraden diskretisiert [8].

Das FE-Netz wird vom Programm automatisch generiert. Vom Programm werden Dreiecks- und Viereckselemente verwendet, um die Struktur zu diskretisieren. Die angestrebte Länge der finiten Elemente wurde mit 50 mm gewählt. In Bereichen von hohen Spannungskonzentrationen, speziell in unteren Bereichen der Platte, wo der Frischbetondruck am größten ist, wurden FE-Netzverdichtungen mit einer angestrebten Länge von innen $10,0\text{ mm}$, außen $25,0\text{ mm}$ und einem Wirkungsradius der Verdichtung von 150 mm um den gewählten Punkt, gewählt.

Die Ergebnisse der Lastfälle und Lastkombinationen werden auch hier nach Theorie I. Ordnung ermittelt. Die Platten-Biegetheorie wurde nach Mindlin (Schubweiche Plattentheorie) angewendet. Für Stahl wurde ein isotrop elastisches Materialmodell gewählt. Somit könnten lokale Spannungsspitzen entstehen, welche aber im Realfall nicht auftreten oder herausplastizieren. Im vorliegenden Fall darf aufgrund der Anforderungen nach DIN 12812 [4] kein plastisches Materialverhalten aktiviert werden. Somit dürfen die Spannungen im elastischen Zustand die vorgegebene Streckgrenze nicht erreichen beziehungsweise überschreiten.

Kapitel 3

Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Herstellung des Betonkörpers

Da der Umfang der Varianten zur Herstellung der SCSC-Platte sehr groß ist, soll nachfolgendes Organigramm einen Überblick über die Möglichkeiten zur Herstellung des Betonkörpers verschaffen. Die sinnvollste Variante kann erst nach Abwägung aller, für den Betoniervorgang relevanten Aspekte, gewählt werden. Dabei spielen folgende Kriterien eine entscheidende Rolle:

- **Hohlraumfreie Verfüllung des Querschnittes**
Der Hohlraum zwischen den beiden Deckblechen muss aufgrund der Wirkungsweise der SCSC-Platte vollständig ausgefüllt werden. Der Beton nimmt bei der Kraftübertragung zwischen den beiden Deckblechen eine entscheidende Rolle ein. Speziell an den Stellen, wo der Betonkörper auf die Abschlussbleche trifft, soll kein Hohlraum entstehen, da dort sehr große Druckspannungen zu erwarten sind. Ein Hohlraum an dieser Stelle würde die Verteilung der Dübelkräfte wesentlich beeinflussen.
- **Qualitativ hochwertiger Festbeton**
Der Betonkörper soll möglichst ohne Einbußen der Festbetoneigenschaften eingebracht werden. Der Körper soll vollständig homogen sein, deshalb ist beim Einbringen darauf zu achten, dass sich der Frischbeton nicht entmischt. Besonders hochfließfähige Betone laufen Gefahr, dass sich bei falscher Einbringung des Frischbetons grobe und feinere Bestandteile des Betons trennen. Bei Verwendung von weniger fließfähigem Beton ist ein besonderes Augenmerk auf die nachträgliche Verdichtung zu legen.
- **Wirtschaftlichkeit**
Am Ende soll die SCSC-Platte eine wirtschaftliche Alternative zur Grobblechplatte sein. Dies erfordert natürlich, dass die Herstellung der Platte den Kostenvorteil gegenüber der Grobblechplatte nicht aussticht. Die Wahl der wirtschaftlichsten Variante hängt von sehr vielen Faktoren ab, welche hinsichtlich der tatsächlichen Einbausituation der fertigen Brücke, einzeln beurteilt werden müssen.
- **Transport**
Die Wahl der Größe der Einzelteile der Brücke spielt für den Transportaufwand eine entscheidende Rolle. Je größer und schwerer die gefertigten Lieferteile, umso höher werden die Kosten für den Transport. Demgegenüber steht der Mehraufwand auf der Baustelle, wenn viele Montagestöße notwendig sind.
- **Zeit**
Bei den unterschiedlichen Möglichkeiten zur Betoneinbringung differiert die Dauer des Füllvorgangs signifikant. Speziell bei den Varianten der nachträglichen Verfüllung mit Vergussmörtel muss der Betonkörper zumindest eine gewisse Anfangsfestigkeit besitzen, bis der Mörtel eingebracht werden kann. Grundsätzlich sind kurze Bauzeiten, auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Auswirkungen, wünschenswert.

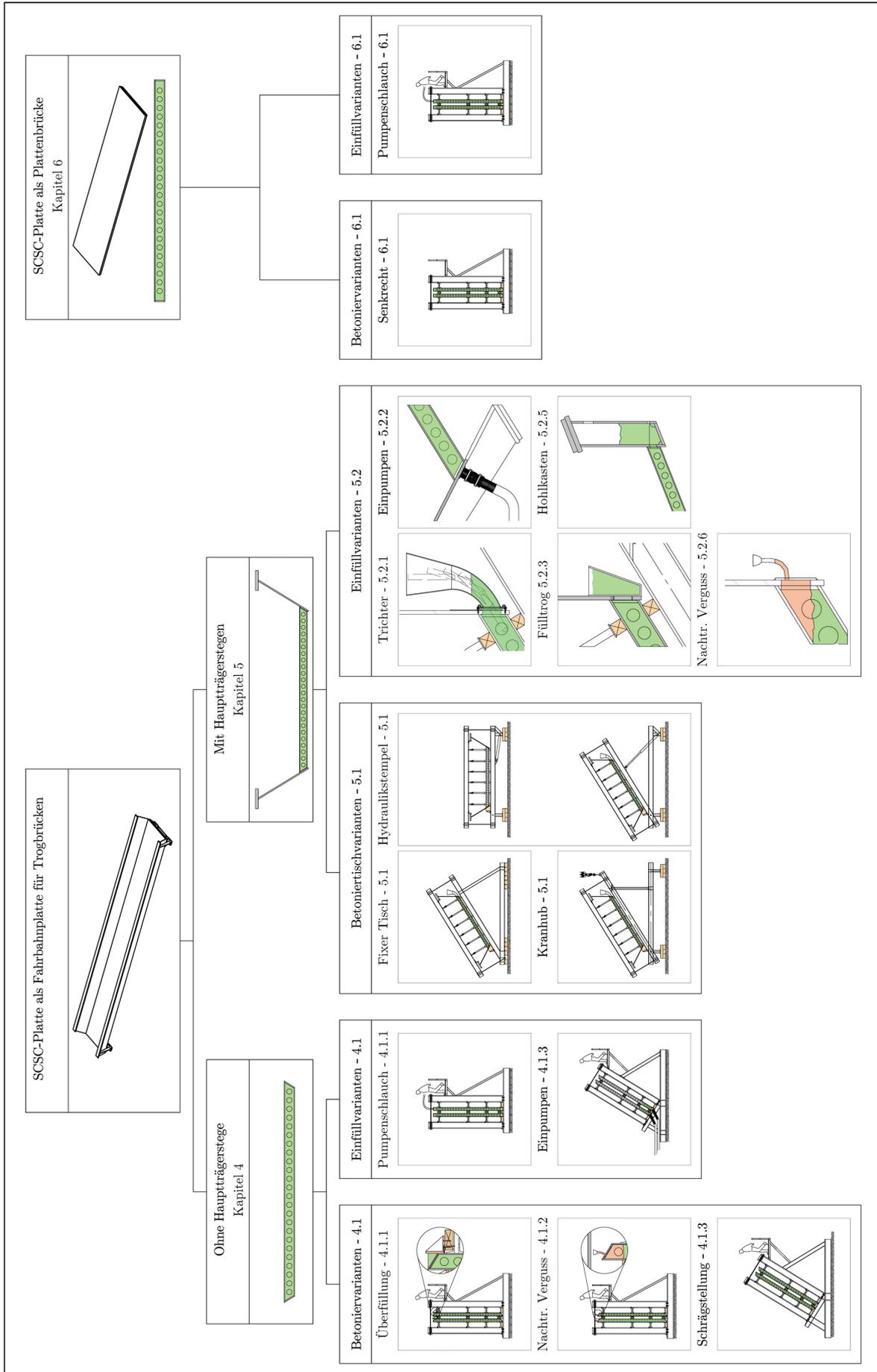


Abb. 3.1: Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Herstellung des Betonkörpers

Kapitel 4

Herstellung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Fahrbahnplatte für Trogbrücken

Durch den Entfall der sperrigen Hauptträgerstege des Brückenquerschnitts ist die Handhabung der Plattenelemente um einiges einfacher. Die Platten können in einem vertikalen oder leicht gekippten Zustand, durch Rotation um die Längsachse der Brücke, ausbetoniert werden und es bedarf keiner aufwändigen Drehkonstruktion wie es später in Kapitel 5 notwendig ist.

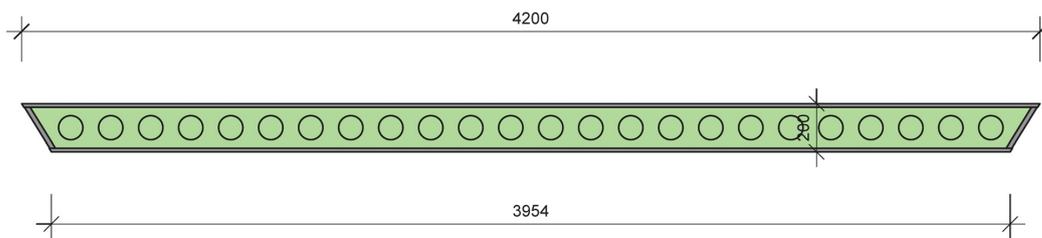


Abb. 4.1: SCSC-Plattenelement im Querschnitt

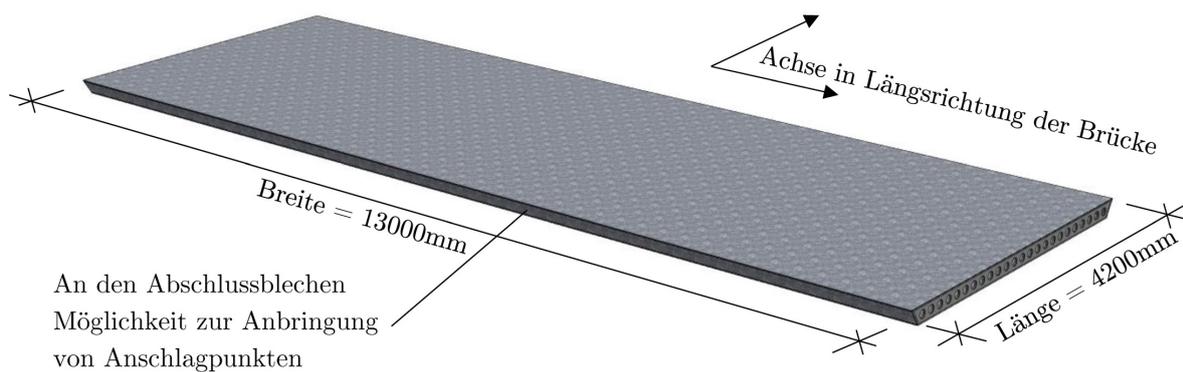


Abb. 4.2: Rendering des SCSC-Plattenelements inklusive den Hauptabmessungen und deren definitionsgemäßer Notation

Die Platten können über Anschlagpunkte, welche durch eingeschnittene Innengewinde in die Abschlussbleche an der Breitseite der Platte eingeschraubt werden, verhooben werden. Dazu kann in eine Entlüftungsöffnung ein Gewinde geschnitten und in dieses sogleich eingeschraubt werden, um dieser gleich zwei Funktionen zukommen zu lassen. Die Rotation des Elements erfolgt

dabei ausgehend von einer horizontalen Lage um die Längsachse der Brücke und kommt so in eine aufgestellte Lage. Die Platte kann in dieser Lage als wandartiger Träger beurteilt werden und besitzt durch die Scheibenwirkung der Deckbleche in dieser Form eine große Tragfähigkeit und kann daher in diesem Zustand manipuliert werden. Die Abschlussbleche mit 30 mm sind für diese Belastung ausreichend tragfähig. Der Anschlagpunkt sollte dennoch randnah in der Nähe des Deckbleches und der Dübelleiste angebracht werden. Als sinnvolle Länge der einzelnen Plattenelemente haben sich aufgrund transporttechnischer Überlegungen 13 m ergeben. Bei einer Einzelelementlänge von bis zu 13 m wäre, bei einer Brückenlänge von insgesamt bis zu 26 m , auch nur ein einziger Montagestoß der SCSC-Platte notwendig.

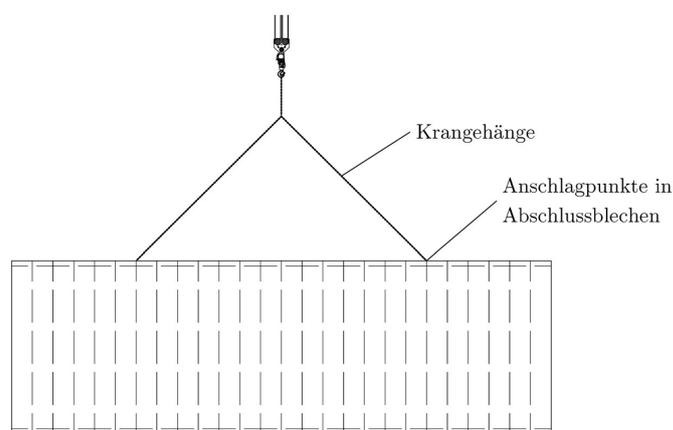


Abb. 4.3: Prinzipskizze des Verhebevorgangs von SCSC-Plattenelementen

Werden die Platten stehend nach Abbildung 4.4 oder Abbildung 4.5 gefertigt, können mehrere Platten "Rücken-an-Rücken" aufgestellt und gemeinsam betoniert werden. Durch die sich gegenseitig aufhebenden Frischbetondrücke bedarf es beim Herstellen mehrerer Plattenelemente in einem Betoniervorgang keiner zusätzlichen Stützkonstruktionen für die zusätzlichen Platten. Für den Betoniervorgang in schräger Lage laut Abbildung 4.6 ist diese Annahme nur zum Teil richtig, da das Eigengewicht der Stahlteile sowie des Betonkörpers der Platte, auch teilweise über die Primär- und Sekundärträger abgetragen werden. Da nicht, wie bei üblichen Schalungskonstruktionen, durch den Betonkörper verankert werden kann, muss die Konstruktion zur Aufnahme des Frischbetondruckes außenliegend ausgeführt werden. Die prinzipielle Lastableitung erfolgt folgendermaßen: Der Frischbetondruck wird über die Deckbleche in die Dübelleisten eingeleitet. Diese wirken in Kombination mit den Deckblechen als Plattenbalkenträger und leiten die Lasten in die Sekundärträger (Doppel-U-Profile) weiter. Die Lasten aus den Doppel-U-Trägern werden von den Hauptträgern (HEM-Profile) aufgenommen und über den Sockelträger unten sowie über die Spannstangen oben, kurzgeschlossen. Die Enden der U-Profile werden direkt mit den Spannstangen seitlich verspannt. Im Falle einer senkrechten Plattenstellung wird die Vertikallast aus dem Eigengewicht direkt in den Sockelträger eingeleitet. Wird die Platte beim Betoniervorgang geneigt, müssen die Stabilisierungsstreben auch einen Teil des Eigengewichts aufnehmen. Der prinzipielle Aufbau der Schalungskonstruktion ist in Abbildung 4.8 ersichtlich. Nachfolgend sind einige Konstruktionsformen möglicher Betonierhilfskonstruktionen von Plattenelementen mit bis zu 13 m dargestellt.

4.1 Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung des Betonfüllkörpers

4.1.1 Vertikales Aufstellen der Plattenelemente und Überfüllen bis zur vollständigen Füllung des Hohlkörpers

Durch die spätere Anordnung der Hauptträgerstege in schräger Lage gestaltet sich der Betonvorgang etwas komplizierter als mit geraden Abschlussblechen. Werden die Plattenelemente senkrecht aufgestellt, würde sich ohne zusätzliche Konstruktionen ein Hohlraum an der oberen Spitze der Platte bilden, da der Beton an der Einfüllöffnung auslaufen würde.

Die grundlegende Schalungskonstruktion ist bei den folgenden Konstruktionsmöglichkeiten in drei Ebenen aufgebaut: Schalhaut (Deckbleche der Platte) → Sekundärkonstruktion (Doppel-U-Profile) → Primärkonstruktion (HEM-Profil inkl. Spannstangen).

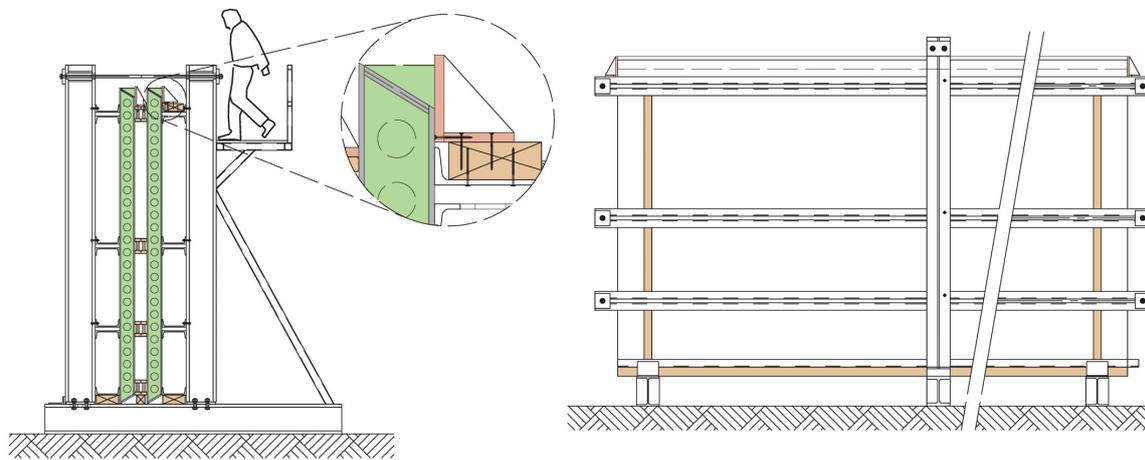


Abb. 4.4: Hilfskonstruktion zum Betonieren der reinen SCSC-Plattenelemente in vollkommener vertikaler Lage

Wie in Abbildung 4.4 ersichtlich, wird der Beton bei dieser Konstruktionsform in einem gewissen Maß mit Hilfe einer zusätzlich angebrachten Schalungskonstruktion überfüllt. Damit wird sichergestellt, dass die Kammern auch tatsächlich vollständig gefüllt sind. Am höchsten Punkt des Abschlussbleches befinden sich nach Abbildung 2.3 jeweils zwei kleine Entlüftungsöffnungen je Kammer, damit sich in den Hochpunkten keine Lufteinschlüsse bilden können. Tritt der Beton an diesen Entlüftungsöffnungen aus, so kann davon ausgegangen werden, dass die Kammer vollständig gefüllt ist. Sobald der Beton eine ausreichende Eigensteifigkeit besitzt, wird die Abschaltung, wie in Abbildung 4.4 dargestellt, entfernt und der überschüssige, noch nicht vollständig erhärtete Beton abgestemmt. Dabei muss besonders darauf geachtet werden, dass der Beton im Füllkörper nicht beschädigt wird. Eventuell müssen Bereiche, in denen Abplatzungen durch das Abstemmen vorhanden sind, nachträglich mit schwindfreiem Vergussmörtel ausgegossen werden. Die Betonbringung kann analog zu den bereits im Zuge der weiterführenden Versuche hergestellten Platten [23] erfolgen. Hierbei wird der Pumpenschlauch durch die am oberen Abschlussblech angebrachten Einfüllöffnungen eingeführt. Der hochfließfähige Beton wird ohne Fallhöhe in die Kammer eingebracht. Durch kontinuierliches Ziehen mit steigendem Betonspiegel wird die Gefahr einer Entmischung weitestgehend unterbunden und der Beton wird "Beton-in-Beton"

eingbracht. Das bedeutet, dass sich die Rohraustrittsöffnung, ähnlich dem Kontraktorverfahren (Verfahren für den Betoniervorgang unter Wasser oder zur Herstellung von flüssigkeitsgestützten Tiefgründungen), während des Betoniervorgangs ständig unterhalb der Betonoberfläche befindet.

4.1.2 Vertikales Aufstellen der Plattenelemente und nachträgliches Verfüllen mit Vergussmörtel

Diese Ausführungsform ähnelt jener aus Kapitel 5.2.6 mit angeschweißten Stegblechen. Die Betoneinbringung erfolgt hier zweistufig, wobei zuerst der Beton bis zu einer gewissen Höhe eingebracht wird. Die Kammer ist mit diesem ersten Betoniervorgang noch nicht vollständig gefüllt. Nach dem Erhärten des Betons werden die großen Einfüllöffnungen für den Pumpenschlauch kraftschlüssig mit einem Abdeckblech verschlossen. In diesem Blech befindet sich eine weitere kleinere Öffnung zum Einbringen des Vergussmörtels. Am höchsten Punkt des Abschlussbleches befinden sich nach Abbildung 2.3 jeweils zwei kleine Entlüftungsöffnungen je Kammer, damit sich in den Hochpunkten keine Lufteinschlüsse bilden können. Durch die kleine Einbringöffnung wird so lange Mörtel eingegossen, bis dieser an den Entlüftungsöffnungen wieder austritt. Damit wird sichergestellt, dass alle Hohlräume verfüllt sind. Der Vorteil dieser Konstruktionsmöglichkeit liegt in der Tatsache, dass der gesamte Füllvorgang der Platten im vertikalen Zustand erfolgt und keine überschüssigen Betonreste abgestemmt werden müssen. Des Weiteren sind keine zusätzlichen Schalungskonstruktionen an der Einfüllöffnung notwendig um ein Auslaufen zu verhindern.

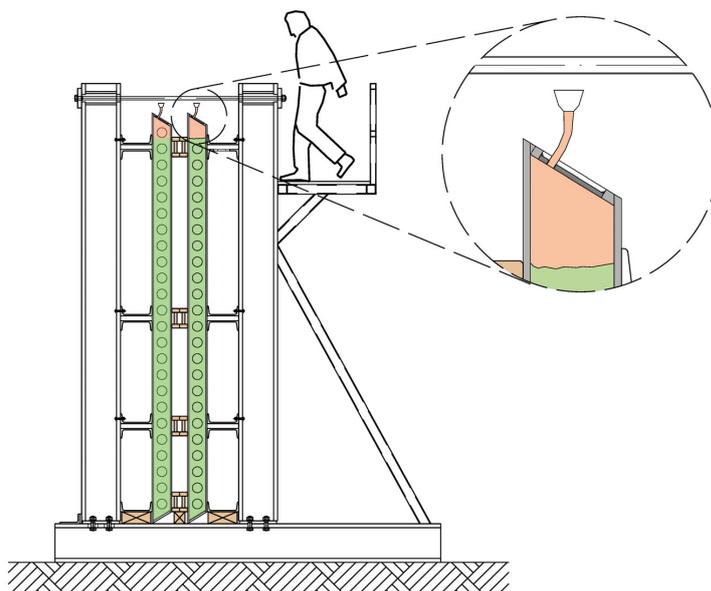


Abb. 4.5: Nachträgliches Verfüllen des verbliebenen Hohlraumes mit Vergussmörtel

Solche Vergussmörtel dürfen nur bis zu bestimmten Schichtdicken eingebaut werden. Das bedeutet, dass die Höhe, bis zu der im ersten Betonierschritt gegossen wird, vom verwendeten Vergussmörtel abhängt. Ein weiterer Nachteil, welcher beachtet werden muss ist, dass die Fuge zwischen Vergussmörtel und Beton nicht den gleichen Haftverbund aufweisen wird, wie ein monolithischer Betonkörper. Die Auswirkungen dieses Sachverhalts auf die Tragfähigkeit der Platte muss geprüft werden. Noch ein Vorteil, wenn auch nur in gewissem Maße bedeutsamer, liegt in der leicht

reduzierten hydrostatischen Druckhöhe des Frischbetons, da dieser nicht vollständig in einem Zug eingefüllt wird.

4.1.3 Schiefstellung der Plattenelemente auf ca. 60° mittels fixem Betontisch, Einpumpen von ECC/SCC-Beton an der Unterseite

Als Alternative zu den vorhergehenden Vorgangsweisen wird die Konstruktion dahingehend abgeändert, dass die Platten in einem Winkel von circa 60° zur Horizontalen aufgestellt werden, sodass das obere Abschlussblech mit den Einschau- bzw. Entlüftungsöffnungen waagrecht liegt. Durch den ebenso horizontalen Betonspiegel verbleibt unter dem Abschlussblech somit kein Hohlraum. Dies macht ein Überfüllen sowie ein nachträgliches Vergießen, wie bei den vorhergehenden Konstruktionsformen hinfällig. Ebenso sind keine dezidierten Entlüftungsöffnungen notwendig, da keine "toten Hohlräume" in den Hochpunkten vorhanden sind und die Luft über die obligatorischen Einschauöffnungen entweichen kann. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass der Frischbetondruck durch die geringere hydrostatische Höhe etwas kleiner ist, als bei der vollkommen vertikalen Lage. Die Betonierhilfskonstruktion verbraucht dafür im Gegenzug etwas mehr Platz im Grundriss. Ebenso muss die Stützstrebe im Vergleich zu den Ausführungsformen aus Kapitel 4.1.1 und Kapitel 4.1.2 etwas größer dimensioniert werden.

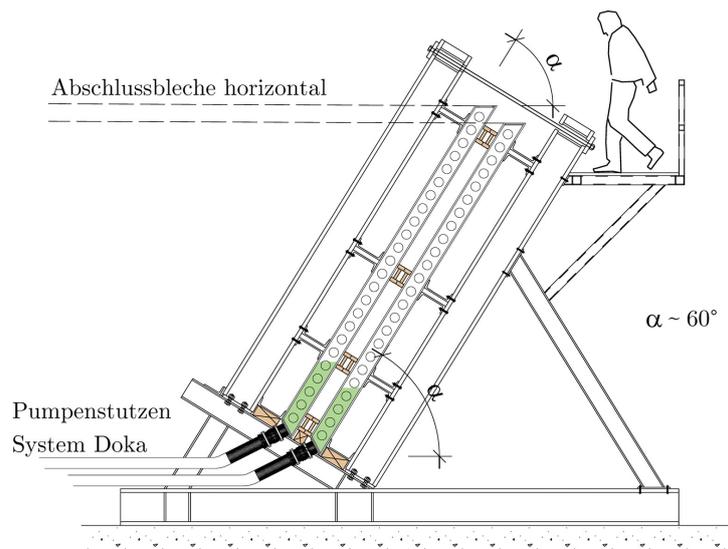


Abb. 4.6: Verfüllen von Platten in schräger Lage

Der Füllvorgang erfolgt mittels ECC- (*Easy-Compacting-Concrete*) oder SCC (*Self-Compacting-Concrete*)-Beton (im Werk) über Einfüllstutzen durch das Einpumpen von unten. Eine nähere Beschreibung des verwendeten Einfüllsystems findet sich in Kapitel 5.2.2. Es kann für beide Konstruktionsformen (mit oder ohne Stegbleche) der gleiche Beton verwendet werden. Die Vorteile dieser Füllweise sind die gleichen wie bei der Konstruktionsform aus Kapitel 4.1.1. Durch die Einschauöffnungen an der Oberseite kann sichergestellt werden, dass alle Kammern vollständig gefüllt sind.

Diese Konstruktionsform gilt als die favorisierte Möglichkeit zur Herstellung von Plattenelementen zur Verwendung als Fahrbahnplatte. Deshalb wird diese in der vorliegenden Arbeit detaillierter ausgearbeitet als die restlichen Konstruktionsformen.

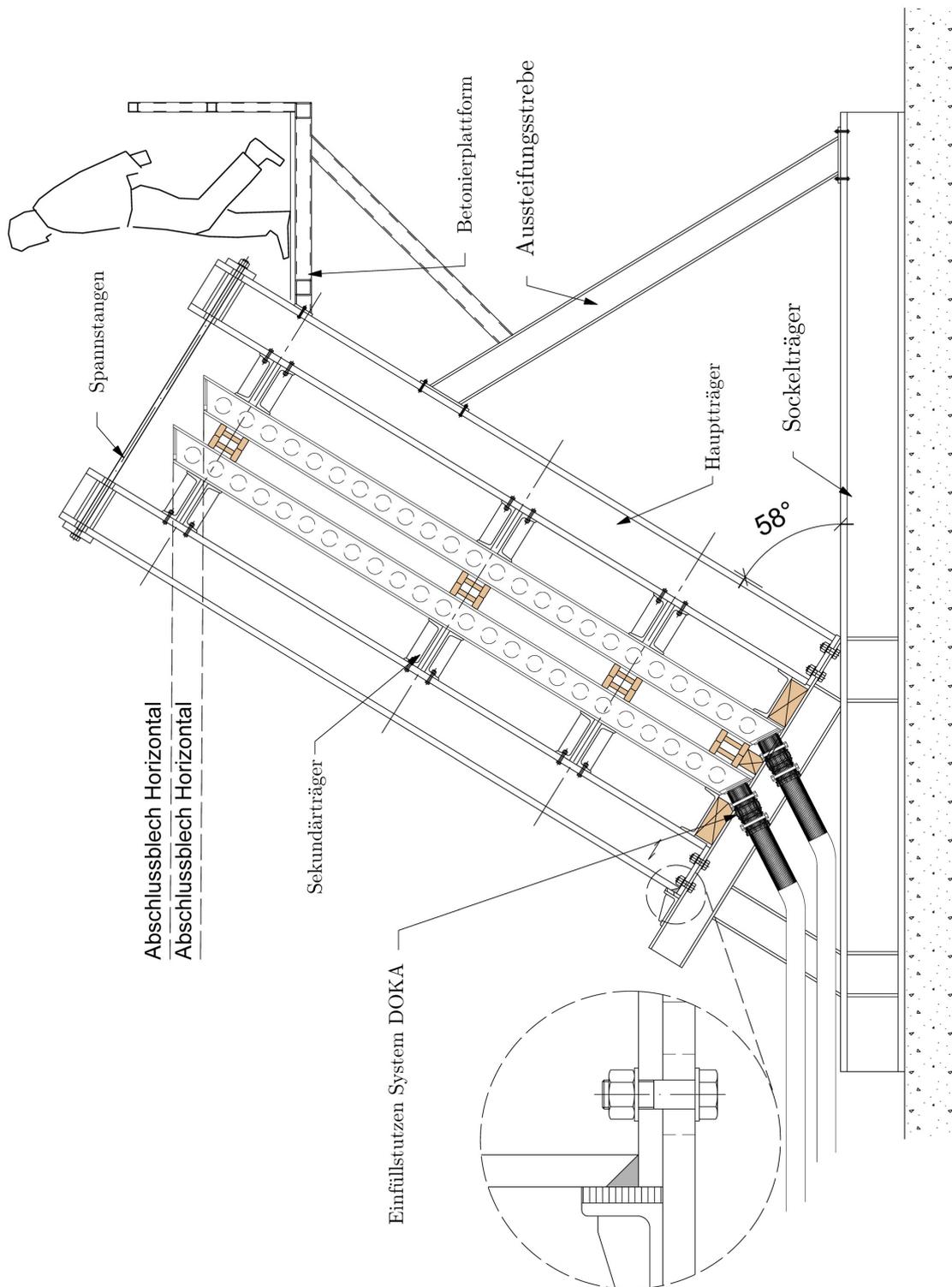


Abb. 4.7: Prinzipdarstellung der Betonierhilfskonstruktionen in Stahlbauweise. Eine Detailliertere Skizze befindet sich in Anhang C

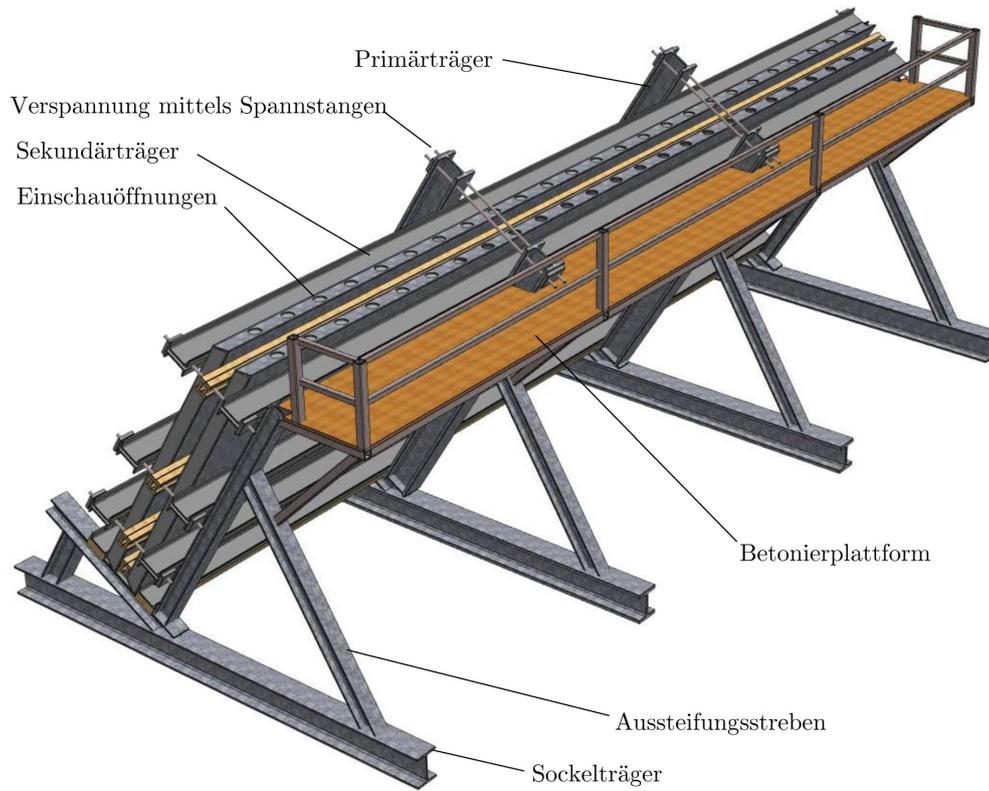


Abb. 4.8: 3D-Schaubild der Konstruktion - Betonierplattform / Abschlussbleche

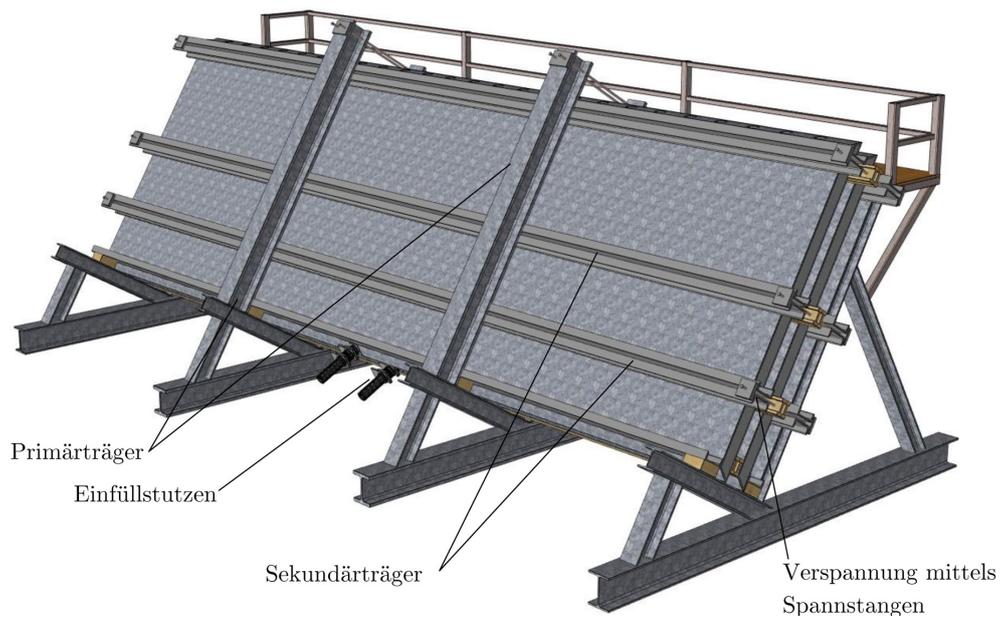


Abb. 4.9: 3D-Schaubild der Konstruktion - Einfüllstutzen

4.2 Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen

Da die Konstruktionsform laut Kapitel 4.1.3 (Schiefstellung auf Betoniertisch) für die Verwendung der Platte als Fahrbahnplatte für Trogbrücken als die am sinnvollsten erscheint, wird auch nur diese im vorliegenden Abschnitt genauer behandelt. Im Kapitel 6, welches die Herstellung von Platten zur Verwendung als Plattenbrücken beschreibt, wird detaillierter auf die Betonierhilfskonstruktionen für den Betoniervorgang im vertikalen Zustand eingegangen.

Die Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen gliedert sich in zwei Teile:

- Ausgewählte Analysen der SCSC-Platte selbst gegen den auftretenden Frischbetondruck sowie die einwirkenden Lasten aus der Schrägstellung durch das Eigengewicht der Platte.
- Ausgewählte Analysen der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion mit den übertragenen Einwirkungen aus dem Modell zur Analyse der SCSC-Platte.

Die Vordimensionierung erfolgt grundsätzlich nach der Normenreihe EN 1993-1-x, jedoch werden aufgrund der Definition von Traggerüsten aus der DIN 12812 [4] ergänzende Angaben aus dieser übernommen. Diese ergänzenden Angaben stellen verschärfte Anforderungen an die Tragstruktur dar und ergänzen lediglich die geltenden Eurocodes, deshalb kann die Vordimensionierung der Konstruktionsteile für den Betoniervorgang als konservativ beurteilt werden. Dies scheint jedoch für eine erste Machbarkeitsstudie als sinnvolle Vorgehensweise.

4.2.1 Allgemeine Vorgaben

4.2.1.1 Verformungsanforderungen

Da es in den geltenden Normenwerken keine dezidierten Anforderungen an die Durchbiegungsbegrenzungen von Schalungselementen, im Speziellen der Schalhaut, gibt, werden für die fertige Oberflächen Ebenheitsanforderungen nach DIN 18202 - Toleranzen im Hochbau [5] in Übereinstimmung mit [12] herangezogen. In Abbildung 4.10 sind Ebenheitsanforderungen nach DIN 18202 [5] festgehalten:

Die Zeilen 1-4 der Tabelle in Abbildung 4.10 betreffen nicht geschalte Oberflächen von Decken und Böden einschließlich deren Beläge. Für geschalte Betonoberflächen kommen die Zeilen 5 bis 7 der Tabelle zur Anwendung. Die Ebenheitstoleranzen werden über Stichmaße kontrolliert. Als Stichmaß wird der Abstand normal auf eine Linie zwischen zwei Hochpunkten auf die fertige Oberfläche definiert und kann nachträglich relativ einfach zur Kontrolle der Einhaltung von Ebenheitsanforderungen herangezogen werden. Eine schematische Darstellung der Definition des Stichmaßes gibt Abbildung 4.11. Die Prüfung der Ebenheitstoleranzen kann erst nach der Herstellung der Betonbauteile z.B. bei der Abnahme erfolgen. Eine Korrektur ist dann in der Regel nicht mehr möglich. Daher ist es sinnvoll, die Schalung schon von vornherein dafür zu bemessen [12].

Für den vorliegenden Fall wurde für die Deckbleche Spalte 7 - "Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken mit erhöhten Anforderungen" angewendet. Für die restlichen Elemente der Schalung wird eine Verformungsbegrenzung von 1/500 in Übereinstimmung mit einem Bemessungsblatt für Schalungsträger der Firma Pfeifer [9] gewählt. Wird Tabelle 3 aus DIN 18202 - Zeile 7 für eine Länge von 4,0 m ausgewertet, ergeben sich durch die Ebenheitsanforderungen ebenfalls 1/500. Somit ist dieser Ansatz auch in Übereinstimmung mit DIN 18202 plausibel. Daraus resultieren folgende maximale Grenzwerte für die Verformungen der einzelnen Elemente:

- Deckbleche:
 $m = 1,0 \text{ m} \rightarrow s_{,max} = 3,0 \text{ mm}$; Dies entspricht 1/333.
- Dübelleisten:
 $l = 4,2 \text{ m} \rightarrow u_{L,max} = 8,4 \text{ mm}$; (1/500)
- Sekundärträger:
 $l = 4,5 \text{ m} \rightarrow u_{S,max} = 9,0 \text{ mm}$; (1/500)
- Hauptträger:
 $l = 4,55 \text{ m} \rightarrow u_{H,max} = 9,1 \text{ mm}$; (1/500)

| Spalte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Zeile | Bezug | Stichmaße als Grenzwerte in mm bei Messpunktabständen in m | | | | |
| | | bis 0,1 | 1 ^a | 4 ^a | 10 ^a | 15 ^{a,b} |
| 1 | Nichtflächenfertige Oberseiten von Decken, Unterbeton und Unterböden | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 2a | Nichtflächenfertige Oberseiten von Decken oder Bodenplatten zur Aufnahme von Bodenaufbauten, z. B. Estriche im Verbund oder auf Trennlage, schwimmende Estriche, Industrieböden, Fliesen- und Plattenbeläge im Mörtelbett | 5 | 8 | 12 | 15 | 20 |
| 2b | Flächenfertige Oberseiten von Decken oder Bodenplatten für untergeordnete Zwecke, z. B. in Lagerräumen, Kellern | 5 | 8 | 12 | 15 | 20 |
| 3 | Flächenfertige Böden, z. B. Estriche als Nutzestriche, Estriche zur Aufnahme von Bodenbelägen, Bodenbeläge, Fliesenbeläge, gespachtelte und geklebte Beläge | 2 | 4 | 10 | 12 | 15 |
| 4 | Wie Zeile 3, jedoch mit erhöhten Anforderungen | 1 | 3 | 9 | 12 | 15 |
| 5 | Nichtflächenfertige Wände und Unterseiten von Rohdecken | 5 | 10 | 15 | 25 | 30 |
| 6 | Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken, z. B. geputzte Wände, Wandbekleidungen, untergehängte Decken | 3 | 5 | 10 | 20 | 25 |
| 7 | Wie Zeile 6, jedoch mit erhöhten Anforderungen | 2 | 3 | 8 | 15 | 20 |
| ^a Zwischenwerte sind Bild 6 und Bild 7 zu entnehmen und auf ganze Millimeter zu runden. ^b Die Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen der Spalte 6 gelten auch für Messpunktabstände über 15 m. | | | | | | |

Abb. 4.10: Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen aus DIN18202 Tabelle-3 [5]

4.2.1.2 Spannungen

Grundsätzlich wird für die Herstellung der SCSC-Platte sowie auch für die Trogbrücke und der Schalungskonstruktionen Stahl der Sorte S355 verwendet. Für konstruktive Bauteile ohne statisch wirksame Funktion gegen Frischbetondruck oder das Eigengewicht der zu schalenden

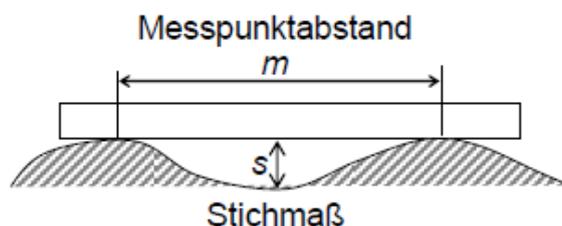


Abb. 4.11: Darstellung des Stichmaßes nach [12]

Konstruktion, wird aus wirtschaftlichen Gründen Baustahl der Sorte S235 verwendet. Der Teilsicherheitsbeiwert für Stahl muss laut DIN 12812 [4] mit $\gamma_M = 1,10$ angenommen werden. Die Stahlsorte S355 besitzt folgende Materialeigenschaften:

Tab. 4.1: Materialeigenschaften Baustahl S355

| Material | E-Modul [N/mm ²] | Streckgrenze [N/mm ²] | Teilsicherheitsbeiwert [-] |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Baustahl S355 | 210.000 | 355 | 1,10 |

Somit darf eine Grenzspannung von $f_{y,d} = 355/1,1 = 322,7 \text{ N/mm}^2$ nicht überschritten werden.

4.2.1.3 Kombinatorik / Grenzzustände nach DIN12812 [4]

Folgende Kombinationen sind nach DIN 12812 [4], mit den Kombinationsbeiwerten in Abbildung 4.12 zu berücksichtigen:

- Lastfallkombination 1: Hier wird das Eigengewicht des Traggerüsts ohne zusätzliche Last aus dem einbringen des Frischbetons angesetzt. Der maximale Wind ist zu berücksichtigen. Dies entspricht dem Zustand vor dem Betoniervorgang.
- Lastfallkombination 2: Diese beschreibt die Belastung des Traggerüsts während des Einbringens des Frischbetons. Hierbei ist nicht der maximale Wind, sondern der abgeminderte Wind für den temporären Zustand des Betoniervorgangs zu berücksichtigen (Arbeitswind).
- Lastfallkombination 3: In dieser Kombination wird das Traggerüst mit aufgebrachtener Last aus dem Eigengewicht des Frischbetons belastet. Dieser Zustand entspricht dem abgeschlossenen Betoniervorgang. Das Brückenelement verbleibt noch bis zur vollständigen Erhärtung des Füllbetons auf dem Traggerüst.
- Lastfallkombination 4: Beschreibt die Kombination des Traggerüsts mit aufgebrachtener Last aus dem Eigengewicht des Frischbetons unter Erdbebenbelastung.

Die Lastfallkombination 1 spielt im vorliegenden Fall eine untergeordnete Rolle und wird daher nicht weiter betrachtet. Ebenso wurde die Lastfallkombination 4 (Außergewöhnliche Kombination im Erdbebenfall) aufgrund der zu weit führenden Detailstufe der Bemessung in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Bei der hier beschriebenen Konstruktion ist aufgrund des hohen Frischbetondruckes die Lastkombination 2 maßgebend gegenüber der Lastkombination 3 (kein Frischbetondruck mehr vorhanden), somit wird lediglich Lastkombination 2 weiter behandelt.

Folgende Grenzzustände sind für die Bemessung des Traggerüsts nach DIN 12812 [4] zu berücksichtigen:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS *Ultimate-Limit-State*)
 $\gamma_{F,i} = 1,35 \rightarrow$ für ständige Einwirkungen Q_1
 $\gamma_{F,i} = 1,5 \rightarrow$ für veränderliche Einwirkungen Q_2 bis Q_9
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS *Serviceability-Limit-State*)
 $\gamma_{F,i} = 1,0 \rightarrow$ für ständige und veränderliche Einwirkungen Q_1 bis Q_9
 $\gamma_M = 1,0 \rightarrow$ für die Materialseite
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (EQU *Equilibrium*)
 Wenn stabilisierend: Q_1 bis $Q_2 = 0, 9$; alle sonstigen Einwirkungen = 0
 Wenn destabilisierend: Q_1 bis $Q_2 = 1, 35$; alle sonstigen Einwirkungen = 1,5

| Einwirkung | Art der Einwirkung | Kombinationsfaktoren ψ | | | |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|------------|------------|-------------------------|
| | | Lastfall 1 | Lastfall 2 | Lastfall 3 | Lastfall 4 ^a |
| | Direkte Einwirkungen | | | | |
| Q_1 | Ständige Einwirkungen | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Q_2 | Veränderliche andauernde vertikale Einwirkungen | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Q_3 | Veränderliche andauernde horizontale Einwirkungen | 0 | 1,0 | 1,0 | 0 |
| Q_4 | Veränderliche kurzzeitige Einwirkungen | 0 | 1,0 | 0 | 0 |
| Q_5 | Maximaler Wind | 1,0 | 0 | 1,0 | 0 |
| | Arbeitswind | 0 | 1,0 | 0 | 0 |
| Q_6 | Einwirkungen durch fließendes Wasser | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Q_7 | Erdbebenbelastung | 0 | 0 | 0 | 1,0 |
| | Indirekte Einwirkungen | | | | |
| $Q_{8,i}$ | Temperatur | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | Setzungen | | 0 | 1,0 | 1,0 |
| | Vorspannung | | 0 | 1,0 | 1,0 |
| Q_9 | Weitere Lastfälle | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

^a Für diesen Lastfall gilt nach EN 1998-1-1: Außergewöhnliche Belastung.

Abb. 4.12: Kombinationsregeln für Traggerüste nach DIN12812 [4]

In der vorliegenden Berechnung sind lediglich Q_1 und Q_2 nach Abbildung 4.12 berücksichtigt. Alle anderen Einwirkungen treten entweder nicht auf oder wurden für die vorliegende Schalungskonstruktion als nicht maßgebend erachtet. Bei anderen Ausführungsformen; z.B bei der Bemessung der Drehtischkonstruktion kommen weitere Lastfälle hinzu.

4.2.2 Belastungsannahmen

Stahl $\gamma_S = 78,5 \text{ kN/m}^3$

Der geringfügige Fehler von 2% durch die Annahme einer Erdbeschleunigung von $10,0 \text{ m/s}^2$ wird in Kauf genommen und als Reserve für etwaige Steifen etc. herangezogen.

Beton $\gamma_B = 25,0 \text{ kN/m}^3$

Der Beton ist zwar im vorliegenden Fall unbewehrt, jedoch wird die Wichte von Beton laut DIN 12812 [6] für Traggerüste mit $25,0 \text{ kN/m}^3$ angegeben.

4.2.2.1 Ständige Lasten

Die Ständigen Lasten der Bleche der SCSC-Platte sowie die Profileigengewichte werden vom Programm berücksichtigt.

4.2.2.2 Veränderliche Lasten - Frischbetondruck

Wie schon in Kapitel 2.3.1 beschrieben, steigt der Frischbetondruck bei Einbringung von Beton durch Einpumpen an der Unterseite linear mit der Höhe nach Gleichung 2.1. Der Frischbetondruck wirkt dabei immer normal auf die Flächen. Die Wichte des Betons wird mit $25,0 \text{ kN/m}^3$ in Rechnung gestellt.

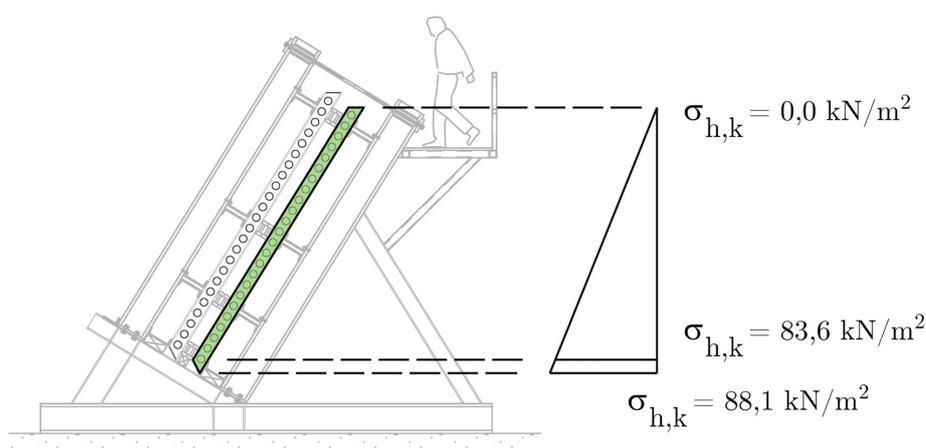


Abb. 4.13: Frischbetondrücke auf die Innenseiten der Deckbleche

Durch die Neigung von ca. 60° zur Horizontalen ergibt sich für den Füllkörper eine maximale Höhe von $3,52 \text{ m}$. Der daraus resultierende hydrostatische Druck beträgt an der maximalen Stelle $3,52 \cdot 25 = 88,1 \text{ kN/m}^2$. Die korrekte Lastaufbringung des Frischbetondruckes wurde über eine Kontrolle der Summe der Vertikalkräfte kontrolliert. Dazu wurden die Summen der Vertikalkräfte aus Lastfall 2 (Eigengewicht des Betons mit $0,17 \text{ m}$ Dicke ohne Frischbetondruck) und Lastfall 11 (Frischbetondruck) verglichen:

- Lastfall 2: Summe der Vertikallasten = $70,81 \text{ kN}$
- Lastfall 11: Summe der Vertikallasten = $73,21 \text{ kN}$

Dies entspricht einer Abweichung von etwa 3% was als ausreichend genau beurteilt werden kann. Der dazugehörige Auszug aus dem Bemessungsprogramm ist in Anhang B.1 zu finden.

4.2.2.3 Veränderliche Lasten - Eigengewicht Frischbeton

Durch die Art der Modellierung der Platte und durch die Art der Lastaufbringung des hydrostatischen Druckes wird das Eigengewicht des Frischbetons bereits mitberücksichtigt.

4.2.2.4 Sonstige veränderliche Lasten

Es wurden für den vorliegenden Fall, aufgrund des geringen Einflusses auf die Machbarkeit keine sonstigen Lasten aus Arbeitsbetrieb, Wind oder Schnee berücksichtigt. Des Weiteren werden die SCSC-Elemente mit hoher Wahrscheinlichkeit im Werk gefertigt, wo solche Randeinflüsse wie Wind und Schnee nicht auftreten. Dies ist aber für jede Herstellungssituation spezifisch zu beurteilen.

4.2.3 Ausgewählte Analysen der SCSC-Platte im Zustand der Betoneinbringung

Durch die hohe Steifigkeit der Schalungsträger (Primär- und Sekundär) werden diese vereinfachend, wie in Kapitel 1.2 beschrieben, im vorliegenden Modell als starre Auflager angenommen. Dies überschätzt die Steifigkeit der Primär- und Sekundärträger und führt zu relativ großen Auflagerreaktionen der Zwischenaullager. Dies wiederum vermindert die auftretenden Spannungen in der SCSC-Platte zufolge Frischbetondruck, was jedoch in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt wird. Eine genauere Bemessung würde ein gemeinsames Modell aus Platte, Primär- und Sekundärträger liefern.

4.2.3.1 Modellierung

Abbildung 4.14 zeigt das Modell als Rendering mit den tatsächlichen Materialstärken sowie das Drahtmodell der Struktur. Die Berechnung erfolgt mittels Finite-Elemente-Methode. Die Hauptabmessungen der Struktur sind in der rechten Abbildung zu sehen. Folgende Blechdicken sind zu erkennen:

- Deckbleche: 15 mm
- Lochdübelleisten: 20 mm
- Abschlussbleche: 30 mm

Die Anordnung der Löcher in den Lochdübelleisten erfolgt nach Abbildung 2.9 und wurde in der Modellbildung berücksichtigt, da diese die Biegesteifigkeit der Dübelleisten verringern. Die Einfüllöffnungen an der Oberseite wurden ebenso im Modell implementiert, wobei diese für den Lastfall Frischbetondruck eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Kopplungsbedingungen zwischen den Blechen, welche miteinander verschweißt werden, werden als starr betrachtet. Die Kontaktfläche zwischen den Lochdübelleisten und dem Deckblech, welches nicht mit der Dübelleiste verschweißt ist, wurde als komplett freigeschaltetes Liniengelenk in allen sechs Freiheitsgraden modelliert. Eine Ausbildung des Liniengelenkes als reines Drucklager ist hierbei nicht notwendig, da die hydrostatischen Drücke nach außen wirken und deshalb keine Kontaktdrücke zwischen Deckblech und Lochdübelleiste auftreten. Tabelle 4.2 zeigt die Definition des Liniengelenkes bei der Programmeingabe. Durch die schubsteife Verbindung von Deckblech und Lochdübelleiste bei jeder zweiten Dübelleiste kann die Verformung des Deckbleches zufolge Frischbetondruck sehr stark reduziert werden.

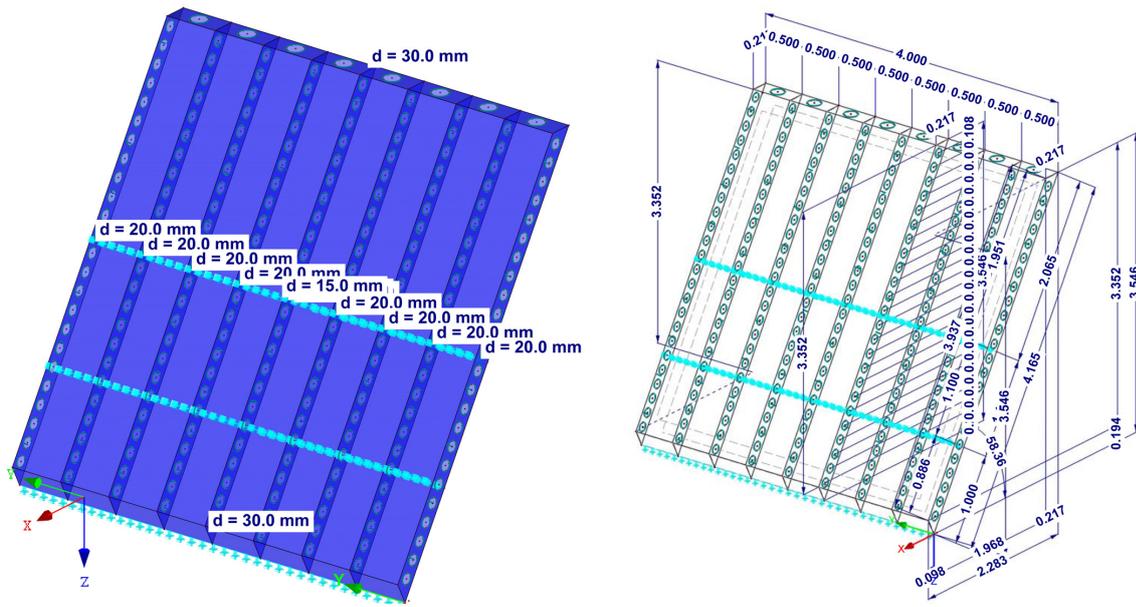


Abb. 4.14: Modell als Rendering mit Materialstärken sowie als Drahtmodell mit den Hauptabmessungen

Tab. 4.2: Liniengelenksdefinition zur Simulation der Kontaktbedingungen zwischen der Lochdübelleiste und dem Deckblech an der nicht verschweißten Seite

| Axial/Quer | | | Moment | | |
|------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| u_x | u_y | u_z | φ_x | φ_y | φ_z |
| frei | frei | frei | frei | frei | frei |

Die Sekundärträger der Schalungskonstruktion sind als starre Auflager, in Abbildung 4.14 als hellblaue Streifen zu erkennen, ausgebildet. Diese sind reine Drucklager und fallen bei Zugbeanspruchung aus. Abbildung 4.14 zeigt die genaue Lage der Sekundärkonstruktion. Die Lage der Sekundärkonstruktion wurde so gewählt, dass zufolge Frischbetondruck annähernd dieselben Lasten auf die beiden Ebenen der Schalungsträger wirken. Somit sind die U-Profile annähernd gleich belastet und eine optimale Profildimension für beide Ebenen kann gefunden werden.

4.2.3.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall ‘‘Eigengewicht’’ wurde automatisch generiert und das Eigengewicht der Stahlkonstruktion somit vom Programm berücksichtigt. Die Belastung aus Frischbetondruck wurde manuell mittels Flächenlasten auf die Innenseiten der Deckbleche aufgebracht.

Lastfall 2 (Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck) wurde aufgebracht, um zu kontrollieren, ob die Summe der Vertikallasten im Lastfall 11 (Frischbetondruck) und Lastfall 2 identisch sind.

Zur Beurteilung der Grenzzustände dienen lediglich die Lastkombinationen 1 und 11. Lastkombinationen 2 und 12 sind nicht maßgebend, werden aber dennoch in das Modell zur Berechnung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion übertragen.

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| LF2 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck | Ständig | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF11 | Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |

Abb. 4.15: Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm

| Lastkombin. | BS | Lastkombination Bezeichnung | Nr. | Faktor | Lastfall | |
|-------------|----|--------------------------------|-----|--------|----------|---------------------------------------------|
| | | | | | | |
| LK1 | | 1.35*LF1 + 1.5*LF11 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.50 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK2 | | 1.35*LF1 + 1.35*LF2 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck |
| LK11 | | LF1 + LF11 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK12 | | LF1 + LF2 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck |

Abb. 4.16: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm

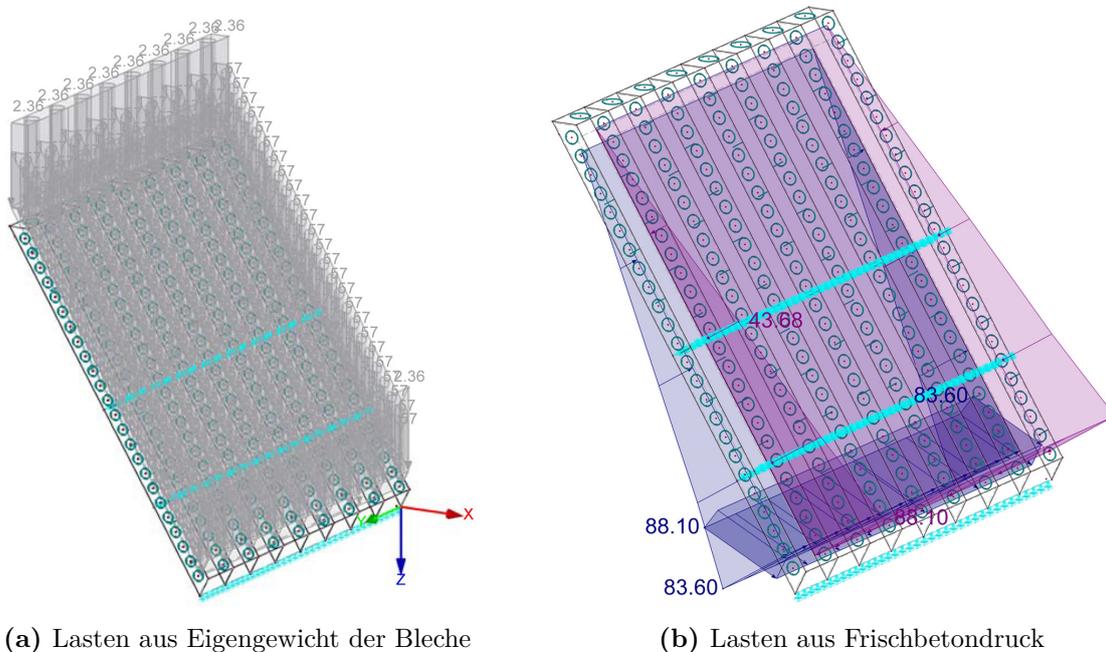


Abb. 4.17: Lastaufbringung der für die Vordimensionierung relevanten Lasten

4.2.3.3 Ergebnisse - Verformungen

Wie in Abbildung 4.18 zu erkennen ist, beträgt die maximale Verformung des Deckbleches **1,9 mm**. Der Wert von 2,1 mm in der rechten Abbildung kann vernachlässigt werden, da es sich hierbei nur um das freie Ende der Deckbleche handelt, was aus der gewählten Art der Modellierung resultiert. Diese Verformung tritt an der wahren Konstruktion nicht auf. Da die Durchbiegung der Träger der Schalungskonstruktion vernachlässigt wurde, treten in den Bereichen der Auflager keine Verformungen auf, was nicht der Realität entspricht. Zur Beurteilung der Ebenheit der Oberfläche ist dies aber nach Meinung des Verfassers ausreichend.

$$u_{vorh} = 1,9 \text{ mm} < u_{zulässig} = 3,0 \text{ mm}$$

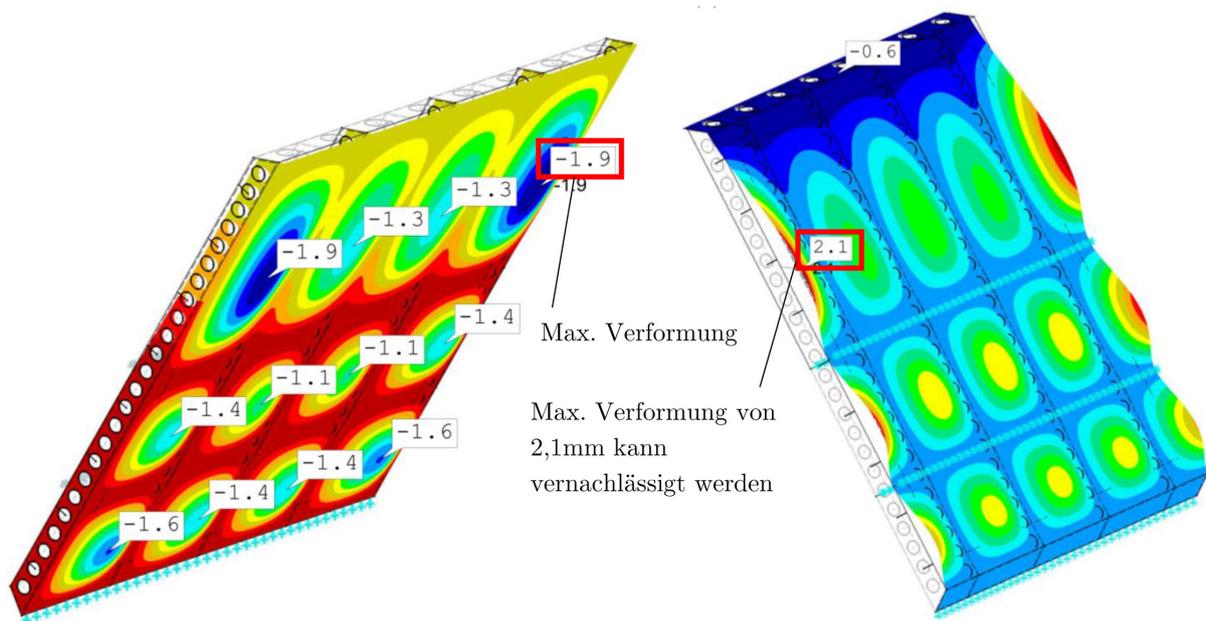
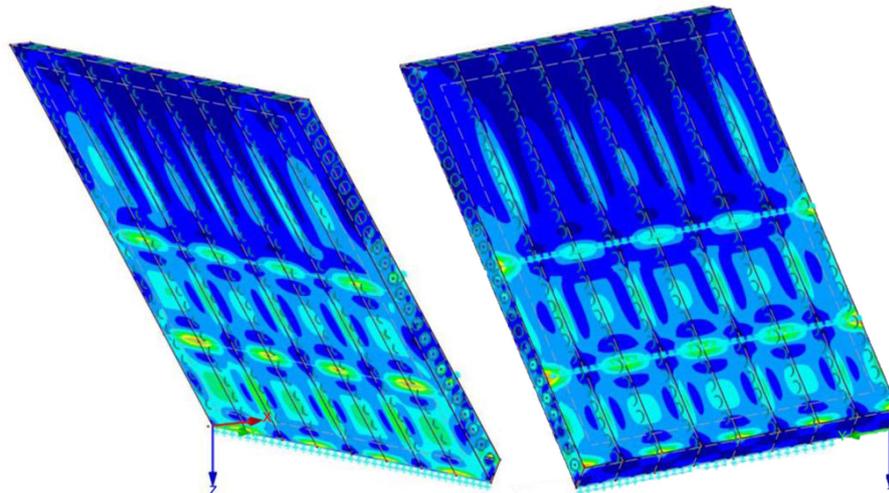


Abb. 4.18: Globale Verformungen des Deckbleches in [mm] aus Lastkombination 11; Linkes Bild: Verformung oberes Deckblech; Rechtes Bild: Verformung unteres Deckblech

4.2.3.4 Ergebnisse - Spannungen

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Spannungen Sigma-v,max,Mises



Max Sigma-v,max,Mises: 17.38, Min Sigma-v,max,Mises: 0.11 kN/cm²

Abb. 4.19: Vergleichsspannungen nach “von Mises“ aus Lastkombination 1 in [kN/cm²]

Der Maximalwert der Vergleichsspannungen nach von Mises beträgt **17,38 kN/cm²**

$$\sigma_{Ed} = 173,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 322,7 \text{ N/mm}^2$$

4.2.4 Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion

Für die Vorbemessung der Schalungskonstruktion gelten dieselben Randparameter wie für die Bemessung der SCSC-Platte. Die Grenzwerte für Verformungen und Spannungen sind in Kapitel 4.2.1 angegeben.

Die Lasten, welche auf die Schalungskonstruktion wirken, resultieren aus den gemittelten Auflagerkräften aus dem Modell der Berechnung der SCSC-Platte und sind in Abbildung 4.20 ersichtlich. Die Übertragung der Lasten erfolgt lastfallweise als charakteristische Last, damit später die geforderten Teilsicherheitsbeiwerte getrennt aufgeschlagen werden können.

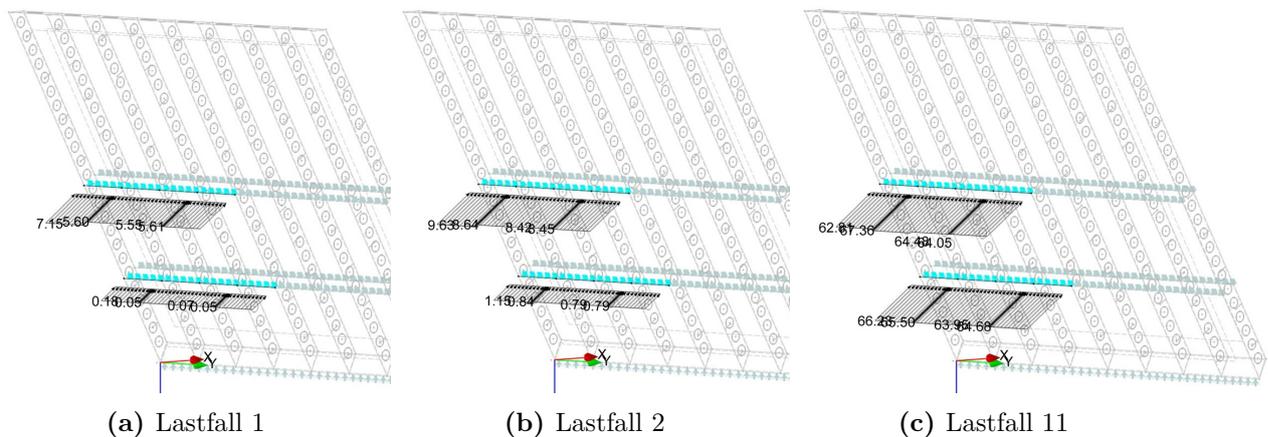


Abb. 4.20: Lagerreaktionen der einzelnen Lastfälle am unteren Deckblech

Die Lagerreaktionen werden über die Felder gemittelt.

- Lastfall 1: Eigengewicht SCSC-Platte, reine Stahlkonstruktion
Sekundärebene - Oberes Linienlager: $(5,61 + 5,55 + 5,60 + 7,15) / 4 = 5,98 \sim 6,0$ kN/m
Sekundärebene - Unteres Linienlager: ca. 0,10 kN/m
- Lastfall 2: Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck
Sekundärebene - Oberes Linienlager: $(8,45 + 8,42 + 8,64 + 9,63) / 4 = 8,79 \sim 9,0$ kN/m
Sekundärebene - Unteres Linienlager: ca. 1,0 kN/m
- Lastfall 11: Frischbetondruck
Sekundärebene - Oberes Linienlager: $(64,05 + 64,48 + 67,36 + 62,81) / 4 = 64,68 \sim 65$ kN/m
Sekundärebene - Unteres Linienlager: $(64,68 + 63,95 + 65,5 + 66,23) / 4 = 65,09 \sim 65$ kN/m

Auf der sicheren Seite liegend, werden nur die Auflagerkräfte am unteren Deckblech berücksichtigt und auch die obere Schalungskonstruktion mit diesen Werten berechnet. Der Unterschied zwischen den Lagerkräften ist marginal.

4.2.4.1 Modellierung

Folgende Abbildungen 4.21 bis 4.24 zeigen die Modelle zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion. Die Struktur besteht aus zwei getrennten Teilsystemen mit jeweils dem "oberen" beziehungsweise dem "unteren" Teil der Schalung. Am unteren Teil der Schalungskonstruktion befindet sich die Aussteifungsstrebe, damit die Konstruktion im Winkel von

60° nicht instabil wird. Das Teilmodell "Schalung oben" dient zur Bemessung der Primärträger, da die Stützweite der Primärträger durch die Strebe nicht verringert wird. Das Teilmodell "Schalung unten" dient zur Bemessung der Aussteifungstreben sowie der Sekundärträger, da auf diese zusätzlich und in ungünstiger Richtung das Eigengewicht der SCSC-Platte sowie der Konstruktion selbst, wirkt. Die x-Achse der lokalen Stabachsensysteme zeigt immer in Stabrichtung. Die z-Achse zeigt immer in Richtung der "starken Achse" der Profile, also bei I-Profilen sowie U-Profilen verläuft sie parallel zum Steg. Die y-Achse steht orthogonal auf die lokale x- bzw. z-Achse.

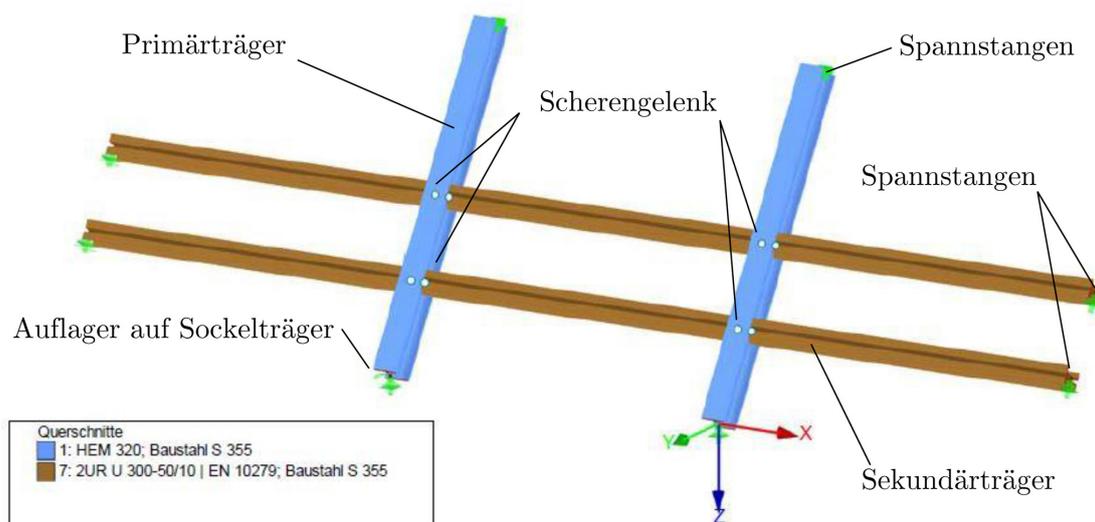


Abb. 4.21: Teilmodell "Schalung oben" als Rendering (inkl. Profildimensionen); HEM 320 = Hauptträger; 2 x U300 = Sekundärträger

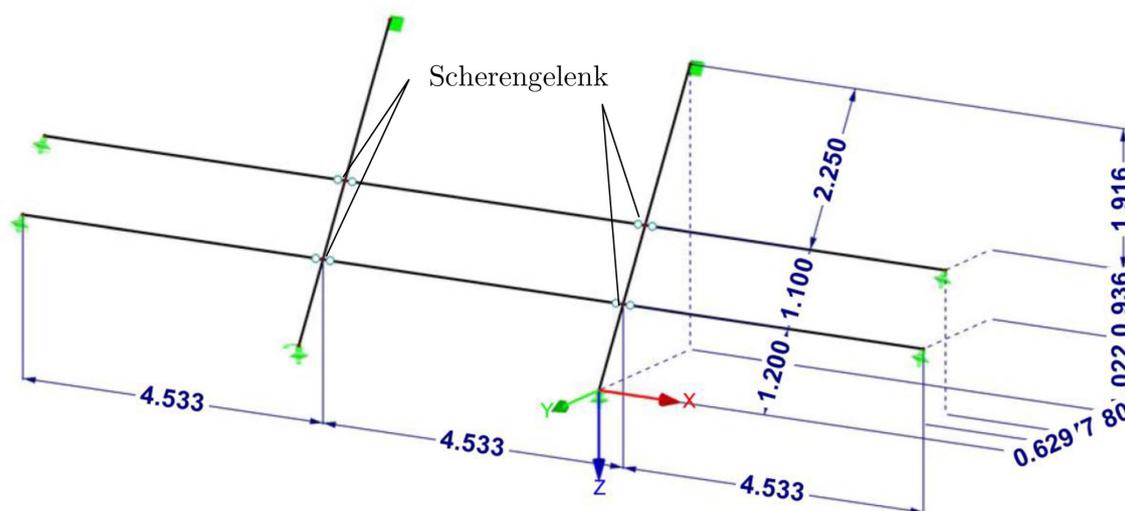


Abb. 4.22: Drahtmodell inklusive Hauptabmessungen der Struktur

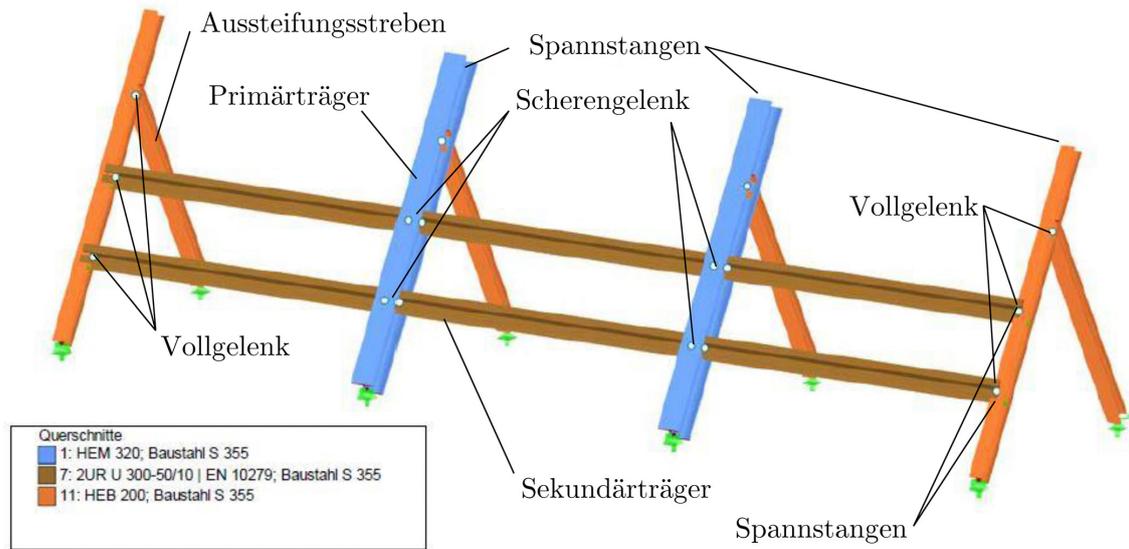


Abb. 4.23: Teilmodell “Schalung unten“ als Rendering (inkl. Profildimensionen); HEM 320 = Hauptträger; 2 x U300 = Sekundärträger; HEB 200 = Aussteifungsstreben

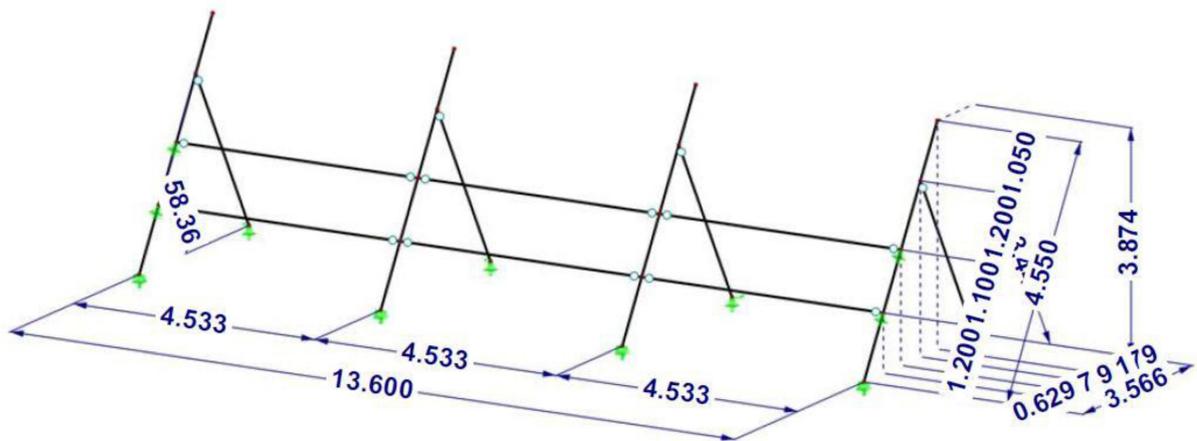


Abb. 4.24: Drahtmodell der unteren Schalungskonstruktion inklusive Hauptabmessungen

Die Sekundärträger (2xU300) wurden mittels Scherengelenken an den Hauptträgern angeschlossen. An den Randträgern erfolgt der Anschluss über Vollgelenke. Diese Scherengelenke bilden die tatsächliche Wirkungsweise der Sekundärkonstruktion wirklichkeitsnah ab, indem sie einen Durchlaufträger simulieren, welcher keine Biegemomente in die Hauptträger überträgt. Eine beschreibende Skizze dieser Verbindungsform stellt Abbildung 4.26 dar. Es werden lediglich die auftretenden Auflagerkräfte in die Hauptträger eingeleitet. Die U300 Profile werden mit 50 mm Abstand der Stege zueinander modelliert. Die beiden U-Profile sind durch eingeschweißte Bleche Schubsteif miteinander zu verbinden. Abbildung 4.25 zeigt die Definition der verwendeten Stabendgelenke.

| Gelenk Nr. | Bezugs-system | Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m] | | | Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad] | | |
|------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | P_x/u_x | P_y/u_y | P_z/u_z | M_x/φ_x | M_y/φ_y | M_z/φ_z |
| 3 | Global X',Y',Z' | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Nichtlinearität X=-31.6 Y=0.0 Z=0.0 [°] | - | - | - | - | Scheren | Scheren |
| 4 | Lokal x,y,z | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Nichtlinearität | - | - | - | - | - | - |

Abb. 4.25: Definitionen der Stabendgelenke

Die Spannstrangen wurden wegen ihrer hohen Steifigkeit als starre Auflager modelliert. An diesen können die real auftretenden Kräfte direkt abgelesen werden, mit welchen die Spannstrangen zu bemessen sind. Die Aussteifungsdiagonalen übertragen lediglich Normalkräfte und wurden somit als Fachwerkstab modelliert.

