



Claudia Hösele, BSc

**Optimierung  
eines wiederverwendbaren  
UHPC Randbalkens**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue

Dipl.-Ing. Johannes Oppeneder, BSc

Institut für Betonbau

Lessingstraße 25, 8010 Graz

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

---

Datum

---

Unterschrift

# Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei allen, die mich während meiner gesamten Studienzeit mit Rat und Tat unterstützt haben.

Auf universitärer Seite gilt es zuallererst, mich beim Institutsvorstand für Betonbau, Univ.-Prof.Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue, und besonders bei meinem Betreuer, Dipl.Ing. Johannes Oppeneder, der zu jeder Zeit für meine Anliegen und Probleme ein offenes Ohr hatte und in mehrfachen Diskussionen gute Verbesserungsvorschläge lieferte, zu bedanken.

Für die gute Zusammenarbeit und die Ausführung des Projektes fühle ich mich Herrn Dipl. Ing. Andreas Kammersberger vom Land Steiermark, Herrn Dipl. Ing. (FH) Paul Ruckhofer der Fertigteilmfirma Rauter - Kirchdorfer Concrete Solutions und Herrn Ing. Pucher Johann von der Firma Klöcher Baugesellschaft m.b.H. sehr verbunden. Sie haben das Projekt entwickelt und durchführbar gemacht.

Für die Herstellung und Durchführung des Experimentellen Programms bedanke ich mich sowohl bei den Mitarbeitern des Labors für Konstruktiven Ingenieurbau der TU Graz, als auch bei den Assistenten des Instituts für Betonbau, und zwar Dipl. Ing. Goran Vojovodic und Dipl. Ing. Michael Huß. Die Versuche sind in einem so kurzen Zeitraum nur mit deren Unterstützung möglich gewesen.

Ein besonderer Dank gilt meinem Arbeitgeber, Dipl. Ing. Dr. techn. Kurt Kratzer, welcher mich zum Studium und zur Weiterbildung motiviert hat. Er bot mir während meiner Studienzeit die Möglichkeit, in der Praxis Erfahrungen zu sammeln.

Meine innigste Wertschätzung gilt meiner ganzen Familie, vor allem meiner Mama Sabine, meiner Schwester Elke und meiner Oma Anna. Sie haben mir mein Studium ermöglicht. Ohne eure Unterstützung, euren Rückhalt und vor allem euer Verständnis, hätte ich nicht so tolle Erfahrungen sammeln können.

Für die Gemeinschaft und die Unterstützung des Wasserbauzeichensaals bedanke ich mich bei meinen Freunden und Studienkollegen - besonders Martin Hölblinger, Angela Obrist, Carina Lex, Maximilian Fiebich, Stefan Leitner, Nikolaus Daurer, Kevin Hatz und Lukas Gottsbacher. Danke für die jahrelange Freundschaft, die gemeinsamen Erlebnisse und die intensiven Lernstunden. Ihr habt mein Studium zu einer wunderschönen und unvergesslichen Zeit gemacht.

# Kurzfassung

Auf Basis der derzeitigen Ausführung von Ortbetonrandbalken auf Brücken und deren zyklischen Sanierungen und Erneuerungen, ist eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und der Wiederverwendung als Fertigteilrandbalken erstrebenswert.

Anknüpfend an die Masterarbeit *”Entwicklung eines Prototypen für Brückenrandbalken aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC)”* [1], werden in dieser Arbeit, die Grundlagen des entworfenen Fertigteilrandbalkens, deren Annahmen und offenen Punkte dargestellt.

Betreffend dazu, werden die allgemeinen Randbedingungen, die geometrischen Anforderungen, die Ausrüstungsgegenstände und deren Einwirkungen auf einen Randbalken beschrieben und weiterführend, die Ansätze für die Berechnung und die Ausführung als Fertigteilrandbalken ergänzt.

Zusätzlich werden für die Weiterentwicklung des Prototyps, auf Basis der Berechnung und Ergebnisse der Erstversuche, Zugversuche zur Optimierung der Verbindung und Festigkeitsprüfungen der verwendeten Betonrezeptur durchgeführt und ausgewertet.

Abschließend wird anhand einer realen Brückensanierung, die Anwendung, die Ausführung und Montage beschrieben und die Umsetzung dargestellt.

# Abstract

Based on the current design of in-situ edge beams of bridges, prefabricated edge beams are desirable. This leads to a further development on bridges and their cyclic refurbishments and renewals.

Following up to the master thesis *Development of a prototype for edge beams made of UHPC* [1], this thesis summarize the basics of the designed precast edging beam, their assumptions and open points.

For this purpose, the general boundary conditions, the geometric requirements, the equipment and their effects on an edge beam are described and additionally, the valuation for the calculation and fabrication as prefabricated edge beam are accomplished.

Based on the calculation and results of the initial tests, additional tensile tests for the optimization of the developed connection and strength tests in order to the material properties are carried out and evaluated.

Finally on a bridge rehabilitation, the application, the execution and assembly are described and the implementation is presented.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	1
1.2. Zielsetzung und Vorgehensweise . . . . .	1
<b>2. Prototyp</b>	<b>2</b>
2.1. Geometrie Prototyp . . . . .	2
2.1.1. Randbalkengeometrie . . . . .	3
2.1.2. Schwalbenschwanzverbindung . . . . .	3
2.2. Betonrezeptur Prototyp . . . . .	4
2.3. Vordimensionierung Prototyp . . . . .	5
2.4. Versuchsergebnisse Verbindung . . . . .	6
2.5. Fertigung Prototyp . . . . .	6
2.6. Montageversuch Prototyp . . . . .	7
2.7. Fazit Prototyp . . . . .	8
<b>3. Randbalken</b>	<b>9</b>
3.1. Allgemein . . . . .	9
3.2. Abmessung und Form . . . . .	9
3.3. Abdichtung unterhalb des Randbalkens . . . . .	13
3.4. Material . . . . .	13
3.5. Ausrüstung auf Kunstbauten . . . . .	15
3.5.1. Geländer . . . . .	15
3.5.2. Fahrzeugrückhaltesysteme . . . . .	16
3.5.3. Lärmschutzwand . . . . .	18
3.5.4. Sonstige Ausrüstung . . . . .	18
3.5.5. Verankerung am Tragwerk . . . . .	18
3.6. Einwirkungen . . . . .	19
3.6.1. Ständige Lasten . . . . .	19
3.6.2. Veränderliche Lasten . . . . .	19
3.6.3. Lasten auf Geländer . . . . .	21
3.6.4. Außergewöhnliche Lasten . . . . .	21
<b>4. Fertigteil Randbalken</b>	<b>25</b>
4.1. Geometrische Anpassungen . . . . .	25

4.2.	Material UHPC . . . . .	26
4.2.1.	Mechanische Eigenschaften . . . . .	26
4.2.2.	Dauerhaftigkeit . . . . .	26
4.2.3.	Nachbehandlung . . . . .	26
4.3.	Fertigung . . . . .	27
4.3.1.	Geometrie . . . . .	27
4.3.2.	Material und Bewehrung . . . . .	27
4.3.3.	Toleranzen - Genauigkeit . . . . .	27
4.3.4.	Oberfläche - Einstreuung . . . . .	28
4.3.5.	Befestigung am Tragwerk mit Abdichtung . . . . .	29
4.3.6.	Manipulation . . . . .	29
4.3.7.	Fugen . . . . .	30
4.4.	Modellierung und Bemessung . . . . .	30
4.4.1.	Lastabtragung Bemessung Randbalken . . . . .	30
4.4.2.	Befestigung - Lastabtragung Zapfenverbindung . . . . .	33
4.4.3.	Lasteinleitung am Tragwerk . . . . .	36
<b>5.</b>	<b>Experimentelles Programm</b>	<b>37</b>
5.1.	Versuchsprogramm . . . . .	37
5.1.1.	Prüfaufbau . . . . .	37
5.1.2.	Variation der Eigenschaften . . . . .	38
5.2.	Geometrie der Verbindung . . . . .	39
5.3.	Werkstoffe . . . . .	40
5.3.1.	UHPC . . . . .	40
5.3.2.	Bewehrungsstahl . . . . .	41
5.3.3.	Gewindestangen . . . . .	42
5.4.	Herstellung . . . . .	43
5.4.1.	Schalung . . . . .	43
5.5.	Begleitversuche . . . . .	45
5.5.1.	Druckfestigkeit . . . . .	45
5.5.2.	Zugfestigkeit . . . . .	46
5.6.	Versuchsergebnisse . . . . .	47
5.6.1.	Zapfenverbindung . . . . .	47
5.6.2.	Begleitversuche . . . . .	53
<b>6.</b>	<b>Begleitprojekt</b>	<b>57</b>
6.1.	Brückenobjekt und Planungsgrundlage . . . . .	57
6.2.	Geometrie . . . . .	59
6.3.	Modellierung und Bemessung . . . . .	61
6.3.1.	Randbalken . . . . .	61
6.3.2.	Befestigungselemente . . . . .	61

---

6.4. Herstellung . . . . .	62
6.4.1. Produktion - Fertigteilfirma . . . . .	62
6.4.2. Montage . . . . .	68
6.5. Begleitversuche . . . . .	70
6.5.1. Bewertung und Interpretation . . . . .	72
6.5.2. Vergleich Labor - Begleitprojekt . . . . .	73
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>75</b>
<b>A. Kleinversuche Zapfenverbindung</b>	<b>80</b>
<b>B. Fahrzeugrückhaltesysteme</b>	<b>111</b>
<b>C. Berechnung Begleitprojekt</b>	<b>114</b>
<b>D. Pläne</b>	<b>130</b>

# 1. Einleitung

## 1.1. Motivation

In Bezug der exponierten Lage des Randbalkens, ergeben sich extreme Anforderungen an einen Randbalken. Dieser ist vor allem den Umwelteinflüssen stark ausgesetzt und muss auch den Anforderungen der Nutzung als Geh- und Radweg, dem Schutz des Tragwerkes und der Lasteinleitung gegebener Schutzvorrichtungen entsprechen. All diese Faktoren wirken sich auf die Langlebigkeit eines Randbalkens aus und sind im Vergleich zu dem Tragwerk sehr gering.

Auf Basis der derzeitigen Ausführung von Ortbetonrandbalken auf Brücken und deren zyklischen Sanierungen und Erneuerungen, ist eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und der Wiederverwendung als Fertigteilrandbalken erstrebenswert.

## 1.2. Zielsetzung und Vorgehensweise

Anhand des entwickelten Prototyp, in Folge der Masterarbeit *"Entwicklung eines Prototypen für Brückenrandbalken aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC)"* [1], soll in dieser Arbeit auf die offenen Punkte eingegangen werden. Hierbei ist die Zielsetzung, die Grundlagen für die Annahmen und Ergebnisse der Erstversuche zu überprüfen und zu adaptieren. Dazu soll, auf die Randbedingungen der derzeitigen Regelplanungen und Ortbetonausführung eingegangen, sowie Ansätze für die Bemessung weiterentwickelt werden. Zu diesem Zweck soll ein experimentelles Versuchsprogramm erstellt und durchgeführt werden. Als weitere Zielvorgabe ist die Umsetzung, die Fertigung und die Anwendung, des weiterentwickelten Fertigteilrandbalkens, an einem Brückenobjekt.

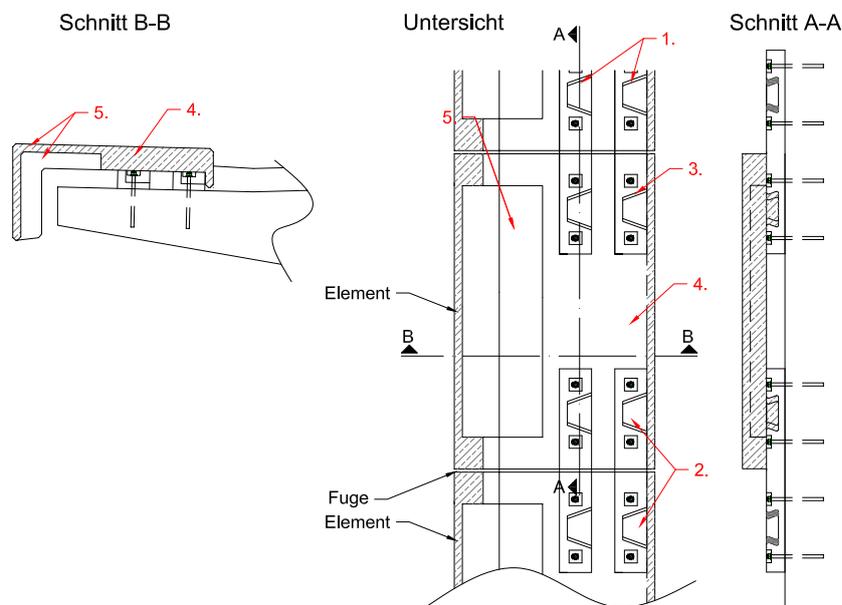
## 2. Prototyp

Die Basis für die Weiterentwicklung des UHPC - Randbalkens bezieht sich auf die Masterarbeit *"Entwicklung eines Prototypen für Brückenrandbalken aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC)"*. [1] In dieser Masterarbeit ist ein Prototyp in Fertigteilbauweise für einen wiederverwendbaren Randbalken entwickelt worden. Hierbei wurde auf die typischen Schadensbilder und die derzeitig ausgeführten Randbalken mit den zugehörigen Regelwerken eingegangen. Weiters wurde für den wiederverwendbare Randbalken die Materialeigenschaften, das Herstellungsverfahren und die Vordimensionierung betrachtet.

Weiterführend ist eine Vordimensionierung und eine Versuchsreihe für die vorgestellte Verbindung erstellt und getestet worden. Anschließend wurde der Prototyp mit einer konventionellen Schalung und gefrästen Schalungseinsätzen gefertigt und ein Montageversuch durchgeführt.

### 2.1. Geometrie Prototyp

In diesem Kapitel ist die festgelegte Geometrie des Randbalkens und der Schwalbenschwanzverbindung dargestellt. Folgende Abmessungen sind für den Prototyp angewendet worden.



**Abb. 2.1.:** Schalungskontur Prototyp [1]

- 1 ... Befestigungselement
- 2 ... Randbalkenverankerungen in Befestigungselementen
- 3 ... Konische Schwalbenschwanzverbindung
- 4 ... Erhöhte Querschnittsdicke zur Montage eines Fahrzeugrückhaltesystems
- 5 ... Reduzierter Querschnitt zur Verringerung des Eigengewichtes

### 2.1.1. Randbalkengeometrie

Der Randbalkengeometrie des produzierten Prototyps hat eine Abmessung  $b \times l$  von  $2,50\text{ m} \times 2,00\text{ m}$ . Diese setzt sich aus einer  $5,0\text{ cm}$  dicken Platte mit 2 Querrippen mit einer Stärke von  $14,5\text{ cm}$  zusammen. Im Bereich dieser Querrippen befinden sich die 4 Zapfen der Schwalbenverbindungen, die sich jeweils in die zugehörigen, am Tragwerk verdübelten, Befestigungselemente mit Schlitz einsetzen lassen.

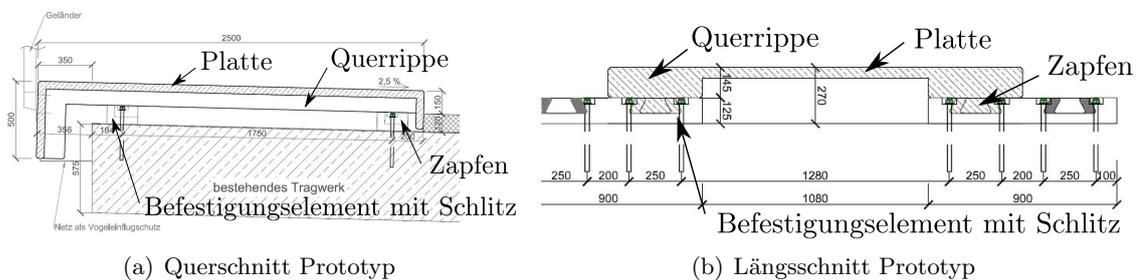
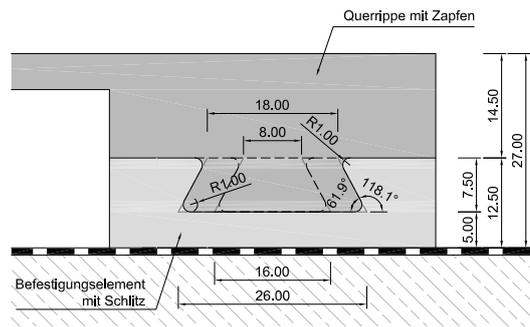


Abb. 2.2.: Geometrie Prototyp [1]

### 2.1.2. Schwalbenschwanzverbindung

Die Schwalbenschwanzverbindung besteht aus 2 Elementen. Dem Befestigungselement mit Schlitz, welches auf dem Tragwerk montiert wird, und dem Randbalken mit dem Zapfen, der sich an der Unterseite der Querrippe befindet.

Der Zapfen selbst hat sowohl in der Tiefe, als auch in der Höhe eine trapezförmige Scha-lungskontur. Im Grundriss gesehen, auf der Höhe der Querrippe, betragen die Abmessungen  $b_1 \times b_2 \times l = 8\text{ cm} \times 18\text{ cm} \times 15\text{ cm}$  und die maximalen Abmessungen im Bereich der Unterkante des Zapfens  $b_1 \times b_2 \times l = 16\text{ cm} \times 26\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ . Diese Maße beziehen sich auf die Verschnittkontur der Schräge mit der Horizontalen. Die Verschnittkanten sind jeweils mit einem Radius  $r = 1,0\text{ cm}$  ausgerundet.



(a) Schalungskontur



(b) Gefräste Schalung [1]

**Abb. 2.3.:** Zapfenkontur Prototyp

Für die Passgenauigkeit der Randbalken untereinander, ist das Befestigungselement so entworfen worden, dass sich in einem Element beim Fugenübergang jeweils 2 Randbalkenenden in das Befestigungselement einschieben lassen. Das Befestigungselement hat eine gesamte Abmessung von  $b \times l \times h = 20 \text{ cm} \times 90 \text{ cm} \times 12,5 \text{ cm}$ . In diesem sind die zwei negativen Schlitze des Zapfens und vier Aussparungen für die Durchführung und Befestigung der Ankerstäbe inbegriffen.

## 2.2. Betonrezeptur Prototyp

Für den Prototyp wurde folgende UHPFRC Rezeptur, wie in Tabelle 2.1 dargestellt, mit 3 % Fasergehalt entwickelt. Diese Rezeptur hat eine Matrixzugfestigkeit von  $\sim 7 \text{ MPa}$  mit einem verfestigenden Verhalten im Nachrissbereich (Tension Hardening). Für die Verarbeitung bei einem hohen Fasergehalt von 3 % ist eine hohe Anforderung an die Rezeptur im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit gegeben.

<i>Einsatzstoff</i>	<i>Gehalt</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Stoffraum</i> [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Zement CEM I 52,5 N	860,0	280,0
Microsilica	160,0	75,0
Quarzmehl	350,0	130,0
Wasser	190,0	190,0
<b><i>Zusatzmittel</i></b>		
Fließmittel	25,0	20,0
Entschäumer	2,7	1,5
<b><i>Gesamtvolumen</i></b>	-	<b>696,5</b>
Stahlfaser	230,0	30,0
Quarzsand (0.1-0.4) mm	720,0	280,0
<b><i>Wasserzementwert</i></b>		
w/z - Wert	0,223	
w/b - Wert	0,189	

Tab. 2.1.: Betonrezeptur Prototyp

### 2.3. Vordimensionierung Prototyp

Die folgenden Annahmen und Berechnungen sind aus [1] zum Vergleich zusammengefasst und dargestellt. Die Berechnungen der Verbindung beziehen sich auf ein Randbalkenelement mit einer Abmessung von  $1,25\text{ m} \times 2,0\text{ m}$  mit sechs Schwalbenschwanzverbindungen. Die maßgebenden Lasten für die Berechnung der Verbindung ergeben sich aus der Kombination 2b-Anhang A [1] und ergeben folgende Designlasten, die für die Bemessung der Verbindung herangezogen worden sind.

<i>Horizontale Last:</i>	256,10	kN
<i>Vertikale Last:</i>	10,12	kN
<i>Nach außen drehendes Moment:</i>	212,74	kN

In Folge der Dübelbemessung, ergibt sich eine resultierende Zugkraft von  $F_t, d = 166,85\text{ kN} = 0,17\text{ MN}$  und eine maximale horizontal wirkende Druckkraft von  $F_d = 85,37\text{ kN} = 0,086\text{ MN}$ .

## 2.4. Versuchsergebnisse Verbindung

In der nachfolgenden Tabelle 2.2 werden die Ergebnisse der durchgeführten Prüfserien dargestellt.

<i>Zugversuche</i>		
<i>Serie</i>	<i>Maximalwert [kN]</i>	<i>Anmerkung</i>
VS 2-1	98,90	-
VS 2-2	83,03	-
VS 2-3	90,41	-
<b><i>Mittelwert</i></b>	<b><i>90,78</i></b>	

<i>Schubversuche</i>		
<i>Serie</i>	<i>Maximalwert [kN]</i>	<i>Anmerkung</i>
VD 1-1	>90,0	Abbruch bei 90 [kN]
VD 1-2	158,49	-
VD 2-1	260,3	-
VD 2-2	249,66	-
VD 2-3	233,57	-
<b><i>Mittelwert</i></b>	<b><i>247,84</i></b>	

**Tab. 2.2.:** Versuchsergebnisse - Prototyp

## 2.5. Fertigung Prototyp

Der für die Anwendung im Zuge des Begleitprojektes entworfene Prototyp, hat eine Abmessung von  $2,0\text{ m} \times 2,5\text{ m}$  und wurde im Labor der TU Graz gefertigt. Hierfür wurde eine Rahmenschalung mit einer Unterkonstruktion für die unterschiedlichen Höhengsprünge angefertigt. Die Betonage erfolgte mit einem Krankübel, wobei während der Betonage ein rasches Ansteifen des Betons infolge der Einbaumethode und der hohen Umgebungstemperatur statt fand. Die Oberflächengestaltung erfolgte mittels einer Quarzsandeinstreuung.



(a) Untersicht Prototyp

(b) Oberfläche Prototyp

**Abb. 2.4.:** Produzierter Prototyp [1]**Abb. 2.5.:** Befestigungselement Prototyp [1]

## 2.6. Montageversuch Prototyp

Zur Überprüfung der Montagefähigkeit, wurden 4 Betonträger als Unterkonstruktion zur Simulation des Tragwerkes bereit gestellt. Auf diesen wurden die Befestigungselemente der Schwalbenschwanzverbindung montiert. Anschließend wurde der Randbalken mit einem Hallenkran eingehoben und eingeschoben. Die Montage des Randbalkens ließ sich sehr einfach und schnell bewerkstelligen, jedoch war die Passgenauigkeit der Zapfen zu den Schlitzen nicht optimal, was sich auf die Montageungenauigkeit zurückführen lässt.



(a) Einheben Prototyp

(b) Zapfenüberstand

**Abb. 2.6.:** Montage Prototyp [1]

## 2.7. Fazit Prototyp

Die Entwicklung des Prototyps hat gezeigt, dass eine Anwendung eines Fertigteil Randbalkens möglich ist. Eine maßgebende Anpassung der Schwalbenschwanz Verbindung ist in Bezug auf die Zugkraftübertragung der geforderten Lastsituation notwendig. Generell ist eine Verbesserung der Betonrezeptur erforderlich, um eine bessere Verarbeitung, beziehungsweise bessere Betoneigenschaften zu erzielen. Weiters gäbe es die Möglichkeit, die Genauigkeit im Bereich der Befestigung am Tragwerk weiter zu entwickeln.

## 3. Randbalken

In diesem Kapitel wurden die grundlegenden Anforderungen und der derzeitige Stand der Technik an Randbalkenkonstruktionen beschrieben und erläutert. Dazu wird zuerst auf die Geometrie und die materiellen Eigenschaften eingegangen. Anschließend werden die Ausrüstungsgegenstände und die Bemessungsgrundlagen für die Randbalkenkonstruktion beschrieben.

### 3.1. Allgemein

Auf Brückenobjekten werden Rand- und Mittelstreifenkonstruktionen zur Leitung des Verkehrs, Führung des Oberflächenwassers, sowie der Trennung von Richtungsfahrbahnen angeordnet. Verschiedene Parameter wie die Geometrie, die Ausrüstungsgegenstände und die Einwirkungen nehmen großen Einfluss auf den Randbalken. Die materiellen Eigenschaften und die Abdichtung wirken sich auf die Dauerhaftigkeit aus.

Diese sind von den jeweiligen Planungsgrundlagen für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche abhängig und als Beispiel in der RVS 15.04.11 [2], dem Planungshandbuch BRÜCKE - BAU (PlaPB-BR) der ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) [3] und den Regeldetails des Landes Steiermark [4] dargestellt.

### 3.2. Abmessung und Form

Die Höhe des Randbalkens im Bereich des Fahrbahnrandes ist abhängig vom Fahrbahnaufbau. Dieser weist im Regelfall eine Dicke  $d = 12 - 29 \text{ cm}$  auf. Die Oberkante des Randbalkens ist bei einem geringeren Aufbau  $15,0 \text{ cm}$  über der Fahrbahnoberkante und kann bei einem dickeren Schichtaufbau auf  $7,0 \text{ cm}$  reduziert werden. [3]

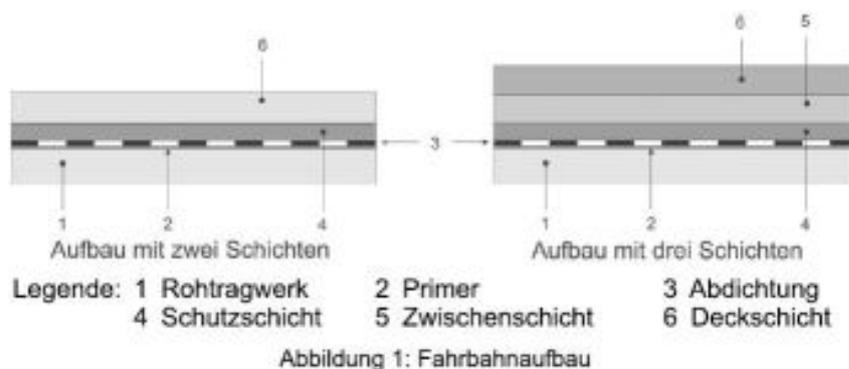


Abb. 3.1.: Fahrbahnaufbau - RVS 15.03.15 [5]

RVS

Die aktuelle Fassung der RVS 15.04.11 [2] ist aus dem Jahr 1983 und unterscheidet sich zu den derzeit aktuellen Planungen der ASFINAG [3] und Land Steiermark [4]. In dieser RVS ist noch ein vorgesetzter Randstein im Bereich des Fahrbahnbelages vorgesehen. Diese Ausführung des Randbalkens wird kaum noch verwendet. Weiters sind noch Aussparungen und Vertiefungen für die Leitschienen- und Geländesteher vorgesehen. Zusätzlich sind auch noch 3 Leerverrohrungen mit einem Durchmesser  $\varnothing = 100 \text{ mm}$  für die Kabelführung angeordnet. Die Regelbreiten für einen Außenrandbalken betragen  $b = 1,20 \text{ m}$ ,  $b = 1,25 \text{ m}$  und  $b = 1,70 \text{ m}$ . Für eine Mittelstreifenkonstruktion ist eine Gesamtbreite von  $b = 2,50 \text{ m}$  und  $b = 3,50 \text{ m}$  vorgegeben.