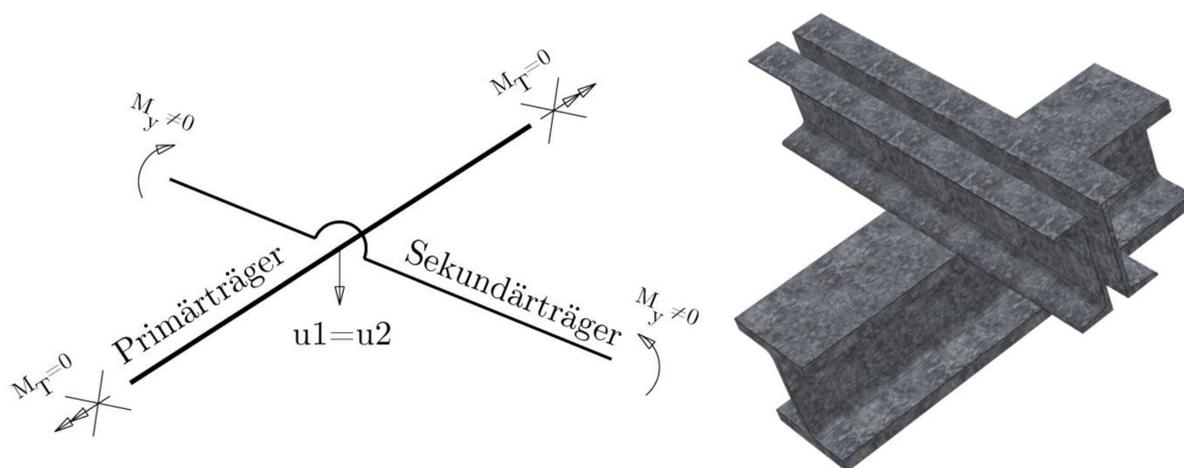


Abb. 4.26: Prinzipskizze zur Veranschaulichung der Wirkungsweise eines Scherengelenkes; Rechtes Bild: Ausführungsform im vorliegenden Fall als Trägerkreuzung in unterschiedlichen Ebenen

4.2.4.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall "Eigengewicht" wurde automatisch generiert und das Eigengewicht der Stahlkonstruktion somit vom Programm berücksichtigt. Die Belastungen aus den Lagerreaktionen der SCSC-Platte wurde als Stablast aufgebracht. Die Stablast wirkt normal auf die Z-Achse der Sekundärtragprofile.

Die Konstruktion wurde so vorbemessen, dass zwei Platten gleichzeitig betoniert werden können. Somit wurden die Lastfälle 2 (Eigengewicht - Stahl) und 3 (Eigengewicht Beton) mit dem Faktor 2,0 multipliziert. Der Lastfall 11 (Frischbetondruck) muss hingegen nur mit dem Faktor 1,0 berücksichtigt werden, da sich die Frischbetondrucke von Platten, welche "Rücken-an-Rücken" liegen, aufheben. Lastkombination 1 und 2 dienen zur Beurteilung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, Lastkombination 11 und 12 dienen zur Beurteilung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Die Richtungen und Größen der aufgetragenen Lasten auf die Struktur sind in den Abbildungen B.2 bis B.5 in Anhang B.2 ersichtlich.

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 2.000 |
| LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion | Ständig | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF3 | Eigengewicht Beton Ohne Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF11 | Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |

Abb. 4.27: Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm

| Lastkombin. | BS | Lastkombination Bezeichnung | Nr. | Faktor | Lastfall | |
|-------------|----|--------------------------------|-----|--------|----------|----------------------------------------------|
| | | | | | | |
| LK1 | | 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.50 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK2 | | 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF3 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.50 | LF3 | Eigengewicht Beton Ohne Frischbetondruck |
| LK11 | | LF1 + LF2 + LF11 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.00 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK12 | | LF1 + LF2 + LF3 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.00 | LF3 | Eigengewicht Beton Ohne Frischbetondruck |

Abb. 4.28: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm

Die Lastkombinationen 1 und 11 sind maßgebend für die Bemessung der Haupt- und Sekundärträger. Auf der sicheren Seite liegend, wurde die Lastkombination 1 auch für die Bemessung der Aussteifungsstreben herangezogen. Die Lastkombinationen 2 und 12 dienen somit lediglich der Vollständigkeit und sind für die Bemessung der Konstruktionselemente nicht maßgebend.

4.2.4.3 Ergebnisse Verformungen

Wie schon in Kapitel 4.2.4.1 erwähnt, dient das Modell "Schalung Oben" lediglich zur Bemessung der Hauptträger der Konstruktion.

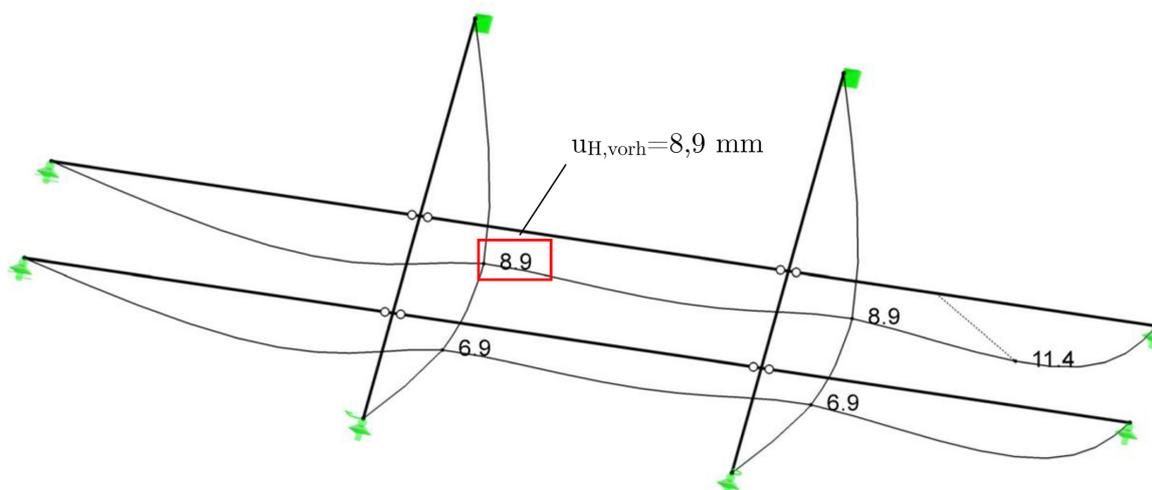
Aus Abbildung 4.29 a) ist ersichtlich, dass die maximale Verformung der Hauptträger **8,9 mm** beträgt. Der Grenzwert für die Durchbiegung der Hauptträger wurde in Kapitel 4.2.1.1 ermittelt und beträgt **9,1 mm**.

$$u_{H,vorh} = 8,9 \text{ mm} < u_{H,max} = 9,1 \text{ mm}$$

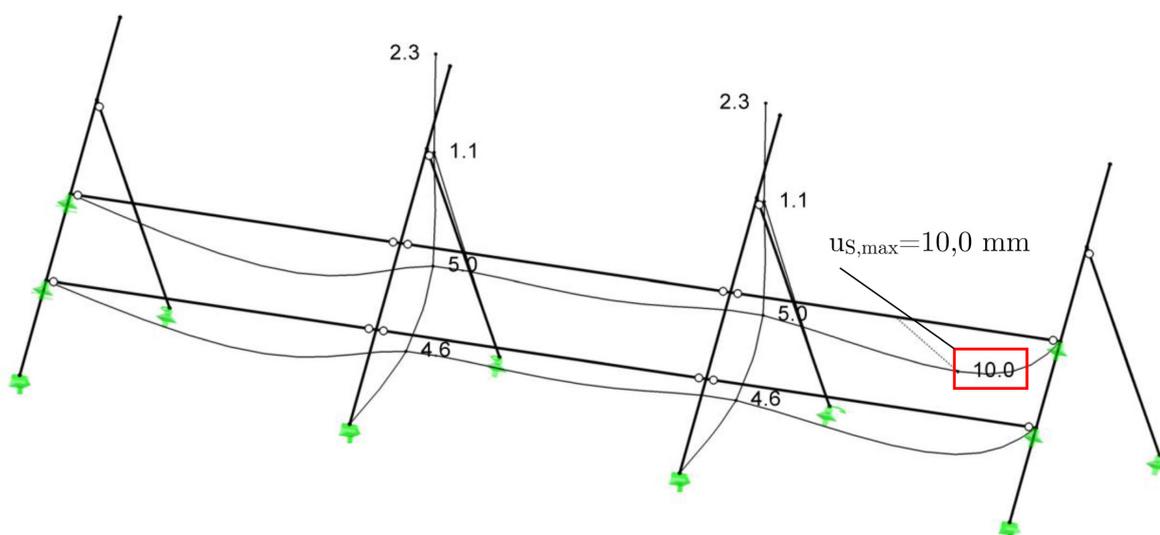
Die maximale Verformung der Sekundärträger ist in Abbildung 4.29 b) ersichtlich. Diese wird als Netto-Verformung mit verschobenen Stabenden ermittelt. Dazu wird der Maximalwert der Stabverformung vom Wert der Stabsehne an der jeweiligen Stelle abgezogen.

$$u_{S,vorh} = 10,0 - (0,0 + 5,0) / 2 = 8,9 \text{ mm} < u_{S,max} = 9,0 \text{ mm}$$

Aus diesen Verformungen der Primär- und Sekundärträger können die Nachgiebigkeiten in Form von Federsteifigkeiten der als starr angenommenen Auflager des Modelles in Abbildung 4.14 ermittelt werden. Somit würde sich die SCSC-Platte während des Einbringens des Betons stärker verformen als es in der Berechnung aus Kapitel 4.2.3 der Fall ist. Um eine wirklichkeitsnahe



(a) Globale Verformungen der "Schalung Oben"



(b) Globale Verformungen der "Schalung Unten"

Abb. 4.29: Globale Verformungen der Schalungskonstruktion zufolge charakteristischen Lasten

Aussage über die Verformungen der Platte inklusive den Trägern der Schalungskonstruktionen zu erhalten, müssen die beiden Teilmodelle in einem gemeinsamen Modell berechnet werden, damit alle Wechselwirkungen berücksichtigt werden können.

4.2.4.4 Ergebnisse - Schnittgrößen

Die Schnittgrößen wurden für die maßgebende Lastkombination (LK 1) ausgewertet und sind in den Abbildungen B.6 bis B.11 in Anhang B.2 ersichtlich. Aus diesen Plots der Schnittgrößen kann die Wirkungsweise der Scherengelenke sehr gut abgelesen werden.

4.2.4.5 Ergebnisse - Spannungen, inklusive Stabilitätsnachweisen nach EC3

Zur Beurteilung im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden die Bauteile auf etwaige Spannungsüberschreitungen im elastischen Zustand sowie auf Stabilitätsversagen untersucht. Der

Spannungsnachweis erfolgt als klassischer Querschnittsnachweis, bei dem aus zugrundeliegenden Schnittgrößen der Lastfallkombination auf Spannungen in den einzelnen Spannungspunkten des Querschnitts rückgerechnet wird. Die Schnittgrößen werden dabei aus den Lastkombinationen 1 und 2 übernommen. Die Querschnittswerte der verwendeten Profile werden automatisch aus der Profildatenbank übernommen. Die resultierenden Spannungen dürfen die Streckgrenze dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert nicht überschreiten. Ein plastischer Querschnittsnachweis ist nach DIN12812 [4] nicht zulässig. Der Plot der elastischen Spannungsauslastung ist in Abbildung B.12 in Anhang B.2 ersichtlich.

Die Stabilitätsnachweise werden nach EN 1993-1-1 [19] sowie dem Nationalen Anhang ÖNORM-B-1993-1-1 [16] vom Programm automatisch geführt. Für den Nachweis gegen Biegedrillknicken werden Verfahren nach Kapitel 6.3.2 sowie Kapitel 6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] (Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse sowie auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile) sowie das Verfahren nach Kapitel 6.3.4 aus EN 1993-1-1 [19] (Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile) angewendet. Die Konstruktionsteile (Sekundärträger und Primärträger) wurden getrennt voneinander mit beiden Verfahren bemessen. Die Verfahren nach Kapitel 6.3.2 sowie Kapitel 6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] verlangen nach der dezidierten manuellen Eingabe der Knick- sowie Drilllängen der einzelnen Stäbe/Stabsätze. Beim Verfahren nach Kapitel 6.3.4 aus EN 1993-1-1 [19] wird mittels numerischer Methoden der kleinste Vergrößerungsfaktor $\alpha_{ult,k}$ ermittelt, mit welchem über die Berücksichtigung eines Abminderungsfaktors für die Schlankheit, der Stabilitätsnachweis gegen Biegedrillknicken geführt wird. Dazu sind die tatsächlich auftretenden Lagerbedingungen (Freiheitsgrade der einzelnen Knoten) am Stab zu definieren. Mittels numerischer Methoden wird daraus für die gegebenen Randparameter $\alpha_{ult,k}$ ermittelt. Die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten der Ersatzstäbe spielt bei der Ermittlung der Eigenform eine entscheidende Rolle. Die Sekundärkonstruktion wurde so bemessen, dass jede Verbindung zwischen Haupt- und Sekundärträger gegen seitliches Verschieben sowie Rotation um die Längsachse gehalten wird (Gabellager). Die Hauptträger werden lediglich an den Enden gegen Verdrehen gehalten. Dies ist durch eine konstruktive Ausbildung im Bereich des Anschlusses (durch Einschweißen von Knotenblechen) zu gewährleisten. Anhand der Darstellung der Eigenformen kann die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten durch die bildhafte Darstellung der ersten Eigenform kontrolliert werden. Die Plots der elastischen Spannungsauslastung mit integrierten Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen sind in den Abbildungen B.13 bis B.17 in Anhang B.2 ersichtlich.

Folgende Spannungsauslastungen sind dabei in den Abbildungen B.12 bis B.17 in Anhang B.2 ersichtlich und sind nachstehend zusammengefasst:

- Elastische Spannungsauslastungen der
Gesamtkonstruktion: $\eta = 0,70$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.4) der
Sekundärträger: $\eta = 0,72$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.2) der
Sekundärträger: $\eta = 0,84$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.4) der
Primärträger: $\eta = 0,66$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.2) der
Primärträger: $\eta = 0,63$

- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.1) der **Aussteifungsstreben: $\eta = 0,41$**

Somit sind alle Spannungs- sowie Stabilitätsauslastungen kleiner als 1,0 und gelten dadurch als erfüllt. Diese Spannungs- und Stabilitätsauslastung wurden mit dem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,1$ nach DIN 12812 [4] ermittelt und weisen deshalb ein höheres Sicherheitsniveau auf als die EN 1993-1-1. Wird die DIN 12812 nicht angewendet kann der Teilsicherheitsbeiwert des Materials reduziert werden, was zu geringfügig kleineren Profildimensionen führen könnte. Jedoch hat der Teilsicherheitsbeiwert keinen Einfluss auf die Verformungen und somit auch nicht auf die Gebrauchstauglichkeit der Struktur.

4.2.4.6 Ergebnisse - Lagerreaktionen

Folgende Designlasten sind von den Spannsträngen sowie der Verschraubung am Sockelträger aus Abbildung 4.30 aufzunehmen:

- Spannsträngen bei Hauptträger $\rightarrow N_E, d = 385 \text{ kN}$
- Spannsträngen bei Sekundärträgern am Rand $\rightarrow N_E, d = 190 \text{ kN}$
- Anbindung Sockelträger $\rightarrow N_E, d = 610 \text{ kN}$

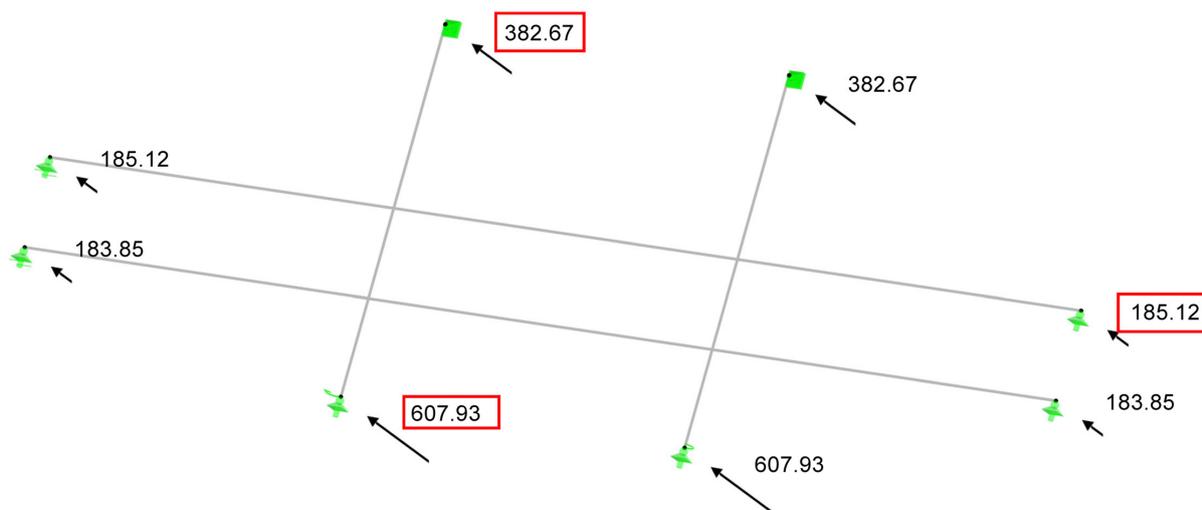


Abb. 4.30: Lagerreaktionen auf Designniveau aus Lastkombination 1

Die konzeptionelle Detailbemessung der Auflagersituationen wird in Anhang B.2.4 behandelt.

Kapitel 5

Herstellung von Trogbrücken mit SCSC-Fahrbahnplatten

Durch die bereits angeschweißten Stegbleche stellt sich der Betoniervorgang der Platte als etwas komplizierter dar, als bei der Ausführungsform ohne Stegbleche. Die Platte kann nicht im horizontalen Zustand ausbetoniert werden, da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass sich Luftkammern zwischen dem Betonkörper und dem oberen Deckblech bilden. Ein Entlüften des Hohlkörpers über das obere Deckblech soll vermieden werden, da sonst die günstige Wirkung des Deckbleches als "dichter Abschluss" gegen Wassereintritt verloren geht. Das Aufstellen der Brücke in eine senkrechte Lage, sodass der Verbundkörper von oben betoniert werden kann, stellt sich aufgrund der sperrigen Stegbleche als ebenso schwer, beziehungsweise nicht durchführbar heraus, da das Aufkippen der Brücke auf die Stegbleche einen Belastungszustand hervorrufen würde, dem die Stegbleche nicht standhalten können. Um diese Problematik zu umgehen, wird die fertige Stahlkonstruktion der Brücke inklusive den Querschnitten am Endquerträger, auf eine Betoniervorrichtung aufgehoben. Auf dieser Betoniervorrichtung erfolgt der anschließende Füllvorgang. Die Neigung der Brücke erfolgt gerade so weit, dass eine hohlraumfreie Befüllung weitestgehend sichergestellt werden kann. Als gutes Mittelmaß, bei dem noch davon ausgegangen werden kann, dass sich keine Hohlräume durch unzureichende Entlüftung des Betonkörpers bilden, werden in etwa 30° vorgeschlagen. Bei diesem Rotationswinkel befindet sich der obere Hauptträgersteg bereits in annähernd vertikaler Lage und so können etwaige Hilfskonstruktionen zum Einbringen des Frischbetons relativ einfach montiert werden.

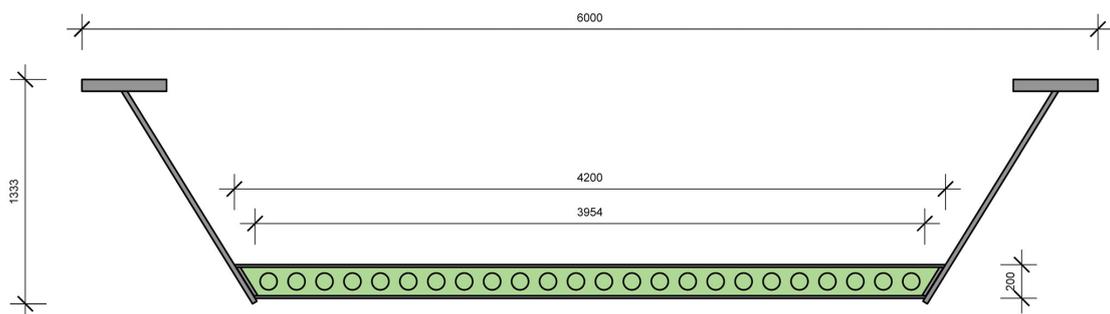


Abb. 5.1: SCSC-Plattenelement mit angeschweißten Stegblechen inklusive den Hauptabmessungen

Die Rotationsbewegung wird entweder durch sogenannte Drehtische, jeweils an den Endquerschnitten der Brücke realisiert, oder der fertige Brückenquerschnitt wird auf einen unbeweglichen schrägen Betoniertisch aufgehoben. Die Brücke lagert, nachdem alle für den Brückenquerschnitt

relevanten Stahlbauteile fertig gestellt wurden, auf diesem Drehtisch oder einer Montagekonstruktion auf und wird befüllt. Nach dem Einbringen und Erhärten des Betons kann die Brücke wieder zurück in die horizontale Lage gebracht und zum Einbauort transportiert werden. Da bereits alle stahlbaurelevanten Konstruktionsteile für die Primärkonstruktion der Brücke vor dem Betoniervorgang fertig gestellt wurden, sind keine nachträglichen Montagestöße mehr notwendig.

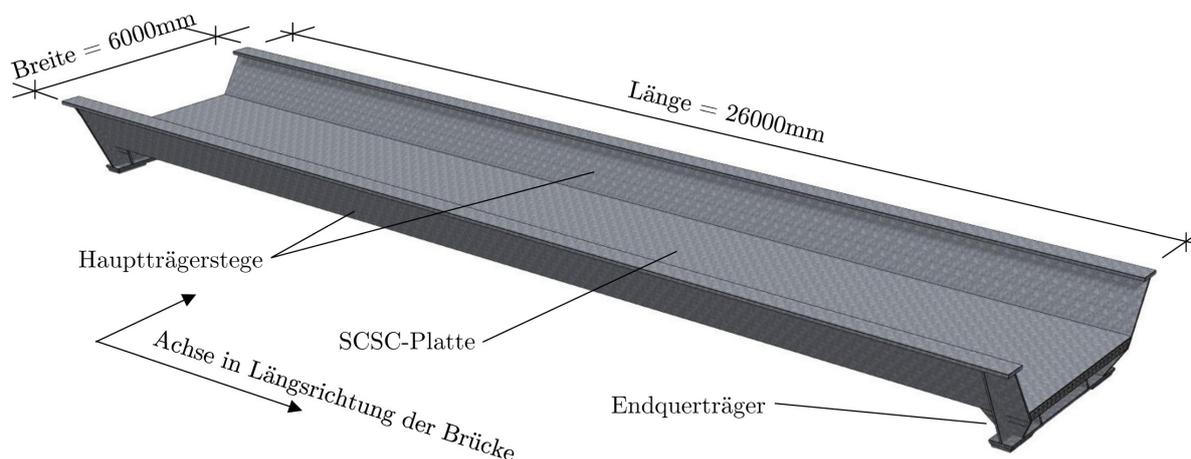


Abb. 5.2: Rendering der fertigen Trogbrücke, welche erst als vollendete Konstruktion ausbetoniert wird

Durch die im Vergleich zur stehenden Betonierkonstruktion geringe Neigung von ca. 30° im Zeitpunkt des Füllvorganges sind die zu erwartenden Frischbetondrucke um einiges kleiner. Dennoch ist zur Gewährleistung der Ebenheitsanforderungen sowie den Anforderungen an die Tragsicherheit der Platte im Zustand des Füllvorganges, eine externe Schalungskonstruktion bestehend aus Primär- und Sekundärträgern erforderlich. Diese muss, ebenso wie bei der Herstellung von Plattenelementen außenliegend angebracht sein. Die Lasten aus dem Eigengewicht der Schalungsträger werden von der Brückenkonstruktion aufgenommen und bis zu den Endquerträgern geleitet. Die Schalungsträger nehmen lediglich den Frischbetondruck der SCSC-Platte auf. Durch die Trogform der Brücke mit Außenabmessungen von bis zu 6 m muss die Primärkonstruktion der Schalung, anders als bei Plattenelementen, weitere Spannweiten überbrücken können. Dies steht dem Vorteil des geringeren Frischbetondruckes gegenüber.

5.1 Unterschiedliche Ausführungsformen des Betoniertisches

Der Betoniertisch übernimmt die Aufgabe, die Brücke während des Betoniervorganges in eine um die Längsachse gedrehte Lage zu bringen, damit der Beton möglichst hohlraumfrei in die SCSC-Platte eingebracht werden kann. Hinsichtlich der Ausführung des Betoniertisches sind grundsätzlich zwei Ausführungsformen zu unterscheiden.

- Fixer Betoniertisch
Eine unbewegliche Stahlkonstruktion wird vorab gefertigt und am Ort des Betoniervorganges aufgestellt. Die fertige Stahlkonstruktion der Brücke wird mittels Kran auf diese starre Konstruktion aufgehoben und befüllt.
- Drehbarer Betoniertisch; im folgenden "Drehtisch" bezeichnet.
Durch eine gelenkige Konstruktion kann die Brücke an den Endquerschnitten rotiert werden.

Dazu wird die Trägerkonstruktion an dem die Brücke auflagert, zweiteilig ausgeführt. Ein Teil ist fix mit dem Untergrund verbunden und bleibt während des Drehvorganges starr. Der zweite Teil, auf dem die Brücke auflagert, wird rotiert.

Die Konstruktionsformen der Betoniertische sowie die Möglichkeiten der Bewerkstellung des Rotationsvorganges differieren. Nachstehend sind drei prinzipielle Ausführungsmöglichkeiten zur Ausbildung des Betoniertisches angeführt:

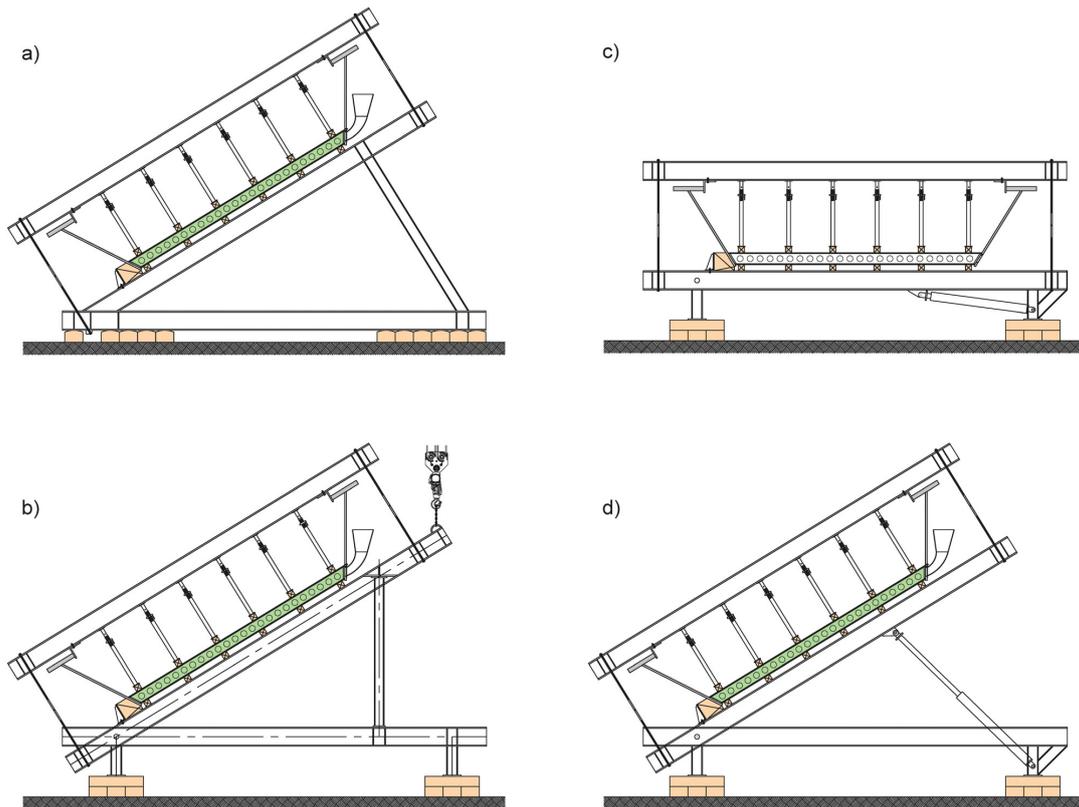


Abb. 5.3: Varianten zur Ausbildung des Betoniertisches; Abb. 5.3.a) - Starrer Betoniertisch ohne Drehvorrichtung; Abb. 5.3.b) - Rotation des Drehtisches mittels Kranhub; Abb. 5.3.c,d) - Rotation des Drehtisches mittels Hydraulikstempel in Referenzlage(c), sowie in aufgekipptem Zustand(d)

Im Zuge der weiteren Bearbeitung hat sich die Ausführung mittels Kranhub als die am sinnvollsten erwiesen. Der Hebevorgang mittels fix verbauten Hydraulikstempeln würde zwar prinzipiell funktionieren, jedoch ist die Konstruktion und der Einbau eines solchen Hydrauliksystems für diese einmalige Anwendung wirtschaftlich nicht tragbar. Ein solches System würde Sinn ergeben, wenn der Drehvorgang innerhalb kurzer Zeit öfter stattfinden muss, beziehungsweise wenn, aus welchen Gründen auch immer, kein Kran zur Verfügung gestellt werden kann. Eine weitere, hier nicht dargestellte Ausführungsform des Hebevorgangs wäre das so genannte Abstapeln. Dazu wird mittels externen Hydraulikzylindern die Brückenkonstruktion an einer Seite angehoben. Dies kann entweder an den beiden Drehtischen an den Endquerschnitten erfolgen oder bei geringeren Höhen direkt unter dem Hauptträgersteg der Brücke. Nach erfolgtem Hebevorgang des ersten Hubes von einigen Zentimetern werden so genannte Absetzstapel unter dem zu verhebenden

Körper platziert und die Stempel so weit abgesenkt, dass die Brücke nun nur noch auf den Stapeln aufliegt. Danach können die Hydraulikstempel für den nächsten Hub auf eine höhere Ebene versetzt werden. Dies wird so oft wiederholt, bis die gewünschte Höhe erreicht wird. Dieses Verfahren wird sehr häufig im Brückenbau zum Tausch von Lagerkonstruktionen eingesetzt, wobei die Brücke in horizontaler Lage gleichmäßig einige Zentimeter angehoben wird und somit nahezu keine Gradienten entstehen. Im vorliegenden Fall wird durch den Hebevorgang eine Rotation ausgeführt, welche zum Auftreten von Winkeldifferenzen zwischen Hebekörper und Stempelachse führt. Deshalb beschränkt sich das Prinzip der Abstapelung im vorliegenden Fall auf kleine Hubhöhen sowie auf eine maximale Rotation von ca. 10° , die für das Sicherstellen einer hohlraumfreien Verfüllung des Verbundkörpers zu wenig ist.

An der generellen Ausführung der Konstruktion würde auch eine andere Verhebeart nichts ändern, deshalb wird im Laufe dieser Arbeit nur noch auf die Ausführung mit Kranhub genauer eingegangen. Eine prinzipielle Darstellung dieser Konstruktionsform ist in Abbildung 5.4 ersichtlich. Die Konstruktion besteht aus einem fixen Teil, welcher starr mit dem Untergrund verbunden ist sowie aus einem beweglichen Teil, welcher die Rotationsbewegung ausführt. Diese beiden Konstruktionsteile sind über ein Gelenk (ausgeführt als Bolzenverbindung) verbunden. Der Hauptträger, welcher den beweglichen Teil darstellt kommt zwischen den beiden U-Profilen (fixer Teil) in den eingefahrenen Zustand zum Liegen. Am Ende des beweglichen Hauptträgers ist ein Schäkel montiert, an dem der Kran einhaken kann. Damit die Konstruktion in keinem Moment des Hebevorgangs instabil wird, wird der Hauptträger in einer Führungskonstruktion geführt. An dieser Führungskonstruktion aus U-Profilen werden an den Kontaktflächen Teflonplatten angebracht, damit die Reibung zwischen den beiden Elementen so gering wie möglich gehalten wird. Die Führungskonstruktion verhindert auch im Zustand des Betoniervorganges ein seitliches Umkippen der Konstruktion. Sobald der bewegliche Hauptträger in seine endgültige Lage verhoben wurde, wird eine Stütze eingebracht, um die Vertikallasten, welche vorher vom Kran übernommen wurden, in den Untergrund abzuleiten. In diesem Zustand kann der Verbundkörper mittels geeigneter Füllmethoden ausbetoniert werden.

5.2 Konstruktionsmöglichkeiten zur Herstellung des Betonfüllkörpers

5.2.1 Einfüllen mit Trichterkonstruktion

Als Vorbereitung für den Betoniervorgang werden Einfüllhilfen bestehend aus einem "Fenster" mit integriertem Schieber, auf den Hauptträgersteg über Sacklöcher mit geschnittenem Innengewinde aufgeschraubt. Auf dieser Einfüllhilfe sind Ösen angebracht, an denen der Trichter beim Füllvorgang mittels Schlagkeilen (analog zur Schalungstechnik) befestigt wird. Eine Arbeitsabfolge zur Montage des Trichters ist in Anhang C Plan Nummer 3 zu finden. Der Verbundkörper wird so lange gefüllt, bis an den Entlüftungsöffnungen der Kammer Beton austritt. Für diesen Vorgang sollte Beton mit normaler Konsistenzklasse verwendet werden, da dieser eine geringere Neigung zum Entmischen besitzt. Der Beton kann entweder über einen Krankübel oder mittels einer Betonpumpe eingebracht werden. SCC-Beton ist für diese Art der Einbringung nicht zu empfehlen, da sich dieser durch das "hineinrutschen" entmischen könnte. Nach erfolgtem Füllvorgang kann direkt durch den Trichter mit Hilfe von Flaschenrüttlern verdichtet werden. Ist der Beton in der gefüllten Kammer ausreichend verdichtet, kann bereits an den nebenliegenden Kammern gefüllt werden. Durch den Beton in den angrenzenden Kammern soll verhindert werden, dass der Füllbeton in der ersten Kammer nachrutscht. Der Schieber der ersten Einfüllhilfe wird erst nach erfolgter Füllung der nebenliegenden Kammern verschlossen. Danach kann der Schieber des Trichters geschlossen werden, um ein Auslaufen des Überschussbetons aus diesem zu verhindern.

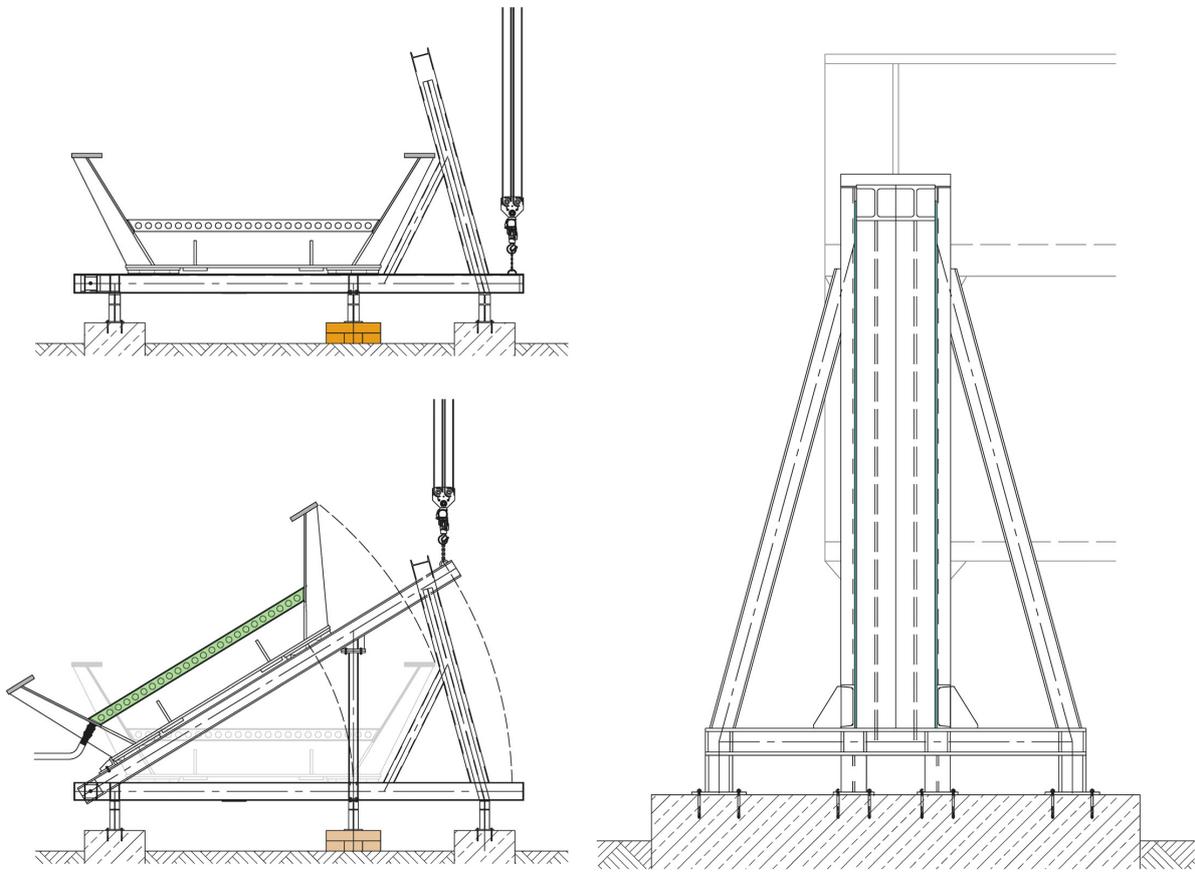


Abb. 5.4: Prinzipielle Darstellung des Drehtisches als Ausführung - "Hebevorgang mittels Kranhub"

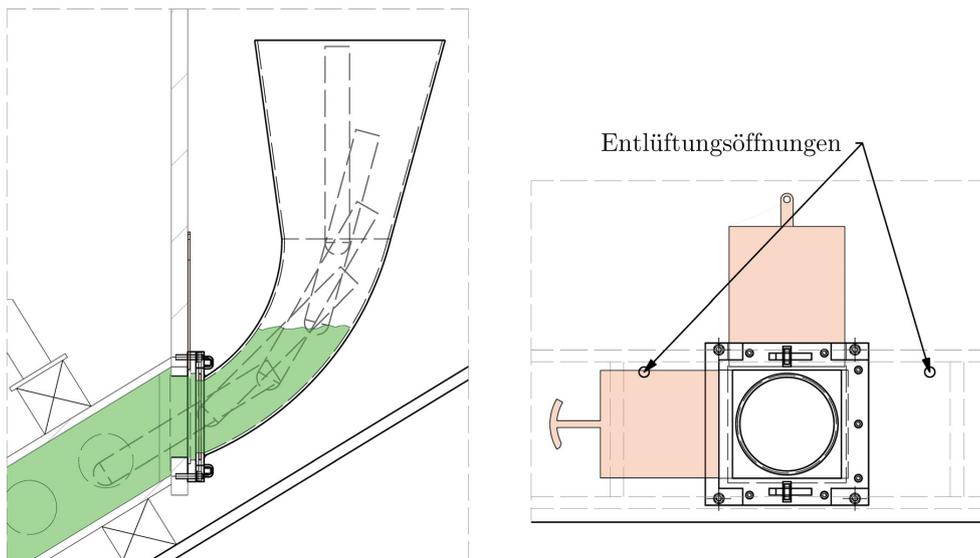


Abb. 5.5: Einfüllkonstruktion mit Fülltrichter und Einfüllhilfe

Der Einfülltrichter wird gelöst und zur nächsten Einfüllöffnung verhooben. Diese Füllvorgänge erfolgen im schrittweisen Verfahren "Kammer-für-Kammer" (siehe dazu Abbildung 5.6). Mit Hilfe dessen soll verhindert werden, dass Beton aus bereits gefüllten Kammern nach unten nachrutscht und dadurch Hohlräume zwischen dem Abschlussblech und dem Betonkörper entstehen.

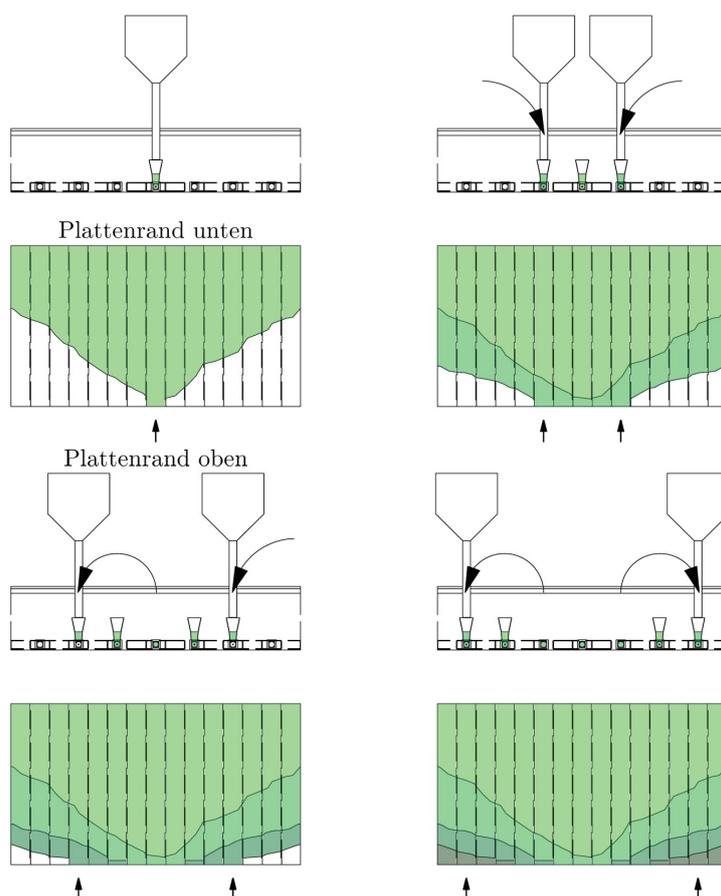


Abb. 5.6: Einbringen des Betons im schrittweisen Verfahren; Symbolische Darstellung des schrittweisen Verfahrens von der Mitte weg. Füllvorgang mit vier Trichtern. Ansicht von oben auf die Platte

Das schrittweise Verfüllen kann entweder von der Mitte weg, oder vom Rand erfolgen. Beim Betonierbeginn in der Mitte wird schlussendlich mit insgesamt vier Trichtern gefüllt. Dabei spielt die Länge der Brücke keine Rolle. Die Anzahl der Trichter bestimmt lediglich die Zeitdauer des Füllvorganges. Zuerst wird der Beton in die erste Kammer bis zur vollständigen Füllung eingebracht. Dabei wird relativ viel Beton auf einmal eingefüllt. Während durch den Trichter der ersten Kammer verdichtet wird, erfolgt gleichzeitig die Füllung der nebenliegenden Kammern. Im Trichter der ersten Kammer bleibt noch Restbeton mit einer gewissen Überfüllungshöhe bestehen, damit der entstehende Hohlraum, welcher durch das Nachrutschen des Betons entstehen kann, von selbst wieder aufgefüllt wird. Die Einfüllkonstruktion wird erst verschlossen, nachdem die nebenliegenden Kammern gefüllt und verdichtet sind. Dieser Prozess wird von der Mitte weg bis zum Rand der Platte fortgeführt. Gleiches Prinzip gilt auch, falls an den Rändern der Platte mit der Füllung begonnen wird. Dabei wird jeweils mit zwei Trichtern zur Mitte hin gearbeitet. Nachstehend werden Vor- und Nachteile zum schrittweisen Befüllen angeführt.

- Vorteile:
 - Durch die Schieberkonstruktionen an der Einfüllhilfe sowie am Trichter fließt kein überschüssiger Beton aus.
 - Der Beton wird präzise dort eingebracht, wo er benötigt wird. Es wird mit mindestens vier Trichtern gleichzeitig gearbeitet, um den Füllvorgang schneller abschließen zu können.
 - Das Füllen ist mit einem Krankübel oder einer Betonpumpe möglich.
 - Es kann Beton mit normaler Konsistenzklasse verwendet werden.
- Nachteile:
 - Der Trichter ist eine Sonderanfertigung. Dadurch ist die Anschaffung dieser Einfüllkonstruktion relativ kostenintensiv. Noch dazu sind mehrere Trichter für den Füllvorgang notwendig.
 - Im Vergleich zu anderen Konstruktionen besteht ein relativ hohes Risiko zur Entstehung von Hohlräumen. Es besteht ein hohes Fehlerpotential durch die komplizierte Abfolge der Befüllung.
 - Der Füllvorgang muss kontinuierlich und rasch erfolgen, sodass der Beton seine Konsistenz bis zum Abschluss der Betonierarbeiten behält und nicht frühzeitig ansteift (Gefahr von Hohlräumbildung).

5.2.2 Einpumpen von ECC-, oder SCC-Beton an der Unterseite- System Doka - Sperrschieber D125 SCC -

Das Befüllen erfolgt durch Einfüllstutzen an der Unterseite der Brücke mit ECC-Beton oder Beton mit der Konsistenzklasse ab F59. SCC- Beton ist aufgrund der Tatsache, dass der Betoniervorgang mit hoher Wahrscheinlichkeit auf der Baustelle stattfindet, nicht zu empfehlen. Die Einfüllkonstruktion besteht aus einem Füllstutzen, welcher direkt am Hauptträgersteg angebracht wird sowie einem Sperrschieber, welcher am Pumpenschlauch befestigt wird.

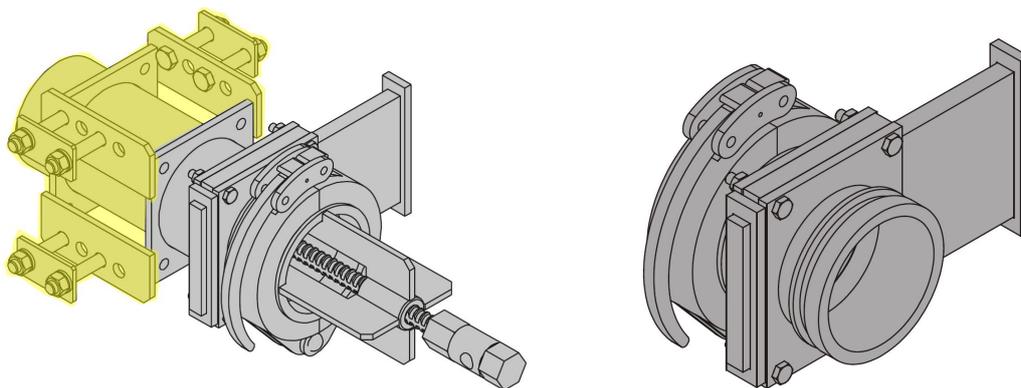


Abb. 5.7: Bild links: “DOKA GF-Füllstutzen SCC“ zur Montage am Hauptträgersteg (Gelb markierte Bereiche müssen zur Anwendung im vorliegenden Fall entfernt werden) ²
 Bild rechts: “DOKA Sperrschieber D125 SCC“ zur Montage am Pumpenschlauch ³

²<https://shop.doka.com/shop/ch/de/traegerschalung-ff100-tec/gf-fuellstutzen-scc/p/580217000/>

³<https://shop.doka.com/shop/at/de/wandschalung/rahmenschalungen/framax-xfife/sperrschieber-d125-scc/p/588127000/>

Der beschriebene Einfüllstutzen ist im Normalfall zur Verwendung in Rahmenschalungen gedacht, deshalb muss der in Abbildung 5.7 gelb markierte Bereich für den Anwendungsfall am Hauptträgersteg entfernt werden. An den vorhandenen Bohrungen in der Grundplatte kann der Einfüllstutzen an den Hauptträgersteg mittels Schrauben in eingeschnittenen Gewinden geschraubt werden. Der Sperrschieber wird am Pumpenschlauch befestigt und an den Einfüllstutzen gekoppelt. Abbildung 5.8 zeigt das System bei der Anwendung in Rahmenschalungen. Das Prinzip der Sperrschieber funktioniert ähnlich wie die Schieberkonstruktionen aus Kapitel 5.2.1. Zuerst wird der Sperrschieber an den Füllstutzen gekoppelt, danach werden die beiden Schieber geöffnet und der Beton eingepumpt. Nach dem Betonieren werden beide Schieber wieder geschlossen. Der Pumpenschlauch wird abgekoppelt und kann zur nächsten Einfüllstelle gebracht werden. Anschließend wird der Spindelaufsatz eingesetzt und das Verschlussstück bis zum Schieber gespindelt. Der Schieber kann nun wieder geöffnet werden und das Verschlussstück wird bis zur Innenkante des Abschlussbleches eingedreht. Der verbleibende Betonpfropfen im Füllstutzen wird dadurch hineingedrückt. In diesem Zustand verbleibt die Konstruktion dann bis zum Erhärten des Betons.

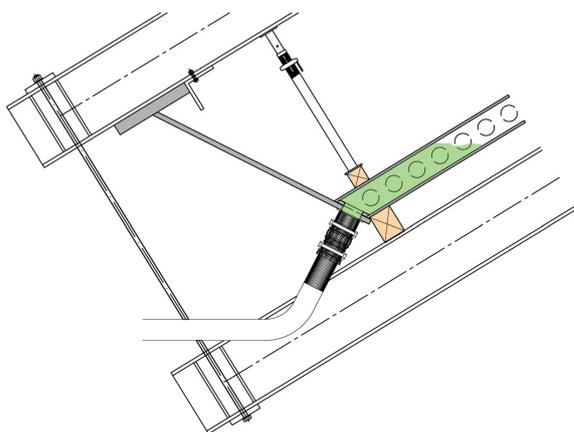


Abb. 5.8: Anwendung der Einfüllkonstruktion System Doka GF-Füllstutzen SCC mit Sperrschieber D125 SCC. Bild links: Anwendung im vorliegenden Fall zur Befüllung der SCSC-Platte. Bild rechts: Anwendung in DOKA Rahmenschalungen aus [10]

Durch das Befüllen von unten wird der Beton “Beton-in-Beton“ eingebracht und die Entmischungsfahr ist dadurch sehr gering. Ebenfalls ist die Wahrscheinlichkeit einer hohlraumfreien Befüllung der Platte durch den konstant steigenden Betonspiegel und die Verwendung von hochfließfähigem Beton sehr groß. Ein weiterer großer Vorteil liegt in der Einfachheit der Einfüllkonstruktion und in der Tatsache, dass dieses System bereits existiert und schon oft in Verwendung war. Ebenso sind für die vollständige Befüllung der Platte, durch die Verwendung von hochfließfähigem Beton, über die gesamte Länge lediglich zwei Einfüllöffnungen notwendig. Die Entlüftung des Hohlkörpers erfolgt durch Entlüftungsöffnungen an den Hochpunkten durch die Abschlussbleche sowie durch die Hauptträgerstege in jeder Kammer. Die Entlüftungsöffnungen mit einem Durchmesser von ca. 30 mm können gleichzeitig als Einschauöffnungen verwendet werden, damit der Füllstand kontinuierlich kontrolliert werden kann. Durch das Einbringen des Betons unter Druck können an der Einfüllstelle geringfügig höhere Frischbetondrucke entstehen [10]. Es wurden aus diesem Titel heraus jedoch keine Schäden berichtet. Um mögliche Schäden jedoch trotzdem so gut als möglich zu unterbinden, wird bei der Auslegung der Schalungskonstruktion speziell darauf geachtet, dass die Deckbleche in diesen Bereichen zusätzlich (durch den Einbau von Schalungstehern zwischen Hauptträger und Platte) unterstützt werden. Eine Auflistung von Vor- und Nachteilen über den

Befüllvorgang von unten soll wichtige Merkmale aus dem Text noch einmal zusammenfassen:

- Vorteile:
 - Durch konstantes Steigen des Betonspiegels von unten wird sichergestellt, dass durch wenige Einfüllöffnungen alle Kammern gefüllt werden. An den Oberseiten werden Entlüftungsöffnungen angebracht, um damit sicherzustellen, dass jede Kammer gefüllt ist.
 - Es handelt sich um eine einfache Konstruktion mit einem bestehenden System, welches bereits oft in der Praxis angewendet wurde.
 - Der Beton wird unter Druck eingebracht, deshalb kann, durch stückweises Schließen der Entlüftungsöffnungen, der Beton durch die Nutzung des Druckausgleiches dazu gezwungen werden, sich auf andere Kammern, die eventuell noch nicht gänzlich gefüllt sind, zu verteilen.
 - Ein Verdichten des Frischbetons ist durch Verwendung von ECC- oder SCC-Beton nicht notwendig.
- Nachteile:
 - Diese Variante führt zu geringfügig höheren Frischbetondrücken im Bereich der Einfüllöffnung. Es ist auf alle Fälle der hydrostatische Druck als Frischbetondruck anzusetzen, da der Betonkörper an der Einfüllstelle ständig durchmischt wird und somit keine Aushärtung erfolgen kann. [10]
 - Der Füllvorgang kann nur mittels Betonpumpe erfolgen.
 - Der Einfüllstutzen muss modifiziert werden und kann dadurch nicht ausgeliehen werden.

5.2.3 Einfüllen mit Fülltrog, Abheben der Füllkonstruktion direkt nach Fertigstellung des Betoniervorgangs

Bei dieser Konstruktionsform wird ein sogenannter Fülltrog seitlich über die ganze Länge der Brücke an den Hauptträgersteg geklemmt. Durch diesen Trog kann die Platte über die gesamte Länge in einem Schritt, durch alle Einfüllöffnungen gleichzeitig, gefüllt werden. Damit beim Abheben des Troges kein Beton aus den Kammern der Platte ausläuft, müssen diese Einfüllöffnungen durch eine Schieberkonstruktion (z.B. analog Einfüllhilfe der Trichterkonstruktion) geschlossen werden. Eine Verwendung von SCC-Beton ist auch bei dieser Einfüllkonstruktion, analog zur Trichterkonstruktion aus 5.2.1, nicht zu empfehlen. Es sollte Beton mit normaler Konsistenz verwendet werden, da bei diesem im Zustand des "Hineinrutschens" weniger Gefahr einer Entmischung besteht. Die Verdichtung kann mittels Flaschenrüttlern, welche durch den Trog eingeführt werden, erfolgen. Alternativ kann auch mittels außenliegenden Schalungsrüttlern verdichtet werden. Generell gilt auch hier, dass die Wahrscheinlichkeit von hohlraumbildungen steigt, je niedriger die Konsistenzklasse des Betons ist. Es werden nun die Vor- und Nachteile des Einfüllens durch einen Fülltrog aufgelistet.

- Vorteile:
 - Es handelt sich um eine einfache Einfüllkonstruktion.
 - Durch eine konstante Füllhöhe im Trog, die über die gesamte Brückenlänge verläuft, kann gewährleistet werden, dass alle Kammern gleichzeitig und vollständig gefüllt werden.

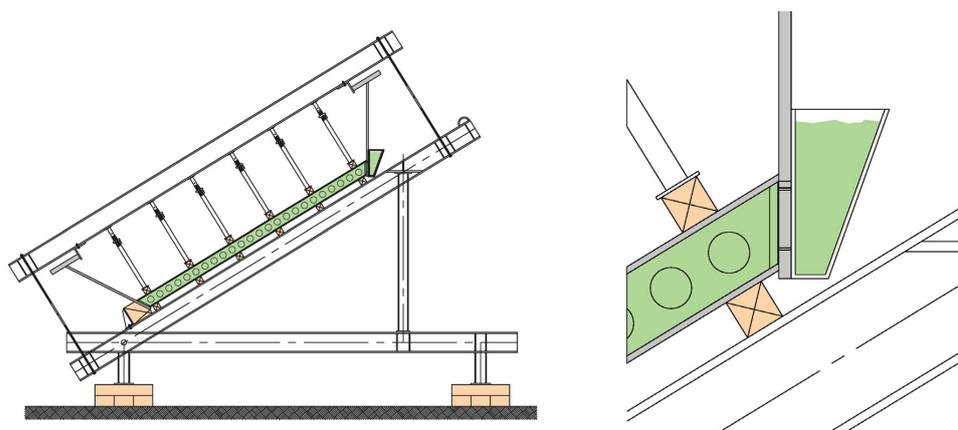


Abb. 5.9: Schematische Darstellung der Konstruktion mit Fülltrog; links: Anordnung des Troges am Querschnitt; rechts: schematischer Detailausschnitt

- Der Betoniervorgang kann mit einem Krankübel oder einer Betonpumpe durchgeführt werden.
- Es kann Beton mit einer normalen Konsistenzklasse verwendet werden.
- Nachteile:
 - Der überschüssige Beton läuft beim Abheben der Konstruktion aus dem Trog. Dies kann entweder ignoriert werden oder nach dem Schließen der Einfüllöffnungen durch das Öffnen von Auslauföffnungen kontrolliert aufgefangen werden.
 - Bei jeder Einfüllöffnung ist ein Schieber anzubringen. Dies ist notwendig, damit beim Abheben des Troges kein Beton aus der Einfüllöffnung ausläuft und die Platte somit vollständig gefüllt bleibt.
 - Der Füllstand der Platte ist nicht optisch kontrollierbar.
 - Durch die große Fallhöhe besteht das Risiko einer Entmischung des Betons.

5.2.4 Einfüllen mit Fülltrog, Beton noch in der Füllkonstruktion anhärtens lassen

Die Einfüllkonstruktion ist analog derer aus Kapitel 5.2.3, jedoch entfällt hier die Schieberkonstruktion bei der Einfüllöffnung. Außerdem besteht ein wesentlicher Unterschied im zeitlichen Ablauf des Abhebens des Fülltroges. Bei dieser Konstruktionsform wird der Beton so lange im Fülltrog bewahrt, bis sich eine gewisse Eigensteifigkeit des Betons einstellt. Ist der Beton ausreichend angehärtet, wird der Fülltrog abgehoben und entleert. Durch das Anziehen des Betons läuft kein Beton aus der Einfüllöffnung aus. Möglicherweise müssen deshalb aber überstehende Betonnasen nachträglich abgestemmt werden, was zu einer Beschädigung des Betons in der Kammer führen könnte. Die zu verwendende Betonart sowie die Art der Verdichtung, ist aufgrund der selben Art und Weise der Betoneinbringung, analog zu jener aus Kapitel 5.2.3. Daher gelten die bereits im vorherigen Abschnitt beschriebenen Vor- und Nachteile. Zusätzlich zu diesen, lassen sich aber noch weitere wesentliche Punkte hervorheben:

- Vorteile:
 - Die Schieberkonstruktion am Hauptträgersteg entfällt.

- Nachteile:
 - Der richtige Zeitpunkt zum Entfernen des Troges muss getroffen werden. Ist der Beton noch zu weich, läuft er aus der Einfüllöffnung aus. Ist der Grad der Erhärtung jedoch schon zu weit fortgeschritten, ist der Aufwand relativ groß, um den überschüssigen Beton wieder abzustemmen.
 - Der bereits erhärtete Beton im Verbundkörper kann durch das nachträgliche Abstemmen von Betonteilen beschädigt werden.

5.2.5 Verwendung des Hauptträger - Hohlkastens als Fülltrog

Diese Ausführungsform der Betoneinbringung kann nur dann zum Einsatz kommen, falls der Hauptträgersteg der Brücke als Hohlkasten ausgebildet wird. Ist dies der Fall, so kann der Hohlkasten als Fülltrog für die Platte herangezogen werden. Der Hohlkasten wird bis über die Einfüllöffnung gefüllt. So kann sichergestellt werden, dass durch die hydrostatische Höhe, die Platte vollständig gefüllt wird. Ausreichende Entlüftungsmöglichkeiten der Platte sind auch hier notwendigerweise herzustellen. Die Entlüftung der Platte erfolgt über Entlüftungsbohrungen am höchsten Punkt des Hohlkörpers und weiter durch den Hohlkasten nach außen. Damit nicht zu viel Restbeton im Hohlkasten verbleibt, wird eine Auslauföffnung am Steg angebracht, welche bei vollständiger Füllung geöffnet wird. Ein gewisser Anteil an Restbeton wird trotzdem im Hohlkasten verbleiben, welcher eine Erhöhung des Eigengewichts des Tragwerks verursacht, jedoch keine statisch wirksame Funktion besitzt. Der Beton kann über einen Pumpenschlauch, welcher durch die Einfüllöffnung eingeführt wird, eingebracht werden. Im Anschluss werden wieder Vor- und Nachteile dieser Art der Befüllung aufgezählt.

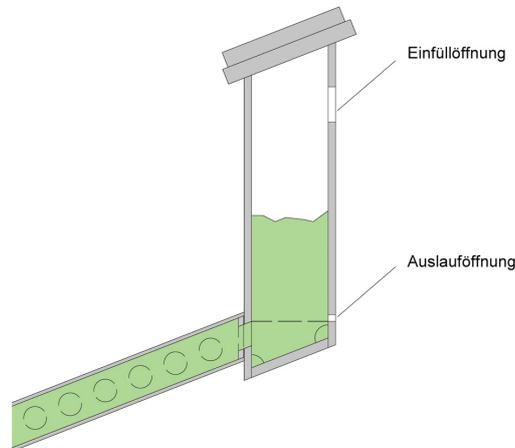


Abb. 5.10: Schematisches Schaubild zum Füllvorgang mit Hauptträgerhohlkasten als Fülltrog

- Vorteile:
 - Es sind keine zusätzlichen Einfüllkonstruktionen notwendig.
 - Durch die konstante Füllhöhe im Hohlkasten, welche sich über die gesamte Brückenlänge und somit über alle Einfüllöffnungen zieht, wird gewährleistet, dass alle Kammern vollständig gefüllt werden.
- Nachteile:
 - Der Füllstand der Platte ist nicht optisch kontrollierbar.

- Im Hohlkasten verbleibt ein Restbeton ohne statisch wirksame Funktion.
- Verdichtung bei normalverdichtendem Beton kann nur durch außenliegende Schalungsrüttler erfolgen.

5.2.6 Teilweises Füllen bis zur Einfüllöffnung, nachträglicher Verguss mit schwindfreiem Vergussmörtel

In einem ersten Schritt wird die Platte mit selbstverdichtendem oder normalverdichtendem Beton durch oben liegende Einfüllöffnungen soweit gefüllt, dass gerade kein Beton austritt. Anschließend werden die Einfüllöffnungen mit einem Abdeckblech, mit den notwendigen Bohrungen zur Entlüftung sowie zum Einbringen des Vergussmörtels verschlossen. Abschließend wird der Hohlraum vergossen, bis an den Entlüftungsöffnungen Mörtel austritt. Diese Art der Herstellung hat folgende positive und negative Aspekte:

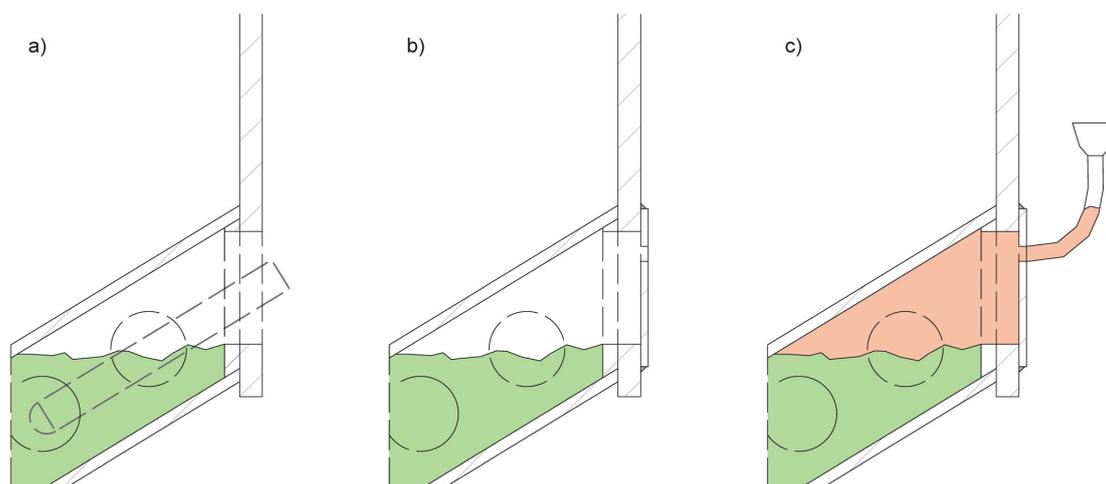


Abb. 5.11: Schematisches Schaubild zum Vorgang. a) Einfüllen und Verdichten des Betons bis zur Einfüllöffnung. b) Verschließen der Einfüllöffnungen mittels Abdeckblech. c) Verfüllen des Hohlraumes über Einfüllstutzen mit schwindfreiem Vergussmörtel

- Vorteile:
 - Es handelt sich um eine einfache Konstruktionsform ohne zusätzliche Einfüllkonstruktionen.
 - Es kommt mit Sicherheit zu einer vollständigen Füllung aller Kammern. Etwaiges Fröhschwinden des Betonkörpers wird durch Vergussmörtel egalisiert.
- Nachteile:
 - Der Füllvorgang muss in zwei Schritten erfolgen und ist daher zeitaufwändiger.
 - Vergussmörtel ist teurer als Beton.
 - Die Verbundfuge zwischen Vergussmörtel und Beton wird nicht denselben Haftverbund aufweisen wie ein monolithischer Betonkörper.
 - Für die Einbringung des Vergussmörtels ist ein zusätzliches Blech anzuschweißen.

5.3 Favorisierte Herstellungsweise

Nach Abwägung aller für die Konstruktion relevanten Aspekte erwies sich folgende Konstruktionsform als jene mit dem höchsten Potential hinsichtlich der technisch einwandfreien Befüllung des Betonkörpers.

Die Brücke wird mittels Drehtisch, welcher mit Kränen auf eine Neigung von ca. 30° rotiert wird, um ihre Längsachse gedreht um ein ausreichend großes Gefälle der zu befüllenden Platte zu generieren. An der Längsseite der Brücke auf Höhe der SCSC-Platte werden zwei "DOKA Einfüllstutzen", analog zum Kapitel 5.2.2, angebracht. Die Einfüllstutzen sollen so auf die Länge der Brücke verteilt werden, dass eine ausreichende Verteilung des Betons auf die ganze Länge des Körpers gegeben ist. Hierbei wird die Anordnung in den Drittelpunkten bezogen auf die Länge der Brücke vorgeschlagen. An den Hochpunkten des Hohlkörpers sind jeweils zwei Entlüftungsöffnungen je Kammer angebracht, mit denen gleichzeitig der Füllstand kontrolliert werden kann. Um den Frischbetondruck aufnehmen zu können, wird eine Schalungsträgerkonstruktion bestehend aus Primär- und Sekundärträgern am Brückenquerschnitt angeklemt. Diese bestehen aus einer Sekundärebene (2xU180) längs zur Brückenachse orientiert, sowie einer Primärebene orthogonal auf die Sekundärebene mit einem Achsabstand von 2,50 m. Die Primärträger werden an den Enden gegenseitig mit Spannstrangen verspannt. Das Eigengewicht der Brücke inklusive dem Füllbeton, sowie das Eigengewicht der Träger der zusätzlichen Schalungskonstruktion wird dabei vom Brückenquerschnitt aufgenommen und bis zu den Drehtischen abgeleitet. Die prinzipielle Anordnung der Betonierhilfskonstruktionen ist in der Abbildung 5.13 sowie Abbildung 5.14 ersichtlich.

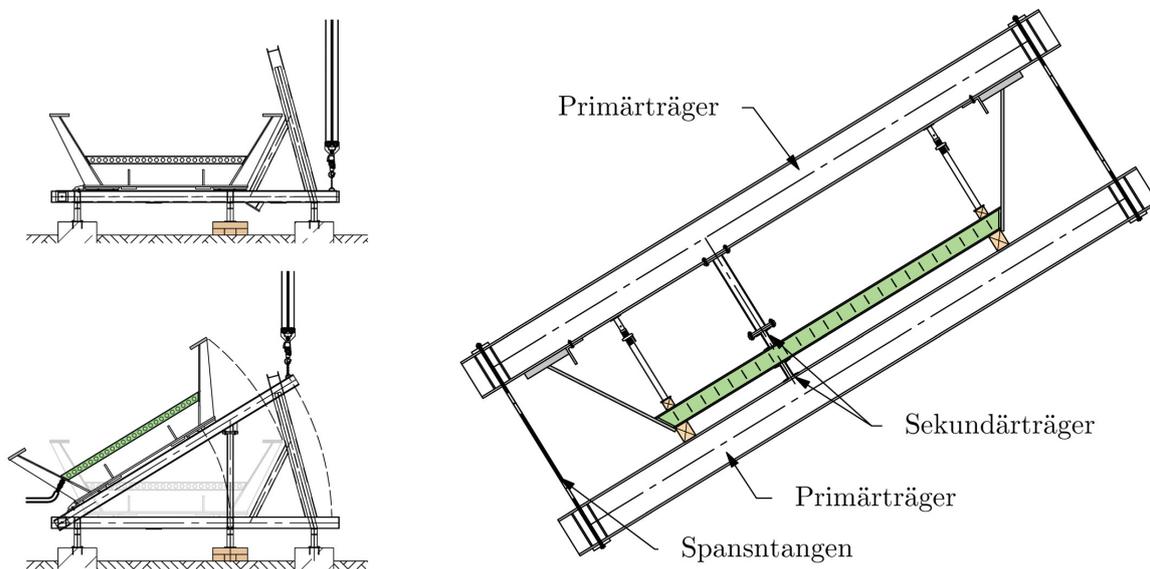


Abb. 5.12: Bild links: Drehtischkonstruktion ohne Schalungselemente; rechts: Schalungskonstruktion Regelement. Detailliertere Darstellungen der Drehtischkonstruktion, sowie der zusätzlichen Schalungskonstruktion sind in Anhang C ersichtlich.

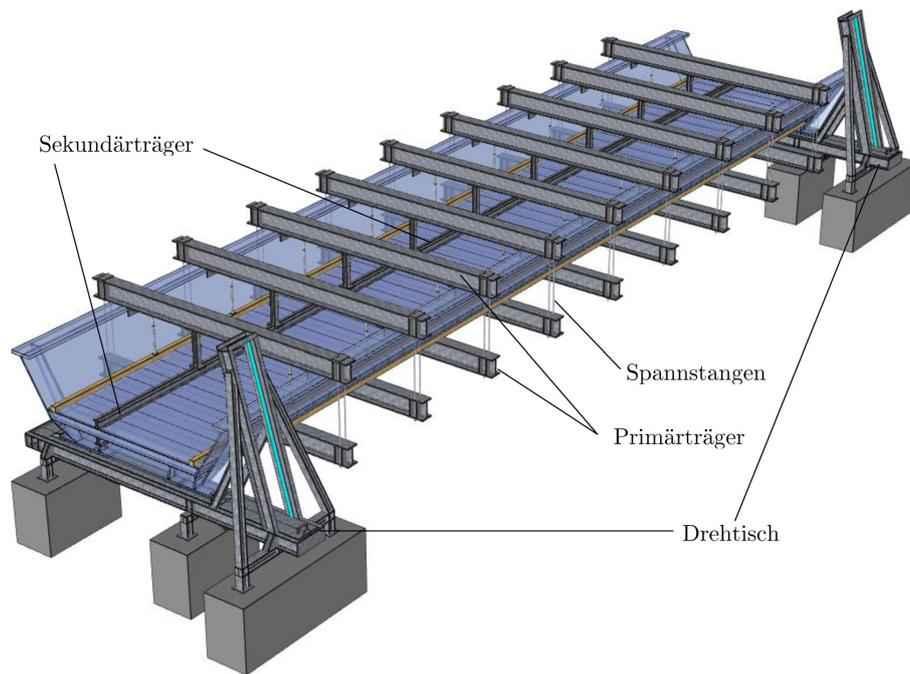


Abb. 5.13: 3D Darstellung der Brücke auf der Drehtischkonstruktion inklusive Schalungselemente im Zustand vor dem Hebevorgang

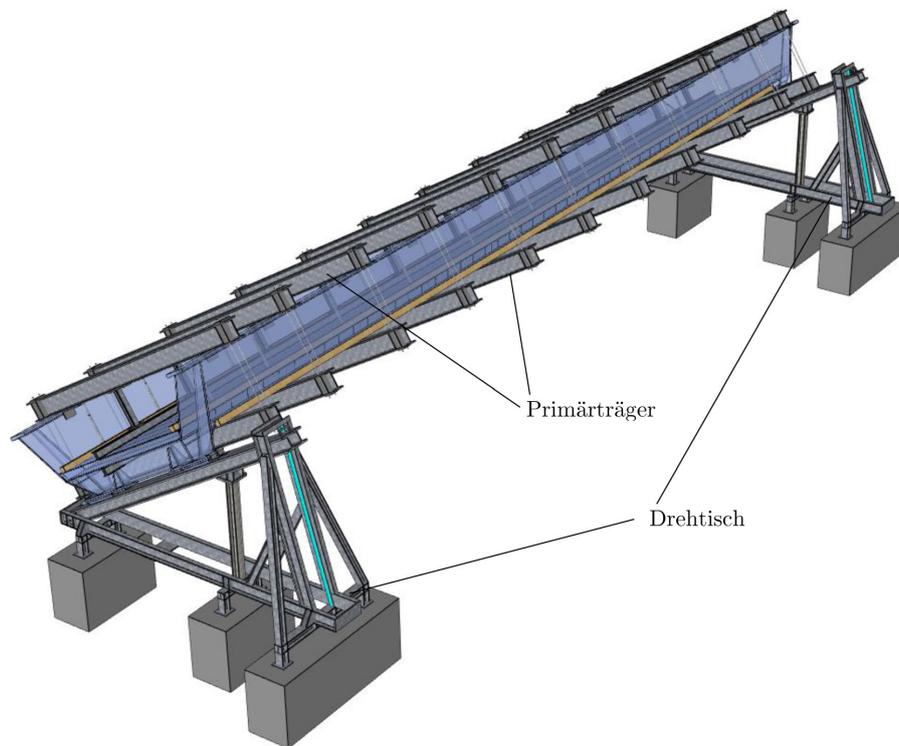


Abb. 5.14: 3D Darstellung der Brücke auf der Drehtischkonstruktion inklusive Schalungselemente im Zustand des Betoniervorgangs

5.4 Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen

Der Frischbetondruck bei einem Neigungswinkel von nur 30° ist zwar erheblich kleiner als bei einer Neigung von 60° , dennoch ist eine zusätzliche Schalungskonstruktion bestehend aus Primär- und Sekundärträgern erforderlich, um die nötigen Grenzwerte hinsichtlich Spannung und Verformung der SCSC-Platte zufolge Frischbetondruck einhalten zu können.

Die Lastableitung gliedert sich wie in Kapitel 4 beschrieben wieder in zwei Ebenen mit einer Primär- und einer Sekundärkonstruktion. Die Schalhaut wird durch die Deckbleche der SCSC-Platte abgebildet. Die Lastabtragung erfolgt folgendermaßen: Die Lasten aus dem Frischbetondruck werden über die Deckbleche und Lochdübelleisten in die Sekundärkonstruktion (Doppel U-Profile) eingeleitet. Diese Lasten aus der Sekundärkonstruktion werden von der Primärkonstruktion (HEA-Profile) aufgenommen und mittels Spannstangen an der gegenüberliegenden Seite der Trogbrücke mit dem gespiegelten Primärträger verspannt. Die SCSC-Platte wird somit gewissermaßen von den Primär- und Sekundärträgern „umschnürt“. Die Lasten aus dem Eigengewicht der Träger der Schalungskonstruktion werden von der SCSC-Platte aufgenommen und in die Stegbleche eingeleitet. Über die Haupttragwirkung der Brücke werden diese Lasten bis hin zu den Endquerträgern geleitet, an denen die Brücke auf einem Betontisch auflagert. Durch diese Belastung des stahlbaummäßigen Brückenkörpers zufolge Eigengewicht (Eigengewicht der Stahlkonstruktion der Brücke, Eigengewicht der Schalungskonstruktion und Eigengewicht des Füllbetons), kommt es zu einer Anfangsverformung der Brücke. Der Beton härtet in diesem Zustand aus, somit sind diese Verformungen irreversibel. Die Auswirkungen der Herstellungsgeschichte der Brücke hinsichtlich der Vorverformungen sind jedenfalls bei der Auslegung der Werkstattform zu berücksichtigen und wurden hier nicht weiter behandelt. Des Weiteren werden die Spannungen in der SCSC-Platte zufolge Frischbetondruck nicht mit den Spannungen aus der Haupttragwirkung der Brücke zufolge Eigengewicht der Konstruktionsteile und des Füllbetons überlagert.