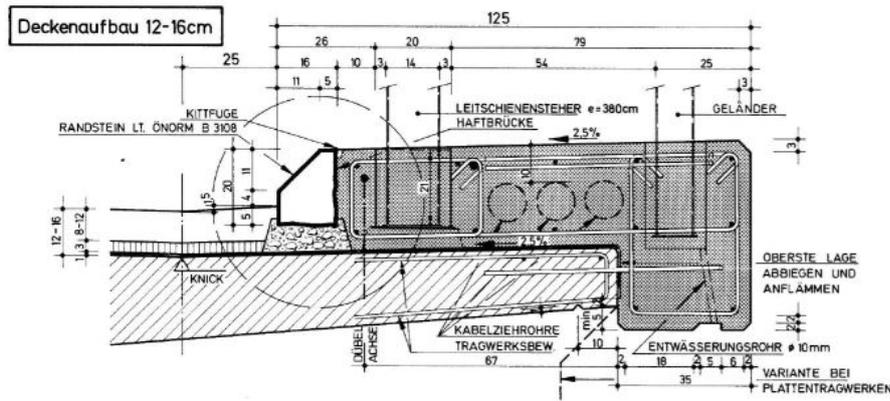


Abb. 3.2.: Regelquerschnitt Außenrandbalken - RVS 15.04.11 [2]

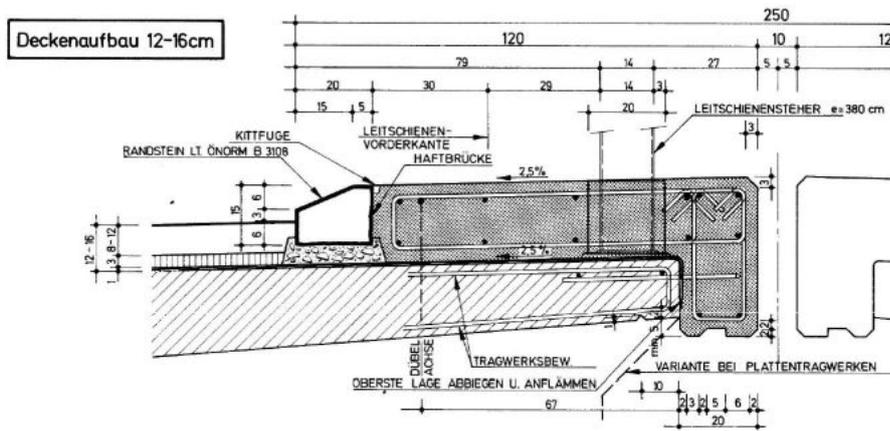
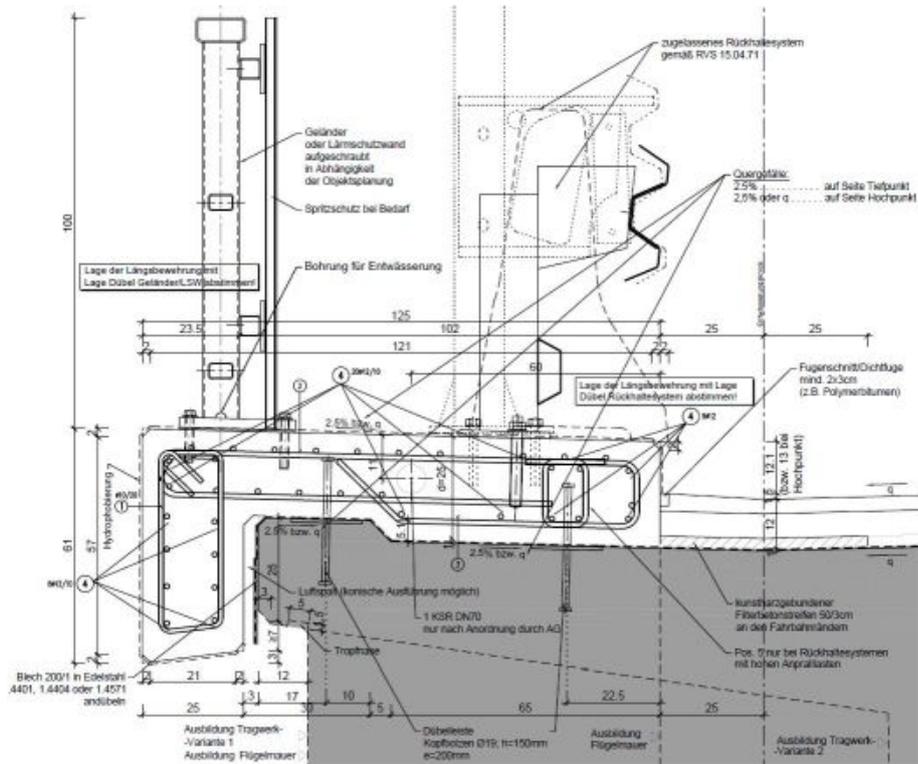


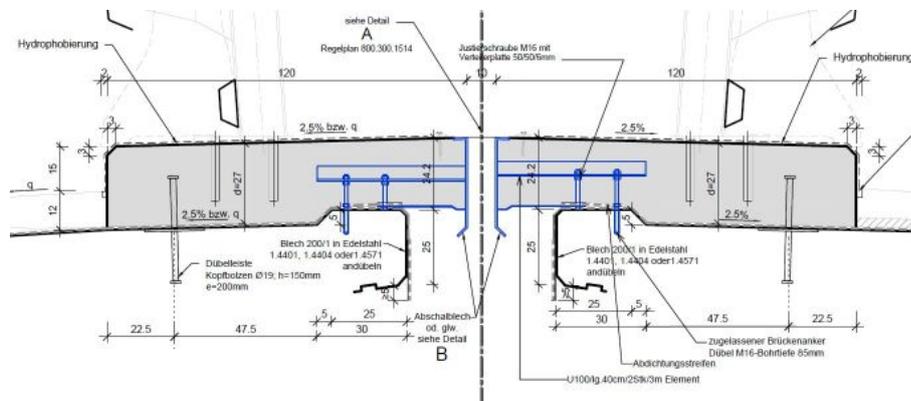
Abb. 3.3.: Regelquerschnitt Mittelrandbalken - RVS 15.04.11 [2]

**ASFINAG**

In der aktuellsten Version 6.10 der Regelplanung der ASFINAG [3] ist kein Randleistenstein vorgesehen. Hier ist eine Kabelführung im Randbalken nicht erwünscht und soll am Tragwerk abgehängt oder auf einer Behelfsbrücke geführt werden. Die Randbalkengeometrie ist für die Variante durch eine ausgeführte Schubnase am Tragwerk vorgegeben. Weiters wird die Innenkante der Schürze des Randbalkens um 3,0 cm von der Stirnseite der Kragplatte abgesetzt. Die standardmäßige Breite des Außenrandbalkens beträgt  $b = 1,25\text{ m}$  und die eines Mittelstreifens  $b = 1,20\text{ m}$ . Die Schürzenbreite des Randbalkens beträgt  $b = 25\text{ cm}$ . Für die Schürzenausbildung im Mittelstreifenbereich, kann eine alternative Variante mit einer Blechabschalung angewandt werden.



**Abb. 3.4.:** Außenrandbalken - ASFINAG [3]



**Abb. 3.5.:** Alternative Mittelrandausbildung - ASFINAG [3]



### 3.3. Abdichtung unterhalb des Randbalkens

Die Abdichtungsebene dient hauptsächlich zur Ableitung der anfallenden Wässer und zum Schutz des Tragwerkes, infolge der Mitführung von Chloriden aus Tausalz und weiteren schädlichen Stoffen im Wasser. Für Abdichtungssysteme auf Brücken werden häufig Polymerbitumenbahnen verwendet. Die Montage der Abdichtungsbahnen erfolgt mittels Flämmverfahren oder im Gießverfahren mit einer Klebmasse [6]. Hier ist, besonders bei der Montage und Verarbeitung darauf zu achten, dass diese nicht beschädigt werden, um Folgeschäden zu vermeiden.

Bei der Montage der Abdichtung, sind für die Oberflächenbeschaffenheit des Tragwerkes bestimmte Parameter einzuhalten. Diese Anforderungen der vorbehandelten Tragwerksoberfläche sind gemäß RVS 08.07.03 [7]:

- Betonfeuchte:  $\geq 4,0 M. - \%$
- Rautiefe:
  - Flämmverfahren:  $0,3 - 1,0 mm$
  - Gießverfahren:  $0,3 - 1,5 mm$
- Abreißfestigkeit:
  - MW:  $\geq 1,5 MPa$
  - EW:  $\geq 1,3 MPa$

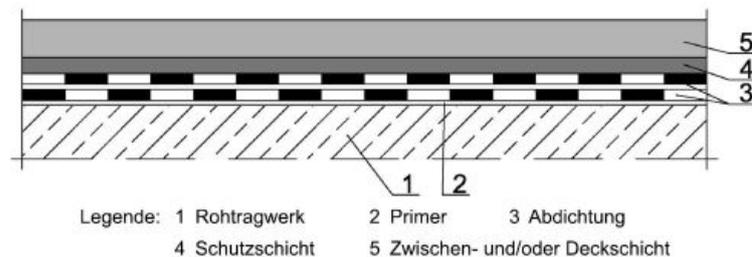


Abb. 3.7.: Aufbau einer zweilagigen Brückenabdichtung - RVS 15.03.12 [8]

### 3.4. Material

In diesem Abschnitt wird eine Übersicht der Anforderungen eines Randbalkens hinsichtlich der Materialeigenschaften, sowie der Ausrüstungsgegenstände von Kunstbauten beschrieben und dargestellt.

## RVS

Die RVS 15.04.11 [2] regelt die Ausführung von Randleisten- und Mittelstreifenkonstruktionen. Die derzeit gültige Fassung ist aus dem Jahr 1983 und weist nicht mehr den Stand der Technik auf. Diesbezüglich beziehen sich die Auftraggeber und Planer auf die Planungshandbücher und Regelplanungen der ASFINAG [3] sowie der unterschiedlichen Bundesländer. In dieser RVS müssen die Materialeigenschaften des Randbalkens aus einer Festigkeitsklasse B300 und einer Sorte V/LPS bestehen, um eine Frost- und Tausalzbeständigkeit gewährleisten zu können.

## ASFINAG

Die derzeitige Ausführung des Randbalkens ist in dem Planungshandbuch der ASFINAG [3] mit einer Betonklasse  $C25/30/RS/B7/SB/BL$  und einer Betondeckung  $c = 4,5\text{ cm}$  definiert, außerdem sind sie mit einer Hydrophobierung zum Schutz der Oberfläche gegen Frost-Tausalz auszuführen. Diese Betonsorten sind entsprechend der ÖNorm B4710-1 [9] anzuwenden.

Eine Mindestbewehrung ist in Längs- und Querrichtung vorgegeben, wie auch eine maximale Rissbreite von  $w_{max} = 3,0\text{ mm}$ . Die minimale Bewehrung in Längsrichtung ist ein  $\varnothing 12\text{ mm}$   $a = 10\text{ cm}$  und in Querrichtung in Abhängigkeit des Fahrzeugrückhaltesystems und der Lärmschutzwand ein  $\varnothing 10\text{-}14\text{ mm}$   $a = 10\text{ cm}$ .

## Land Steiermark

Die Regelplanungen des Landes Steiermark [4], beschäftigen sich hauptsächlich mit der konstruktiven Ausführung der Regeldetails und sind an die Regelplanung der ASFINAG [3] angelehnt. Diese unterscheiden sich nur gering in der Geometrie, der Befestigung des Geländers und den direkten Kontakt des Randbalkens zur Stirnseite der Kragplatte.

## ÖNORM B 4710-1

Die Eigenschaften und Anforderungen der oben erwähnten Betonklassen sind in der ÖNorm B 4710-1 [9] geregelt. Somit ist für einen Randbalken eine Druckfestigkeitsklasse  $C25/30$  eine charakteristische Mindestfestigkeit von Zylindern  $f_{ck,cyl} = 30\text{ N/mm}^2$  und eine charakteristische Mindestfestigkeit von Würfeln  $f_{ck,cube} = 25\text{ N/mm}^2$  erforderlich. Die Bezeichnung RS bedeutet ein reduziertes Schwinden und die Betonkurzbezeichnung  $B7$  entspricht den Expositionsklassen XC 4 (Korrosionsgefahr ausgelöst durch Karbonatisierung), XD 3 (Korrosionsgefahr ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser), XF 4 (Gefahr von Frostangriff mit oder ohne Taumittel) und XA1 (für chemischen Angriff). Für die Sichtbetonqualität SB ist ein w/b-Wert von 0,45 und einem Luftporengehalt von 4,0 – 8,0% gefordert. Die Bezeichnung BL, weist auf eine Betonklasse mit einer geringen Blutneigung hin. Diese gilt für Bauteile in Sichtbetonqualität und für Oberflächen, die als Untergrund für eine Beschichtung dienen. Die Konsistenz dieser Betonklasse liegt bei  $\geq F59$ .

## 3.5. Ausrüstung auf Kunstbauten

### 3.5.1. Geländer

Gemäß der RVS 15.04.21 [10] sind Brückengeländer bei Neubauten, aber auch im Zuge von Sanierungen bei Bestandsobjekten anzubringen. Vorrangig dienen sie zur Absturzicherung, Grundkonstruktion für zusätzliche Konstruktionsteile wie Spritz-, Schnee oder Blendschutz, als auch als optische Leiteinrichtung und Gestaltungselemente. Die Befestigung kann mittels Fußplatte, oben aufgedübelt, oder seitlich am Randbalken erfolgen. Diese muss so ausgebildet sein, dass die Einleitung der horizontalen und vertikalen Lasten in den Randbalken erfolgen kann. Meist wird die Geländerbefestigung aus zugzonentauglichen Verbundankern aus feuerverzinktem Stahl ausgeführt.

Die geometrischen Anforderungen sind gemäß RVS 15.04.21 [10] anzuwenden.

Einsatzbereich		Geländerhöhe $H_o$ [m]	Geländerfüllungen	
			Zwischenraum $D_s$ [mm]	Maschenumfang $P_m$ [mm]
Straßenbrücken	ohne Geh- bzw. Radweg	$\geq 1,00$	$\leq 500$	$> 160$ bzw. $\leq 200$
	mit Gehweg bzw. im Ortsgebiet	$\geq 1,00$	$\leq 120^*)$	$\leq 160^*)$
	mit Radweg	$\geq 1,20$	$\leq 120^*)$	$\leq 160^*)$
Gehwegbrücken		$\geq 1,00$	$\leq 120^*)$	$\leq 160^*)$
Radwegbrücken		$\geq 1,20$	$\leq 120^*)$	$\leq 160^*)$
Geländer nur für Wartungspersonal		$\geq 1,00$	$\leq 500$	$> 160$ bzw. $\leq 200$
Geländer auf Brücken im Zuge von untergeordneten Straßen (z.B. Güterwege)		$\geq 1,00$	$\leq 500$	$> 160$ bzw. $\leq 200$

\*) bis zu einer Höhe von mindestens 70 cm, gemessen von der Standfläche und vor Prüfung mit dynamischen Anpralllasten gemäß Anhang 2; darüber  $D_s \leq 500$  mm

**Abb. 3.8.:** Geländeranforderung - RVS 15.04.21 [10]

Bei einer Straßenbrücke mit einem Geh- und Radweg muss eine Geländerhöhe von  $H_o = 1,20$  m, ein Zwischenraum  $D_s = 120$  mm und ein Maschenumfang  $P_m = 160$  mm eingehalten werden.

Die in der RVS angeführten Geländer Typ B -St, Typ B - Al, Typ C - St, Typ F - St und Typ F - Al erfüllen die geometrischen- und Bemessungsanforderungen auf Brücken.



JDTLV	zul. Höchst-geschwindigkeit für PKW [km/h]	Randabsicherung		Mittelabsicherung	
		Gefährdung		Mittelstreifenbreite	
		normal	hoch	> 3,50 m	≤ 3,50 m
≤ 1.000	≤ 100	N1	H1	H1	H2
≤ 1.000	> 100	N2	H1	H1	H2
1.000 < JDTLV ≤ 5.000	≤ 100				
1.000 < JDTLV ≤ 5.000	> 100	H1	H2	H2	H3
> 5.000	≤ 100				
> 5.000	> 100	H2	H3 / H4b <sup>2)</sup>	H3	H3 / H4b <sup>2)</sup>

<sup>2)</sup> bei besonders hohen Rückhalte- und Sicherheitsanforderungen

**Abb. 3.10.:** Mindestanforderung Aufhaltestufen - RVS 05.02.31 [13]

Anlageverhältnisse	am Brückenaußenrand	im Mittelstreifen <sup>1)</sup>
Normalfall	H2	H3
Gefälle > 4 % mit einer Länge > 400 m	H3	H3
Kurvenaußenrand bei starken Richtungsänderungen (Mindestausbauradien, Verringerung der Ausbaugeschwindigkeit usw.)	H3	H3
Querschnitte ohne Pannestreifen, ohne baulichen Mittel-trennung usw.	H3	H3
Brücken über hochrangige Verkehrswege oder im Bereich von besonders zu schützenden Anlagen	H3	H3
Im Bereich von Menschenansammlungen	H3	H3
Brücken über Bahnstrecken, zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Straße > 70 km/h	H4b	H3
Brücken über Bahnstrecken, zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Straße ≤ 70 km/h	H2	H3

<sup>1)</sup> Ist der Höhenunterschied der Tragwerksränder im Mittelstreifenbereich > 0,40 m, so kann der tiefer liegende Tragwerksrand wie ein Brückenaußenrand abgesichert werden. Bei einem horizontalen Abstand der Tragwerksränder ≥ 4,00 m werden beide Ränder als Brückenaußenränder betrachtet und dementsprechend abgesichert.

**Abb. 3.11.:** Mindest Aufhaltestufen - Tabelle 1 RVS 15.04.71 [11]

Anlageverhältnisse	am Brückenrand (einseitig wirkend)
Normalfall	N1
Gefälle > 6 % mit einer Länge > 250 m	N2
Kurvenaußenrand bei starken Richtungsänderungen (Mindestausbauradien, Verringerung der Ausbaugeschwindigkeit etc.)	N2
Brücken über hochrangige Verkehrswege oder im Bereich von besonders zu schützenden Anlagen	H1
Im Bereich von Menschenansammlungen	H1
Brücken über Bahnstrecken, zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Straße > 70 km/h	H4b
Brücken über Bahnstrecken, zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Straße ≤ 70 km/h	H2

**Abb. 3.12.:** Mindest Aufhaltestufen - Tabelle 2 RVS 15.04.71 [11]

Die in Folge eines Fahrzeuganpralls sich ergebenden Kräfte sind in die Brückenkonstruktion so einzuleiten, dass keine Schäden an den tragenden Bauteilen durch die außergewöhnliche Beanspruchung entstehen. Diese werden in 3.6.4 genauer beschrieben.

### 3.5.3. Lärmschutzwand

Ist eine Lärmschutzwand (LSW) als Ausrüstung eines Brückenobjektes vorgesehen, ist mit einem Mindestabstand von  $0,75\text{ m}$  von der Randleistenflucht und ein Steherabstand von  $1,90\text{ m}$  einzuhalten. Findet sich ein Fahrzeugrückhaltesystem vor einer Lärmschutzwand, so ist ein Mindestabstand von  $1,0\text{ m}$  notwendig, um die Verformung der Leitschiene einzuhalten. Die Anschlusskonstruktion der LSW kann mit Hilfe einer eigenständigen Befestigung seitlich beziehungsweise oben aufgedübelt, oder in Kombination mit dem Geländer befestigt werden. Die ständigen Lasten sind gemäß der ausgeführten Konstruktion (Aluminium, Stahl, Beton- und Stahlbeton, Kunststoffe und sonstige Materialien) zu bestimmen.

### 3.5.4. Sonstige Ausrüstung

Weiters in der Planung zu betrachtende Ausrüstungsgegenstände sind mögliche Überkopfwegweiser, Verkehrszeichen, Kabelleitungen und Taubenschutz. Zusätzlich werden bei Geländern im Bereich von Bahnstrecken Übersteigschutz und bei Straßenüberführungen Spritzschutzelemente angebracht. Bei nebeneinander geplanten Tragwerken ist im Bereich der Mittelstreifenkonstruktion eine Abdeckung oder ein Absturzgitter vorzusehen.

### 3.5.5. Verankerung am Tragwerk

Um die auftretenden Kräfte der gegebenen Anforderungen eines Brückenobjektes zu übertragen, muss eine geeignete Verbindung zwischen der Rand-, beziehungsweise Mittelstreifenkonstruktion und dem Tragwerk hergestellt werden. Diese Verankerung dient auch dazu, die Bewegung zwischen dem Randbalken und dem Tragwerk zu minimieren, um eine Beschädigung der Abdichtung zu verhindern. Diese Verankerung besteht aus einem mechanischen Befestigungssystem, oder aus einem chemischen Verankerungssystem beziehungsweise aus einer Kombination beider Systeme und wird mit einem zusätzlichen Dichtsystem der Abdichtungsebene, zur Verhinderung eines Feuchtigkeitsdurchtrittes durch die Abdichtungsebene, ausgeführt. Für einen Ortbetonrandbalken ist der Standarddurchmesser  $\varnothing 16\text{ mm}$  in einem Rasterabstand  $e = 15 - 30\text{ cm/lfm}$  üblich. Bei der Montage der Dübel ist bei der Einbindetiefe und der Bauteildicke zu beachten, dass die untere Bewehrungslage nicht erreicht wird. Gängige Verankerungssysteme sind Dübelleisten und Einzeldübel. Für Randbalken mit LSW bis zu einer Höhe von  $h = 2,50\text{ m}$  und einer Schutzeinrichtung bis zur Rückhalteklasse H3 ist auch ein Tragblech als Verankerung möglich. [14]

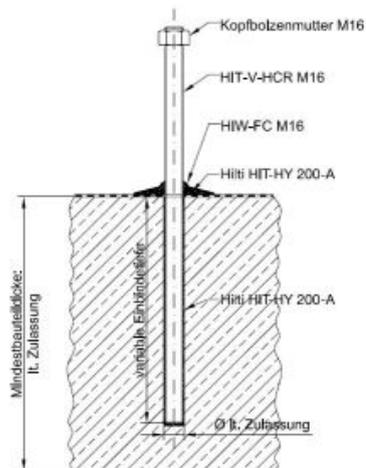


Abb. 3.13.: Beispiel eines Randbalkendübel mit Abdichtungssystem - HILTI [15]

### 3.6. Einwirkungen

Folgende Einwirkungen beziehen sich nur auf Straßenbrücken und sind nicht für reine Fuß- und Radwegbrücken anzuwenden. Für diese sind zusätzliche Randbedingungen zu überprüfen.

#### 3.6.1. Ständige Lasten

Als ständige Lasten müssen die Eigengewichte der einzelnen Bauteile, sowie der Ausrüstungsgegenstände ebenso berücksichtigt werden.

#### 3.6.2. Veränderliche Lasten

##### Gleichmäßig wirkende Lasten

Als veränderliche Last ist die gleichmäßig wirkende Verkehrslast  $q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$  auf Fuß- und Radwegen gemäß ÖNorm EN 1991-2 [16] und ÖNorm B 1991-2 [17] anzusetzen. Dieser charakteristische Wert darf jedoch auch für Einzelprojekte gesondert definiert werden.

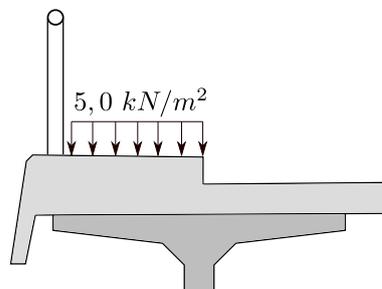


Abb. 3.14.: Charakteristische Last auf Fuß- und Radwegen - ÖNorm EN 1991-2 [16]

**Konzentrierte Einzellast**

Auf Fußwegen ist eine konzentrierte Einzellast  $q_{fwk} = 10 \text{ kN}$  auf einer quadratischen Aufstandsfläche von  $0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$  anzusetzen.

**Windlasten**

Windlasten sind veränderliche Lasten, die abhängig von der geografische Lage, Höhe, Geometrie und Form der Brücke sind. Hier ist auch darauf zu achten, dass diese Lasten hauptsächlich auf das Brückentragwerk selbst beziehungsweise auf eine Lärmschutzwand wirken. Aus diesem Grund ist eine genauere Betrachtung bei der Nutzung einer Lärmschutzwand notwendig. Für eine Berechnung der Lasten auf eine Lärmschutzwand, ist in der Regelplanung der ASFINAG [3], für eine Lärmschutzwand mit einer Höhe  $h = 4,0 \text{ m}$  und  $e_{max.} = 2,0 \text{ m}$ , ist mit einer Windbelastung von  $w = 1,80 \text{ kN/m}^2$  zu rechnen. Hierzu gibt es auch eine Lärmschutzwandsteher Typenzuteilung (3 Typen) in Abhängigkeit von Höhe und Windlast. Die angesetzte Windlast ist die Bemessungslast und deckt die Schneeräumlasten ab.

Die 3 Stehertypen unterscheiden sich in der Ausbildung und Befestigung der Fußplatte.

$w \text{ [kN/m}^2\text{]}$	0,8	1,0	1,1	1,15	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4
Höhe	Typ											
2,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
3,00	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
3,50	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	-
4,00	1	2	2	3	3	3	3	3	3	-	-	-
4,50	2	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
5,00	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-
5,50	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tab. 3.1.:** Typenzuordnung nach ASFINAG Regelplanung [3]

**Schneelasten**

Schneelasten auf Brücken sind in der Regel nicht zu berücksichtigen. Jedoch sind für nicht überdeckte Brücken mit Fuß- und Radwegen Schneelasten anzusetzen, wenn diese größer sind als die Nutzlasten. Die anzusetzenden Werte sind gemäß ÖNorm EN 1991-1-3 [18] und ÖNorm B 1991-1-3 [19] anzuwenden.

### 3.6.3. Lasten auf Geländer

Als Einwirkung auf das Geländer ist eine veränderliche Linienlast für Fußwege und Fußgängerbrücken als kleinste Einwirkung  $q = 1,0 \text{ kN/m}$  horizontal und vertikal an der Oberkante des Holms anzusetzen. Auf Dienstwegen ist ein kleinster Wert von  $q = 0,8 \text{ kN/m}$  anzunehmen. Diese Linienlasten sind horizontal in beide Richtungen anzusetzen. Außergewöhnliche Lastfälle und Ausnahmen sind in diesen Mindestwerten nicht abgedeckt.

Gemäß dem Nationalen Anhang ÖNorm B 1991-2 [17] sind diese Einwirkungen nicht mit den Lasten aus Wind zu kombinieren.

Ist dem Geländer eine Leiteinrichtung vorgesetzt, so sind die horizontalen und vertikalen Linienlasten auf das Geländer gleichzeitig mit den veränderlichen Verkehrslasten zu berücksichtigen.

Ist keine Schutzmaßnahme gegen Fahrzeuganprall vorhanden, muss eine Einwirkung als außergewöhnliche Last, die dem 1,25 fachen Widerstand des Geländers entspricht, ohne weiteren veränderlich Lasten bemessen werden.

### 3.6.4. Außergewöhnliche Lasten

#### Anprall Schrammbord:

Für die Randbalkenkonstruktion ist der Schrammbordanprall zu berücksichtigen. Dieser setzt sich aus einer quer zur Fahrtrichtung wirkenden Horizontallast von  $100 \text{ kN}$  und einer vertikal wirkenden Verkehrslast von  $0,75 \times \alpha_{Q1} \times Q_{1k}$  zusammen. Die horizontale Last ist mit  $0,05 \text{ m}$  unter der Randbalkenoberkante über eine Länge von  $0,5 \text{ m}$  und mit einem Lastausbreitungswinkel von  $45^\circ$  anzusetzen. Die senkrecht wirkende Verkehrslast soll nur gemeinsam angenommen werden, wenn dies zu ungünstigeren Ergebnissen führt. [16] [17] Für den Beiwert  $\alpha_{Q1}$  ist gemäß ÖNorm EN 1991-2 [16] ein Wert  $\geq 0,8$  anzusetzen.