Die Vordimensionierung, beziehungsweise die Analyse der Machbarkeit der Ausführung der Betonierhilfskonstruktionen gliedert sich in drei Teile

- Ausgewählte Analysen der SCSC-Platte zufolge Lasten aus dem auftretenden Frischbetondruck sowie die einwirkenden Lasten aus der Schrägstellung der Platte auf 30° durch das Eigengewicht der Platte.
- Ausgewählte Analysen der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion mit den übertragenen Einwirkungen aus dem Modell zur Analyse der SCSC-Platte.
- Vordimensionierung der Betontischkonstruktion (Drehtisch).

5.4.1 Allgemeine Vorgaben

5.4.1.1 Verformungsanforderungen

Die Anforderungen an die Grenzverformungen der Oberflächen- bzw. Schalungselemente wurden bereits in Kapitel 4.2.1.1 genauer erläutert und sind für die vorliegende Konstruktion in gleicher Weise anzuwenden. Für allgemeine Biegeträger, wie sie bei der Drehtischkonstruktion vorkommen, wird in Anlehnung an die ÖNORM B 1990-1 [14] eine Verformungsbegrenzung, für nachträglich eingebaute Unterfangungskonstruktionen, von $1/500$ gewählt. Folgende Grenzwerte für die Verformungen der einzelnen Elemente sind daher einzuhalten:

- Deckbleche:
 $m = 1,0 \text{ m} \rightarrow s_{,max} = \mathbf{3,0 \text{ mm}}$; Dies entspricht $1/333$.
- Dübelleisten:
 $l = 4,2 \text{ m} \rightarrow u_{L,max} = \mathbf{8,4 \text{ mm}}$; $(1/500)$
- Sekundärträger der Schalungskonstruktion:
 $l = 2,5 \text{ m} \rightarrow u_{S,max} = \mathbf{5,0 \text{ mm}}$; $(1/500)$
- Primärträger der Schalungskonstruktion:
 $l = 6,50 \text{ m} \rightarrow u_{H,max} = \mathbf{13,0 \text{ mm}}$; $(1/500)$
- Hauptträger (2x HEM280) der Drehtischkonstruktion (Im Zustand des Betoniervorganges):
 $l = 5,10 \text{ m} \rightarrow u_{H,max} = \mathbf{10,2 \text{ mm}}$; $(1/500)$

5.4.1.2 Spannungen

Es wird für alle Konstruktionsteile Stahl der Sorte S355 verwendet. Die Grenzspannung von $f_{y,d} = 355/1,1 = \mathbf{322,7 \text{ N/mm}^2}$ darf nicht überschritten werden.

5.4.1.3 Kombinatorik / Grenzzustände nach DIN12812 [4]

Die zu generierenden Lastkombinationen, sowie die einzuhaltenden Grenzzustände sind analog der Konstruktion aus Kapitel 4.2.1.3

5.4.2 Belastungsannahmen

Stahl $\gamma_S = \mathbf{78,5 \text{ kN/m}^3}$

Der geringfügige Fehler von 2% durch die Annahme einer Erdbeschleunigung von $10,0 \text{ m/s}^2$ wird in Kauf genommen und als Reserve für etwaige Steifen etc. herangezogen.

Beton $\gamma_B = \mathbf{25,0 \text{ kN/m}^3}$

Der Beton ist zwar im vorliegenden Fall unbewehrt, jedoch wird die Wichte von Beton laut DIN 12812 [4] für Traggerüste mit $25,0 \text{ kN/m}^3$ angegeben.

5.4.2.1 Ständige Lasten

Die ständigen Lasten der Bleche der SCSC-Platte, sowie die Profileigengewichte im Stabwerksmodell werden vom Programm berücksichtigt. Die Lasten aus dem Eigengewicht der Brücke sowie dem Eigengewicht der Schalungskonstruktion, welche für die Bemessung der Drehtischkonstruktion relevant sind werden folgendermaßen ermittelt. Gesamtgewicht der Brücke: Reine Stahlkonstruktion; das Eigengewicht des Betons wird nach DIN 12812 [4] als veränderliche Last mit $\gamma_F=1,5$ in Rechnung gestellt.

Die Massen wurden bereits in Kapitel 2.5.1 berechnet und werden aus diesem übernommen.

$$M_{\text{Stahl}_{\text{GesamtQS}}} = 0,156 \cdot 7850 \cdot 1 / 0,5 = 2450 \text{ kg/m} \rightarrow 24,5 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{Stahl}_{\text{Endquerträger}}} = 0,295 \cdot 7850 = 2316 \text{ kg} \rightarrow 23,2 \text{ kN}$$

$$G_{k,\text{Stahlbau}} = 24,5 \cdot 26 + 2 \cdot 23,2 = \mathbf{683,4 \text{ kN}}$$

Zusätzliche Lasten aus der notwendigen Schalungskonstruktion zur Verspannung der Platte:

Tab. 5.1: Masse der zusätzlichen Schalungskonstruktion je Achse

| Schalungskonstruktion 30° b'=2,50m | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|-----------|------------|
| Anzahl [-] | Profil [-] | Profilmasse [kg/m] | Länge [m] | Masse [kg] |
| 2 | HEA 450 | 139,7 | 6,5 | 1816,1 |
| 4 | U 180 | 22,0 | 2,5 | 220,0 |
| 1 | HEA 120 | 19,9 | 0,85 | 17,0 |
| 4 | Spannstangen ISTOR 26mm | 4,2 | 3,0 | 50,4 |
| Zuschlag für Steifen, Steher etc. 10% | | | | · 1,10 |
| Gesamtmasse je Achse inkl. Zuschlag | | | | 2315 |

Das Gesamtgewicht pro Achse beträgt 2315 kg; das entspricht 23,2 kN/Achse bei einer Gesamtlänge von 26 m (Abzüglich 1m am Endquerschnitt, die Sekundärkonstruktion krägt dort wegen Kollision mit dem Endquerschnitt aus) und einem Achsabstand von 2,5 m ergeben sich:

$$\frac{26-1,0}{2,5} + 1 = 11 \text{ Achsen}$$

$$G_{k, \text{Schalung}} = 23,2 \cdot 11 = \mathbf{255 \text{ kN}}$$

5.4.2.2 Veränderliche Lasten - Frischbetondruck

Wie schon in Kapitel 2.3.1 beschrieben, steigt der Frischbetondruck bei Einbringung von Beton durch Einpumpen an der Unterseite linear mit der Höhe nach Gleichung 2.1. Der Frischbetondruck wirkt immer normal auf die belasteten Flächen. Die Wichte des Betons wird mit $25,0 \text{ kN/m}^3$ in Rechnung gestellt.

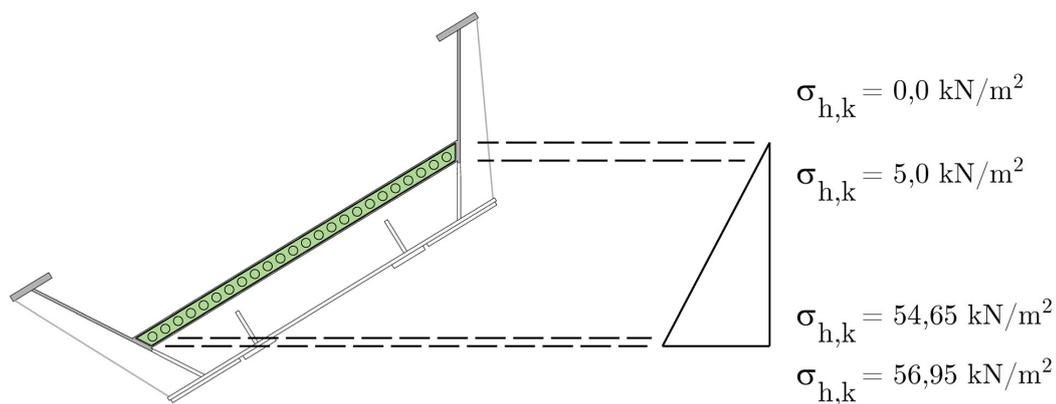


Abb. 5.15: Frischbetondrücke auf die Innenseiten der Deckbleche

Durch die vertikale Höhe von $= 2,28 \text{ m}$ resultiert ein hydrostatischer Druck an der maximalen Stelle von $2,28 \cdot 25 = 56,95 \text{ kN/m}^2$.

5.4.2.3 Veränderliche Lasten - Eigengewicht Frischbeton

Durch die Art der Modellierung der Platte und durch die Art der Lastaufbringung des hydrostatischen Druckes wird das Eigengewicht des Frischbetons bereits mitberücksichtigt.

Für die Bemessung der Drehtischkonstruktion werden folgende Lasten zufolge Eigengewicht des Frischbetons aus Kapitel 2.4.1 übernommen.

$$M_{\text{Beton}_{SCSC}} = 0,332 \cdot 2500 \cdot 1 / 0,5 = 1660 \text{ kg/m} \rightarrow 16,6 \text{ kN/m}$$

$$G_{k,\text{Beton}} = 26,0 \cdot 16,6 = 431,6 \text{ kN}$$

5.4.2.4 Veränderliche Lasten aus Wind

Aufgrund der großen Einflussfläche kann die Windwirkung auf den Betontisch nicht mehr vernachlässigt werden. Für die Vorbemessung der SCSC-Platte, sowie der Träger der Schalungskonstruktion wird der Wind weiterhin nicht berücksichtigt.

Die allgemeinen Windwirkungen auf die Brücke wurden für einen beliebigen Standort in Wien nach ÖNORM B 1991-1-4 [15] ermittelt. Dies hat zwei Gründe: Zum einen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Brücke erst auf der Baustelle (voraussichtlich Wien) ausbetoniert wird, zum anderen, sind die Basiswerte des Windgeschwindigkeitsdrucks in Wien verhältnismäßig groß im Vergleich zu anderen Standorten in Österreich. Als vereinfachter Ansatz zur Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte der Brücke wird diese als prismatischer Baukörper mit deren Außenabmessungen angenommen. Die Windbelastung in Längsrichtung der Brücke wird aufgrund der kleinen Ansichtsfläche vernachlässigt.

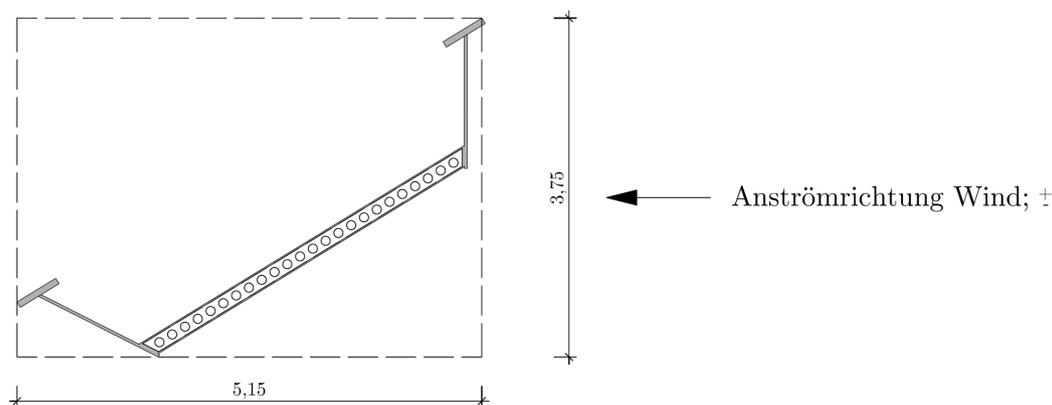


Abb. 5.16: Außenabmessungen zur Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte

Folgende Annahmen wurden getroffen:

Standort: Wien Bezirke 10,11,21,22 $\rightarrow q_{b,0} = 0,46 \text{ kN/m}^2$

Geländekategorie 2

$z = 6,0 \text{ m}$

$b = 26,0 \text{ m}$

$d = 5,15 \text{ m}$

$$h = 3,75 \text{ m}$$

$$q_{p,6} = 2,10 \cdot \left(\frac{6}{10}\right)^{0,24} \cdot 0,46 = 0,85 \text{ kN/m}^2$$

Aerodynamische Beiwerte (Außendruckbeiwerte für prismatische Baukörper) nach [15]:

$$h/b = 0,14 ; d/b = 0,19 \rightarrow c_{pe}, D = 0,80 ; c_{pe}, E = -0,25$$

$$w_{k,net} = 0,85 \cdot (0,8 + 0,25) = 0,89 \text{ kN/m}^2$$

$W_k = 26,0 \cdot 3,75 \cdot 0,89 = 87,8 \text{ kN}$ als gesamte resultierende Windbelastung auf die Brücke in Querrichtung

5.4.2.5 Veränderliche Horizontallasten aus Arbeitsbetrieb

Nach DIN 12812 [4] sind zusätzliche horizontale Ersatzlasten aus dem Arbeitsbetrieb zu berücksichtigen, die 1% der Vertikallast entspricht und im Angriffspunkt der Vertikallast Q2 (Schwerpunkt des Betonfüllkörpers) aufgebracht wird.

$$V_{k,Res} = 683,4 + 255 + 431,6 = 1370 \text{ kN} \rightarrow P_{H,Res} = 13,7 \text{ kN}$$

Diese Lasten sind laut Norm nur mit dem Arbeitswind zu überlagern, werden aber in der vorliegenden Berechnung auf der sicheren Seite liegend mit dem Maximalwind aus Kapitel 5.4.2.4 überlagert.

5.4.2.6 Sonstige veränderliche Lasten

Es wurden für den vorliegenden Fall aufgrund des geringen Einflusses keine Schneelasten berücksichtigt. Ebenso wurde der Lastfall "Erdbeben" vernachlässigt, da dies den Rahmen der Diplomarbeit weit übersteigen würde.

5.4.3 Ausgewählte Analysen der SCSC-Platte im Zustand der Betoneinbringung

Durch die hohe Steifigkeit der Schalungsträger (Primär und Sekundär) werden diese vereinfachend, wie in Kapitel 1.2 beschrieben, im vorliegenden Modell als starre Auflager angenommen. Des Weiteren werden die Spannungen und Verformungen aus der Haupttragwirkung der Brücke nicht mit den Spannungen und Verformungen zufolge Frischbetondruck überlagert. Dies kann sinnvollerweise nur in einem gemeinsamen Modell der gesamten Brücke mit den zusätzlichen Trägern der Schalungskonstruktion realisiert werden.

5.4.3.1 Modellierung

Abbildung 5.17 zeigt das Modell als Rendering mit den tatsächlichen Materialstärken sowie das Drahtmodell der Struktur. Die Berechnung erfolgt mittels Finite-Elemente-Methode. Die Hauptabmessungen der Struktur sind in der rechten Abbildung zu sehen. Die Konstruktion ist im Winkel von $31,64^\circ$ geneigt. Folgende Blechdicken sind zu erkennen:

- Deckbleche: 15 mm
- Lochdübelleisten: 20 mm
- Abschlussbleche: 30 mm

Die Modellierungsparameter sind identisch zu jenen aus Kapitel 4.2.3.1 und werden hier nicht näher beschrieben.

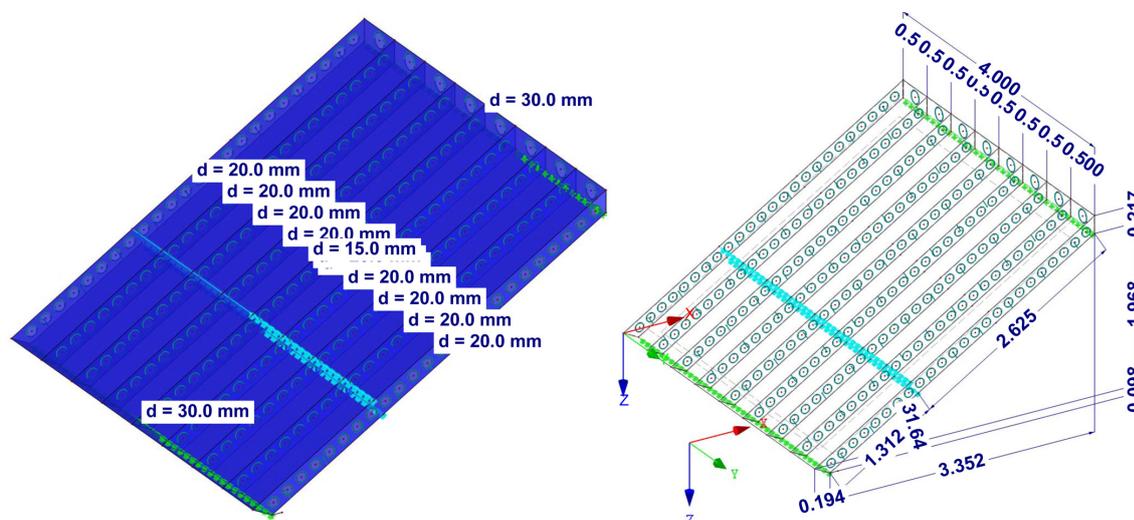


Abb. 5.17: Modell als Rendering mit den vorhandenen Materialdicken, sowie als Drahtmodell mit den groben Abmessungen der Struktur

Tab. 5.2: Liniengelenksdefinition zur Simulation der Kontaktbedingungen zwischen der Lochdübelleiste und dem Deckblech an der nicht verschweißten Seite

| Axial/Quer | | | Moment | | |
|------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| u_x | u_y | u_z | φ_x | φ_y | φ_z |
| frei | frei | frei | frei | frei | frei |

Die Sekundärträger der Schalungskonstruktion sind als starre Auflager (in Abbildung 5.17 als grüne Linienlager zu erkennen) ausgebildet. Da nur noch eine Aussteifungsachse (Sekundärträger) vorhanden ist, wurde die Lage der Sekundärkonstruktion so gewählt, dass zufolge Frischbetondruck annähernd dieselben Verformungen in den beiden freien Feldern auftreten.

5.4.3.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall "Eigengewicht" wurde automatisch generiert und das Eigengewicht der Stahlkonstruktion der SCSC-Platte somit vom Programm berücksichtigt. Die Belastung aus Frischbetondruck wurde manuell mittels Flächenlasten auf die Innenseiten der Deckbleche aufgebracht. Für die Vordimensionierung der SCSC-Platte wurde das Eigengewicht der zusätzlichen Träger der Schalungskonstruktion vernachlässigt, da dieses über die Schalungsstützen laut Abbildung 5.8 sowie Abbildung 5.12, relativ nahe an den Hauptträgerstegen eingeleitet wird und somit einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Machbarkeit der Konstruktion hat.

Lastfall 2 (Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck) wurde lediglich aufgebracht, um zu kontrollieren, ob die Summe der Vertikallasten im Lastfall 11 (Frischbetondruck) und Lastfall 2 identisch sind. Dieser Lastvergleich wurde exemplarisch für die Konstruktion im Winkel von 60° in Anhang B.1 durchgeführt.

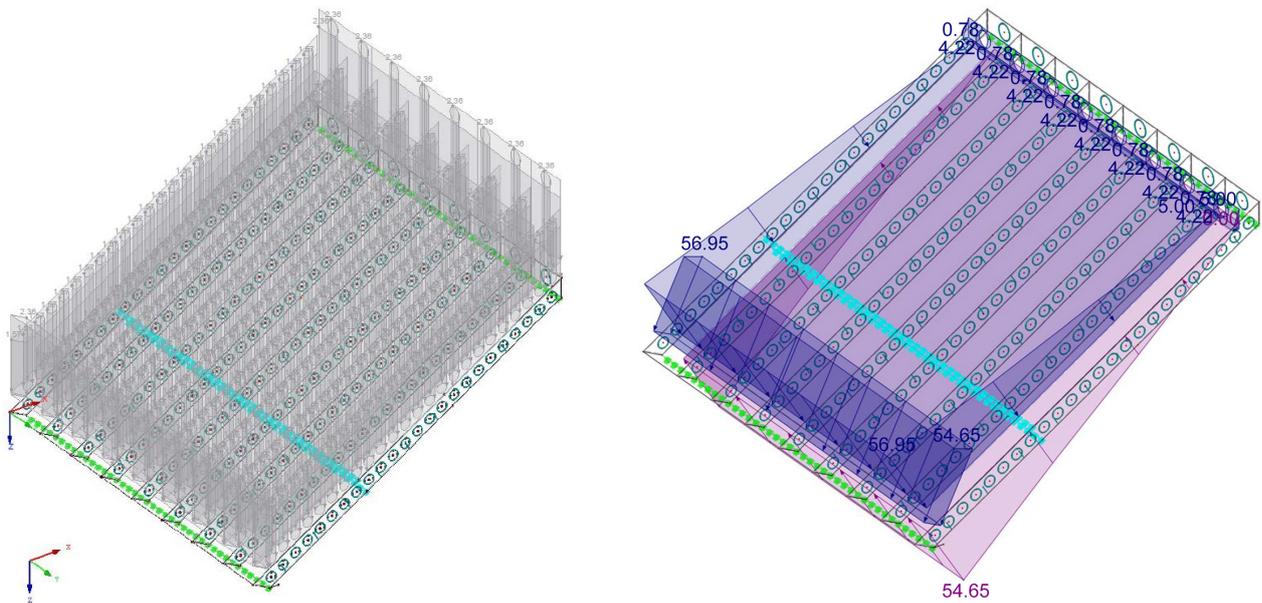
Zur Beurteilung der Grenzzustände dienen lediglich die Lastkombinationen 1 und 11. Lastkombinationen 2 und 12 sind nicht maßgebend, werden aber dennoch in das Modell zur Berechnung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion übertragen.

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| LF2 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck | Ständig | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF11 | Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |

Abb. 5.18: Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm

| Lastkombin. | BS | Lastkombination Bezeichnung | Nr. | Faktor | Lastfall | |
|-------------|----|--------------------------------|-----|--------|----------|---------------------------------------------|
| | | | | | | |
| LK1 | | 1.35*LF1 + 1.5*LF11 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.50 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK2 | | 1.35*LF1 + 1.35*LF2 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck |
| LK11 | | LF1 + LF11 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK12 | | LF1 + LF2 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck |

Abb. 5.19: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm



(a) Lasten aus Eigengewicht der Bleche

(b) Lasten aus Frischbetondruck

Abb. 5.20: Lastaufbringung der für die Vordimensionierung relevanten Lasten

5.4.3.3 Ergebnisse - Verformungen

Wie in Abbildung 5.21 zu erkennen ist, beträgt die maximale Verformung des Deckbleches zufolge Lastkombination 11: **2,2 mm**. Hier ist auch zu erkennen, dass die Lage der Sekundärkonstruktion, so gewählt wurde, dass die Verformungen der Felder gleich groß sind. Der Wert von $4,9\text{ mm}$ im

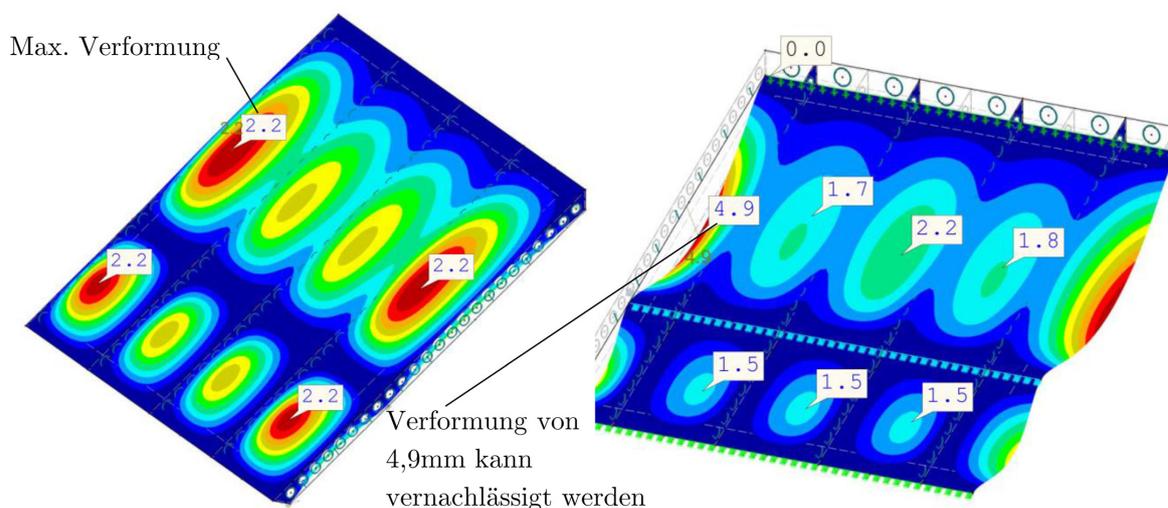


Abb. 5.21: Globale Verformungen des Deckbleches aus Lastkombination 11; Linkes Bild: Verformung oberes Deckblech; Rechtes Bild: Verformung unteres Deckblech

rechten Teilbild kann auch hier vernachlässigt werden, da es sich hierbei nur um das freie Ende der Deckbleche handelt, was aus der gewählten Art der Modellierung resultiert. Diese Verformung tritt an der wahren Konstruktion nicht auf. Da die Durchbiegung der Träger der Schalungskonstruktion vernachlässigt wurde, treten in den Bereichen der Auflager keine Verformungen auf, was nicht der Realität entspricht. Zur Beurteilung der Ebenheit der Oberfläche ist dies aber nach Meinung des Verfassers ausreichend.

$$u_{vorh} = 2,2 \text{ mm} < u_{zulässig} = 3,0 \text{ mm}$$

5.4.3.4 Ergebnisse - Spannungen

Der Maximalwert der Vergleichsspannungen nach von Mises zufolge Lastkombination 1 beträgt aus Abbildung 5.22: **16,16 kN/cm²**

$$\sigma_{Ed} = 161,6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 322,7 \text{ N/mm}^2$$

5.4.4 Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion

Für die Vorbemessung der Schalungskonstruktion gelten dieselben Randparameter wie für die Bemessung der SCSC-Platte. Die Grenzwerte für Verformungen und Spannungen sind in Kapitel 4.2.1 angegeben.

Die Lasten, welche auf die Schalungskonstruktion wirken, resultieren aus den gemittelten Auflagerkräften aus dem Modell der Berechnung der SCSC-Platte und sind in Abbildung 5.23 ersichtlich. Die Übertragung der Lasten erfolgt lastfallweise als charakteristische Last, damit später die geforderten Teilsicherheitsbeiwerte getrennt aufgeschlagen werden können.

Die Lagerreaktionen werden über die Felder gemittelt.

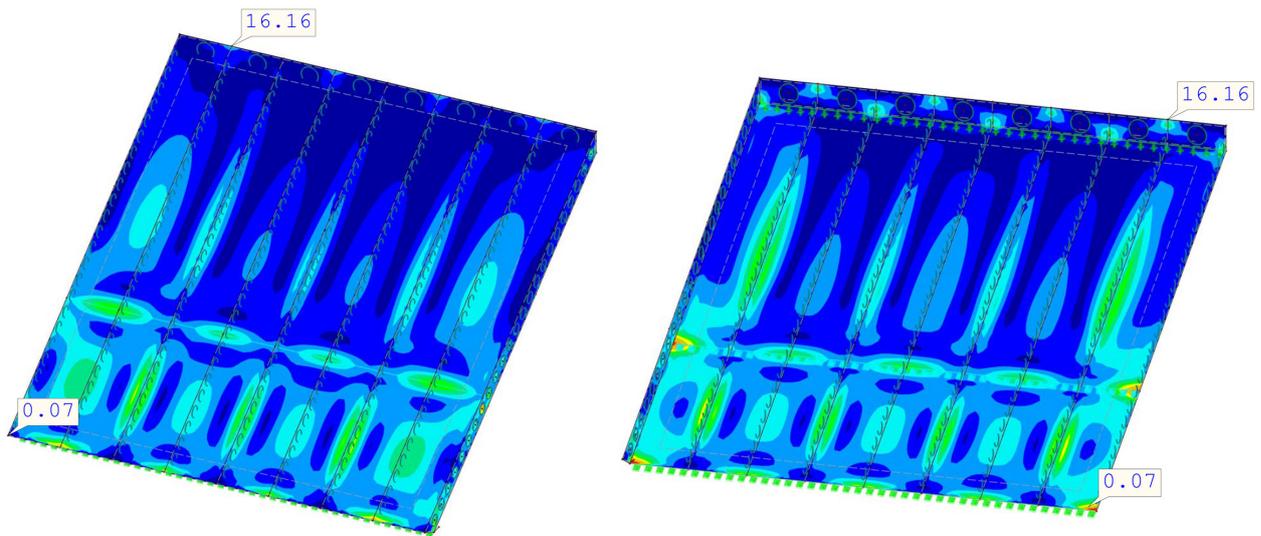


Abb. 5.22: Vergleichsspannungen nach “von Mises“ aus Lastkombination 1 in [kN/cm²]; Linkes Bild: Ansicht von oben auf das Deckblech; Rechtes Bild: Ansicht von unten auf das Deckblech

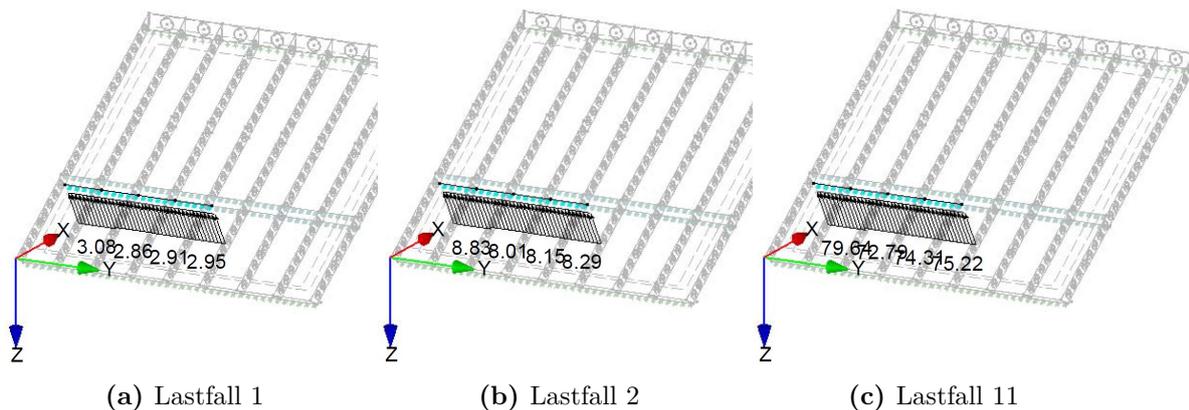


Abb. 5.23: Lagerreaktionen der einzelnen Lastfälle

- Lastfall 1: Eigengewicht SCSC-Platte, reine Stahlkonstruktion
 $(3,08+2,86+2,91+2,95)/4= 2,95 \sim 3,0$ kN/m
- Lastfall 2: Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck
 $(8,83+8,01+8,15+8,29)/4= 8,32 \sim 8,5$ kN/m
- Lastfall 11: Frischbetondruck
 $(79,64+72,70+74,34+75,22)/4= 75,5 \sim 76,0$ kN/m

Auf der sicheren Seite liegend werden nur die Auflagerkräfte auf der Unterseite der Platte berücksichtigt und auch die obere Schalungskonstruktion mit diesen Werten berechnet. Der Unterschied zwischen den Lagerkräften ist marginal.

5.4.4.1 Modellierung

Die Struktur besteht aus Symmetriegründen nur aus einer Seite der Schalungskonstruktion und wird mit den gemittelten Lasten der Auflagerkräfte der Konstruktion aus Kapitel 5.4.3 bemessen. Der Regelachsabstand der Schalungskonstruktion wurde mit $2,50\text{ m}$ angenommen. Größere Achsabstände führen aufgrund der weiten Spannweite der Hauptträger zu sehr großen Profildimensionen. Profillängen von über 18 m sind nicht mehr als Standardware erhältlich und auch nicht mehr sinnvoll einsetzbar, deshalb ist es bei der vorliegenden Brückenkonstruktion notwendig, die Sekundärkonstruktion in der Länge zu unterteilen. Die Ausführung der U-Profile als Einfeldträger scheint im vorliegenden Fall aufgrund der hohen Anforderung an die Ebenheit (Verformung) als nicht zielführend. Deshalb wurden mehrere Varianten als Mehrfeldträger untersucht. Um die ungünstigsten Fälle für die Bemessung der Primär- sowie der Sekundärkonstruktion zu ermitteln, wurde eine Vergleichsberechnung mit einer Einheitslast von $1,0\text{ kN/m}$ durchgeführt. Maßgebend für die Beurteilung der Tragwirkung sind vor allem

- die Verformungen der Sekundärträger,
- die Stütz- und Feldmomente der Sekundärträger und
- die Auflagerkräfte (Maximale Beanspruchung des Hauptträgers).

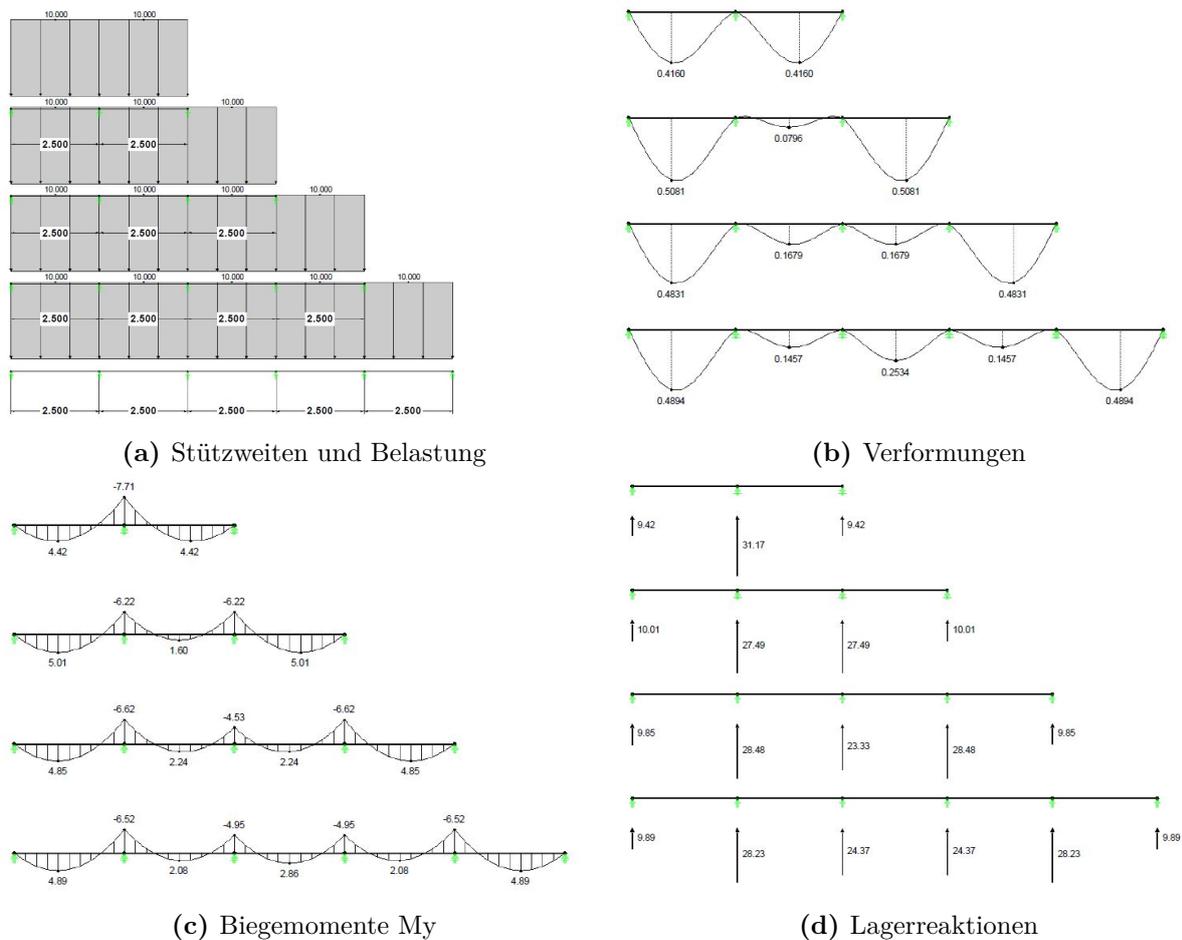


Abb. 5.24: Modellvergleich von 2-, bis 5-Feld Systemen

Die maximalen Verformungen sowie die maximalen Biegemomente im Feldbereich treten beim 3-Feld System auf (Die maximalen Verformungen würden natürlich beim Einfeldsystem auftreten, jedoch wurde dies wie oben beschrieben ausgeschlossen). Die maximalen Stützmomente sowie die größten Auflagerkräfte treten beim 2-Feld System auf.

Somit ist abzuleiten, dass das 2-Feld- beziehungsweise 3-Feld-System maßgebend für die Berechnung der Schalungskonstruktion ist. In weiterer Folge werden nur noch diese zwei Systeme weiter behandelt.

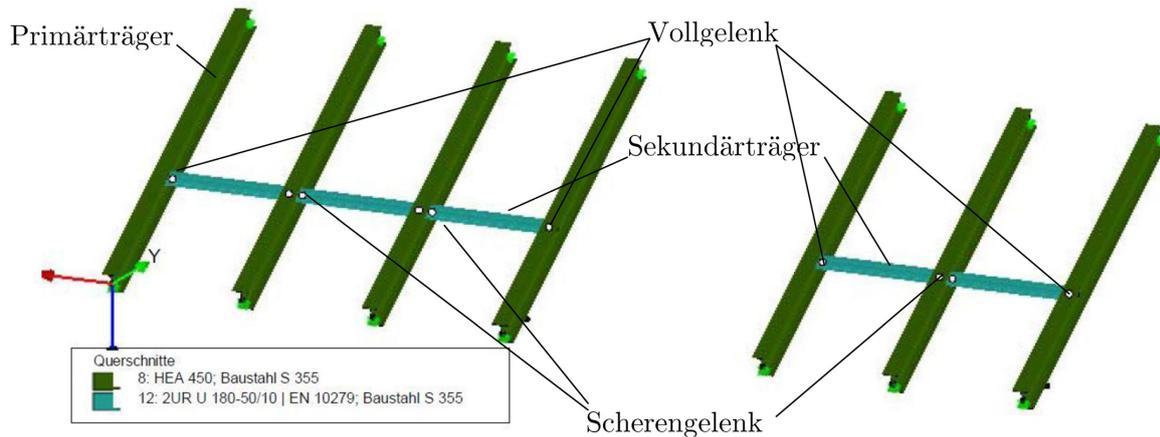


Abb. 5.25: Modell der Schalungsträgerkonstruktion als Rendering (inkl. Profildimensionen); Bild links: 3-Feld-System; Bild rechts: 2-Feld-System

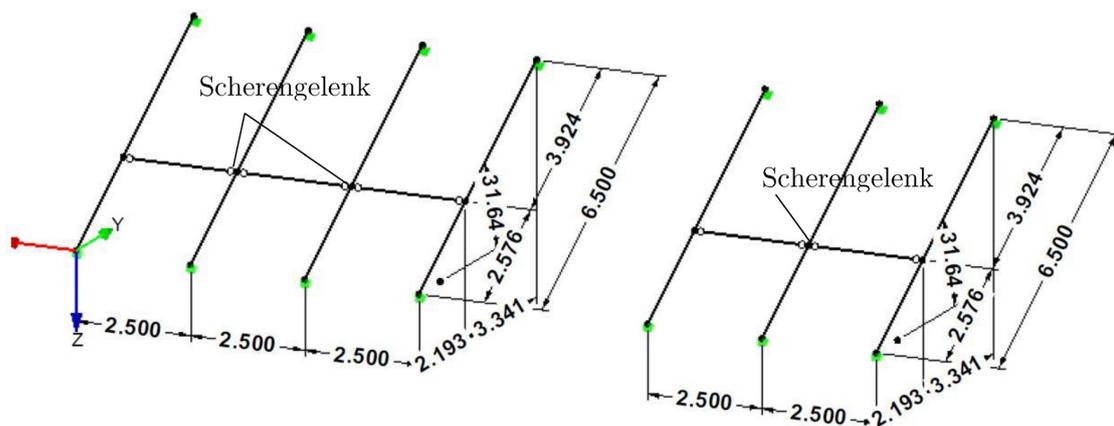


Abb. 5.26: Drahtmodell inklusive Hauptabmessungen

Wie bei der Schalungskonstruktion aus Kapitel 4.2.4.1 werden die Sekundärträger (2x180) mittels Scherengelenken an den Hauptträgern angeschlossen. Eine beschreibende Skizze dieser Verbindungsform stellt Abbildung 4.26 dar und kann auch im Kapitel 4.2.4.1 näher nachgelesen werden. An den Randträgern erfolgt der Anschluss über Vollgelenke. Die beiden U-Profile sind durch eingeschweißte Bleche schubsteif miteinander zu verbinden. Die Definition der Stabendgelenke wird von Modell aus Kapitel 4.2.4.1 übernommen und wird hier nicht mehr angeführt. Lediglich der Rotationswinkel des Scherengelenks ändert sich, da die Rotation auf das globale Koordinatensystem bezogen ist. Die Spannstangen wurden wegen ihrer hohen Steifigkeit als starre Auflager

modelliert. An diesen können die real auftretenden Kräfte direkt abgelesen werden, mit welchen die Spannstangen zu bemessen sind.

5.4.4.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall "Eigengewicht" wurde automatisch generiert und somit das Eigengewicht der Stahlkonstruktion vom Programm berücksichtigt. Die Belastungen aus den Lagerreaktionen der SCSC-Platte wurden als Stablasten aufgebracht. Die Stablasten wirken normal auf die Z-Achse der Sekundärtragprofile.

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 2.000 |
| LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion | Ständig | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF3 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck | Ständig | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF11 | Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |

Abb. 5.27: Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm

| Lastkombin. | BS | Lastkombination Bezeichnung | Nr. | Faktor | Lastfall | |
|-------------|----|--------------------------------|-----|--------|----------|----------------------------------------------|
| | | | | | | |
| LK1 | | 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.50 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK2 | | 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF3 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.50 | LF3 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck |
| LK11 | | LF1 + LF2 + LF11 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.00 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK12 | | LF1 + LF2 + LF3 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Eigengewicht SCSC Reine Stahlkonstruktion |
| | | | 3 | 1.00 | LF3 | Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck |

Abb. 5.28: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm

Lastkombination 1 und 2 dienen zur Beurteilung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, Lastkombination 11 und 12 dienen zur Beurteilung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Die Lastkombinationen 1 und 11 sind maßgebend für die Bemessung der Haupt- und Sekundärträger. Die Richtungen und Größen der aufgebrauchten Lasten auf die Struktur sind in den Abbildungen B.21 bis B.24 in Anhang B.3 ersichtlich.

5.4.4.3 Ergebnisse Verformungen

In Abbildung 5.29 sind die maximalen Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit aus Lastkombination 11 ersichtlich. Die Verformung setzt sich aus den Durchbiegungen in Stabrichtung und Quer zur Stabrichtung zusammen. Die Durchbiegungen werden als Netto-Verformung mit verschobenen Stabenden ermittelt. Dazu wird der Maximalwert der Stabverformung vom Wert der Stabsehne an der jeweiligen Stelle abgezogen. Folgende Durchbiegungen treten dabei auf:

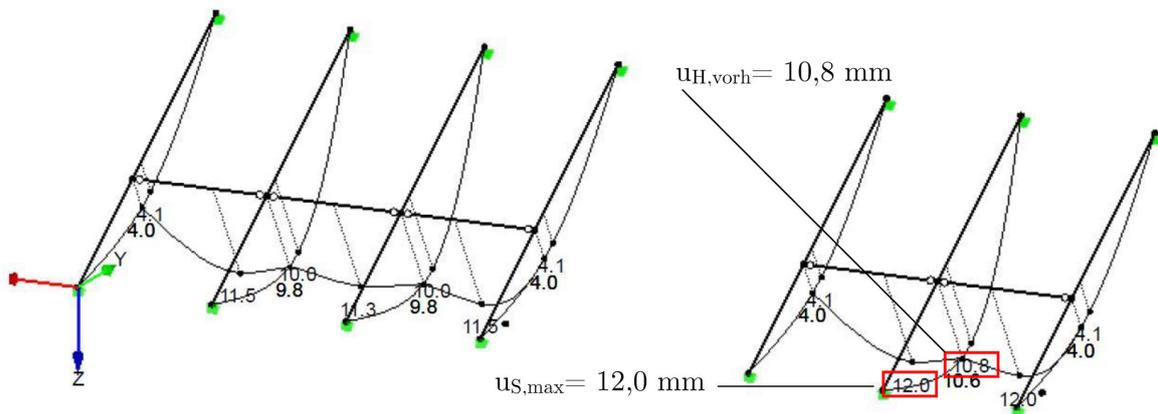


Abb. 5.29: Globale Verformungen der Struktur

- Primärträger HEA 450
 $u_{H,vorh} = 10,6 \text{ mm} < u_{H,max} = 13,0 \text{ mm}$
- Sekundärträger 2x U180
 $u_{S,vorh} = 12,0 - (4,0 + 10,6) / 2 = 4,7 \text{ mm} < u_{S,max} = 5,0 \text{ mm}$

Aufgrund der Nachgiebigkeiten der Träger der zusätzlichen Schalungskonstruktion würde sich die SCSC-Platte während des Einbringens des Betons stärker verformen als es in der Berechnung aus Kapitel 5.4.3 der Fall ist. Um eine wirklichkeitsnahe Aussage über die Verformungen der Platte zu erhalten, müssen die beiden Teilmodelle der SCSC-Platte und der Trägerkonstruktion in einem gemeinsamen Modell berechnet werden. Dies ist deshalb relevant, damit alle Wechselwirkungen berücksichtigt werden können.

5.4.4.4 Ergebnisse - Schnittgrößen

Die Schnittgrößen wurden für die maßgebende Lastkombination (LK 1) ausgewertet und sind in den Abbildungen B.25 bis B.30 in Anhang B.3 ersichtlich. Aus diesen Plots der Schnittgrößen kann die Wirkungsweise der Scherengelenke sehr gut abgelesen werden.

5.4.4.5 Ergebnisse - Spannungen, inklusive Stabilitätsnachweisen nach EC3

Die Art der Spannungsermittlung sowie die Grundparameter der Nachweise gegen Stabilitätsversagen sind identisch zu jenen aus Kapitel 4.2.4.5 und werden hier nicht näher behandelt. Die Stabilitätsnachweise werden wieder zur Gegenüberstellung mit dem Verfahren nach den Kapiteln 6.3.2/6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] sowie dem allgemeinen Verfahren nach Kapitel 6.3.4 aus EN 1993-1-1 [19] geführt.

Die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten der Ersatzstäbe spielt bei der Ermittlung der Eigenform eine entscheidende Rolle. Die Sekundärkonstruktion wurde so bemessen, dass jede Verbindung zwischen Haupt- und Sekundärträger gegen seitliches Verschieben sowie Rotation um die Längsachse gehalten wird (Gabellager). Dies ist durch eine konstruktive Ausbildung im Bereich des Anschlusses (durch Einschweißen von Knotenblechen) zu gewährleisten. Anhand der Darstellung der Eigenformen kann die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten durch die bildhafte Darstellung der ersten Eigenform kontrolliert werden. Die Verfahren nach den

Kapiteln 6.3.2/6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] verlangen nach der manuellen Eingabe der Knick- sowie Drilllängen. Die Knicklängen werden so angenommen, als würde der Stab nur zwischen den beiden Hauptträgern knicken bzw. drillen können. Dies ist wieder durch die konstruktive Ausbildung der Anschlüsse zu gewährleisten. Die Plots der elastischen Spannungsauslastung mit integrierten Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen sind in den Abbildungen B.32 bis B.35 in Anhang B.3 ersichtlich.

Folgende Auslastungen zufolge Spannung und Stabilität sind dabei in den Abbildungen B.32 bis B.35 in Anhang B.3 ersichtlich und sind nachstehend zusammengefasst:

- Elastische Spannungsauslastungen der **Gesamtkonstruktion: $\eta = 0,70$**
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen nach EC3 (6.3.4) der **Sekundärträger: $\eta = 0,70$**
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen nach EC3 (6.3.2) der **Sekundärträger: $\eta = 0,69$**
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen nach EC3 (6.3.4) der **Primärträger: $\eta = 0,79$**
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen nach EC3 (6.3.2) der **Primärträger: $\eta = 0,74$**

Es sind alle Spannungs- sowie Stabilitätsauslastungen kleiner als 1,0 und somit gelten diese als erfüllt. Diese Spannungs- und Stabilitätsauslastungen wurden mit dem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,1$ nach DIN 12812 [4] ermittelt und weisen deshalb ein höheres Sicherheitsniveau auf als die EN 1993-1-1. Wird die DIN 12812 nicht angewendet kann der Teilsicherheitsbeiwert des Materials reduziert werden, was zu geringfügig kleineren Profildimensionen führen könnte. Jedoch hat der Teilsicherheitsbeiwert keinen Einfluss auf die Verformungen und somit auch nicht auf die Gebrauchstauglichkeit der Struktur.

5.4.4.6 Ergebnisse - Lagerreaktionen

Folgende Designlasten sind von den Spannstäben aus Abbildung 5.30 aufzunehmen:

- Spannstäben der Primärträger $\rightarrow N_E, d = 225 \text{ kN}$

5.4.4.7 Spannstäben

Gewählt wurde eine Spannstange von Fa. Istor - R 55 \varnothing 26 aus der Abbildung B.18 in Anhang B.2.4 $\rightarrow N_R, d = 205,1 \text{ kN}$

Auflager der Primärträger: $N_E, d = 225 \text{ kN} \leq 2 \cdot N_R, d = 410,2 \text{ kN}$

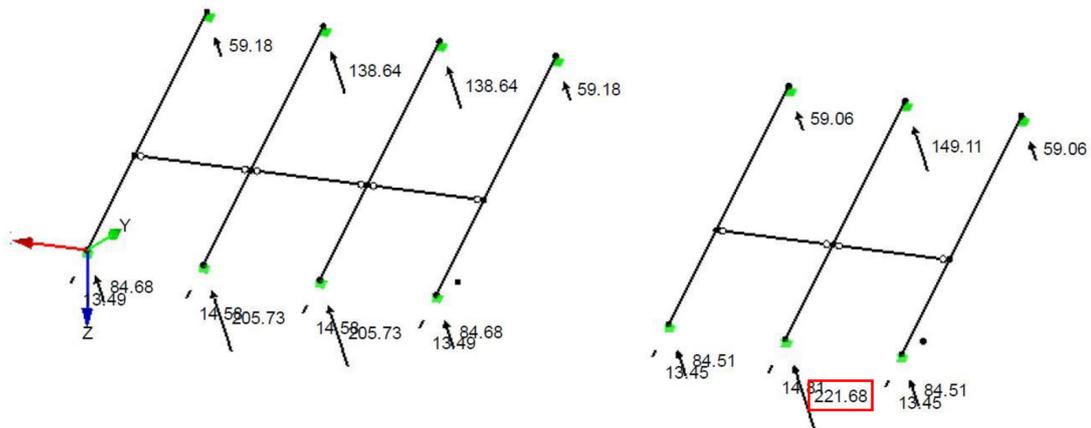


Abb. 5.30: Lagerreaktionen auf Designniveau aus Lastkombination 1

5.4.5 Vordimensionierung und ausgewählte Analysen der Drehtischkonstruktion

Der Brückenquerschnitt wird mit Hilfe von Kränen auf die Drehtischkonstruktion aufgehoben und kommt an den Endquerträgern auf dem Hauptträger der Drehtischkonstruktion zum Liegen und wird auf diesem gesichert. Die Bemessung der Konstruktion erfolgt als Stabwerksmodell mit den definierten Parametern zur Berechnung aus Kapitel 2.8.1.

5.4.5.1 Modellierung

Die Konstruktion wurde in den folgenden drei verschiedenen Ausführungen zu den jeweiligen Schritten während des Hebe- sowie Betoniervorganges modelliert.

- **Beginn sowie Ende des Hebevorgangs (Abb. 5.31 oben):**
Der Hauptträger lagert nur noch auf dem Gelenk am Konstruktionsende sowie am Angriffspunkt des Kranhakens (Kranhaken simuliert durch verschiebliches Auflager) auf. In dieser Stellung tritt die maximale Biegemomentenbelastung des Hauptträgers auf.
- **Abgeschlossener Hebevorgang, jedoch noch nicht unterstellt (Abb. 5.31 mitte):**
Der Hauptträger befindet sich nun in der planmäßig steilsten Stellung, jedoch noch in der vollen Länge, da der Angriffspunkt des Kranhakens weiter außen liegt als die nachträgliche Unterstellung. In dieser Stellung wirkt auf den Hauptträger eine kombinierte Momenten- und Normalkraftbeanspruchung.
- **Abgeschlossener Hebevorgang mit Unterstellung (Abb. 5.31 unten):**
In dieser Lage findet der Betoniervorgang statt.

Die Modellierung des Gelenkes am Hauptträger erfolgt durch Starrstäbe mit definierten Stabengelenken (Nr. 2 aus Abbildung 5.34). Die definierten Federn dienen lediglich der statischen Bestimmtheit. Die Verdrehung des Hauptträgers wird ohnehin durch die Ausführung des Bolzenanschlusses sowie am Stabende durch die Führungskonstruktion verhindert. Die Stabilisierungsstreben werden allesamt als Fachwerkstreben modelliert. Diese können somit keine Biegemomente übertragen. Gleiches gilt für die nachträglich eingebaute Stütze, welche als Pendelstütze modelliert wird. Die Sockelstützen, auf denen die Drehkonstruktion aufliegt, werden als Rahmen ausgebildet, damit die auftretenden Horizontallasten abgetragen werden können. Um eine optimale

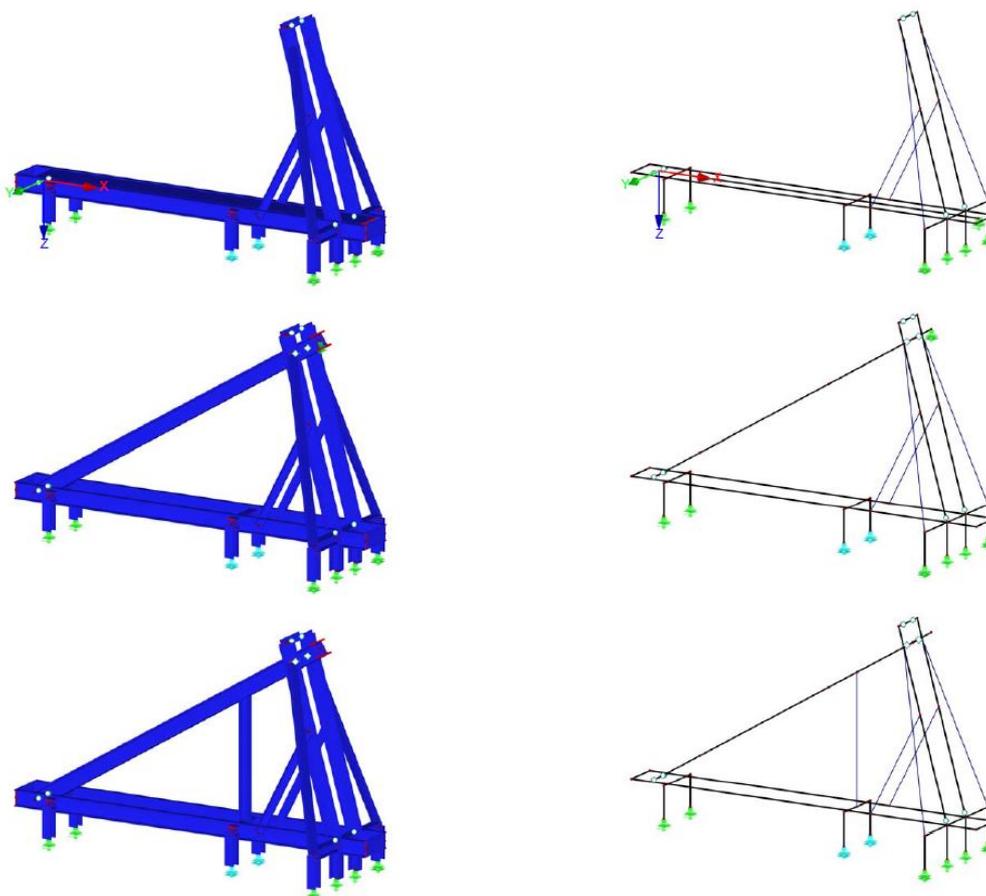


Abb. 5.31: Modellierung der Drehtischkonstruktion in den verschiedenen Schritten des Hebevorgangs; Oben: Referenzlage am Beginn des Hebevorgangs; Mitte: Ende des Hebevorgangs, ohne Unterstellung; Unten: Hebevorgang abgeschlossen und unterstellt, Lage während des Betoniervorganges

Rahmenwirkung erzielen zu können, werden die Auflager in der Hauptrichtung der Rahmen gesperrt. In der Längsrichtung des Drehtisches sind lediglich zwei Auflager gesperrt, da dort die Rahmenwirkung nicht genutzt werden soll. Dies würde zu einer ungünstigen Torsionsbeanspruchung des vorderen Rahmens beim Gelenk führen. Die Auflager in der Mitte werden als allseits verschiebbliche Auflager ausgeführt, welche im Falle einer abhebenden Kraft ausfallen. Dies soll den Gedanken abbilden, dass das mittlere Lager beim Einbringen der Stütze mit Polsterhölzern kraftschlüssig unterfuttet wird, sodass es im Zustand des Betoniervorganges zu möglichst kleinen Verformungen der Gesamtstruktur kommt. In den Zuständen des Hebevorganges werden durch diese Lager keine Kräfte aufgenommen.

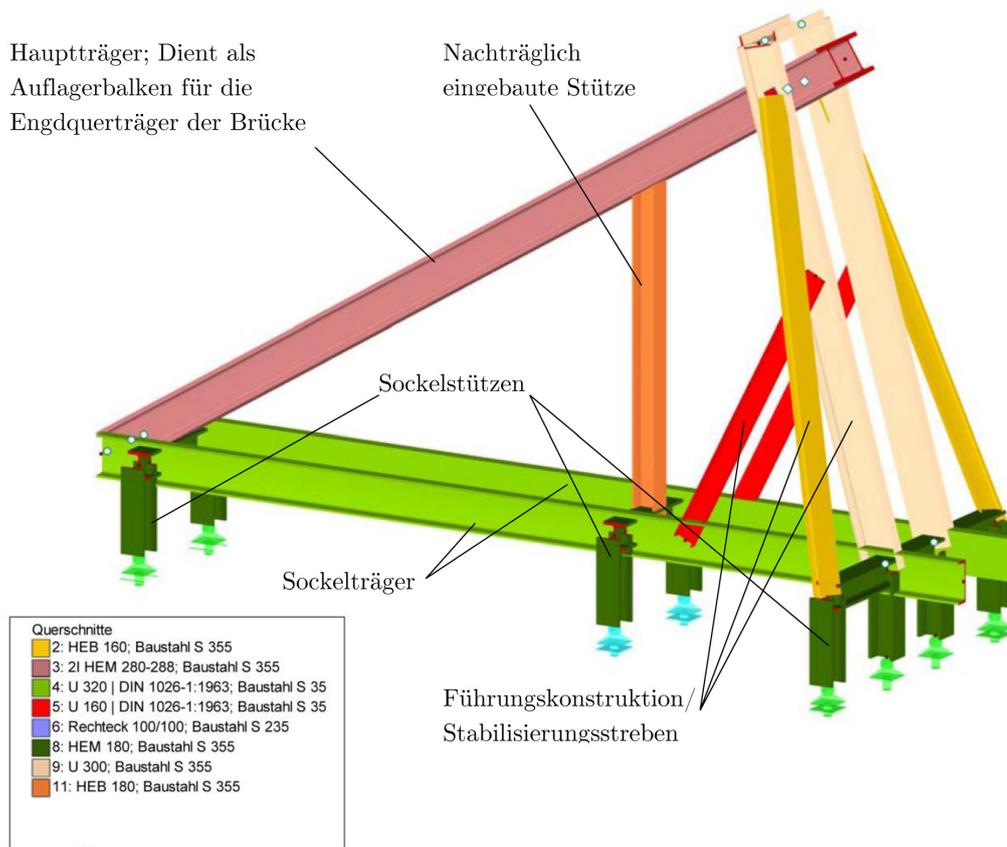


Abb. 5.32: Modell der Drehtischkonstruktion als Rendering (inkl. Profildimensionen)

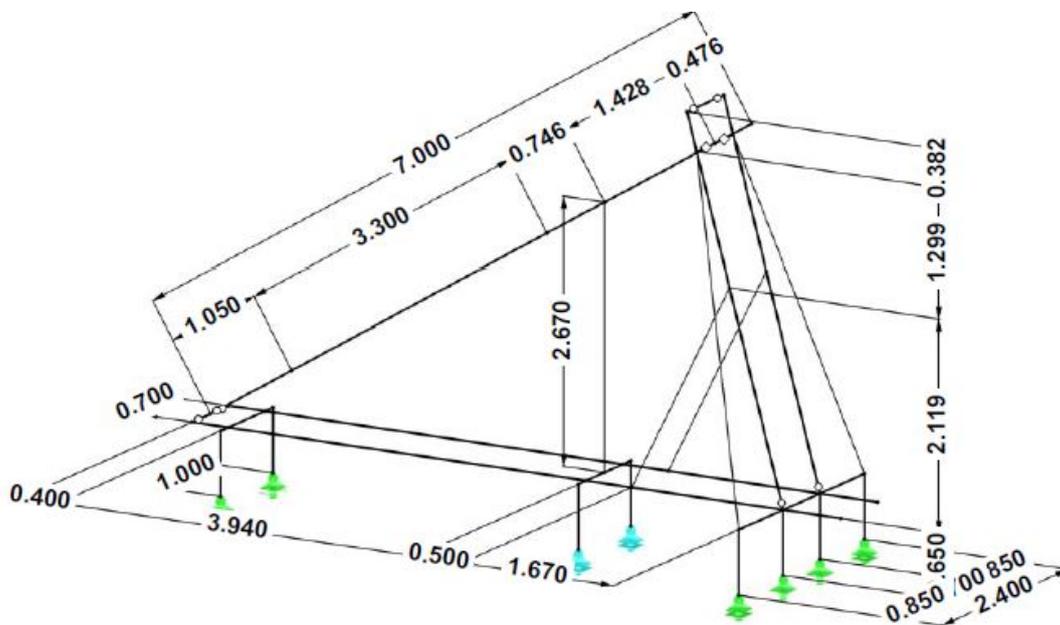


Abb. 5.33: Modell der Drehtischkonstruktion als Drahtmodell mit den Hauptabmessungen

| Gelenk Nr. | Bezugs-system | Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m] | | | Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad] | | |
|------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | u_x | u_y | u_z | φ_x | φ_y | φ_z |
| 1 | Lokal x,y,z | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | Nichtlinearität | - | - | - | - | - | - |
| 2 | Lokal x,y,z | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1.000 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.000 |
| | Nichtlinearität | - | - | - | - | - | - |
| 3 | Lokal x,y,z | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Nichtlinearität | - | - | - | - | - | - |
| 4 | Lokal x,y,z | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Nichtlinearität | - | - | - | - | - | - |

Abb. 5.34: Gelenksdefinitionen der Stabendgelenke

5.4.5.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall "Eigengewicht" wurde automatisch generiert und das Profileigengewicht der Stahlkonstruktion wurde somit vom Programm berücksichtigt. Die Belastungen, welche aus der Brücke auf die Drehtischkonstruktion wirken, werden aus Kapitel 5.4.2 übernommen und durch zwei geteilt, da die Gesamtlasten auf zwei Drehtischkonstruktionen auflagern. Da der Endquerträger nochmals auf zwei Auflagerpunkten auf dem Hauptträger des Drehtisches auflagert, wird diese Last ein zweites mal geteilt. Die Lastaufbringung aus der Brücke auf den Hauptträger erfolgt an den Auflagerpunkten des Endquerträgers und ist in Abbildung 5.32 an den Maßlinien ersichtlich. Die Lastkombinationen 1 bis 4 dienen zur Beurteilung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, die Lastkombinationen 11 bis 14 dienen zur Beurteilung der Lagesicherheit und die Lastkombinationen 21 bis 24 dienen zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit.

Die im Bemessungsprogramm definierten Lastfälle, Lastfallkombinationen sowie die Lastaufbringung auf das Modell sind in Anhang B.4.1 angeführt.

5.4.5.3 Ergebnisse Verformungen

In Abbildung 5.35 sind die maximalen Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit aus Lastkombination 21 bis 24 ersichtlich. Beurteilt wird hier lediglich die Verformung des Hauptträgers im Zustand des Betoniervorganges, da dies die einzige Komponente ist, die für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Wert ist. Auf der sicheren Seite liegend, wird hier die Brutto-Verformung beurteilt.

- Hauptträger 2x HEM 280; Teilmodell 3
 $u_{H,vorh} = 6,2 \text{ mm} < u_{H,max} = 10,2 \text{ mm}$ aus Kapitel 5.4.1.1

Verformen sich die beiden Drehtische gleichmäßig, wird die Form der Brücke dadurch nicht beeinflusst und es entstehen keine eingepprägten Verwindungen um die Längsachse der Brücke. Die Brücke wird sich am Endquerträger lediglich absenken und wird minimal um die Durchbiegungsdifferenz $\Delta_u = u_1 - u_2$ rotieren. Verformen sich die beiden Drehtische jedoch ungleichmäßig, zum Beispiel durch eine unzureichende Fundierung der Drehtischkonstruktion oder durch ungleichmäßiges Betonieren der SCSC-Platte, welches zu ungünstigen Gewichtverteilungen führen könnte, kann es zur Verwindung der Brücke um ihre Längsachse kommen. Diese eingepprägte Verwindung wird durch den Füllbeton gefestigt und ist somit irreversibel.

5.4.5.4 Ergebnisse - Schnittgrößen

Die Schnittgrößen wurden für die Ergebniskombination im ULS (EK 1) ausgewertet und sind in in Anhang B.4.2 ersichtlich. Die Schnittgrößen dieser Ergebniskombination stellen eine Um-

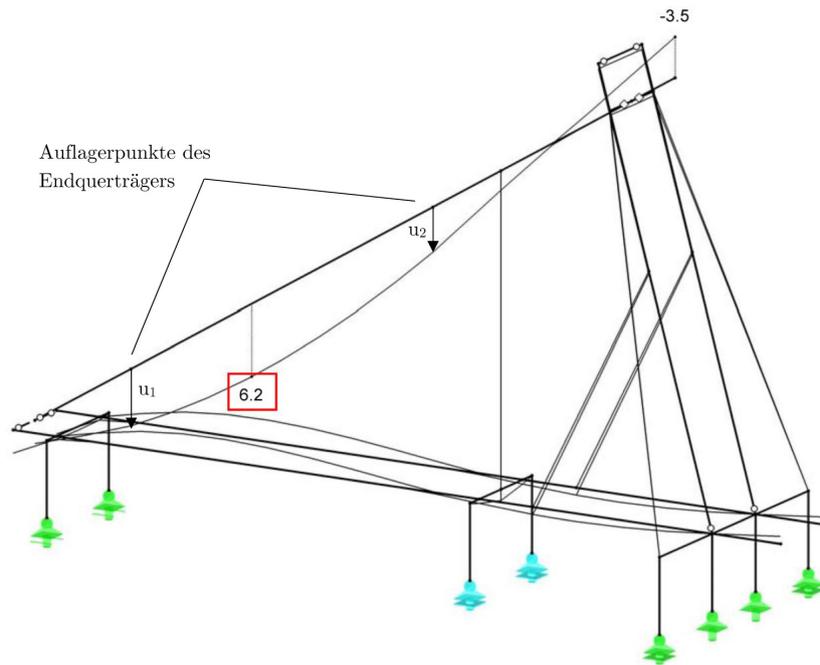


Abb. 5.35: Maximale Verformungen in globaler Z-Richtung des Modells im Zustand des Betoniervorganges zufolge Lastkombinationen 21 bis 24

hüllende der Maximalwerte aller Schnittgrößen von LK1 bis LK4 dar. Für die Spannungs- und Stabilitätsnachweise der Zusatzmodule (Stahl und Stahl EC3) spielt dies keine Rolle, da die Ergebniskombination wieder intern in die einzelnen Lastkombinationen aufgeteilt wird und die Stäbe mit den Schnittgrößen aus den einzelnen Lastkombinationen bemessen werden. Die auftretenden Torsionsmomente sind so gering, dass diese in der weiteren Bemessung vernachlässigt werden.

5.4.5.5 Ergebnisse - Spannungen, inklusive Stabilitätsauslastungen nach EC3

Die Art der Spannungsermittlung sowie die Grundparameter der Nachweise gegen Stabilitätsversagen sind identisch zu jenen aus Kapitel 4.2.4.5 und werden hier nicht näher behandelt. Die Stabilitätsnachweise werden wieder zur Gegenüberstellung mit den Verfahren nach Kapitel 6.3.2/6.3.3 aus EN 1993-1-1 [19] sowie dem allgemeinen Verfahren nach Kapitel 6.3.4 aus EN 1993-1-1 [19] geführt. Die Bemessung der U-Profile ist nach Kapitel 6.3.3 aus [19] nicht zulässig, da dieses nur für doppelt symmetrische Querschnitte angewendet werden darf. Aufgrund der Tatsache, dass die Spannungsauslastung zufolge Normalkraft bei ca. 2% liegt wird diese vernachlässigt und es kann das Verfahren nach Kapitel 6.3.2 aus [19] (Biegedrillknicken ohne Normalkraft) angewendet werden.

Die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten der Ersatzstäbe spielt bei der Ermittlung der Eigenform eine entscheidende Rolle. Die U-Profile wurden so bemessen, dass jede Verbindung zwischen U-Profil und Sockelrahmen gegen seitliches Verschieben sowie Rotation um die Längsachse gehalten wird (Gabellager). Ebenso dienen die Endbleche als Sicherung gegen Verdrehen, jedoch wird die seitliche Verschiebung nicht behindert. Dies ist durch eine konstruktive Ausbildung im Bereich des Anschlusses durch Einschweißen von Knotenblechen zu gewährleistet. Anhand der Darstellung der Eigenformen kann die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten durch die

bildhafte Darstellung der ersten Eigenform kontrolliert werden.

Die Verfahren nach Kapitel 6.3.2 bzw. 6.3.3 aus [19] verlangen nach der manuellen Eingabe der Knick- sowie Drilllängen. Die Knick- und Drilllängen der Sockelträger werden so angenommen, dass die U-Profile lediglich zwischen den Auflagerpunkten drillen und knicken können. Da es sich bei den Sockelstützen um verschiebliche Rahmen handelt, muss die Knicklänge hier manuell ermittelt werden. Dies geschieht in Anhang B.4.3 und wird exemplarisch für den zweistieligen Rahmen unter der nachträglich eingebauten Stütze ermittelt. Die Knicklänge wird aus dieser Ermittlung für die Rahmenstiele und Rahmenriegel mit 2,45 m übernommen.

Die Plots der elastischen Spannungsauslastung mit integrierten Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen sind in den Abbildungen B.47 bis B.53 in Anhang B.4.4 ersichtlich. Die angeführten Auslastungen sind Maximalwerte für die jeweiligen Konstruktionselemente und werden nach nicht nach Spannung oder Stabilität getrennt angegeben. Folgende Auslastungen sind nachstehend zusammengefasst:

- Maximale elastische Spannungsauslastung der **Gesamtkonstruktion: $\eta = 0,75$**
- Maximale Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen des **Hauptträgers: $\eta = 0,64$**
- Maximale Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen der **Sockelträger: $\eta = 0,95$**
- Maximale Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen der **nachträglich eingebauten Stütze: $\eta = 0,39$**
- Maximale Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsauslastungen der **Sockelstützen (Verschiebliche Rahmen): $\eta = 0,75$**

Es sind alle Spannungs- sowie Stabilitätsauslastungen kleiner als 1,0 und gelten somit als erfüllt. Diese Spannungs- und Stabilitätsauslastungen wurden mit dem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,1$ nach DIN 12812 [4] ermittelt und weisen deshalb ein höheres Sicherheitsniveau auf als die EN 1993-1-1. Wird die DIN 12812 nicht angewendet kann der Teilsicherheitsbeiwert des Materials reduziert werden, was zu geringfügig kleineren Profildimensionen führen könnte. Jedoch hat der Teilsicherheitsbeiwert keinen Einfluss auf die Verformungen und somit auch nicht auf die Gebrauchstauglichkeit der Struktur.

5.4.5.6 Detailbemessung Bolzenverbindung

Da die Bolzenverbindung einen essenziellen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit des Drehtisches hat, wird diese im Gegensatz zu anderen stahlbauinternen Anschlüssen genauer behandelt. Die restlichen Detailanschlüsse funktionieren dem Grunde nach, sind aber nicht detailliert durchgerechnet, da dies den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde und keinen gravierenden Einfluss auf die Machbarkeit der Konstruktion hat. Die Bemessung der Bolzenverbindung mit den Schnittgrößen aus dem vorliegenden Modell wird in Anhang B.4.5 behandelt.

Kapitel 6

Herstellung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Plattenbrücken

Die SCSC-Platte kann neben dem Einsatzgebiet als Fahrbahnplatte für Trogbriicken auch als reine Plattenbrücke verwendet werden. Bei der Verwendung als Plattenbrücke werden die Dübelleisten, im Gegensatz zur Fahrbahnplatte, in Längsrichtung der Eisenbahntrasse orientiert. Die Auflager, welche vorher durch die Hauptträgerstege abgebildet wurden, werden jetzt durch die Endbauwerke realisiert. Bei der Verwendung als reine Plattenbrücke, sind die möglichen Spannweiten ähnlich zu jenen bei Verwendung als Fahrbahnplatte, da die Belastungen nicht maßgebend differieren. Bezüglich des Einsatzes von SCSC-Platten als Plattenbrücken laufen derzeit noch weiterführende Forschungsarbeiten. Deshalb kann noch keine dezidierte Aussage getroffen werden, bis zu welcher Spannweite der Einsatz der SCSC-Platte als Plattenbrücke sinnvoll realisierbar ist. In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Platten bis zu einer Länge von $4,20\text{ m}$ hergestellt werden, wobei schon kleine Gewässer oder Fußgängerunterführungen überbrückt werden können. Die Breite der Plattenbrücke spielt bei der Herstellung vorerst eine untergeordnete Rolle, da aufgrund der Herstellungsweise der Platten der hydrostatische Druck lediglich von der Plattenlänge abhängt. Im vorliegenden Fall werden, in Analogie zur Herstellung von SCSC-Platten als Fahrbahnplatten (Kapitel 4), Plattenelemente mit einer Breite von bis zu $13,0\text{ m}$ untersucht. Die Schalungskonstruktion wird grundsätzlich ähnlich ausgeführt, wie jene bei der Herstellung von Fahrbahnplatten.

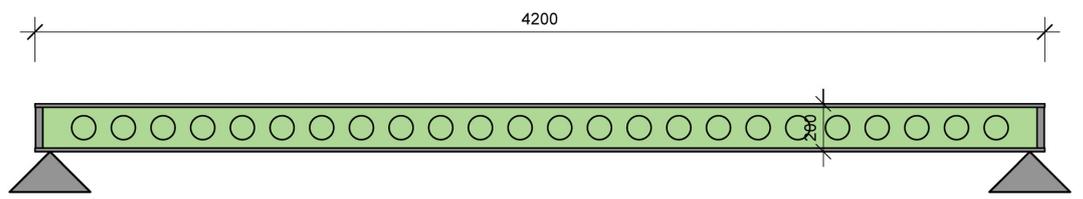


Abb. 6.1: SCSC-Plattenbrückenelement im Querschnitt mit schematischer Darstellung der Brückenaullager

Der Hauptunterschied zwischen der SCSC-Platte bei Verwendung als Fahrbahnplatte, zu jener bei Verwendung als Plattenbrücke, liegt in der Ausführung der Abschlussbleche. Da die Hauptträgerstege der Trogbriicke, aufgrund der Einhaltung des vorgegebenen Lichtraumprofils durch die Eisenbahn, schräg angeordnet sind, sind auch die Deckbleche der SCSC-Platte schräg ausgeführt. Bei der Verwendung als Plattenbrücke ist dies nicht der Fall, somit werden die Abschlussbleche, aufgrund der einfacheren Herstellung, vertikal ausgeführt.

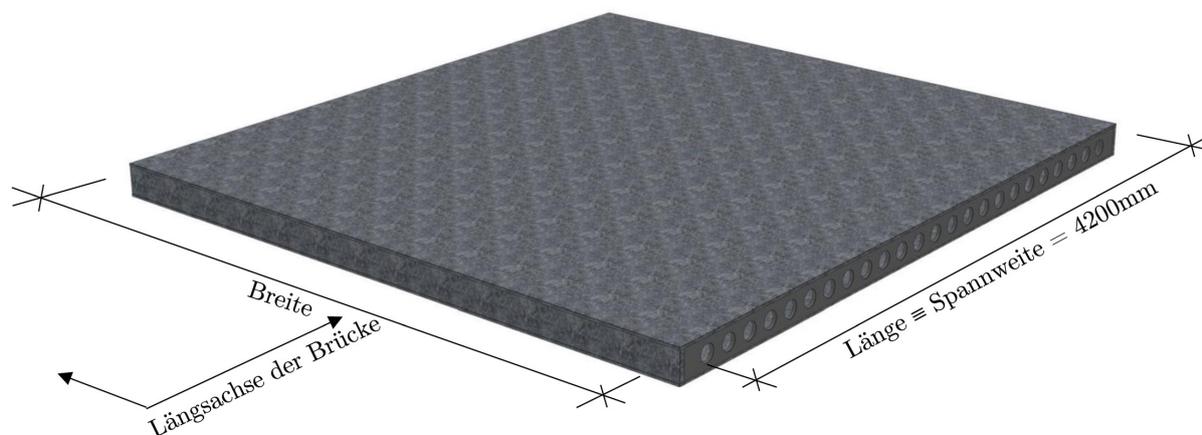


Abb. 6.2: Rendering eines SCSC-Plattenbrückenelements inklusive dessen Hauptabmessungen

6.1 Herstellung des Betonfüllkörpers

Durch die rechtwinkligen Abschlussbleche vereinfacht sich der Herstellungsvorgang um einiges. Die Platte kann vollkommen vertikal aufgestellt werden und es wird kein Hohlraum an den Hochpunkten des Füllkörpers, aufgrund der schrägen Anordnung des Abschlussbleches, entstehen. Voraussetzung für eine hohlraumfreie Befüllung ist nach wie vor eine ausreichende Entlüftung des Hohlkörpers an dessen höchster Stelle. Die Entlüftung erfolgt über die Einfüllöffnungen an den oberen Abschlussblechen.

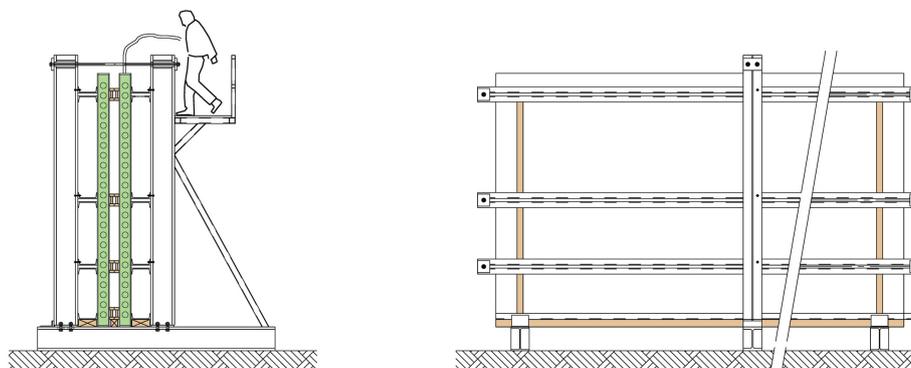


Abb. 6.3: Herstellung der Plattenelemente im vollkommen senkrechten Zustand

Solche Elemente wurden bereits in den Versuchen zur Tragfähigkeit aus [23] hergestellt. Der Beton wurde dabei mittels Pumpenschlauch durch die Einfüllöffnungen an der Oberseite eingebracht, wobei der Pumpenschlauch bis zum Boden des Füllkörpers eingeführt wird, um eine Entmischung des Betons durch eine zu hohe Fallhöhe zu verhindern. Im Zuge des Füllvorgangs wird der Pumpenschlauch kontinuierlich mit steigendem Betonspiegel gezogen, damit der Beton stets "Beton-in-Beton" eingebracht wird. Siehe dazu auch Abbildung 6.4. Bei den Versuchen zur Tragfähigkeit wurde, wie auch in der vorliegenden Arbeit geplant, ein hochfließfähiger ECC-beziehungsweise SCC-Beton verwendet. Diese Betone sind selbstverdichtend und dürfen nachträg-

lich nicht verdichtet werden. Da die Variante der Betoneinbringung sehr gut funktioniert hat und keine Probleme dadurch aufgetreten sind, wird diese in der vorliegenden Arbeit übernommen.



Abb. 6.4: Betonage der SCSC-Hauptversuchskörper der Serie A; links: temporär verspannte und aufgestellte Hauptversuchskörper; rechts oben: Betonage mit Betonpumpe und Schlauch; rechts unten: Blick ins Innere eines QS-Typ 1-Versuchskörpers durch eine Betonieröffnung eines Endbleches [23]

Da die Platten bis zu einer Breite von 13 m hergestellt werden, kann die vorhandene Schalungskonstruktion, aufgrund der zu großen Spannweite der Sekundärkonstruktion (Doppel U-Profile), aus [23] nicht verwendet werden. Diese müssten über 13 m als Einfeldträger spannen, was bei den vorliegenden Lasten aus dem Frischbetondruck zu sehr unwirtschaftlichen Profildimensionen führen würde. Es kann ebenso, wie bei der Herstellung als Fahrbahnplatte nicht durch den Betonkörper geankert werden, deshalb muss die gesamte Schalungskonstruktion außenliegend konzipiert werden.

Die grundlegende Schalungskonstruktion ist analog zu Kapitel 4 in drei Ebenen aufgebaut: Schalhaut (Deckbleche der Platte) → Sekundärkonstruktion (Doppel-U-Profile) → Primärkonstruktion (HEM-Profile inkl. Spannstangen)

Zur Stabilisierung und zur Lasteinleitung der Vertikallasten in den Untergrund wird die Schalung auf Sockelprofile aufgestellt und mittels Aussteifungsstreben stabilisiert. Für den Betoniervorgang von oben wird ein Betoniergerüst an der Haupttragkonstruktion angebracht. Dieses Betoniergerüst dient als Standfläche zum Einbringen des Betons sowie zur Überwachung des Füllstandes der Platte.

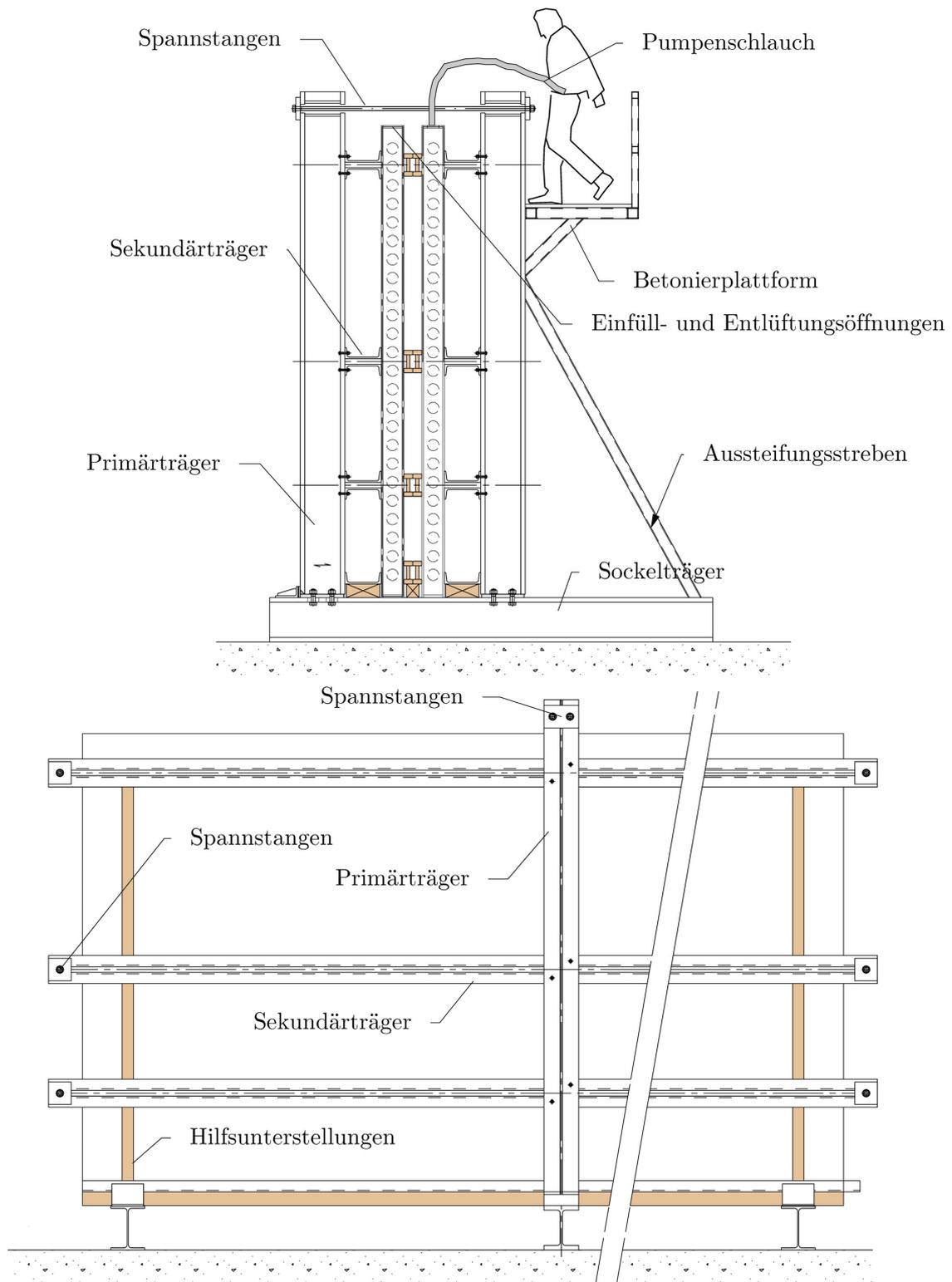


Abb. 6.5: Prinzipdarstellung der Betonierhilfskonstruktionen in Stahlbauweise. Eine Detailliertere Skizze befindet sich in Anhang C

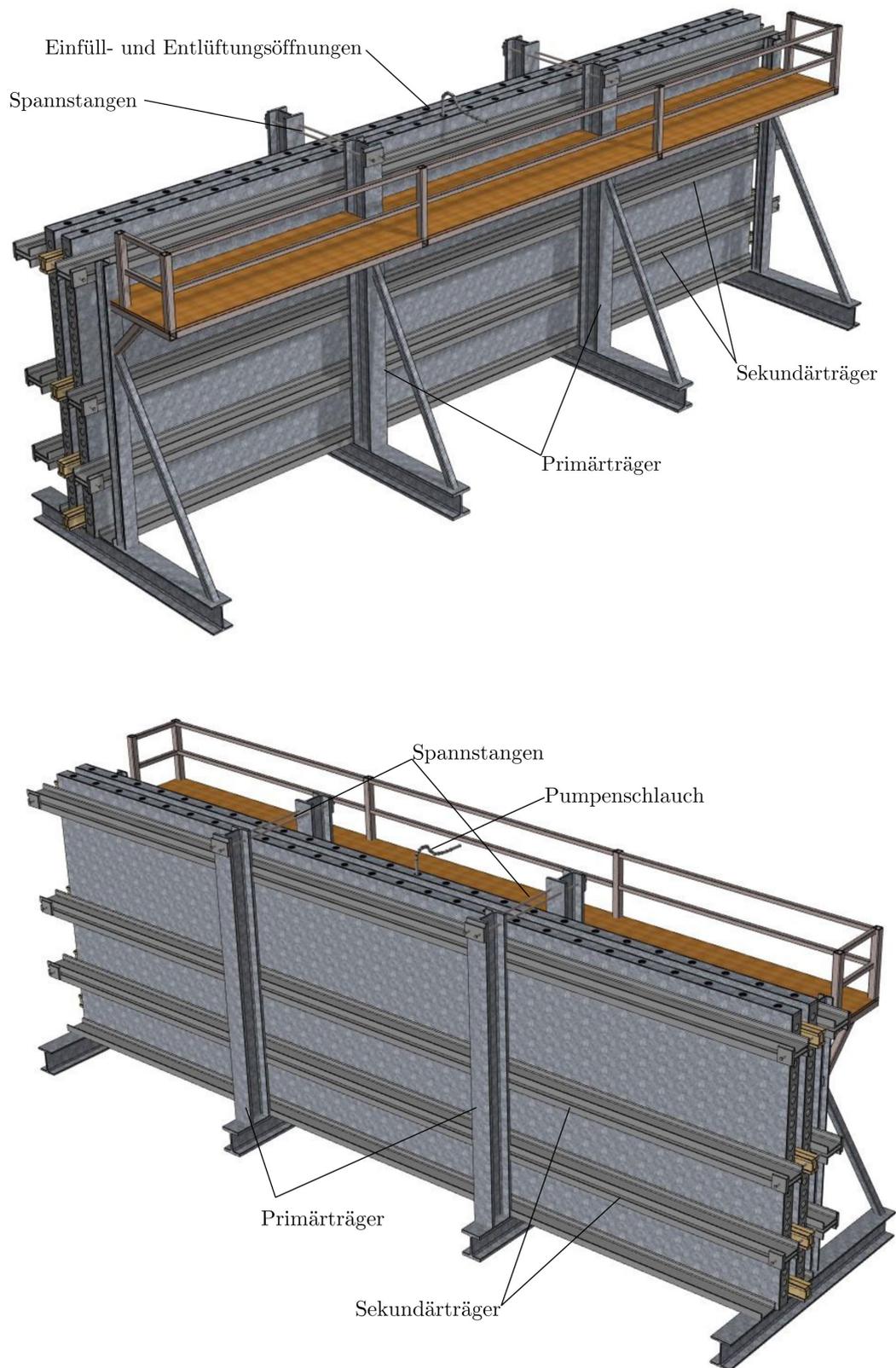


Abb. 6.6: 3D-Schaubild der Konstruktion mit symbolischer Andeutung des Pumpenschlauches in der Einfüllöffnung

6.2 Vordimensionierung der Betonierhilfskonstruktionen

Die Lastableitung des Frischbetondrucks erfolgt analog zu jener aus Kapitel 4: Der Frischbetondruck wird über die Deckbleche in die Dübelleisten eingeleitet. Diese wirken in Kombination mit den Deckblechen als Plattenbalkenträger und leiten die Lasten in die Sekundärträger (Doppel-U-Profile) weiter. Die Lasten aus den Doppel-U-Trägern werden von den Hauptträgern (HEM-Profile) aufgenommen und über den Sockelträger unten sowie über die Spannstangen oben, kurzgeschlossen. Die Kraftübertragung an den Sockelprofilen erfolgt über eine Schraubverbindung. Die freien Enden der U-Profile an den Plattenrändern werden direkt mit den Spannstangen außenliegend verspannt. Die auftretenden Vertikallasten, welche aus dem Eigengewicht der SCSC-Platte inklusive dem Füllbeton resultieren, werden direkt in die Sockelträger und somit in den Untergrund eingeleitet.

6.2.1 Allgemeine Vorgaben

6.2.1.1 Verformungsanforderungen

Die Anforderungen an die Grenzverformungen der Oberflächen- bzw. Schalungselemente wurden bereits in Kapitel 4.2.1.1 genauer erläutert und sind für die vorliegende Konstruktion in gleicher Weise anzuwenden. Folgende Grenzwerte für die Verformungen der einzelnen Elemente sind einzuhalten:

- Deckbleche:
 $l = 1,0 \text{ m} \rightarrow s_{,max} = \mathbf{3,0 \text{ mm}}$; Dies entspricht $1/333$.
- Dübelleisten:
 $l = 4,2 \text{ m} \rightarrow u_{L,max} = \mathbf{8,4 \text{ mm}}$; ($1/500$)
- Sekundärträger:
 $l = 4,5 \text{ m} \rightarrow u_{S,max} = \mathbf{9,0 \text{ mm}}$; ($1/500$)
- Hauptträger:
 $l = 4,55 \text{ m} \rightarrow u_{H,max} = \mathbf{9,1 \text{ mm}}$; ($1/500$)

6.2.1.2 Spannungen

Es wird, wie auch bei der Stahlkonstruktion für den Betoniervorgang bei 60° , Stahl der Sorte S355 verwendet. Der Teilsicherheitsbeiwert des Materials wird nach DIN 12812 [4] mit $\gamma_M=1,1$ angenommen. Die Grenzspannung von $f_{y,d} = 355/1,1 = \mathbf{322,7 \text{ N/mm}^2}$ darf nicht überschritten werden.

6.2.1.3 Kombinatorik / Grenzzustände nach DIN12812 [4]

Die zu generierenden Lastkombinationen sowie die einzuhaltenden Grenzzustände werden aus Kapitel 4.2.1.3 übernommen und hier nicht weiter angeführt.

6.2.2 Belastungsannahmen

Stahl $\gamma_S = 78,5 \text{ kN/m}^3$

Der geringfügige Fehler von 2% durch die Annahme einer Erdbeschleunigung von $10,0 \text{ m/s}^2$ wird in Kauf genommen und als Reserve für etwaige Steifen etc. herangezogen.

Beton $\gamma_B = 25,0 \text{ kN/m}^3$

Der Beton ist zwar im vorliegenden Fall unbewehrt, jedoch wird die Wichte von Beton laut DIN 12812 [4] für Traggerüste mit $25,0 \text{ kN/m}^3$ angegeben.

6.2.2.1 Ständige Lasten

Die ständigen Lasten der Bleche der SCSC-Platte sowie die Profileigengewichte im Stabwerksmodell werden vom Programm berücksichtigt.

6.2.2.2 Veränderliche Lasten - Frischbetondruck

Wie schon in Kapitel 2.3.1 beschrieben, steigt der Frischbetondruck bei Einbringung von Beton durch das Einpumpen an der Unterseite linear mit der Höhe nach Gleichung 2.1. Der Frischbetondruck wirkt immer normal auf die belasteten Flächen. Die Wichte des Betons wird mit $25,0 \text{ kN/m}^3$ in Rechnung gestellt.

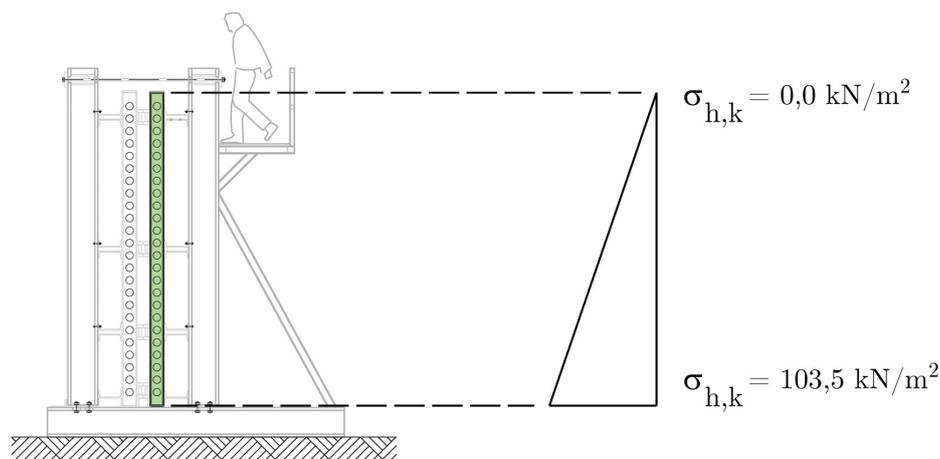


Abb. 6.7: Frischbetondrücke auf die Innenseiten der Deckbleche

Durch die vertikale Stellung der Platte ergibt sich für den Füllkörper eine maximale Höhe von $(4,20 - 2 * 0,03) = 4,14 \text{ m}$. Der daraus resultierende hydrostatische Druck beträgt an der maximalen Stelle $4,14 * 25 = 103,5 \text{ kN/m}^2$.

6.2.2.3 Veränderliche Lasten - Eigengewicht Frischbeton

Durch die Art der Modellierung der Platte und durch die Art der Lastaufbringung des hydrostatischen Druckes, wird das Eigengewicht des Frischbetons bereits mitberücksichtigt. Diese Last aus dem Eigengewicht der Platte inkl. Füllung erzeugt keine Belastung auf die Primär- und Sekundärträger der zusätzlichen Schalungskonstruktion, sondern wird direkt in den Untergrund abgeleitet.

6.2.2.4 Sonstige veränderliche Lasten

Es wurden für den vorliegenden Fall, aufgrund des geringen Einflusses auf die prinzipielle Machbarkeit der Konstruktionsform, keine sonstigen Lasten aus Arbeitsbetrieb, Wind oder Schnee berücksichtigt. Des Weiteren werden die SCSC-Elemente mit hoher Wahrscheinlichkeit im Werk gefertigt, wo solche Randeinflüsse wie Wind und Schnee nicht auftreten. Dies ist aber für jede Herstellungssituation spezifisch zu beurteilen.

6.2.3 Ausgewählte Analyse der SCSC-Platte im Zustand der Betoneinbringung

Durch die hohe Steifigkeit der Schalungsträger (Primär- und Sekundär) werden diese vereinfachend, wie in Kapitel 1.2 beschrieben, im vorliegenden Modell als starre Auflager angenommen. Dies überschätzt die Steifigkeit der Primär- und Sekundärträger und führt zu relativ großen Auflagerreaktionen der Zwischenaullager. Dies wiederum vermindert die auftretenden Spannungen in der SCSC-Platte zufolge Frischbetondruck, was jedoch in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt wird. Eine genauere Bemessung würde ein gemeinsames Modell aus Platte, Primär- und Sekundärträger liefern.

6.2.3.1 Modellierung

Abbildung 6.8 zeigt das Modell als Rendering mit den tatsächlichen Materialstärken sowie das Drahtmodell der Struktur. Die Berechnung erfolgt mittels Finite-Elemente-Methode. Die Hauptabmessungen der Struktur sind im rechten Teilbild der Abbildung 6.8 zu sehen. Im linken Teilbild sind folgende Blechdicken zu erkennen:

- Deckbleche: 15 mm
- Lochdübelleisten: 20 mm
- Abschlussbleche: 30 mm

Die Modellierungsparameter sind identisch zu jenen aus Kapitel 4.2.3.1 und werden hier nicht näher beschrieben.

Die Sekundärträger der Schalungskonstruktion sind als starre Auflager (in Abbildung 6.8 als grüne Linienlager zu erkennen) ausgebildet. Die Lage der Sekundärkonstruktion wurde so gewählt, dass zufolge Frischbetondruck, annähernd die selben Lasten auf die beiden Ebenen der Schalungsträger wirken. Somit sind die U-Profile annähernd gleich belastet und es kann dadurch eine optimale Profildimension für beide Ebenen gefunden werden.

6.2.3.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall "Eigengewicht" wurde automatisch generiert und das Eigengewicht der Stahlkonstruktion somit vom Programm berücksichtigt. Die Belastung aus Frischbetondruck wurde manuell mittels Flächenlasten auf die Innenseiten der Deckbleche aufgebracht. Da das Eigengewicht des Betons hier eine untergeordnete Rolle spielt, wurden lediglich zwei Lastfälle berücksichtigt. Lastfall 1 aus Eigengewicht der Stahlkonstruktion sowie der Lastfall 11 aus den Lasten zufolge Frischbetondruck.

Zur Beurteilung des Grenzzustandes der Tragsicherheit dient Lastkombination 1. Zur Beurteilung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit dient Lastkombination 11.

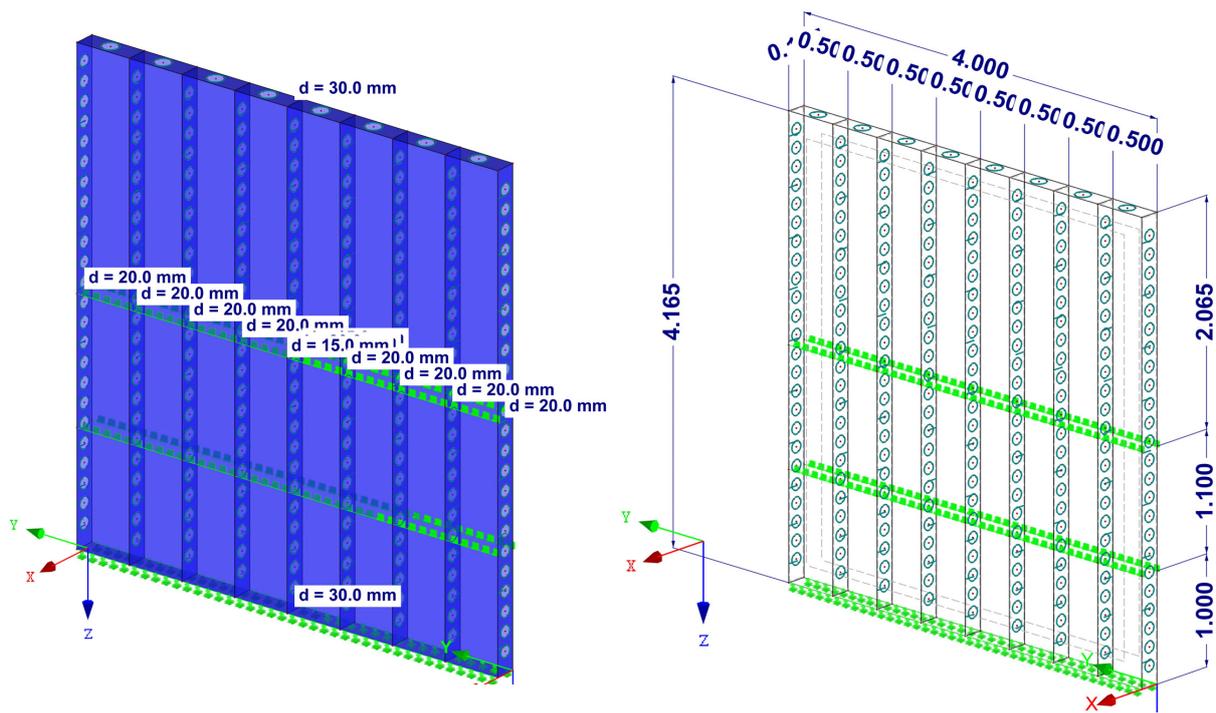


Abb. 6.8: Modell als Rendering mit den vorhandenen Materialdicken sowie als Drahtmodell mit den Hauptabmessungen der Struktur

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| LF11 | Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn-/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |

Abb. 6.9: Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm

| Lastkombin. | BS | Lastkombination Bezeichnung | Nr. | Faktor | Lastfall | |
|-------------|----|--------------------------------|-----|--------|----------|------------------|
| | | | | | LF1 | LF11 |
| LK1 | | 1.35*LF1 + 1.5*LF11 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.50 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK11 | | LF1 + LF11 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF11 | Frischbetondruck |

Abb. 6.10: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm

6.2.3.3 Ergebnisse - Verformungen

Wie in Abbildung 6.12 zu erkennen ist, beträgt die maximale Verformung des Deckbleches zufolge Lastkombination 11: **2,3 mm**. Der Wert von 3,7 mm kann vernachlässigt werden, da es sich hierbei nur um das freie Ende der Deckbleche handelt, was aus der gewählten Art der Modellierung resultiert. Diese Verformung tritt an der wahren Konstruktion nicht auf.

$$u_{vorh} = 2,3 \text{ mm} < u_{zulässig} = 3,0 \text{ mm}$$

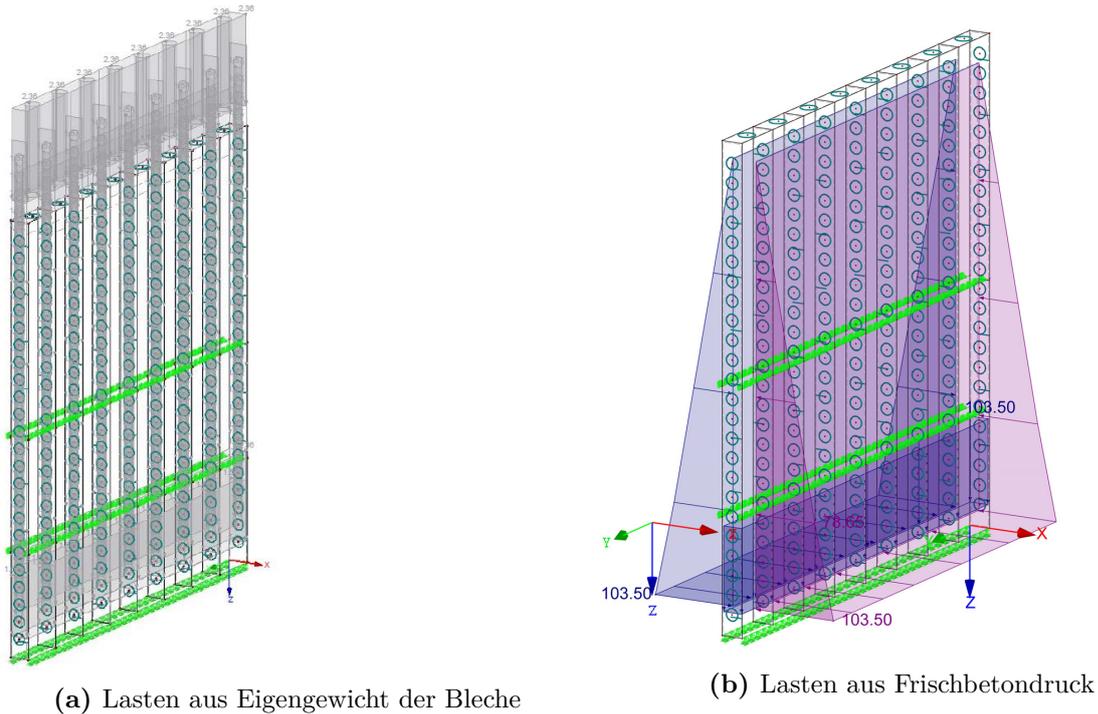


Abb. 6.11: Lastaufbringung der für die Vordimensionierung relevanten Lasten

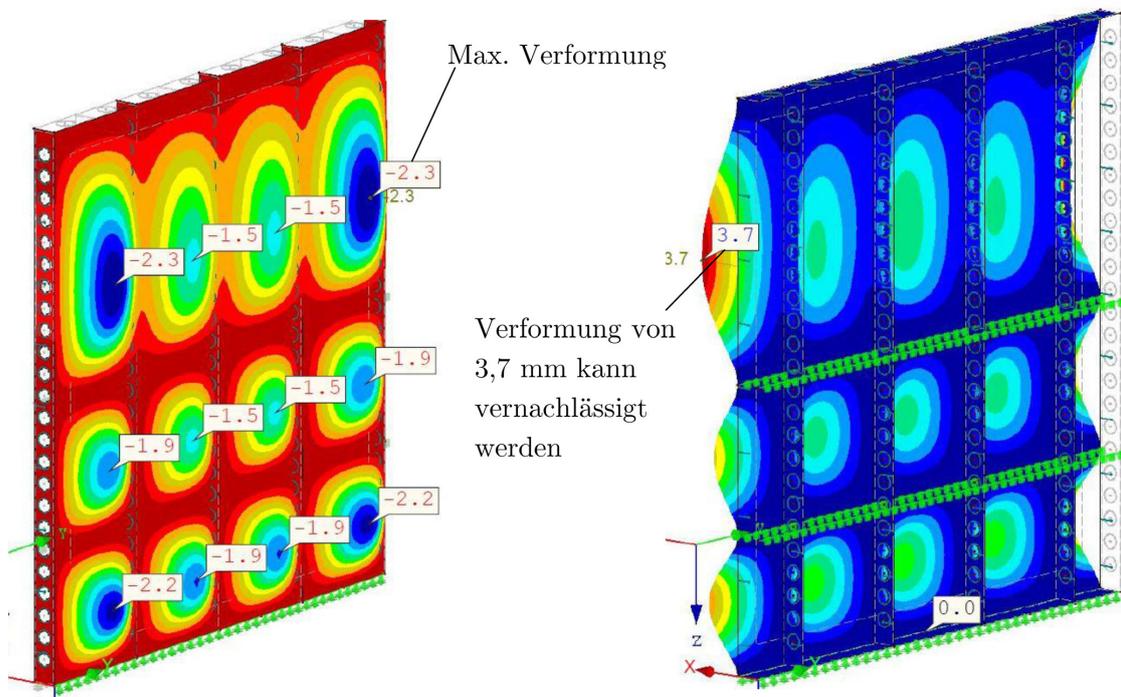


Abb. 6.12: Globale Verformungen des Deckbleches in [mm] aus Lastkombination 11; Linkes Bild: Verformung oberes Deckblech; Rechtes Bild: Verformung unteres Deckblech

6.2.3.4 Ergebnisse - Spannungen

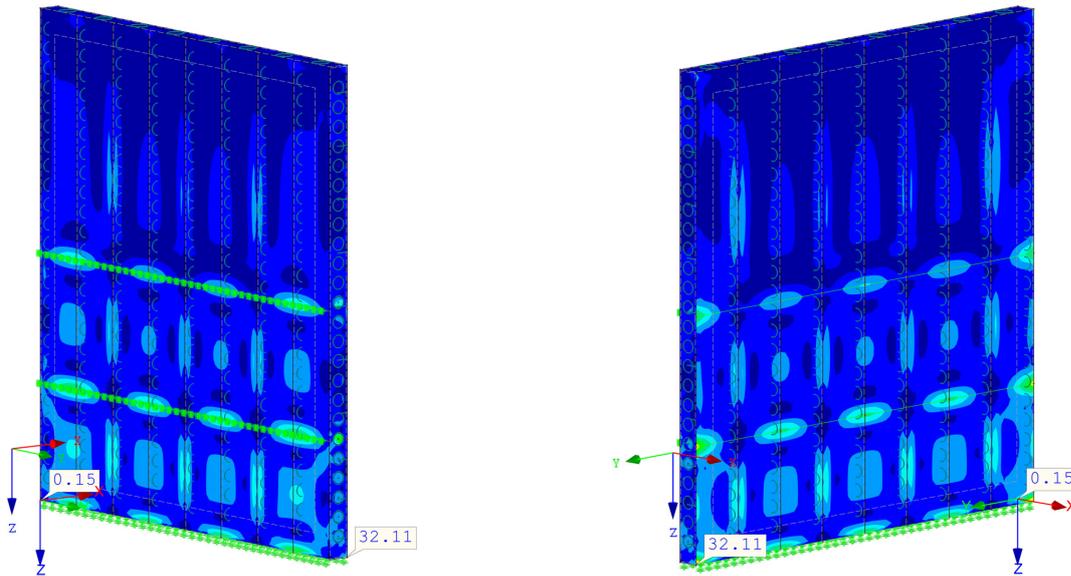


Abb. 6.13: Vergleichsspannungen nach “von Mises“ aus Lastkombination 1 in [kN/cm²]

Der Maximalwert der Vergleichsspannungen nach von Mises beträgt **32,11 kN/cm²**

$$\sigma_{Ed} = 322,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 322,7 \text{ N/mm}^2$$

6.2.4 Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion

Für die Vordimensionierung der Träger der Schalungskonstruktion gelten dieselben Randparameter wie für die ausgewählten Analysen der SCSC-Platte. Die Grenzwerte für Verformungen und Spannungen sind in Kapitel 6.2.1 angegeben.

Die Lasten, welche auf die Schalungskonstruktion wirken, resultieren aus den gemittelten Auflagerkräften aus dem Modell der Berechnung der SCSC-Platte und sind in Abbildung 6.14 ersichtlich. Der einzige Lastfall, welcher für die Vordimensionierung der Träger der Schalungskonstruktion relevant ist, ist in diesem Fall Lastfall 11 - Frischbetondruck. Die Lagerreaktionen aus diesem Lastfall werden über die Felder gemittelt.

Sekundärebene - Oben:

$$(76,62 + 71,31 + 72,82 + 73,38) / 4 = 73,5 \sim 75,0 \text{ kN/m}$$

Sekundärebene - Unten:

$$(80,50 + 77,84 + 79,06 + 79,03) / 4 = 79,10 \sim 80,0 \text{ kN/m}$$

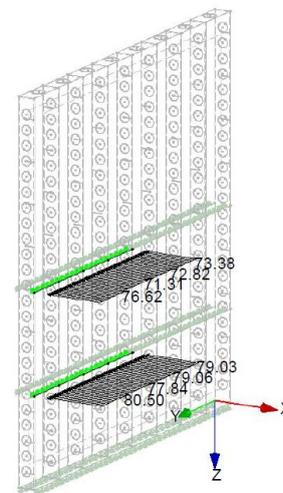


Abb. 6.14: Lagerreaktionen des Lastfalls 11 - Frischbetondruck

6.2.4.1 Modellierung

Die Struktur besteht aufgrund von Symmetriegründen nur aus einer Seite der Schalungskonstruktion.

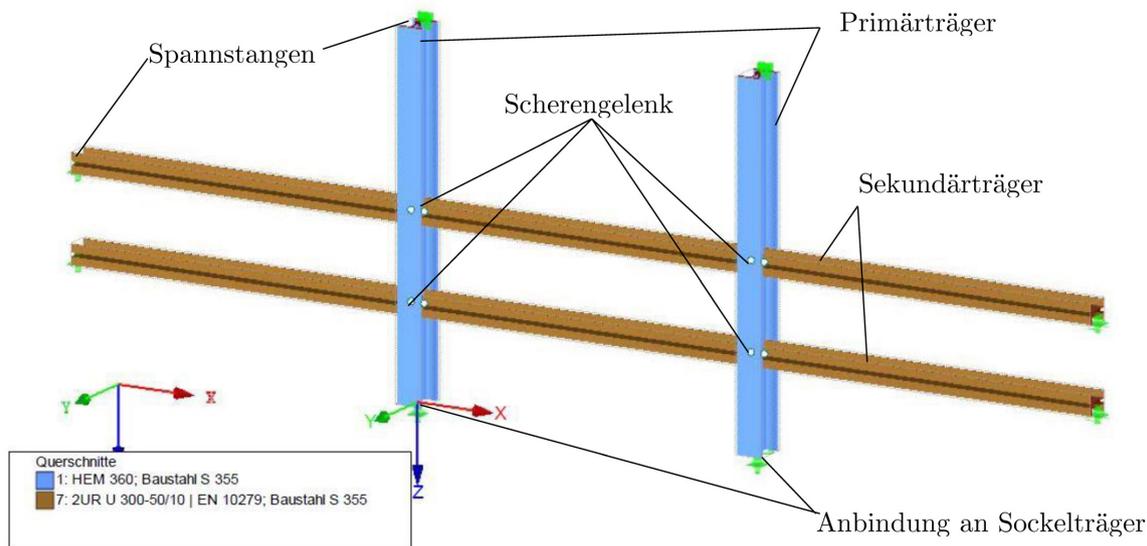


Abb. 6.15: Modell der Träger der Schalungskonstruktion als Rendering (inkl. Profildimensionen)

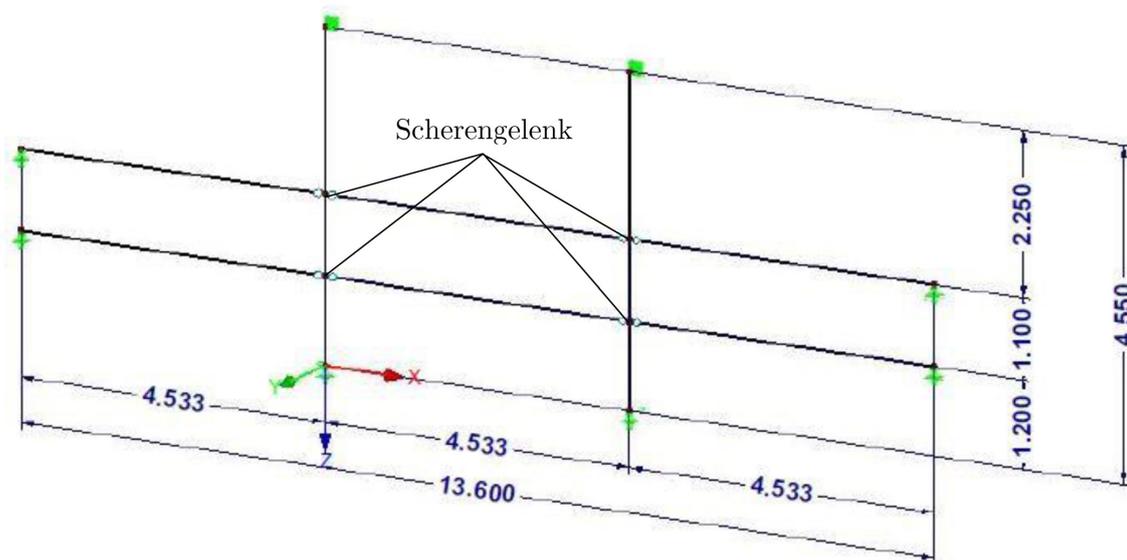


Abb. 6.16: Drahtmodell inklusive Hauptabmessungen der Konstruktion

Wie bei der Schalungskonstruktion aus Kapitel 4.2.4.1 werden die Sekundärträger (2xU300) mittels Scherengelenken an den Hauptträgern angeschlossen. Eine beschreibende Skizze dieser Verbindungsform stellt Abbildung 4.26 dar und wurde bereits in Kapitel 4.2.4.1 näher beschrieben. Die beiden U-Profile sind durch eingeschweißte Bleche schubsteif miteinander zu verbinden. An den Enden der Sekundärträger sind gelenkige Auflager modelliert, welche die Spannstangen beschreiben. Die Definition der Stabendgelenke wird vom Modell aus Kapitel 4.2.4.1 übernommen

und hier nicht mehr angeführt. Lediglich der Rotationswinkel des Scherengelenks ändert sich, da die Rotation nicht auf die Stabachse, sondern auf das globale Koordinatensystem bezogen ist.

Die Spannstangen wurden wegen ihrer hohen Steifigkeit als starre Auflager modelliert. An diesen können die real auftretenden Kräfte direkt abgelesen werden, mit welchen die Spannstangen zu bemessen sind.

6.2.4.2 Lastaufbringung und Kombinatorik

Der Lastfall "Eigengewicht" wurde automatisch generiert und das Eigengewicht der Stahlkonstruktion somit vom Programm berücksichtigt. Die Belastungen aus den Lagerreaktionen der SCSC-Platte wurde als Stablast aufgebracht. Die Stablast wirkt normal auf die Z-Achse der Sekundärtragprofile. Es können theoretisch mehrere Platten nebeneinander betoniert werden. Der Schalungsdruck auf die Konstruktion bleibt auch bei mehreren Platten durch die sich gegenseitig aufhebenden Kraftvektoren der gleiche. Die Mehrlast aus den Vertikallasten bei der Betonage von mehreren Platten ist für den vorliegenden Fall unerheblich, da die Lasten aus dem Eigengewicht direkt in den Untergrund abgeleitet werden.

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| LF11 | Frischbetondruck | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |

Abb. 6.17: Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm

| Lastkombin. | BS | Lastkombination Bezeichnung | Nr. | Faktor | Lastfall | |
|-------------|----|--------------------------------|-----|--------|----------|------------------|
| | | | | | | |
| LK1 | | 1.35*LF1 + 1.5*LF11 | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.50 | LF11 | Frischbetondruck |
| LK11 | | LF1 + LF11 | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF11 | Frischbetondruck |

Abb. 6.18: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm

Die Richtung und Größe der aufgetragenen Lasten auf die Struktur ist in der Abbildung B.57 in Anhang B.5.1 ersichtlich. Die Lastkombination 1 dient zur Beurteilung der Tragfähigkeit, die Lastkombination 11 dient zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit.

6.2.4.3 Ergebnisse Verformungen

In Abbildung 6.19 sind die maximalen Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ersichtlich. Die Durchbiegungen werden als Netto-Verformung mit verschobenen Stabenden ermittelt. Dazu wird der Maximalwert der Stabverformung vom Wert der Stabsehne an der jeweiligen Stelle abgezogen. Folgende Durchbiegungen treten auf:

- Primärträger HEM 320
 $u_{H,vorh} = 8,4 \text{ mm} < u_{H,max} = 9,1 \text{ mm}$
- Sekundärträger 2x U320
 $u_{S,vorh} = 11,7 - (0 + 8,4) / 2 = 7,5 \text{ mm} < u_{S,max} = 9,0 \text{ mm}$

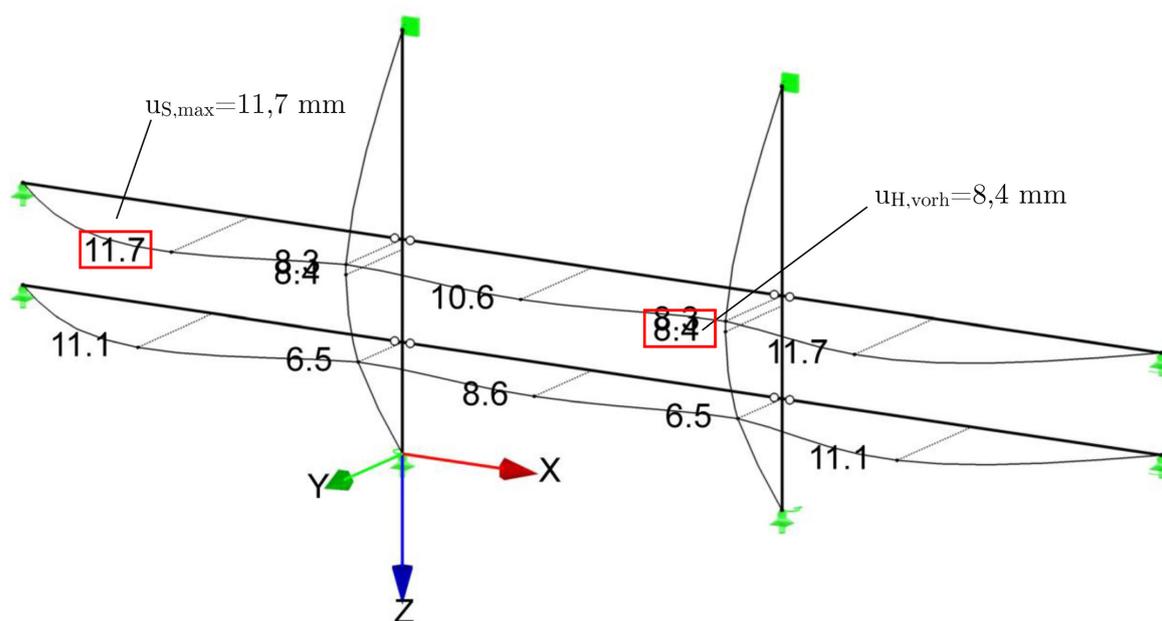


Abb. 6.19: Verformungen in globaler Y-Richtung in [mm]; Verformungen aus dem Eigengewicht der Profile wurden nicht berücksichtigt

Aufgrund der Nachgiebigkeiten der Träger der zusätzlichen Schalungskonstruktion würde sich die SCSC-Platte während des Einbringens des Betons stärker verformen als es in der Berechnung aus Kapitel 6.2.3 der Fall ist. Um eine wirklichkeitsnahe Aussage über die Verformungen der Platte zu erhalten, müssen die beiden Teilmodelle der SCSC-Platte und der Trägerkonstruktion in einem gemeinsamen Modell berechnet werden, damit alle Wechselwirkungen berücksichtigt werden können.

6.2.4.4 Ergebnisse - Schnittgrößen

Die Schnittgrößen wurden für die maßgebende Lastkombination (LK 1) ausgewertet und sind in den Abbildungen B.58 bis B.63 in Anhang B.5.2 ersichtlich. Aus diesen Plots der Schnittgrößen kann die Wirkungsweise der Scherengelenke sehr gut abgelesen werden.

6.2.4.5 Ergebnisse - Spannungen, inklusive Stabilitätsnachweise nach EC3

Die Art der Spannungsermittlung sowie die Grundparameter der Nachweise gegen Stabilitätsversagen sind identisch zu jenen aus Kapitel 4.2.4.5 und werden hier nicht näher behandelt. Die Stabilitätsnachweise werden wieder zur Gegenüberstellung mit den Verfahren nach Kapitel 6.3.2/6.3.3 nach EN 1993-1-1 [19] sowie dem Allgemeinen Verfahren nach Kapitel 6.3.4 aus EN 1993-1-1 [19] geführt.

Die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten der Ersatzstäbe spielt bei der Ermittlung der Eigenform eine entscheidende Rolle. Die Sekundärkonstruktion wurde so bemessen, dass jede Verbindung zwischen Haupt- und Sekundärträger gegen seitliches Verschieben sowie gegen die Rotation um die Längsachse gehalten wird (Gabellager). Dies ist durch eine konstruktive Ausbildung im Bereich des Anschlusses (durch Einschweißen von Knotenblechen) zu gewährleisten. Anhand der Darstellung der Eigenformen kann die Definition der Freiheitsgrade an den Knoten

durch die bildhafte Darstellung der ersten Eigenform kontrolliert werden.

Die Verfahren nach Kapitel 6.3.2 sowie Kapitel 6.3.3 nach EN 1993-1-1 [19] verlangen nach der manuellen Eingabe der Knick- sowie Drilllängen. Die Knicklängen werden so angenommen, als würde der Sekundärträger nur zwischen den beiden Hauptträgern knicken bzw. drillen können. Die Hauptträger können nur zwischen den beiden Auflagern an den Stabenden knicken und drillen. Dies ist wieder durch die konstruktive Ausbildung der Anschlüsse zu gewährleisten.

Folgende Spannungsauslastungen sind dabei in den Abbildungen B.64 - B.68 in Anhang B.5.3 ersichtlich und nachstehend zusammengefasst:

- Elastische Spannungsauslastungen der
Gesamtkonstruktion: $\eta = 0,71$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.4) der
Sekundärträger: $\eta = 0,74$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.2) der
Sekundärträger: $\eta = 0,68$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.4) der
Primärträger: $\eta = 0,75$
- Spannungsauslastungen inkl. Stabilitätsnachweisen nach EC3 (6.3.2) der
Primärträger: $\eta = 0,72$

Da die Spannungs- sowie Stabilitätsauslastungen den Wert 1,0 nicht überschreiten gelten diese somit als erfüllt. Diese Spannungs- und Stabilitätsauslastungen wurden mit dem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,1$ nach DIN 12812 [4] ermittelt und weisen deshalb ein höheres Sicherheitsniveau auf als die EN 1993-1-1. Wird die DIN 12812 nicht angewendet kann der Teilsicherheitsbeiwert des Materials reduziert werden, was zu geringfügig kleineren Profildimensionen führen könnte. Jedoch hat der Teilsicherheitsbeiwert keinen Einfluss auf die Verformungen und somit auch nicht auf die Gebrauchstauglichkeit der Struktur.

6.2.4.6 Ergebnisse - Lagerreaktionen

Folgende Designlasten sind von den Spannstäben sowie der Verschraubung am Sockelträger aus Abbildung 6.20 aufzunehmen:

- Spannstäben bei Hauptträger $\rightarrow N_E, d = 440 \text{ kN}$
- Spannstäben bei Sekundärträgern am Rand $\rightarrow N_E, d = 225 \text{ kN}$
- Anbindung Sockelträger $\rightarrow N_E, d = 720 \text{ kN}$

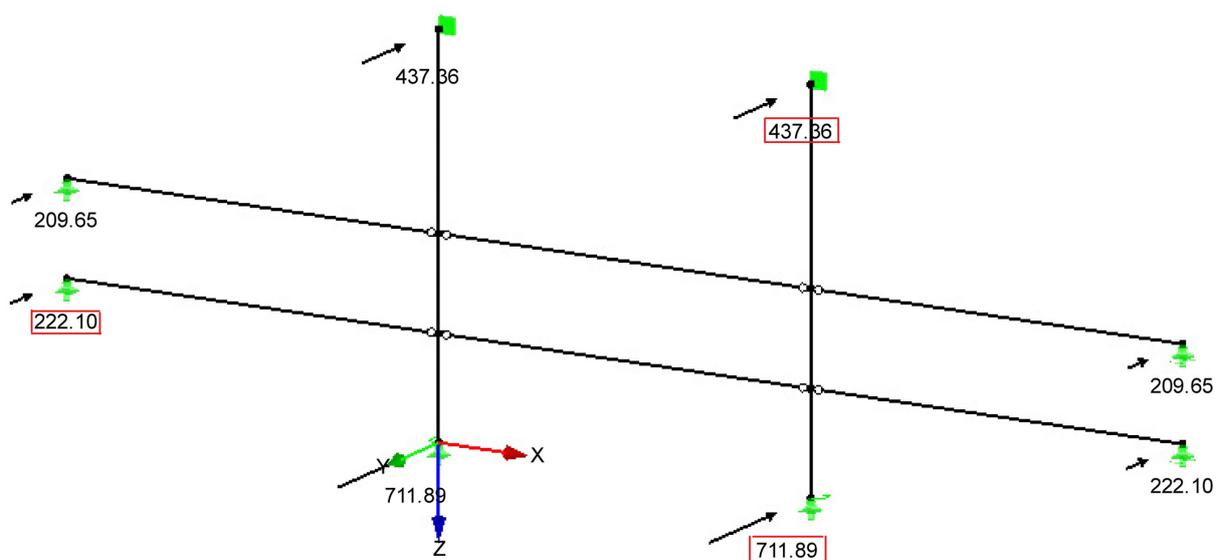


Abb. 6.20: Lagerreaktionen auf Designniveau aus Lastkombination 1

6.2.4.7 Spannstangen

Gewählt wurde eine Spannstange von Fa. Istor - R 55 \varnothing 30. Aus Abbildung B.18 in Anhang B.2.4 folgt $\rightarrow N_{R,d} = 277,2 \text{ kN}$

Primärträger: $N_{E,d} = 440 \text{ kN} \leq 2 \cdot N_{R,d} = 554,4 \text{ kN}$

Sekundärträger: $N_{E,d} = 225 \text{ kN} \leq N_{R,d} = 277,2 \text{ kN}$

Die Bemessung der Anbindung am Sockelträger gestaltet sich grundsätzlich analog zu jener aus Kapitel B.2.4 im Anhang und wird hier nicht mehr zusätzlich angeführt.

Kapitel 7

Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge dieser Arbeit wurden Untersuchungen zur möglichen Herstellung der, an der TU Wien - Forschungsbereich Stahlbau entwickelten SCSC *Steel-Concrete-Steel-Composite* - Platte, ange stellt. Dabei wurden drei verschiedene Arten zur Anwendung der Platte untersucht. Zu jeder dieser Anwendungsart wurde, im Sinne einer generellen Machbarkeitsuntersuchung, eine Kon struktionsausführung bis zu einem gewissen Detaillierungsgrad ausgearbeitet. Dabei wurden jene Konstruktionsformen ausgewählt, welche zum derzeitigen Stand der Forschungen, am aussichts reichsten erscheinen. Zu den jeweiligen Favoriten der Herstellungsmöglichkeiten wurden jeweils die für die Herstellung benötigten Betonierhilfsmaßnahmen, bis zu einem gewissen Detaillierungsgrad berechnet und geplant. Folgende Konstruktionsformen zu den jeweiligen Einsatzgebieten der Platte haben sich im Zuge der Ausarbeitung als die aussichtsreichsten herausgestellt.

7.1 Fertigung von SCSC-Plattenelementen - Schiefstellung der Plattenelemente auf ca. 60° mittels fixem Betoniertisch, Einpumpen von ECC/SCC-Beton an der Unterseite

Durch die Neigung der Platte auf einen Winkel von etwa 60° liegen die Abschlussbleche im Zustand des Betoniervorganges horizontal, weshalb keine zusätzlichen Konstruktionen hinsichtlich des Füllvorganges notwendig sind. Der Beton wird mittels Einfüllstutzen am unteren Deckblech unter Zuhilfenahme einer Betonpumpe eingebracht. Für diesen Betoniervorgang wird ECC (*Easy-Compacting-Concrete*) -Beton oder SCC (*Self-Compacting-Concrete*) - Beton verwendet. SCC-Beton sollte nur für die Herstellung im Werk verwendet werden, da dieser sehr anspruchsvoll im Hinblick auf äußere Randeinflüsse ist. Durch die Entlüftungs- bzw. Einschauöffnungen mit etwa 30 mm Durchmesser an der Oberseite kann der Füllvorgang kontinuierlich kontrolliert werden. Es kann dadurch auch augenscheinlich sichergestellt werden, dass alle Kammern vollständig gefüllt sind. Durch die Neigung von ca. 60° ergeben sich aufgrund der geringeren hydrostatischen Höhe des Frischbetons geringfügig kleinere Profildimensionen der Schalungskonstruktion, als bei der nachfolgenden Konstruktion mit senkrechter Plattenstellung aus Kapitel 7.3. Durch das Befüllen von unten befindet sich die Rohraustrittsöffnung des Einfüllstutzens, ähnlich dem Kontraktorverfahren (Verfahren zum Betonieren unter Wasser), während des Betoniervorganges, ständig unter der Betonoberfläche. Der Beton wird somit kontinuierlich an der Einfüllstelle durchmischt. Dadurch ist die Entmischungsgefahr der einzelnen Betonkomponenten sehr gering. Ebenfalls ist die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Befüllung der Platte, durch den konstant steigenden Betonspiegel, am höchsten. Ein weiterer großer Vorteil liegt in der Einfachheit der Einfüllkonstruktion, mit jeweils einem Sperrschieber am Pumpenschlauch und an dem Einfüllstutzen. Dieses System der Firma DOKA wird bereits in der Praxis verwendet, was dessen Funktionalität bestätigt. Ebenso ist für die vollständige Befüllung der Platte, durch die Verwendung von hochfließfähigem Beton, nur eine Einfüllöffnung für ein 13,0 m breites Element

notwendig. Detailliertere Darstellungen dieser Konstruktionsweise für die Fertigung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Fahrbahnplatte für Trogbögen sind in den Plänen 10 bis 11 im Anhang C detaillierter ersichtlich.

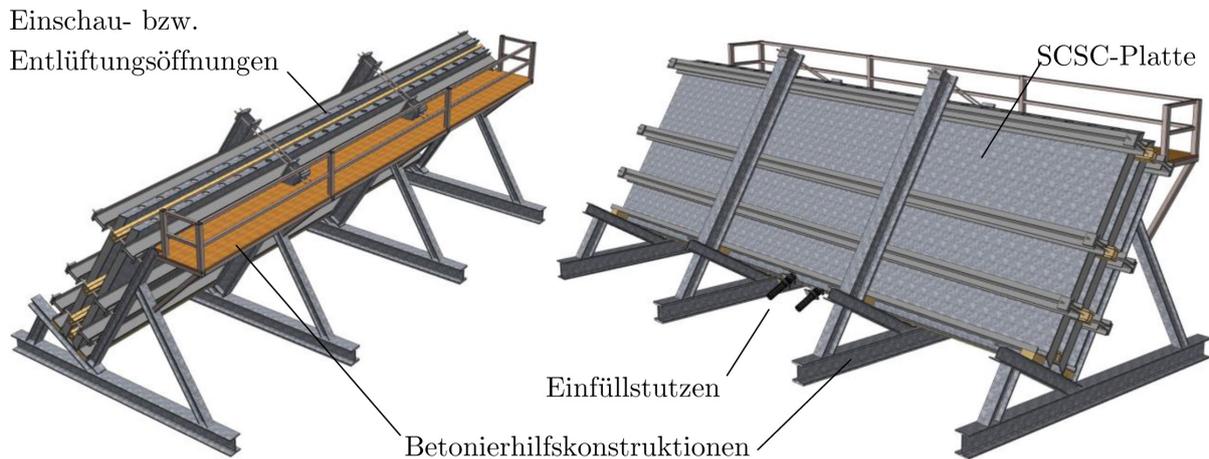


Abb. 7.1: 3D - Schaubild der favorisierten Herstellungsform bei Fertigung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Fahrbahnplatte für Trogbögen

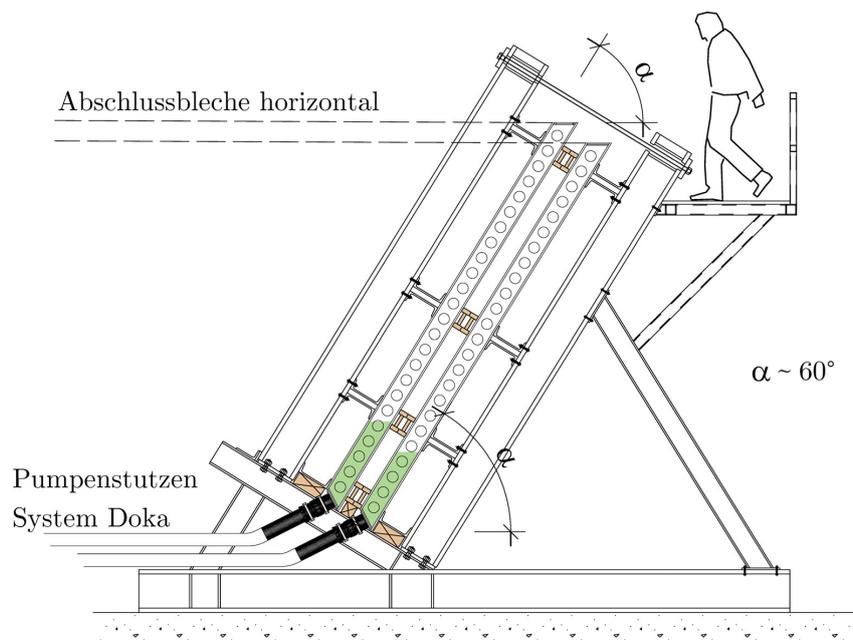


Abb. 7.2: Prinzipdarstellung der favorisierten Konstruktionsform zur Herstellung der reinen Plattenelemente als Fahrbahnplatte für Trogbögen mit schrägen Abschlussblechen

7.2 Betoniervorgang der Platte mit bereits angeschweißten Hauptträgerstegblechen - Betoniervorgang auf Drehtisch, einpumpen von ECC-Beton an der Unterseite

Beim Betoniervorgang von geschlossenen Körpern spielt die Entlüftung eine wesentliche Rolle. Da im vorliegenden Fall die Entlüftung nicht durch das obere Deckblech erfolgen kann, muss die Konstruktion um die Längsachse der Brücke gedreht werden, um die Entlüftung über die Abschlussbleche zu gewährleisten. Ein Neigungswinkel von 30° sollte dabei ausreichend sein. Diese Rotation um die Längsachse wird durch so genannte Drehtische realisiert. Der Hebevorgang erfolgt mittels Kränen, welche auf der Baustelle bereitgestellt werden. Zur Aufnahme der Frischbetondrücke sind zusätzliche Träger (Primär- und Sekundärträger) zur Unterstützung der Schalhaut (Deckbleche der SCSC-Platte) erforderlich. Das Befüllen erfolgt analog zur Herstellung von SCSC-Fahrbahnplattenelementen, durch Einpumpen über Einfüllstutzen an der Breitseite der Brücke auf Höhe der Fahrbahnplatte mit ECC-Beton oder Beton mit der Konsistenzklasse ab F59 (siehe dazu auch Abbildung 7.2; Bild links unten). SCC-Beton ist, aufgrund der Tatsache, dass der Betoniervorgang mit hoher Wahrscheinlichkeit erst auf der Baustelle stattfindet nicht zu empfehlen. Durch den Betoniervorgang am fertigen Brückenquerschnitt fällt auch die Thematik der Wärmeerbringung durch etwaige Schweißvorgänge in der Nähe des fertigen Betonkörpers weg, da schon alle stahlbautechnischen Arbeiten abgeschlossen sind.

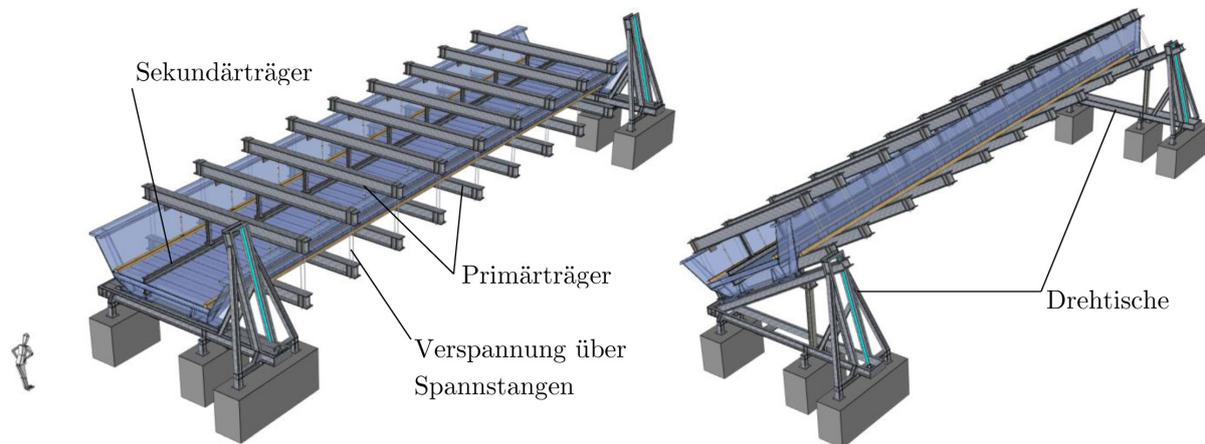


Abb. 7.3: 3D Darstellung der Drehtischkonstruktion inklusive Schalungselemente. Bild links: Zustand vor dem Hebevorgang; Bild rechts: Zustand während des Betoniervorganges

Detailliertere Darstellungen dieser Konstruktionsweise sind in den Plänen 5 bis 9 im Anhang C ersichtlich.

7.3 Herstellung von SCSC-Elementen zur Verwendung als Plattenbrücken

Die Herstellung von Plattenelementen zur Verwendung als Plattenbrücke gestaltet sich ähnlich zu jener mit schrägen Abschlussblechen. Der Unterschied liegt lediglich in der Neigung der Plattenelemente. Da die Abschlussbleche bei reinen Plattenbrücken senkrecht auf die Deckblechoberfläche angeordnet sind, gestaltet sich der Betoniervorgang wesentlich einfacher. Die Platten werden für den Betoniervorgang senkrecht aufgestellt, wobei das obere Abschlussblech schlus-

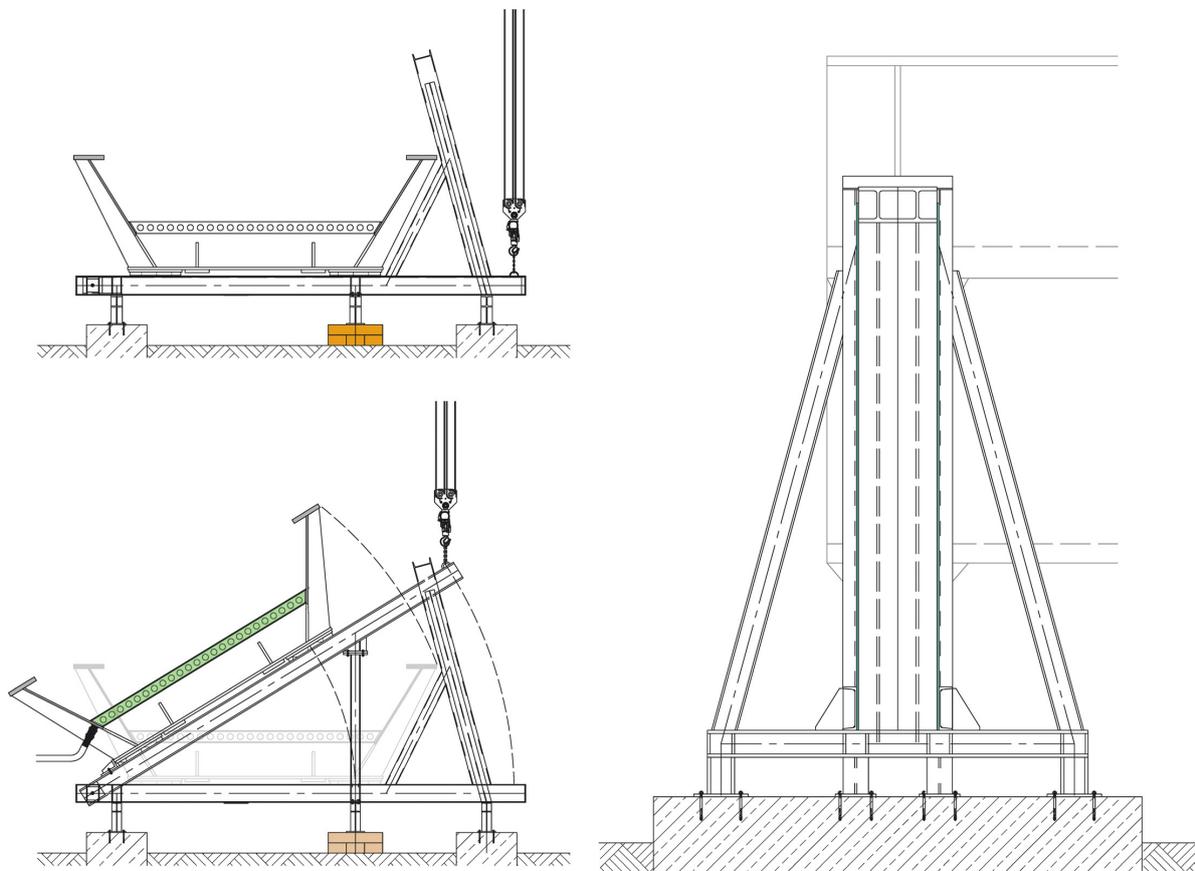


Abb. 7.4: Prinzipdarstellung der Drehtischkonstruktion ohne Schalungselemente aus Kapitel 7.2

sendlich horizontal liegt und somit keine Hohlräume bei ausreichender Entlüftung in etwaigen “toten Räumen“ an den Hochpunkten des Hohlkörpers entstehen können. Nachfolgend ist eine schematische Abbildung der Betonierhilfskonstruktion zu finden, bei der Platten bis zu einer Breite von $13,0\text{ m}$ betoniert werden können.

Die Breite der hergestellten Platten ist variabel. Bei Breiten bis $4,50\text{ m}$ können die HEM - Hauptträger entfallen. Die U320-Profile können dann frei über die gesamte Breite gespannt und an den Enden mit Spannstangen fixiert werden. Die oberste Ebene der Verspannungselemente kann zwar theoretisch entfallen, da der Frischbetondruck auch vom Abschlussblech aufgenommen werden kann, jedoch erscheint die Anordnung sinnvoll, da sie ein Verziehen der Platte behindert und somit die Ebenheit gewährleistet. Die Höhe im aufgestellten Zustand, also schlussendlich die Länge der Platten im eingebauten Zustand, hat einen größeren Einfluss auf die Betonierhilfskonstruktion, da der hydrostatische Druck, bei Verwendung von hoch-fließfähigen Betonen, linear mit steigender Höhe zunimmt. Die Betoneinbringung erfolgt, analog zu den Großversuchen aus [23], durch Einführen des Pumpenschlauches in die Einfüllöffnungen mit SCC-Beton von oben. Der Beton wird eingebracht und der Pumpenschlauch kontinuierlich mit steigendem Betonspiegel herausgezogen. Detailliertere Darstellungen dieser Konstruktionsweise sind in den Plänen 12 und 14 im Anhang C ersichtlich.

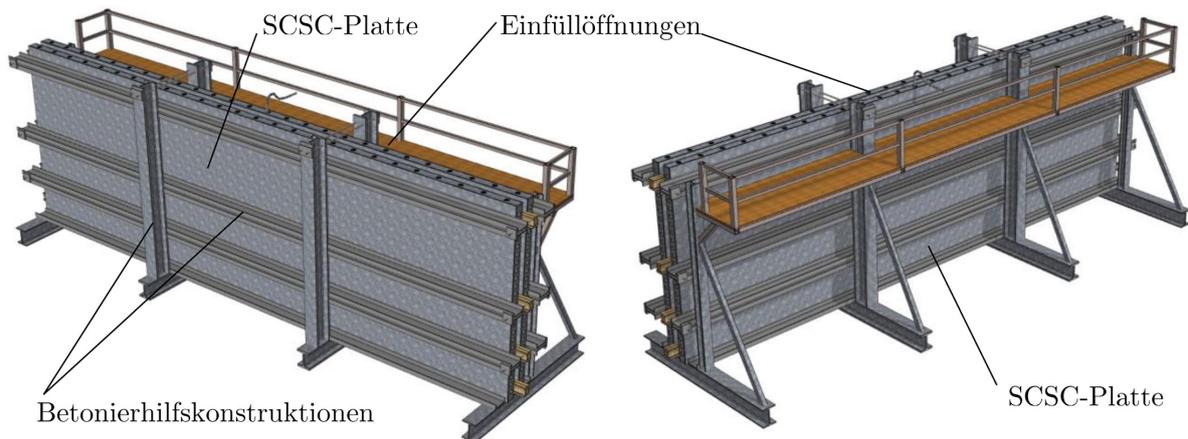


Abb. 7.5: 3D-Schaubild zur Herstellung von SCSC-Plattenbrückenelementen

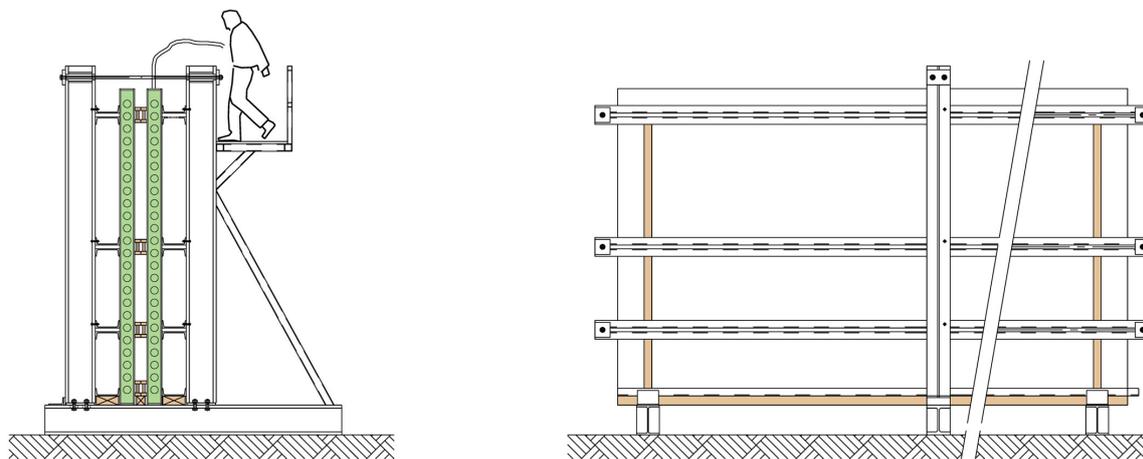


Abb. 7.6: Favorisierte Konstruktionsform zur Herstellung von SCSC-Plattenelementen für Plattenbrücken

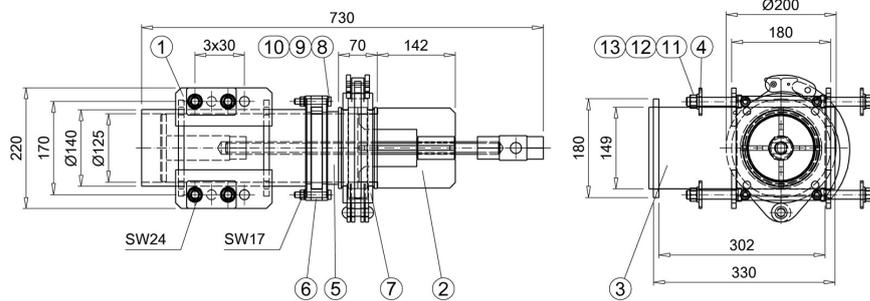
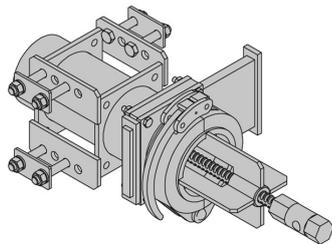
7.4 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

In weiterer Folge sollten Versuche zu den vorgestellten Varianten der Betoneinbringung erfolgen um die Ergebnisse aus der vorliegenden Arbeit zu verifizieren. Sollte eine der oben genannten Herstellungsverfahren zur Ausführung kommen, sind die vordimensionierten Betonierhilfskonstruktionen auf die tatsächlich vorhandenen Gegebenheiten anzupassen und fehlende Detailnachweise zu führen. Ebenso sollten die tatsächlich auftretenden Spannungen und Verformungen der SCSC-Platte unter Berücksichtigung aller Nachgiebigkeiten der Konstruktionselemente berechnet werden. Für die weiterführenden Berechnungen zur SCSC-Platte müssen die Spannungen und Verformungen aus dem Herstellungsprozess in die Analyse der Platte hinsichtlich einer Betrachtung der Belastungsgeschichte miteinfließen. Dies macht eine Modellierung mit allen Konstruktionsteilen in einem Modell unumgänglich.

Anhang A

Datenblätter DOKA Füllstutzen und Sperrschieber

| | [kg] | Art.-Nr. |
|--------------------------------------------|-------------|------------------|
| GF-Füllstutzen SCC | 39,0 | 580217000 |
| Filler neck SCC / Tuyau de remplissage SCC | | |
| verzinkt / Galvanised / galva | | |



Dient zum Einbringen von selbstverdichtendem Beton in Trägerschalungen FF20, Top50 und Stützenschalungen Top50.

Teilleiste List of components / Liste de pièces

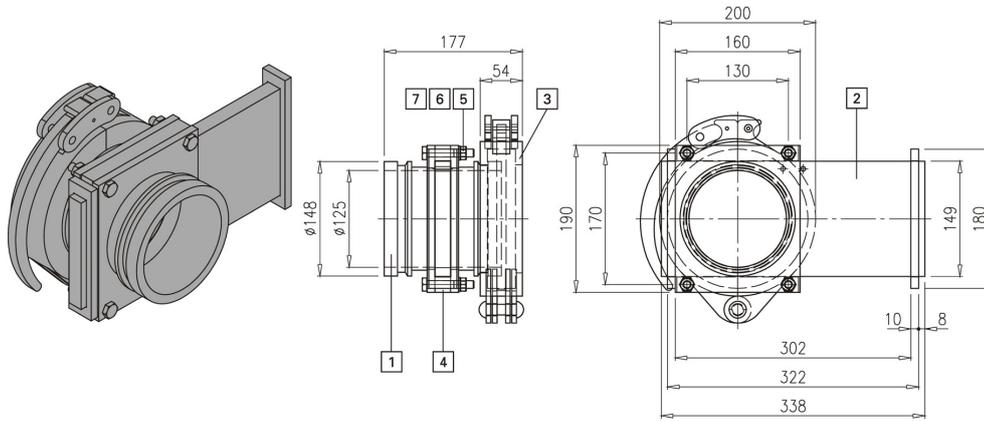
| Pos. | Bezeichnung Name / Designation | Teil-Nr. Art. n° / Référence | Stk. Piece / Nbr. |
|------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | Gehäuse komplett | 500217001 | 1 |
| 2 | Spindelaufsatz komplett | 500217002 | 1 |
| 3 | Schieber GF komplett | 500217003 | 1 |
| 4 | Klemmplatte | 500217040 | 4* |
| 5 | Kupplungsring komplett | 508119003 | 1 |
| 6 | Distanzstreifen 160 | 508119100 | 2 |
| 7 | Hebelkupplung SK-H | 508121060 | 1 |
| 8 | Sechskantschraube M10x60 (DIN 931) | Id.Nr. 019883 | 4 |
| 9 | Sechskantmutter M10 (DIN 934) | Id.Nr. 019309 | 4 |
| 10 | Federring A10 (DIN 127) | Id.Nr. 019902 | 4 |
| 11 | Sechskantschraube M16x90 (DIN 931) | Id.Nr. 019909 | 8 |
| 12 | Sechskantmutter M16 (DIN 934) | Id.Nr. 019303 | 8 |
| 13 | Federring A16 (DIN 127) | Id.Nr. 019900 | 8 |

*... lose beige packt

Auffälliges Unterscheidungsmerkmal zum Vorgängermodell:
Sechskant ergänzt.

Abb. A.1: Datenblatt DOKA Füllstutzen

| | [kg] | Art.-Nr. |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| Sperrschieber D125 SCC | 18.0 | 588127000 |
| Panel closure tool D125 SCC / Pipe de bétonnage Framax D125 SCC | | |
| verzinkt / Galvanised / galva | | |



Dient zum Anschluß des Pumpenschlauches an den GF-Füllstutzen SCC bzw. auch das FX Xlife-Uni-Element SCC 0,90x2,70m und Absperrern des Pumpenschlauches.

Teilliste

List of components • Liste de pièces

| Pos. | Bezeichnung Name • Désignation | Teil-Nr. Art. n° • Référence | Stk. Pièce • Nbr. |
|------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | Kupplungsring komplett | 508119003 | 2 |
| 2 | Schieber GF komplett | 500217003 | 1 |
| 3 | Hebelkupplung SK-H | 508121060 | 1 |
| 4 | Distanzstreifen 160 | 508119100 | 2 |
| 5 | Sechskantschraube M10x60 (DIN 931) | Id.Nr. 019883 | 4 |
| 6 | Sechskantmutter M10 (DIN 934) | Id.Nr. 019309 | 4 |
| 7 | Federring A10 (DIN 127) | Id.Nr. 019902 | 4 |

Auffälliges Unterscheidungsmerkmal zum Vorgängermodell:
Schieber GF komplett geändert.