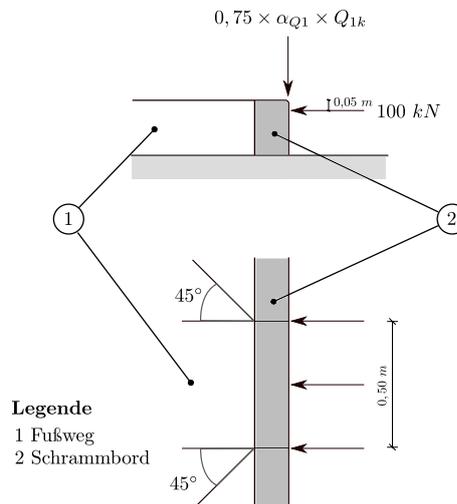
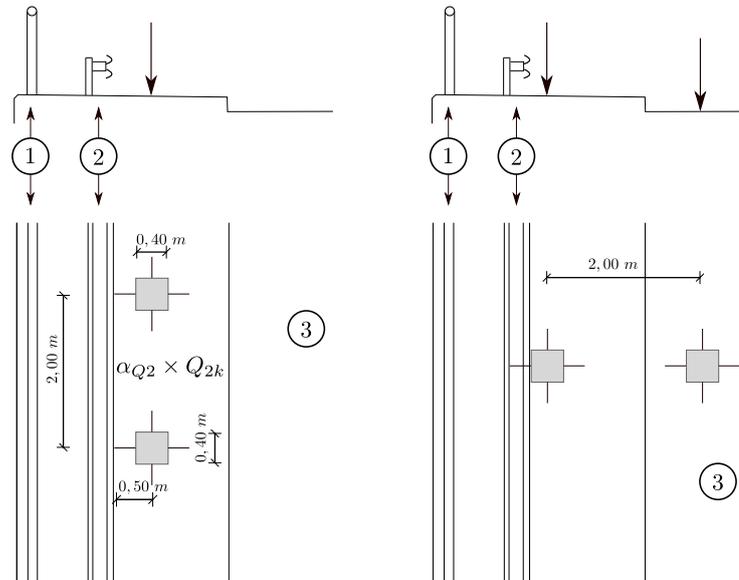


Abb. 3.15.: Schrammbordanprall - ÖNorm EN 1991-2 [16]

### Abgeirrtes Fahrzeug/Außergewöhnliche Achslast

Ist keine starre Schutzvorrichtung auf dem Brückenobjekt geplant, so ist eine außergewöhnliche Achslast entsprechend  $\alpha_{Q2} \times Q_{2k}$  an ungünstigster Stelle (Längs) auf dem Fuß- und Radweg zu berücksichtigen. Ist eine gesamte Achse aus geometrischen Gründen (Quer) nicht auf dem Randbalken ansetzbar, so ist ein einzelnes Rad zu beachten. Diese Achslast wirkt nicht gleichzeitig mit anderen Verkehrslasten. [16] [20]



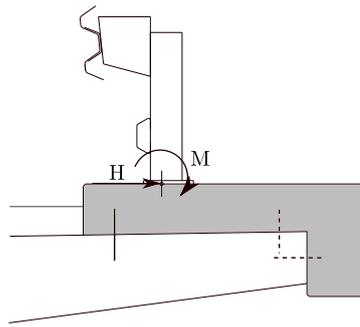
- Legende**
- 1 Brückengeländer (Brüstung für Fahrzeuge falls keine Schutzvorrichtung vorhanden ist)
  - 2 Schutzvorrichtung
  - 3 Fahrbahn

**Abb. 3.16.:** Abgeirrtes Fahrzeug - ÖNorm EN 1991-2 [16]

### Anprall Fahrzeugrückhaltesystem

Die in Folge eines Fahrzeuganpralls sich ergebenden Kräfte sind in die Brückenkonstruktion so einzuleiten, dass keine Schäden an den tragenden Bauteilen durch die außergewöhnliche Beanspruchung entstehen.

Für die Berechnung der einzuleitenden Anpralllasten, werden horizontal und vertikal Ersatzlasten sowie ein Ersatzbiegemoment auf die Randleiste aufgebracht. Die anzusetzenden Lasten sind gemäß den geforderten Aufhaltetufen für die örtlichen Gegebenheiten und den zugelassenen Rückhaltesystemen anzusetzen. Der höchste zu betrachtende Fall stellt einen Anprall auf ein H4b dar. [11] [12]



**Abb. 3.17.:** Einleitung Anpralllasten bei FRS - RVS 15.04.71 [11]

Die anzusetzenden Lasten der unterschiedlichen Aufhaltestufen und Hersteller sind gemäß dem Merkblatt des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) [12] zu entnehmen. Diese Fahrzeug-Rückhaltesysteme sind gemäß RVS 15.04.71 [11] getestet und zugelassen. Dieses Merkblatt wird in unterschiedlichen Zeitintervallen aktualisiert und erweitert.

Hier eine Übersicht der aktuell zugelassenen Rückhaltesysteme. Die detaillierte Lastaufstellung des Merkblattes des bmvit befindet sich im Anhang B.

<i>Aufhaltestufe</i>	<i>Hersteller</i>	<i>Fahrzeugrückhaltesystem</i>
<b>N1</b>	vaSTS	Kremsbarrier 1 R N1
	Leit- Schutz	Leitschutz N2 Kunstbau
<b>N2</b>	vaSTS	Kremsbarrier 1 R N2
	vaSTS	Kremsbarrier 1 R N2 C
<b>H1</b>	Leit- Schutz	Leitschutz H1
	vaSTS	Kremsbarrier 1 R H1 K
	vaSTS	Kremsbarrier 1 R H1 C
	Leit- Schutz	Leitschutz H1 Kunstbau 2015
	IMEVA	H1 BP 100
<b>H2</b>	vaSTS	Kremsbarrier 1 R H2
	vaSTS	Kremsbarrier 3 R H2
	vaSTS	Kremsbarrier 1 R H2
	vaSTS	Kremsbarrier 3 R H2
	Fracasso	Fracasso Barriera 3n24335
	MEVA	Barriera bordo laterale H2 - vincolo a piastra H2 BP 300
	Fracasso	Fracasso Barriera 3n32122
	vaSTS	Kremsbarrier 2 R H2 C
<b>H3</b>	IMEVA	H2 BP 500
	vaSTS	Kremsbarrier 1 R H3
	vaSTS	Kremsbarrier 3 R H3 V
	IMEVA	H3 BP 400
<b>H4b</b>	vaSTS	Kremsbarrier 2 R H3 C
	vaSTS	Kremsbarrier 3 R H4
	Fracasso	Fracasso Barriera 3n31622

**Tab. 3.2.:** Übersicht Fahrzeugrückhaltesysteme - bmvit [12]

## 4. Fertigteil Randbalken

In diesem Kapitel wird die Ausgangslage des entwickelten UHPC-Randbalkens wie in Kapitel 2 und Kapitel 3 beschrieben, sowie die daraus resultierenden Ansätze zur Optimierung hinsichtlich der Anwendung, Geometrie, Modellierung und Bemessung aufgezeigt. Die folgenden Abmessungen und Geometrien wurden am Randbalken des Begleitprojektes dargestellt.

### 4.1. Geometrische Anpassungen

Die Geometrie des Schwalbenschwanzes und Schlitzes wird wie in Kapitel 2.1 beschrieben übernommen. Für einen geringeren Betonverbrauch ist die Breite der Querrippe von  $b = 46 \text{ cm}$  auf eine Breite  $b = 36 \text{ cm}$  verringert worden. Analog dazu, ist das Befestigungselement mit 2 Schlitz auf ein einzelnes Element mit einem Schlitz geändert worden. Dies hat, in Bezug auf die Montage auf der Baustelle, den Vorteil, dass auf Unebenheiten und Ungenauigkeiten besser eingegangen werden kann. Zudem sind am Befestigungselement für die Verankerung am Tragwerk, der Abdichtungskappen, der Dübel und der Befestigungsmuttern Aussparungen in der Achse des Zapfenschwerpunktes angeordnet worden. Weiters wurde an der Oberseite, im Bereich der Querrippe, eine Aussparung für ein Fugenprofil ergänzt.

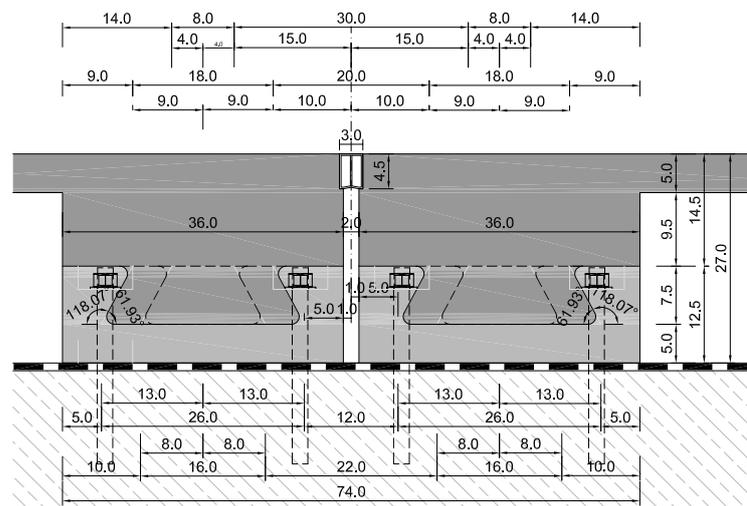


Abb. 4.1.: Längsschnitt Zapfenverbindung

## 4.2. Material UHPC

Ultrahochleistungsbeton weist eine hohe Gefügedichte und Druckfestigkeit auf. Diese ist höher als bei einem hochfesten Normalbeton  $> C100/115$ . Die Vorteile dieser Betone sind vor allem die hohe Druckfestigkeit, die kompakte Dichte und Korrosionsbeständigkeit, die sich auf die Dauerhaftigkeit auswirkt. Die Zugeigenschaften des Faserbetons sind abhängig von den verwendeten Stahlfasern. Diese variieren vor allem in Abhängigkeit des Fasergehaltes, den Durchmesser und der Faserlänge. Im Zusammenhang mit der erforderlichen Tragfähigkeit des Zapfens, ist eine Anpassung des Fasergehaltes sowie eine ergänzende Bewehrung notwendig. In Österreich gibt es derzeit keine Regelung für die Verarbeitung und Bemessung von UHPC. Hier werden die Berechnungen und Ausgangswerte, in Anlehnung der Schweizer Richtlinie SIA 2052 [21], angewandt.

### 4.2.1. Mechanische Eigenschaften

Für die kompakte und homogene Struktur ohne Mikrorisse und Poren, und um die hohen Festigkeit zu erzielen, sind vor allem die Ausgangsstoffe, Herstellung und die Nachbehandlung wichtig. Besonders die Partikelgröße der Zuschlagsstoffe und Bindemittel tragen zur Struktur und Homogenität bei. Die Druck-, und Zugfestigkeiten wirken sich mit sinkendem Porenvolumen und steigender Homogenität positiv aus.

### 4.2.2. Dauerhaftigkeit

Die Wahl eines UHPC - Randbalken ist vor allem auf die Eigenschaften in Bezug auf die Dauerhaftigkeit zurück zu führen. Diese ist durch die vorhin erwähnte kompakte Struktur, dem extrem dichten Gefüge und der dadurch geringen kapillaren Poren, die als Transportweg für den Angriff von der Umgebung in das Beton innere dienen, gegeben. Von Vorteil ist dies vor allem für den Frost-Tauangriff mit und ohne Taumittleinsatz, Chloride, Carbonatisierung und lösenden chemischen Angriff. [22] [23] [24]

### 4.2.3. Nachbehandlung

Durch die kompakte Struktur und den hohen Zementgehalt des UHPC's, ist eine kurze Abbindezeit und folglich eine hohe Temperaturentwicklung gegeben. Somit ist eine gute Nachbehandlung der Fertigteile notwendig, da sich diese auf die Festigkeitsentwicklung auswirkt. Weiters ist es wichtig, dass ein zu frühes Ausschalen der Elemente vermieden wird, da dies zu Strukturschäden (als Folge der geringen Festigkeit) und Rissen führen kann. Wie in Abbildung 4.2 beschrieben, ist mindestens das Verfahren B anzuwenden.

Verfahren	Typische Schutzmaßnahmen
A – ohne Zugabe von Wasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Belassen des Betons in einer Umgebung mit einer relativen Luftfeuchte &gt; 65 % für CEM I und CEM II/A, 75 % für alle anderen Arten von Bindemitteln;</li> <li>– Belassen des Betons in der Schalung;</li> <li>– Abdecken der Betonoberfläche mit wasserdampfundurchlässiger Folie</li> </ul>
B – Feuchthalten des Betons durch Zugabe von Wasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Umschließen der Betonoberfläche mit wasserhaltenden Abdeckungen;</li> <li>– ständiges sichtbares Feuchthalten der Betonoberfläche durch Besprühen mit Wasser</li> </ul>
C – Verwendung von Nachbehandlungsmitteln	Die verwendeten Nachbehandlungsmittel müssen den am Verwendungsort geltenden Festlegungen entsprechen.

Abb. 4.2.: Nachbehandlung gemäß ÖNorm EN 13369 [25]

### 4.3. Fertigung

Für die Anwendung des Fertigteilrandbalkens sind immer die örtlichen Gegebenheiten mit zu berücksichtigen. Hierzu spielt die Lage und Geometrie der Brücke, sowie die Nutzung des Randbalkens eine Rolle. Dadurch kann es zu lokalen Anpassungen der Geometrie in Folge von Fahrbahnübergängen oder Ähnlichen kommen. Die Anforderung in Bezug auf die Ausbaugeschwindigkeit und die geforderten Fahrzeurückhaltesystem haben zudem großen Einfluss.

#### 4.3.1. Geometrie

Für die serielle Produktion sind geringe Anpassungen notwendig. Diese sind auf die Gegebenheiten der Fertigteilfirma abzustimmen. Es handelt sich um geringe Konturänderungen zur Vereinfachung der Arbeitsschritte und zur Vermeidung von Schäden beim Ausschalen (Anvoutungen). Gegebenenfalls müssen auch Anpassungen, in Hinsicht der maschinellen Bedingungen (CNC-Fräse), an die Kontur der Schwalbenschwänze gemacht werden.

#### 4.3.2. Material und Bewehrung

Wie bereits erwähnt, sind für die projektspezifischen Gegebenheiten, Anpassungen an das Material gegeben. Für die Zugübertragung im Zapfen für hoch beanspruchte Elemente, ist im Hinblick der Wirtschaftlichkeit der Einbau eines Bewehrungsstahls und Reduktion des Fasergehalts der Betonrezeptur 2.2 von Vorteil. Diese Variante wird im Kapitel 5, dem experimentellen Programm getestet.

#### 4.3.3. Toleranzen - Genauigkeit

Bei der Fertigung, Ausführung und Anwendung von Bauteilen kommt es zu Abweichungen vom Planmaß. Diese können bereits bei der Produktion infolge Trocknungsschwinden und Montageungenauigkeiten entstehen. Weiters können Lage und Winkel von Einbauteilen vom Sollmaß abweichen. Auf der Baustelle, sind die Unebenheiten des Tragwerks und der Abdichtungsbahn zu berücksichtigen. Eine große Abweichung, kann vor allem beim Bohren der Ankerlöcher und der Montage der Dübel entstehen.

Wie in Abbildung 4.3 ersichtlich, sind die verminderten Abweichungen der Querschnittsmaße für Fertigteilelemente angeführt. Für die Kraftübertragung, der auftretenden Lasten, und um diese über die Schwalbenschwanzverbindung zu übertragen, ist eine sehr hohe Passgenauigkeit zwischen den Zapfen und dem Befestigungselement erforderlich. Um diese zu erreichen, ist eine Maßgenauigkeit der Schalungselemente (Toleranz) von  $\pm 1 \text{ mm}$  notwendig. Diese Maßtoleranz ist genauer, als die vorgegebenen Toleranzen der ÖNorm EN13369 [25] für Betonfertigteile.

$h$ oder $b$ (mm)	Verminderte Abweichung mm	
	Querschnittsmaße $\Delta h, \Delta b$ mm	Lage der Bewehrung $\Delta c$ mm
$\leq 150$	$\pm 5$	$\pm 5$
400	$\pm 10$	$\pm 10$
$\geq 2\ 500$	+ 25	+ 20 / - 10

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.  
+ $\Delta c$  bezieht sich auf den Mittelwert von Bewehrungs- oder Vorspannungsstahl im Querschnitt oder über eine Breite von einem Meter (z. B. bei Platten und Wänden).

Abb. 4.3.: Verminderte Abweichungen gemäß ÖNorm EN 13369 [25]

Für die Fertigung der Elemente ist eine Schalung anzufertigen, welche exakt horizontal ausgerichtet ist. Dadurch kann ein Überfließen des UHPC's verhindert werden.

#### 4.3.4. Oberfläche - Einstreuung

Durch die selbst nivellierende Eigenschaft des UHPC's ist eine ebene Oberfläche zu erwarten. Für eine Nutzung als Geh- und Radweg, ist eine geeignete Oberflächenbeschaffenheit und Griffigkeit erforderlich. Dies kann mit Hilfe einer Einstreuung, Besenstrich oder Ähnlichem erfolgen.

Hierzu ist eine mögliche Detaillösung für eine Einstreuung an der Oberfläche dargestellt.

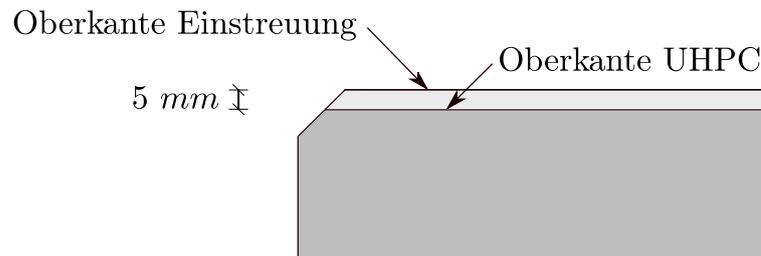


Abb. 4.4.: Kantendetail Einstreuung

Um eine geringe Nachbearbeitung an den Kanten zu erzielen, ist beim Einstreuen von Oberflächenmaterial darauf zu achten, dass es an den Übergangsbereichen zu keinen Stauzonen für die austretenden Luftporen kommt und kein UHPC überläuft. Hier müssen sonst Lufteinschlüsse nachbearbeitet und überstehende Fasern entfernt werden.

### 4.3.5. Befestigung am Tragwerk mit Abdichtung

Wie bereits im Kapitel 3.3 erwähnt, ist ein Durchdringen der Abdichtungsebene für die Befestigung notwendig. Umso wichtiger ist die genaue Montage und Ausführung der verwendeten Dübelssysteme. Die Aussparung, der Dübelkontur (Dübeldurchmesser) und der Abdichtungskappen, sind in Abhängigkeit der Bemessung, wie im Abschnitt 4.4.3 genauer beschrieben, anzupassen. Für die Höheneinrichtung des Bauteils, wird eine Feingewindemutter mit einer Beilagscheibe auf dem Dübel angebracht. Anschließend wird der Fertigteil-Schlitz aufgesetzt und in die richtige Höhenlage eingerichtet. Nach der endgültigen Fixierung, wird das Element mittels Vergussmörtel unterfüttert.

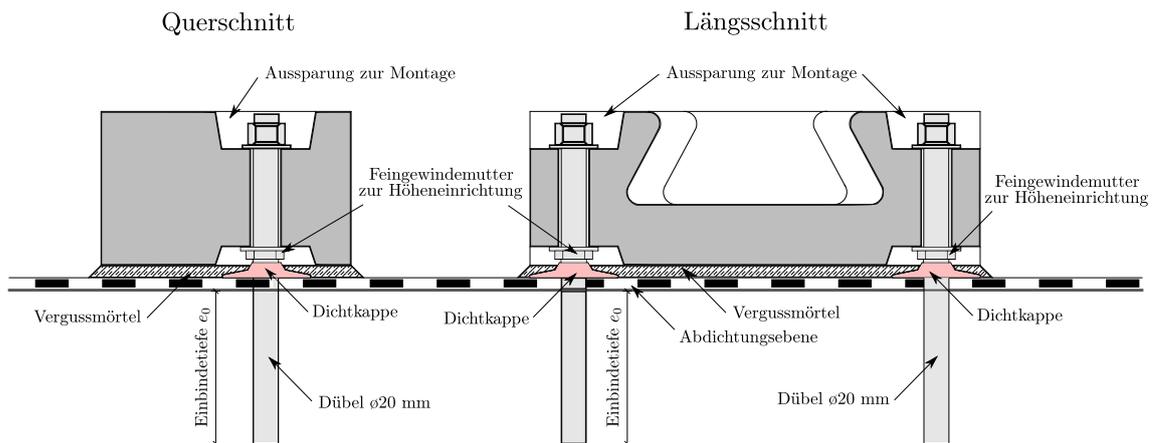


Abb. 4.5.: Befestigung am Tragwerk

### 4.3.6. Manipulation

Für die Montage auf der Brücke, sowie die lokale Manipulation in der Fertigung und der An-, und Ablieferung, sind in jedem Randbalken Hebeanker einzubauen. Diese müssen in den Elementen in Bezug des Schwerpunktes angeordnet sein, sodass sich das Fertigteil beim Anheben horizontal ausrichtet und nicht verdreht.



(a) Kompaktanker RD 16

(b) Manipulation des Randbalkens

Abb. 4.6.: Manipulation des Randbalkens

### 4.3.7. Fugen

Zwischen den einzelnen Fertigteilenelementen sind Fugenübergänge mit einer Breite von  $b = 2,0 \text{ cm}$  vorgesehen. Um hier ein Eindringen von Wasser und Schmutz zu verhindern, wird ein Kompressionsfugenband eingebaut. Dieses besteht aus einem 2-Kammersystem und wird zwischen den beiden Randbalkenenden über die Stirnseite des Fahrbahnbereiches über die Oberseite bis zur Schürzenunterkante geführt. [26]

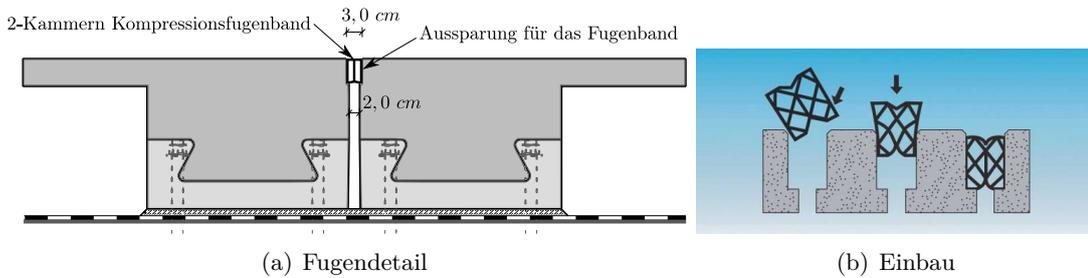


Abb. 4.7.: Fugenprofil - Proofmate EK [26]

## 4.4. Modellierung und Bemessung

### 4.4.1. Lastabtragung Bemessung Randbalken

Die Bemessung des Randbalkens wird auf die Einwirkungen, wie im Kapitel 3.6 ausgelegt. Diese werden mit den Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) und der außergewöhnlichen Bemessungssituation angewandt. Der Fertigteilrandbalken muss in seiner Längs- und Quertragfähigkeit gesondert betrachtet werden.

#### Randbalken - Längs

Für die Längstragfähigkeit des Elements, sind für die lokale Belastung die ständige, veränderliche Last und die außergewöhnlichen Lastfälle zu betrachten. In der Folge sind die Systeme dargestellt und für das Begleitprojekt im Anhang C berechnet.

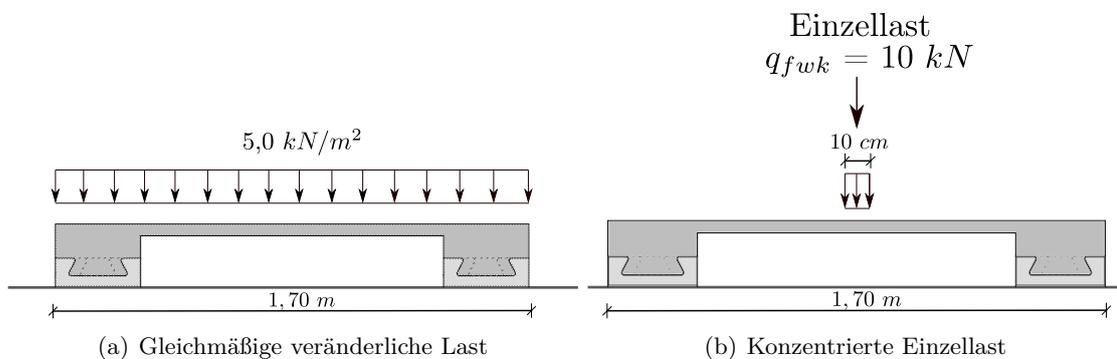
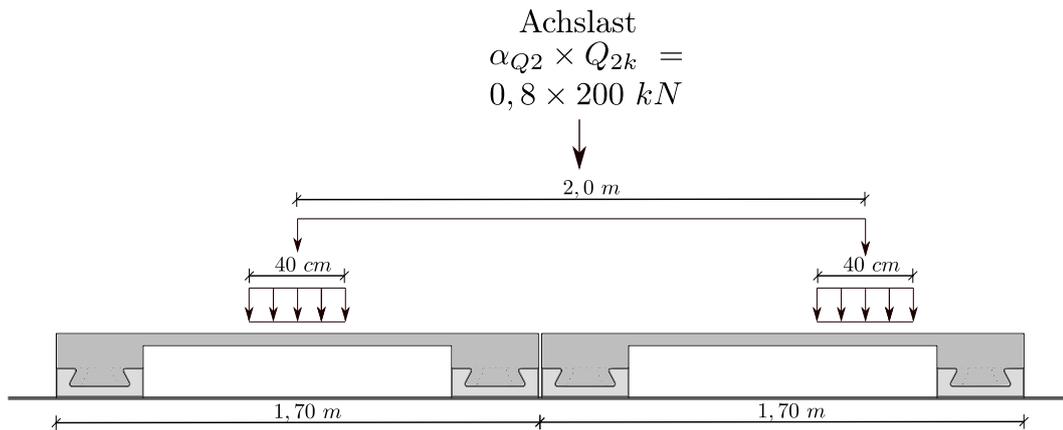
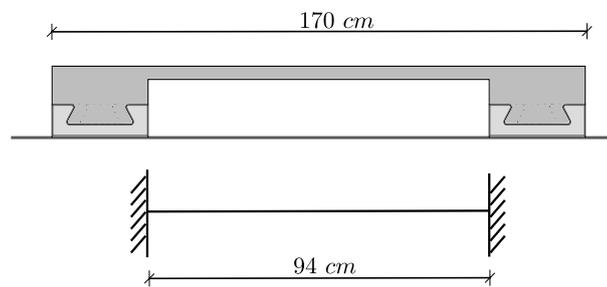


Abb. 4.8.: Einwirkungen Längs



**Abb. 4.9.:** Abgeirrtes Fahrzeug ÖNorm EN 1991-2 [16]

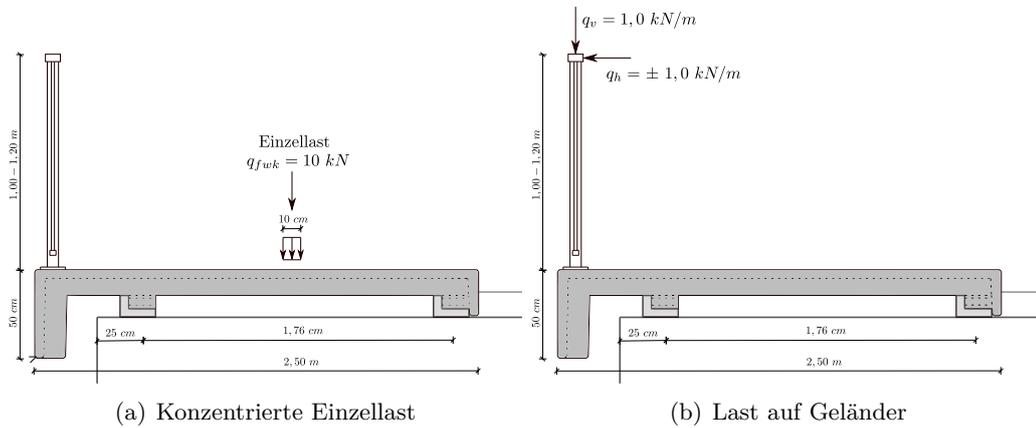


**Abb. 4.10.:** Statisches System - Längs

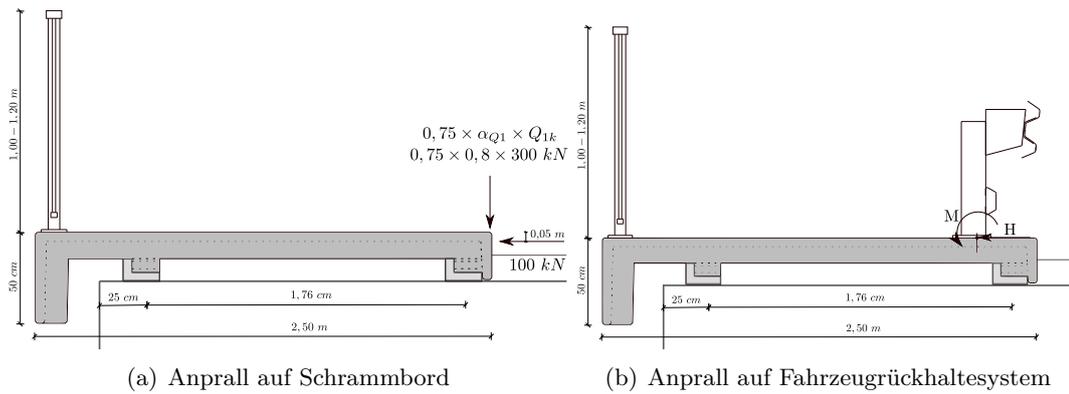
Die maßgebende Belastung in Längsrichtung, ist der außergewöhnliche Lastfall eines abgeirrten Fahrzeuges gemäß ÖNorm EN 1991-2 [16].

**Randbalken - Quer**

Für die Quertragfähigkeit des Randbalkens, sind für die lokale Belastung die ständigen, die veränderlichen und die außergewöhnlichen Lastfälle zu betrachten. Vor allem die lokale Lasteinleitung der Lärmschutzwand und des Fahrzeugrückhaltesystems sind zu überprüfen. Nachfolgend sind die Systeme dargestellt.