Legende: SG = Sondergewinde | SW = Schlüsselweite | Rd = Rundgewinde | M = Metrisches Gewinde | □ = Innenvierkant

doka

120

Maße in mm

999501001

Abb. A.2: Datenblatt DOKA Sperrschieber

Anhang B

Ergänzungen zu den Vordimensionierungen der Betonierhilfskonstruktionen

B.1 Summe der Vertikallasten aus Eigengewicht des Betons (Lastfall 2) und Frischbetondruck (Lastfall 11). Exemplarisch für das Modell im Winkel von 60°

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

| Bezeichnung | Wert | Einheit | Kommentar |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------|---------|----------------------------------------------------------------------|
| LF2 - Eigengewicht Beton ohne Frischbetondruck | | | |
| Summe Belastung in Richtung X | 0.00 | kN | |
| Summe Lagerkräfte in X | 0.00 | kN | |
| Summe Belastung in Richtung Y | 0.00 | kN | |
| Summe Lagerkräfte in Y | 0.00 | kN | |
| Summe Belastung in Richtung Z | 70.81 | kN | |
| Summe Lagerkräfte in Z | 70.81 | kN | Abweichung 0.00% |
| Resultierende der Reaktionen um X | 0.000 | kNm | Im Schwerpunkt des Modells (X:-1008.850, Y:2000.000, Z:-1809.490 mm) |
| Resultierende der Reaktionen um Y | 5.918 | kNm | Im Schwerpunkt des Modells |
| Resultierende der Reaktionen um Z | 0.000 | kNm | Im Schwerpunkt des Modells |
| Max. Verschiebung in X | -0.8 | mm | FE-Knoten Nr. 995 (X: -1967.6, Y: 2000.0, Z: -3545.9 mm) |
| Max. Verschiebung in Y | 0.1 | mm | FE-Knoten Nr. 26031 (X: -1495.2, Y: 0.0, Z: -2779.3 mm) |
| Max. Verschiebung in Z | 0.5 | mm | FE-Knoten Nr. 1006 (X: -2184.9, Y: 1500.0, Z: -3545.9 mm) |
| Max. Verschiebung vektoriell | 0.9 | mm | FE-Knoten Nr. 16 (X: -2184.9, Y: 2000.0, Z: -3545.9 mm) |
| Max. Verdrehung um X | 0.3 | mrad | FE-Knoten Nr. 26037 (X: -1337.8, Y: 0.0, Z: -2523.8 mm) |
| Max. Verdrehung um Y | 0.7 | mrad | FE-Knoten Nr. 6611 (X: -1287.0, Y: 450.1, Z: -2088.7 mm) |
| Max. Verdrehung um Z | 0.5 | mrad | FE-Knoten Nr. 4821 (X: -1630.7, Y: 50.0, Z: -2646.6 mm) |
| Berechnungstheorie | I. Ordnung | | Theorie I. Ordnung (linear) |
| Steffigkeitsreduzierung | | | Querschnitte, Stäbe, Flächen |
| Anzahl der Laststufen | 5 | | |
| Anzahl der Iterationen | 3 | | |
| Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale | 1.E+15 | | |
| Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale | 4.9E+02 | | |
| Determinante der Steifigkeitsmatrix | 7.052E+1202429 | | |
| Unendlich-Norm | 1.171E+15 | | |
| LF11 - Frischbetondruck | | | |
| Summe Belastung in Richtung X | 2.29 | kN | |
| Summe Lagerkräfte in X | 2.29 | kN | Abweichung 0.00% |
| Summe Belastung in Richtung Y | 0.00 | kN | |
| Summe Lagerkräfte in Y | 0.00 | kN | |
| Summe Belastung in Richtung Z | 73.21 | kN | |
| Summe Lagerkräfte in Z | 73.21 | kN | Abweichung -0.00% |
| Resultierende der Reaktionen um X | 0.000 | kNm | Im Schwerpunkt des Modells (X:-1008.850, Y:2000.000, Z:-1809.490 mm) |
| Resultierende der Reaktionen um Y | 2.196 | kNm | Im Schwerpunkt des Modells |
| Resultierende der Reaktionen um Z | 0.000 | kNm | Im Schwerpunkt des Modells |
| Max. Verschiebung in X | 2.2 | mm | FE-Knoten Nr. 10053 (X: -1364.0, Y: 4000.0, Z: -2566.3 mm) |
| Max. Verschiebung in Y | -1.0 | mm | FE-Knoten Nr. 25814 (X: -1390.2, Y: 4000.0, Z: -2608.9 mm) |
| Max. Verschiebung in Z | -1.4 | mm | FE-Knoten Nr. 10053 (X: -1364.0, Y: 4000.0, Z: -2566.3 mm) |
| Max. Verschiebung vektoriell | 2.6 | mm | FE-Knoten Nr. 10053 (X: -1364.0, Y: 4000.0, Z: -2566.3 mm) |
| Max. Verdrehung um X | -3.2 | mrad | FE-Knoten Nr. 25808 (X: -1232.8, Y: 4000.0, Z: -2353.4 mm) |
| Max. Verdrehung um Y | -6.2 | mrad | FE-Knoten Nr. 10019 (X: -472.0, Y: 4000.0, Z: -1118.7 mm) |
| Max. Verdrehung um Z | -5.1 | mrad | FE-Knoten Nr. 10053 (X: -1364.0, Y: 4000.0, Z: -2566.3 mm) |
| Berechnungstheorie | I. Ordnung | | Theorie I. Ordnung (linear) |
| Steffigkeitsreduzierung | | | Querschnitte, Stäbe, Flächen |
| Anzahl der Laststufen | 5 | | |
| Anzahl der Iterationen | 3 | | |
| Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale | 1.E+15 | | |
| Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale | 4.9E+02 | | |
| Determinante der Steifigkeitsmatrix | 2.709E+1202968 | | |
| Unendlich-Norm | 1.171E+15 | | |

Abb. B.1: Summe der Vertikallasten aus Eigengewicht des Betons (Lastfall 2) und Frischbetondruck (Lastfall 11)

B.2 Ergänzung zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion 60°

B.2.1 Lastaufbringung

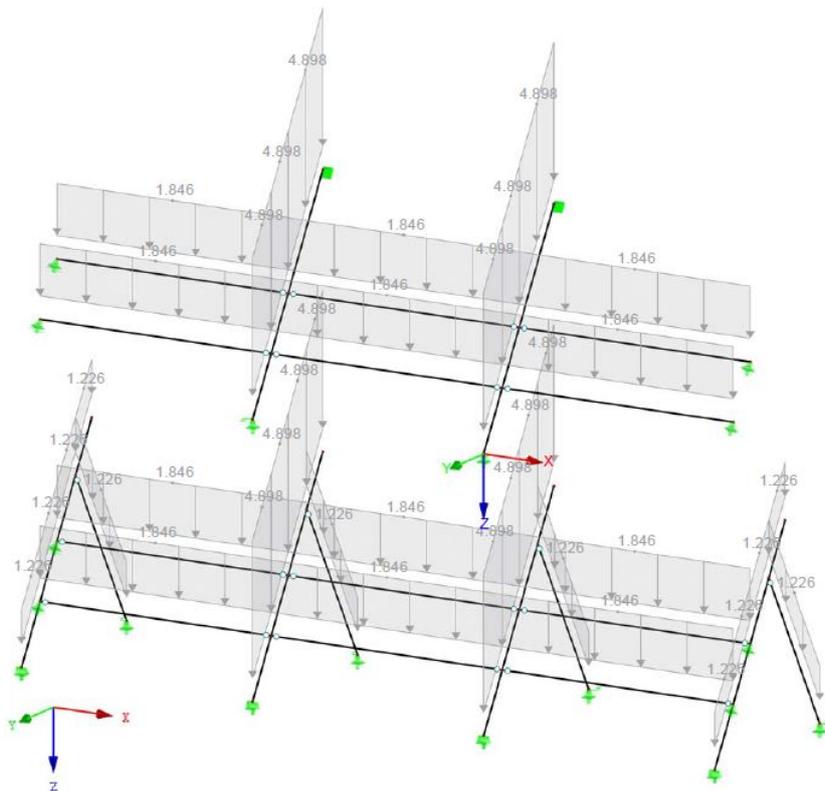


Abb. B.2: Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion

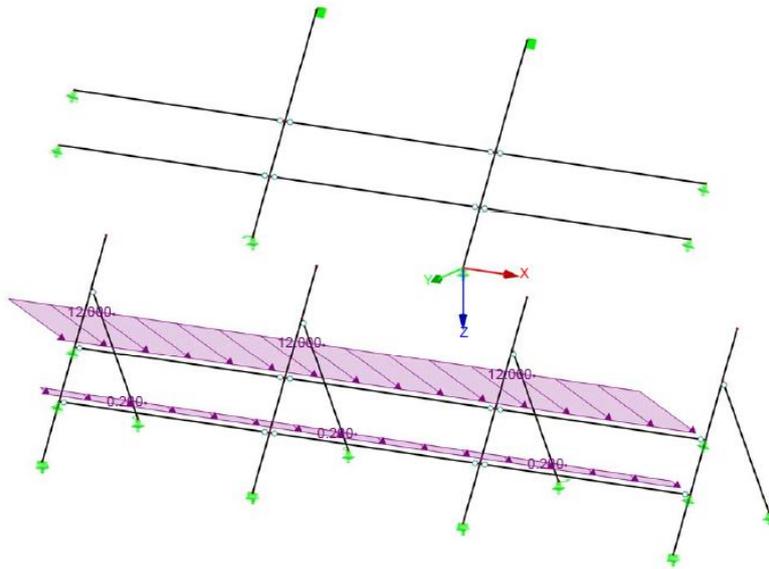


Abb. B.3: Lasten aus Eigengewicht der SCSC-Platten

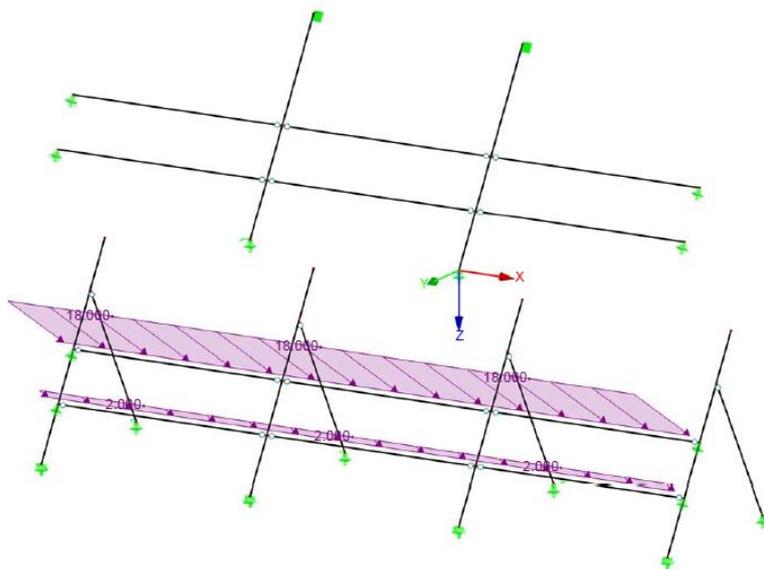


Abb. B.4: Lasten aus Eigengewicht des Betons ohne Frischbetondruck

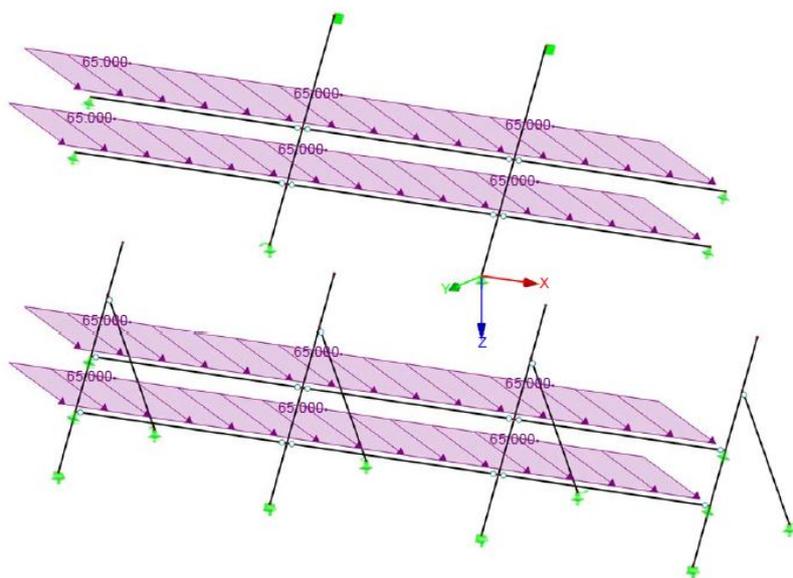
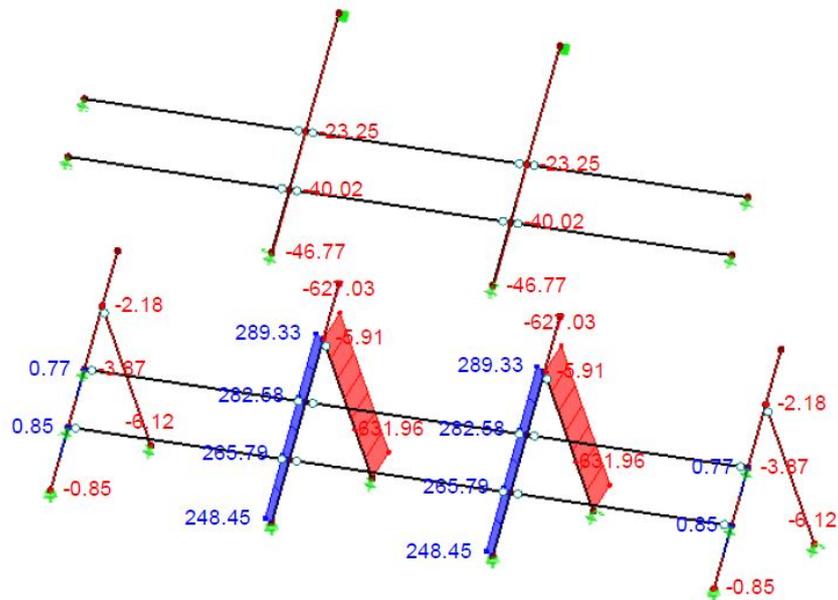


Abb. B.5: Lasten aus Frischbetondruck

B.2.2 Ergebnisse - Schnittgrößen

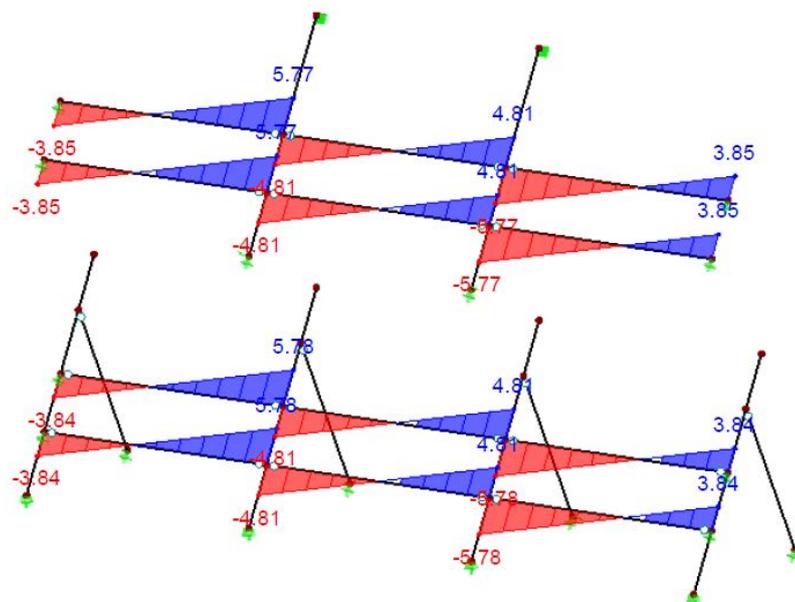
LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
 Schnittgrößen N
 Lagerreaktionen[kN]



Max N: 289.33, Min N: -631.96 [kN]

Abb. B.6: Schnittgrößen N aus Lastkombination 1

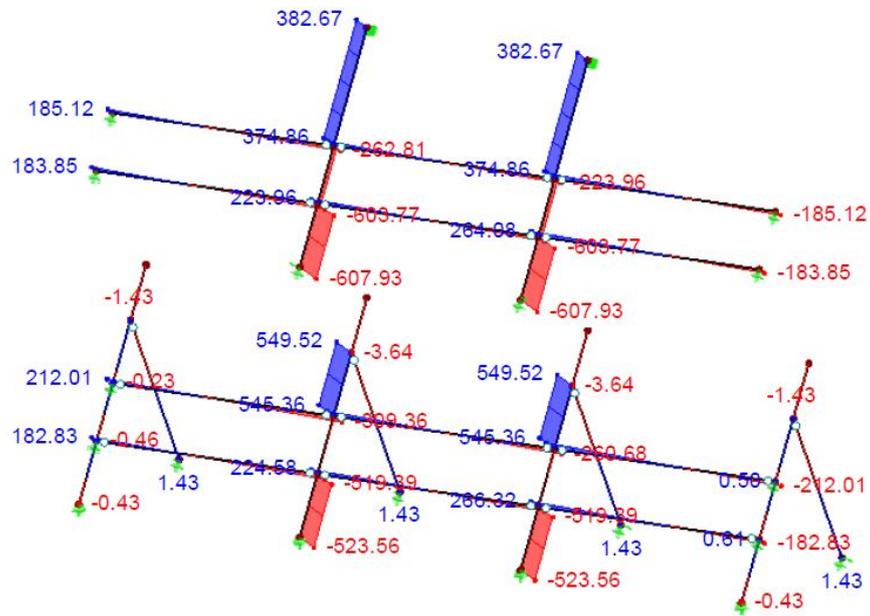
LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
 Schnittgrößen V-y
 Lagerreaktionen[kN]



Max V-y: 5.78, Min V-y: -5.78 [kN]

Abb. B.7: Schnittgrößen Vy aus Lastkombination 1

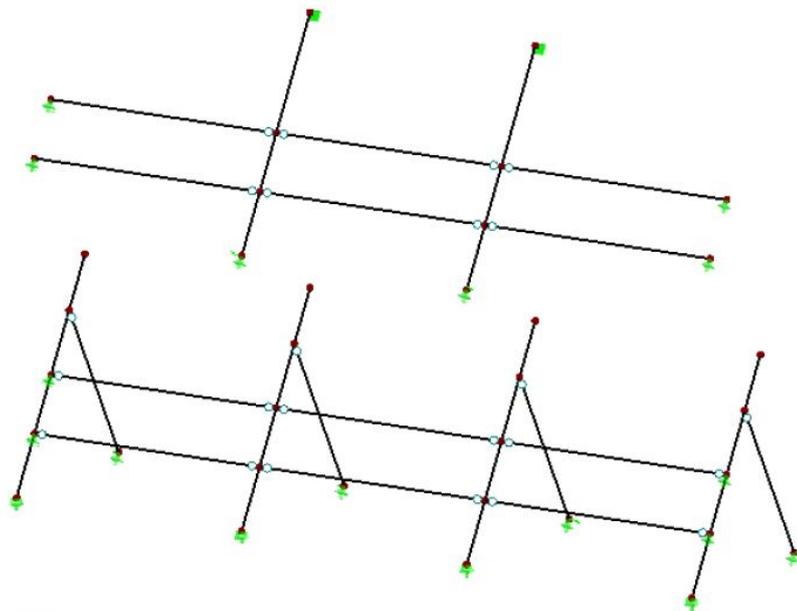
LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
 Schnittgrößen V-z
 Lagerreaktionen[kN]



Max V-z: 549.52, Min V-z: -607.93 [kN]

Abb. B.8: Schnittgrößen Vz aus Lastkombination 1

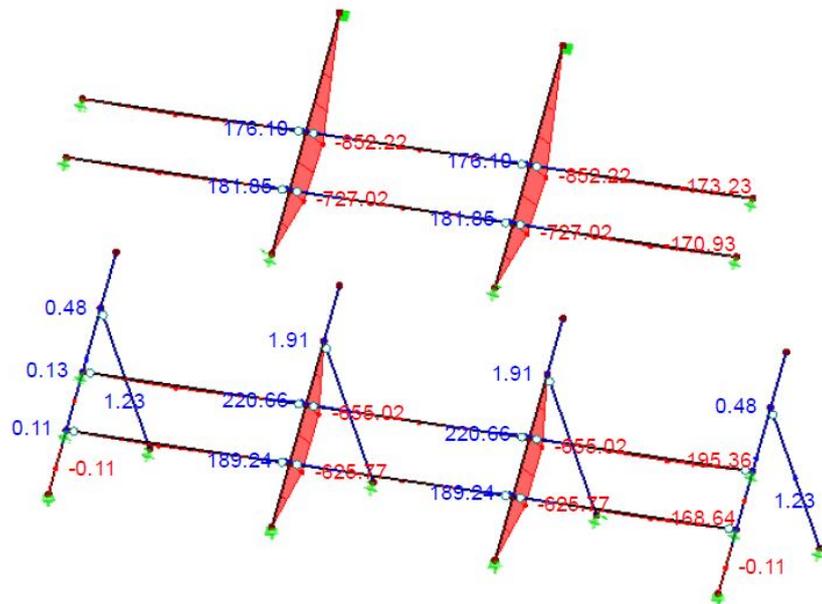
LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
 Schnittgrößen M-T
 Lagerreaktionen[kN]



Max M-T: 0.00, Min M-T: 0.00 [kNm]

Abb. B.9: Schnittgrößen Mt aus Lastkombination 1

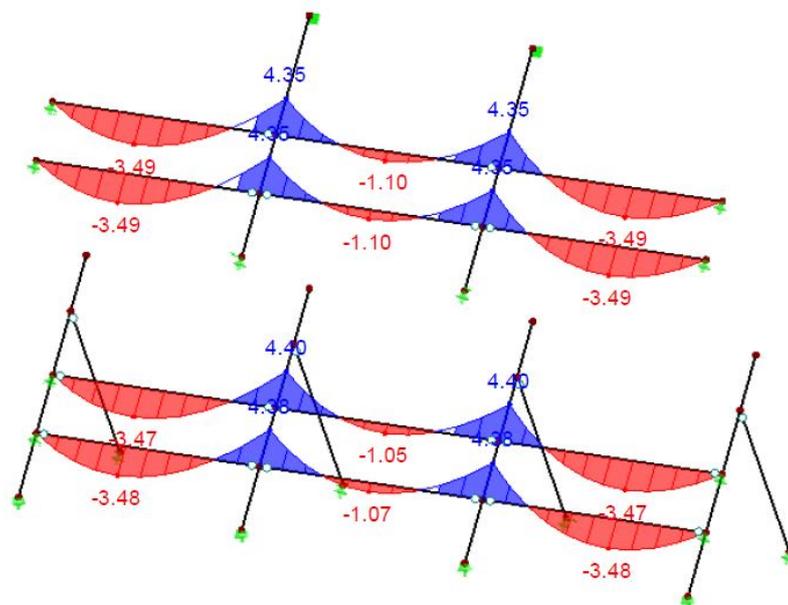
LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
 Schnittgrößen M-y
 Lagerreaktionen[kN]



Max M-y: 220.66, Min M-y: -852.22 [kNm]

Abb. B.10: Schnittgrößen My aus Lastkombination 1

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
 Schnittgrößen M-z
 Lagerreaktionen[kN]



Max M-z: 4.40, Min M-z: -3.49 [kNm]

Abb. B.11: Schnittgrößen Mz aus Lastkombination 1

B.2.3 Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen

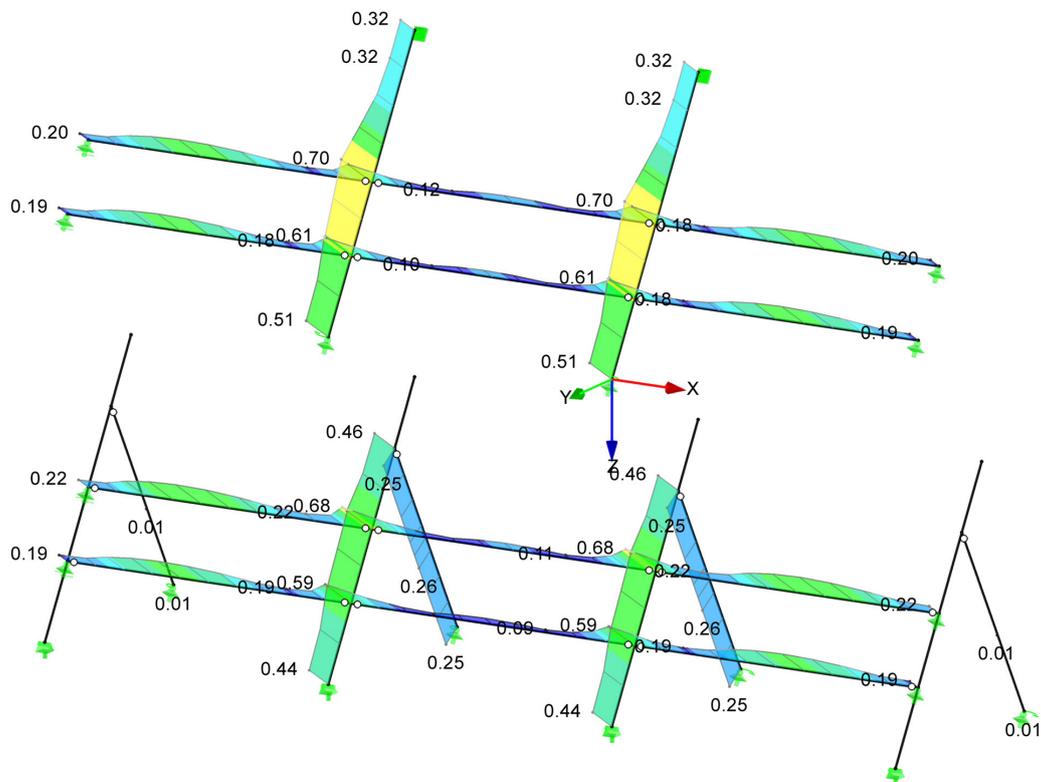


Abb. B.12: Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombination 1 und 2

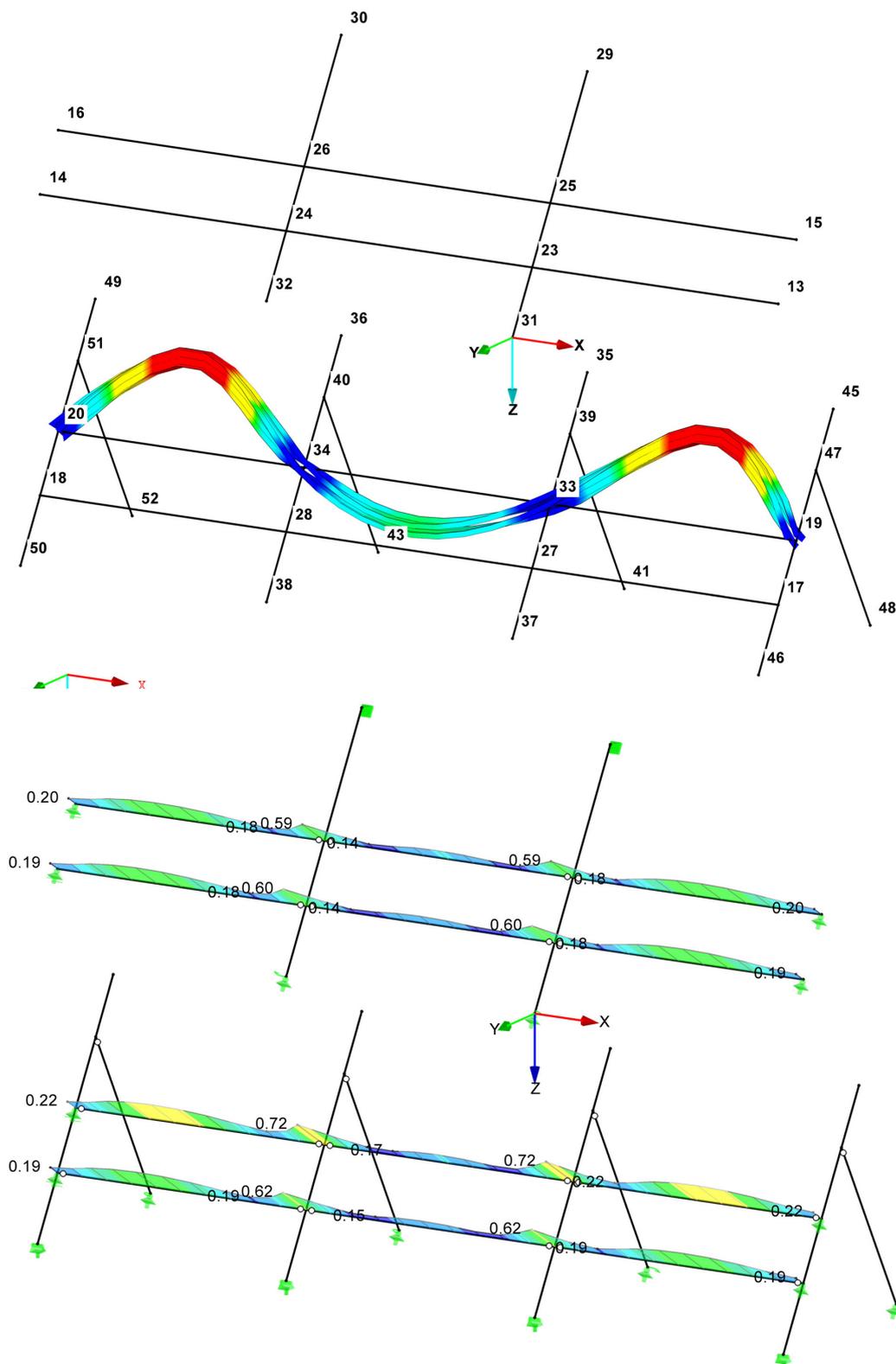


Abb. B.13: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.4**) der **Sekundärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Die Bilder oben zeigen die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen für “Schalung oben“ und “Schalung Unten“

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|----------------|---------|-------------------|----------------|---------|-------|-------|-----------|
| | | möglich | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] |
| 3 | ☑ | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 4.533 | 4.533 |
| 4 | ☑ | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 4.533 | 4.533 |
| 7 | ☑ | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 4.533 | 4.533 |
| 8 | ☑ | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 0.33 | 4.533 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 4.533 | 4.533 |

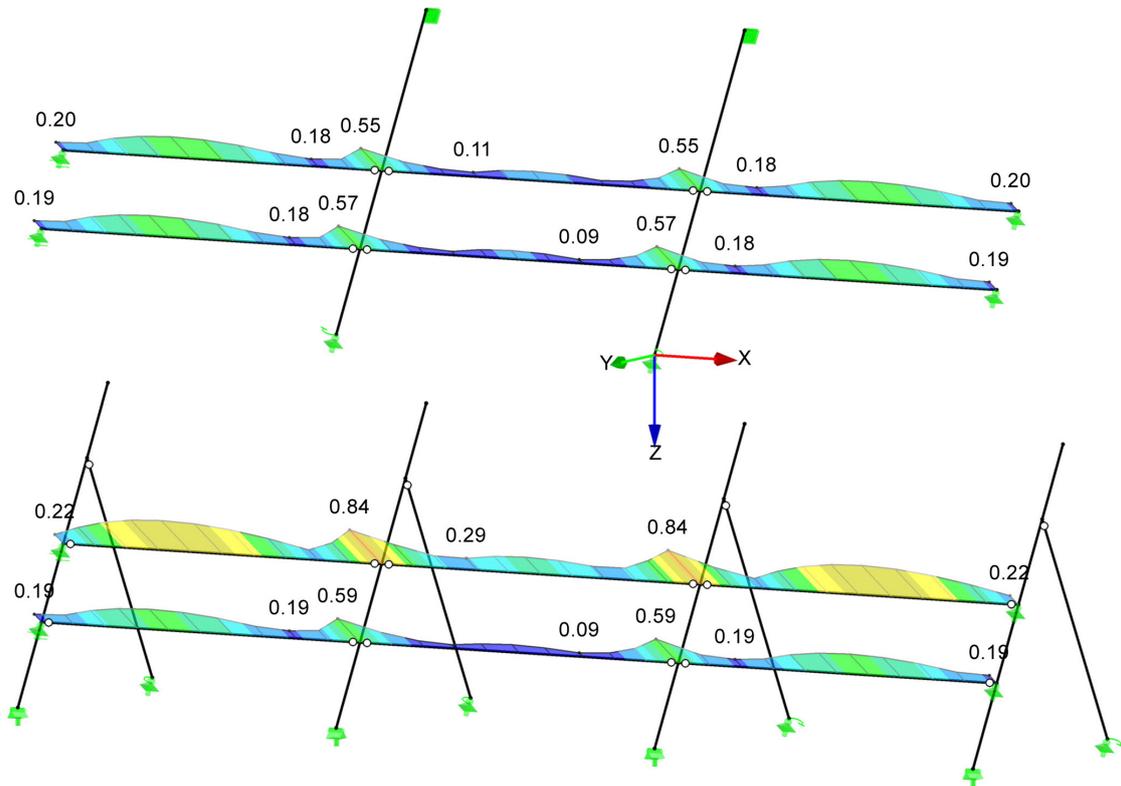


Abb. B.14: Elastische Spannungs- und Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.2) der Sekundärkonstruktion für die Lastkombination 1 und 2; Das Bild oben zeigt die manuell definierten Knicklängen am Ersatzstab; die Bilder unten zeigen die Spannungs- und Stabilitätsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen für "Schalung oben" und "Schalung Unten"

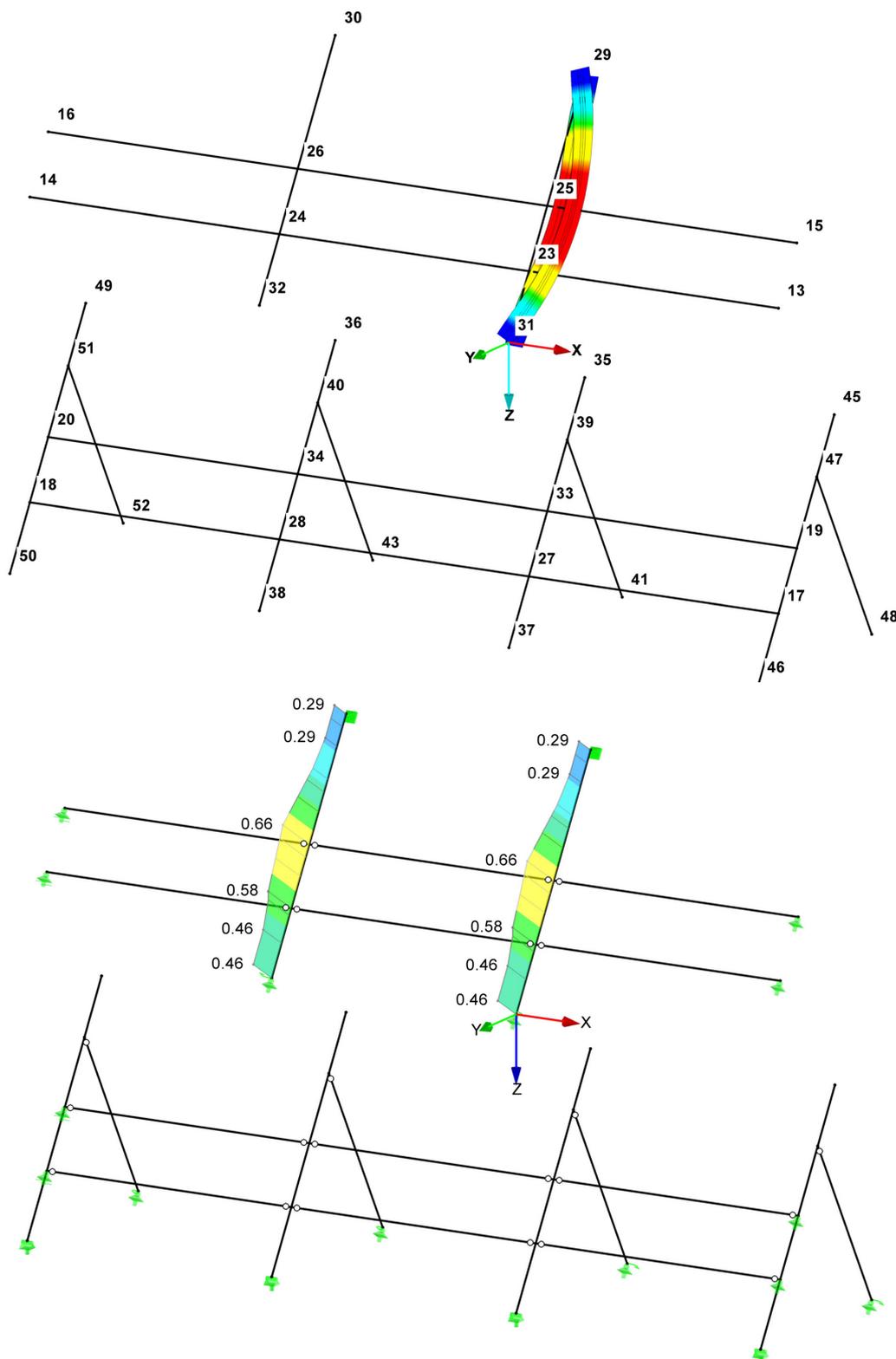


Abb. B.15: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.4) der Primärkonstruktion für die Lastkombination 1 und 2; Die Bilder oben zeigen die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen für “Schalung oben“ und “Schalung Unten“

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 4.550 | 4.550 |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 4.550 | 4.550 |

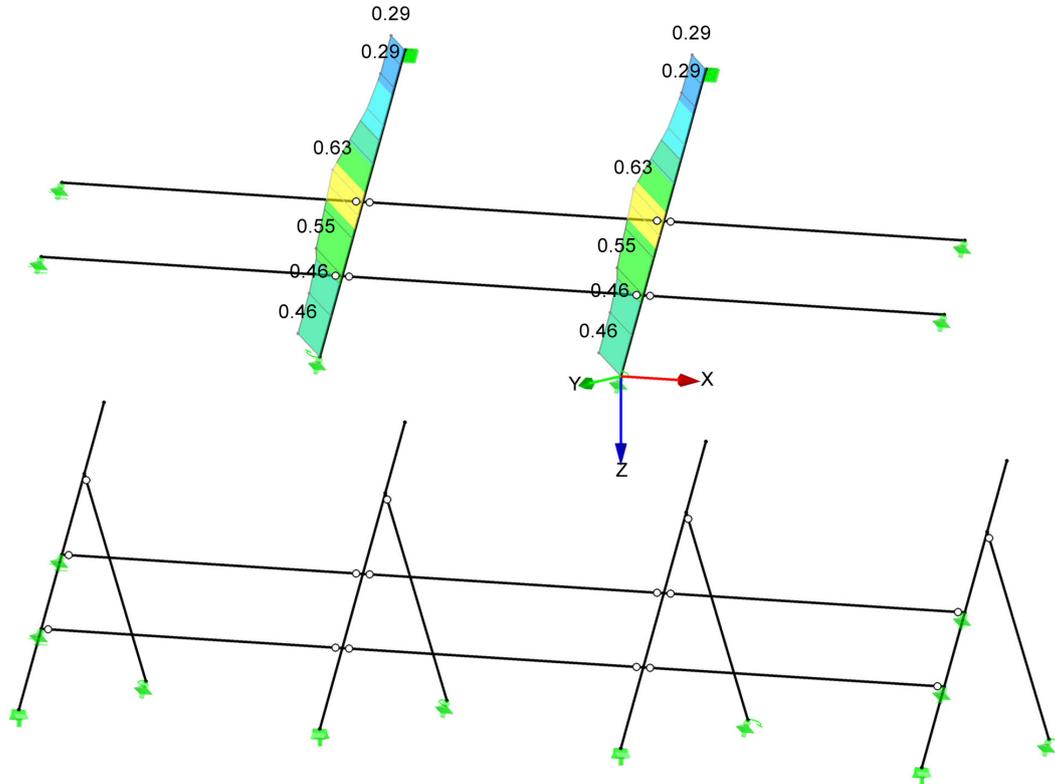


Abb. B.16: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.1**) der **Primärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Das Bild oben zeigt die manuell definierten Knicklängen am Ersatzstab; die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen für "Schalung oben" und "Schalung Unten"

1.5 KNICKLÄNGEN - STÄBE

| Stab Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|----------|-----------------|--------------------|------------|--------------------|---------|------------|-------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{or,y}$ | $L_{or,y}$ [m] | möglich | $k_{or,z}$ | $L_{or,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 35 | ☑ | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 3.446 | 3.446 |
| 36 | ☑ | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 3.446 | 3.446 |
| 41 | ☑ | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 3.446 | 3.446 |
| 46 | ☑ | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.00 | 3.446 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 3.446 | 3.446 |

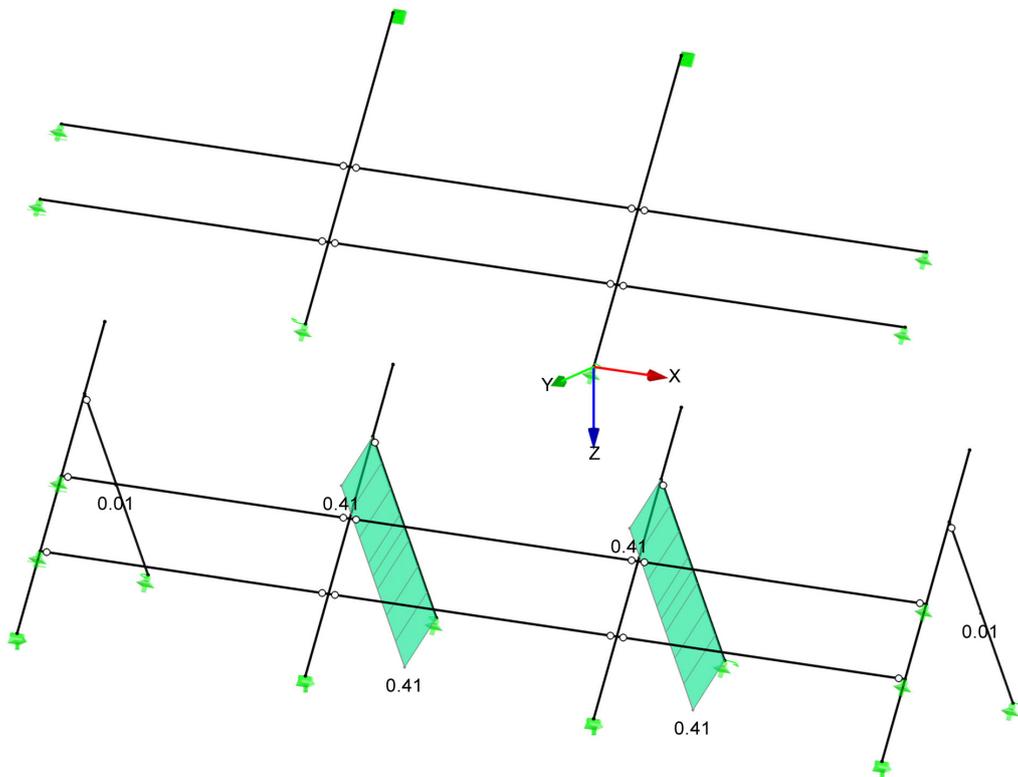


Abb. B.17: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.1) der Aussteifungsstreben für die Lastkombination 1 und 2; Das Bild oben zeigt die manuell definierten Knicklängen am Ersatzstab; die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen für "Schalung oben" und "Schalung Unten"

B.2.4 Detailbemessung Auflagersituation

B.2.4.1 Spannstangen

| Name | Stab \varnothing | Betonstahl | Gewindegerollt | Spannungsquerschnitt mm^2 | Schäl \varnothing mm | $S_{\text{Bruch,min}}$ N/mm^2 | Grenzzugkraft $N_{R,d}$ kN | Lastfälle (H,HZ nach der alten DIN) | |
|-----------------------------|--------------------|------------|----------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| | | | | | | | | $Y_F=1,5$ (H) kN | $Y_F=1,35$ (H) kN |
| Istor R 55 \varnothing 12 | 12 | B550B | M 12x1,75 | 84,3 | 10,8 | 620 | 37,6 | 25,1 | 27,9 |
| Istor R 55 \varnothing 14 | 14 | B550B | M 14x2 | 115,4 | 12,7 | 620 | 51,5 | 34,3 | 38,2 |
| Istor R 55 \varnothing 16 | 16 | B550B | M 16x2 | 156,7 | 14,7 | 620 | 70,0 | 46,6 | 51,8 |
| Istor R 55 \varnothing 20 | 20 | B550B | M 20x2 | 258,0 | 18,7 | 620 | 115,2 | 76,8 | 85,3 |
| Istor R 55 \varnothing 26 | 26 | B550B | M 27x3 | 459,4 | 25,0 | 620 | 205,1 | 136,7 | 151,9 |
| Istor R 55 \varnothing 30 | 30 | B550B | M 30x2 | 621,0 | 28,9 | 620 | 277,2 | 184,8 | 205,3 |
| Istor R 55 \varnothing 36 | 36 | B550B | M 37x3 | 918,0 | 35,0 | 620 | 409,8 | 273,2 | 303,6 |
| Istor R 55 \varnothing 40 | 40 | B550B | M 42x4,5 | 1121,0 | 39,0 | 620 | 500,4 | 333,6 | 370,7 |
| Istor R 55 \varnothing 50 | 50 | GST 550 | M 49x3 | 1675,0 | 47,0 | 620 | 747,7 | 498,5 | 553,9 |

Grenzzugkraft nach
EN 1993-1-1:2005
EN 1993-1-8:2005

Abb. B.18: Bemessungstabelle Fa. Istor⁴

Gewählt wurde eine Spannstange von Fa. Istor - R 55 \varnothing 26 $\rightarrow N_{R,d} = 205,1 \text{ kN}$

Hauptträger: $N_{E,d} = 385 \text{ kN} \leq 2 \cdot N_{R,d} = 410,2 \text{ kN}$

Sekundärträger: $N_{E,d} = 190 \text{ kN} \leq N_{R,d} = 205,1 \text{ kN}$

B.2.4.2 Anbindung Sockelträger

Die Anbindung am Sockelträger erfolgt an einer Seite über eine Schraubverbindung mit 4x M36 8.8. Auf der anderen Seite wird der Primärträger, um Toleranzen in der Dicke der Platte ausgleichen zu können, mittels Futterblechen gegen einen aufgeschweißten Winkel gekleimt. Die Verschraubung an dieser Seite dient lediglich zur seitlichen Lagesicherung und wird in Langlöchern geführt. Die Bemessung wird nach EN 1993-1-8 [20] durchgeführt.

- Schraubverbindung Sockelträger

Die Schraubverbindung ist eine Kategorie A (Scher- /Lochleibungsverbindung) und wird nicht planmäßig vorgespannt. Zwar wird die einwirkende Kraft durch die Aussteifungsstrebe an der unteren Anbindung abgemindert, dennoch wird auf der sicheren Seite liegend mit der vollen Auflagerkraft (aus dem Teilmodell "Schalung Oben") gerechnet.

Abscheren:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (\text{B.1})$$

⁴<http://www.istor.at/images/pdf/spannstangen.pdf>

$$\begin{aligned}\alpha_V &= 0,6 \\ f_{ub} &= 800 \text{ N/mm}^2 \\ A &= 817 \text{ mm}^2; (\text{Spannungsquerschnitt} - M36) \\ \gamma_{M2} &= 1,25\end{aligned}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 817}{1,25} = 313,7 \text{ kN}$$

Lochleibung:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (\text{B.2})$$

$$k_1 = \min(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5) = \min(2,61; 2,61; 2,5)$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0) = \min(0,9; 2,22; 1,0)$$

$$\alpha_d = \min(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25) = \min(0,91; 0,9)$$

$$e_2 = 60 \text{ mm}$$

$$d_0 = 39 \text{ mm}$$

$$p_2 = 120 \text{ mm}$$

$$e_1 = 89 \text{ mm}$$

$$p_1 = 135 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2; (S235 - \text{Sockelträger})$$

$$d = 36 \text{ mm}$$

$$t = 17 \text{ mm}; \text{Flansch} - \text{HEB240}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$k_1 = 2,50$$

$$\alpha_b = 0,9$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,50 \cdot 0,9 \cdot 800 \cdot 36 \cdot 17}{1,25} = 398,3 \text{ kN}$$

Maßgebend für die Bemessung der Schraubverbindung ist somit die Schertragfähigkeit der Einzelschraube.

$$V_E, d = 610 \text{ kN} \leq 4 \cdot F_{V,Rd} = 1254,8 \text{ kN}$$

- Angeschweißter Winkel auf Sockelträger

Der Winkel wird vorab auf den Sockelträger mit einem gewissen Abstand zur planmäßigen Konstruktionsaußenkante aufgeschweißt. Nach dem Einheben der Platten wird der Spalt zwischen Winkel und Hauptträger mittels Futterblechen ausgefüllt um einen Kraftschluss zu gewährleisten.

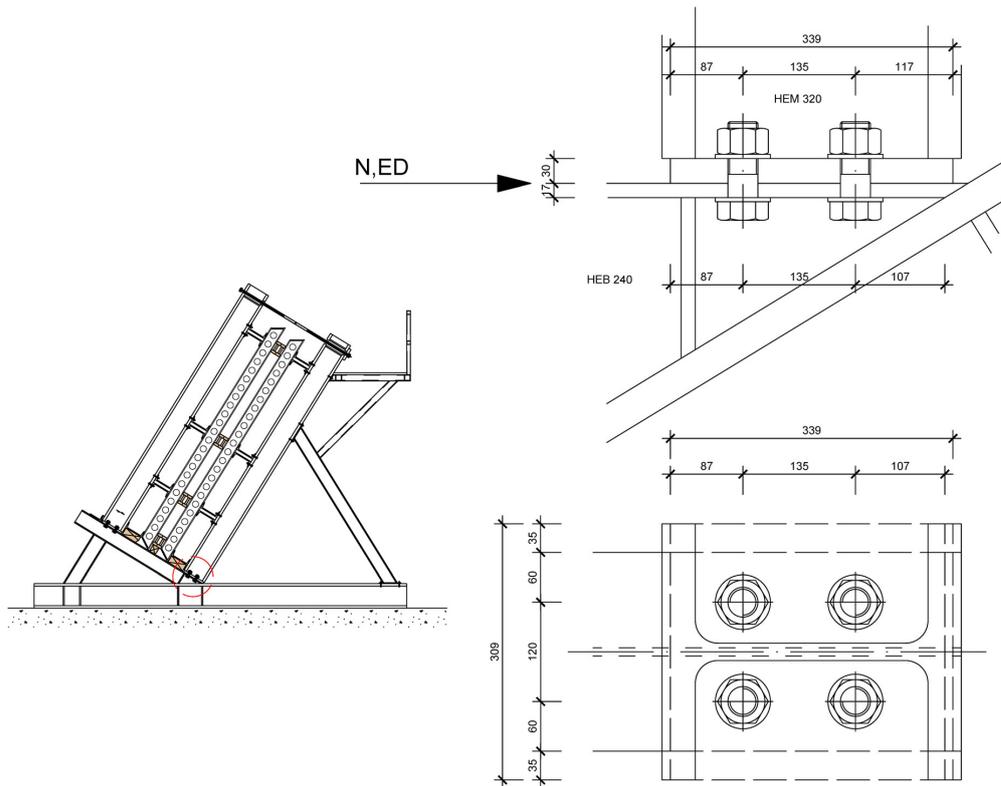


Abb. B.19: Detail - Schraubverbindung Sockelträger

Annahme: Die Last wird an der unteren Kopfplatte ($t=30\text{mm}$) in den Winkel eingeleitet. Somit resultiert aus der Lasteinleitung bei plastischer Lastausbreitung von 1:2,5 keine Biegebeanspruchung im Winkel. Die auftretenden Schubkräfte werden über die Schweißnähte zwischen Winkel und Sockelträger abgetragen.

Schweißnahtberechnung mit vereinfachtem Verfahren:

Der Winkel wird zwar umlaufend verschweißt, dennoch übernehmen die Schweißnähte an den Längsseiten des Winkels die gesamte Schubkraft.

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (\text{B.3})$$

$$F_{w,Ed} = V_{E,d}/l \quad (\text{B.4})$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad (\text{B.5})$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (\text{B.6})$$

$$\beta_w = 0,8$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$a = 8 \text{ mm; gewählt}$$

$$l = 2 \cdot 200 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 610000/400 = 1525 \text{ N/mm}$$

$$f_{vw,d} = \frac{360/\sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 207,8 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207,8 \cdot 8 = 1662,4 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

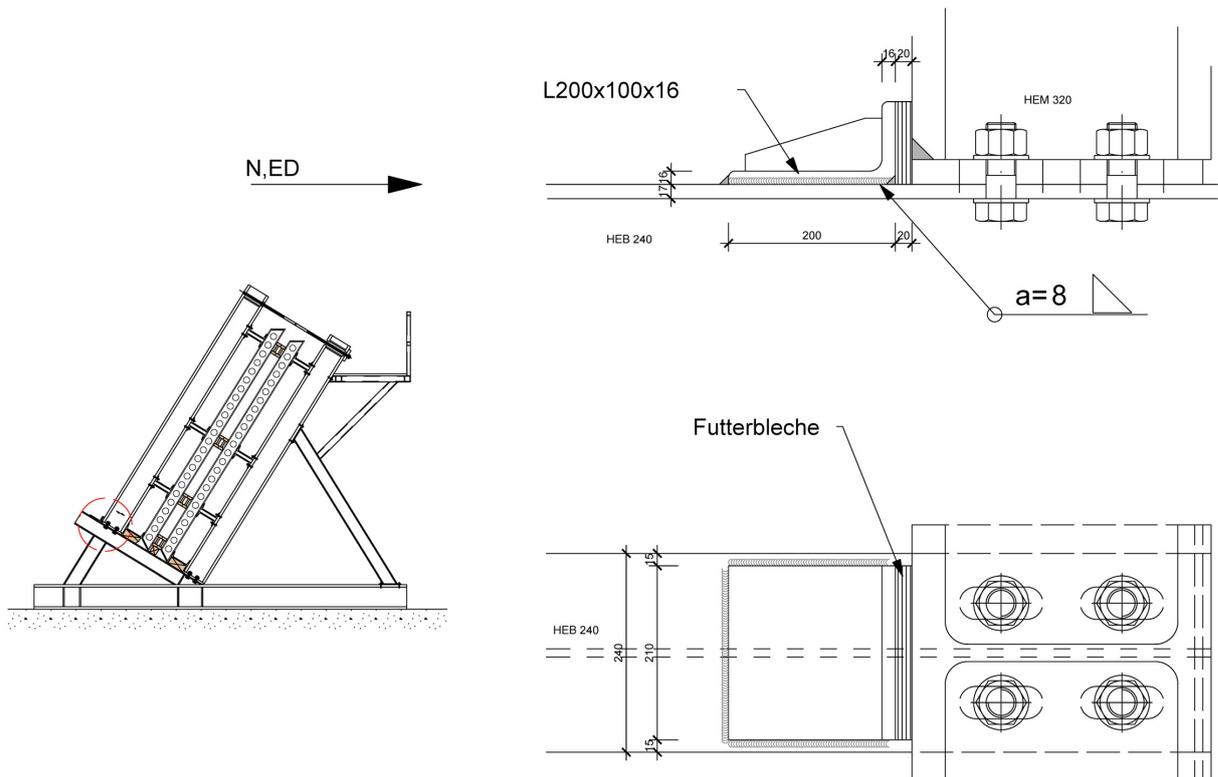


Abb. B.20: Detail - Aufgeschweißter Winkel auf Sockelträger

B.3 Ergänzung zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion 30°

B.3.1 Lastaufbringung

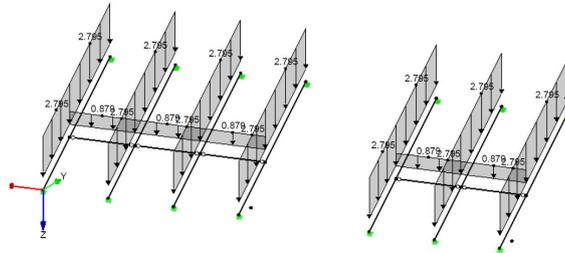


Abb. B.21: Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion

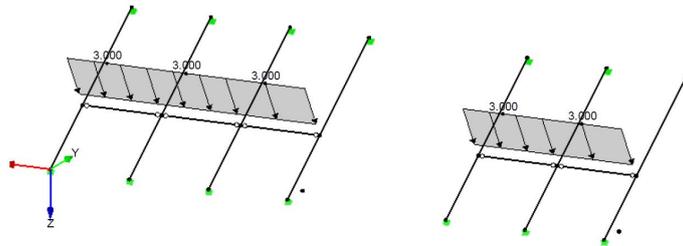


Abb. B.22: Lasten aus Eigengewicht der SCSC-Platten

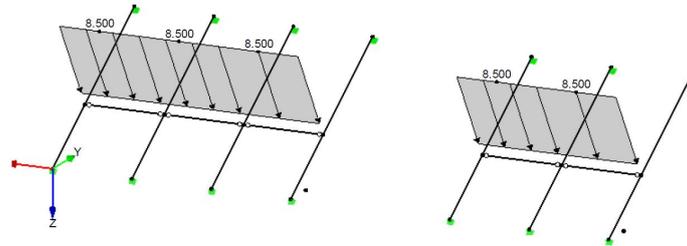


Abb. B.23: Lasten aus Eigengewicht des Betons ohne Frischbetondruck

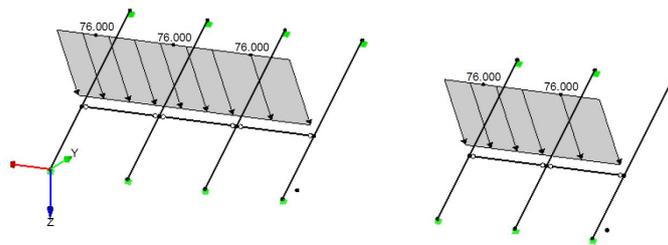
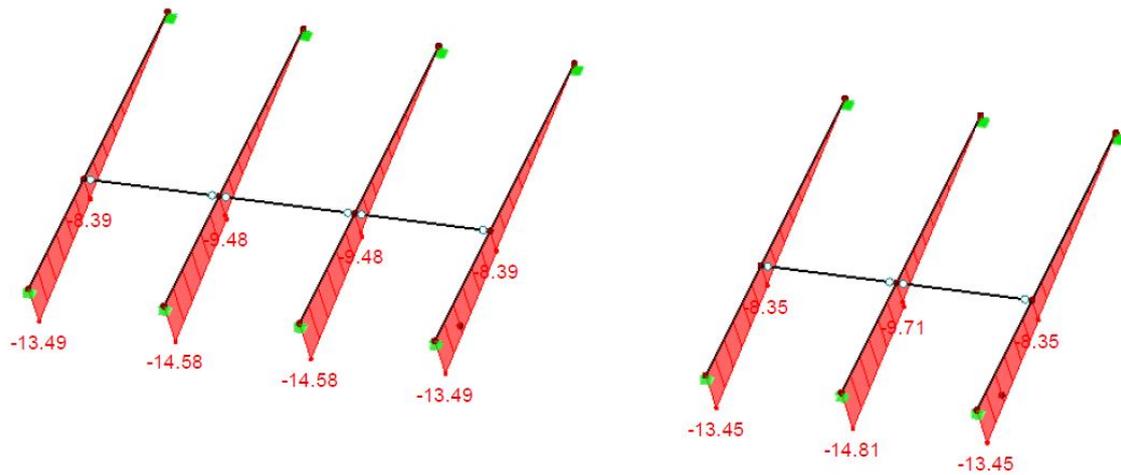


Abb. B.24: Lasten aus Frischbetondruck

B.3.2 Ergebnisse - Schnittgrößen

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
Schnittgrößen N

Isometrie

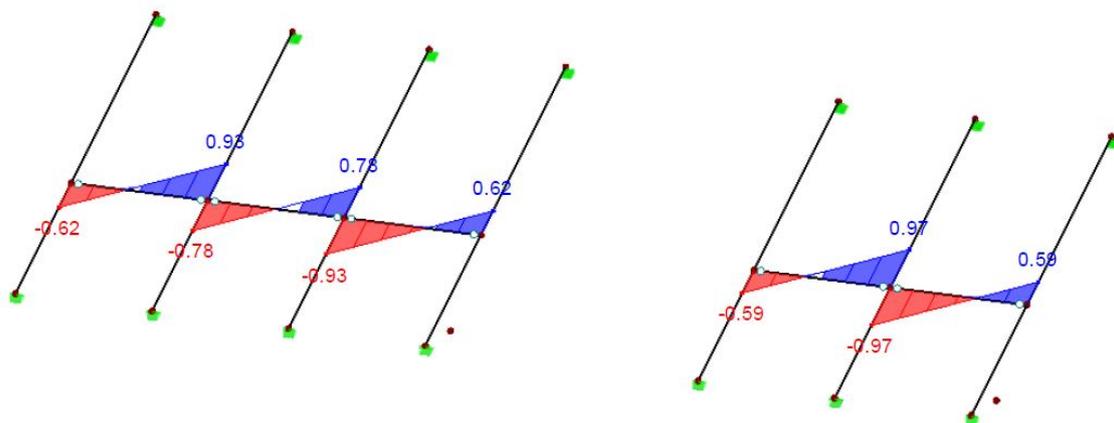


Max N: 0.00, Min N: -14.81 [kN]

Abb. B.25: Schnittgrößen N aus Lastkombination 1

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
Schnittgrößen V-y

Isometrie

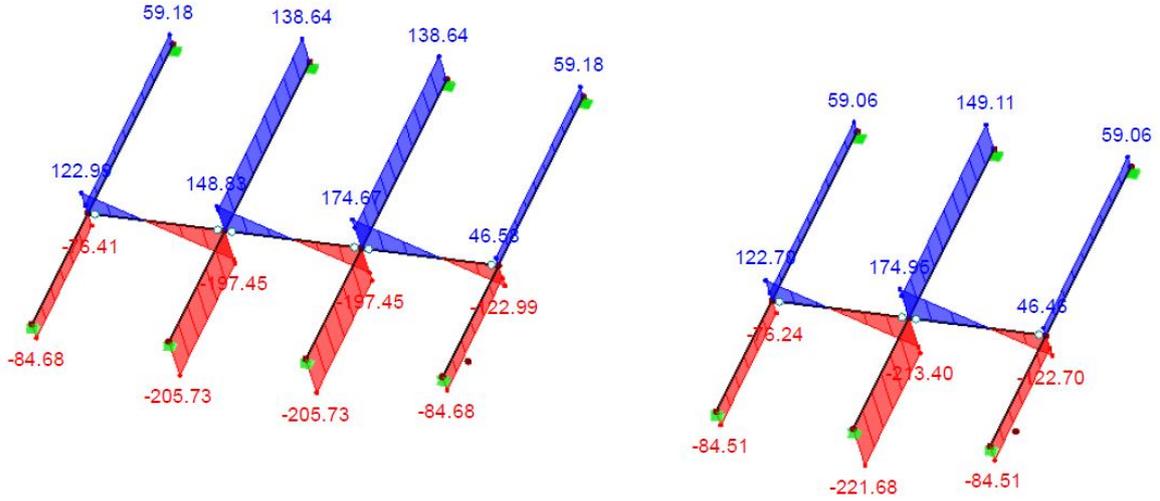


Max V-y: 0.97, Min V-y: -0.97 [kN]

Abb. B.26: Schnittgrößen Vy aus Lastkombination 1

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
Schnittgrößen V-z

Isometrie

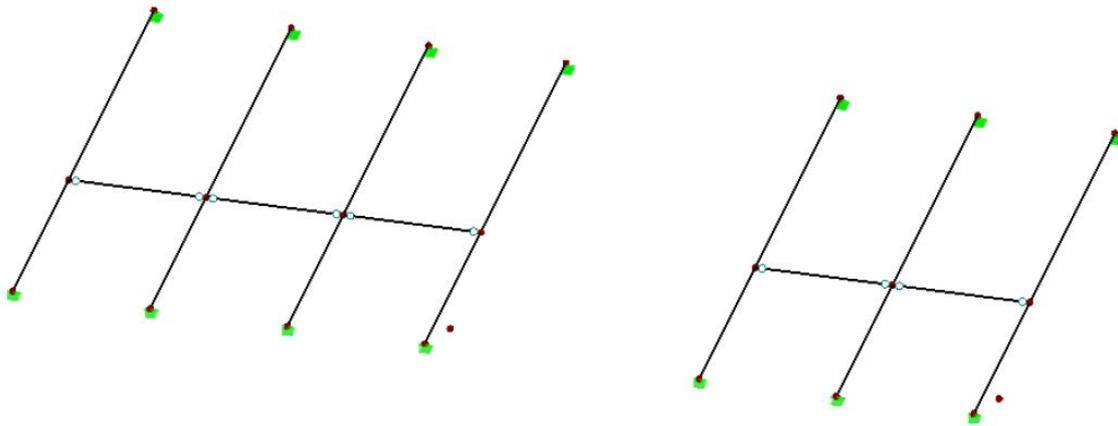


Max V-z: 174.95, Min V-z: -221.68 [kN]

Abb. B.27: Schnittgrößen Vz aus Lastkombination 1

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
Schnittgrößen M-T

Isometrie

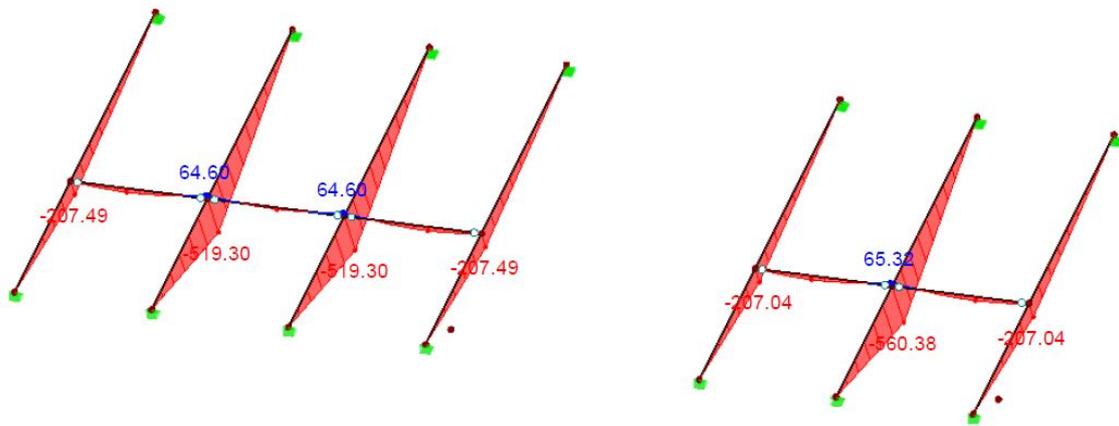


Max M-T: 0.00, Min M-T: 0.00 [kNm]

Abb. B.28: Schnittgrößen Mt aus Lastkombination 1

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
Schnittgrößen M-y

Isometrie

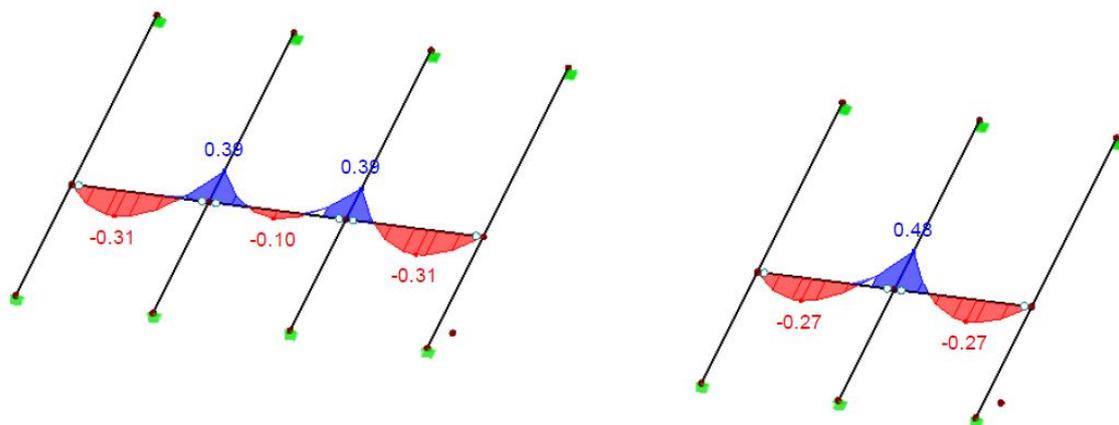


Max M-y: 65.32, Min M-y: -560.38 [kNm]

Abb. B.29: Schnittgrößen My aus Lastkombination 1

LK 1: 1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11
Schnittgrößen M-z

Isometrie



Max M-z: 0.48, Min M-z: -0.31 [kNm]

Abb. B.30: Schnittgrößen Mz aus Lastkombination 1

B.3.3 Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen

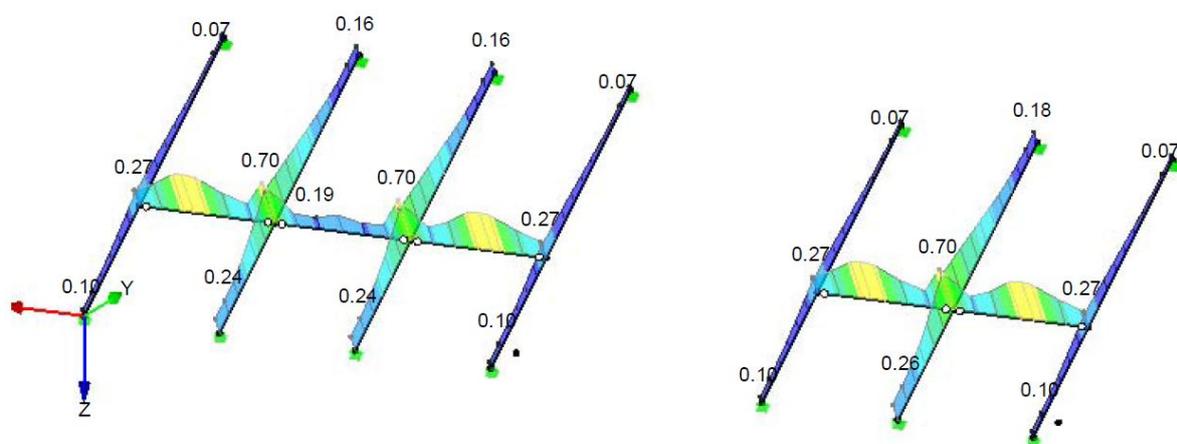


Abb. B.31: Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombination 1 und 2

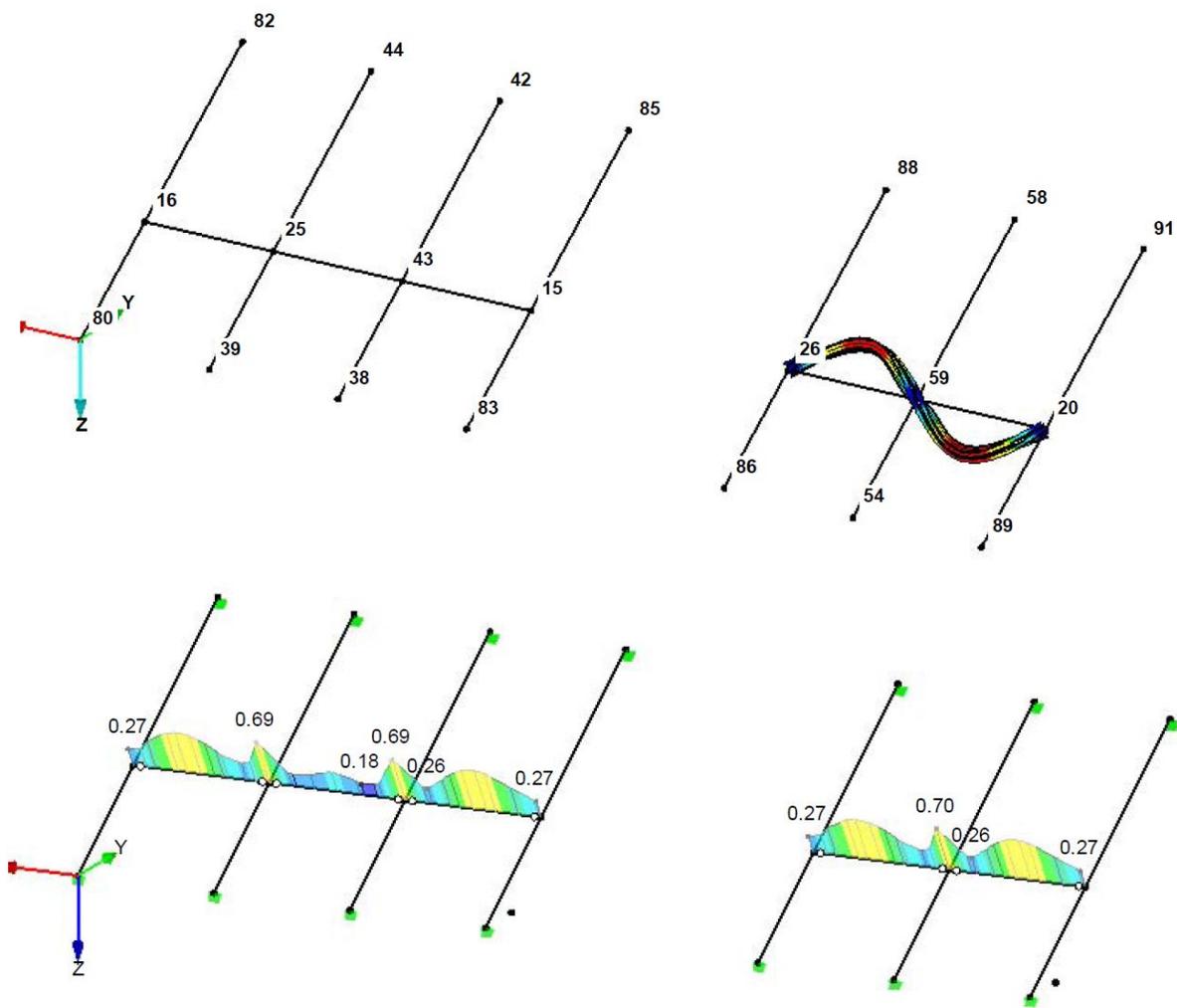


Abb. B.32: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.4**) der **Sekundärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Die Bilder Oben zeigen die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

1.5 KNICKLÄNGEN - STÄBE

| Stab Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|----------|-----------------|--------------------|------------|--------------------|---------|------------|-------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 8 | ☒ | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 2.500 | 2.500 |
| 15 | ☒ | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 2.500 | 2.500 |
| 16 | ☒ | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 2.500 | 2.500 |
| 17 | ☒ | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 2.500 | 2.500 |
| 18 | ☒ | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.00 | 2.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 2.500 | 2.500 |

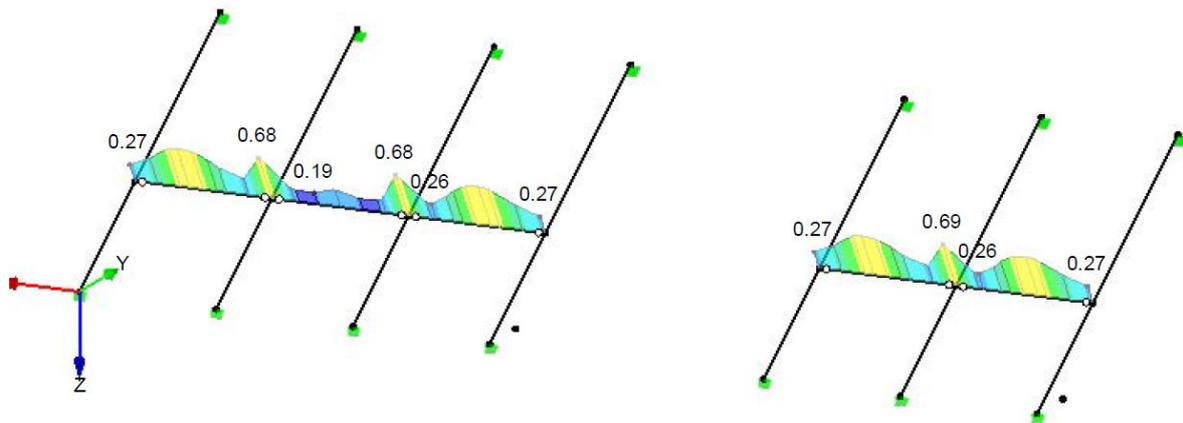


Abb. B.33: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.2**) der **Sekundärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Bild Oben zeigt die manuell definierten Knicklängen; Die Bilder unten zeigen die Spannungs- auslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

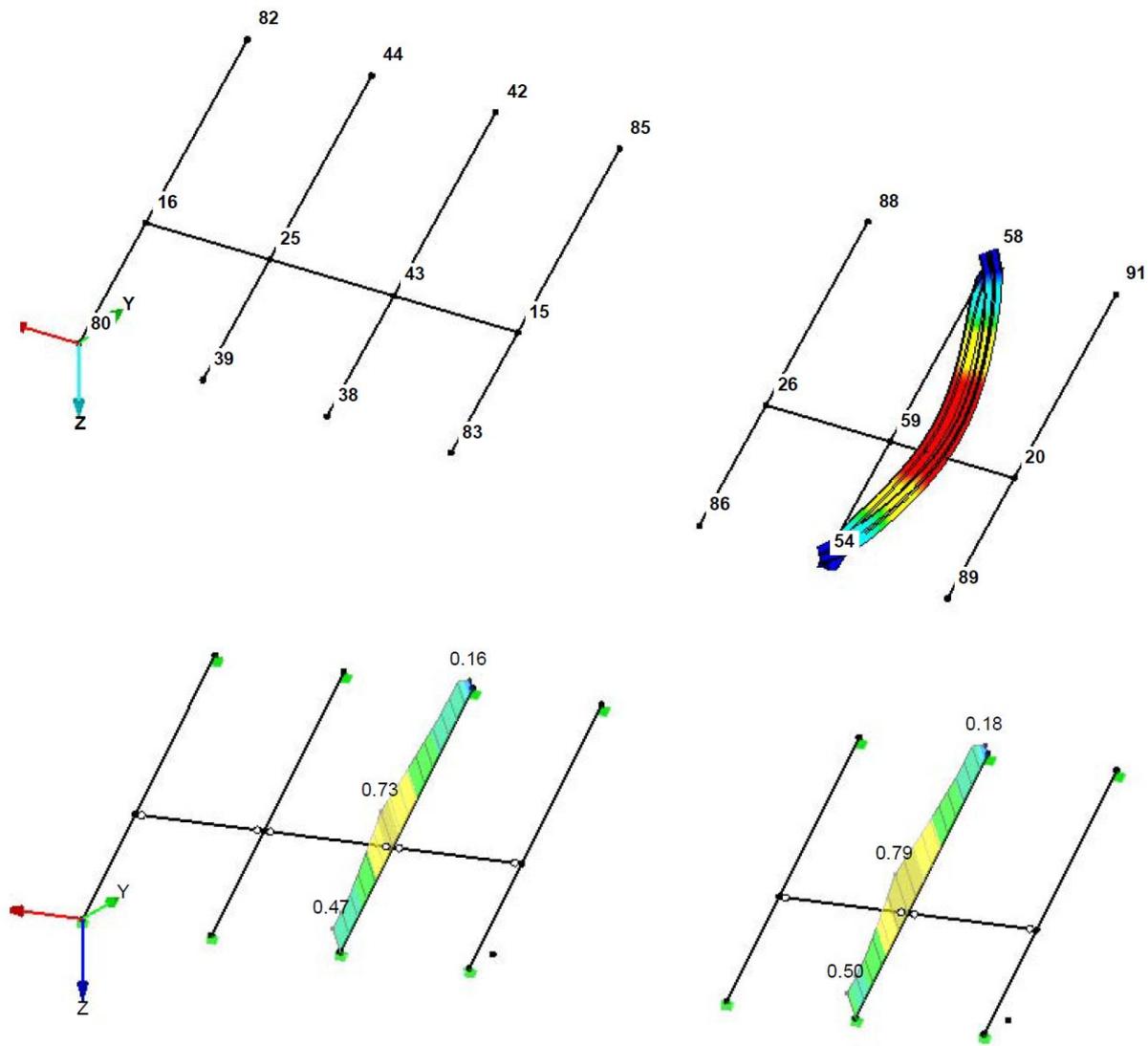


Abb. B.34: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.4**) der **Primärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Die Bilder Oben zeigen die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|---------|------------|-------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{or,y}$ | $L_{or,y}$ [m] | möglich | $k_{or,z}$ | $L_{or,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 3 | ☒ | ☒ | 1.00 | 6.500 | ☒ | 1.00 | 6.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 6.500 | 6.500 |
| 9 | ☒ | ☒ | 1.00 | 6.500 | ☒ | 1.00 | 6.500 | ☒ | 1.0 | 1.0 | 6.500 | 6.500 |

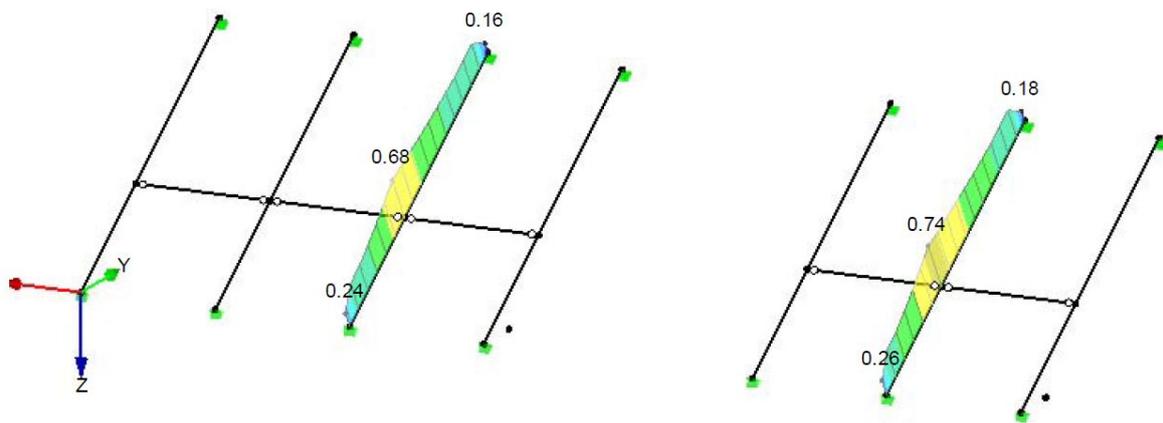


Abb. B.35: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.1**) der **Primärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Bild Oben zeigt die manuell definierten Knicklängen; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

B.4 Ergänzung zur Vordimensionierung der Drehtischkonstruktion

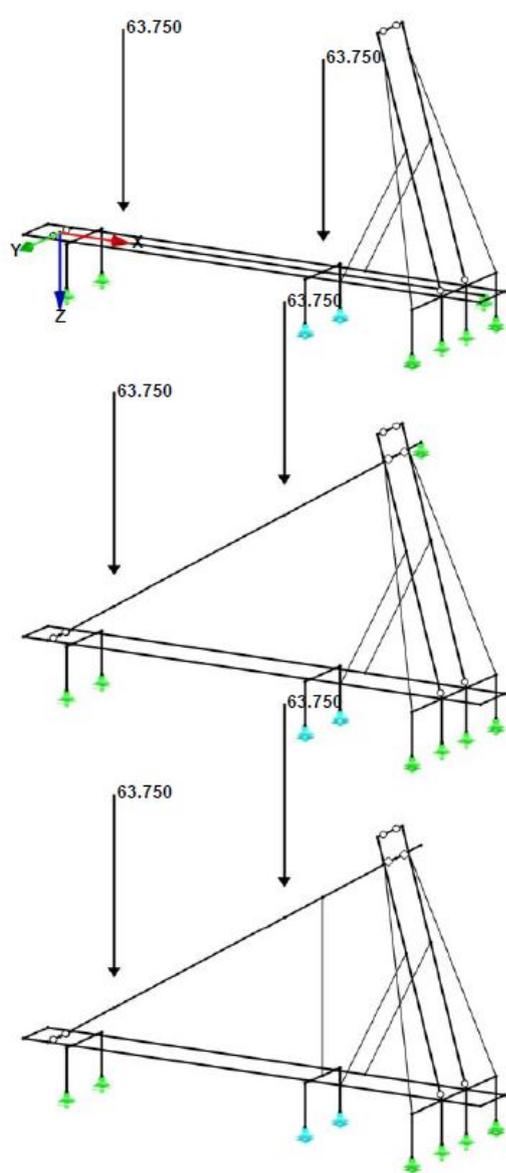
B.4.1 Lastaufbringung und Kombinatorik

| Lastfall | LF-Bezeichnung | EN 1990 ÖNORM Einwirkungskategorie | Eigengewicht - Faktor in Richtung | | | |
|----------|----------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | Aktiv | X | Y | Z |
| LF1 | Eigengewicht | Ständig | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau | Ständig/Nutzlast | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF3 | Ständige Schalungskonstruktion | Ständig/Nutzlast | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF11 | Frischbeton | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF21 | Horizontale Aussteifungslast I | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF22 | Horizontale Aussteifungslast II | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF23 | Horizontale Aussteifungslast III | Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF31 | Wind +X | Wind | <input type="checkbox"/> | | | |
| LF32 | Wind -X | Wind | <input type="checkbox"/> | | | |

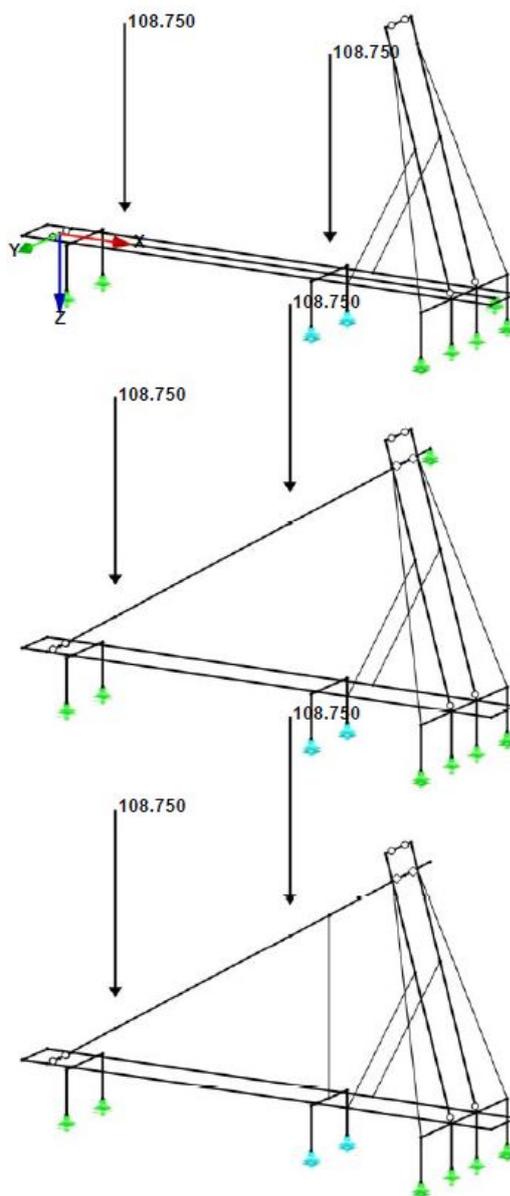
Abb. B.36: Für die Vordimensionierung relevanten Lastfälle

| Lastkombin. | BS | Lastkombination | | Lastfall | | |
|-------------|----|--------------------|-----|----------|------|----------------------------------|
| | | Bezeichnung | Nr. | Faktor | | |
| LK1 | | ULS I | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.35 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 1.50 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF21 | Horizontale Aussteifungslast I |
| | | | 6 | 1.50 | LF31 | Wind +X |
| LK2 | | ULS II | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.35 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 1.50 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF21 | Horizontale Aussteifungslast I |
| | | | 6 | 1.50 | LF32 | Wind -X |
| LK3 | | ULS III | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.35 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 1.50 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF22 | Horizontale Aussteifungslast II |
| | | | 6 | 1.50 | LF31 | Wind +X |
| LK4 | | ULS IV | 1 | 1.35 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.35 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.35 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 1.50 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF23 | Horizontale Aussteifungslast III |
| | | | 6 | 1.50 | LF32 | Wind -X |
| LK11 | | Lagesicherheit I | 1 | 0.90 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 0.90 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 0.90 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 0.90 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF21 | Horizontale Aussteifungslast I |
| | | | 6 | 1.50 | LF31 | Wind +X |
| LK12 | | Lagesicherheit II | 1 | 0.90 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 0.90 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 0.90 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 0.90 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF21 | Horizontale Aussteifungslast I |
| | | | 6 | 1.50 | LF32 | Wind -X |
| LK13 | | Lagesicherheit III | 1 | 0.90 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 0.90 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 0.90 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 0.90 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF22 | Horizontale Aussteifungslast II |
| | | | 6 | 1.50 | LF31 | Wind +X |
| LK14 | | Lagesicherheit IV | 1 | 0.90 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 0.90 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 0.90 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 0.90 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.50 | LF23 | Horizontale Aussteifungslast III |
| | | | 6 | 1.50 | LF32 | Wind -X |
| LK21 | | SLS I | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.00 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 4 | 1.00 | LF21 | Horizontale Aussteifungslast I |
| | | | 5 | 1.00 | LF31 | Wind +X |
| LK22 | | SLS II | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.00 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 4 | 1.00 | LF21 | Horizontale Aussteifungslast I |
| | | | 5 | 1.00 | LF32 | Wind -X |
| LK23 | | SLS III | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.00 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 4 | 1.00 | LF22 | Horizontale Aussteifungslast II |
| LK24 | | SLS IV | 1 | 1.00 | LF1 | Eigengewicht |
| | | | 2 | 1.00 | LF2 | Ständige Brücke - Stahlbau |
| | | | 3 | 1.00 | LF3 | Ständige Schalungskonstruktion |
| | | | 4 | 1.00 | LF11 | Frischbeton |
| | | | 5 | 1.00 | LF23 | Horizontale Aussteifungslast III |
| | | | 6 | 1.00 | LF32 | Wind -X |

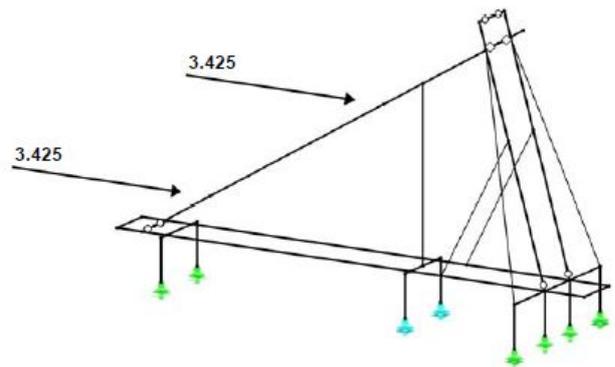
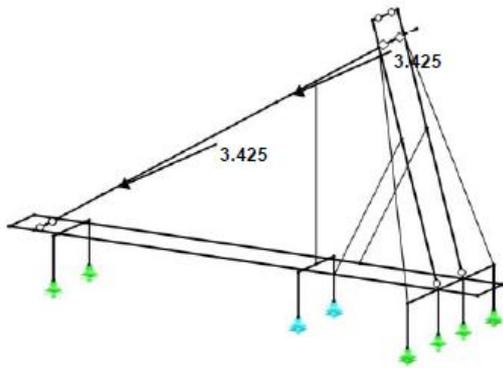
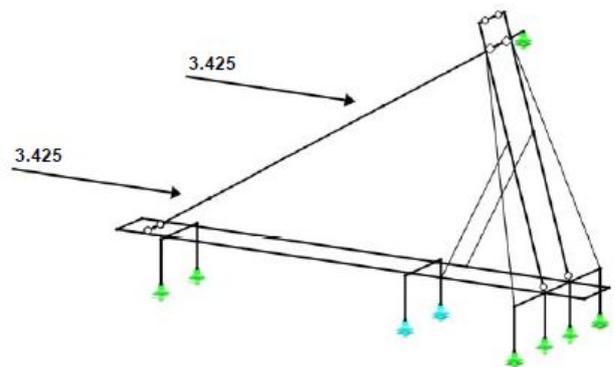
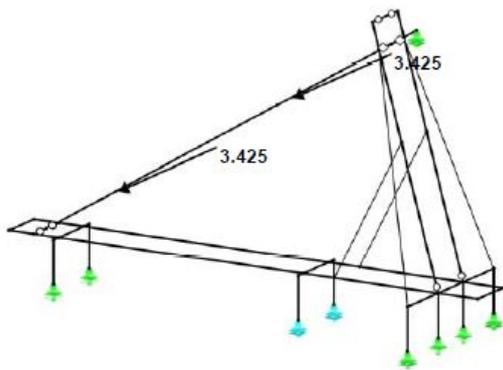
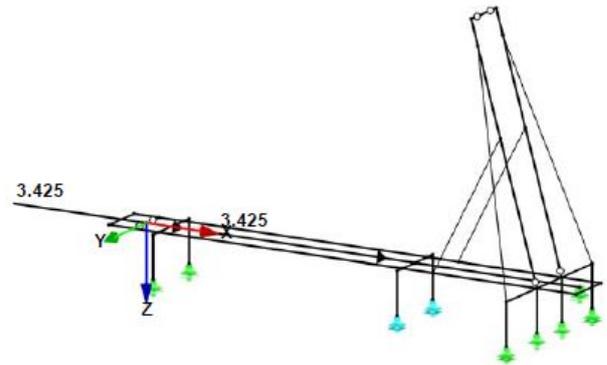
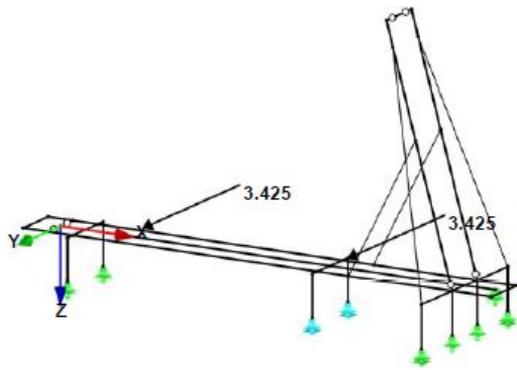
Abb. B.37: Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm



(c) Ständige Schalung

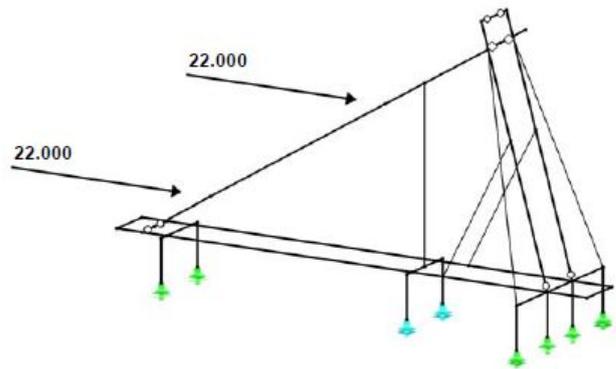
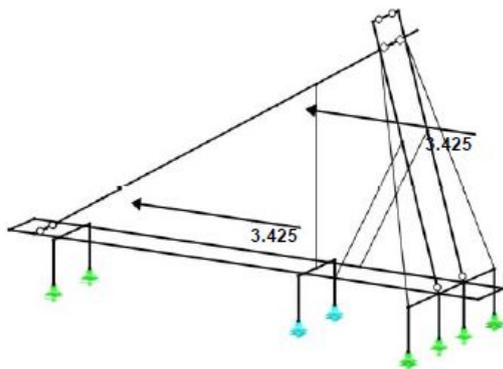
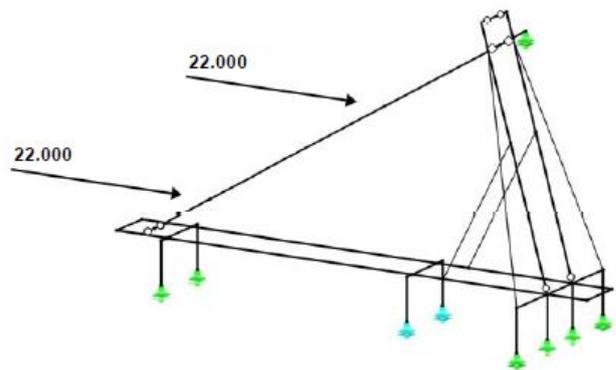
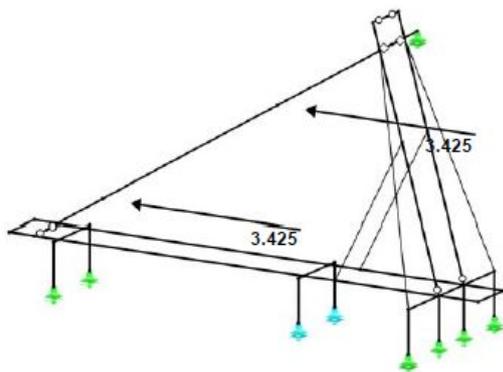
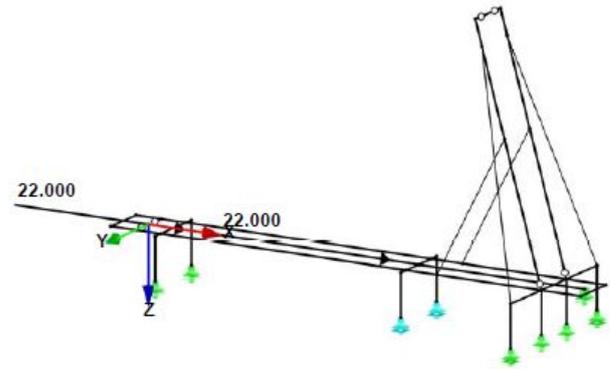
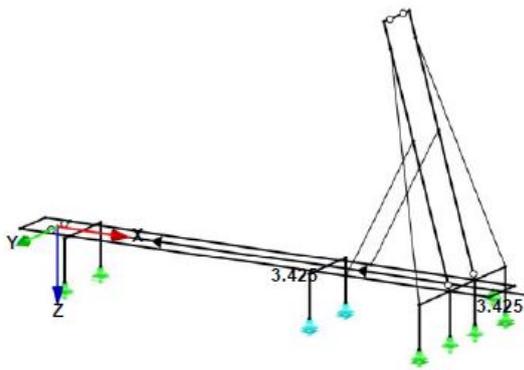


(d) Frischbeton



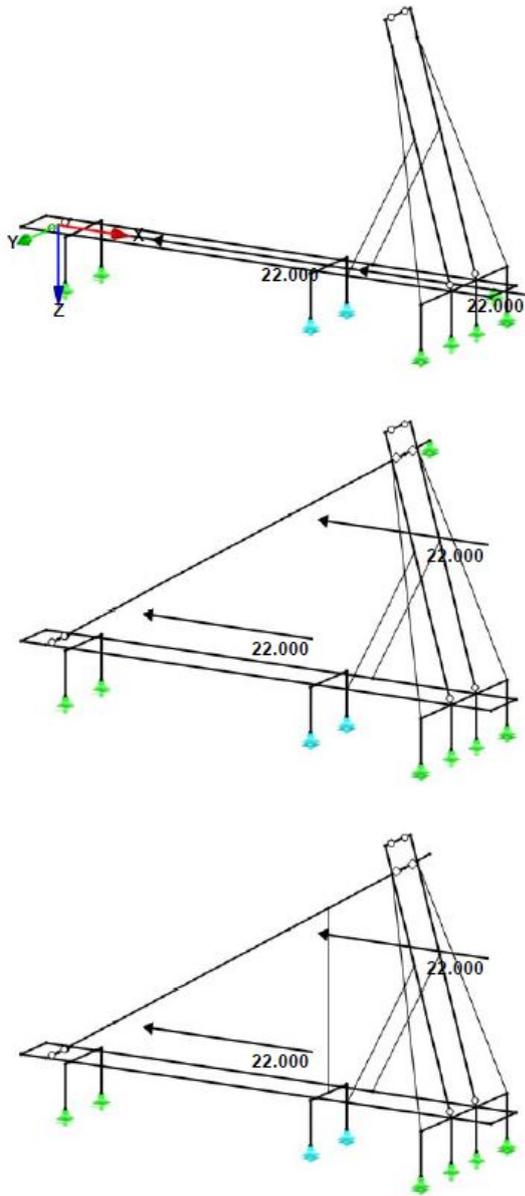
(e) Horizontallast 1

(f) Horizontallast 2



(g) Horizontallast 3

(h) Wind +X

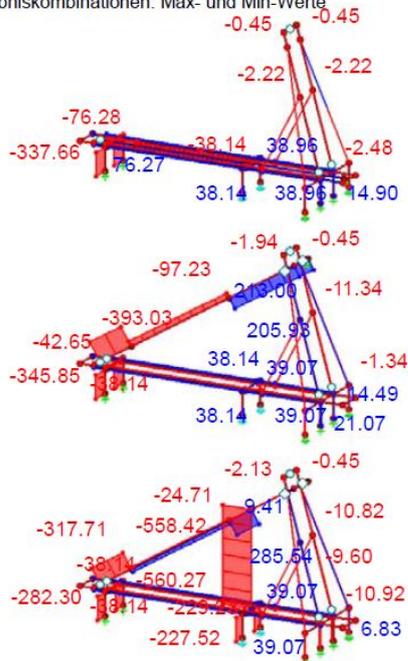


(i) Wind -X

Abb. B.42: Lastaufbringung der relevanten Lastfälle auf die Drehtischkonstruktion

B.4.2 Ergebnisse - Schnittgrößen

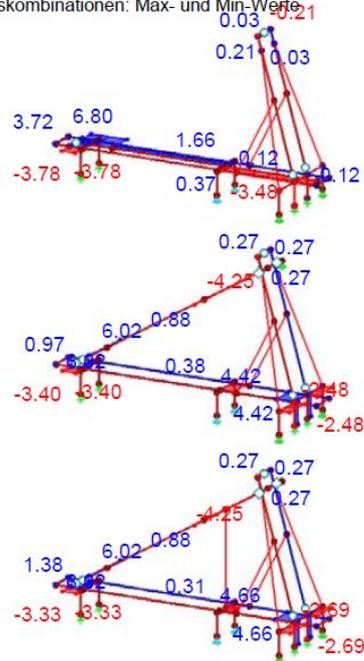
EK 1: ULS
Schnittgrößen N
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte



Max N: 287.53, Min N: -560.27 [kN]

(a) Schnittgrößen N

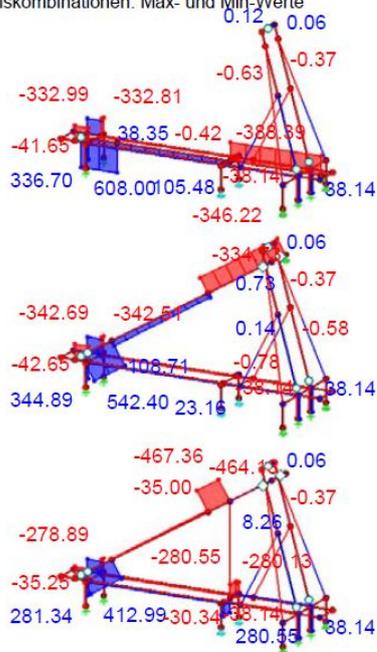
EK 1: ULS
Schnittgrößen V-y
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte



Max V-y: 6.80, Min V-y: -4.25 [kN]

(b) Schnittgrößen V_y

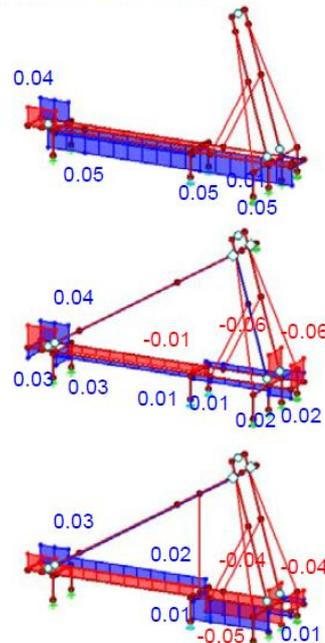
EK 1: ULS
Schnittgrößen V-z
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte



Max V-z: 608.00, Min V-z: -467.36 [kN]

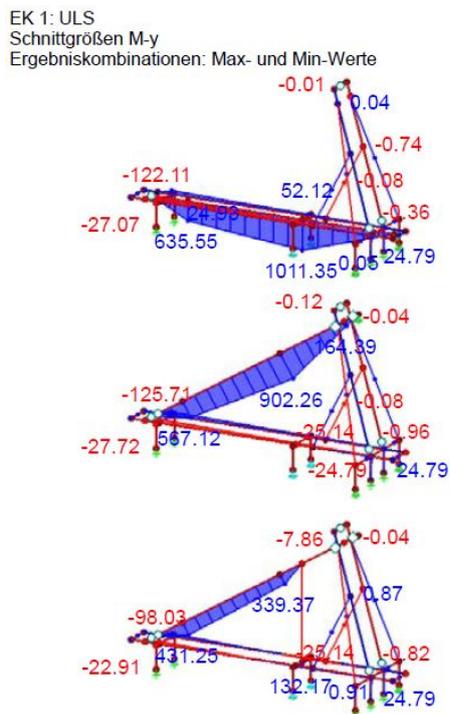
(c) Schnittgrößen V_z

EK 1: ULS
Schnittgrößen M-T
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte



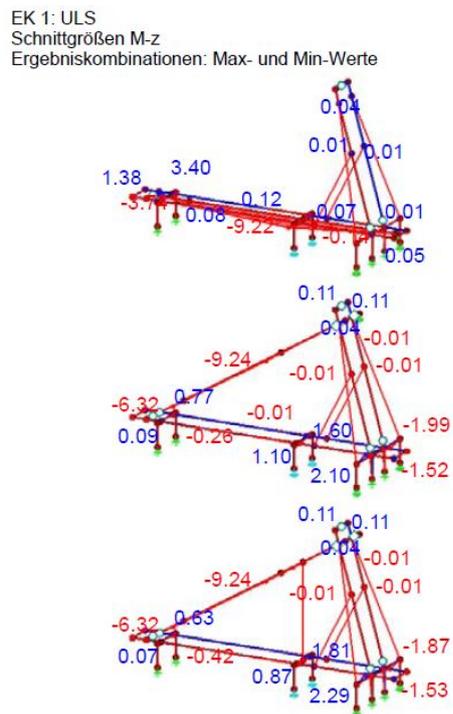
Max M-T: 0.05, Min M-T: -0.06 [kNm]

(d) Schnittgrößen M_t



Max M-y: 1011.35, Min M-y: -125.71 [kNm]

(e) Schnittgrößen My



Max M-z: 3.40, Min M-z: -9.24 [kNm]

(f) Schnittgrößen Mz

Abb. B.45: Schnittgrößen aus Ergebniskombination 1 auf Designniveau

B.4.3 Knicklängenbestimmung für verschiebliche Rahmen

Die Stützenfüße der Drehtischkonstruktion werden als Rechteckrahmen ausgeführt. Die Knicklänge der Stiele von verschieblichen Rahmen ist jedenfalls größer als 2. Die genaue Ermittlung der Knicklänge erfolgt nach Petersen [21]. Dazu wird der verschiebliche Rahmen in ein Ersatzsystem mit gelenkigem Fußpunkt mit Drehfeder an der Oberseite transferiert, für den es Lösungen zum Verzweigungslastproblem gibt.

Riegel: HEM 180

Stiele: HEM 180

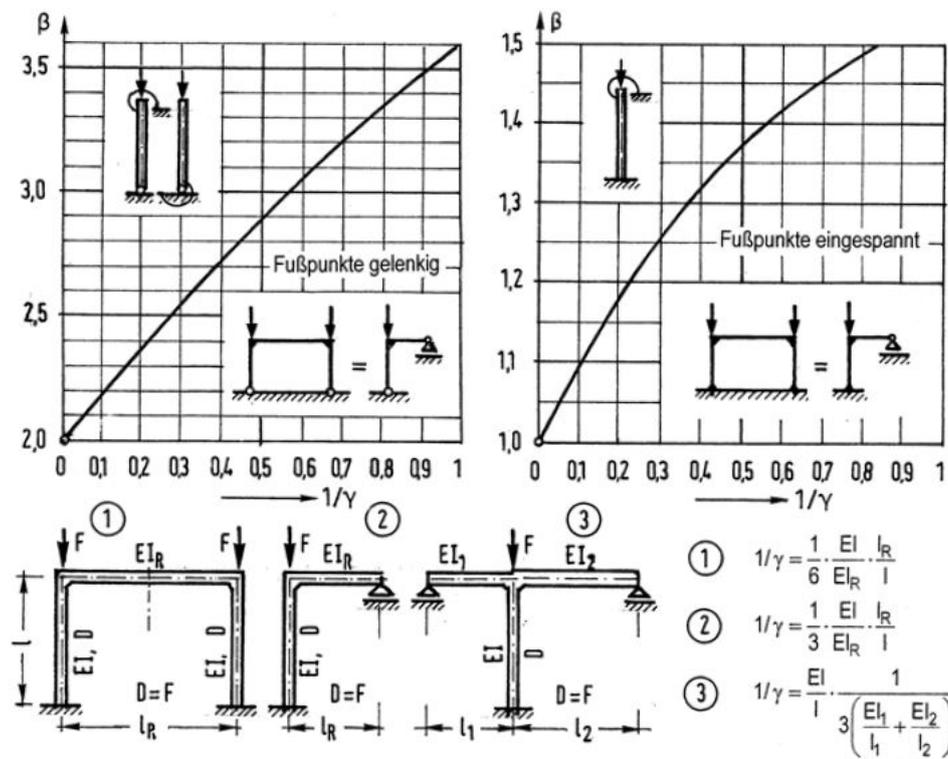


Bild 117

Abb. B.46: Bild 117 aus Petersen-Stahlbau [21] zur Ermittlung der Knicklänge von verschieblichen Rahmen

Berechnung des Beiwertes $1/\gamma$

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{EI_S \cdot l_R}{EI_R \cdot l_S} \quad (\text{B.7})$$

mit:

$$EI_S = 7483 \text{ cm}^4$$

$$EI_R = 7483 \text{ cm}^4$$

$$l_R = 1,0 \text{ m}$$

$$l_S = 0,65 \text{ m}$$

$$1/\gamma = 0,256 \rightarrow \beta = 2,45$$

$$sk_R = 2,45 \cdot 1,0 = \mathbf{2,45\ m}$$

$$sk_S = 2,45 \cdot 0,65 = \mathbf{1,59\ m}$$

Auf der sicheren Seite liegend, und da für die vorliegende Bemessung die Stabilität der Rahmen ohnehin nicht maßgebend ist (Schubbeanspruchung im Steg wird maßgebend sein), wird für die Riegel sowie die Stiele mit der Knicklänge von $2,45\ m$ gerechnet.

B.4.4 Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen

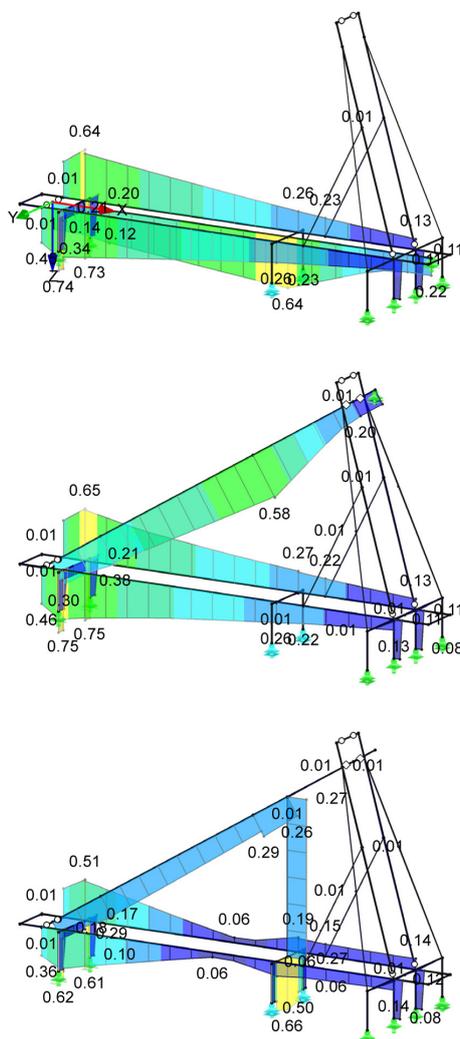


Abb. B.47: Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombinationen 1-4

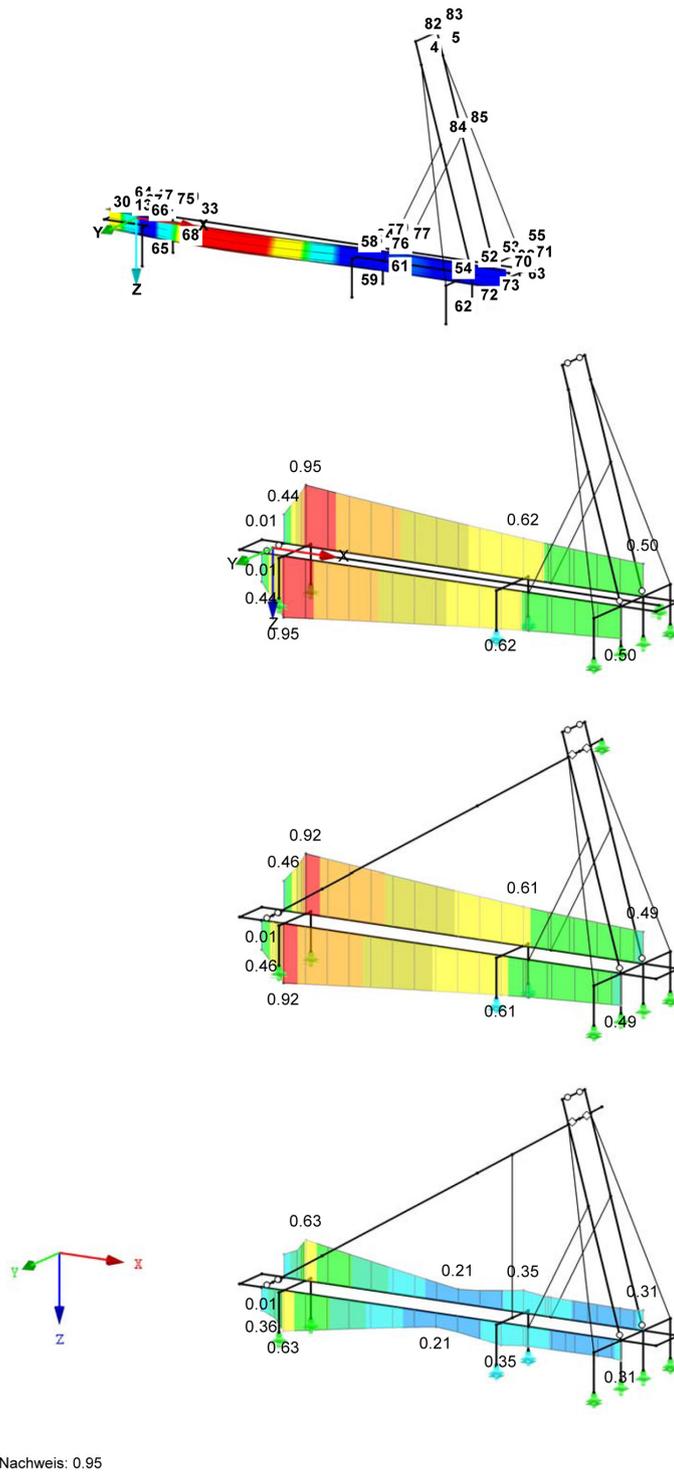


Abb. B.48: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.4) der U-Profile für die Lastkombinationen 1-4; Das oberste Bild zeigt die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|--------------------|-------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 8 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 9 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |

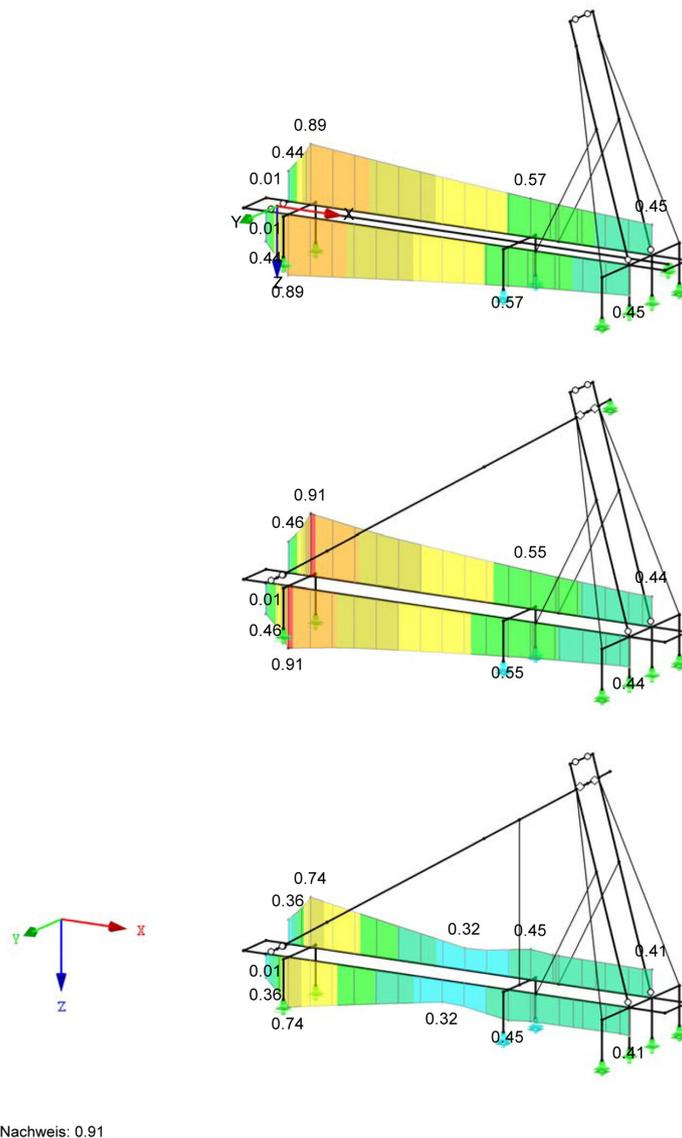


Abb. B.49: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.2) der U-Profile für die Lastkombinationen 1-4; Das oberste Bild zeigt die manuell definierten Knicklängen; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

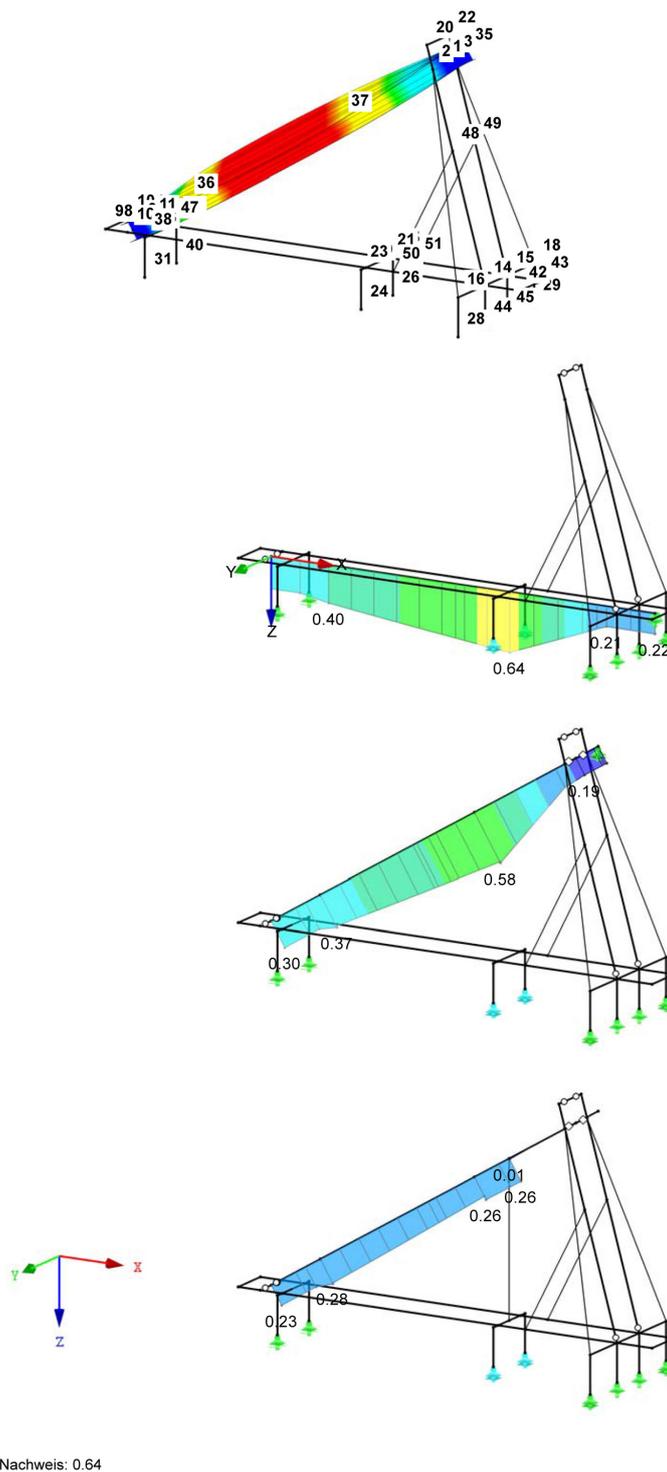


Abb. B.50: Elastische Spannungs- sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.4) der Hauptträger für die Lastkombinationen 1-4; Das oberste Bild zeigt die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Die Bilder unten zeigen die Spannungs- sowie Stabilitätsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|---------|------------|-------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 5 | ☒ | ☒ | 1.00 | 7.000 | ☒ | 1.00 | 7.000 | ☐ | 1.0 | 1.0 | 7.000 | 7.000 |
| 6 | ☒ | ☒ | 0.93 | 6.520 | ☒ | 0.93 | 6.520 | ☐ | 1.0 | 1.0 | 7.000 | 7.000 |
| 7 | ☒ | ☒ | 0.93 | 6.520 | ☒ | 0.93 | 6.520 | ☐ | 1.0 | 1.0 | 7.000 | 7.000 |

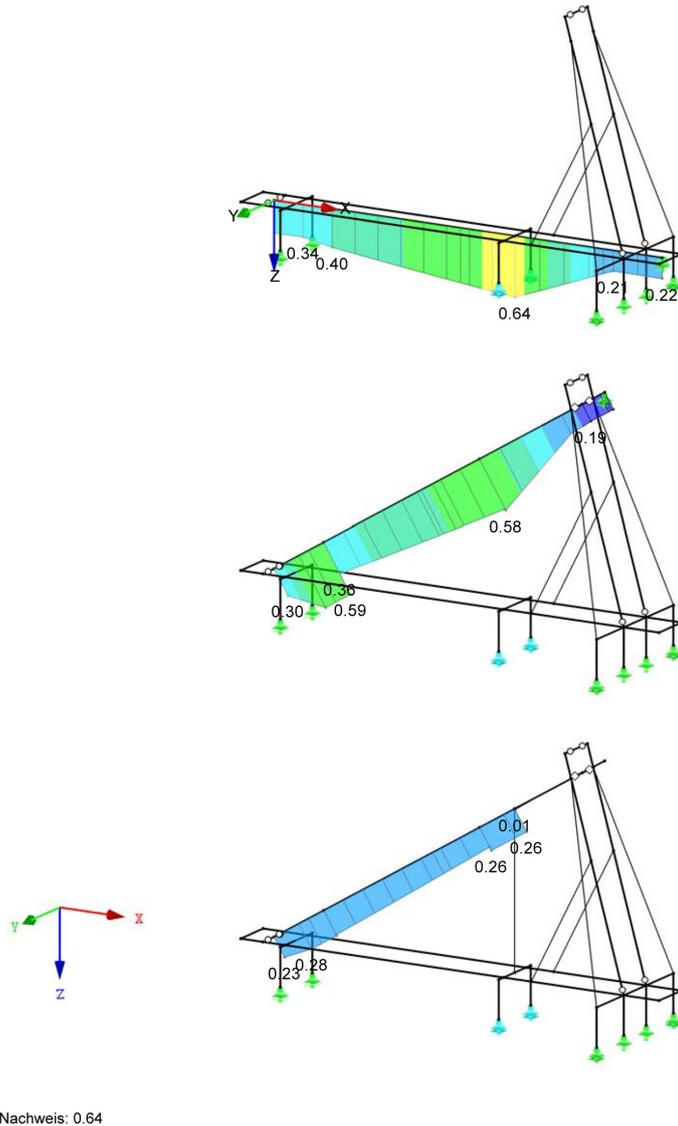
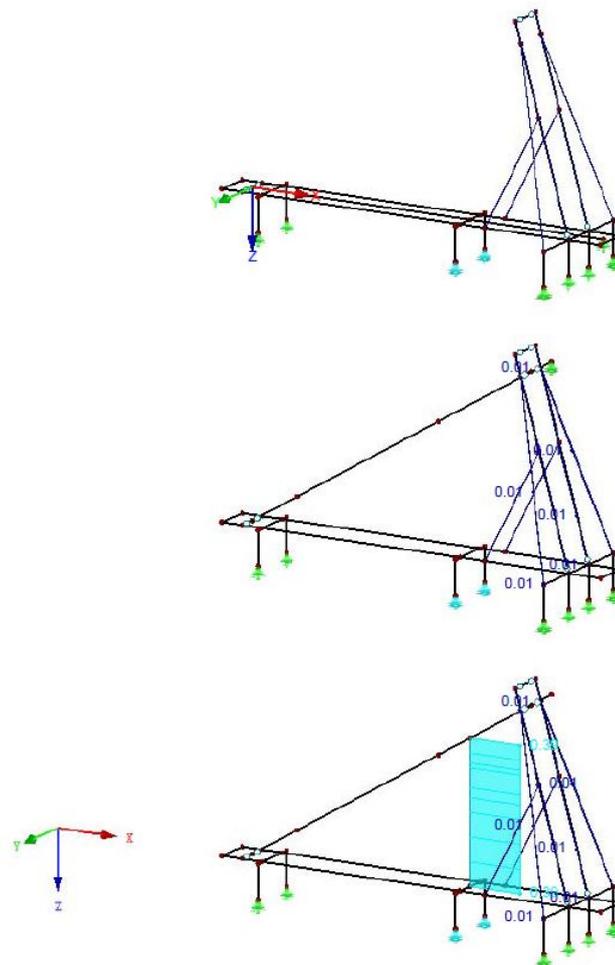


Abb. B.51: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.1**) der **Hauptträger** für die Lastkombinationen 1-4; Das oberste Bild zeigt die manuell definierten Knicklängen; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen



Max Nachweis: 0.39

Abb. B.52: Elastische Spannungsauslastung inkl. Stabilitätseffekte für die Lastkombinationen 1-4, für die allgemeinen Fachwerkstäbe. Durch die Ausbildung als Pendelstützen sind die Knicklängen jeweils die Stablängen

1.5 KNICKLÄNGEN - STÄBE

| Stab Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | |
|----------|-----------------|--------------------|------------|--------------------|---------|------------|-------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 114 | ☑ | ☑ | 3.77 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.650 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 115 | ☑ | ☑ | 3.77 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.650 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 117 | ☑ | ☑ | 3.77 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.650 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 118 | ☑ | ☑ | 3.77 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.650 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 125 | ☑ | ☑ | 3.50 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.700 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 126 | ☑ | ☑ | 7.00 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.350 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.350 | 0.350 |
| 131 | ☑ | ☑ | 16.33 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.150 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 142 | ☑ | ☑ | 7.00 | 2.450 | ☑ | 1.00 | 0.350 | ☑ | 1.0 | 1.0 | 0.350 | 0.350 |

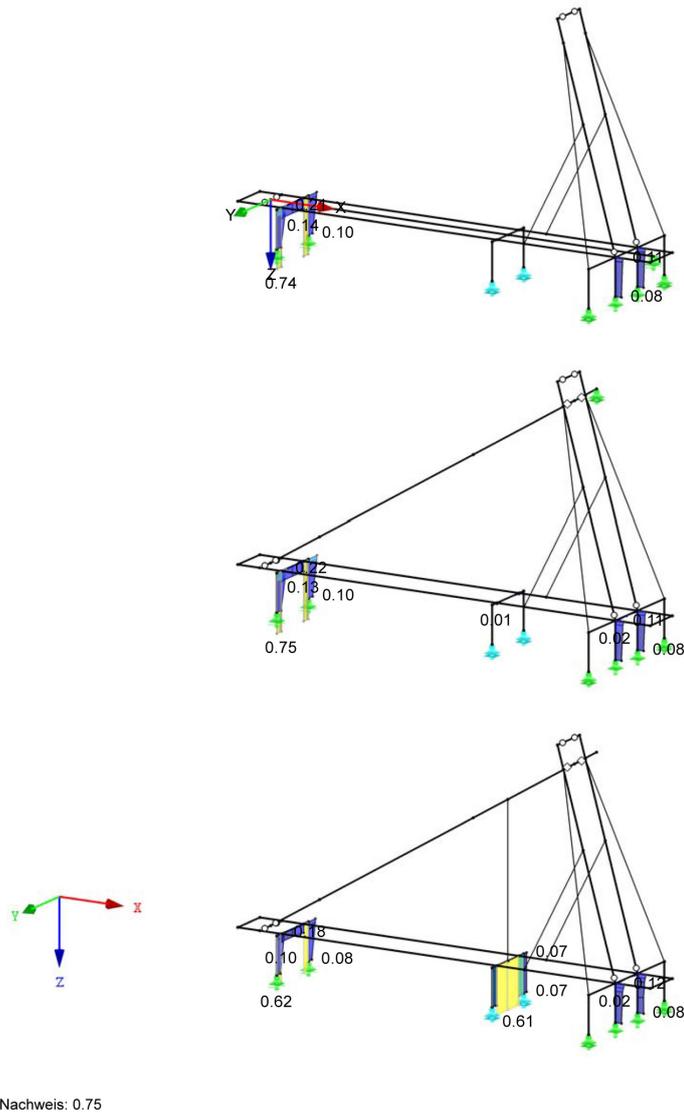


Abb. B.53: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.1) der Verschieblichen Rahmen für die Lastkombinationen 1-4; Das oberste Bild zeigt die manuell definierten Knicklängen der Sockelrahmen; Die Bilder unten zeigen die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

B.4.5 Detailbemessung Bolzenverbindung

Die Schnittgrößen zur Bemessung der Bolzenverbindung werden aus den Lastkombinationen 1 bis 4 (ULS) sowie 21 bis 24 (SLS) erhalten. Für bestimmte Nachweise der Bemessung von austauschbaren Bolzen werden Lasten auf Gebrauchsniveau benötigt. Die maximale Beanspruchung des Bolzens folgt aus Teilsystem 2. Die Bolzenverbindung wird grundsätzlich nach EN 1993-1-8 [20] bemessen.

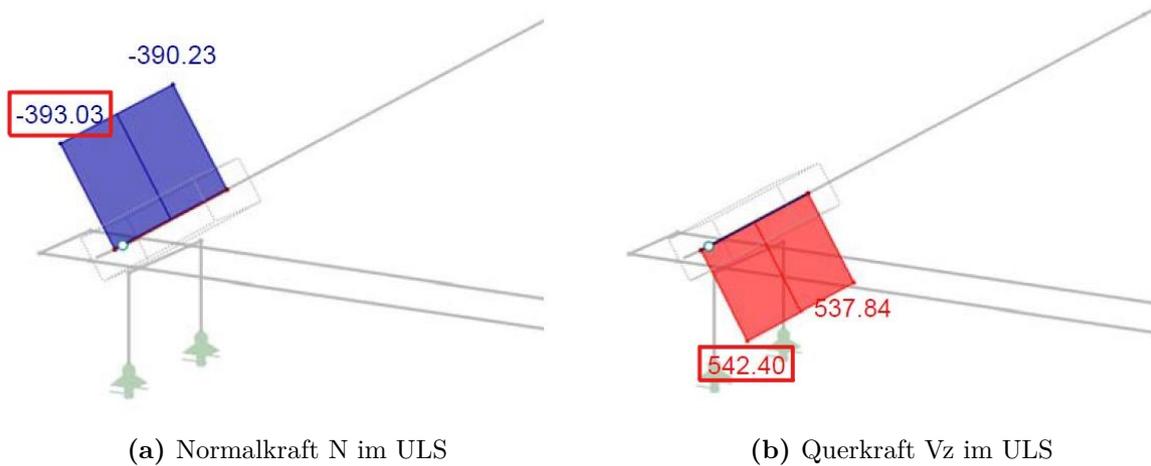


Abb. B.54: Schnittgrößen am Ende des Hauptträgers im ULS

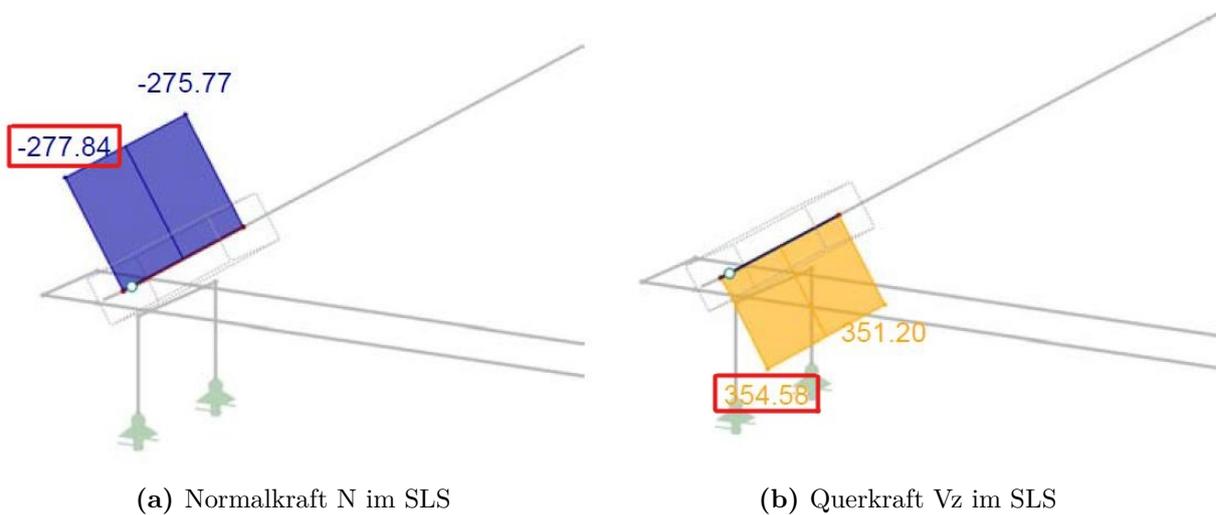


Abb. B.55: Schnittgrößen am Ende des Hauptträgers im SLS

Daraus folgt eine einwirkende Querkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit aus Abbildung B.54 von:

$$F_{V,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Z,Ed}^2} = \sqrt{393,03^2 + 542,40^2} = 670 \text{ kN} \quad (\text{B.8})$$

beziehungsweise im Gebrauchszustand aus Abbildung B.55 von:

$$F_{V,Ed,ser} = \sqrt{N_{Ek}^2 + V_{Z,Ek}^2} = \sqrt{277,84^2 + 354,58^2} = 450,4 \text{ kN} \quad (\text{B.9})$$

Bolzen

Gewählt wurde in Bolzen mit Durchmesser 65 mm in der Stahlgüte S355

$$d = 65 \text{ mm} ; f_y = 355 \text{ N/mm}^2 ; f_u = 470 \text{ N/mm}^2 ; \gamma_{M0} = 1,1 ; \gamma_{M2} = 1,25 ; \gamma_{M6,ser} = 1,0$$

Abscheren

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{6,5^2 \cdot \pi}{4} \frac{35,5}{1,25} = 533,6 \text{ kN/Scherfläche} \quad (\text{B.10})$$

→ 2-Schnittige Verbindung → $F_{V,Rd} = 533,6 \cdot 2 = 1067,2 \text{ kN}$

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$$

Lochleibung

-Augenblech $t_{min} = 20 \text{ mm}$ S355

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2,0 \cdot 6,5 \cdot 35,5}{1,10} = 630 \text{ kN/Scherfläche} \quad (\text{B.11})$$

→ 2-Schnittige Verbindung → $F_{b,Rd} = 630 \cdot 2 = 1260 \text{ kN}$

$$F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

-Für austauschbare Bolzen

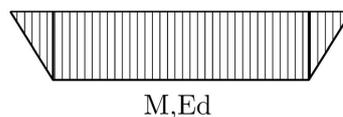
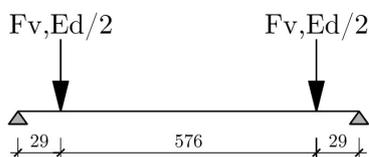
$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0,6 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M6,ser}} = \frac{0,6 \cdot 2,0 \cdot 6,5 \cdot 35,5}{1,0} = 276,9 \text{ kN/Scherfläche} \quad (\text{B.12})$$

→ 2-Schnittige Verbindung → $F_{b,Rd} = 276,9 \cdot 2 = 553,8 \text{ kN}$

$$F_{V,Ed,ser} \leq F_{b,Rd,ser}$$

Bolzenbiegung

stat. System:



$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 6,5^3}{32} = 26,96 \text{ cm}^3 \quad (\text{B.13})$$

$$M_{Ed} = F_{V,Ed}/2 \cdot 2,9 = 670/2 \cdot 2,9 = 971,5 \text{ kNcm} \quad (\text{B.14})$$

$$M_{Ed,Ser} = F_{V,Ed,Ser}/2 \cdot 2,9 = 450,4/2 \cdot 2,9 = 653,1 \text{ kNcm} \quad (\text{B.15})$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 26,96 \cdot 35,5}{1,1} = 1355 \text{ kNcm} \quad (\text{B.16})$$

$$M_{Rd,Ser} = \frac{0,8 \cdot W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M6,Ser}} = \frac{0,8 \cdot 26,96 \cdot 35,5}{1,0} = 722,5 \text{ kNcm} \quad (\text{B.17})$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed,Ser} \leq M_{Rd,Ser}$$

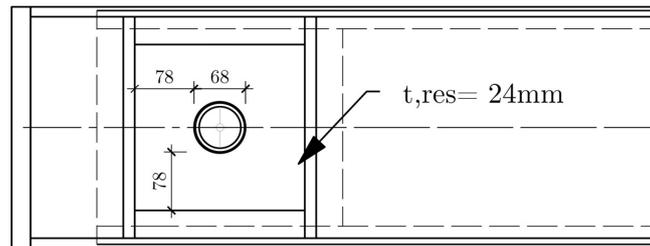
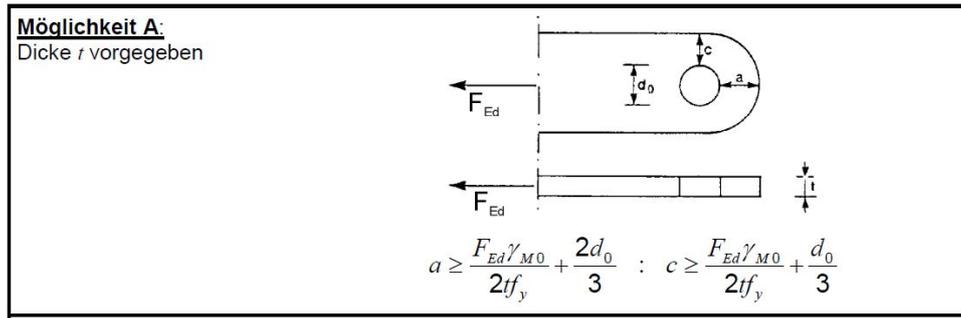
Interaktion

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 = \left[\frac{971,5}{1355} \right]^2 + \left[\frac{670/2}{533,6} \right]^2 = 0,91 \leq 1,0 \quad (\text{B.18})$$

Geometrische Anforderungen an Augenstäbe

Maßgebend ist die Geometrie der Stegaufdopplung beim U-Profil

$$t = 24 \text{ mm}; a_{vorh} = 78 \text{ mm}; c_{vorh} = 78 \text{ mm}; d_{0,vorh} = 68 \text{ mm};$$



$$a_{erf} = \frac{670/2 \cdot 1,1}{2 \cdot 2,4 \cdot 35,5} + \frac{2 \cdot 6,8}{3} = 6,70 \text{ cm} \quad (\text{B.19})$$

$$a_{vorh} = 78 \text{ mm} \geq a_{erf} = 67 \text{ mm}$$

$$c_{erf} = \frac{670/2 \cdot 1,1}{2 \cdot 2,4 \cdot 35,5} + \frac{6,8}{3} = 4,43 \text{ cm} \quad (\text{B.20})$$

$$c_{vorh} = 78 \text{ mm} \geq c_{erf} = 43 \text{ mm}$$

Eine vergrößerte Darstellung des Details ist im Plan Nummer 8 in Anhang C ersichtlich.

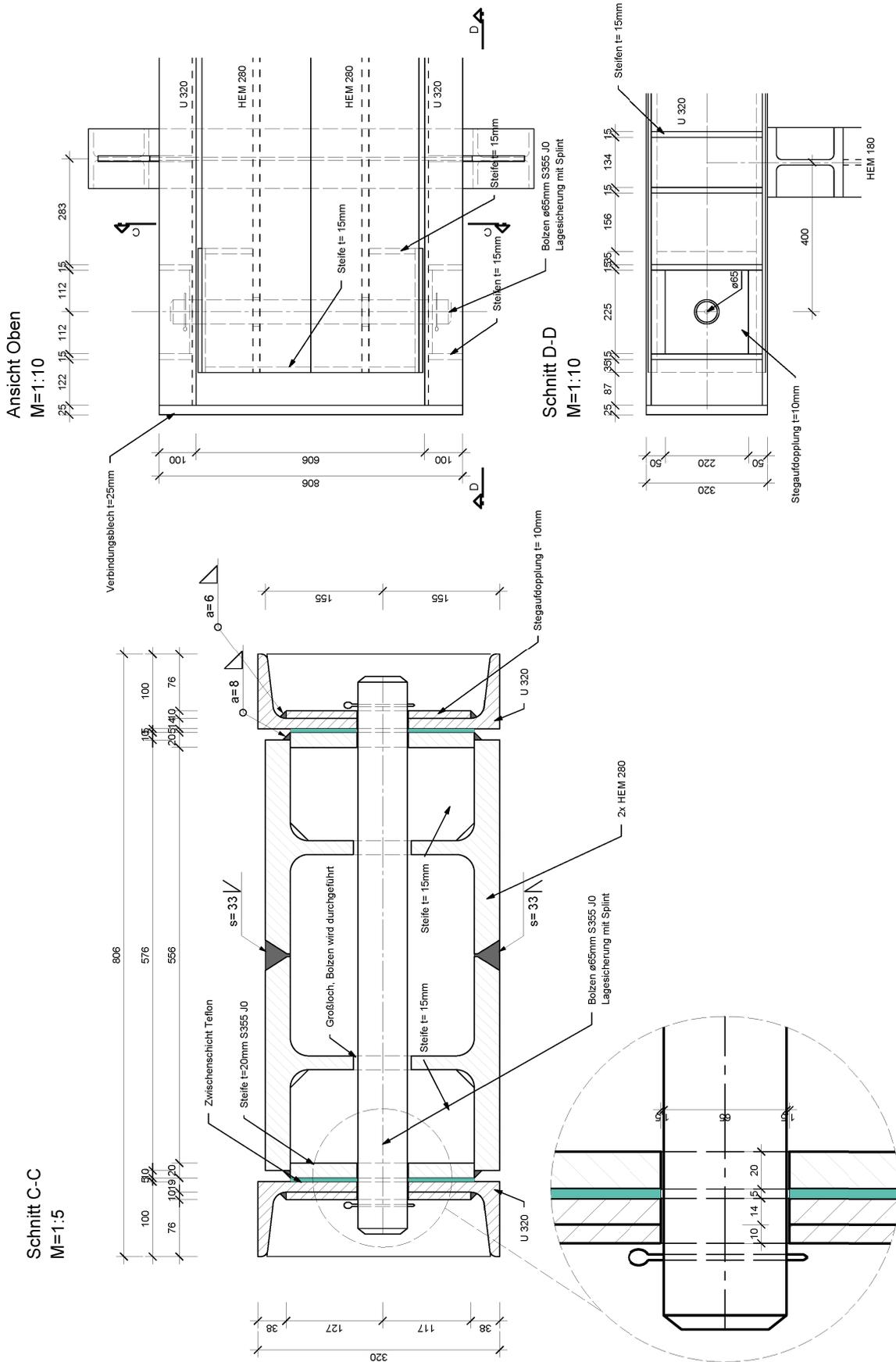
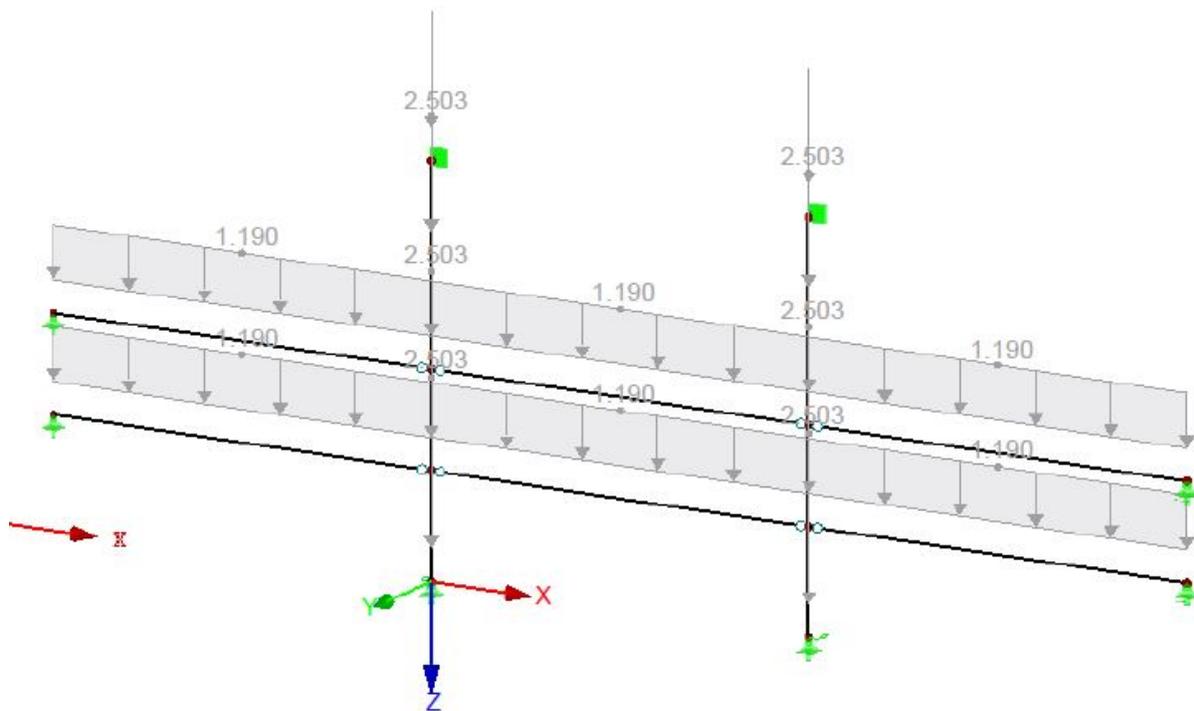


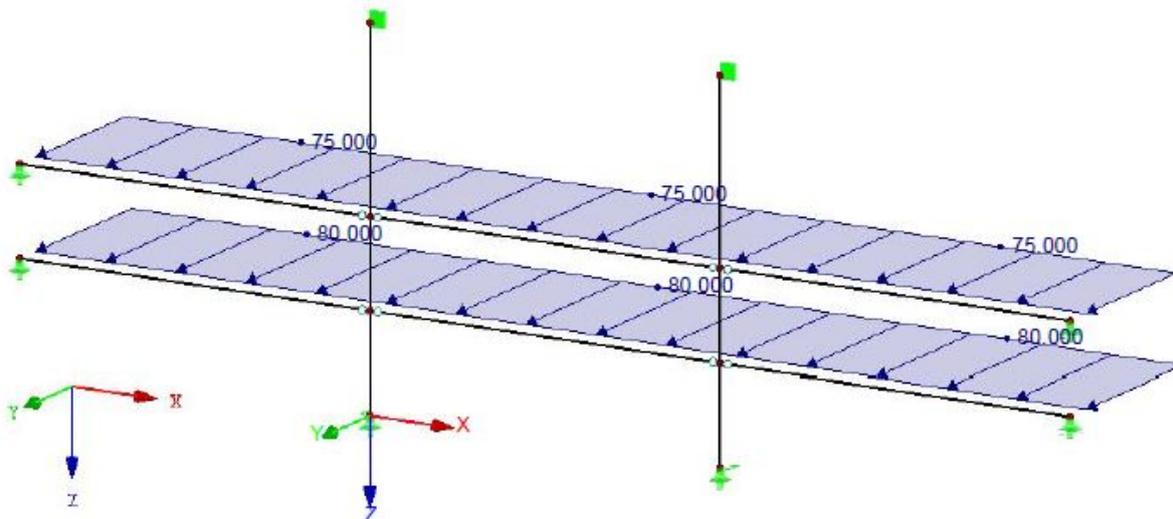
Abb. B.56: Detaildarstellung der Bolzenverbindung; Eine vergrößerte Darstellung ist in Plan Nummer 8 in Anhang C ersichtlic

B.5 Ergänzung zur Vordimensionierung der Primär- und Sekundärträger der Schalungskonstruktion 90°

B.5.1 Lastaufbringung und Kombinatorik



(a) Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion



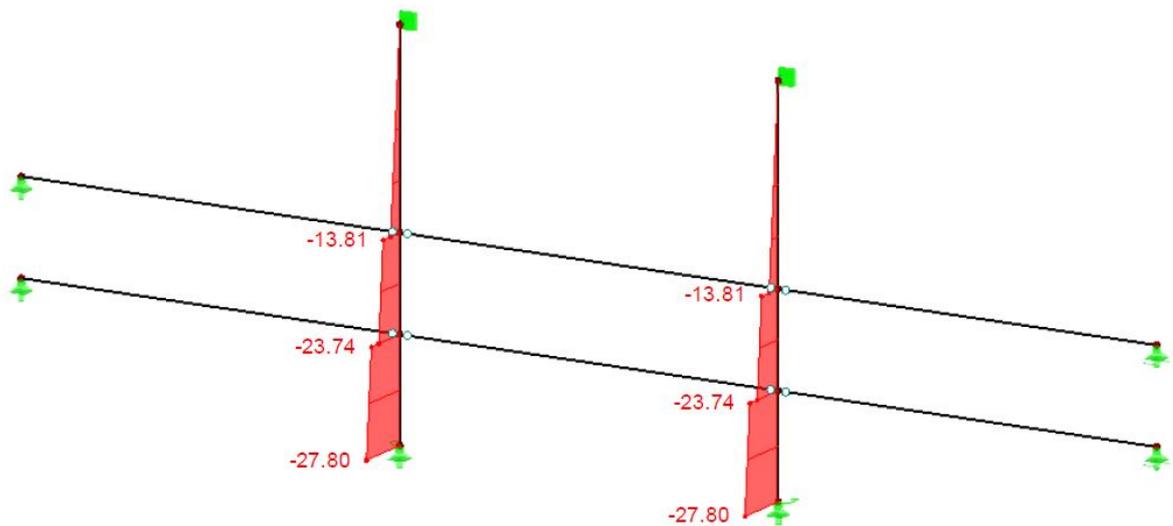
(b) Lasten aus Frischbetondruck

Abb. B.57: Lastaufbringung der relevanten Lastfälle für die Vordimensionierung der Träger der Schalungskonstruktion 90°

B.5.2 Ergebnisse - Schnittgrößen

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Schnittgrößen N

Isc

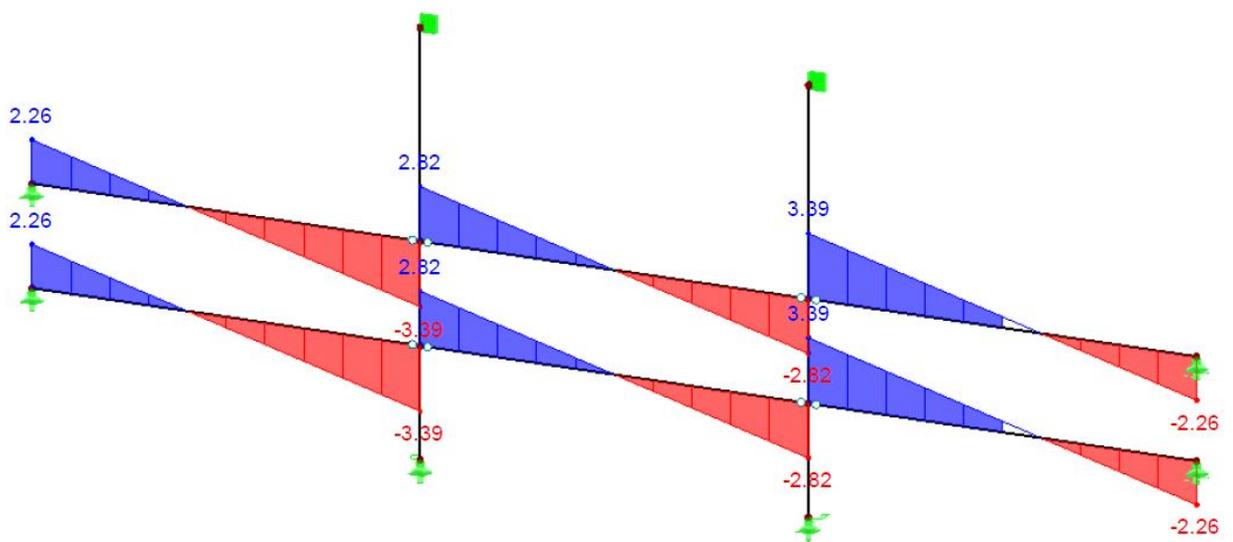


Max N: 0.00, Min N: -27.80 [kN]

Abb. B.58: Schnittgrößen N

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Schnittgrößen V-y

Isometrie

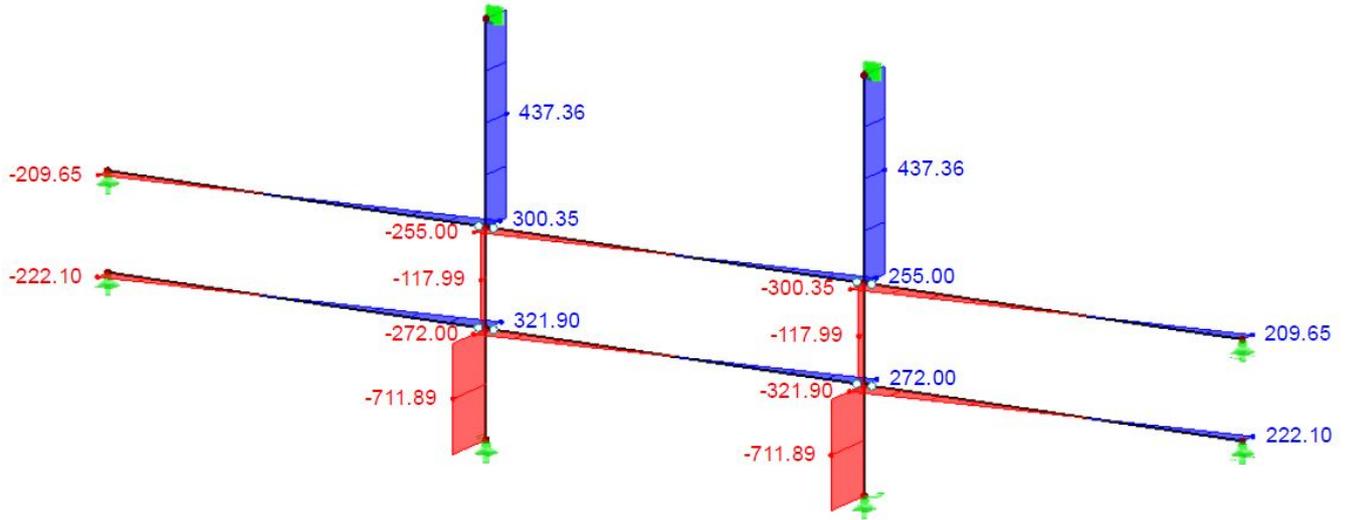


Max V-y: 3.39, Min V-y: -3.39 [kN]

Abb. B.59: Schnittgrößen Vy

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Schnittgrößen V-z

Isometrie

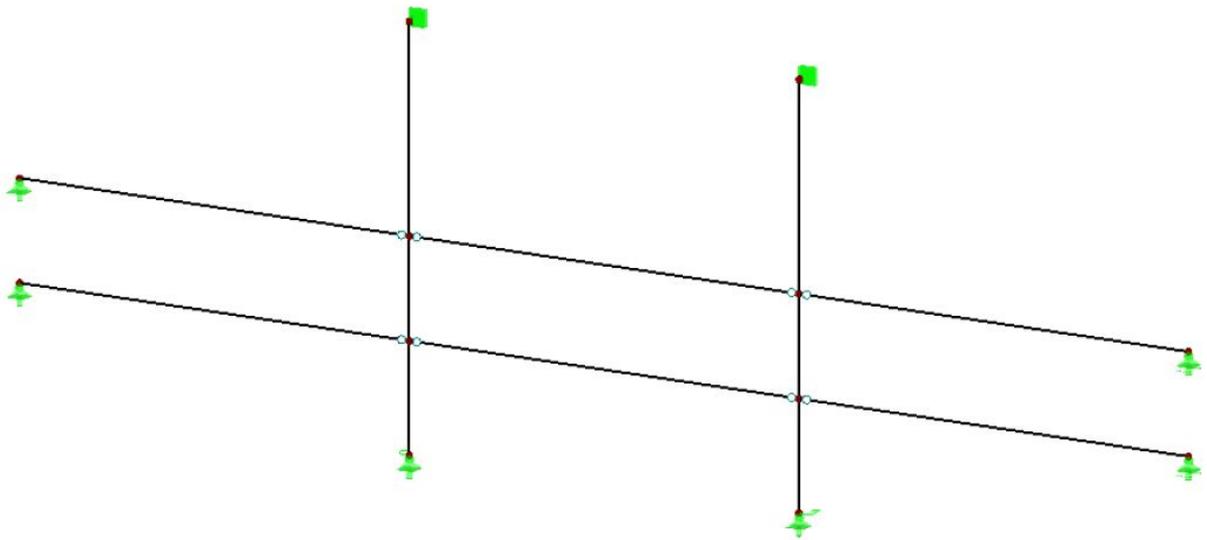


Max V-z: 437.36, Min V-z: -711.89 [kN]