**Abb. 4.11.:** Einzellasten



**Abb. 4.12.:** Fahrzeuganprall

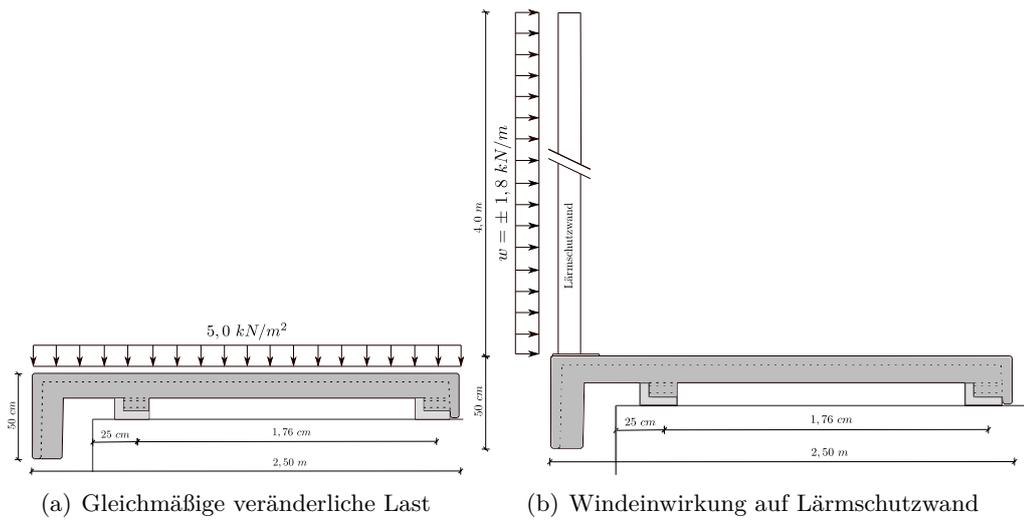


Abb. 4.13.: Veränderliche Einwirkungen

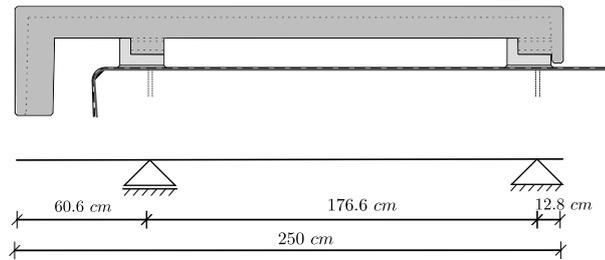


Abb. 4.14.: Statisches System - Quer

#### 4.4.2. Befestigung - Lastabtragung Zapfenverbindung

Wie bereits in Kapitel 4.3.3 erwähnt, ist für die Lastabtragung über die Zapfenverbindung eine hohe Passgenauigkeit (geringes Fugenspiel) gefordert. Die Kraftübertragung und der Lastfluss der Verbindung werden durch den direkten Kontakt der Betonoberflächen und über die Reibung übertragen. Diese ist vor allem von der Rauigkeit der Kontaktfläche abhängig. Bei der Betrachtung am ebenen Zapfensystem, zeigen sich, wie im Kräfteplan ersichtlich, folgende auftretende Kräfte der Belastung.

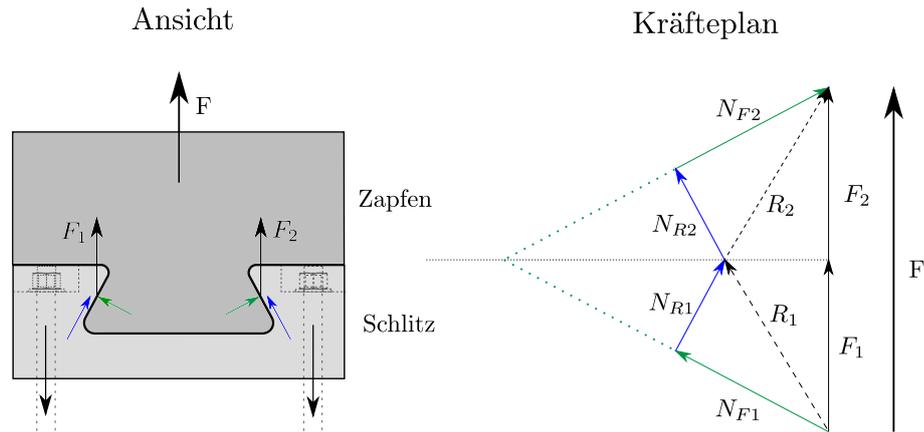


Abb. 4.15.: Kräfteplan Gesamtsystem

Eine Kraftübertragung über die Kontaktfläche erfolgt mit der dazu rechtwinklig stehenden Normalkraft  $N_{Fi}$  und der dadurch entstehenden Reibungskraft  $N_{Ri} = \mu \times N_{Fi}$ . Diese Kraft ist vor allem von dem Reibungskoeffizient  $\mu$  und der Normalkraft  $N_{Fi}$  abhängig. Die Rauigkeit der Kontaktfläche bestimmt somit das Verhältnis der Normalkraft zur Reibungskraft. Umso größer die Normalkraft, desto größer wird die Reibungskraft. Bei der Lasteinleitung in die Zapfenverbindung über die Kontaktfläche, ist als Folge der Gleichgewichtsbedingung eine Kraft  $N_{Ki}$  vorhanden, die das Krafteck schließt.

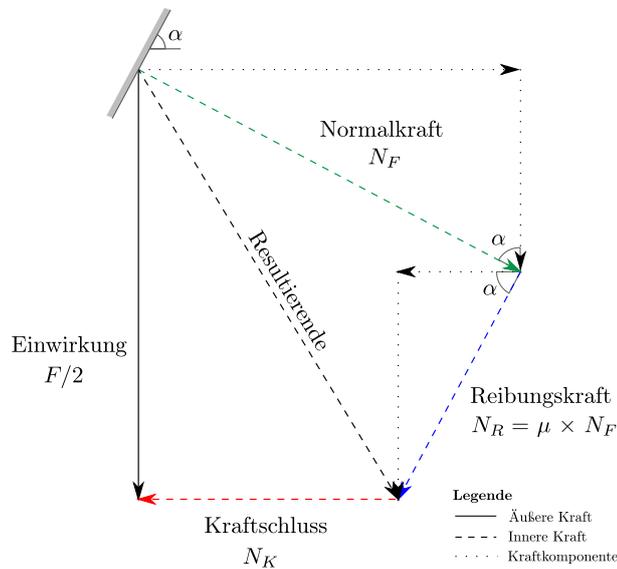


Abb. 4.16.: Krafteck

Die einwirkenden äußeren Kräfte auf die Zapfenverbindung, bewirken ein zusammendrücken des Zapfens mit einer daraus folgenden Druckbeanspruchung. Diese Druckkraft wird im Zapfen kurzgeschlossen.

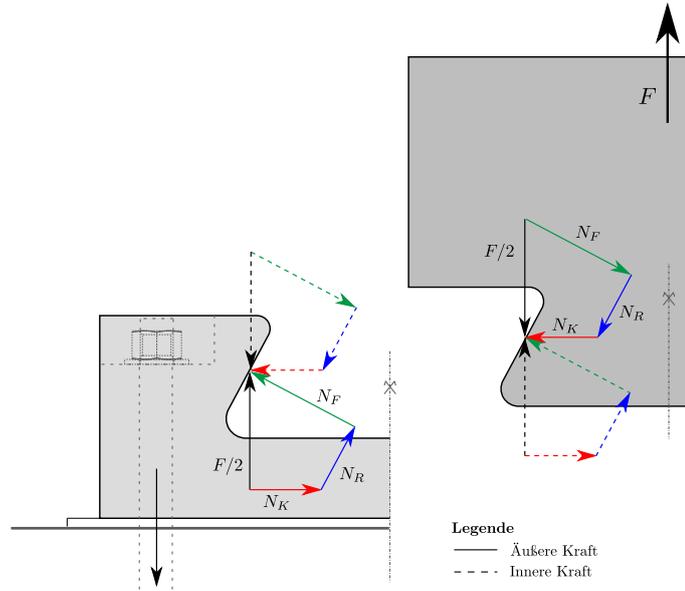


Abb. 4.17.: Krafteinwirkung auf den Zapfen und den Schlitz

Die auftretende Kraft auf den Schlitz des Befestigungselementes, bewirkt eine nach außen gerichtete horizontale Kraft, die zu einer zusätzlichen Beanspruchung führt und über das Befestigungselement kurzgeschlossen wird.

Auf Basis der Erstversuche des Prototyps, wird zur Optimierung der Kraftübertragung der Schwalbenschwanzverbindung, eine Bewehrung eingebaut.

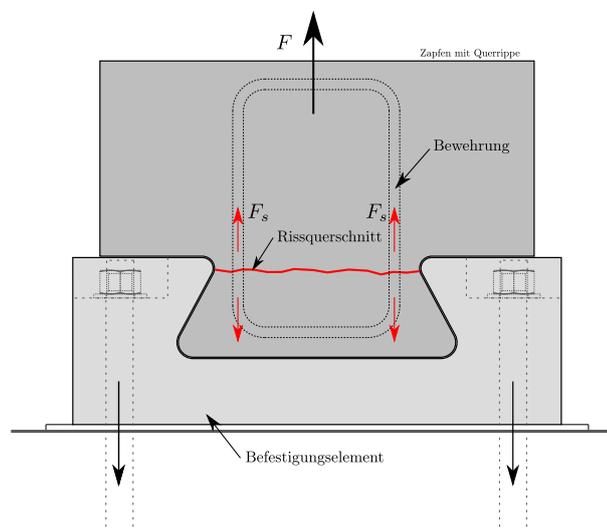


Abb. 4.18.: Rissquerschnitt mit eingelegerter Bewehrung

### 4.4.3. Lasteinleitung am Tragwerk

Die Lasteinleitung der auftretenden Einwirkungen wird von der Zapfenverbindung in das Befestigungselement über die Dübelverankerung in das Tragwerk eingeleitet. Hierfür werden gängige Dübelssysteme eingesetzt. Durch die Reduzierung der konventionellen Dübelreihe mit  $e = 15 - 30 \text{ cm/lfm}$  auf je 2 Dübel pro Zapfenverbindung, ist jeder Ankerstab höheren Belastungen ausgesetzt. Somit ist eine genauere Betrachtung der Krafteinleitung notwendig. Um diese Dübel mit zugelassen Abdichtungssystemen einzusetzen, sind größere Durchmesser für die Kraftübertragung erforderlich.

#### Dübelbemessung

Für die Lasteinleitung aufgrund der Zugbeanspruchung, sind die Verankerungspunkte mit dem Befestigungsdübel auf Stahlversagen, Betonausbruch, kombiniertes Herausziehen mit Betonausbruch, sowie Spalten zu bemessen. Für die auftretende Querbeanspruchung, sind diese auf Stahlversagen, Betonkantenbruch und Betonausbruch auf der Last abgewandte Seite zu berechnen. Diese Berechnungen werden nach der ETAG 001 [27] für gerissene Betone durchgeführt. Die Dübel werden aus hochkorrosionsbeständigem Stahl und einer Mindestfestigkeitsklasse 70 nach ÖNorm EN ISO 3506-1 [28] gefertigt. Für diese Beanspruchungen der Dübel, gibt es, basierend auf zugelassene Systeme, Bemessungsprogramme.

In der Bemessung, wird, anders als bei der allgemeinen Bemessung, der Randbalkendübel auf eine einzelne Zapfenverbindung angewandt, um die montagegetreue Situation und Lastabtragung abzubilden. Hier wird die Berücksichtigung der Lastausbreitung des Schrammbordanpralls, wie in Kapitel 3.6.4 beschrieben, nicht angewandt, da es bei dem Fertigteilrandbalken nur lokale Befestigungspunkte gibt.

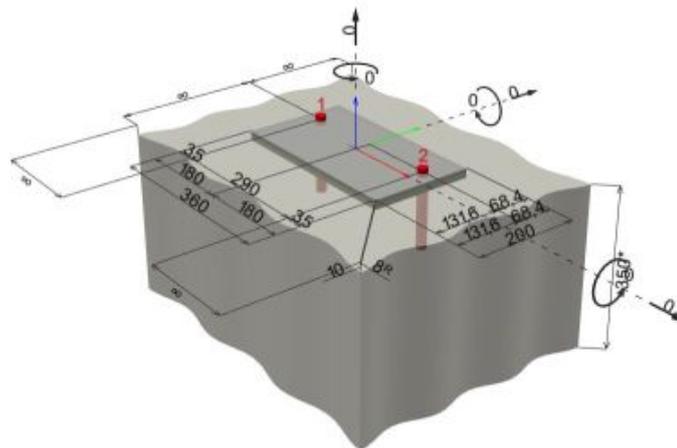


Abb. 4.19.: Modellierung Randbalkendübel

## 5. Experimentelles Programm

Auf Basis der in Kapitel 2.4 erzielten Ergebnisse der Versuchsreihe, sind im Vergleich zur Vordimensionierung für eine Nutzung höherrangiger Verkehrsstrecken Optimierungen notwendig. Für die geforderte Kraftübertragung der Zapfenverbindung ist eine Versuchsreihe mit einer neuen Betonrezeptur und Bewehrungsstahl (Schlaffstahl) geplant und durchgeführt worden.

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Aufbau, Ablauf und Auswertung der Ergebnisse der optimierten Schwalbenschwanzverbindung. Sämtliche Versuche wurden im Labor für Konstruktiven Ingenieurbau der TU Graz durchgeführt. Für den Zugversuch der zweiteiligen Zapfenverbindung wurde eine Versuchsreihe mit 5 Serien zu je 2 Prüfobjekten (Gesamt 10) entwickelt und durchgeführt. Der Versuchsaufbau wurde so gewählt, dass eine realitätsnahe Montage simuliert wird, um realistische Ergebnisse zu erzielen. Begleitend sind, um die Materialkennwerte zu klassifizieren, zu den jeweiligen Betonagen, Würfeldruck-, und Biegezugversuche durchgeführt worden.

### 5.1. Versuchsprogramm

Hier werden die wesentlichen Punkte der Versuchsdurchführung bezüglich der Geometrie, der Herstellung, der Werkstoffe und der Versuchs- und Messtechnik beschrieben.

#### 5.1.1. Prüfaufbau

Der Zugversuch der Zapfenverbindung ist so aufgebaut, dass es einer realitätsnahen Montage des Befestigungselementes entspricht. Dieses ist mit zwei Gewindestangen, die sich in der Lage der Schwerachse der Zapfenverbindung befinden, durch eine Aussparung mit der Prüfmaschine verbunden. Die Befestigung erfolgte mit einer Anziehungskraft von 150 Nm. Zwischen dem Befestigungselement und der Stahlplatte, ist eine Faserplatte eingelegt. Im oberen Zapfenelement sind 2 Gewindestangen auch in der Schwerachse eingebaut und im Querbalken der Prüfmaschine, oben und unten, mit Beilagscheiben und Muttern befestigt.

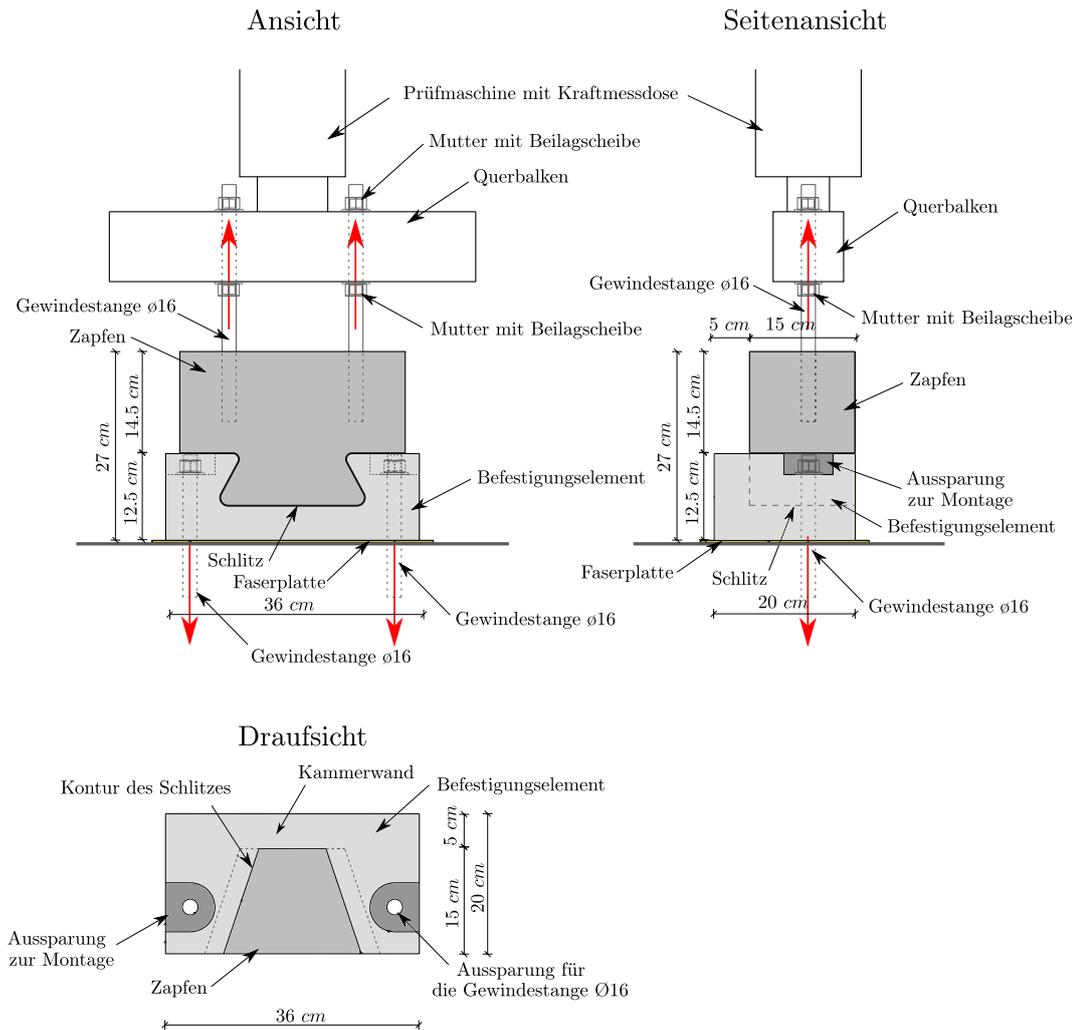


Abb. 5.1.: Versuchsaufbau Kraftfluss

Die Zugprüfung der Schwalbenschwanzverbindung wird mit der Prüfmaschine, BETA 1000 durchgeführt, welche mit einer Kraftmessdose und einer Wegmessung ausgestattet ist.

### 5.1.2. Variation der Eigenschaften

Die Versuche der Zugverbindung setzen sich aus 6 Prüfbjekten ohne Bewehrung und 4 Prüfbjekten mit Bewehrung zusammen, wobei sich diese hinsichtlich der Lage im Zapfen und des Befestigungspunktes unterscheiden.

In den Prüfkörpern  $B_{01}$  und  $B_{02}$  befinden sich jeweils Bewehrungsstäbe im Zapfenelement und Befestigungselement. Es sind je 3 Bügel  $\text{Ø}8$  mm mit konstruktiven Bewehrungsstäben und einem Randabstand  $c = 15$  mm eingebaut. In den Prüfkörpern  $B_{03}$  und  $B_{04}$  befinden sich nur Bewehrungsstäbe im Zapfenelement. Es sind 3 Bügel  $\text{Ø}8$  mm mit konstruktiven Bewehrungsstäben und einem Randabstand  $c = 15$  mm eingebaut. Bei dem Prüfkörper  $O_{03}$  ist zuerst, im oberen Bereich der Kontaktfläche, ein Blechstreifen mit einer Abmessung von  $b = 25,0$  mm  $\times$   $t = 1,0$  mm eingelegt worden. Dieser wurde nach nicht erhofftem Effekt, zur Verlagerung des Kontaktpunktes, durch einen Holzfasernstreifen ersetzt.

## 5.2. Geometrie der Verbindung

Der Zapfen, oberer Bestandteil der Verbindung, ist mit der für das Projekt gewählten Querschnittsdicke der Querrippe ausgeführt worden. Dies ist ein Vorteil für die geplante Lasteinleitung über die Prüfmaschine, welche mittels zwei eingebauten Gewindestangen erfolgt.

Die Geometrie des Schwalbenschwanzes wird, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, übernommen. Die Breite des Befestigungselementes wird von  $b = 46 \text{ cm}$  auf eine Breite  $b = 36 \text{ cm}$  verringert. Weiters wird für die Verankerung, die Aussparung in die Achse des Zapfenschwerpunktes verlegt.

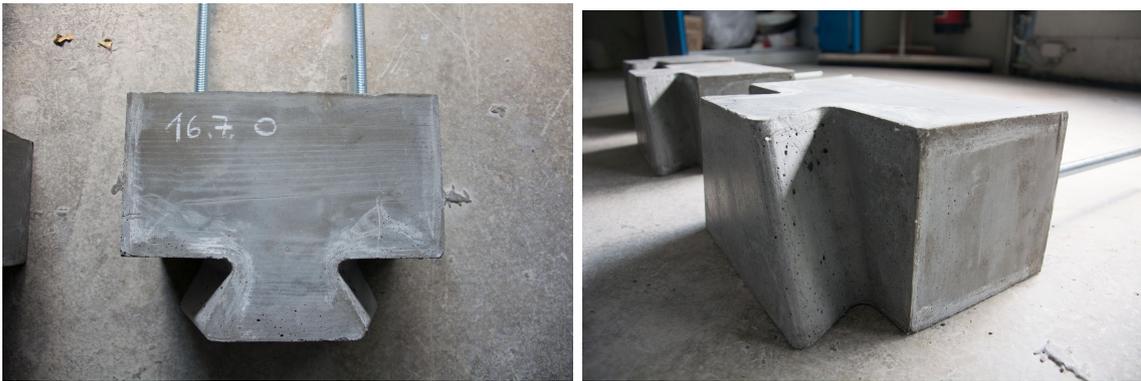


Abb. 5.2.: Ausschnitt Querrippe mit Zapfen

Das Befestigungselement hat eine gesamte Raumabmessung von  $b \times l \times h = 20 \times 36 \times 12,5 \text{ cm}$ . In dieser sind noch die negative Schalungskontur des Zapfens (Schlitz) und zwei Rohraussparungen mit einem Durchmesser  $\varnothing 24 \text{ mm}$  für die Durchführung und Befestigung der Ankerstäbe am Tragwerk vorgesehen.

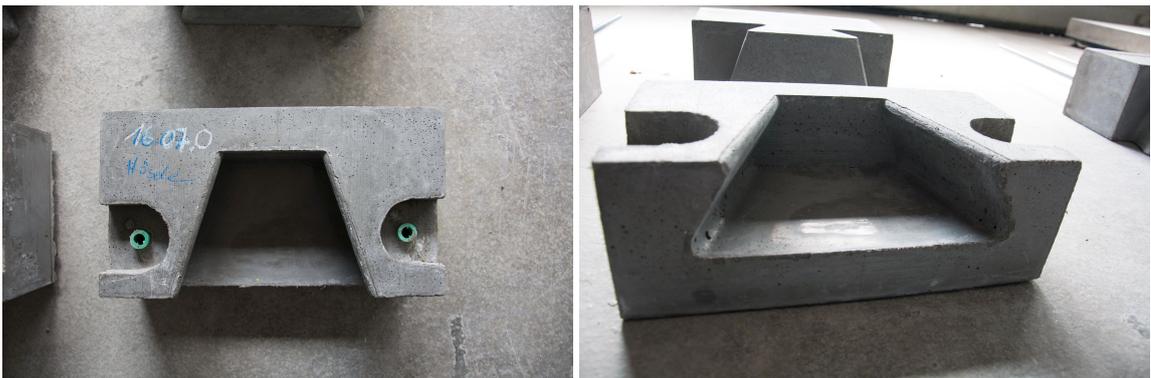


Abb. 5.3.: Befestigungselement - Kleinversuch

### 5.3. Werkstoffe

#### 5.3.1. UHPC

Für die Kleinversuche wurde die Betonrezeptur des ersten Prototyps, wie in Tabelle 2.1 beschrieben, angepasst. Dazu ist der Fasergehalt der ersten Rezeptur von 3 %, in etwa auf die Hälfte von 1.7 % reduziert worden, um eine bessere Verarbeitung und einen geringeren Stahlfaserverbrauch zu erzielen. Weiters wurde auf eine Wärmebehandlung der gefertigten Teile verzichtet, da dies einen Mehraufwand bei der Produktion bedeutet. Die genaue Betonrezeptur ist in Tabelle 5.1 angeführt.

		<i>Einsatzstoff</i>		<i>Gehalt</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Stoffraum</i> [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Luftporengehalt	in	-	1,9 %	-	18,6
V <sub>0</sub> %=Luftgehalt					
Zement	W/P	Karawanken Zement	-	750	236,6
Microsilica	RW Füller	Q1	12,94 %	97,1	44,1
Quarzmehl	Dorsilit	16900	35,30 %	264,7	100,7
Wasser	-		0,262 %	196,8	178,2
w/z-Wert (äqu.)					
<i>Zusatzmittel</i>					
Fließmittel	BT3	H500	3,53 %	26,47	24,74
Stahlfaser	Harex	12.5/0.175 mm	1,69 Vol – %	132,4	16,9
<i>Gesteinskörnung</i>					
I	Geba	Quarzpowder 100-200 μm	20,5 %	206	77,9
II	Dorsilit	Nr.8 (0.3-0.8) mm	79,5 %	801	302,3
<i>Wassermenge</i>					
w/z - Wert		0,26			
w/b - Wert		0,23			

**Tab. 5.1.:** Betonrezeptur Fertigteilrandbalken

### 5.3.2. Bewehrungsstahl

Der Betonstahl ist als Bügelbewehrung im Zapfen-, und Befestigungselement für die zusätzlich benötigte Kraftübertragung eingesetzt. Hierfür wurde ein Baustahl BSt 550 B verwendet. Für den zusätzlich benötigten Betonstahl wurde auf Basis der Berechnung des Prototyps der benötigte Querschnitt berechnet und eingebaut.

#### Festigkeiten

$$f_{yk} = 550 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 478 \text{ N/mm}^2$$

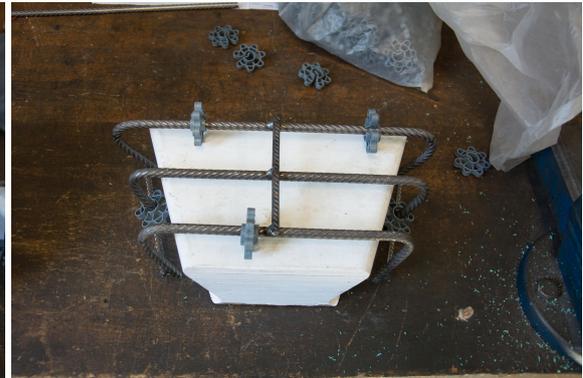
#### E-Modul

$$E_{sm} = 200000 \text{ N/mm}^2$$

Für die Verbesserung der Zugergebnisse, sind Bewehrungskörbe eingebaut worden. Im positiven Zapfenelement kamen 3 Bügel mit einem  $\varnothing 8 \text{ mm}$  im Abstand von  $5,60 \text{ cm}$  zur Anwendung, im Befestigungselement sind 3 Bewehrungsstäbe mit einem  $\varnothing 8 \text{ mm}$  im Abstand von  $5,60 \text{ cm}$  außerhalb der Zapfenkontur geführt. Diese sind in der Abbildung 5.4 und 5.5 dargestellt. Die Bewehrungsstäbe sind jeweils punktuell in Längsrichtung befestigt und verschweißt. Die Betondeckung  $c = 15 \text{ mm}$  ist gemäß SIA2052 [21] gewählt worden und, mittels umschließenden Abstandhalter auf der Bewehrung, sichergestellt.



(a) Bewehrung - Zapfen



(b) Bewehrung - Befestigungselement

**Abb. 5.4.:** Bewehrung Verbindung

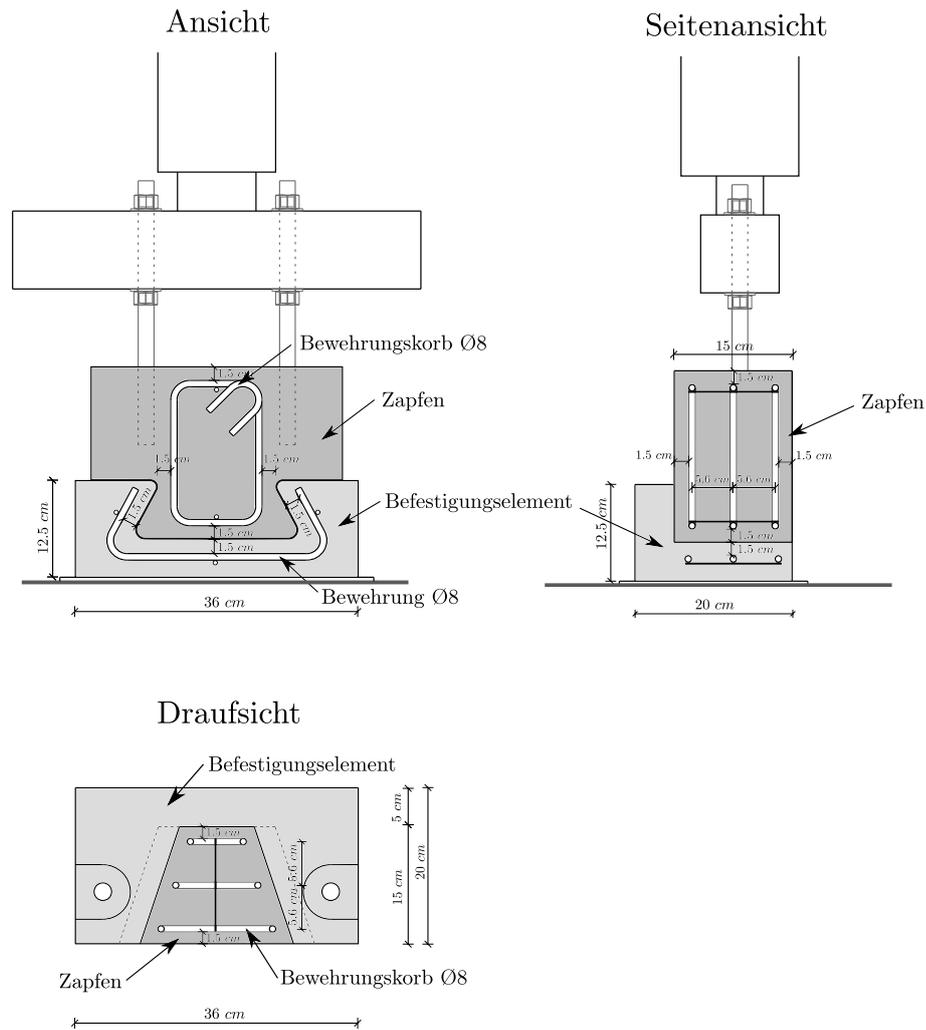


Abb. 5.5.: Bewehrungsplan Kleinversuche

### 5.3.3. Gewindestangen

Die Befestigung des Kleinbauteils, sowie die Lasteinleitung in den Zapfen, werden mittels 2 Gewindestangen ausgeführt. Diese sind auf die Belastung der Verbindung ausgelegt und bemessen. Es werden jeweils 2 Gewindestangen mit einem Durchmesser  $\text{Ø}16$  mm von einer Stahlgüte 8.8 verwendet.

Für diesen gewählten Typ *M16* 8.8 ergeben sich folgende Kennwerte

#### Zugfestigkeit

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

#### Streckgrenze

$$f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$$

## 5.4. Herstellung

### 5.4.1. Schalung

Die Schalung der Zugverbindung ist mit DOKA-Schalttafeln und der vom Prototyp gefrästen Zapfenkontur, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, wiederverwendet worden. Eine Optimierung der Zapfenkontur wurde aus Zeitgründen nicht durchgeführt. Die Schalungskontur der Zapfenverbindung ist mit einer Beschichtung versehen und für einen mehrfachen Einsatz geeignet. Die Schalung wurde so angefertigt, dass es einer wahrheitsgetreuen Montage vor Ort entspricht, um ein vergleichbares Ergebnis zu erzielen. Das Befestigungselement ist mit einer Aussparung für die Durchführung der Ankerstäbe und der Montage der Mutterköpfe versehen.

Die weiteren Begleit- Probekörper sind mit einer genormten Stahlschalung für den Biegebalken und Kunststoffschalungen für die Probewürfel produziert worden.

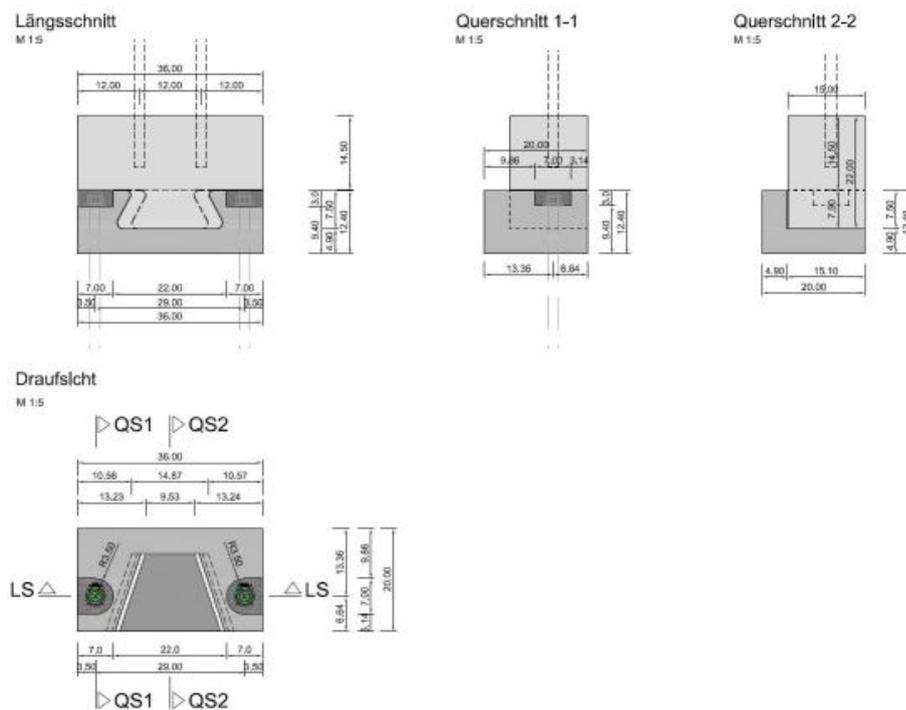


Abb. 5.6.: Schalungsplan - Kleinversuche



Abb. 5.7.: Schalung - Kleinversuche

### Betonage

Die Betonage des UHPC erfolgte mit einem Mischer ELBA-Werk- EMS 60. Für die Fertigung wurden zuerst die Materialien gewogen und trocken gemischt. Weiters wurde das Wasser hinzugefügt und weiter gemischt, bis eine gute Konsistenz vorhanden war. Anschließend wurden die Stahlfasern per Hand eingestreut, um eine gleichmäßige Verteilung der Fasern zu erzielen.



(a) Faserzugabe

(b) Ausbreitmaß

Abb. 5.8.: Betonage Versuchskörper

Für die abschließende Überprüfung der Konsistenz wurde das Ausbreitmaß ermittelt. Hierfür wurde ein kleiner Kegelstumpf, der bis zum Rand mit Beton befüllt ist, auf einer Glasplatte aufgesetzt und hochgezogen. Nach ein paar Sekunden, wird der Durchmesser an zwei Stellen, normal zueinander, ermittelt. Siehe Tabelle 5.2.

<i>Betonage</i>	<i>Datum</i>	<i>Messzeit [sec]</i>	<i>Ausbreitmaß MW [cm]</i>
$O_{01} + O_{02}$	10.7.2018	7-8	25,5
$O_{03} + O_{04}$	16.7.2018	-	-
$O_{05} + O_{06}$	19.7.2018	10,46	27,5
$B_{01} + B_{02}$	13.7.2018	7-8	27,0
$B_{03} + B_{04}$	26.7.2018	9,0	26,75
$S_{01} + S_{02}$	11.7.2018	7-8	27,0

**Tab. 5.2.:** Ausbreitmaße der Versuchsreihe

Nach Einbringen des Betons in die eingölte Schalung, ist keine Nachverdichtung erforderlich. Abschließend wurde die Oberfläche mit einem dünnen Wasserfilm besprüht, abgezogen und mit einer Folie abgedeckt.

## 5.5. Begleitversuche

### 5.5.1. Druckfestigkeit

Die Probekörper zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften wurde gemäß EN 12390-3 [29] im Labor für Konstruktiven Ingenieurbau an der TU Graz angefertigt und geprüft. Je Betonage sind 2-3 Würfel mit den Abmessungen  $b \times h \times l = 100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  mit einem Probealter zwischen 7 und 28 Tagen getestet. Die Probewürfel werden in der Prüfmaschine, wie in Abbildung 5.9 mittels einer Druckplatte belastet. Die Messergebnisse für die Würfeldruckfestigkeit und deren zeitlichen Entwicklung sind in Abbildung 5.20 dargestellt.



(a) Versuchsaufbau Würfel Druckfestigkeit

(b) Bruchbild

**Abb. 5.9.:** Betonage

<i>Würfel zu</i>	<i>Herstelldatum</i>	<i>1. Prüfung Erstprüfung</i>	<i>2. Prüfung Verbindung</i>	<i>3. Prüfung 28 Tage</i>
$O_{01} + O_{02}$	10.7.2018	7 d	20 d	-
$O_{03} + O_{04}$	16.7.2018	10 d	18 d	28 d
$O_{05} + O_{06}$	19.7.2018	10 d	34 d	28 d
$B_{01} + B_{02}$	13.7.2018	10 d	17 d	28 d
$B_{03} + B_{04}$	26.7.2018	10 d	27 d	28 d

**Tab. 5.3.:** Versuchsprogramm Druckversuche

### 5.5.2. Zugfestigkeit

Die Bestimmung der Biegezugfestigkeit erfolgt mittels 2-Punkt-Biegeversuch und wird mit der Prüfmaschine BETA 100 durchgeführt.

Der Biegebalken ist auf zwei Rollen gelagert und wird über zwei Kontaktpunkte an der Oberseite in den Drittelpunkten des Balkens belastet. Entlang des Biegebalkens ist an beiden Seiten eine Latte angebracht, worauf sich ein Wegabnehmer befindet. Die übertragene Kraft und der gemessene Weg werden digital erfasst und ausgewertet.



**Abb. 5.10.:** Versuchsaufbau Biegebalken

Die angefertigten Biegebalken wurden gemäß Önorm EN 12390-5 [30] erstellt und haben eine Abmessung von  $b_1 \times b_2 \times l = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ . Das Prüfalter befindet sich zwischen 14 und 29 Tagen und sind in Tabelle 5.4 dargestellt.

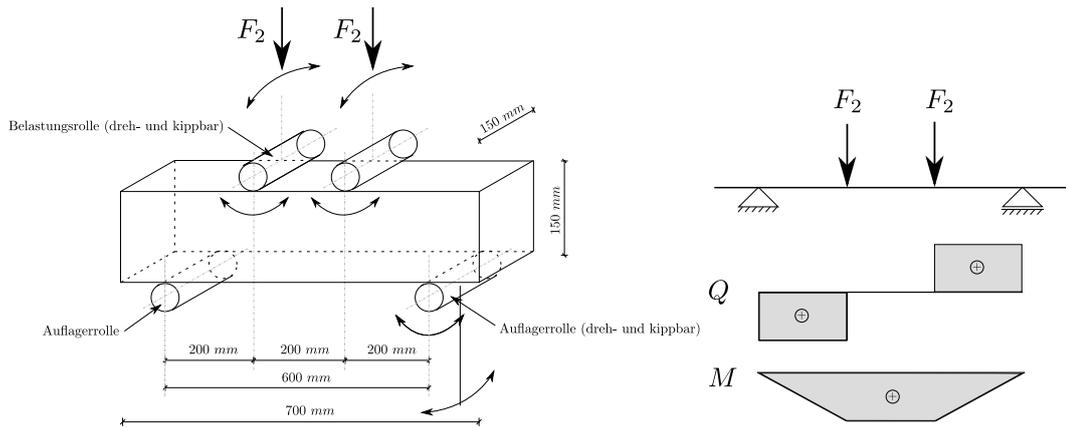


Abb. 5.11.: Versuchsaufbau und Schnittkraftverlauf

<i>Bez.</i>	<i>Herstelldatum</i>	<i>Prüfdatum</i>	<i>Probealter</i>	<i>Ausmitte</i>	<i>Macroriss</i>
1 - B <sub>0</sub> 1 + B <sub>0</sub> 2	13.07.2018	09.08.2018	27 d	11,8 [cm]	
2 - B <sub>0</sub> 3 + B <sub>0</sub> 4	26.07.2018	09.08.2018	14 d	5,4 [cm]	
3 - S <sub>0</sub> 1 + S <sub>0</sub> 2	11.07.2018	09.08.2018	29 d	13,5 [cm]	
4 - O <sub>0</sub> 1 + O <sub>0</sub> 2	10.07.2018	09.08.2018	28 d	-	

Tab. 5.4.: Versuchsprogramm Biegebalken

## 5.6. Versuchsergebnisse

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Messergebnisse dargestellt und erläutert. Die Auswertung der Versuche basiert auf den gemessenen Werten infolge der einzelnen Prüfaufbauten. Anhand der gemessenen Ausgangswerte wurden die Last-Verformungs-Kurven und Arbeitslinien erstellt.

### 5.6.1. Zapfenverbindung

Hier werden die Rissbildung, sowie der Kraftfluss des Zapfens und des Befestigungselementes beschrieben. In den Tabellen 5.5 und 5.6 sind die Übersichten der Versuchsergebnisse und deren Eigenschaften des Versuchsprogramms dargestellt.

Zugverbindung ohne Bewehrung

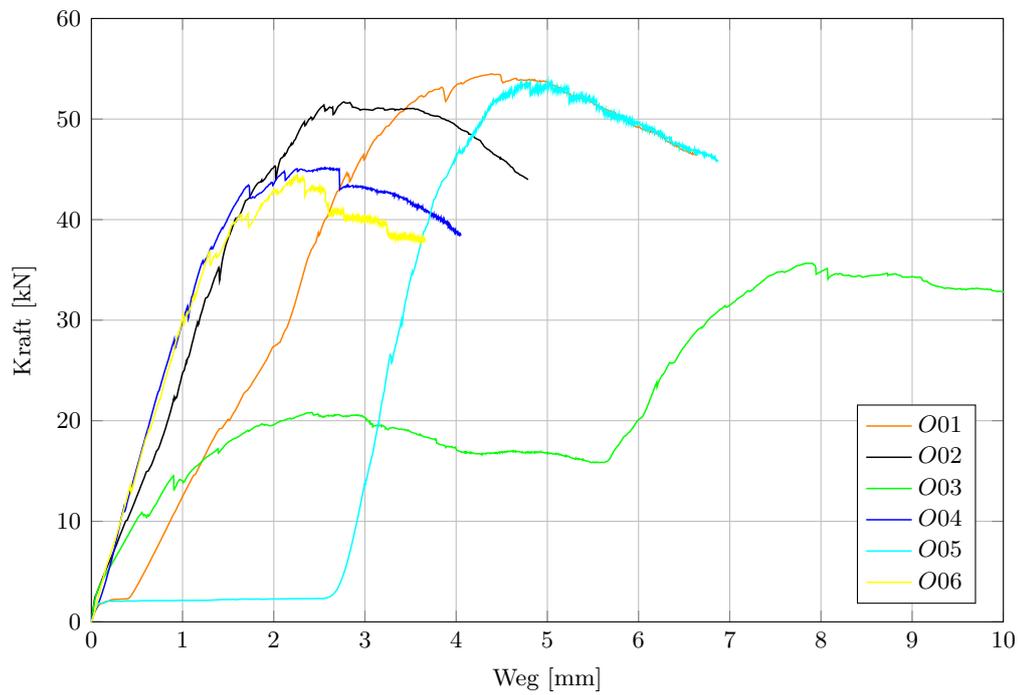


Abb. 5.12.: Vergleich der Zugversuche O<sub>01</sub> bis O<sub>06</sub>

	O <sub>01</sub>	O <sub>02</sub>	O <sub>03</sub>	O <sub>04</sub>	O <sub>05</sub>	O <sub>06</sub>
Eigenschaft	Ohne Bew.		Ohne Bew.		Ohne Bew.	
Herstelldatum	10.07.2018		16.07.2018		19.07.2018	
Prüfdatum	27.07.2018	30.7.2018	31.07.2018	31.07.2018	21.08.2018	21.08.2018
Prüfalter[d]	17	20	15	15	33	33
Erstriss	19	32	25	11	20	14
Zapfen[kN]						
Erstriss	27	17	20	28	15	36
Bef.[kN]						
Prüflast	54.52	51.70	35.66	45.16	53.73	44.41
max.[kN]						

Tab. 5.5.: Übersicht Versuchsergebnisse ohne Bewehrung - Zapfenverbindung

Zugverbindung mit Bewehrung

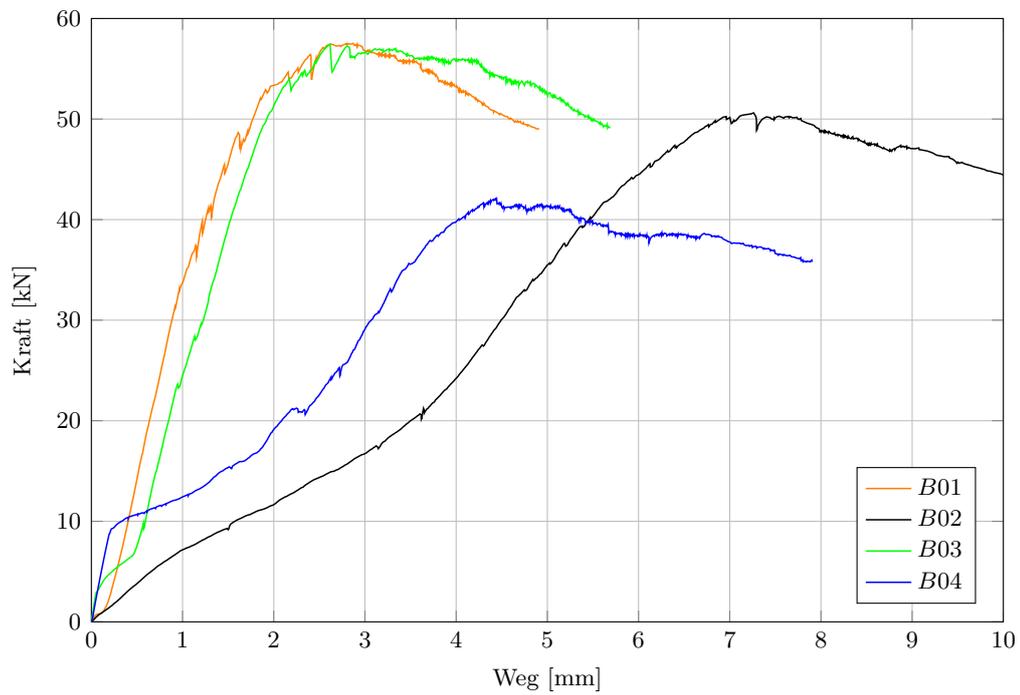


Abb. 5.13.: Vergleich der Zugversuche  $B_{01}$  bis  $B_{04}$

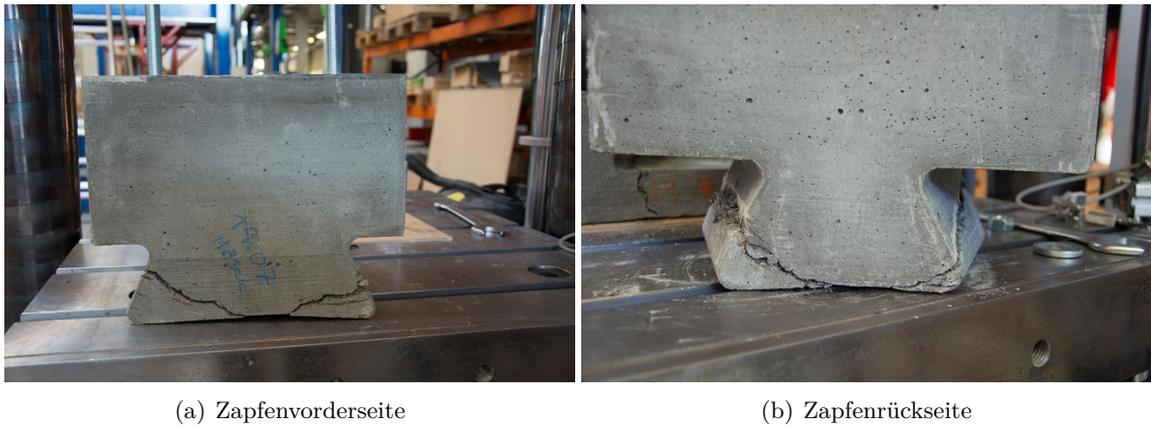
	$B_{01}$	$B_{02}$	$B_{03}$	$B_{04}$
Eigenschaft	Bew. O+U		Bew. O	
Herstelldatum	13.07.2018		26.07.2018	
Prüfdatum	30.07.2018	31.7.2018	22.08.2018	22.08.2018
Prüfalter [d]	17	18	22	22
Erstriss Zapfen [kN]	32	9	9	30
Erstriss Bef. [kN]	53	32	54	20
Prüflast max. [kN]	57.56	50.62	57.52	42.09

Tab. 5.6.: Übersicht Versuchsergebnisse mit Bewehrung - Zapfenverbindung

**Rissbildung - Zapfen**

Bei der Rissbildung im Zapfen ist ersichtlich, dass vor allem die Passgenauigkeit und die Kontaktfläche der Verbindung maßgebend für das Rissbild sind.

Der Erstriss am Zapfen ist ein geneigter Riss, welcher sich auf einer Seite im Bereich des ersten Kontaktpunktes bildet. Dies geschieht in Folge der Krafteinleitung. Nach der weiteren Kraftsteigerung weitet sich dieser. Weiters bildet sich bei dem zweiten Kontaktpunkt auf der gegenüberliegenden Seite ein Riss. Diese beiden Risse öffnen sich weiter und beginnen, sich schräg in die Zapfenmitte fortzupflanzen. Dieses Rissbild ist auf der Vorder- und Rückseite des Zapfens identisch, zudem besteht eine Verbindung über die Seitenflächen.

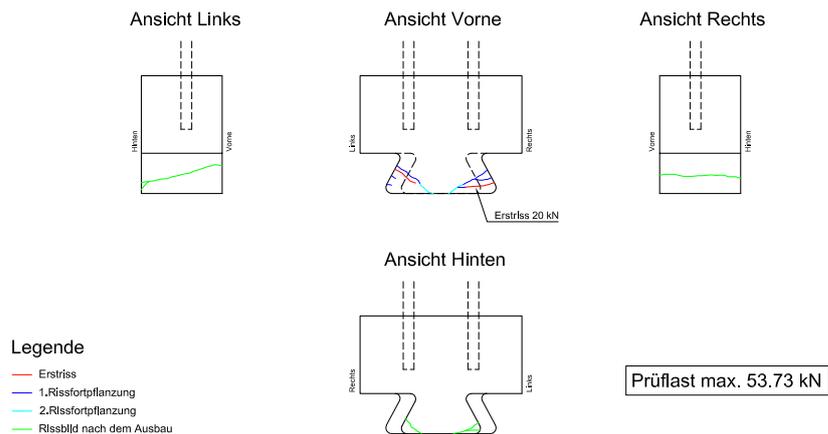


(a) Zapfenvorderseite

(b) Zapfenrückseite

**Abb. 5.14.:** Rissbildung Zapfen ( $O_{05}$ )

**Zapfenelement**



**Abb. 5.15.:** Rissbild Zapfen

**Rissbildung - Befestigungselement**

Der Erstriss beim Befestigungselement tritt meistens im Bereich der Kontaktfläche auf. Ein weiterer Riss bildet sich im Bereich der Ausrundungen und an der Oberseite der Rückwand, woraufhin er sich dann bis zur Vorderseite des Schlitzes weiter entwickelt. Dieser Riss entsteht durch die exzentrische Lasteinleitung der Zugkraft und erzeugt dadurch eine zusätzliche Biegebeanspruchung. Die Lage des Risses ergibt sich im linken beziehungsweise im rechten Bereich, wobei dies hauptsächlich vom ersten Kontakt des Zapfens mit dem Befestigungselement abhängig ist. Dieser setzt sich über die schräge Kontaktfläche beziehungsweise an der Oberseite des Schlitzes bis zur Vorderseite fort. Hierbei kommt es auch zu einer Rissbildung im Bereich der Aussparung für die Montage der der Gewindestangen.

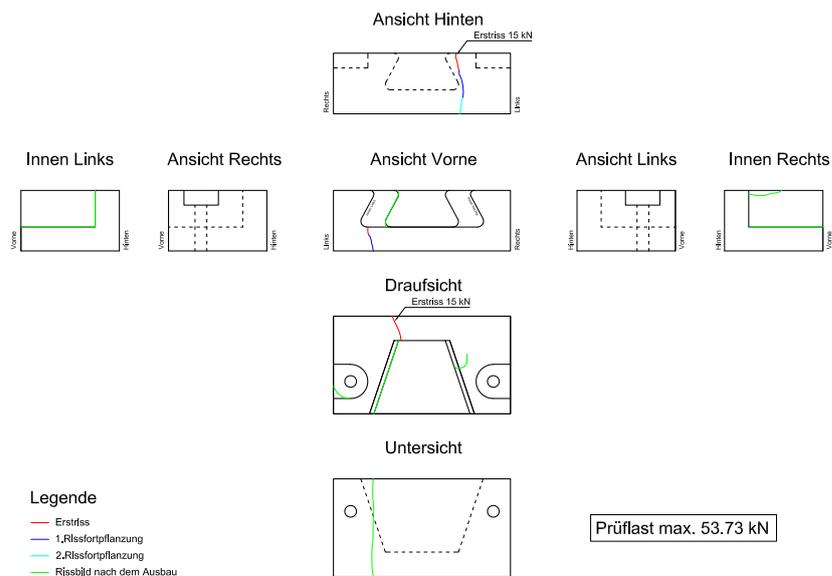


(a) Innenseite

(b) Rückseite

**Abb. 5.16.:** Rissbildung Befestigungselement ( $O_{05}$ )

**Befestigungselement**

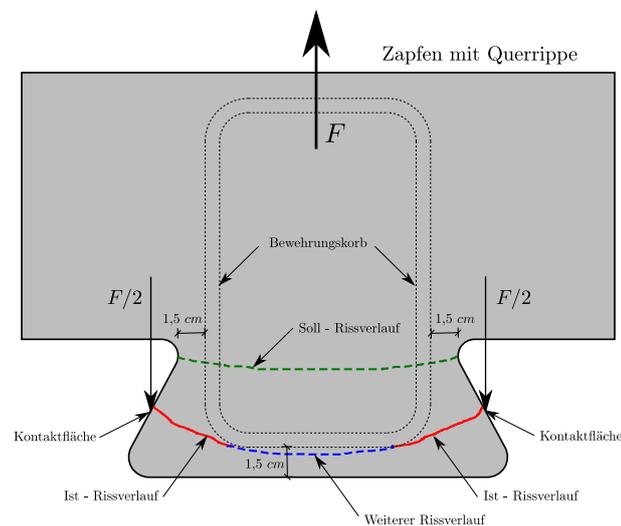


**Abb. 5.17.:** Rissbild Befestigungselement

## Bewertung und Interpretation

Bei einer frühzeitigen Kontaktaufnahme auf nur einer Seite der beiden Kontaktflächen, infolge von Ungenauigkeiten, kommt es zu einer einseitig größeren Beanspruchung. Daraus folgend ergibt sich eine stärker beanspruchte Seite des Zapfens und des Befestigungselementes. Wie im Anhang A genauer ersichtlich, sind die Ergebnisse, trotz der einseitigen Belastung, im selben Bereich wie bei einem gleichmäßigen Kontakt an beiden Flächen.

Bei den Versuchen mit der eingelegten Bewehrung im Zapfenelement ist ersichtlich, dass sich der Soll-Rissverlauf, auf Basis der Erstversuche der Verbindung des Prototyps, nicht wie erhofft einstellt. Hier ist erkennbar, dass die Rissentstehung weiter unterhalb stattfindet, sich abwärts weiterentwickelt und unterhalb des Bewehrungsbügels verläuft. Durch die nicht erfolgte Beanspruchung der Bewehrung in Folge des Ist-Rissverlaufes, kommt es zu keiner Verbesserung der Zugkraftübertragung im Zapfen. Eine Optimierung der Kontaktfläche für die Rissbildung beziehungsweise der Lasteinleitung zur Beanspruchung der Bewehrung, ist anzustreben.