Abb. B.60: Schnittgrößen Vz

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Schnittgrößen M-T

Isometrie

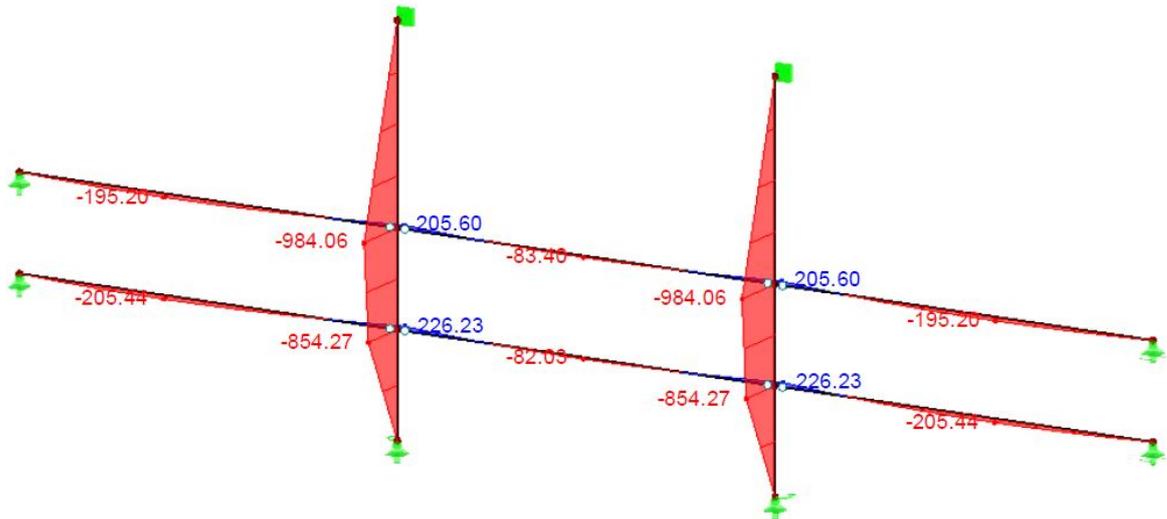


Max M-T: 0.00, Min M-T: 0.00 [kNm]

Abb. B.61: Schnittgrößen Mt

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Schnittgrößen M-y

Isometrie

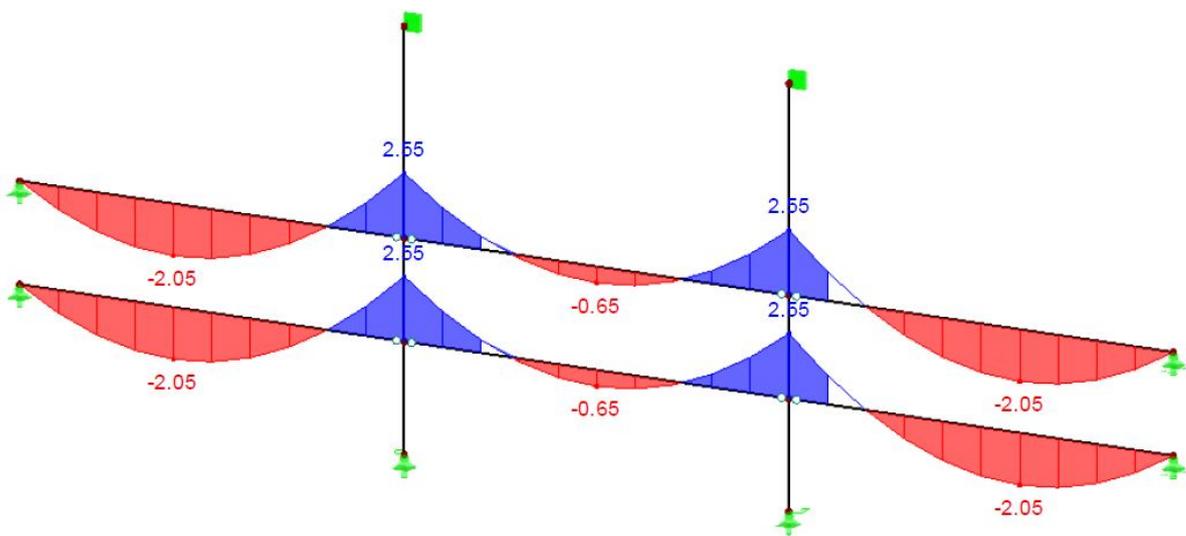


Max M-y: 226.23, Min M-y: -984.06 [kNm]

Abb. B.62: Schnittgrößen My

LK 1: 1.35*LF1 + 1.5*LF11
Schnittgrößen M-z

Isometrie



Max M-z: 2.55, Min M-z: -2.05 [kNm]

Abb. B.63: Schnittgrößen Mz

B.5.3 Plots der Spannungs- und Stabilitätsauslastungen

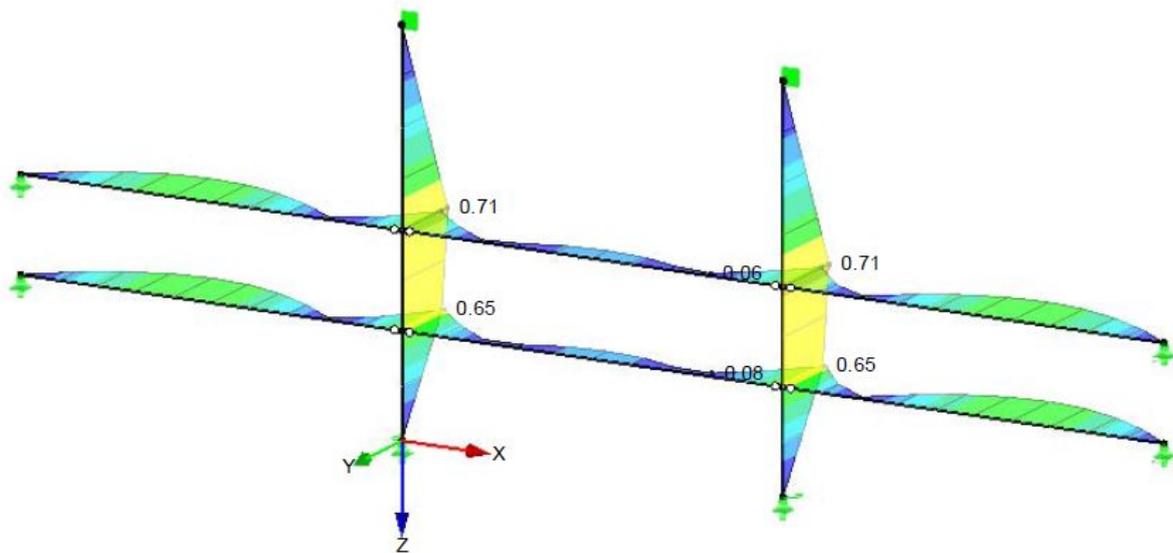


Abb. B.64: Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombination 1 und 2

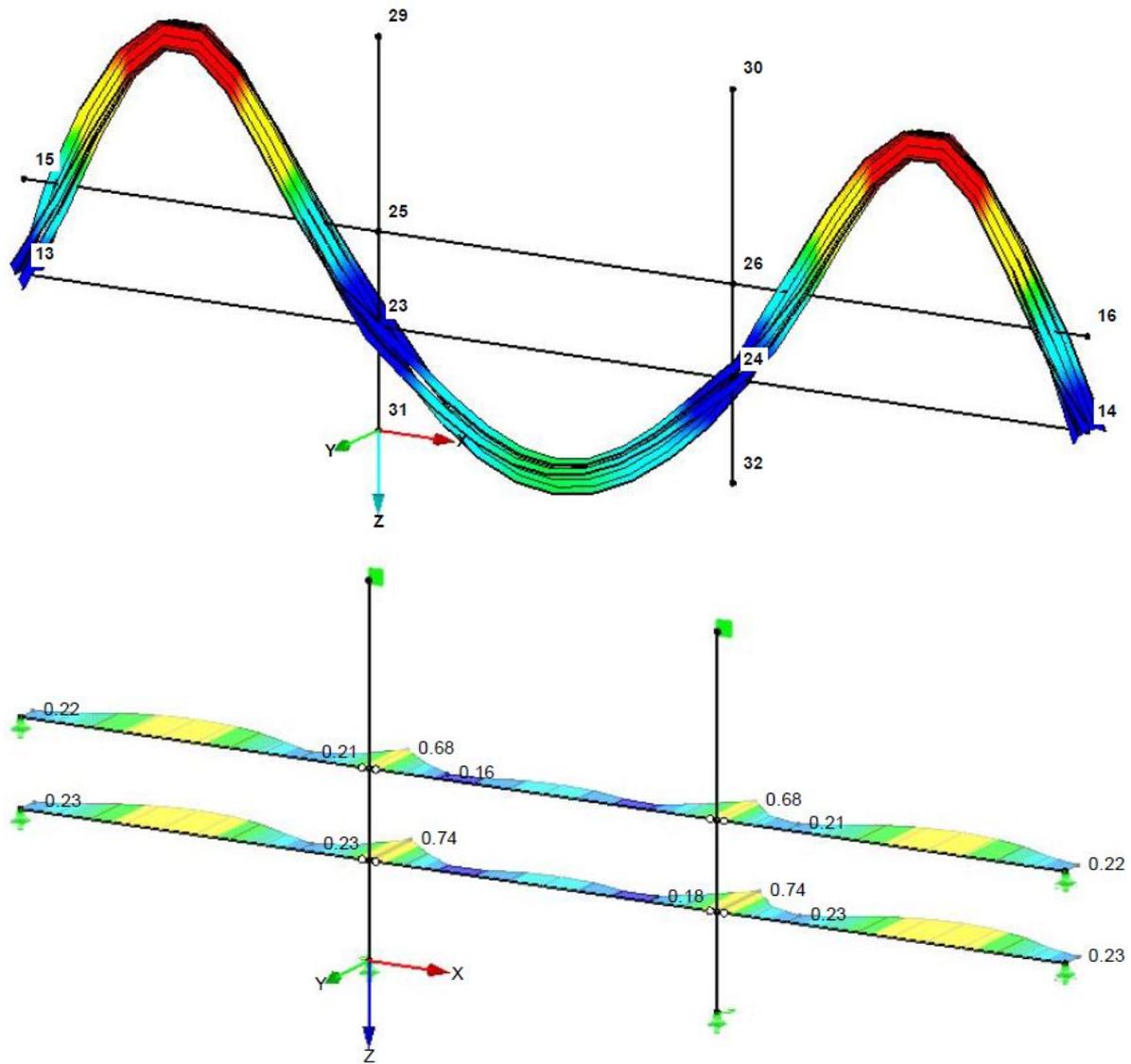


Abb. B.65: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (Verfahren 6.3.4) der Sekundärkonstruktion für die Lastkombination 1 und 2; Bild Oben zeigt die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Bild unten zeigt die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

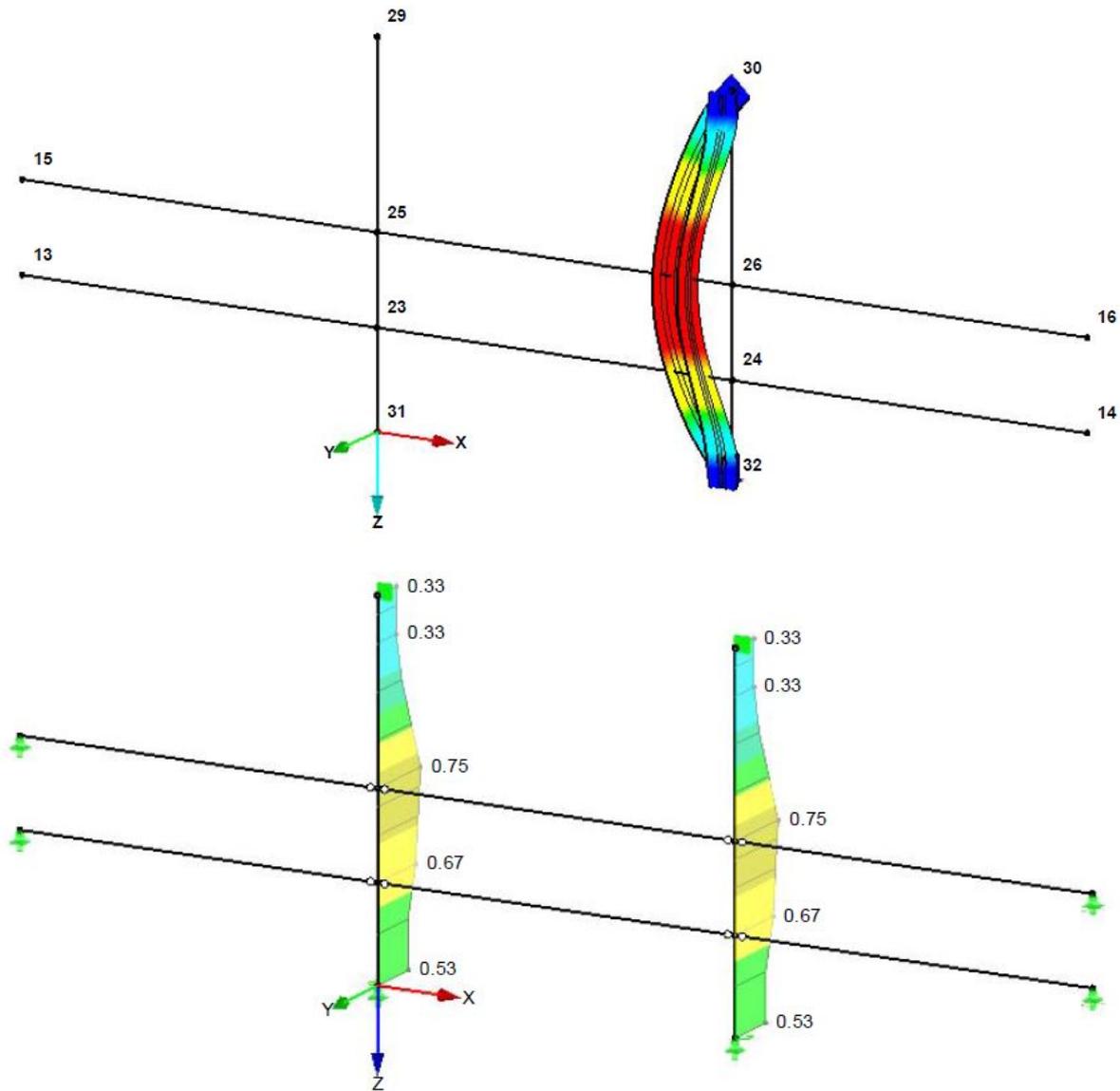


Abb. B.67: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.4**) der **Primärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Bild Oben zeigt die kritische Eigenform zufolge Biegedrillknicken; Bild unten zeigt die Spannungs- auslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 4.550 | 4.550 |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 4.550 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 4.550 | 4.550 |

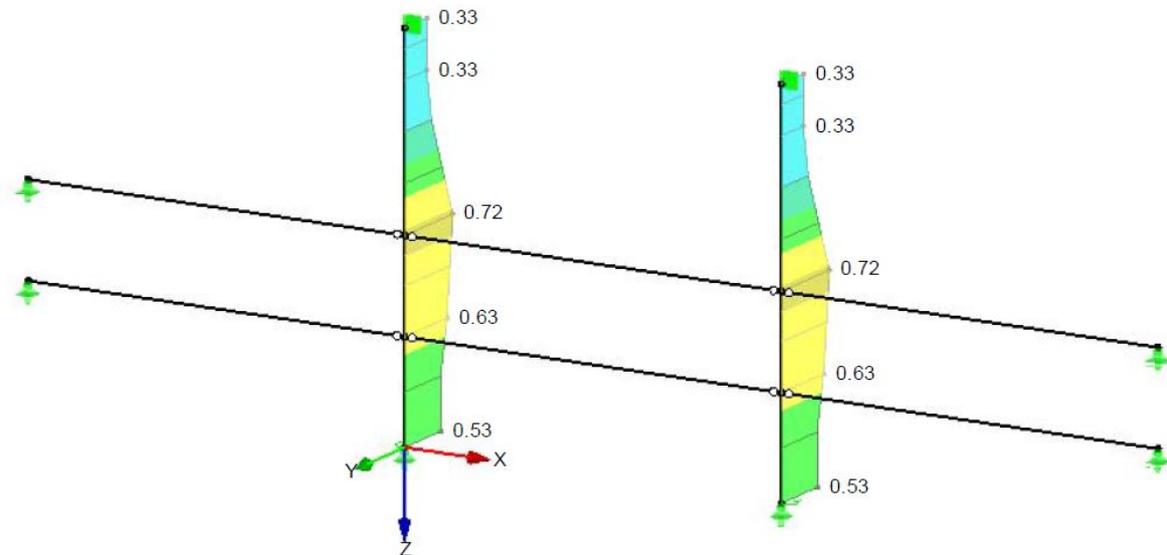
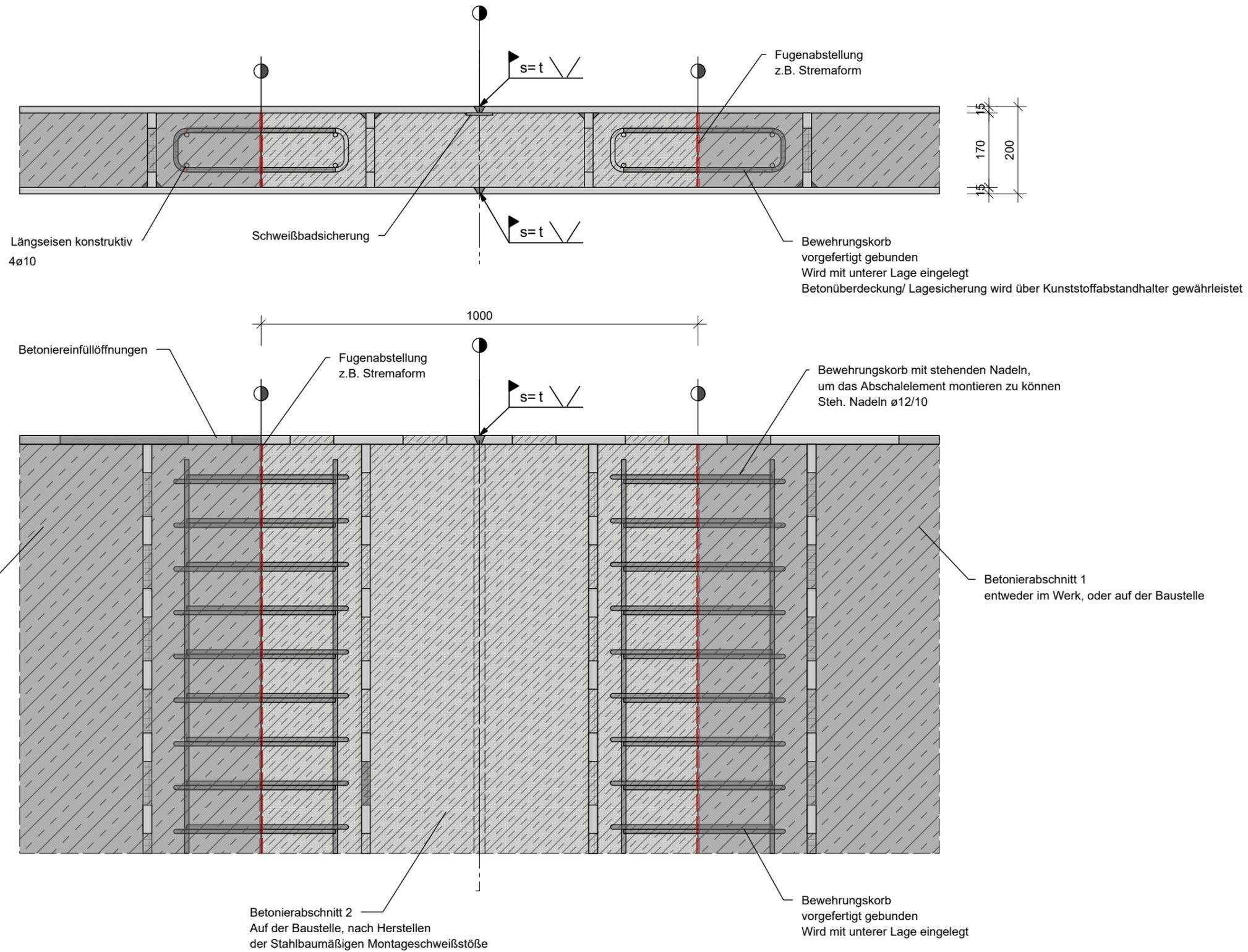


Abb. B.68: Elastische Spannungsauslastung sowie Stabilitätsauslastung nach EC3 (**Verfahren 6.3.1**) der **Primärkonstruktion** für die Lastkombination 1 und 2; Bild Oben zeigt die manuell definierten Knicklängen; Bild unten zeigt die Spannungsauslastungen inklusive den Auslastungen zufolge Stabilitätsversagen

Anhang C

Pläne



Vorteil dieser Montagestoßart:

Die Wirkung des Füllbetons in der Dübelleiste (Maßgebender Bauteil für die Stahlmündung) wird durch diese Bauweise nicht behindert, oder eingeschränkt, da die Fuge (Betonierabschnitt) zwischen den Dübelleisten liegt. Die Schubübertragung in der Arbeitsfuge des Betons wird durch eingelagte Bewehrungskörbe mit Abstellelementen bewerkstelligt. Die Tragwirkung der SCSC- Platte wird somit durch diesen Stoß in keiner Weise behindert

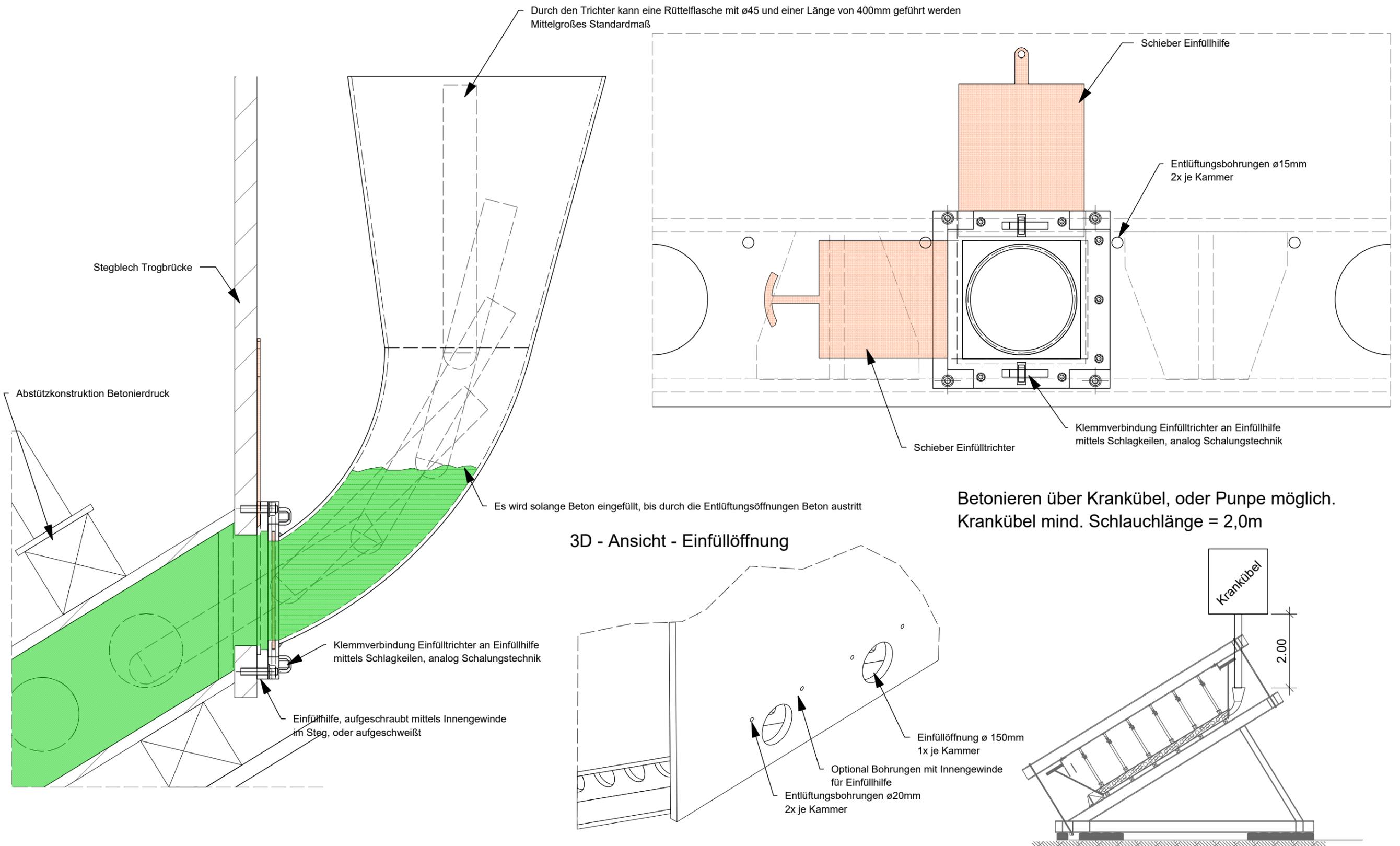
Die Ausführung kann unabhängig davon ausgeführt werden, ob nun der Brückenquerschnitt gesamt, oder nur die Platte gegossen wird.

Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

Planinhalt Montagestoß Variante
Bewehrungskorb mit Abschalelement

Plotdatum 12.08.2020

erstellt MF
Maßstab 1:10
Plannr. 1



Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

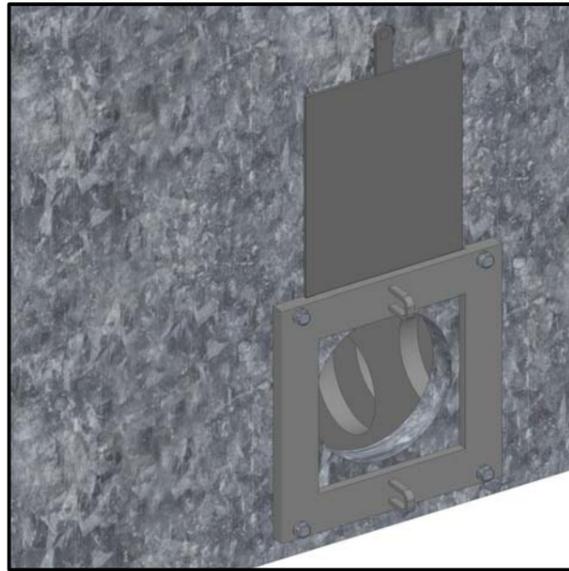
Planinhalt Arbeitsablauf
Betonierhilfsmaßnahme - Konzept Einfülltrichter

Plotdatum 12.08.2020

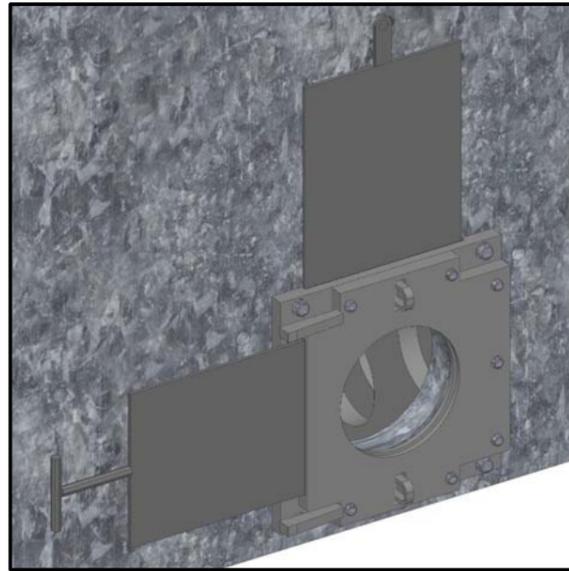
erstellt MF

Maßstab 1:5

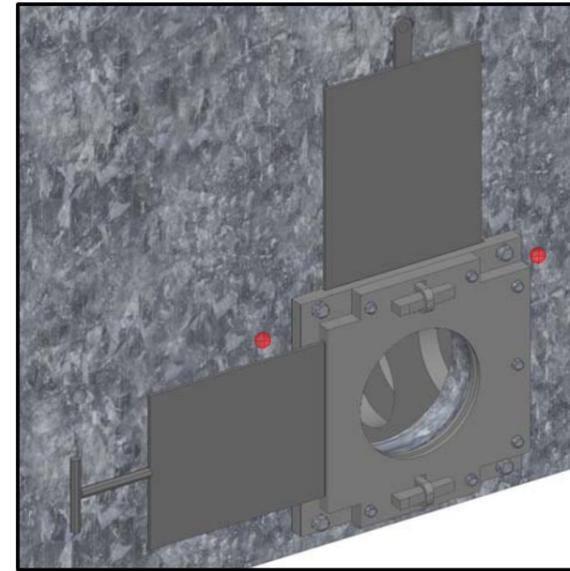
Plannr. 2



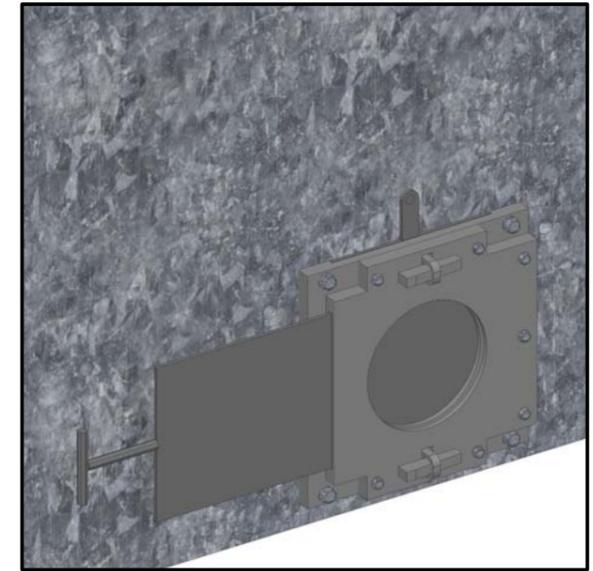
Schritt 1:
Aufschrauben oder aufschweißen der Einfüllhilfe,
auf der Baustelle oder im Werk.



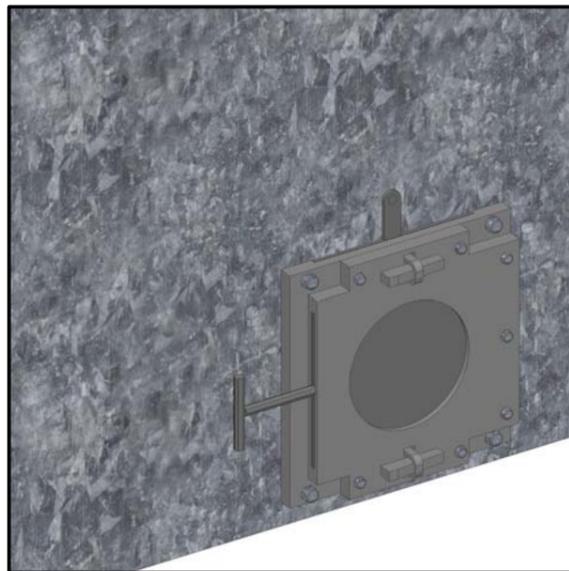
Schritt 2:
Einheben des Trichters mit der aufgeschweißten
Absperrkonstruktion. Führung durch
aufgeschweißte Ösen an der Einfüllhilfe und
verkeilen dieser mit Schlagkeilen (Analog
Schalungstechnik)



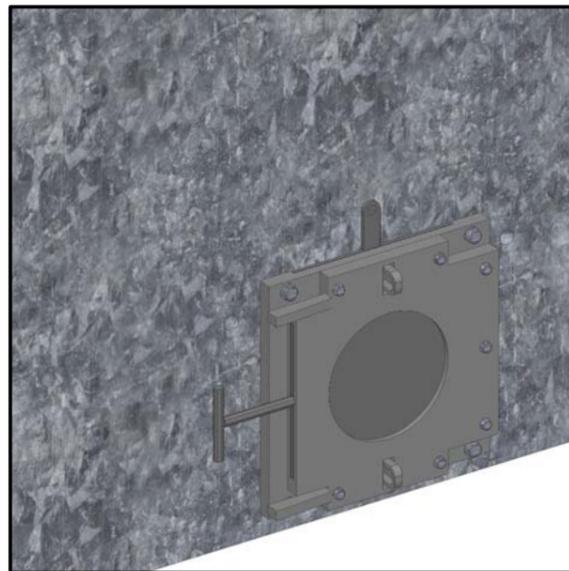
Schritt 3:
Füllen der Kammer, anschließendes Rütteln mittels
Rüttelflaschen direkt durch den Trichter, da sonst
Beton auslaufen würde. Füllen bis Beton an den
beiden Entlüftungsöffnungen ● austritt



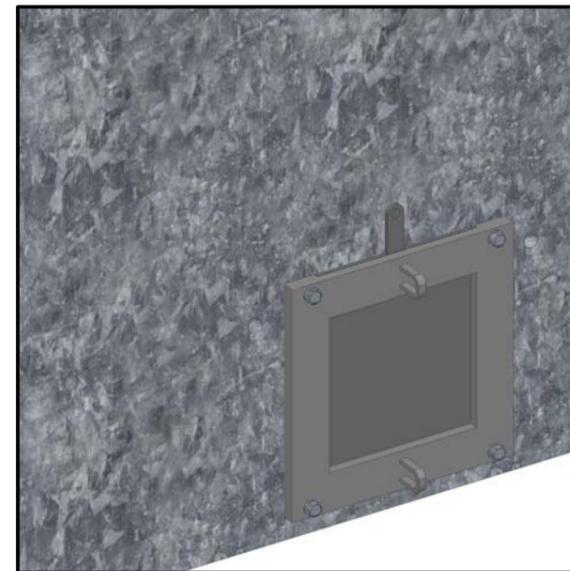
Schritt 4:
Absperrn der ausbetonierten Kammer mittels
Schieber der Einfüllhilfe. Beton kann somit nicht
mehr auslaufen



Schritt 5:
Absperrn des Schieber des Einfülltrichters, damit
überschüssiger Beton im Trichter nicht ausläuft.



Schritt 6:
Lösen der Schlagkeile und verheben des Trichters
zur nächsten Einfüllöffnung.



Schritt 7a:
Die Einfüllhilfe kann entweder wieder abgeschraubt
werden (Bei geschraubter Variante) und
anschließend die Einfüllöffnung mittels
aufgeschweißtem Blechstreifen abgedeckt werden,
oder



Schritt 7b:
Bei aufgeschweißter Einfüllhilfe kann diese gleich
als "Deckel" für die Einfüllöffnung verwendet
werden. Dazu muss noch der Schieber an der
oberseite und innerhalb des "Fensters" umlaufend
verschweißt werden.

Einfülltrichter ist in den 3D-Renderings nicht dargestellt

Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

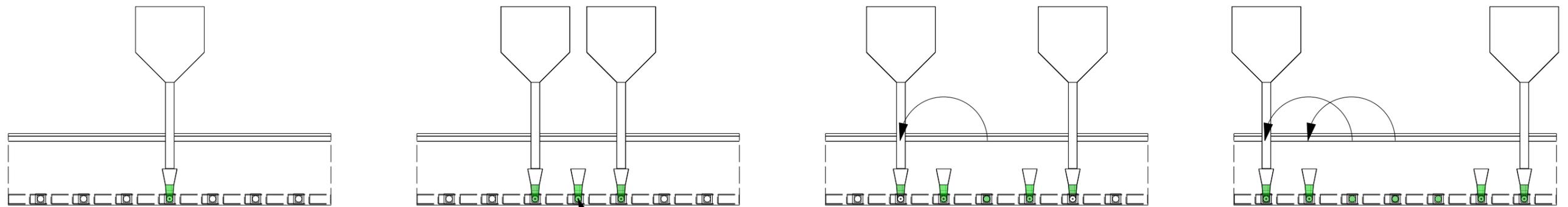
Planinhalt Arbeitsablauf
Betonierhilfsmaßnahme - Ablauffolge Betonieren mit Einfülltrichter

Plotdatum 12.08.2020

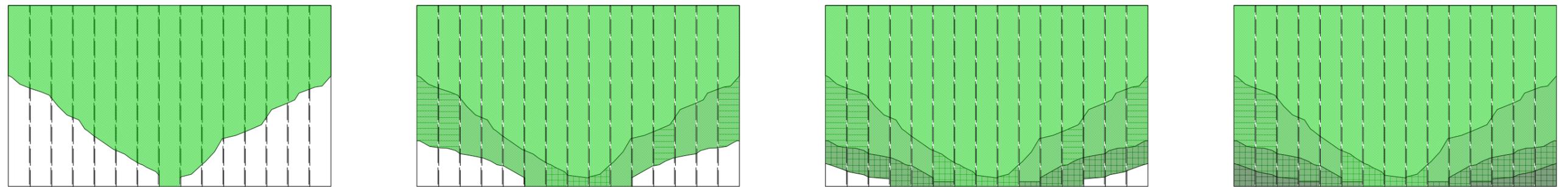
| | |
|----------|-----|
| erstellt | MF |
| Maßstab | 1:X |
| Plannr. | 3 |

D:\TU-Wien\00_Diplomarbeit\02_Pläne\Bauablauf_Betonieren_auf_der_Baustelle.2d

Befindet sich nicht bei jeder Kammer eine Einfüllöffnung, muss SCC-Beton verwendet werden, da nicht mehr in jeder Kammer gerüttelt werden kann



Durch Restbeton im Trichter wird verhindert, dass Hohlräume durch Nachrutschen des Betons entstehen



Einbringen des Betons

Einbringen des Betons
Nachrutschen des Frischbetons
Einbringen des Betons

Einbringen des Betons
Nachrutschen des Frischbetons
Verschließen
Nachrutschen des Frischbetons
Einbringen des Betons

Einbringen des Betons
Nachrutschen des Frischbetons
Verschließen
Verschließen
Nachrutschen des Frischbetons
Einbringen des Betons

Beim betonieren mit vier Trichtern erfolgt erste Füllvorgang in der Mitte. Relativ viel Beton wird im ersten Betonierschritt eingebracht. Ist die erste Kammer gefüllt, bis an den Entlüftungsöffnungen Beton austritt, können die nebenliegenden Kammern gefüllt werden. Während nun an den beiden nebenliegenden Kammern gefüllt wird, bleibt der erste Trichter noch bis zu einer gewissen Höhe mit Beton gefüllt, damit der entstehende Hohlraum, welcher durch das nachrutschen des Betons entsteht von selbst wieder aufgefüllt wird. Ist nun die nebenstehende Kammer gefüllt, bis Beton an den Entlüftungsöffnungen austritt, kann die erste Einfüllhilfe verschlossen werden und der Trichter zur nächsten Einfüllöffnung bewegt werden.

Beim betonieren mit nur zwei Trichtern beginnt man bei einem Ende der Brücke und arbeitet von einer Seite zur anderen. Das Taktprinzip der Trichter ist das selbe wie mit vier Trichtern.

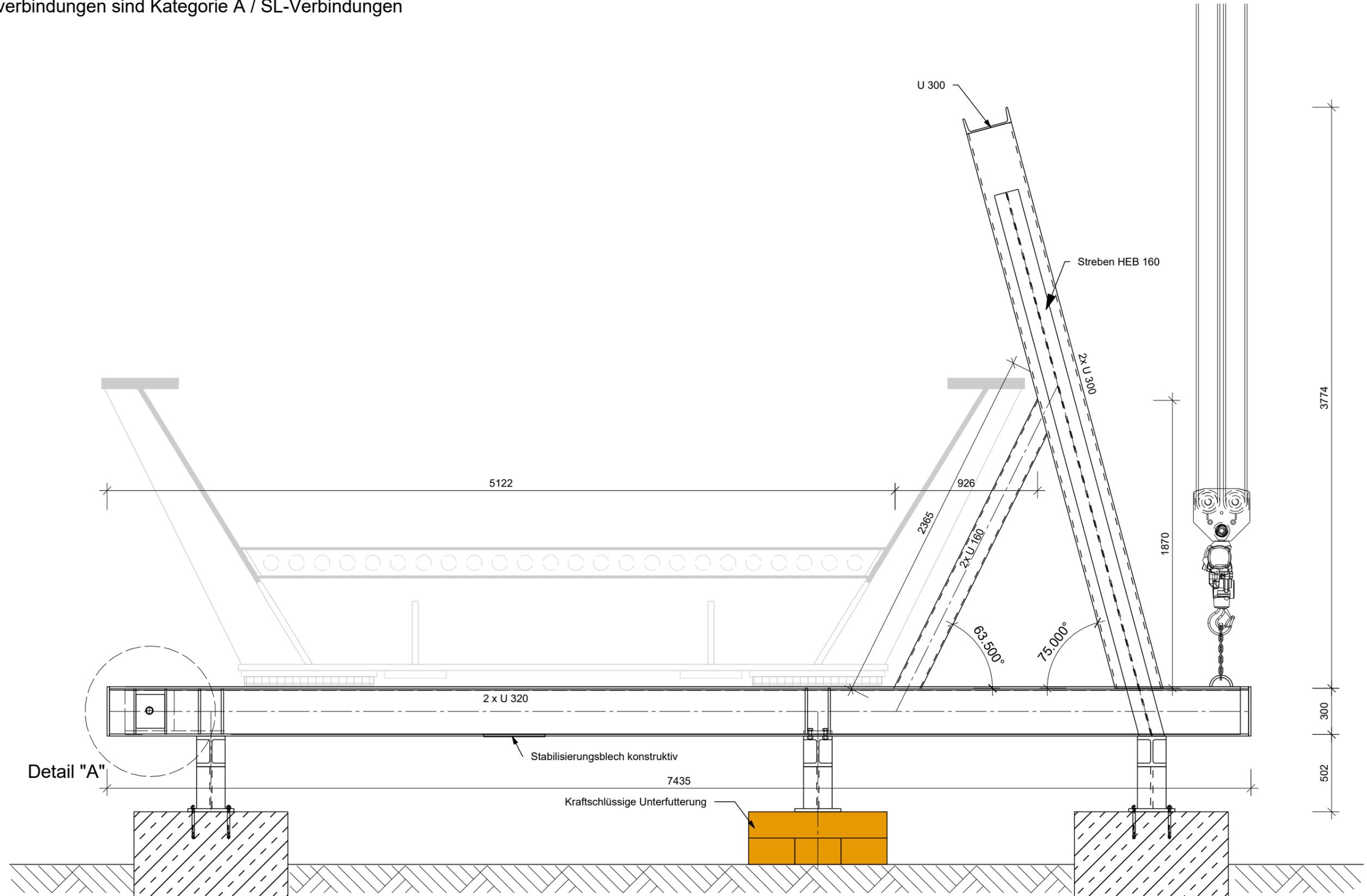
Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

Planinhalt Arbeitsablauf
Betonieren mit Trichter / Betonierhilfsmaßnahme

Plotdatum 12.08.2020

erstellt MF
Maßstab 1:25
Plannr. 4

Stahlgüte S355 J0
 EXC II
 Schraubverbindungen sind Kategorie A / SL-Verbindungen



Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

Planinhalt Arbeitsablauf
 Betonierhilfsmaßnahme - Drehtisch am Endquerschnitt - Referenzlage

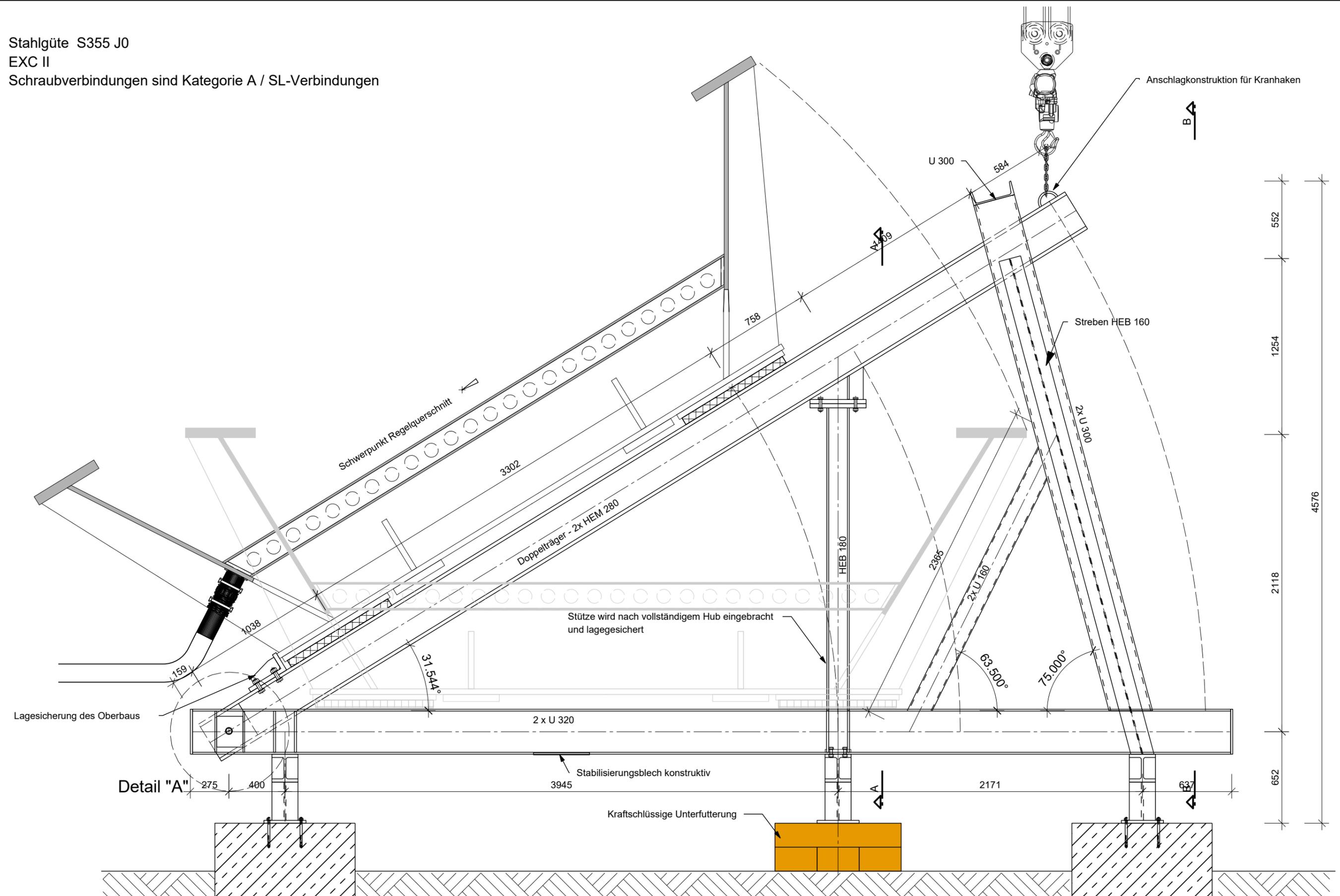
Plotdatum 12.08.2020

erstellt MF
 Maßstab 1:25
 Plannr. 5



TECHNISCHE
 UNIVERSITÄT
 WIEN
 Vienna | Austria

Stahlgüte S355 J0
 EXC II
 Schraubverbindungen sind Kategorie A / SL-Verbindungen



| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Projekt | Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete | |
| Planinhalt | Arbeitsablauf Betonierhilfsmaßnahme - Drehtisch am Endquerschnitt - Geöffnet für Betoniervorgang | |
| Plotdatum | 12.08.2020 | |

| | |
|----------|------|
| erstellt | MF |
| Maßstab | 1:25 |
| Plannr. | 6 |



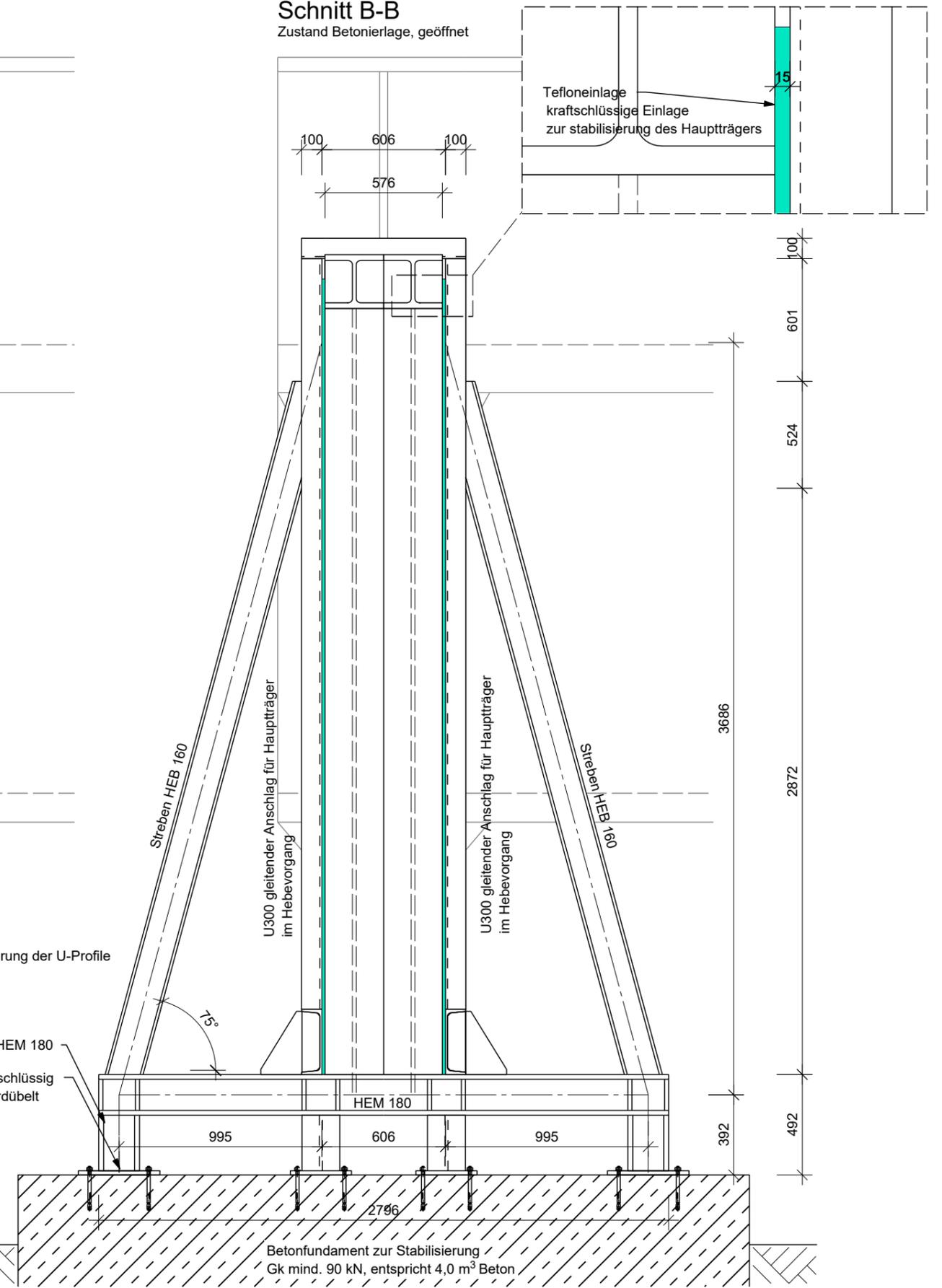
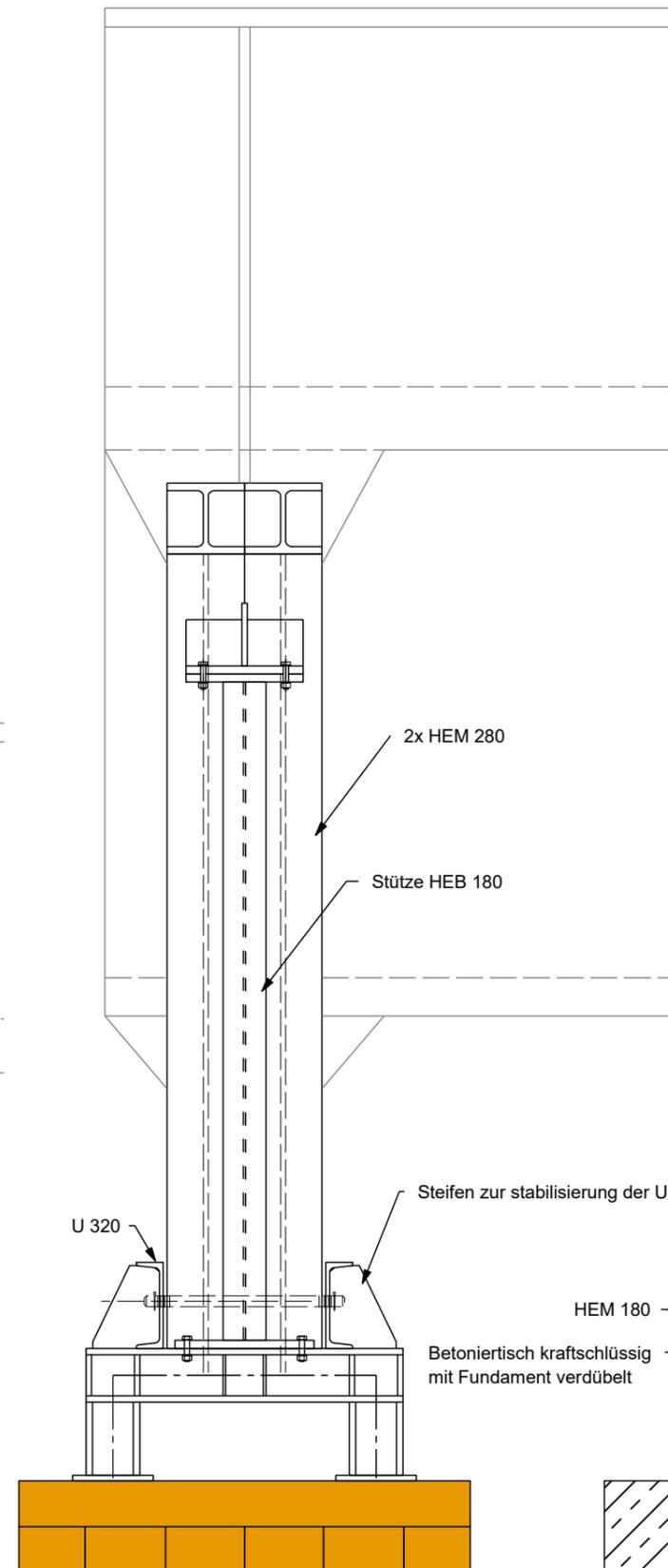
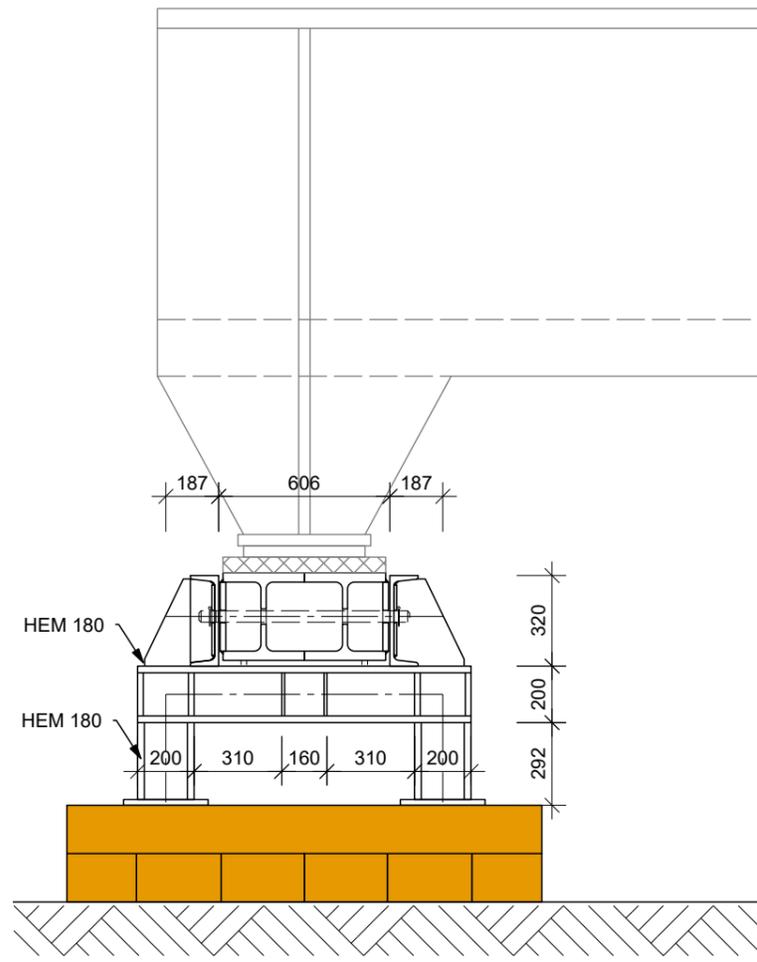
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Stahlgüte S355 J0
 EXC II
 Schraubverbindungen sind Kategorie A / SL-Verbindungen

Schnitt A-A
 Zustand Betonierlage, geöffnet

Schnitt B-B
 Zustand Betonierlage, geöffnet

Schnitt A-A
 Zustand Referenzlage, geschlossen



Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

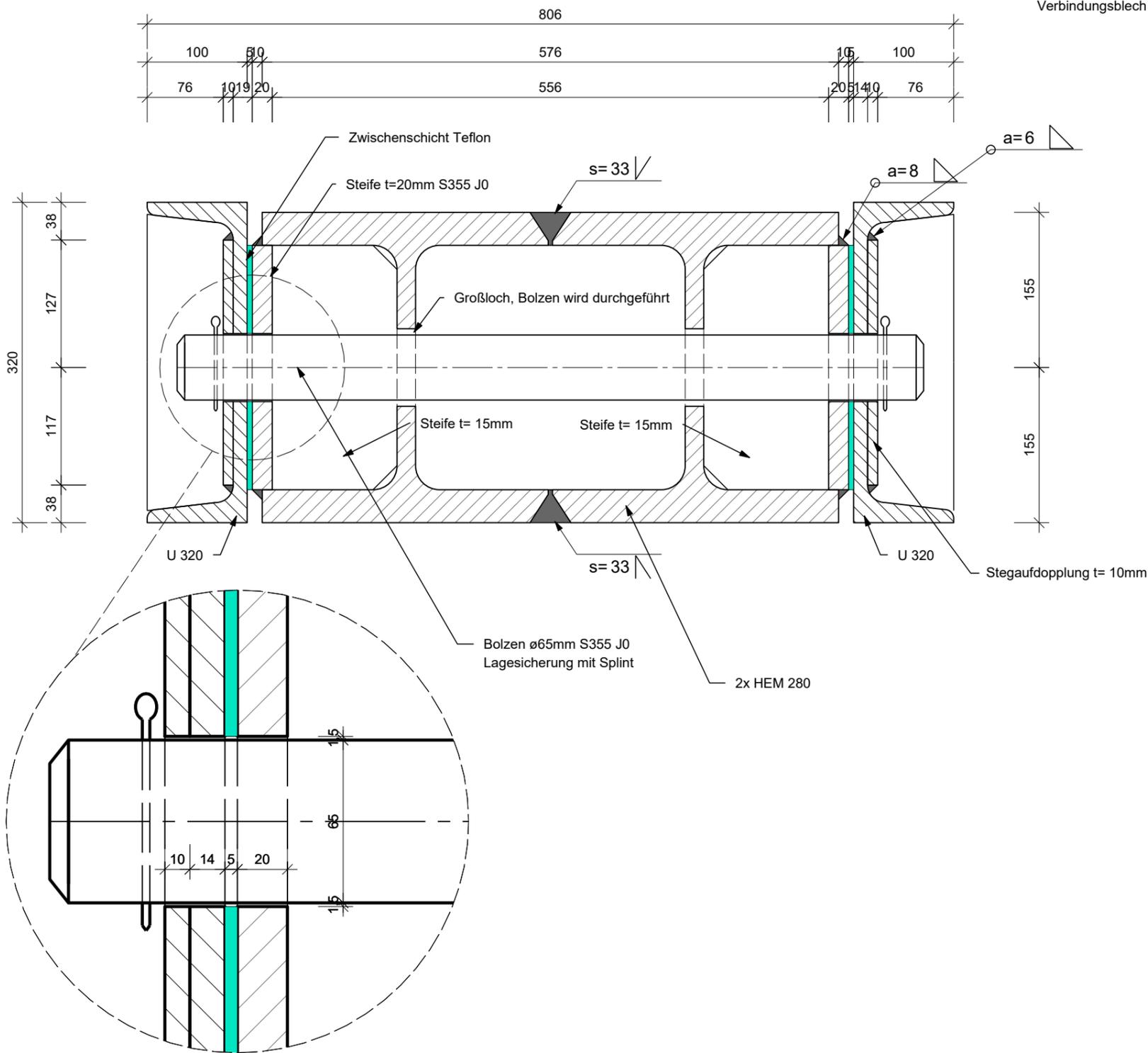
Planinhalt Arbeitsablauf
 Detail - D0101 Drehpunkt Betontisch

Plotdatum 12.08.2020

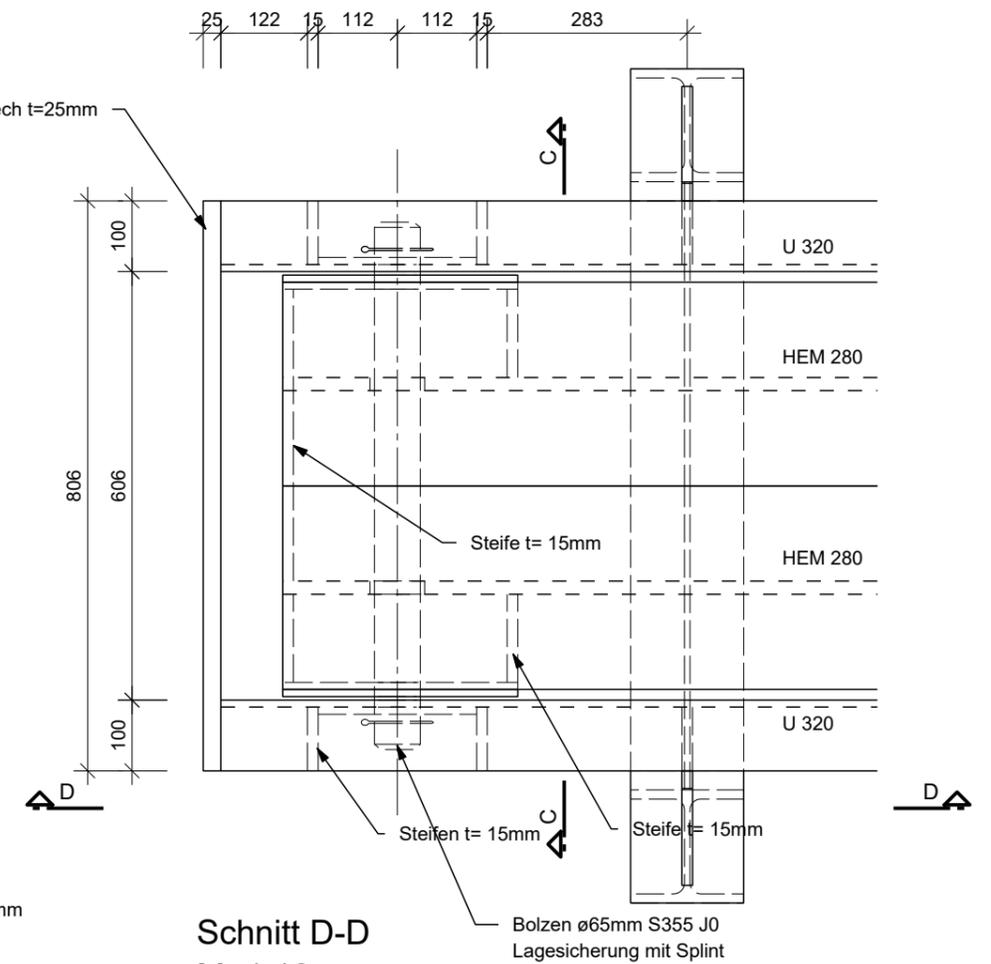
erstellt MF
 Maßstab 1:25
 Plannr. 7

D:\TU-Wien\00_Diplomarbeit\02_Pläne\Bauablauf_Betonieren_auf_der_Baustelle.2d

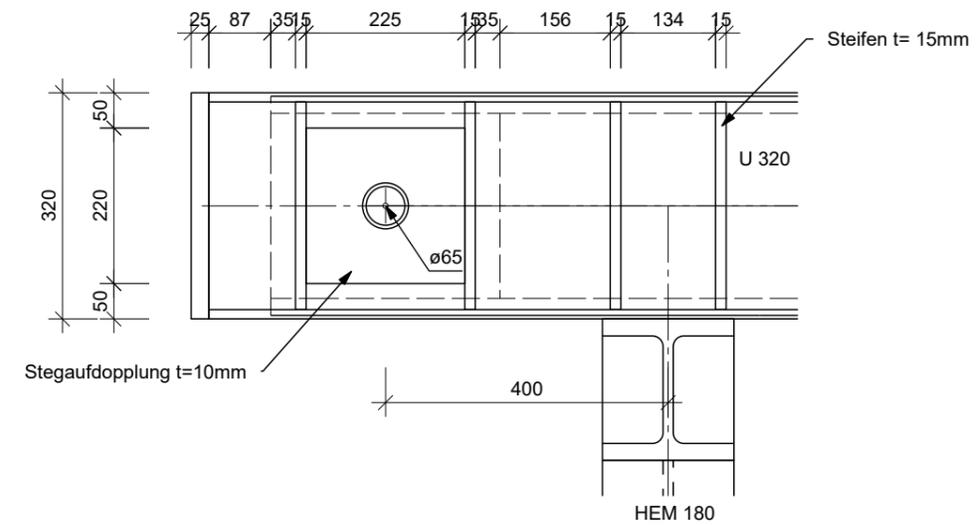
Schnitt C-C
M=1:5



Ansicht Oben
M=1:10



Schnitt D-D
M=1:10



Projekt Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete

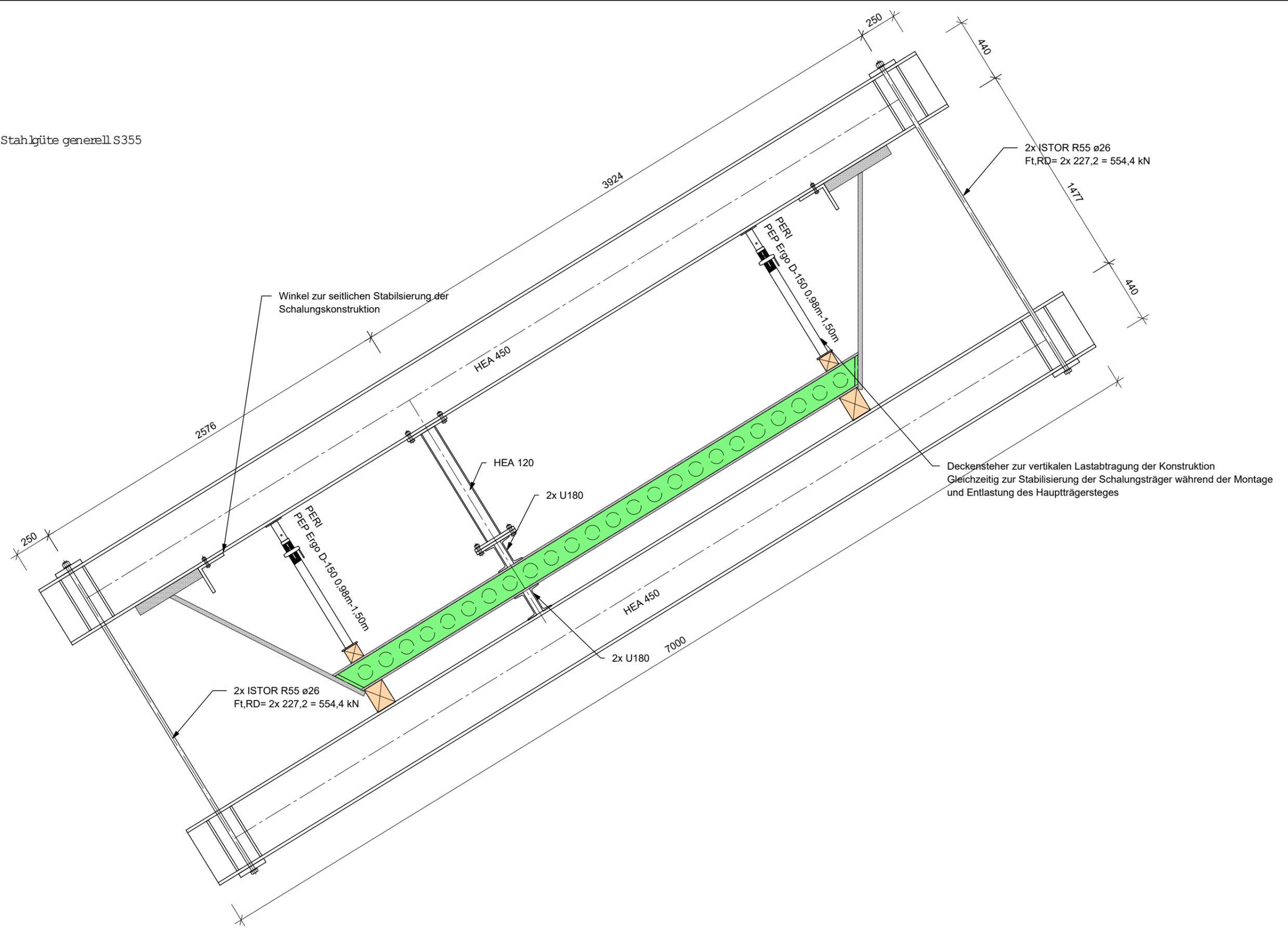
Planinhalt Arbeitsablauf
Detail - D0101 Drehachse Betoniertisch

Plotdatum 12.08.2020

erstellt MF
Maßstab 1:25
Plannr. 8

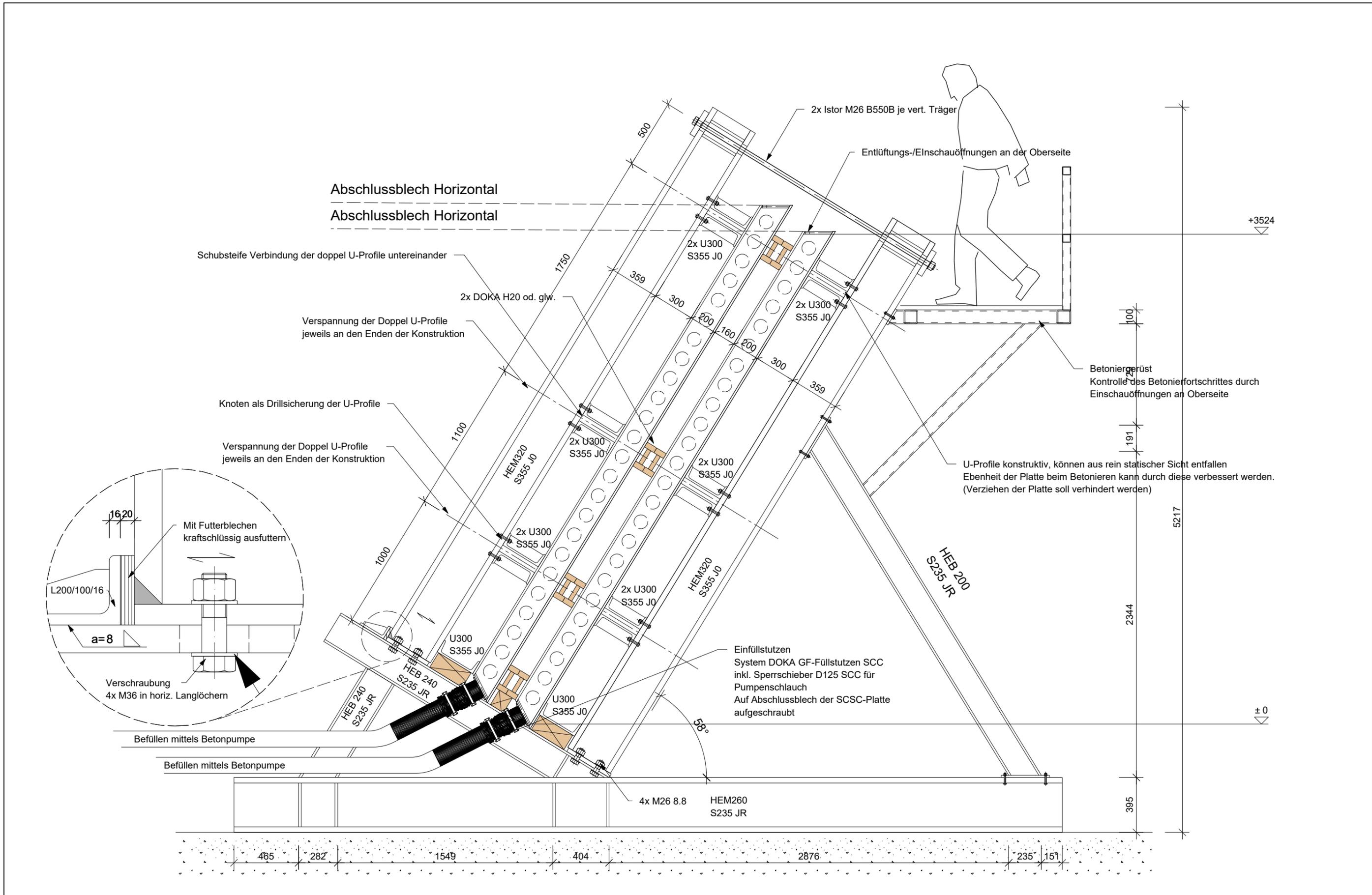
D:\TU-Wien\00_Diplomarbeit\02_Pläne\Bauablauf_Betonieren_auf_der_Baustelle.2d

Stahlgüte generell S355

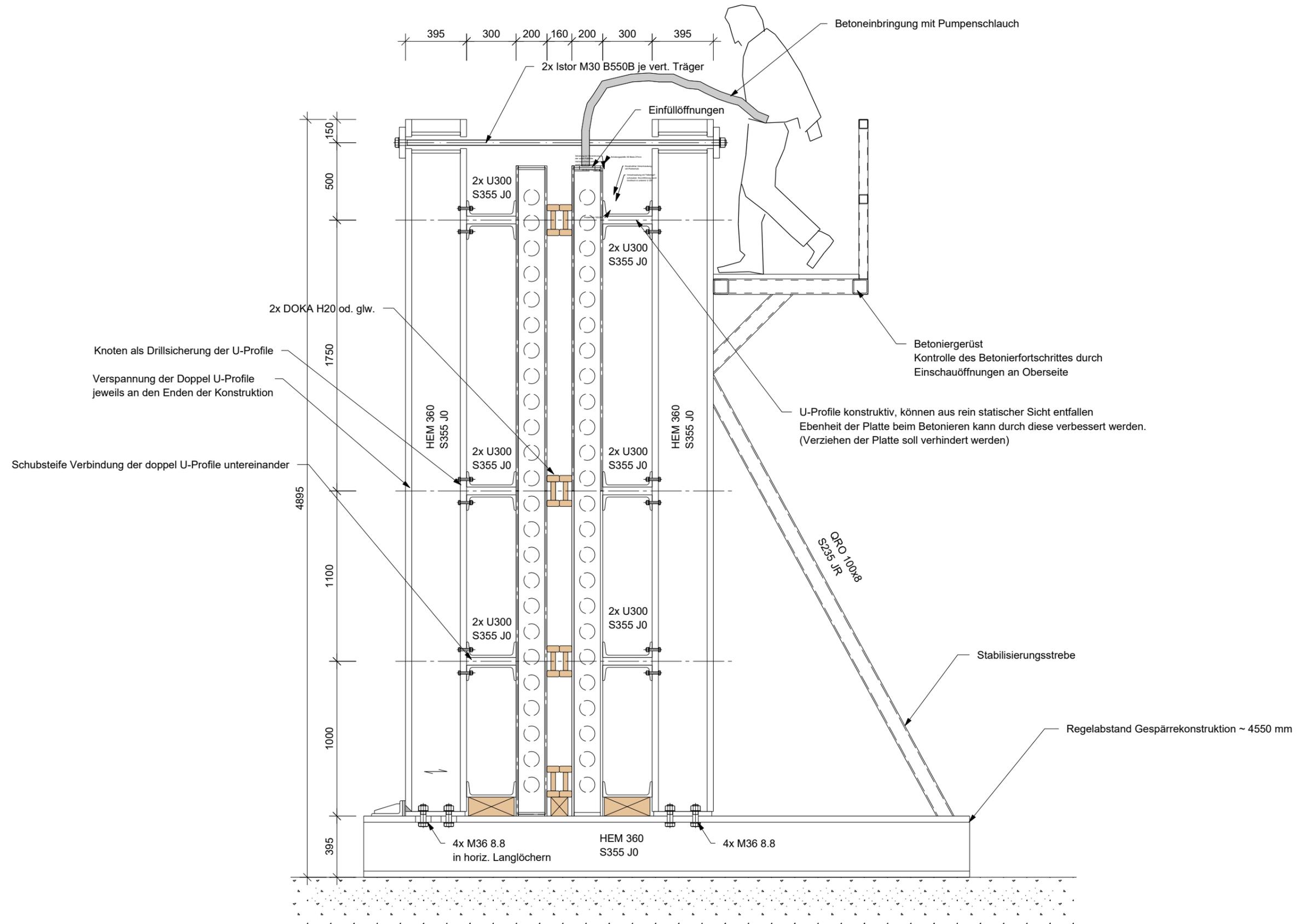


| | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Projekt | Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete | |
| Planinhalt | Arbeitsablauf Schalungskonstruktion - Betoniervorgang 30° - Variante e'=2,50m | |
| Plotdatum | 12.08.2020 | |

| | |
|----------|------|
| erstellt | MF |
| Maßstab | 1:25 |
| Plannr. | 9 |

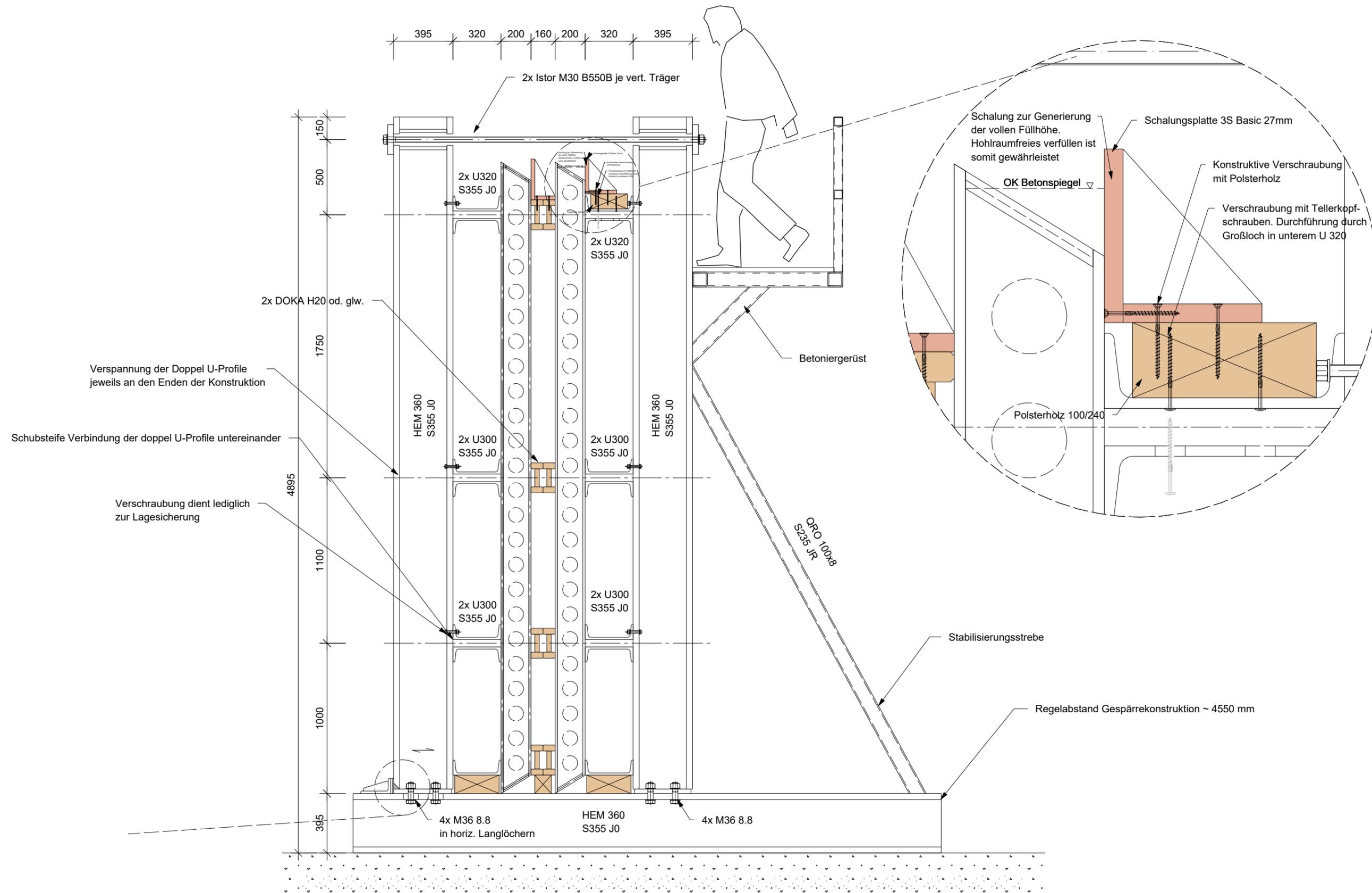


| | | | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------|----------|
| Projekt | Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete | | erstellt | MF |
| Planinhalt | Betonierhilfsmaßnahme Schalkonstruktion beim Betoniergang der SCSC-Platte mit einer Länge bis 13000mm im Winkel von ca. 58° | | Maßstab | 1:25/1:5 |
| Plotdatum | 12.08.2020 | | Plannr. | 10 |



| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Projekt | Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete | |
| Planinhalt | Betonierhilfsmaßnahme Schalkonstruktion beim Betoniervorgang der SCSC-Platte mit einer Länge bis 13000mm | |
| Plotdatum | 12.08.2020 | |
| | erstellt | MF |
| | Maßstab | 1:25/1:5 |
| | Plannr. | 12 |