**Abb. 5.18.:** Rissbildung

Durch die Beanspruchung der horizontalen Komponente auf das Befestigungselement, kommt es zu einer Biegebeanspruchung des Elementes. Zusätzlich erfolgt, im Zuge der Krafteinleitung in der Achse des Zapfenschwerpunktes, eine exzentrische Beanspruchung. Dies führt weiters zu einer Biegebeanspruchung des Elementes. Diese Beanspruchungen führen zu den Biegerissen an der Oberseite des Befestigungselementes. In nachfolgender Skizze 5.19 sind die Spannungen, des beanspruchten Befestigungselementes, infolge mittiger und exzentrischer Lasteinleitung dargestellt.

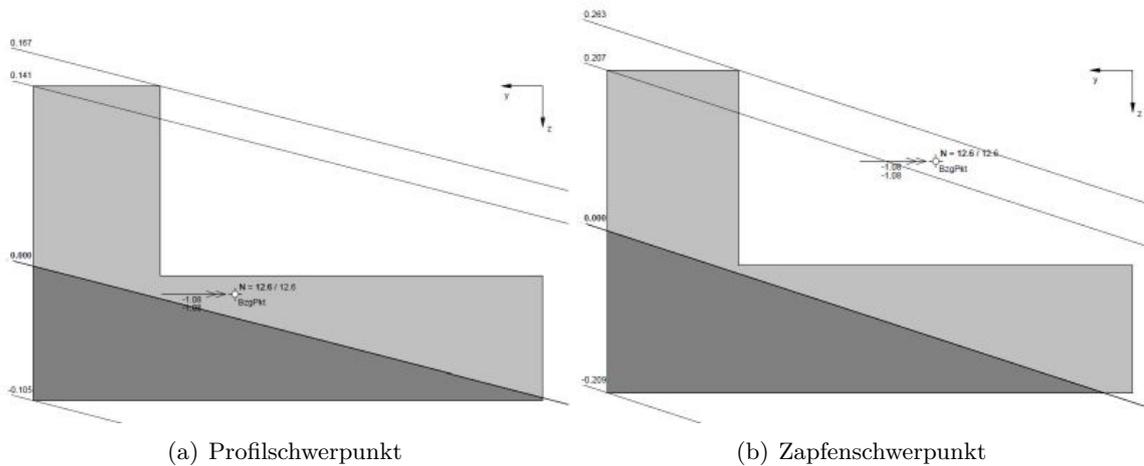


Abb. 5.19.: Beanspruchung Befestigung

Bei den Befestigungselementen, kommt es zu einem durchgängigen Rissbild von der Oberseite bis zur Unterkante. Für die Optimierung des Befestigungselementes, sollte im Bereich der Kammerwand an der Oberseite, Bewehrungsstahl eingelegt werden.

### 5.6.2. Begleitversuche

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Begleitversuche der hergestellten Prüfkörper dargestellt und erläutert.

#### Würfeldruckfestigkeit

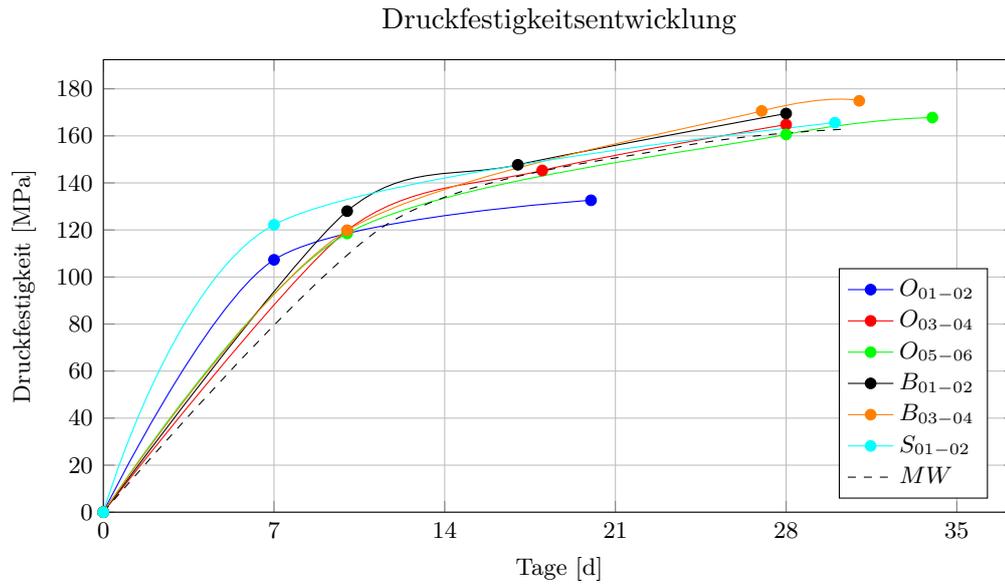
Für die Prüfung der Würfeldruckfestigkeit der Versuchsreihe im Labor, sowie für das Begleitprojekt, wurden Probewürfel mit Abmessungen von  $b \times h \times l = 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  angefertigt.

Wie in Abschnitt 5.5.1 erwähnt, sind hier die Mittelwerte der Würfeldruckprüfungen der einzelnen Betonagen der Versuchsreihe im Labor aufgelistet.

Würfel zu	[MPa]	[MPa]	[MPa]
$O_{01} + O_{02}$	119.77 (20 d)	145.25 (28 d)	-
$O_{03} + O_{04}$	119.77 (10 d)	145.25 (18 d)	146.75 (28 d)
$O_{05} + O_{06}$	118.43 (10 d)	167.77 (28 d)	160.55 (33 d)
$B_{01} + B_{02}$	128.03 (10 d)	147.70 (17 d)	169.45 (28 d)
$B_{03} + B_{04}$	125.2 (8 d)	170.57 (27 d)	174.9 (32 d)
MW	122.24	155.31	162.91

Tab. 5.7.: Versuchsprogramm Druckfestigkeit Labor

Die durchgeführten Druckprüfungen und deren Ergebnisse, wie in Tabelle 5.7 beschrieben, sind in folgender Abbildung 5.20 über die zeitliche Entwicklung dargestellt.



**Abb. 5.20.:** Druckfestigkeitsentwicklung Labor

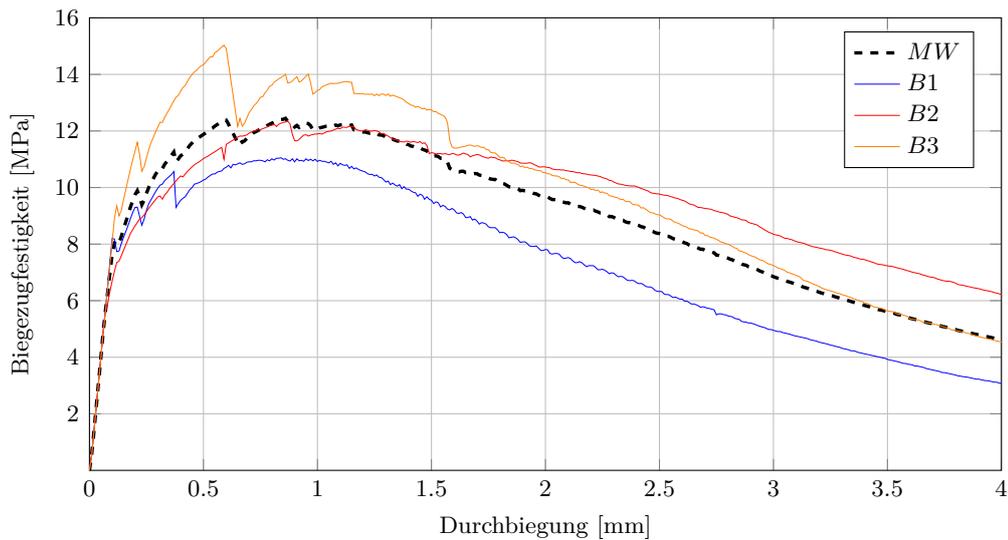
### Bewertung und Interpretation

Bei der Würfeldruckfestigkeit im Labor ist in der Grafik 5.20 ersichtlich, dass sich die Druckfestigkeit den Erwartungen entspricht. Es ist zu beobachten, dass sich die unterschiedlichen Betonagen, mit Ausnahme der Betonage  $O_{01-02}$ , ziemlich ähnlich entwickeln. Die schlechtere Druckfestigkeit, ist darauf zurückzuführen, dass die Ausschalzeit  $< 24 h$  betrug.

## Biegezugfestigkeit

Bei den Kleinversuchen im Labor sind 3 Biegebalken geprüft worden. Diese wurden gemäß Abschnitt 5.5.2 geprüft und ausgewertet. Hierzu wurden infolge der aufgebrachten Kraft, die Spannungen am Querschnitt berechnet und im Zusammenhang mit der Durchbiegung dargestellt.

Die farblich durchgängigen Kurven sind die einzelnen Biegebalken und die gestrichelte stellt den Mittelwert der drei Prüfungen dar.



**Abb. 5.21.:** Vergleich Biegezugspannungen - Labor

Die Versuche zeigen, dass ein maximaler Mittelwert der Biegezugspannung von  $\sigma_{max} = 12,45 \text{ Mpa}$  erreicht wird.

Anhand des analytischen Modells kann von der gemittelten Biegezugspannungs- Durchbiegungsbeziehung auf die Zugspannungs-Dehnungsline geschlossen werden. Diese direkte Umrechnung und deren Modellbeschreibung ist in [31] genauer erläutert.

Durch die Umrechnung der Biegezugspannung- Durchbiegunslinie auf die Zugspannungs- Zugdehnungslinie ergibt sich eine Zugfestigkeit der Betonmatrix von  $f_{ct,0} = 5,9 \text{ N/mm}^2$  und eine Nachrissbetonzugfestigkeit von  $f_{ct,r} = 4,97 \text{ N/mm}^2$ .

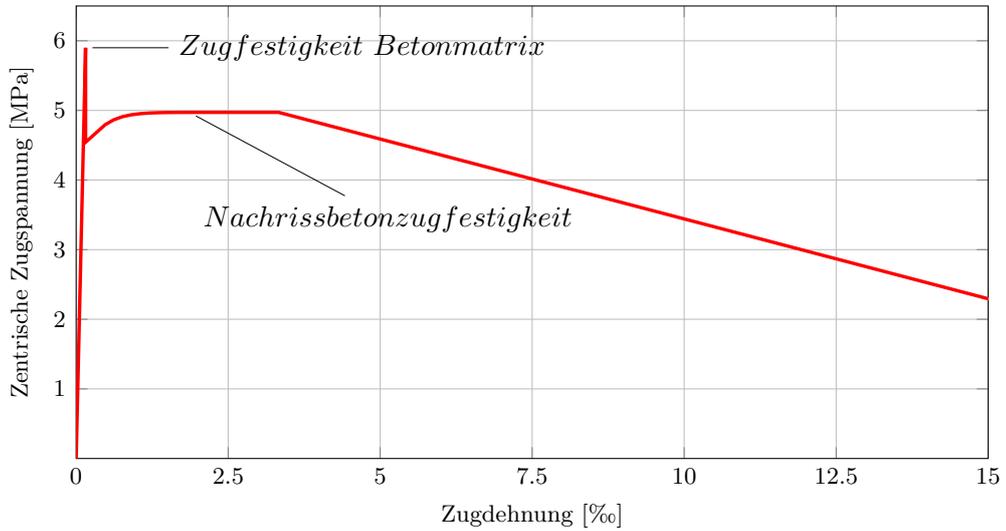


Abb. 5.22.: Zugspannungs- Zugdehnungslinie - Labor

In der nachfolgenden Abbildung 5.23, ist mit der vorhin gezeigten Zugspannungs- Zugdehnungslinie, die Rückrechnung zur gemittelten Biegezugspannung dargestellt.

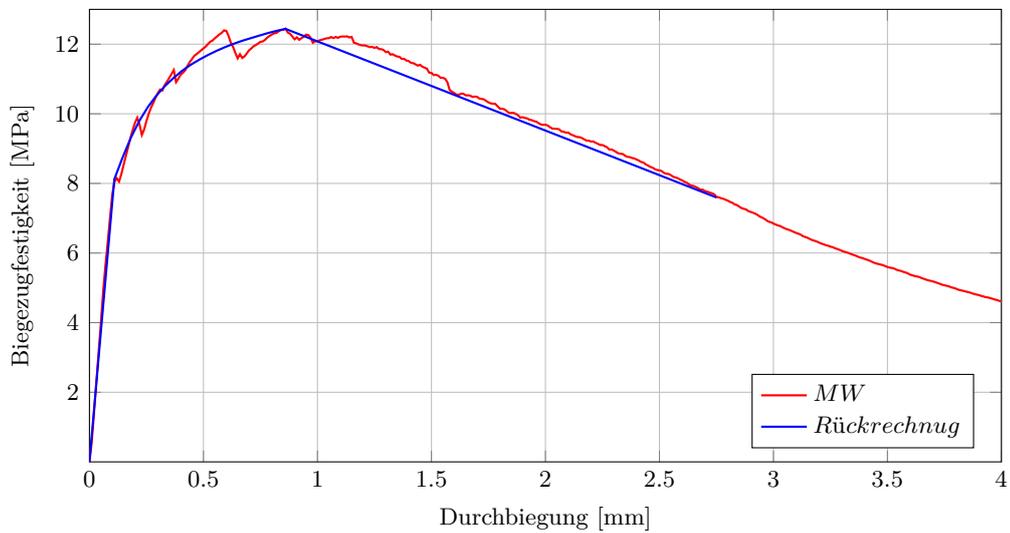


Abb. 5.23.: Rückrechnung Biegezugspannung - Labor

## 6. Begleitprojekt

### 6.1. Brückenobjekt und Planungsgrundlage

Im Zuge des Kreuzungsumbaues im Bereich der Puntigamer Straße - Puchstraße - Herrgottwiesgasse, ist die Erweiterung, um einen Fahrstreifen, der Mühlgangbrücke Puntigam (Objekt Nr.7331) auf der Landesstraße B67A vorgesehen.



**Abb. 6.1.:** Lageübersicht - Google Maps [32]

Die Planungsgrundlage des Tragwerkumbaus erfolgt von IKK Kaufmann - Kriiebernegg ZT-GmbH. An dem Brückenobjekt wird der bestehende Randbalken abgebrochen und seitlich am Tragwerk eine verzahnte Oberflächenbeschaffenheit, mittels Betonabtrag und unter Berücksichtigung der zu erhaltenden Bewehrung, für eine Tragwerksverbreiterung geschaffen. Das neue Tragwerk wird mit Fertigteilträgern und Aufbeton ausgeführt und mittels eingeborhter Anschlussbewehrung zum Bestandstragwerk verbunden. Die ursprüngliche Ausführung des Randbalkens sollte in Ortbetonbauweise erfolgen, dieser ist nun als UHPC-Fertigteil ausgeführt.

Die geometrischen Abmessungen des Randbalken in der Lage, ergeben sich aus der Spannweite des Brückentragwerkes und der Flügellängen der beiden Widerlager, sowie in der

Breite durch den gewünschten Ausbau als Geh- und Radweg. Weiters ist, durch die gegebene Lage der Brücke über den Mühlgang, die Ausrichtung der beiden Widerlager jeweils unterschiedlich schiefwinkelig zur Tragwerksachse. Dadurch ergibt sich eine schiefwinkelige Anordnung der Dehnfuge von  $69,5^\circ$  und  $76,4^\circ$ . Für eine geeignete Fertigteilelementgröße ist die Längs- und Querabmessung  $17,0 \times 2,50 \text{ m}$ , sowie die Schiefwinkligkeit des Tragwerks und deren Dehnfuge zu berücksichtigen.

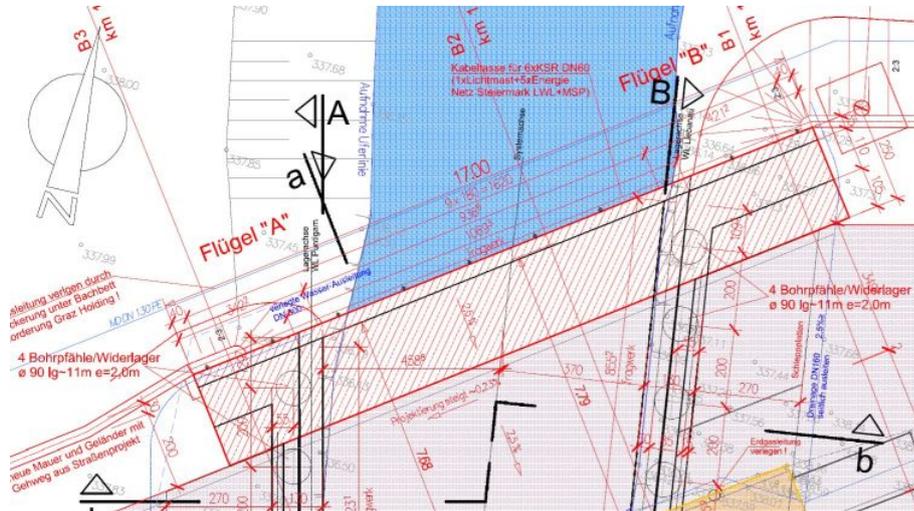


Abb. 6.2.: Planungsgrundlage - Draufsicht [33]

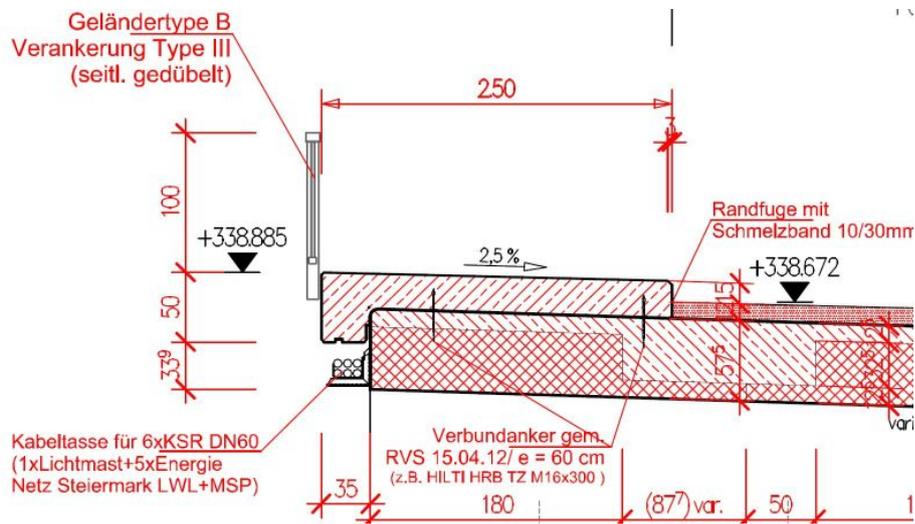


Abb. 6.3.: Planungsgrundlage - Detailschnitt [33]

## 6.2. Geometrie

Durch die vorgegebene Lage und die Länge der Bestandsbrücke, ist eine Anpassung der Fertigteilelemente an die Gegebenheiten erforderlich. Nach einem Variantenvergleich mit unterschiedlichen Elementgrößen, wurden 10 Elemente mit einer Abmessung von 1,70m x 2,50m gewählt. Vorteil dieser Elementgröße in Bezug auf das Brückentragwerk ist, dass insgesamt 8 Standardelemente und nur 2 Sonderelemente im Bereich der Dehnfugen notwendig sind.

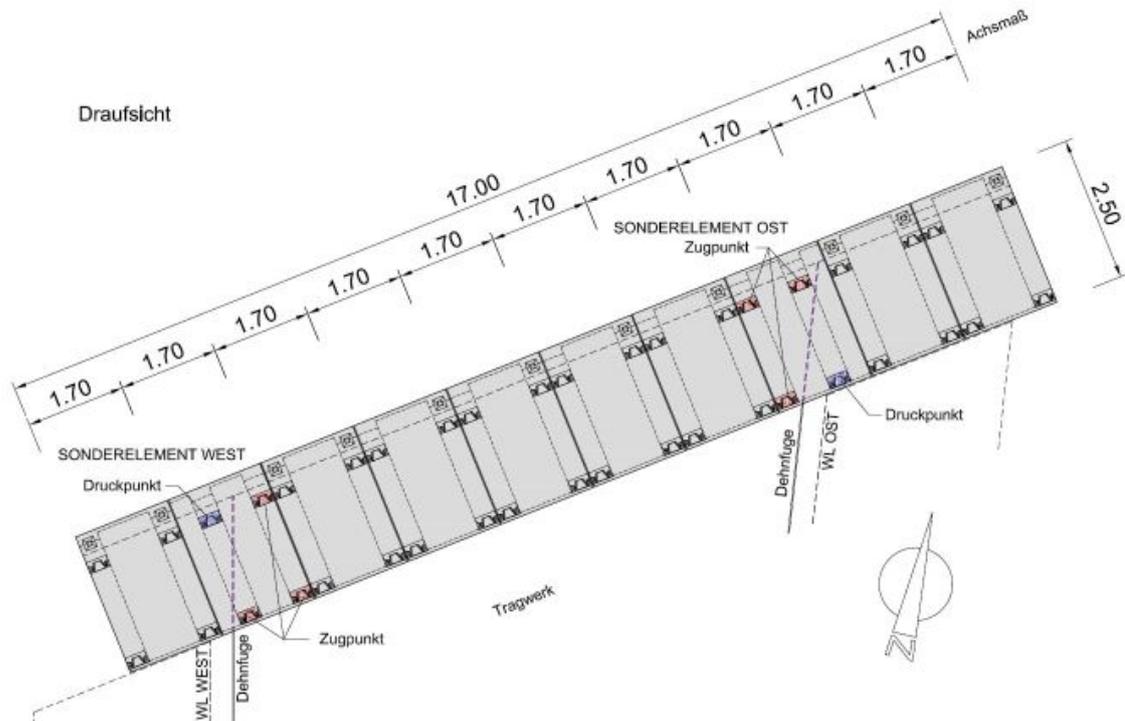


Abb. 6.4.: Übersicht - Randbalkenausteilung

Der Randbalkenquerschnitt des 1,70 m x 2,50 m Elementes, setzt sich aus einer 5,0 cm dicken Platte mit 2 Querrippen mit einer Stärke von 14,5 cm zusammen. Im Bereich dieser Querrippen befinden sich die 4 Zapfen der Schwalbenverbindungen, die sich jeweils in die zugehörigen, am Tragwerk verdübelten, Schlitze einsetzen lassen.

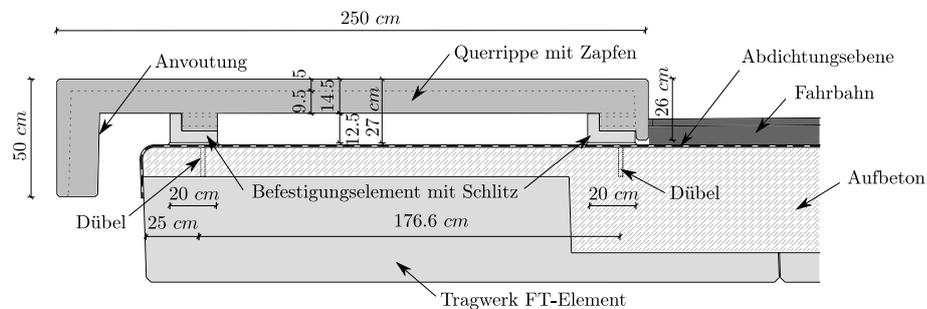


Abb. 6.5.: Randbalken Querschnitt

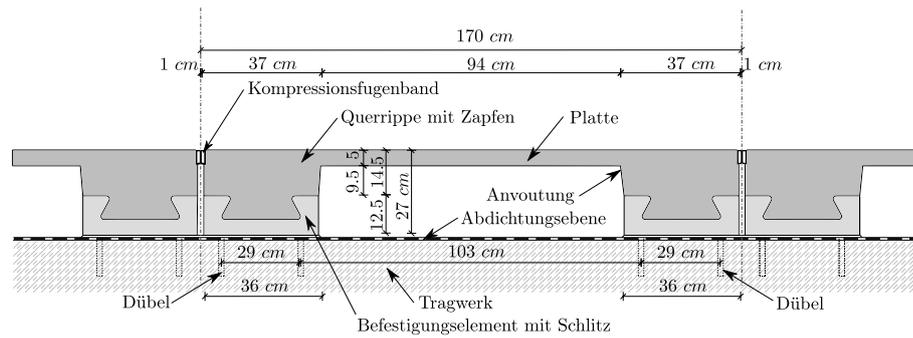


Abb. 6.6.: Randbalken Längsschnitt

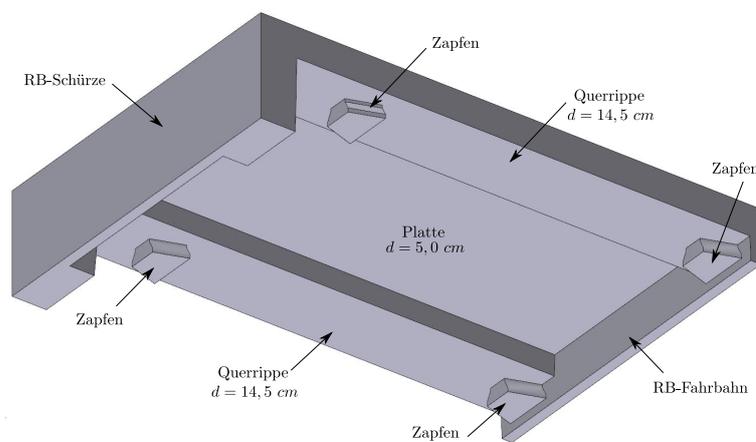


Abb. 6.7.: Standardelement [34]

Die Sonderelemente haben die gleichen Abmessungen wie die Standardelemente, jedoch ist je Sonderelement, die Querrippe auf der Widerlagerseite versetzt zur Außenkante angeordnet, um die Montage auf dem Brückenobjekt zu ermöglichen. Für die Befestigung der Sonderelemente, sind je 3 Ankerpunkte (Zapfen und Schlitz) am Tragwerk und 1 Druckpunkt (Zapfen und Druckplatte) am Flügel befestigt. Durch diese versetzte Platzierung der Querrippe und der Druckpunkte, sind die Dehnfugen unter den Randbalkenelementen geschützt und nicht in ihrer Längsausdehnung beeinträchtigt.

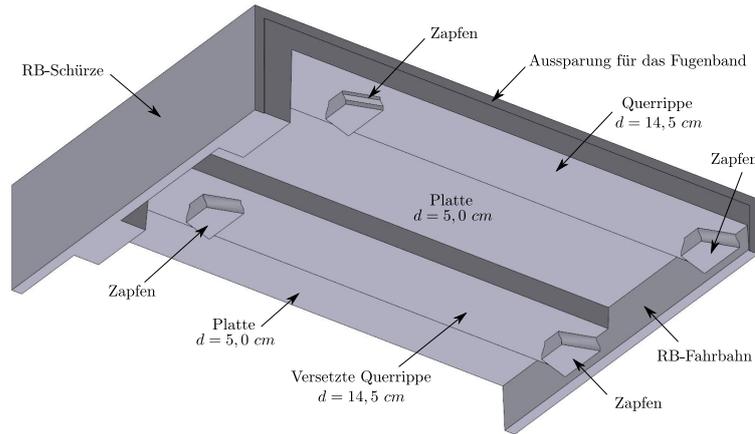


Abb. 6.8.: Sonderelement OST [34]

### 6.3. Modellierung und Bemessung

Hier werden die Anforderungen, und maßgebenden Lasten für den Fertigteiltrandbalken und die Befestigungselemente auf Basis der in Kapitel 4.4 beschriebenen Lastfälle betrachtet. Bezug nehmend auf die Anforderungen und die Berechnung, ist eine Ausführung der Verbindung ohne Bewehrung erstellt worden.

#### 6.3.1. Randbalken

Die Anforderungen und die Tragfähigkeit des Randbalkens werden analog dem Kapitel 3 betrachtet. Bei diesem Brückenobjekt handelt es sich um eine Landesstraße im Ortsgebiet, somit ist kein Fahrzeugrückhaltesystem erforderlich und nur die ständigen, veränderlichen und außergewöhnlichen Lastfälle, wie im Kapitel 3.6 beschrieben, sind zu berücksichtigen. Diese setzen sich aus dem Eigengewicht, Nutzlast aus Fuß- und Radverkehr, und Anprall auf das Schrammbord zusammen. Diese Berechnung und dazugehörige Ergebnisse sind im Anhang C ersichtlich.

Infolge der gewählten Elementgrößen, wie in 6.2 beschrieben, ist der Regelabstand der Geländersteher von 2,0 m auf 1,70 m verringert worden, um eine standardmäßige Montage auf dem Randbalken zu gewährleisten.

#### 6.3.2. Befestigungselemente

Die maßgebenden Lasten für die Befestigungselemente ergeben sich aus dem Anprall auf die Randleiste. Im Normalfall werden die Lasten über die 4 Schwalbenschwanzverbindungen in die Befestigung übertragen und in das Tragwerk eingeleitet. Bei einem Anprall auf ein Sonderelement, sind jedoch weniger Zapfen vorhanden, somit wird für den maßgebenden Fall ein reduziertes Einfeldträgersystem betrachtet. Die genaue Berechnung, sowie die Modellierung und Bemessung der Dübel befindet sich im Anhang C.

## 6.4. Herstellung

In diesem Kapitel wird die Herstellung, Genauigkeiten und Montage der UHPC - Fertigteilelemente beschrieben und erläutert. Weitere Anforderungen an diesen Randbalken sind, die Gestaltung der Oberfläche und deren Rauigkeit, sowie die seitlichen und horizontalen Abschlüsse, um ein Eindringen von anschließendem Material an den Stirnseiten, und ein Einnisten von Tauben zwischen der Kragarmaußenkante und dem Randbalken zu verhindern.

### 6.4.1. Produktion - Fertigteilfirma

Um eine gleichmäßige Qualität der Fertigteilelemente zu gewährleisten, wurde eine serielle Produktion der Randbalken- und Befestigungselemente des Brückenobjektes der Fertigteilfirma Rauter - Kirchdorfer Concrete Solutions (RAUTER) gewählt. Diese hat bereits die erforderliche Erfahrung mit dem Mischen von UHPC mit Fasern, sowie auch die präzise Anfertigung von Spezialschalungen für Sonderelemente.

Für die Produktion der Randbalken sind die Schalungspläne der Standardelemente, Sonderelement OST, Sonderelement WEST und der Kleinbauteile (Zugpunkt und Druckpunkt) vorab mit der Fertigteilfirma Rauter abgestimmt worden.

Bei dem Großbauteil wurde eine Anvoutung der vertikalen Flächen ausgeführt, um das Element leichter aus der Schalung heben zu können. Für die Anfertigung der Schwalbenschwanzverbindung mittels CNC-Fräse, wurde die ausgerundete Verschnittkontur auf einen polygonalen Übergang abgeändert.

Weiters wurde die Aussparung für die Ankerstäbe in dem Befestigungselement auf einen größeren Durchmesser von  $\varnothing 26$  mm abgeändert, da sich die Aussparungselemente im Lagerbestand befanden.

Für eine einfachere Manipulation der Fertigteilelemente, wurden je Randbalken 4 Kompaktanker RD 16, in Abstimmung mit dem Schwerpunkt, eingebaut. Für die werksseitige Produktion wurde weiters ein 3D-Modell erstellt.[34]

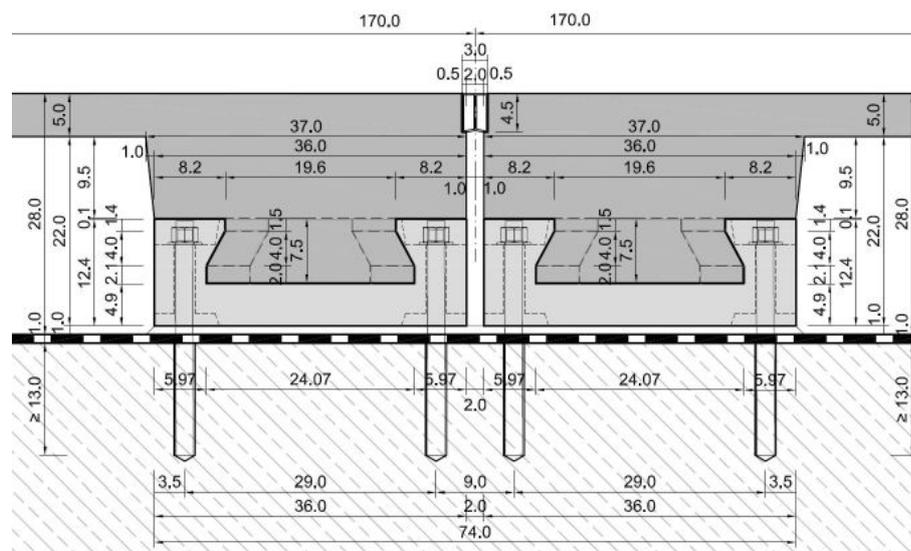


Abb. 6.9.: Zapfenkontur

## Schalung - Betonage

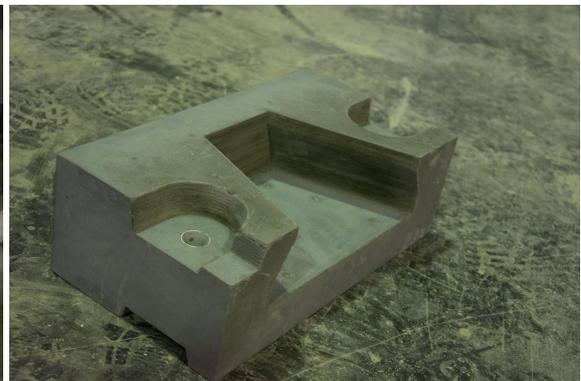
Um einen geringen Material- und Montageaufwand zu erzielen, ist für das Standardelement eine Schalung und für die 2 Sonderelemente eine weitere, variable Schalung gefertigt und zusammengesetzt worden. Für die Befestigungspunkte wurden 5 Schalungskörper mit CNC-Fräse angefertigt. Diese bestehen aus 4 standardisierten Zapfengrößen und einer zusätzlichen Reserveschalung mit einer größeren Kontur um eine mögliche Abweichung der Toleranzen, wie in 4.3.3 beschrieben, ausgleichen zu können. Die 10 Fertigteile wurden gesondert an einem Tag betoniert. Dies ermöglicht die Wiederverwendung der gefertigten Schalungen. Weiters ist eine Verdichtung mittels Betonrüttler nicht notwendig, da eine selbst verdichtende Betonrezeptur verwendet wurde.



**Abb. 6.10.:** UHPC Konsistenz



(a) Randbalken



(b) Befestigungselement

**Abb. 6.11.:** Produzierte Fertigteile

Die verwendete Betonrezeptur wurde vom Institut für Betonbau zur Verfügung gestellt.

		<i>Einsatzstoff</i>		<i>Gehalt</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Stoffraum</i> [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Luftporengehalt	in -		1,6 %	-	18,6
V%=Luftgehalt					
Zement	W/P Karawanken Zement	-		750	236,6
Microsilica	RW Füller Q1		12,94 %	97,1	44,1
Quarzmehl	Dorsolit 16900		35,30 %	264,7	100,7
Wasser	-		0,265 %	196,8	178,2
w/z-Wert (äqu.)					
<b>Zusatzmittel</b>					
Fließmittel	BT3 H500		3,53 %	26,47	24,74
Stahlfaser	Harex 12.5/0.175 mm		1,80 Vol – %	132,4	16,9
<b>Gesteinskörnung</b>					
I	Geba Quarzpowder 100-200 µm		20,5 %	206	77,9
II	Dorsolit Nr.8 (0.3-0.8) mm		79,5 %	801	302,3
<b>Wasserzementwert</b>					
w/z - Wert				0,26	
w/b - Wert				0,23	

Tab. 6.1.: Betonrezeptur Begleitprojekt

### Genauigkeit von der Fertigung

Für die Ausführung auf der Baustelle, wurde darauf aufmerksam gemacht, dass die Genauigkeit der Bohrungen und die Ausrichtung für die Verankerung der Befestigungselemente nur eine geringe Abweichung aufweisen dürfen, da diese in allen 3 Ebenen (Längs, Quer und Höhe) ausgerichtet sein müssen.

Damit vor Ort bei der Montage, Maßungenauigkeiten von der Fertigung weitgehend ausgeschlossen werden können, erfolgte vorab im Fertigteilwerk eine Zuordnung der Kleinbauteile zu den Großelementen. Für die gewünschten Maßabstände konnte dabei eine Toleranz von < 1 mm erreicht werden.

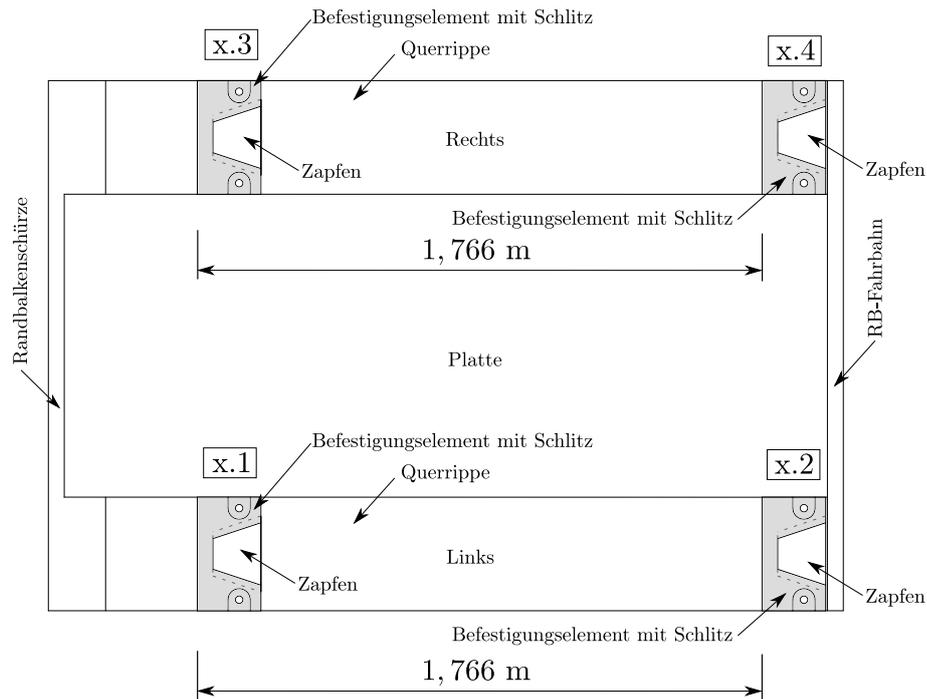


Abb. 6.12.: Kleinbauteil Zuordnung

### Oberfläche - Einstreuung

Für die geplante Nutzung des Randbalkens als Geh- und Radweg, ist eine Griffigkeit der Oberfläche gefordert. Hierzu ist eine Einstreuung an der Oberfläche mit Dorsilit Nr.5G gewählt worden.

### Nachbehandlung

Bei der Produktion wurde darauf geachtet, dass die Anforderungen wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben, zur Anwendung kamen. Die im Anschluss der Betonage freiliegende Oberfläche wurde direkt mit einem dünnen Wasserfilm besprüht und die Unebenheiten, infolge der entwichenen Luftblasen an der Oberfläche, glatt gestrichen. Bei dem Großbauteil wurde eine Einstreuung an der Oberseite aufgebracht.

Die Betonelemente wurden mit einer wasserundurchlässigen Folie abgedeckt und die Ausschaltzeit von  $> 24 h$  eingehalten. Die ausgeschalteten Fertigteile sind in der geschlossenen Produktionshalle gelagert und wieder mit einer wasserdampfundurchlässigen Folie eingewickelt worden.



(a) Seitliche Ansicht

(b) Untersicht

**Abb. 6.13.:** Oberflächenbeschaffenheit

Nach dem Ausschalen und dem Abkehren des überschüssigen Einstreugutes, zeigt die Oberfläche ein gutes Ergebnis. Vereinzelt sind in den Randbereichen der seitlichen Schalung zur Oberfläche, Luftporeneinschlüsse und Faserüberstände erkennbar. Diese wurden mit einem Winkelschleifer nachbehandelt.



(a) Luftporeneinschluss

(b) Faserüberstand

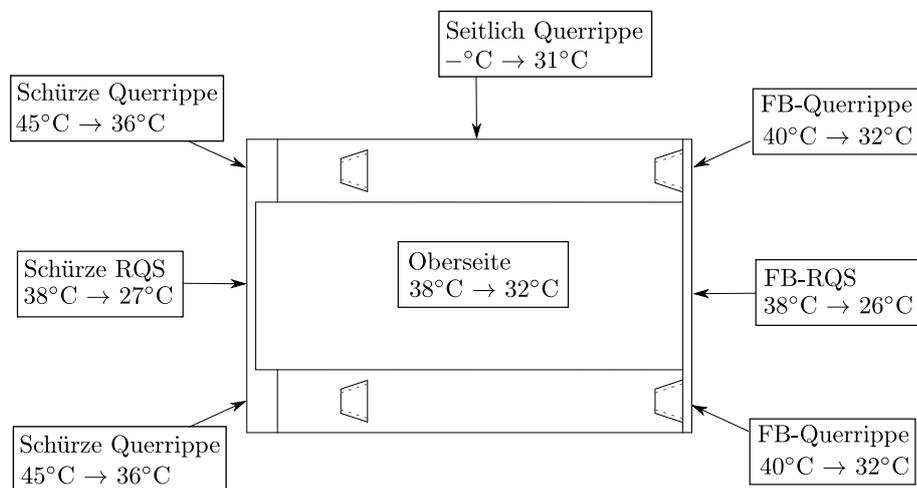
**Abb. 6.14.:** Fehlstellen - Oberfläche

Infolge des hohen Zementgehaltes, ergibt sich eine kurze Abbindezeit und dadurch eine resultierende hohe Temperaturentwicklung. Zur Veranschaulichung dieser, ist nach dem ersten Ausschalen die Oberflächentemperatur mit einem Infrarot-Thermometer gemessen worden. Hier sind vor allem im Vergleich der Bereiche der Querrippe  $d = 12 - 18 \text{ cm}$  zum Regelquerschnitt  $d = 5 \text{ cm}$  deutliche Temperaturunterschiede erkennbar. Die erste Messung erfolgte direkt nach dem Ausschalen, die zweite Messung nach kurzer Lagerung. Diese sind in Tabelle 6.2 ersichtlich.

<i>Messstelle</i>	<i>1.Messung</i> [°C]	<i>2.Messung</i> [°C]
Kleinbauteil	28-30	-
RB - Oben	37-38	32
RB - Seitlich	-	31
RB - FB RQS	38	27
RB - FB Querrippe	45	31-32
RB - Schürze RQS	38	25-26
RB - Schürze Querrippe	40	36

**Tab. 6.2.:** Übersicht Temperaturmessung

Diese Werte zeigen, dass nach 24h Einschaltzeit hohe Oberflächentemperaturen messbar sind und an der Oberfläche ein rasches Abkühlen nach dem Ausschalen stattfindet.



**Abb. 6.15.:** Messpunkte Oberflächentemperatur

### 6.4.2. Montage

Auf der Baustelle ist die Firma KLÖCHER - Baugesellschaft m.b.H. für die Montage der Fertigteile zuständig. Dieser wurde vorab das Konzept des Fertigteilrandbalkens, und die möglichen Problempunkte und Varianten des Montagekonzeptes, die folgend dargestellt werden, vorgestellt.

#### Variante 1

- Schritt 1
  - Erstellung der Längsmarkierung für die Befestigungselemente
- Schritt 2
  - Gemeinsames Einheben des 1. Elementes mit den Befestigungselementen
  - Lagemarkierung der Elemente
- Schritt 3
  - Einlegen eines 2,0 cm Distanzstreifens
  - Gemeinsames Einheben des 2.Elementes mit den Befestigungselementen
  - Ausheben des 1.Elementes
  - Lagemarkierung der Kleinteile des 2. Elements
- Schritt 4
  - Ausheben der Fertigteile
  - Bohren der Verankerungspunkte mittels Bohrschablone
- Schritt 5
  - Montage und Ausrichtung der Dübel
  - Lagekontrolle der Dübel untereinander
- Schritt 6
  - Anbringen der Feingewindemutter und Unterlagsscheibe
  - Einheben der FT-Kleinteile
  - Höheneinrichtung der Kleinteile mittels Nivellier und Gewindemutter
  - Ausheben der Kleinteile
  - Herstellen des Mörtelbettes
  - Montage der Befestigungspunkte
- Schritt 7
  - Befestigung der Ankerschrauben mit den FT-Kleinteilen
  - Einheben und Einschieben des FT-Randbalkens

## Variante 2

- Schritt 1
  - Auflegen der Montageschablone und der FT-Kleinteile
- Schritt 2
  - Bohren der Verankerungspunkte durch die Befestigungselemente
- Schritt 3
  - Montage und Ausrichtung der Dübel
  - Lagekontrolle der Dübel untereinander
- Schritt 4
  - Anbringen der Feingewindemutter und Unterlagsscheibe
  - Einheben der FT-Kleinteile
  - Höheneinrichtung der Kleinteile mittels Nivellier und Gewindemutter
  - Ausheben der Kleinteile
  - Herstellen des Mörtelbettes
  - Montage der Befestigungspunkte
- Schritt 5
  - Befestigung der Ankerschrauben mit den FT-Kleinteilen
  - Einheben und Einschieben des FT-Randbalkens
- Schritt 5
  - Auflegen der Montageschablone und der FT-Kleinteile zu bereits montierten FT-Randbalken

Für die Montage auf der Baustelle entschied man sich für die Variante 2. Beide Montagevarianten sind im Anhang Dersichtlich.



(a) Befestigungselemente

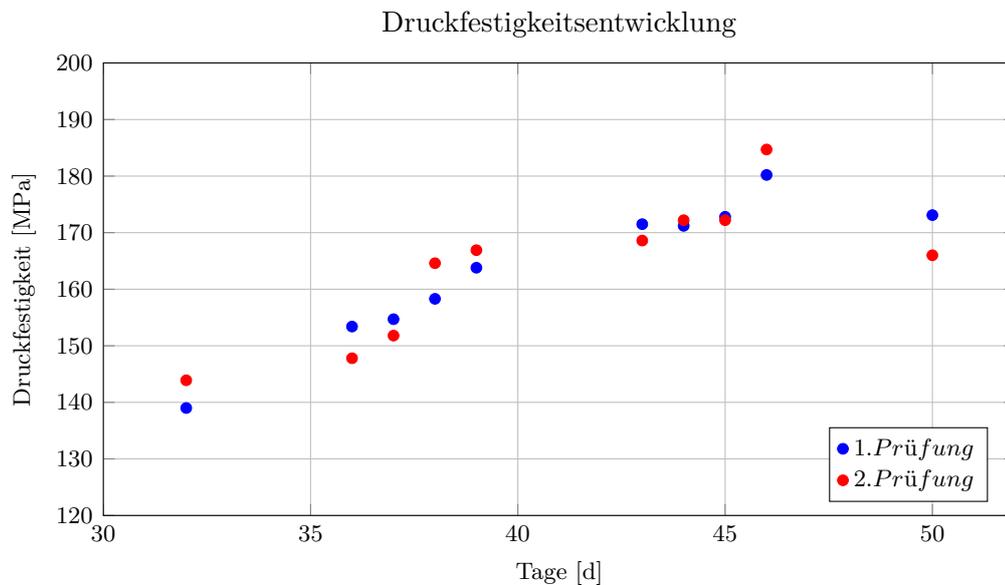


(b) Randbalken

**Abb. 6.16.:** Montage der FT-Elemente

## 6.5. Begleitversuche

Jedes der 10 Fertigteilelemente wurde mit derselben Betonrezeptur einzeln gefertigt. Dabei sind bei jeder einzelnen Betonage Probewürfel mit Abmessungen von  $b \times h \times l = 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  angefertigt worden. Für die weitere Prüfung der Probekörper wurden je Betonage 2 Würfel getestet und deren Druckfestigkeit bestimmt. Hierzu sind anschließend in Abbildung 6.17 die Versuchsergebnisse dargestellt.



**Abb. 6.17.:** Druckfestigkeitsentwicklung

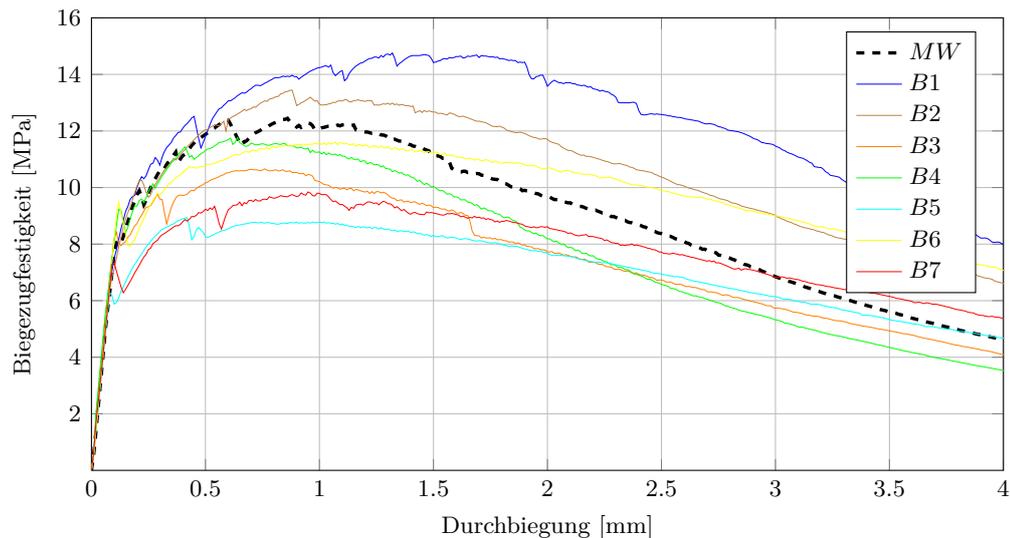
<i>Herstelldatum</i>	<i>Probealter [d]</i>	<i>Probe 1 [MPa]</i>	<i>Probe 2 [MPa]</i>
17.09.2018	32	139.0	143.9
13.09.2018	36	153.4	147.8
12.09.2018	37	154.7	151.8
11.09.2018	38	158.3	164.6
10.09.2018	39	163.8	166.9
06.09.2018	43	171.5	168.6
05.09.2018	44	171.2	171.2
04.09.2018	45	172.8	171.8
03.09.2018	46	180.2	184.7
30.08.2018	50	173.1	166.0

**Tab. 6.3.:** Druckversuche - Fertigteilewerk

## Biegezugfestigkeit

Bei dem Begleitprojekt sind insgesamt 7 Biegebalken produziert worden. Diese wurden wie in Abschnitt 5.5.2 beschrieben, geprüft und ausgewertet. Dazu wurden, infolge der aufgetragenen Kraft, die Spannungen am Querschnitt berechnet und im Zusammenhang mit der Durchbiegung dargestellt.

Die farblich durchgängigen Kurven sind die einzelnen Biegebalken, die gestrichelte stellt den Mittelwert der gesamten Prüfungen dar.



**Abb. 6.18.:** Vergleich Biegezugspannung - Fertigteilwerk

Die Versuche zeigen, dass ein maximaler Mittelwert der Biegezugspannung von  $\sigma_{max} = 11,34 \text{ MPa}$  erreicht wird.

Anhand des analytischen Modells kann von der gemittelten Biegezugspannungs- Durchbiegungsbeziehung auf die Zugspannungs-Dehnungsline geschlossen werden. Diese direkte Umrechnung und deren Modellbeschreibung ist in [31] genauer erläutert.

Durch die Umrechnung der Biegezugspannung- Durchbiegunslinie auf die Zugspannungs- Zugdehnungslinie ergibt sich eine Zugfestigkeit der Betonmatrix von  $f_{ct,0} = 5,8 \text{ N/mm}^2$  und eine Nachrissbetonzugfestigkeit von  $f_{ct,r} = 4,37 \text{ N/mm}^2$ .

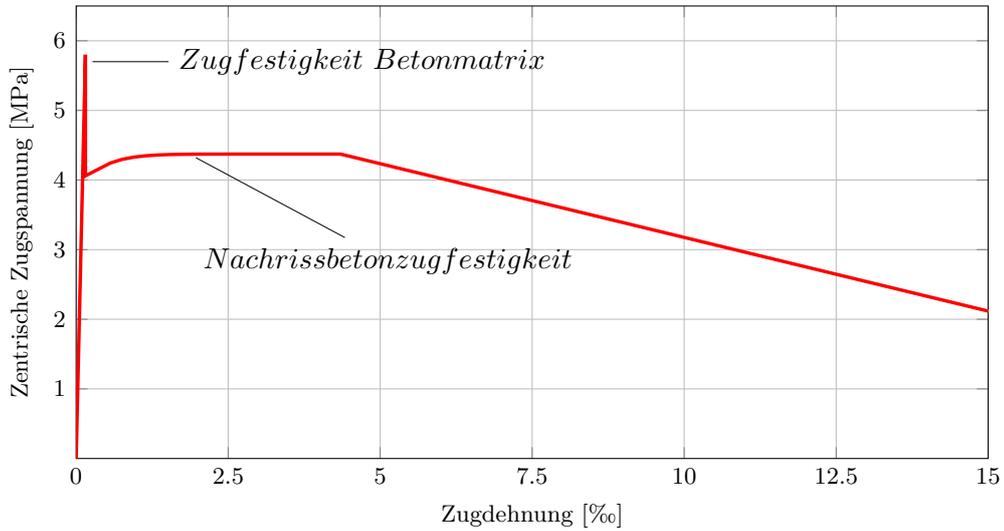


Abb. 6.19.: Zugspannung- Zugdehnungslinie - Begleitprojekt

In der nachfolgenden Abbildung 6.20, ist mit der vorhin gezeigten Zugspannungs- Zugdehnungslinie, die Rückrechnung zur gemittelten Biegezugspannung dargestellt.

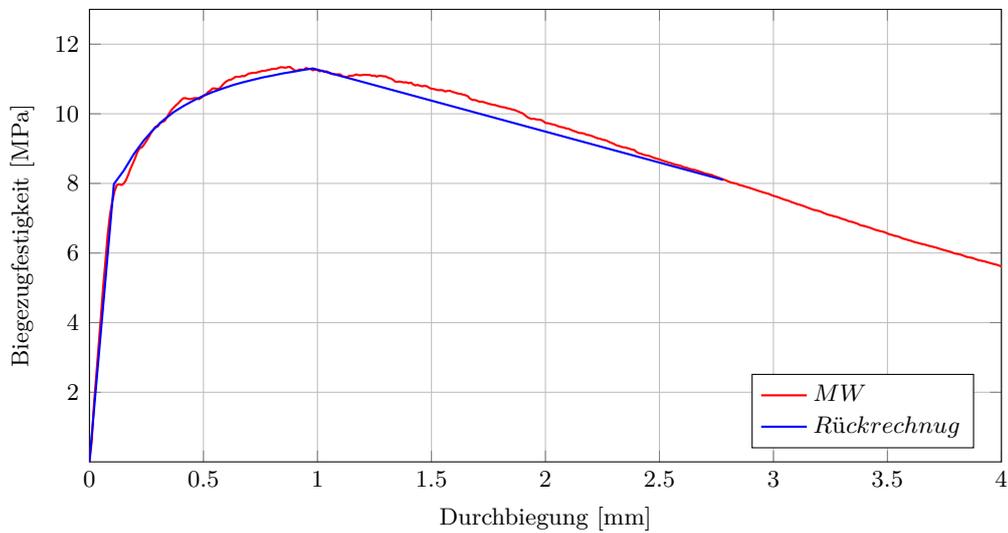


Abb. 6.20.: Biegezugspannung Begleitprojekt

### 6.5.1. Bewertung und Interpretation

Bei den Versuchskörpern vom Begleitprojekt ist erkennbar, dass sich die Messungen der geprüften Würfel nur gering voneinander unterscheiden. Weiters ist ersichtlich, dass die Druckfestigkeit im Zusammenhang mit der zeitlichen Entwicklung steht, und dass auch noch nach 40 Tagen eine Erhöhung der Druckfestigkeit stattfindet.

### 6.5.2. Vergleich Labor - Begleitprojekt

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Begleitversuche der hergestellten Prüfkörper im Labor und des Begleitprojektes dargestellt und zum Vergleich gegenübergestellt.

#### Vergleich - Biegezugfestigkeit

Die beiden Biegezugsspannungslinien sind im direkten Vergleich nur am Anfang, quasi-linear elastischen Bereich ident, aber erreichen unterschiedliche Maximalspannungen. Es ist zudem ersichtlich, dass trotz größer aufnehmbarer Spannungswerten mit der zunehmenden Verformung die Biegezugfestigkeit abnimmt.