D:\TU-Wien\00_Diplomarbeit\02_Pläne\Baublauf_SCSC-zur-Baustelle.2d



| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Projekt | Diplomarbeit - Herstellung von SCSC-Platten für unterschiedliche Anwendungsgebiete | |
| Planinhalt | Betonierhilfsmaßnahme Schalkonstruktion beim Betoniervorgang der SCSC-Platte mit einer Länge bis 13000mm | |
| Plotdatum | 12.08.2020 | |
| | erstellt | MF |
| | Maßstab | 1:25/1:5 |
| | Plannr. | 13 |

D:\TU-Wien\00_Diplomarbeit\02_Pläne\Baublauf_SCSC-zur-Baustelle.2d

Anhang D

Stabilitätsnachweise Drehtisch (exemplarisch für alle geführten Stabilitätsnachweise)

STAHL
 FA1
 Allgemeine
 Spannungsanalyse von
 Stäben

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.1 BASISANGABEN

| | | |
|--------------------------------------|------|-----|
| Zu bemessende Stäbe: | Alle | |
| Zu bemessende Ergebniskombinationen: | EK1 | ULS |

1.2 MATERIALIEN

| Matl. Nr. | Material-Bezeichnung | Teilsich.-Faktor γ_M [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Grenzspannungen [kN/cm ²] | | | |
|-----------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------|------------------|
| | | | | Manuell | grenz σ_x | grenz τ | grenz σ_y |
| 1 | Baustahl S 235* | 1.10 | 23.50 | <input type="checkbox"/> | 21.36 | 12.33 | 21.36 |
| 2 | Baustahl S 355* | 1.10 | 35.50 | <input type="checkbox"/> | 32.27 | 18.63 | 32.27 |

1.3.1 QUERSCHNITTE

| Quer. Nr. | Matl. Nr. | Querschnitt Bezeichnung | I_t [cm ⁴] | I_y [cm ⁴] | I_z [cm ⁴] | Kommentar |
|-----------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| | | | A [cm ²] | $\alpha_{pl,y}$ | $\alpha_{pl,z}$ | |
| 2 | 2 | HEB 160 | 31.24 | 2492.00 | 889.20 | |
| | | | 54.25 | 1.14 | 1.53 | |
| 3 | 2 | 2I HEM 280-288 | 55103.20 | 79100.00 | 125936.00 | |
| | | | 480.40 | 1.16 | 1.58 | |
| 4 | 2 | U 320 DIN 1026-1:1963 | 66.70 | 10870.00 | 597.00 | |
| | | | 75.80 | 1.07 | 1.88 | |
| 5 | 2 | U 160 DIN 1026-1:1963 | 7.39 | 925.00 | 85.30 | |
| | | | 24.00 | 1.08 | 1.92 | |
| 6 | 1 | Rechteck 100/100 | 1406.67 | 833.33 | 833.33 | |
| | | | 100.00 | 1.50 | 1.50 | |
| 8 | 2 | HEM 180 | 203.30 | 7483.00 | 2580.00 | |
| | | | 113.30 | 1.18 | 1.53 | |
| 9 | 2 | U 300 | 37.40 | 8030.00 | 495.00 | |
| | | | 58.80 | 1.07 | 1.92 | |
| 11 | 2 | HEB 180 | 42.16 | 3831.00 | 1363.00 | |
| | | | 65.25 | 1.13 | 1.53 | |
| 12 | 2 | Rechteck 25/320 | 158.46 | 6826.67 | 41.67 | |
| | | | 80.00 | 1.50 | 1.50 | |

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Imperfektionsbeiwert | α |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.49 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.76 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.34 |
| Parameter für ϕ | λ_0 |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.40 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.40 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.20 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.20 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.20 |
| Imperfektionsbeiwert | α_{LT} |
| Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos) | 0.34 |
| Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte | 0.76 |

1.2 MATERIALIEN

| Material-Nr. | Material Bezeichnung | E-Modul E [kN/cm ²] | Schubmodul G [kN/cm ²] | Querdehnzahl ν [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Max. Bauteildicke t [mm] |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 2 | Baustahl S 355 EN 10025-2:2004-11 | 21000.00 | 8076.92 | 0.300 | 35.50 | 3.0 |
| | | | | | 35.50 | 16.0 |
| | | | | | 34.50 | 40.0 |
| | | | | | 33.50 | 63.0 |
| | | | | | 32.50 | 80.0 |
| | | | | | 31.50 | 100.0 |
| | | | | | 29.50 | 150.0 |
| | | | | | 28.50 | 200.0 |

1.3 QUERSCHNITTE

| Quer. Nr. | Material-Nr. | Querschnitt Bezeichnung | Querschnittstyp | Maximale Ausnutzung | Kommentar |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| 2 | 2 | HEB 160 | I-Profil gewalzt | 0.01 | |
| 5 | 2 | U 160 DIN 1026-1:1963 | U-Profil gewalzt | 0.00 | |
| 9 | 2 | U 300 | U-Profil gewalzt | 0.01 | |
| 11 | 2 | HEB 180 | I-Profil gewalzt | 0.39 | |

1.5 KNICKLÄNGEN - STÄBE

| Stab Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | Knicken um Achse z | | Biegedrillknicken | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 37 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.200 | 2.200 |
| 41 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.200 | 2.200 |
| 42 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 43 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.396 | 0.396 |
| 44 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.396 | 0.396 |
| 47 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 3.649 | 3.649 |
| 48 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 3.649 | 3.649 |
| 49 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.378 | 2.378 |
| 50 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.378 | 2.378 |
| 51 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 1.349 | 1.349 |
| 52 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 1.349 | 1.349 |
| 83 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.200 | 2.200 |
| 84 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.200 | 2.200 |
| 85 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 86 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.396 | 0.396 |
| 87 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.396 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.396 | 0.396 |
| 88 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 3.649 | 3.649 |
| 89 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 3.649 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 3.649 | 3.649 |
| 90 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.378 | 2.378 |
| 91 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.378 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.378 | 2.378 |
| 92 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 1.349 | 1.349 |
| 93 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 1.349 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 1.349 | 1.349 |
| 123 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.200 | 2.200 |
| 127 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 2.200 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 2.200 | 2.200 |
| 128 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |

Projekt:

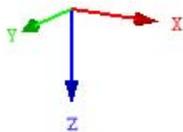
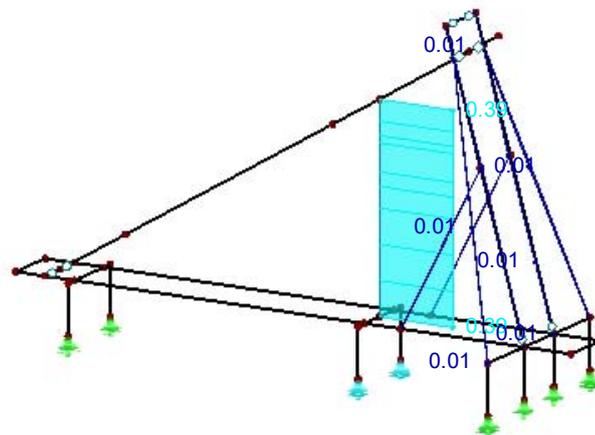
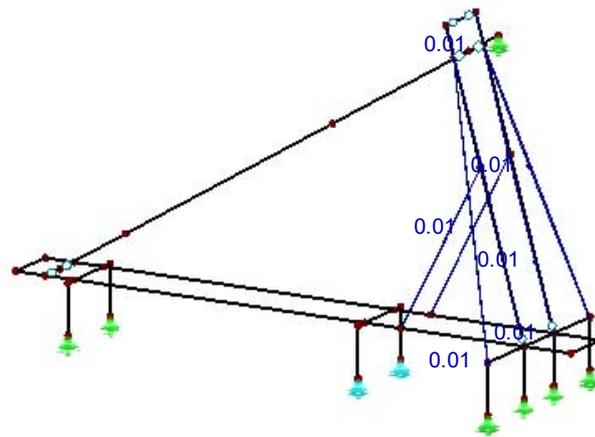
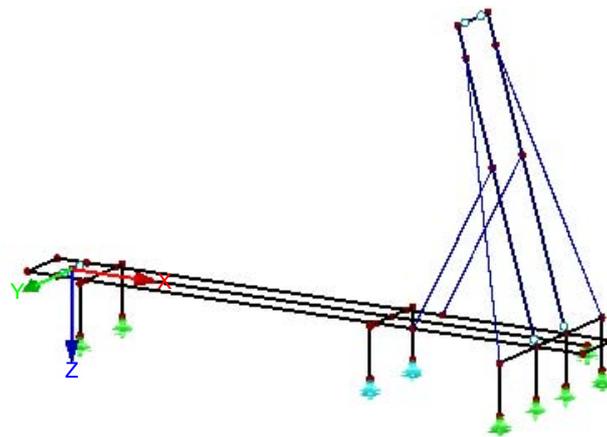
Modell: Drehtisch_Index-03

MODELL

STAHL EC3 FA1

Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis, Stabilitätsnachweis, Schweißnahtbemessung, Druckbemessung, Plastische Bemessung

Isometrie



Max Nachweis: 0.39

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Imperfektionsbeiwert Knicken | α |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.49 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.76 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.34 |
| Parameter für ϕ | λ_0 |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.40 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.40 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.20 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.20 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.20 |
| Imperfektionsbeiwert | α_{LT} |
| Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos) | 0.34 |
| Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte | 0.76 |

1.2 MATERIALIEN

| Material-Nr. | Material Bezeichnung | E-Modul E [kN/cm ²] | Schubmodul G [kN/cm ²] | Querdehnzahl ν [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Max. Bauteildicke t [mm] |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 2 | Baustahl S 355 EN 10025-2:2004-11 | 21000.00 | 8076.92 | 0.300 | 35.50 | 3.0 |
| | | | | | 35.50 | 16.0 |
| | | | | | 34.50 | 40.0 |
| | | | | | 33.50 | 63.0 |
| | | | | | 32.50 | 80.0 |
| | | | | | 31.50 | 100.0 |
| | | | | | 29.50 | 150.0 |
| | | | | | 28.50 | 200.0 |

1.3 QUERSCHNITTE

| Quer. Nr. | Material-Nr. | Querschnitt Bezeichnung | Querschnittstyp | Maximale Ausnutzung | Kommentar |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| 4 | 2 | U 320 DIN 1026-1:1963 | U-Profil gewalzt | 0.95 | |

1.7 KNOTENLAGER

| Nr. | Knoten Nr. | Lagerung Drehung β [°] | Seitliche Stützung u_y | Einspannung | | Wölb-Einspannung ω | Exzentrizität | | Kommentar |
|-----------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|------------|-----------|
| | | | | ϕ_x | ϕ_z | | e_x [mm] | e_z [mm] | |
| Stabsatz Nr. 1 - Stabzug 1 | | | | | | | | | |
| 1 | 98 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 2 | 42 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 3 | 46 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 5 | 14 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 6 | 19 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 2 - Stabzug 2 | | | | | | | | | |
| 1 | 47 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 2 | 21 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 3 | 15 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 4 | 104 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 5 | 43 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 3 - Stabzug 1 | | | | | | | | | |
| 1 | 74 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 2 | 56 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 3 | 52 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 4 | 30 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 5 | 70 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 4 - Stabzug 2 | | | | | | | | | |
| 1 | 75 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 2 | 57 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 3 | 53 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 4 | 64 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 5 | 71 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 8 - Stabzug 8 | | | | | | | | | |
| 1 | 111 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 2 | 88 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 3 | 80 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 4 | 120 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 5 | 107 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 9 - Stabzug 9 | | | | | | | | | |
| 1 | 112 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 2 | 90 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.7 KNOTENLAGER

| Nr. | Knoten Nr. | Lagerung Drehung β [°] | Seitliche Stützung u_Y | Einspannung | | Wölb-Einspannung ω | Exzentrizität | | Kommentar |
|-----|------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|------------|-----------|
| | | | | φ_X | φ_Z | | e_X [mm] | e_Z [mm] | |
| 3 | 81 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 4 | 121 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |
| 5 | 108 | 0.00 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 | 0.0 | |

2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSSWEISE

| Quer. Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/EK | Nachweis | Gleichung Nr. | Bezeichnung |
|-----------|--------------------------------|--------------|----------|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | U 320 DIN 1026-1:1963 | | | | | |
| | 112 | 0.000 | EK1 | 0.00 | ≤ 1 | CS100) Keine bzw. sehr kleine Schnittgrößen |
| | 53 | 0.000 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS101) Querschnittsnachweis - Zug nach 6.2.3 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4 |
| | 99 | 0.400 | EK1 | 0.01 | ≤ 1 | CS117) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse nach 6.2.5 - Klasse 3 |
| | 13 | 0.400 | EK1 | 0.46 | ≤ 1 | CS122) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse z nach 6.2.6(4) - Klasse 3 oder 4 |
| | 62 | 0.000 | EK1 | 0.01 | ≤ 1 | CS124) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse y nach 6.2.6(4) - Klasse 3 oder 4 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.00 | ≤ 1 | CS126) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(6) |
| | 99 | 0.400 | EK1 | 0.01 | ≤ 1 | CS152) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse und Querkraft nach 6.2.9.2 und 6.2.10 - Klasse 3 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.61 | ≤ 1 | CS185) Querschnittsnachweis - Biegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 |
| | 62 | 0.000 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS205) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 |
| | 14 | 0.400 | EK1 | 0.64 | ≤ 1 | CS225) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 |
| | 60 | 0.000 | EK1 | 0.95 | ≤ 1 | ST371) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.4, Allgemeines Verfahren |

Projekt:

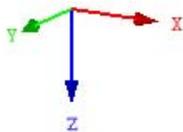
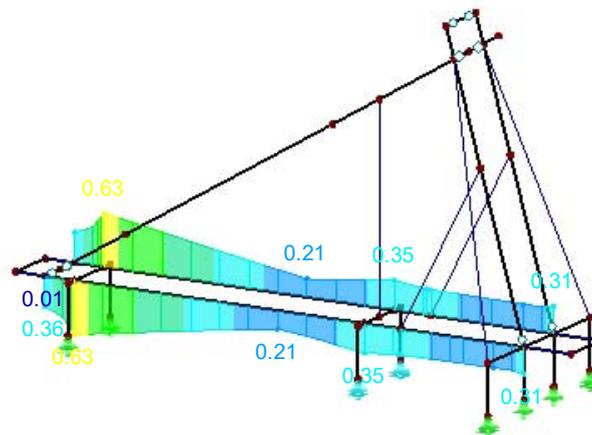
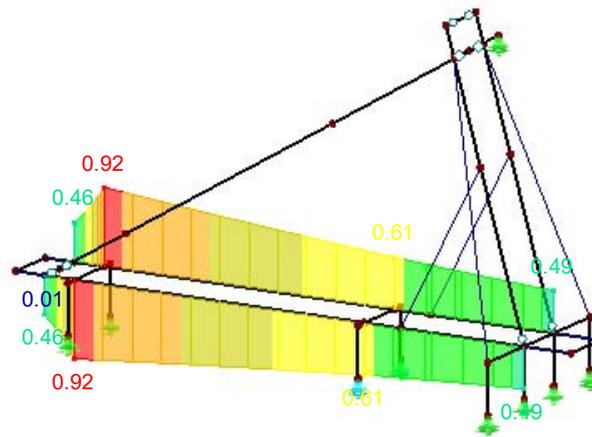
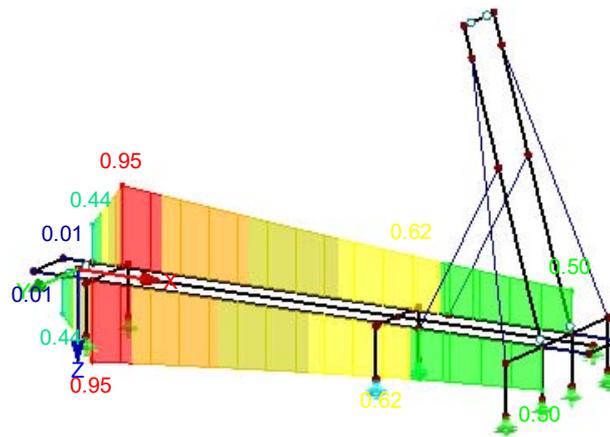
Modell: Drehtisch_Index-03

MODELL

STAHL EC3 FA2

Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis, Stabilitätsnachweis, Schweißnahtbemessung, Druckbemessung, Plastische Bemessung

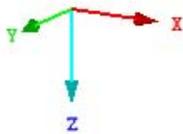
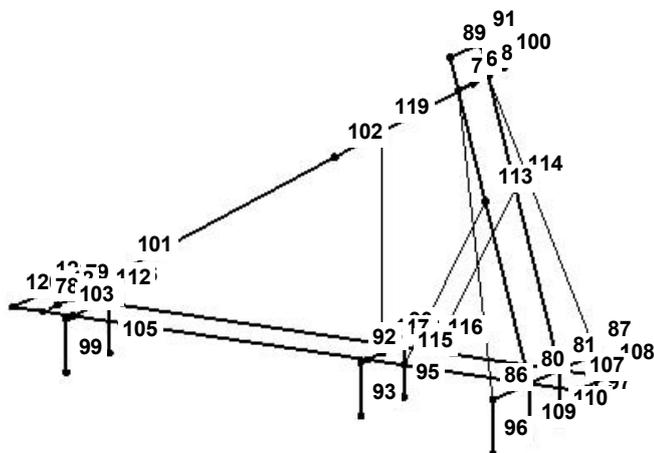
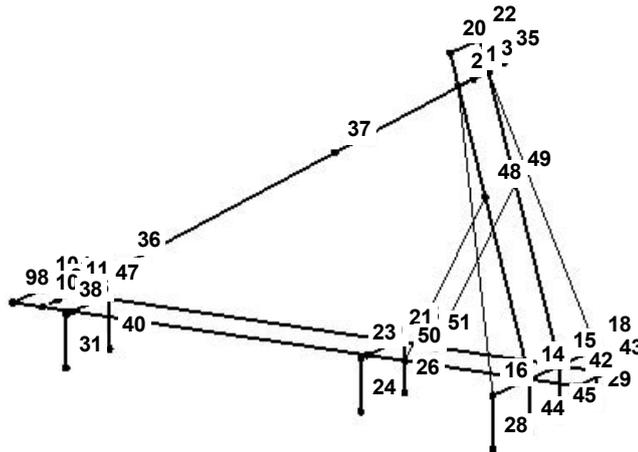
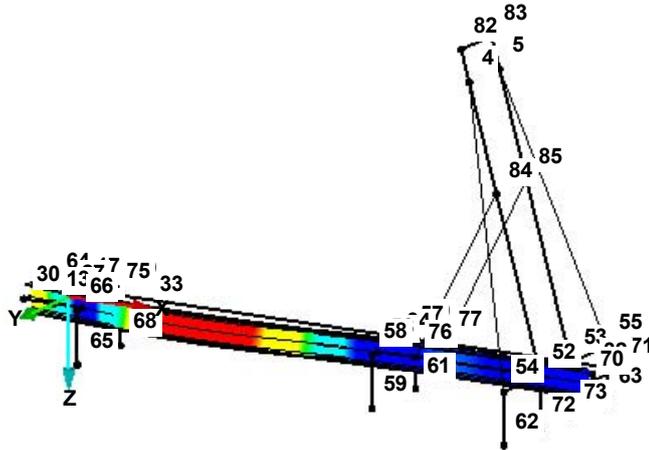
Isometrie



Max Nachweis: 0.95

EIGENFORM

Isometrie



Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Imperfektionsbeiwert Knicken | α |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.49 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.76 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.34 |
| Parameter für ϕ | λ_0 |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.40 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.40 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.20 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.20 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.20 |
| Imperfektionsbeiwert | α_{LT} |
| Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos) | 0.34 |
| Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte | 0.76 |

1.2 MATERIALIEN

| Material-Nr. | Material Bezeichnung | E-Modul E [kN/cm ²] | Schubmodul G [kN/cm ²] | Querdehnzahl ν [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Max. Bauteildicke t [mm] |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 2 | Baustahl S 355 EN 10025-2:2004-11 | 21000.00 | 8076.92 | 0.300 | 35.50 | 3.0 |
| | | | | | 35.50 | 16.0 |
| | | | | | 34.50 | 40.0 |
| | | | | | 33.50 | 63.0 |
| | | | | | 32.50 | 80.0 |
| | | | | | 31.50 | 100.0 |
| | | | | | 29.50 | 150.0 |
| | | | | | 28.50 | 200.0 |

1.3 QUERSCHNITTE

| Quer. Nr. | Material-Nr. | Querschnitt Bezeichnung | Querschnittstyp | Maximale Ausnutzung | Kommentar |
|-----------|--------------|---------------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| 3 | 2 | 2I HEM 280-288 | Allgemein | 0.64 | |
| | | Typ Allgemein - nur Klasse 3 und Klasse 4 möglich | | | |

1.7 KNOTENLAGER

| Nr. | Knoten Nr. | Lagerung Drehung β [°] | Seitliche Stützung u_y | Einspannung ϕ_x ϕ_z | Wölb-Einspannung ω | Exzentrizität e_x [mm] e_z [mm] | Kommentar |
|-----------------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------|
| Stabsatz Nr. 5 - Hauptträger 30° | | | | | | | |
| 1 | 35 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 0.0 | |
| 2 | 9 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 6 - Hauptträger 0° | | | | | | | |
| 1 | 27 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 0.0 | |
| 2 | 32 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 0.0 | |
| Stabsatz Nr. 7 - Stabzug 7 | | | | | | | |
| 1 | 12 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 0.0 | |
| 2 | 6 | 0.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0.0 0.0 | |

2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSWEISE

| Quer. Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/EK | Nachweis | Gleichung Nr. | Bezeichnung |
|-----------|-----------------------|--------------|----------|----------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | 2I HEM 280-288 | | | | | |
| | 144 | 1.428 | EK1 | 0.00 | ≤ 1 | CS100) Keine bzw. sehr kleine Schnittgrößen |
| | 121 | 0.746 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS101) Querschnittsnachweis - Zug nach 6.2.3 |
| | 31 | 0.000 | EK1 | 0.03 | ≤ 1 | CS102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4 |
| | 33 | 0.000 | EK1 | 0.63 | ≤ 1 | CS112) Querschnittsnachweis - Biegung um y-Achse nach 6.2.5 - Klasse 3 |
| | 30 | 0.000 | EK1 | 0.34 | ≤ 1 | CS122) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse z nach 6.2.6(4) - Klasse 3 oder 4 |
| | 33 | 0.000 | EK1 | 0.63 | ≤ 1 | CS143) Querschnittsnachweis - Biegung und Querkraft nach 6.2.9.2 und 6.2.10 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt |
| | 33 | 0.000 | EK1 | 0.64 | ≤ 1 | CS163) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung und Querkraft nach 6.2.9.2 und 6.2.10 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt |
| | 32 | 3.300 | EK1 | 0.63 | ≤ 1 | CS183) Querschnittsnachweis - Biegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.9.2 - Klasse 3 - Allgemeiner Q |

Projekt: Modell: Drehtisch_Index-03

2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSWEISE

| Quer. Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/EK | Nachweis | Gleichung Nr. | Bezeichnung | |
|-----------|----------|--------------|----------|----------|---------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 32 | 3.300 | EK1 | 0.64 | ≤ 1 | CS223) | Querschnitt Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.4, Allgemeines Verfahren |
| | 31 | 1.050 | EK1 | 0.37 | ≤ 1 | ST371) | |

Projekt:

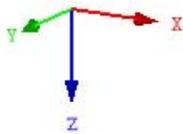
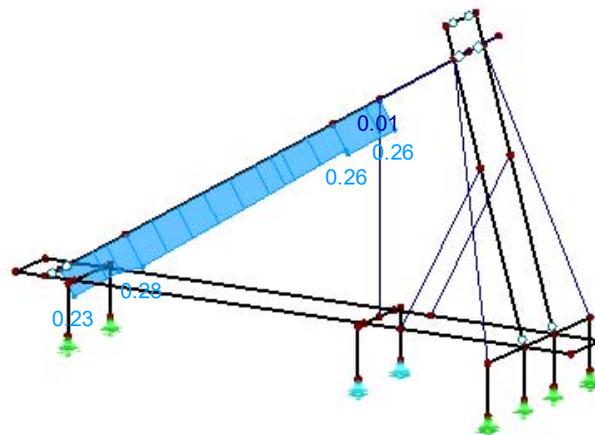
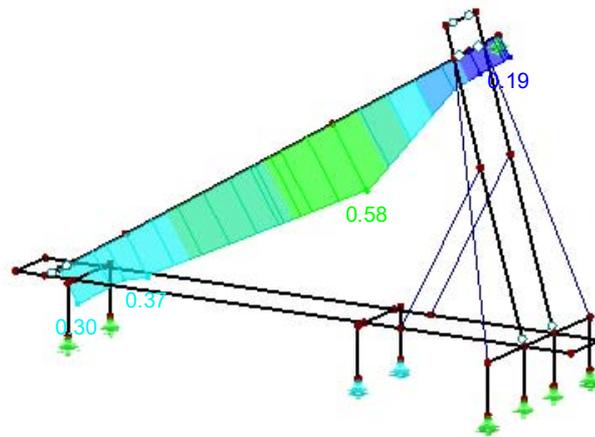
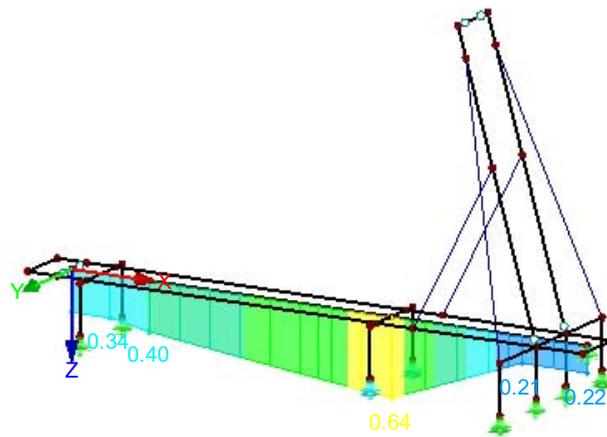
Modell: Drehtisch_Index-03

MODELL

STAHL EC3 FA3

Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis, Stabilitätsnachweis, Schweißnahtbemessung, Druckbemessung, Plastische Bemessung

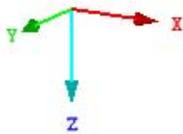
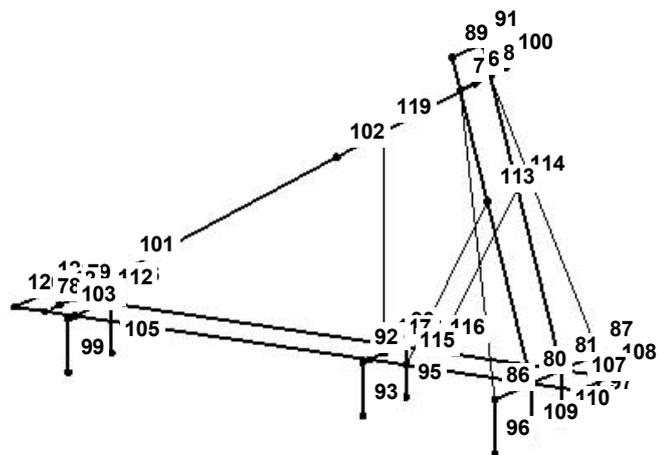
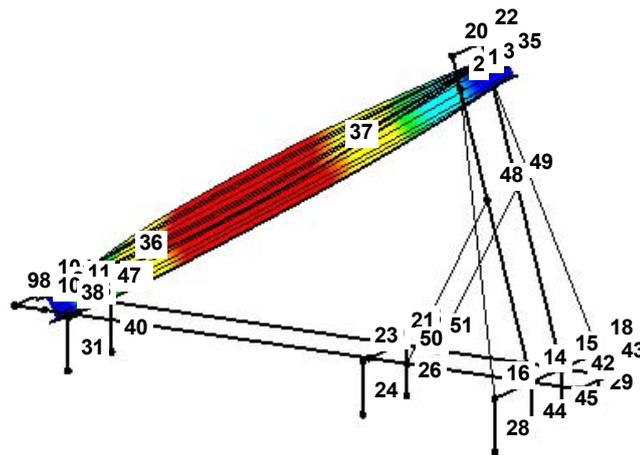
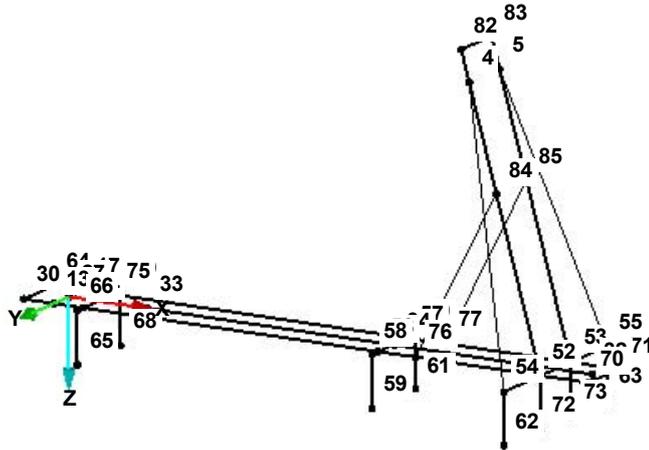
Isometrie



Max Nachweis: 0.64

EIGENFORM

Isometrie



STAHL EC3
 FA4
 Verschiebliche Rahmen

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1 BASISANGABEN

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zu bemessende Stäbe: | 1,4,5,9,12,18,21,22,25,26,28,29,39,40,45,46,59,67,68,71,72, 74,75,78-80,94,97,98,102,110,111,114,115,117,118,125,126,131, 142 |
| Zu bemessende Stabsätze: | |
| Nationaler Anhang: | ÖNORM |
| Tragfähigkeitsnachweise | |
| Zu bemessende Ergebniskombinationen: | EK1 ULS |

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Teilsicherheitsbeiwerte nach 6.1, Anmerkung 2B | |
| Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} : | 1.10 |
| Für Beanspruchbarkeit von Bauteilen durch | 1.10 |
| Stabilitätsversagen (untersucht nach Abs. 6.3) γ_{M1} : | |
| Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge von Zugbeanspruchung γ_{M2} : | 1.25 |
| Brandeigenschaften | |
| $\gamma_{M,fi}$ | 1.00 |
| Schub nach 6.2.6(3) und Schubbeulen nach EN 1993-1-5 | |
| Faktor η : | 1.20 |
| Parameter für Biegedrillknicken | |
| Imperfektionsbeiwerte der Biegedrillknicklinien nach Tabelle 6.3 | |
| Knicklinie a: | 0.21 |
| Knicklinie b: | 0.34 |
| Knicklinie c: | 0.49 |
| Knicklinie d: | 0.76 |
| Faktor f zur Modifizierung von χ_{LT} nach 6.3.2.3(2) anwenden | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Parameter für ϕ_{LT} nach 6.3.2.3(1): | |
| I-Profil gewalzt | |
| $\lambda_{LT,0}$: | 0.40 |
| β : | 0.75 |
| I-Profil geschweißt | |
| $\lambda_{LT,0}$: | 0.40 |
| β : | 0.75 |
| Biegedrillknicklinien ermitteln: | Falls möglich, nach 6.3.2.3, Gl. (6.57), sonst nach 6.3.2.2, Gl. (6.56) |
| Interaktionsfaktoren für 6.3.3(4) bestimmen nach Verfahren: | 2 nach Annex B |
| Gebrauchstauglichkeit-Grenzwerte (Verschiebungen) nach 7.2 | |
| Kombination der Einwirkungen (Tabelle A1.4 der EN 1990): | |
| GC : Charakteristisch | L / 300 |
| | Kragträger $L_c / 150$ |
| GH : Häufig | L / 200 |
| | $L_c / 100$ |
| GQ : Quasi-ständig | L / 200 |
| | $L_c / 100$ |
| Allgemeines Verfahren nach 6.3.4 | |
| Das allgemeine Verfahren auch für Querschnitte verwenden, die keine I-Form haben | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Allgemeines Verfahren für Stabilitäts-nachweis nach 6.3.4 verwenden | <input type="checkbox"/> |
| Europäische Biegedrillknickkurve nach [5] verwenden | <input type="checkbox"/> |
| Johannes Caspar Naumes Verfahren für Nachweis für aus-der-Ebene Stabilität verwenden | <input type="checkbox"/> |
| Interpolation nach Gl. (6.66) verwenden | <input type="checkbox"/> |
| Parameter für nichtrostenden Stahl (EN 1993-1-4) | |
| Teilsicherheitsbeiwerte nach 5.1 | |
| Für Widerstand von Querschnitten | |
| γ_{M0} | 1.10 |
| Für Widerstand von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (für Bemessung nach 6.3) | |
| γ_{M1} | 1.10 |
| Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung | |
| γ_{M2} | 1.25 |
| Schub nach 5.6(2) und Schubbeulen | |
| η | 1.20 |

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Parameter für Stabilitätsnachweis | |
| Imperfektionsbeiwert | α |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.49 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.76 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.34 |
| Parameter für ϕ | |
| Knicken | λ_0 |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.40 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.40 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.20 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.20 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.20 |
| Imperfektionsbeiwert | |
| Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos) | α_{LT} |
| Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte | 0.34 |
| | 0.76 |

1.2 MATERIALIEN

| Material-Nr. | Material Bezeichnung | E-Modul E [kN/cm ²] | Schubmodul G [kN/cm ²] | Querdehnzahl ν [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Max. Bauteildicke t [mm] |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 2 | Baustahl S 355 EN 10025-2:2004-11 | 21000.00 | 8076.92 | 0.300 | 35.50 | 3.0 |
| | | | | | 35.50 | 16.0 |
| | | | | | 34.50 | 40.0 |
| | | | | | 33.50 | 63.0 |
| | | | | | 32.50 | 80.0 |
| | | | | | 31.50 | 100.0 |
| | | | | | 29.50 | 150.0 |
| | | | | | 28.50 | 200.0 |

1.3 QUERSCHNITTE

| Quer. Nr. | Material-Nr. | Querschnitt Bezeichnung | Querschnitts-typ | Maximale Ausnutzung | Kommentar |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| 8 | 2 | HEM 180 | I-Profil gewalzt | 0.75 | |

1.5 KNICKLÄNGEN - STÄBE

| Stab Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 5 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 9 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 12 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 18 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 21 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 22 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 25 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 26 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 28 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 29 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 39 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 40 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 45 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 46 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 59 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 67 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 68 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 71 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 72 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 74 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 75 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 78 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 79 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 80 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 94 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 97 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 98 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.50 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.700 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.700 | 0.700 |
| 102 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 16.33 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.150 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.150 | 0.150 |
| 110 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |
| 111 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.77 | 2.450 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 0.650 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 0.650 | 0.650 |

Projekt:

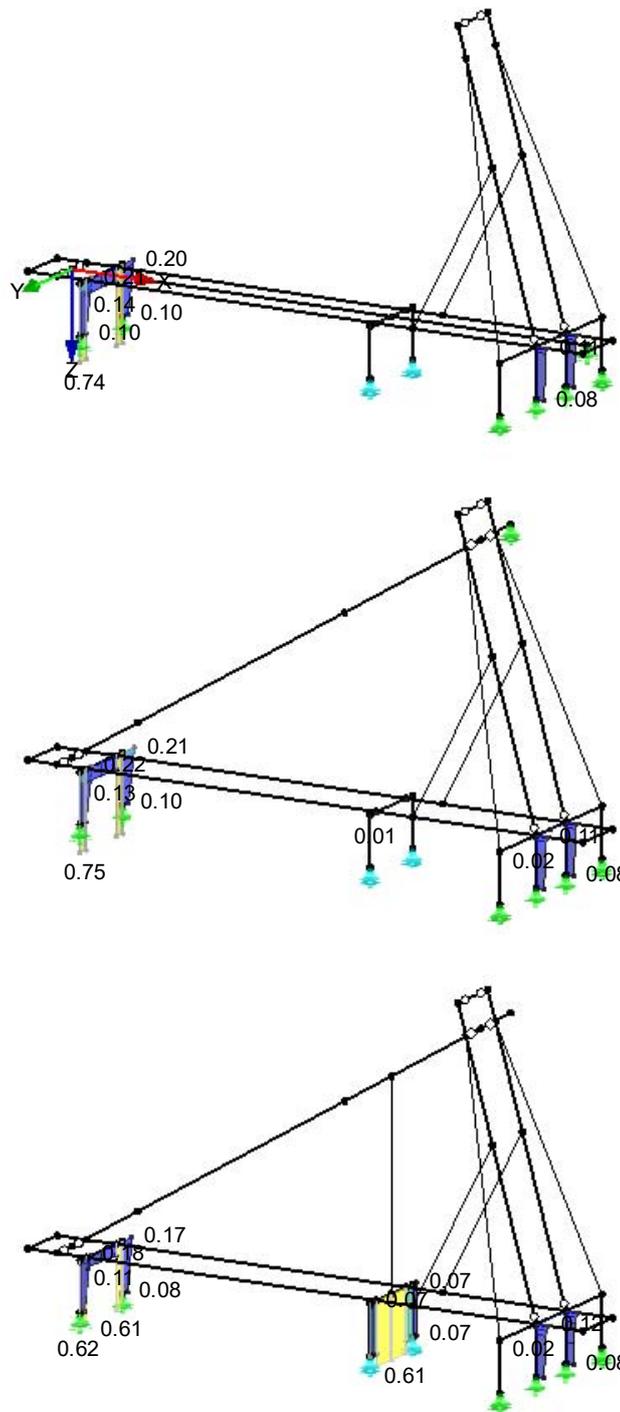
Modell: Drehtisch_Index-03

MODELL

STAHL EC3 FA4

Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis, Stabilitätsnachweis, Schweißnahtbemessung, Druckbemessung, Plastische Bemessung

Isometrie



Max Nachweis: 0.75

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Imperfektionsbeiwert Knicken | α |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.49 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.76 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.34 |
| Parameter für ϕ | λ_0 |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.40 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.40 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.20 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.20 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.20 |
| Imperfektionsbeiwert | α_{LT} |
| Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos) | 0.34 |
| Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte | 0.76 |

1.2 MATERIALIEN

| Material-Nr. | Material Bezeichnung | E-Modul E [kN/cm ²] | Schubmodul G [kN/cm ²] | Querdehnzahl ν [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Max. Bauteildicke t [mm] |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 2 | Baustahl S 355 EN 10025-2:2004-11 | 21000.00 | 8076.92 | 0.300 | 35.50 | 3.0 |
| | | | | | 35.50 | 16.0 |
| | | | | | 34.50 | 40.0 |
| | | | | | 33.50 | 63.0 |
| | | | | | 32.50 | 80.0 |
| | | | | | 31.50 | 100.0 |
| | | | | | 29.50 | 150.0 |
| | | | | | 28.50 | 200.0 |

1.3 QUERSCHNITTE

| Quer. Nr. | Material-Nr. | Querschnitt Bezeichnung | Querschnittstyp | Maximale Ausnutzung | Kommentar |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| 4 | 2 | U 320 DIN 1026-1:1963 | U-Profil gewalzt | 0.91 | |

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 8 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |
| 9 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.52 | 3.940 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.5 | 1.0 | 3.940 | 3.940 |

2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSWEISE

| Quer. Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/EK | Nachweis | Gleichung Nr. | Bezeichnung |
|-----------|--------------------------------|--------------|----------|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | U 320 DIN 1026-1:1963 | | | | | |
| | 112 | 0.000 | EK1 | 0.00 | ≤ 1 | CS100) Keine bzw. sehr kleine Schnittgrößen |
| | 53 | 0.000 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS101) Querschnittsnachweis - Zug nach 6.2.3 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4 |
| | 99 | 0.400 | EK1 | 0.01 | ≤ 1 | CS117) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse nach 6.2.5 - Klasse 3 |
| | 13 | 0.400 | EK1 | 0.46 | ≤ 1 | CS122) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse z nach 6.2.6(4) - Klasse 3 oder 4 |
| | 62 | 0.000 | EK1 | 0.01 | ≤ 1 | CS124) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse y nach 6.2.6(4) - Klasse 3 oder 4 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.00 | ≤ 1 | CS126) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(6) |
| | 99 | 0.400 | EK1 | 0.01 | ≤ 1 | CS152) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse und Querkraft nach 6.2.9.2 und 6.2.10 - Klasse 3 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.61 | ≤ 1 | CS185) Querschnittsnachweis - Biegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 |
| | 62 | 0.000 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 | CS205) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 |
| | 14 | 0.400 | EK1 | 0.64 | ≤ 1 | CS225) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 |
| | 10 | 0.000 | EK1 | 0.91 | ≤ 1 | ST333) Stabilitätsnachweis - Biegedrillknicken nach 6.3.2.1 u |

Projekt: Modell: Drehtisch_Index-03

2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSWEISE

| Quer. Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/ EK | Nachweis | Gleichung Nr. | Bezeichnung |
|--------------|-------------|-----------------|--------------|----------|------------------|--------------------------------|
| | | | | | | und 6.3.2.2 - Allgemeiner Fall |

Projekt:

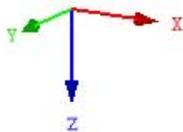
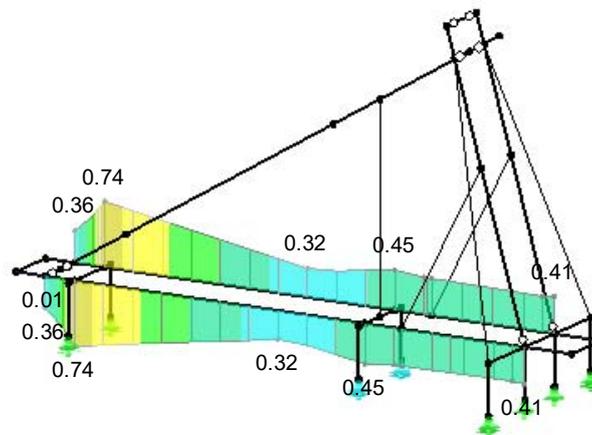
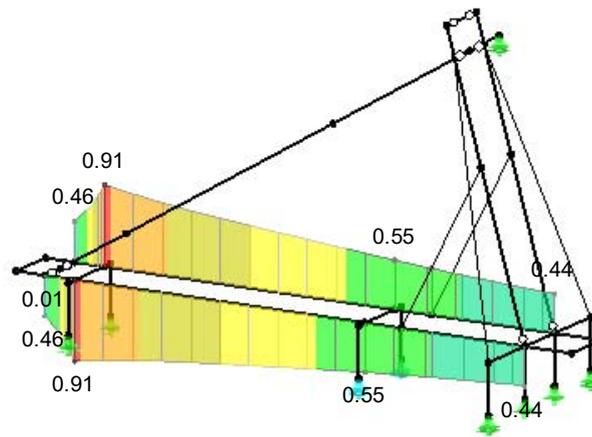
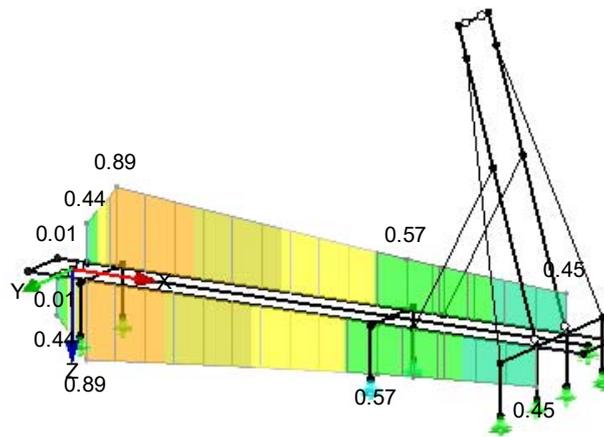
Modell: Drehtisch_Index-03

MODELL

STAHL EC3 FA5

Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis, Stabilitätsnachweis, Schweißnahtbemessung, Druckbemessung, Plastische Bemessung

Isometrie



Max Nachweis: 0.91

Projekt: _____ Modell: Drehtisch_Index-03

1.1.2 NATIONALER ANHANG

| | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Imperfektionsbeiwert Knicken | α |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.49 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.49 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.76 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.34 |
| Parameter für ϕ | λ_0 |
| Knicken | |
| Kaltgeformte offene Profile | 0.40 |
| Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos) | 0.40 |
| Geschweißte offene Profile (um die starke Achse) | 0.20 |
| Geschweißte offene Profile (um die schwache Achse) | 0.20 |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | |
| Alle Bauteile | 0.20 |
| Imperfektionsbeiwert | α_{LT} |
| Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos) | 0.34 |
| Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte | 0.76 |

1.2 MATERIALIEN

| Material-Nr. | Material Bezeichnung | E-Modul E [kN/cm ²] | Schubmodul G [kN/cm ²] | Querdehnzahl ν [-] | Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²] | Max. Bauteildicke t [mm] |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 2 | Baustahl S 355 EN 10025-2:2004-11 | 21000.00 | 8076.92 | 0.300 | 35.50 | 3.0 |
| | | | | | 35.50 | 16.0 |
| | | | | | 34.50 | 40.0 |
| | | | | | 33.50 | 63.0 |
| | | | | | 32.50 | 80.0 |
| | | | | | 31.50 | 100.0 |
| | | | | | 29.50 | 150.0 |
| | | | | | 28.50 | 200.0 |

1.3 QUERSCHNITTE

| Quer-Nr. | Material-Nr. | Querschnitt Bezeichnung | Querschnittstyp | Maximale Ausnutzung | Kommentar |
|---------------------------------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| 3 | 2 | 2I HEM 280-288 | Allgemein | 0.64 | |
| Typ Allgemein - nur Klasse 3 und Klasse 4 möglich | | | | | |

1.6 KNICKLÄNGEN - STABSÄTZE

| Stabsatz Nr. | Knicken möglich | Knicken um Achse y | | | Knicken um Achse z | | | Biegedrillknicken | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|------------|----------------|--------------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | möglich | $k_{cr,y}$ | $L_{cr,y}$ [m] | möglich | $k_{cr,z}$ | $L_{cr,z}$ [m] | möglich | k_z | k_w | L_w [m] | L_T [m] |
| 5 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 7.000 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00 | 7.000 | <input type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 7.000 | 7.000 |
| 6 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.93 | 6.520 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.93 | 6.520 | <input type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 7.000 | 7.000 |
| 7 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.93 | 6.520 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.93 | 6.520 | <input type="checkbox"/> | 1.0 | 1.0 | 7.000 | 7.000 |

2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSWEISE

| Quer-Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/EK | Nachweis | Gleichung Nr. | Bezeichnung |
|----------|-----------------------|--------------|----------|----------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | 2I HEM 280-288 | | | | | |
| | 144 | 1.428 | EK1 | 0.00 | ≤ 1 CS100) | Keine bzw. sehr kleine Schnittgrößen |
| | 121 | 0.746 | EK1 | 0.02 | ≤ 1 CS101) | Querschnittsnachweis - Zug nach 6.2.3 |
| | 31 | 0.000 | EK1 | 0.03 | ≤ 1 CS102) | Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4 |
| | 33 | 0.000 | EK1 | 0.63 | ≤ 1 CS112) | Querschnittsnachweis - Biegung um y-Achse nach 6.2.5 - Klasse 3 |
| | 30 | 0.000 | EK1 | 0.34 | ≤ 1 CS122) | Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse z nach 6.2.6(4) - Klasse 3 oder 4 |
| | 33 | 0.000 | EK1 | 0.63 | ≤ 1 CS143) | Querschnittsnachweis - Biegung und Querkraft nach 6.2.9.2 und 6.2.10 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt |
| | 33 | 0.000 | EK1 | 0.64 | ≤ 1 CS163) | Querschnittsnachweis - Doppelbiegung und Querkraft nach 6.2.9.2 und 6.2.10 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt |
| | 32 | 3.300 | EK1 | 0.63 | ≤ 1 CS183) | Querschnittsnachweis - Biegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.9.2 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt |
| | 32 | 3.300 | EK1 | 0.64 | ≤ 1 CS223) | Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Quer- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9 - Klasse 3 - Allgemeiner Querschnitt |
| | 31 | 0.000 | EK1 | 0.04 | ≤ 1 ST301) | Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um y-Achse nach 6.3.1.1 und 6.3.1.2(4) |

Projekt: Modell: Drehtisch_Index-03

■ 2.2 NACHWEISE QUERSCHNITTSWEISE

| Quer. Nr. | Stab Nr. | Stelle x [m] | LF/LK/EK | Nachweis | | Gleichung Nr. | Bezeichnung |
|-----------|----------|--------------|----------|----------|-----|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| | 31 | 0.000 | EK1 | 0.03 | ≤ 1 | ST311) | Stabilitätsnachweis - Biegekicken um z-Achse nach 6.3.1.1 und 6.3.1.2(4) |
| | 31 | 0.525 | EK1 | 0.59 | ≤ 1 | ST354) | Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3, Verfahren 1 |

Projekt:

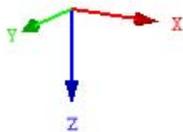
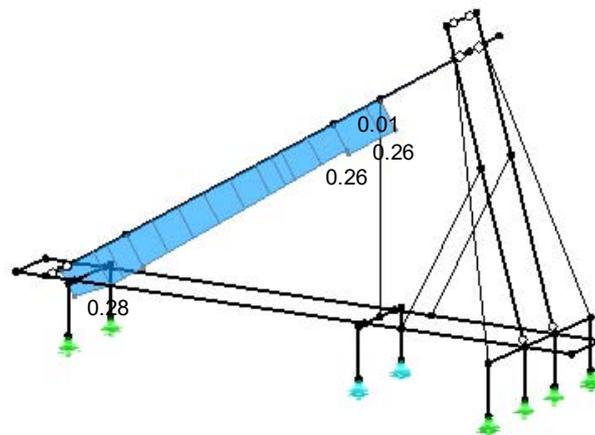
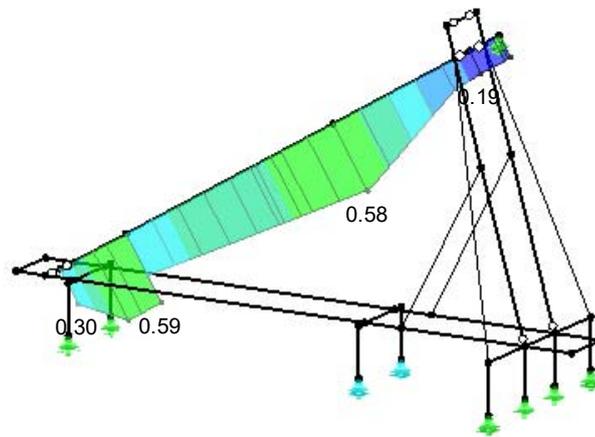
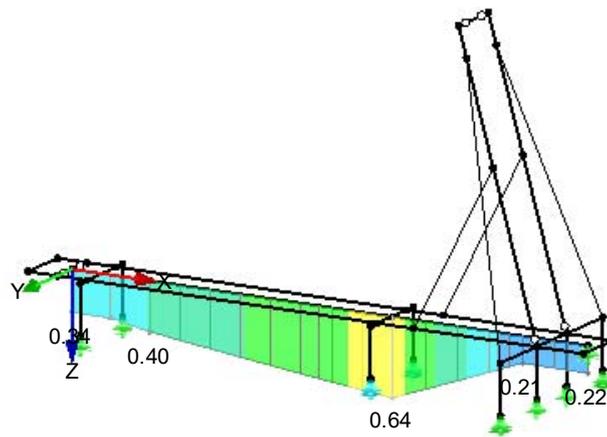
Modell: Drehtisch_Index-03

MODELL

STAHL EC3 FA6

Isometrie

Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis, Stabilitätsnachweis, Schweißnahtbemessung, Druckbemessung, Plastische Bemessung



Max Nachweis: 0.64

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Veranschaulichung der Problematik von Ersatzneubauten bei gegebenen Randbedingungen der Schienenoberkante und des Lichtraumprofils aus [11] | 9 |
| 2.1 | Gegenüberstellung der Bauhöhen von Trog- und Deckbrücken | 12 |
| 2.2 | Unterschiedliche Konstruktionsausbildungen der Fahrbahnplatte mit Hauptaugenmerk auf die Bauhöhe der Konstruktion | 12 |
| 2.3 | Schematischer Aufbau der SCSC-Platte mit den Definitionen der Hauptabmessungen (Länge / Breite / Höhe) | 13 |
| 2.4 | Schematische Montagereihenfolge der Einzelelemente der SCSC-Platte | 13 |
| 2.5 | Tragprinzip der SCSC-Platte aus [11] | 14 |
| 2.6 | Verteilung des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe [6] | 16 |
| 2.7 | Unterschiedliche Varianten der Betoneinbringung in Bezug auf die Steigrichtung . | 17 |
| a | Betoneinbringung gegen die Steigrichtung | 17 |
| 2.8 | Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus vom Ausbreit- und Verdichtungsversuch nach [13] | 19 |
| a | Bestimmung des Ausbreitmaßes | 19 |
| b | Bestimmung des Verdichtungsmaßes | 19 |
| 2.9 | Angenommener Querschnitt der SCSC-Platte inklusive Detailausschnitte zur Ausbildung des Abschlussbleches. | 20 |
| 2.10 | Brückenquerschnitt im Regelbereich | 22 |
| 2.11 | Brückenquerschnitt am Endquerträger | 22 |
| 2.12 | Brückenquerschnitt am Endquerträger - Ansicht | 23 |
| 2.13 | Mögliche Ausführungsvarianten von Montagestößen aus [11] | 25 |
| 2.14 | Zusätzliche Ausführungsvariante eines Montagestoßes mit Bewehrungskorb und Abschalelement | 26 |
| 2.15 | Abmessungen Lieferteil SCSC-Platte mit 3,52 m Breite | 28 |
| 2.16 | Anwendung Innenlader bei Betonfertigteilen ⁵ | 29 |
| 2.17 | Schematische Darstellung der Lage der SCSC-Elemente am Innenlader | 29 |
| 2.18 | Abmessungen Lieferteil SCSC-Platte 13,0 m | 30 |
| 2.19 | Schematische Darstellung der Lage der SCSC-Elemente am Innenlader | 31 |
| 2.20 | Abmessungen Lieferteil Trogbrücke 13,0 m | 32 |
| 2.21 | Abmessungen Lieferteil Trogbrücke 26,0 m | 33 |
| 3.1 | Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Herstellung des Betonkörpers | 37 |
| 4.1 | SCSC-Plattenelement im Querschnitt | 38 |
| 4.2 | Rendering des SCSC-Plattenelements inklusive den Hauptabmessungen und deren definitionsgemäßer Notation | 38 |
| 4.3 | Prinzipskizze des Verhebevorgangs von SCSC-Plattenelementen | 39 |
| 4.4 | Hilfskonstruktion zum Betonieren der reinen SCSC-Plattenelemente in vollkommen vertikaler Lage | 40 |
| 4.5 | Nachträgliches Verfüllen des verbliebenen Hohlraumes mit Vergussmörtel | 41 |
| 4.6 | Verfüllen von Platten in schräger Lage | 42 |

| | | |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.7 | Prinzipdarstellung der Betonierhilfskonstruktionen in Stahlbauweise. Eine Detailiertere Skizze befindet sich in Anhang C | 43 |
| 4.8 | 3D-Schaubild der Konstruktion - Betonierplattform / Abschlussbleche | 44 |
| 4.9 | 3D-Schaubild der Konstruktion - Einfüllstützen | 44 |
| 4.10 | Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen aus DIN18202 Tabelle-3 [5] | 46 |
| 4.11 | Darstellung des Stichmaßes nach [12] | 47 |
| 4.12 | Kombinationsregeln für Traggerüste nach DIN12812 [4] | 48 |
| 4.13 | Frischbetondrücke auf die Innenseiten der Deckbleche | 49 |
| 4.14 | Modell als Rendering mit Materialstärken sowie als Drahtmodell mit den Hauptabmessungen | 51 |
| 4.15 | Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm | 52 |
| 4.16 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm . . . | 52 |
| 4.17 | Lastaufbringung der für die Vordimensionierung relevanten Lasten | 52 |
| | a Lasten aus Eigengewicht der Bleche | 52 |
| | b Lasten aus Frischbetondruck | 52 |
| 4.18 | Globale Verformungen des Deckbleches in [mm] aus Lastkombination 11; Linkes Bild: Verformung oberes Deckblech; Rechtes Bild: Verformung unteres Deckblech | 53 |
| 4.19 | Vergleichsspannungen nach "von Mises" aus Lastkombination 1 in [kN/cm ²] . . . | 53 |
| 4.20 | Lagerreaktionen der einzelnen Lastfälle am unteren Deckblech | 54 |
| | a Lastfall 1 | 54 |
| | b Lastfall 2 | 54 |
| | c Lastfall 11 | 54 |
| 4.21 | Teilmodell "Schalung oben" als Rendering (inkl. Profildimensionen); HEM 320 = Hauptträger; 2 x U300 = Sekundärträger | 55 |
| 4.22 | Drahtmodell inklusive Hauptabmessungen der Struktur | 55 |
| 4.23 | Teilmodell "Schalung unten" als Rendering (inkl. Profildimensionen); HEM 320 = Hauptträger; 2 x U300 = Sekundärträger; HEB 200 = Aussteifungsstreben . . . | 56 |
| 4.24 | Drahtmodell der unteren Schalungskonstruktion inklusive Hauptabmessungen . . | 56 |
| 4.25 | Definitionen der Stabendgelenke | 57 |
| 4.26 | Prinzipskizze zur Veranschaulichung der Wirkungsweise eines Scherengelenkes; Rechtes Bild: Ausführungsform im vorliegenden Fall als Trägerkreuzung in unterschiedlichen Ebenen | 57 |
| 4.27 | Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm | 58 |
| 4.28 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm . . . | 58 |
| 4.29 | Globale Verformungen der Schalungskonstruktion zufolge charakteristischen Lasten | 59 |
| | a Globale Verformungen der "Schalung Oben" | 59 |
| | b Globale Verformungen der "Schalung Unten" | 59 |
| 4.30 | Lagerreaktionen auf Designniveau aus Lastkombination 1 | 61 |
| 5.1 | SCSC-Plattenelement mit angeschweißten Stegblechen inklusive den Hauptabmessungen | 62 |
| 5.2 | Rendering der fertigen Trogbrücke, welche erst als vollendete Konstruktion ausbetoniert wird | 63 |
| 5.3 | Varianten zur Herstellung des Betoniertes | 64 |
| 5.4 | Prinzipielle Darstellung des Drehtisches als Ausführung - "Hebevorgang mittels Kranhub" | 66 |
| 5.5 | Einfüllkonstruktion mit Fülltrichter und Einfüllhilfe | 66 |
| 5.6 | Einbringen des Betons im schrittweisen Verfahren | 67 |
| 5.7 | Einfüllstützen Doka | 68 |

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.8 | Anwendung der Einfüllkonstruktion System Doka GF-Füllstützen SCC mit Sperrschieber D125 SCC. Bild links: Anwendung im vorliegenden Fall zur Befüllung der SCSC-Platte. Bild rechts: Anwendung in DOKA Rahmenschalungen aus [10] | 69 |
| 5.9 | Schematische Darstellung der Konstruktion mit Fülltrog | 71 |
| 5.10 | Schematisches Schaubild zum Füllvorgang mit Hauptträgerhohlkasten als Fülltrog | 72 |
| 5.11 | Schematisches Schaubild zum Vorgang mit Vergussmörtel | 73 |
| 5.12 | Bild links: Drehtischkonstruktion ohne Schalungselemente; rechts: Schalungskonstruktion Regelement. Detailliertere Darstellungen der Drehtischkonstruktion, sowie der zusätzlichen Schalungskonstruktion sind in Anhang C ersichtlich. . . . | 74 |
| 5.13 | 3D Darstellung der Brücke auf der Drehtischkonstruktion inklusive Schalungselemente im Zustand vor dem Hebevorgang | 75 |
| 5.14 | 3D Darstellung der Brücke auf der Drehtischkonstruktion inklusive Schalungselemente im Zustand des Betoniervorgangs | 75 |
| 5.15 | Frischbetondrücke auf die Innenseiten der Deckbleche | 78 |
| 5.16 | Außenabmessungen zur Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte | 79 |
| 5.17 | Modell als Rendering mit den vorhandenen Materialdicken, sowie als Drahtmodell mit den groben Abmessungen der Struktur | 81 |
| 5.18 | Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm | 82 |
| 5.19 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm . . . | 82 |
| 5.20 | Lastaufbringung der für die Vordimensionierung relevanten Lasten | 82 |
| | a Lasten aus Eigengewicht der Bleche | 82 |
| | b Lasten aus Frischbetondruck | 82 |
| 5.21 | Globale Verformungen des Deckbleches aus Lastkombination 11; Linkes Bild: Verformung oberes Deckblech; Rechtes Bild: Verformung unteres Deckblech . . . | 83 |
| 5.22 | Vergleichsspannungen nach "von Mises" aus Lastkombination 1 in [kN/cm ²]; Linkes Bild: Ansicht von oben auf das Deckblech; Rechtes Bild: Ansicht von unten auf das Deckblech | 84 |
| 5.23 | Lagerreaktionen der einzelnen Lastfälle | 84 |
| | a Lastfall 1 | 84 |
| | b Lastfall 2 | 84 |
| | c Lastfall 11 | 84 |
| 5.24 | Modellvergleich von 2-, bis 5-Feld Systemen | 85 |
| | a Stützweiten und Belastung | 85 |
| | b Verformungen | 85 |
| | c Biegemomente My | 85 |
| | d Lagerreaktionen | 85 |
| 5.25 | Modell der Schalungsträgerkonstruktion als Rendering (inkl. Profildimensionen); Bild links: 3-Feld-System; Bild rechts: 2-Feld-System | 86 |
| 5.26 | Drahtmodell inklusive Hauptabmessungen | 86 |
| 5.27 | Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm | 87 |
| 5.28 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm . . . | 87 |
| 5.29 | Globale Verformungen der Struktur | 88 |
| 5.30 | Lagerreaktionen auf Designniveau aus Lastkombination 1 | 90 |
| 5.31 | Modellierung der Drehtischkonstruktion | 91 |
| 5.32 | Modell der Drehtischkonstruktion als Rendering | 92 |
| 5.33 | Modell der Drehtischkonstruktion als Drahtmodell | 92 |
| 5.34 | Gelenksdefinitionen der Stabendgelenke | 93 |
| 5.35 | Maximale Verformungen in globaler Z-Richtung des Modells im Zustand des Betoniervorganges zufolge Lastkombinationen 21 bis 24 | 94 |

| | | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1 | SCSC-Plattenbrückenelement im Querschnitt mit schematischer Darstellung der Brückenaufleger | 96 |
| 6.2 | Rendering eines SCSC-Plattenbrückenelements inklusive dessen Hauptabmessungen | 97 |
| 6.3 | Herstellung der Plattenelemente im vollkommen senkrechten Zustand | 97 |
| 6.4 | Betonage des Versuchskörpers | 98 |
| 6.5 | Prinzipdarstellung der Betonierhilfskonstruktionen in Stahlbauweise. Eine Detailliertere Skizze befindet sich in Anhang C | 99 |
| 6.6 | 3D-Schaubild der Konstruktion | 100 |
| 6.7 | Frischbetondrucke auf die Innenseiten der Deckbleche | 102 |
| 6.8 | Modell als Rendering mit den vorhandenen Materialdicken sowie als Drahtmodell mit den Hauptabmessungen der Struktur | 104 |
| 6.9 | Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm | 104 |
| 6.10 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm . . . | 104 |
| 6.11 | Lastaufbringung der für die Vordimensionierung relevanten Lasten | 105 |
| | a Lasten aus Eigengewicht der Bleche | 105 |
| | b Lasten aus Frischbetondruck | 105 |
| 6.12 | Globale Verformungen des Deckbleches in [mm] aus Lastkombination 11; Linkes Bild: Verformung oberes Deckblech; Rechtes Bild: Verformung unteres Deckblech | 105 |
| 6.13 | Vergleichsspannungen nach "von Mises" aus Lastkombination 1 in [kN/cm ²] . . . | 106 |
| 6.14 | Lagerreaktionen des Lastfalls 11 - Frischbetondruck | 106 |
| 6.15 | Modell der Träger der Schalungskonstruktion als Rendering (inkl. Profildimensionen) | 107 |
| 6.16 | Drahtmodell inklusive Hauptabmessungen der Konstruktion | 107 |
| 6.17 | Definierte Lastfälle im Bemessungsprogramm | 108 |
| 6.18 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm . . . | 108 |
| 6.19 | Verformungen in globaler Y-Richtung in [mm]; Verformungen aus dem Eigengewicht der Profile wurden nicht berücksichtigt | 109 |
| 6.20 | Lagerreaktionen auf Designniveau aus Lastkombination 1 | 111 |
| 7.1 | 3D - Schaubild der favorisierten Herstellungsform bei Fertigung von SCSC-Plattenelementen zur Verwendung als Fahrbahnplatte für Trogbrücken | 113 |
| 7.2 | Prinzipdarstellung der favorisierten Konstruktionsform zur Herstellung der reinen Plattenelemente als Fahrbahnplatte für Trogbrücken mit schrägen Abschlussblechen | 113 |
| 7.3 | 3D Darstellung der Drehtischkonstruktion inklusive Schalungselemente. Bild links: Zustand vor dem Hebevorgang; Bild rechts: Zustand während des Betoniervorganges | 114 |
| 7.4 | Prinzipdarstellung der Drehtischkonstruktion ohne Schalungselemente aus Kapitel 7.2 | 115 |
| 7.5 | 3D-Schaubild zur Herstellung von SCSC-Plattenbrückenelementen | 116 |
| 7.6 | Favorisierte Konstruktionsform zur Herstellung von SCSC-Plattenelementen für Plattenbrücken | 116 |
| A.1 | Datenblatt DOKA Füllstützen | 117 |
| A.2 | Datenblatt DOKA Sperrschieber | 118 |
| B.1 | Summe der Vertikallasten aus Eigengewicht des Betons (Lastfall 2) und Frischbetondruck (Lastfall 11) | 119 |
| B.2 | Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion | 120 |
| B.3 | Lasten aus Eigengewicht der SCSC-Platten | 121 |
| B.4 | Lasten aus Eigengewicht des Betons ohne Frischbetondruck | 121 |

| | | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| B.5 | Lasten aus Frischbetondruck | 122 |
| B.6 | Schnittgrößen N aus Lastkombination 1 | 123 |
| B.7 | Schnittgrößen V_y aus Lastkombination 1 | 123 |
| B.8 | Schnittgrößen V_z aus Lastkombination 1 | 124 |
| B.9 | Schnittgrößen M_t aus Lastkombination 1 | 124 |
| B.10 | Schnittgrößen M_y aus Lastkombination 1 | 125 |
| B.11 | Schnittgrößen M_z aus Lastkombination 1 | 125 |
| B.12 | Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombination 1 und 2 | 126 |
| B.13 | Elastische Spannungsauslastung der Sekundärkonstruktion; Methode 1 | 127 |
| B.14 | Elastische Spannungsauslastung der Sekundärkonstruktion; Methode 2 | 128 |
| B.15 | Elastische Spannungsauslastung der Primärkonstruktion; Methode 1 | 129 |
| B.16 | Elastische Spannungsauslastung der Primärkonstruktion; Methode 2 | 130 |
| B.17 | Elastische Spannungsauslastung der Aussteifungsstreben | 131 |
| B.18 | Bemessungstabelle Fa. Istor ⁶ | 132 |
| B.19 | Detail - Schraubverbindung Sockelträger | 134 |
| B.20 | Detail - Aufgeschweißter Winkel auf Sockelträger | 135 |
| B.21 | Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion | 136 |
| B.22 | Lasten aus Eigengewicht der SCSC-Platten | 136 |
| B.23 | Lasten aus Eigengewicht des Betons ohne Frischbetondruck | 136 |
| B.24 | Lasten aus Frischbetondruck | 136 |
| B.25 | Schnittgrößen N aus Lastkombination 1 | 137 |
| B.26 | Schnittgrößen V_y aus Lastkombination 1 | 137 |
| B.27 | Schnittgrößen V_z aus Lastkombination 1 | 138 |
| B.28 | Schnittgrößen M_t aus Lastkombination 1 | 138 |
| B.29 | Schnittgrößen M_y aus Lastkombination 1 | 139 |
| B.30 | Schnittgrößen M_z aus Lastkombination 1 | 139 |
| B.31 | Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombination 1 und 2 | 140 |
| B.32 | Elastische Spannungsauslastung der Sekundärkonstruktion; Methode 1 | 141 |
| B.33 | Elastische Spannungsauslastung der Sekundärkonstruktion; Methode 2 | 142 |
| B.34 | Elastische Spannungsauslastung der Primärkonstruktion; Methode 1 | 143 |
| B.35 | Elastische Spannungsauslastung der Primärkonstruktion; Methode 2 | 144 |
| B.36 | Für die Vordimensionierung relevanten Lastfälle | 145 |
| B.37 | Definierte Lastkombinationen nach Kapitel 4.2.1.3 im Bemessungsprogramm | 146 |
| B.42 | Lastaufbringung der relevanten Lastfälle auf die Drehtischkonstruktion | 151 |
| B.45 | Schnittgrößen aus Ergebniskombination 1 auf Designniveau | 153 |
| B.46 | Bild 117 aus Petersen-Stahlbau [21] zur Ermittlung der Knicklänge von verschieblichen Rahmen | 154 |
| B.47 | Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombinationen 1-4 | 156 |
| B.48 | Elastische Spannungsauslastung der U-Profile; Methode 1 | 157 |
| B.49 | Elastische Spannungsauslastung der U-Profile; Methode 2 | 158 |
| B.50 | Elastische Spannungsauslastung Hauptträger; Methode 1 | 159 |
| B.51 | Elastische Spannungsauslastung Hauptträger; Methode 2 | 160 |
| B.52 | Elastische Spannungsauslastung der Fachwerkstäbe | 161 |
| B.53 | Elastische Spannungsauslastung der verschieblichen Rahmen | 162 |
| B.54 | Schnittgrößen am Ende des Hauptträgers im ULS | 163 |
| a | Normalkraft N im ULS | 163 |

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| b | Querkraft V_z im ULS | 163 |
| B.55 | Schnittgrößen am Ende des Hauptträgers im SLS | 163 |
| a | Normalkraft N im SLS | 163 |
| b | Querkraft V_z im SLS | 163 |
| B.56 | Detaildarstellung der Bolzenverbindung; Eine vergrößerte Darstellung ist in Plan Nummer 8 in Anhang C ersichtlich | 167 |
| B.57 | Lastaufbringung der relevanten Lastfälle für die Vordimensionierung der Träger der Schalungskonstruktion 90° | 168 |
| a | Lasten aus Eigengewicht der Konstruktion | 168 |
| b | Lasten aus Frischbetondruck | 168 |
| B.58 | Schnittgrößen N | 169 |
| B.59 | Schnittgrößen V_y | 169 |
| B.60 | Schnittgrößen V_z | 170 |
| B.61 | Schnittgrößen M_t | 170 |
| B.62 | Schnittgrößen M_y | 171 |
| B.63 | Schnittgrößen M_z | 171 |
| B.64 | Elastische Spannungsauslastung ohne Stabilitätseffekte für die Lastkombination 1 und 2 | 172 |
| B.65 | Elastische Spannungsauslastung der Sekundärträger; Methode 1 | 173 |
| B.66 | Elastische Spannungsauslastung der Sekundärträger; Methode 2 | 174 |
| B.67 | Elastische Spannungsauslastung der Primärträger; Methode 1 | 175 |
| B.68 | Elastische Spannungsauslastung der Primärträger; Methode 2 | 176 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Ausbreitmaß - und Verdichtungsmaßklassen nach ÖNORM B4701-1 [3] | 18 |
| 2.2 | Grenzabmessungen und Grenzgewichte nach KFG-1967 §4/7a | 27 |
| 2.3 | Spezifikationen Lieferteil SCSC-Platte mit 3,52 m Breite | 28 |
| 2.4 | Spezifikationen Lieferteil SCSC-Platte 13,0 m | 30 |
| 2.5 | Spezifikationen Lieferteil Trogbrücke mit 13,0 m | 31 |
| 2.6 | Spezifikationen Lieferteil Trogbrücke 26,0 m | 32 |
| 4.1 | Materialeigenschaften Baustahl S355 | 47 |
| 4.2 | Liniengelenksdefinition zur Simulation der Kontaktbedingungen zwischen der Lochdübelleiste und dem Deckblech an der nicht verschweißten Seite | 51 |
| 5.1 | Masse der zusätzlichen Schalungskonstruktion je Achse | 78 |
| 5.2 | Liniengelenksdefinition zur Simulation der Kontaktbedingungen zwischen der Lochdübelleiste und dem Deckblech an der nicht verschweißten Seite | 81 |

Literaturverzeichnis

- [1] S. Bauforum. „Arbeitshilfe Ausführung von Stahlbauten - Transport“. In: *bauforumstahl Arbeitshilfe* 3/13 (2013).
- [2] *Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*. Wien: Austrian Standards, Juli 2014.
- [3] *Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton*. Wien: Austrian Standards, Jan. 2018.
- [4] *DIN 12812:2008 12 01: Traggerüste - Anforderungen, Bemessung und Entwurf*. Wien: Austrian Standards, Dez. 2008.
- [5] *DIN 18202:2019 07 01: Toleranzen im Hochbau - Bauwerke*. Wien: Austrian Standards, Juli 2019.
- [6] *DIN 18218:2010 01 01: Frischbetondruck auf lotrechte Schalungen*. Wien: Austrian Standards, Jan. 2010.
- [7] J. Fink. *Regelstatik für ÖBB-Trogbrücken mit Stützweiten von 10,0-20,0m*. Regelstatik. 2008. 95 S.
- [8] J. Füssl und C. Hellmich. *Skriptum zur VU Finite Elemente Methoden*. -. Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen der technischen Universität Wien, 2017.
- [9] P. T. GmbH. *Schalungsträger PF20*. Belastungstabelle. 2016. 2 S.
- [10] G. Grabner und P. Reisinger. *Anspruchvoller SCC - schalungstechnische Antworten*. Tagungsband. 2007. 8 S.
- [11] P. Herrmann. „Tragfunktionsanalyse und rechnerische Modellbildung einer neuartigen Sandwichverbundplatte (SCSC-Platte) als Fahrbahndeck für Eisenbahnbrücken“. Dissertation. Technische Universität Wien, 2013.
- [12] W. Malpricht. *Schalungsplanung*. -. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 2010. ISBN: 978-3-446-42044-1.
- [13] G. Neroth und D. Vollenschaar. *Wendehorst Baustoffkunde*. 27. Aufl. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag, 2011. ISBN: 978-3-8351-0225-5.
- [14] *ÖNORM B 1990-1:2013 01 01: Grundlagen der Tragwerksplanung – Teil 1: Hochbau*. Wien: Austrian Standards, Jan. 2013.
- [15] *ÖNORM B 1991-1-4:2013 05 01: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten*. Wien: Austrian Standards, Mai 2013.
- [16] *ÖNORM B 1993-1-1:2017 11 01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Nationale Festlegungen*. Wien: Austrian Standards, Nov. 2017.
- [17] *ÖNORM EN 1990:2013 03 15: Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards, März 2013.

- [18] ÖNORM EN 1991-1-1:2011 09 01: *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards, Sep. 2011.
- [19] ÖNORM EN 1993-1-1:2010 12 01: *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Wien: Austrian Standards, Dez. 2010.
- [20] ÖNORM EN 1993-1-8:2010 12 01: *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Wien: Austrian Standards, Dez. 2010.
- [21] C. Petersen. *Stahlbau Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten*. 4. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. ISBN: 978-3-528-38837-9.
- [22] J. Reiners und C. Mueller. „Einfluss der Zusammensetzung von Zementstein auf das Abplatzverhalten von Beton im Brandfall“. In: *Bautechnik* 95 (2018), S. 547–558.
- [23] M. Steurer und J. Fink. *Weiterführende Forschung zur neuartigen Sandwich Verbundplatte als Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken*. Weiterf. Forschung. 2017. 197 S.
- [24] P. Takács. „Analyse des Ermüdungsverhaltens der SCSC-Platte“. Dissertation. Technische Universität Wien, 2018.
- [25] VDZ. *Das Verhalten von Beton zwischen 80 und 300°C*. 2016. URL: https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Fachaufsaetze/1961_1970/Betontechnische_Berichte_62_Das_Verhalten_von_Beton_zwischen_80_und_300_Grad.pdf (Zugriff am 20.05.2020).