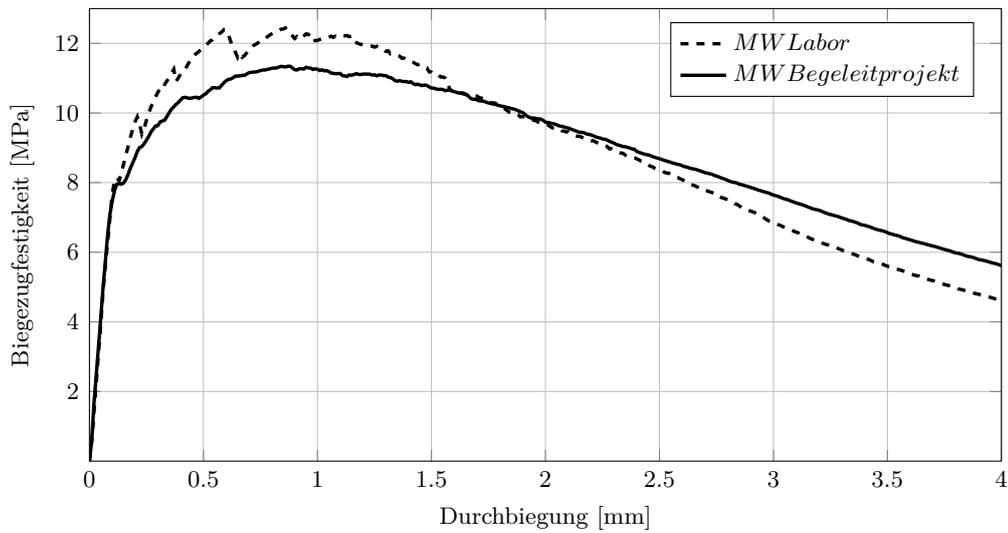


Abb. 6.21.: Vergleich Biegezugspannungen Labor - Begleitprojekt

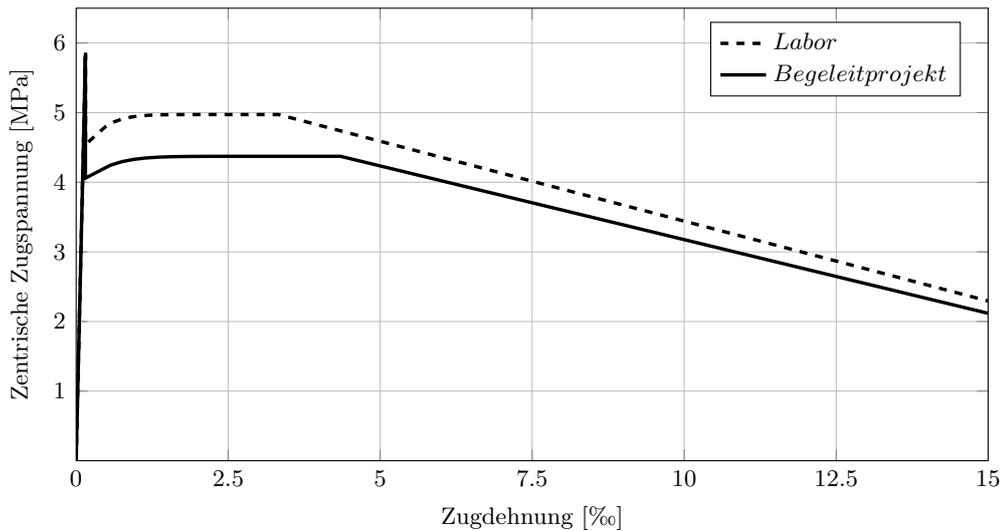


Abb. 6.22.: Vergleich Zugspannungs- Zugdehnungslinie Labor - Begleitprojekt

Im direkten Vergleich der beiden Zugarbeitslinien ist ersichtlich, dass die Zugfestigkeit der Betonmatrix annähernd gleich ist. Jedoch ist eine geringe Abweichung im Bereich des verfestigenden Tragverhaltens erkennbar.

### **Bewertung und Interpretation**

In den Vergleichen der Laborversuche und dem Begleitprojekt hat sich gezeigt, dass es bei der zentrischen Zugspannung und der maximalen Biegezugfestigkeit, nur zu geringen Abweichungen kommt. Dies lässt sich vor allem auf die unterschiedlichen Bedingungen vom Labor zum Fertigteilwerk zurückführen. Im Fertigteilwerk, wurde durch das größere Produktionsvolumen des verwendeten Betons, eine andere Mischanlage mit einer mechanischen Beschickung der Materialien gewählt. Somit erfolgte auch eine maschinelle Einstreuung der Fasern im Vergleich zur händischen Einstreuung im Labor. Weiters wurde durch die serielle Produktion und nur einer gefertigten Randbalkenschalung, die Ausschaltzeit und die Nachbehandlung auf das Minimum gehalten.

Mit einer Optimierung bei der Faserzugabe, sowie einer Ergänzung einer weiteren Schalung und einer längeren Ausschaltzeit und Nachbehandlung, lassen sich die Versuchsergebnisse an die Laborversuche anpassen.

## 7. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, durch die Optimierung des wiederverwendbaren Fertigteilrandbalken, auf Basis des bisher entworfenen Prototyps, diesen weiter zu entwickeln und in einem Projekt anzuwenden und zur Serienreife zu bringen.

Beginnend wurde die entworfene Geometrie und die Schwalbenschwanzverbindung des Randbalkens, sowie die verwendete Betonrezeptur des Prototyps zusammenfassend dargestellt. Weiterführend wurden die maßgebenden Ergebnisse der Vordimensionierung und der ausgeführten Erstversuche der Verbindung, sowie die Fertigung und der Montageversuch des  $2,0\text{ m} \times 2,5\text{ m}$  produzierten Randbalkens und dessen offen gebliebene Punkte erläutert.

Als Grundlage für eine weitere Ausführung und Anwendung von Fertigteilrandbalken, wurden die aktuellen Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS), dem Planungshandbuch BRÜCKE - BAU (PlaPB-BR) der ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) [3] und den Regeldetails des Landes Steiermark [4] mit den spezifischen Ausrüstungsgegenständen und die Einwirkungen für Ortbetonrandbalken beschrieben.

Unter Berücksichtigung der offenen Punkte und der Richtlinien, wurden in Hinblick auf eine Anwendung, Anpassungen bezüglich der Geometrie und dem Material durchgeführt. Darüber hinaus wurden die Fertigung und Herstellung für die Ausführung näher betrachtet und beschrieben.

Für die Modellierung und Bemessung ist neben der Zapfenverbindung, eine lokale Betrachtung der Längs- und Quertragfähigkeit notwendig. Hierzu sind die auftretenden Lastfälle und Ansätze des statischen Systems in Längs- und Querrichtung anhand des späteren Projektes dargestellt.

Zusätzlich wird auf die Lastabtragung der Zapfenverbindung, sowie auf den angewandten Optimierungsansatz, zur Erhöhung der Zugkraftübertragung, für die lokale Lasteinleitung am Tragwerk eingegangen und ein experimentelles Versuchsprogramm entwickelt.

Im Versuchsprogramm wurde der Prüfaufbau an die Montage vor Ort angepasst, um realistische Ergebnisse zu erzielen. Für die Optimierung der Zugkraftübertragung für höher ausgelastete Verbindungen, wurde der Versuche mit Bewehrung und ohne Bewehrung ausgeführt. Zusätzlich wurden Begleitversuche, in Bezug auf die angepasste UHPC Rezeptur, für die Klassifizierung der Materialkennwerte durchgeführt. Aus den Versuchen hat sich gezeigt, dass eine zusätzliche Bewehrung in der Schwalbenschwanzverbindung, auf Grund der zu geringen Verankerungslänge, zu keiner Erhöhung der Zugkraftübertragung führt.

Für die Anwendung, wird auf die Planungsgrundlage des gegebenen Brückenobjektes mit notwendigen Anpassungen eingegangen. Im Zuge der Fertigung, wurden das Herstellungsverfahren, die Produktion, die Toleranzen und das Montagekonzept erläutert.

Als Abschluss wird die Anwendung des UHPC Fertigteilrandbalkens, anhand einer Brückensanierung dargestellt.

Bei der Ausführung des Begleitprojektes, hat sich gezeigt, dass die Herstellung im Fertigteilwerk und die Einhaltung der geforderten Toleranzen umsetzbar sind. Im Zuge der Bauausführung, sind die Toleranzen für die Montage und den Einbau ausschlaggebend.

Weitere Optimierungsvorschläge für die Planung und Bemessung des UHPC Randbalkens, lassen sich in der Geometrie, für die Zugkraftübertragung der Verbindung selbst und der daraus folgenden Verankerungslänge für die Bewehrung und Verlängerung der Kontaktfläche für die Lasteinleitung umsetzen.

Bei der Bauausführung und Montage, besteht die Möglichkeit einer Optimierung durch bereits in der Herstellung des Tragwerks, mit eingebauten Aussparungen, anstatt der nachträglichen Bohrungen am Tragwerk. Eine Verbesserung ergibt sich, durch bereits in der Produktion angebrachten und fixierten Vermessungspunkten an den Befestigungselementen, für ein einfacheres Einmessen und Höhenjustieren der Elemente am Tragwerk.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Anwendung eines wiederverwendbaren Fertigteilrandbalkens möglich ist. Jedoch sind bei höheren Anforderungen, für die bessere Zugkraftübertragung, weitere Optimierungen notwendig.

# Literaturverzeichnis

- [1] Anne-Sophie Liebmann. *Entwicklung eines Prototypen für Brückenrandbalken aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC)*. Masterarbeit, Technische Universität Graz, Graz, 2017.
- [2] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.04.11 Brückenausrüstung: Randleisten- und Mittelstreifenkonstruktion: Ausführung aus Beton, 1983.
- [3] ASFiNAG Autobahnen- und Schnellstrassen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft. Planungshandbuch Brücke: Brücke - BAU Technische Richtlinie - Version 6.10, 2017.
- [4] Land Steiermark Fachabteilung 18b. Regeldetails für den Brückenbau, 2009.
- [5] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.03.15 Bauausführung: Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton: Fahrbahnaufbau, 2015.
- [6] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.02.12 Entwurf und Planung: Planungsgrundlage: Bemessung und Ausführung von integralen Brücken, 2018.
- [7] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 08.07.03 Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton, 2015.
- [8] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.03.12 Bauausführung: Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton: Abdichtungssysteme mit Polymerbitumenbahnen, 2015.
- [9] Austrian Standards Institute. ÖNORM B 4710-1: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität - Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton, 01.01.2018.
- [10] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.04.21 Brückenausrüstung: Brückengeländer: Anforderung an die Ausbildung und Dimensionierung, 2014.
- [11] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.04.71 Leiteinrichtungen: Vertikale Leiteinrichtungen: Fahrzeugrückhaltesysteme, 2009.
- [12] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken, Anpralllasten gemäß RVS 15.04.71, 21.12.2017.
- [13] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 05.02.31 Leiteinrichtungen: Rückhaltesysteme: Anforderungen und Aufstellung, 2007.
- [14] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. RVS 15.04.12 Brückenausrüstung: Randleisten- und Mittelstreifenkonstruktion: Verankerung in Beton, 2006.

- [15] Hilti Austria Gesellschaft m.b.H. Hilti HRB HCR HY 200-A-D Randbalkenbefestigung, 2018.
- [16] Austrian Standards Institute. ÖNORM EN 1991-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken (konsolidierte Fassung), 01.03.2012.
- [17] Austrian Standards Institute. ÖNORM B 1991-2: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-2 und nationale Ergänzungen, 01.08.2018.
- [18] Austrian Standards Institute. ÖNORM EN 1991-1-3: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten (konsolidierte Fassung), 01.12.2018.
- [19] Austrian Standards Institute. ÖNORM B 1991-1-3: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten - Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen), 01.12.2018.
- [20] Austrian Standards Institute. Önorm en 1317-2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen, 15.07.2011.
- [21] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein. SIA 2052: Bauwesen: Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHF) - Baustoffe, Bemessung und Ausführung, 01.03.2016.
- [22] Fehling Ekkehard, et al. Ultra-High Performance Concrete UHPC, 2014.
- [23] Ludwig Horst Michael. Bewertung ultrahochfester Betone unter dem Aspekt der Dauerhaftigkeit, Beton und Stahlbetonbau 100, Bd. Heft 2, 2005.
- [24] Schmidt Michael, et al. Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau, Heft 561, Sachstandsbericht Ultrahochfester Beton, 2008.
- [25] Austrian Standards Institute. ÖNORM EN 13369: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile, 01.10.2018.
- [26] TPH Bausysteme GmbH. Technisches Datenblatt PROOFMATE EK, 2018.
- [27] Österreichisches Institut für Bautechnik OIB. ETAG 001 Metalldübel zur Verankerung im Beton: Teil 6: Dübel für die Verwendung als Mehrfachbefestigung von nicht tragenden Systemen, 2013.
- [28] Austrian Standards Institute. ÖNORM EN ISO 3506-1: Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen - Regelgewinde und Feingewinde - (ISO/DIS 3506-1:2018), 15.02.2018.
- [29] Austrian Standards Institute. ÖNORM EN 12390-5: Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern, 15.10.2017.
- [30] Austrian Standards Institute. ÖNORM EN 12390-5: Prüfung von Festbeton - Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern, 15.10.2017.
- [31] Philipp Hadl. *Zum besseren Verständnis der Streuung des Zugtragverhaltens von stahlfaserbewehrtem Normalbeton und Ultra-Hochleistungsbeton*. Dissertation, Technische Universität Graz, Graz, 2017.

- [32] Google Inc. Google Maps 2018, 2018.
- [33] IKK Kaufmann - Kribernegg ZT-GmbH. Ausschreibungsplanung 2017, 2017.
- [34] Rauter - Kirchdorfer Concrete Solutions . *3Dstandard – Model – 000*, 2018.

## A. Kleinversuche Zapfenverbindung

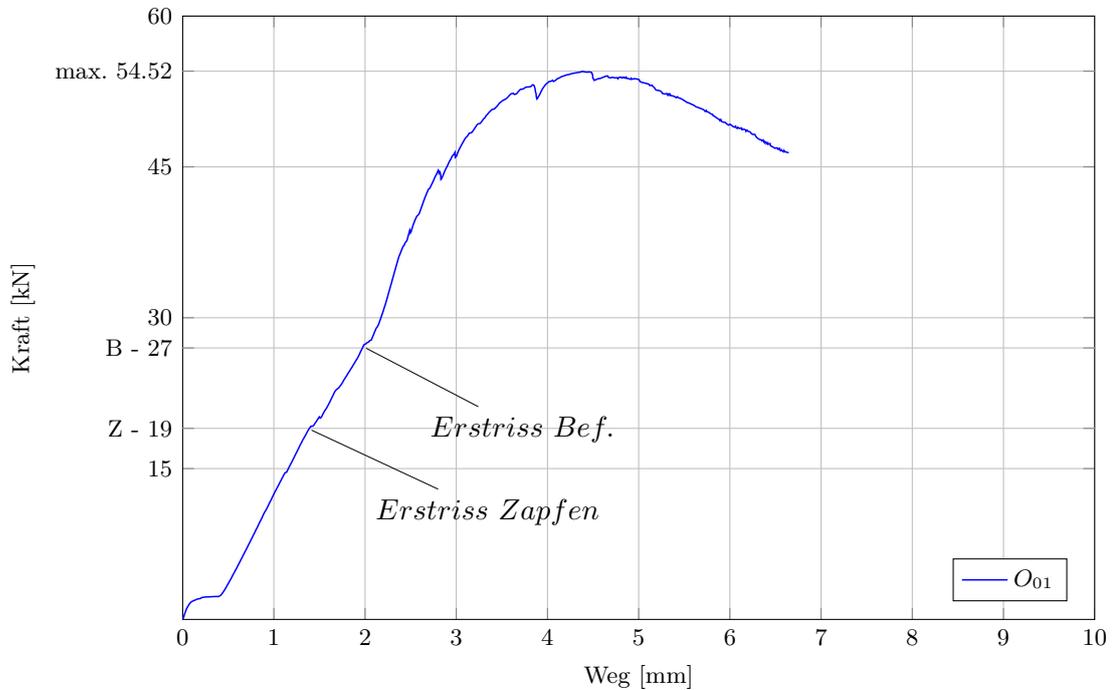
In diesem Anhang, werden die einzelnen Verbindungen des experimentellen Programms mit den maximalen Prüflasten und der Rissentwicklung dargestellt und beschrieben. Hierbei werden die ersten sichtbaren Erstrisse während der Versuchsdurchführung am Zapfenelement und dem Befestigungselement gekennzeichnet. Weiters wird jeweils die Rissbildung und -entwicklung grafisch dargestellt.

Bei allen Versuchen, hat sich gezeigt, dass die Rissbildung annähernd gleich ist. Im Zapfenelement entstehen beidseitig geneigte Risse, im Bereich der Kontaktfläche, welche sich bis zur Zapfenmitte weiter fortpflanzen.

Am Befestigungselement, kommt es zu einer Rissbildung an der Oberseite der Rückwand, welche sich bis zur Vorderseite fortpflanzt. Hierbei kommt es zu einer Rissbildung über die komplette Querschinttshöhe.

**Zugversuch  $O_{01}$**

Diese Verbindung hatte eine gute Passgenauigkeit. Beim Befestigungselement, war bereits durch das Ausschalen ein kleiner Riss im Bereich der Aussparung für die Befestigung vorhanden. Dieser hat sich während der Prüfung nicht weiterentwickelt und nahm keinen Einfluss auf die maximale Prüflast.



**Abb. A.1.:** Zugversuch  $O_{01}$

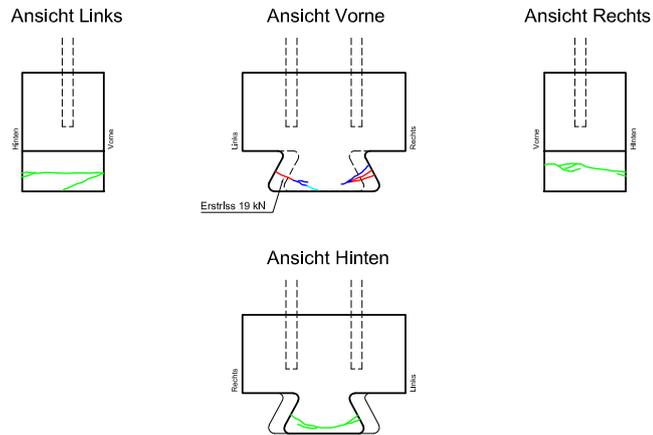
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$O_{01}$	10.07.2018	27.07.2018	17	19	27	54.52

**Tab. A.1.:** Versuchsergebnisse  $O_{01}$

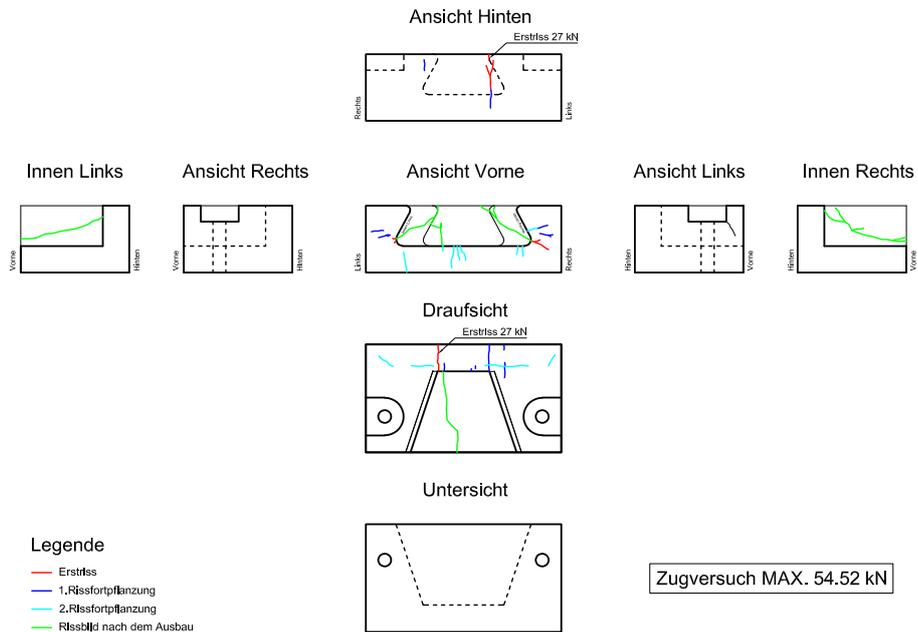
Der Erstriss am Zapfen entstand bei einer Prüflast von 19 kN, auf der linken vorderen Seite. Darauf folgend entstanden weitere Risse am Zapfen rechts, im Bereich der Kontaktfläche. Bei einer Prüflast von 27 kN, entstand der Erstriss auf der Oberseite der Rückwand des Befestigungselementes. Nach weiterer Belastung, setzten sich die Risse am Zapfen weiter fort. Ab einer Prüflast von 42 kN, entstanden die Risse in den Ausrundungen, links und rechts unten, am Befestigungselement.

# Rissbildung - Versuch O<sub>01</sub>

## Zapfenelement



## Befestigungselement

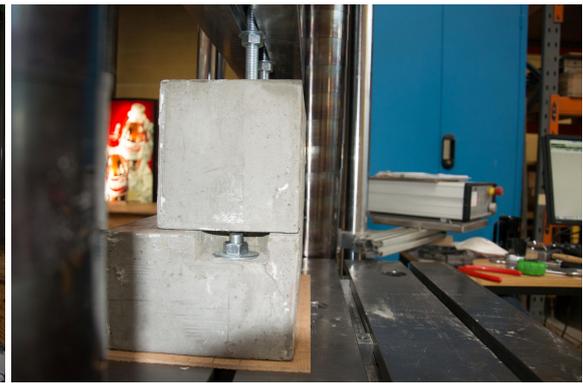


- Legende**
- Erststiss
  - 1. Rissfortpflanzung
  - 2. Rissfortpflanzung
  - Rissbild nach dem Ausbau

Abb. A.2.: Rissbild O<sub>01</sub>



(a) Versuchsaufbau



(b) Seitenansicht



(c) Gesamttrissbild



(d) Zapfenrückseite



(e) Innenseite Links

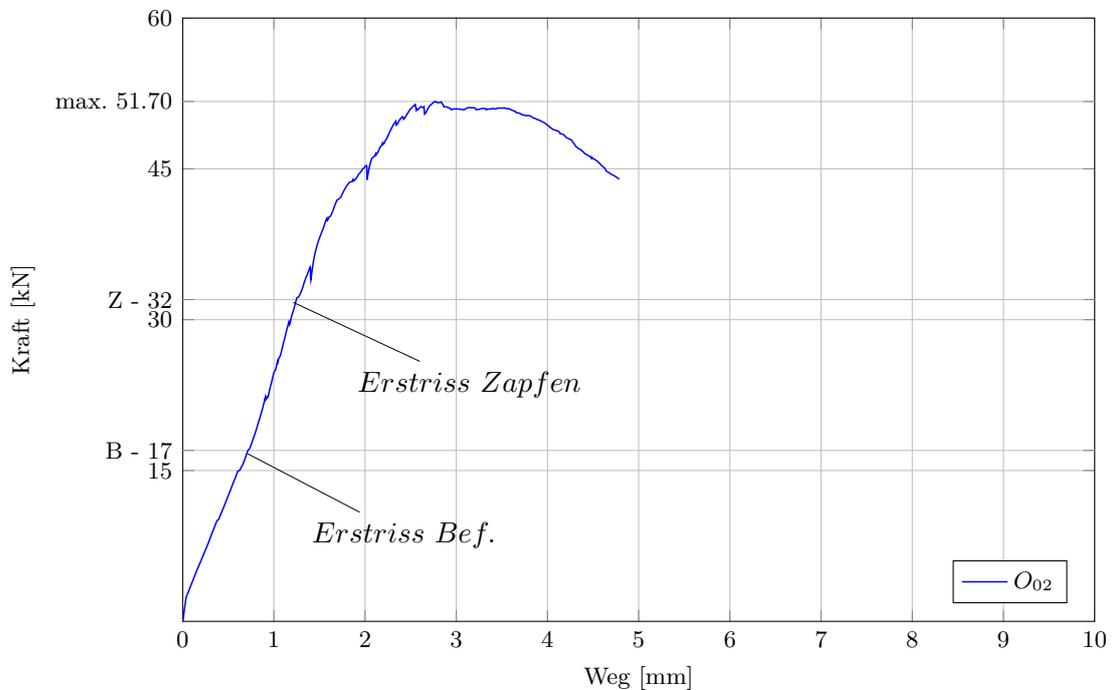


(f) Innenseite Rechts

**Abb. A.3.:** Versuch  $O_{01}$

**Zugversuch  $O_{02}$**

Bei diesem Zugversuch, gab es kleine Ungenauigkeiten. Hier ist, in der Draufsicht gesehen, der Zapfen auf der rechten Seite um 2 mm hervor gestanden. Dies wirkte sich jedoch nicht auf die maximale Prüflast aus.



**Abb. A.4.:** Zugversuch  $O_{02}$

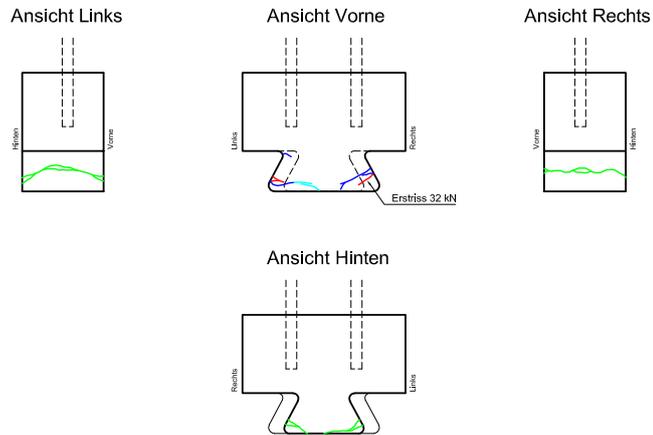
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$O_{02}$	10.07.2018	30.07.2018	20	32	17	51.70

**Tab. A.2.:** Versuchsergebnisse  $O_{02}$

Der Erstriss am Befestigungselement links vorne, ist bei einer Prüflast von 17 kN entstanden. Der Erstriss am Zapfen rechts, ist bei einer Prüflast von 32 kN entstanden. Nach weiterer Belastung, ist der Riss an der Oberseite des Befestigungselementes gebildet. Anschließend folgten die Risse am Zapfen links vorne und seitlich links am Befestigungselement.

## Rissbildung - Versuch O<sub>02</sub>

### Zapfenelement



### Befestigungselement

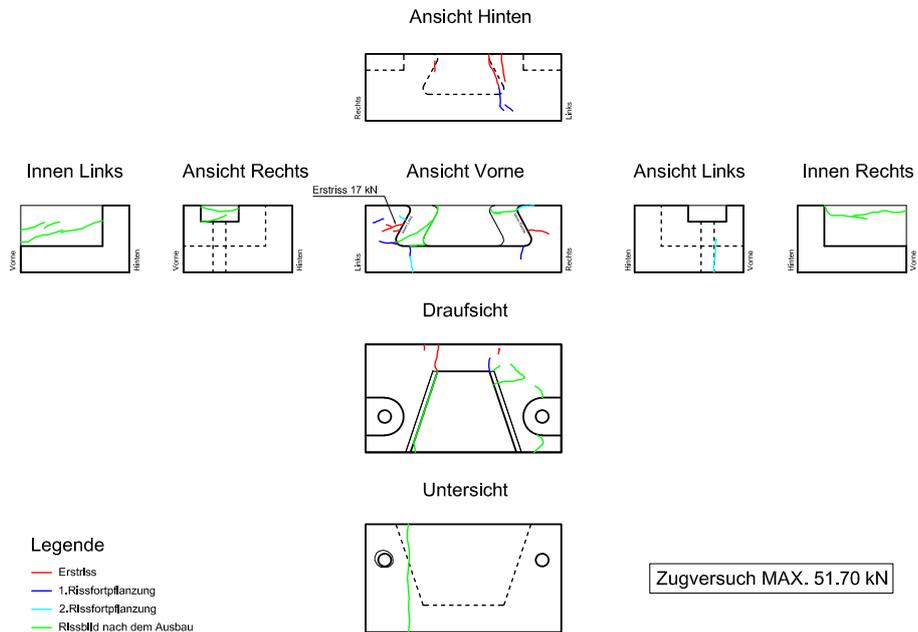
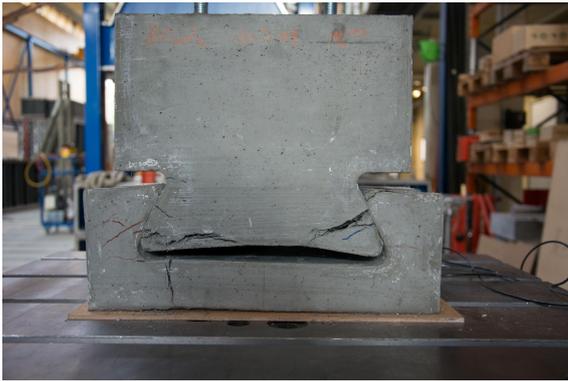


Abb. A.5.: Rissbild O<sub>02</sub>



(a) Gesamttrissbild



(b) Zapfenvorderseite



(c) Zapfenrückseite



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen

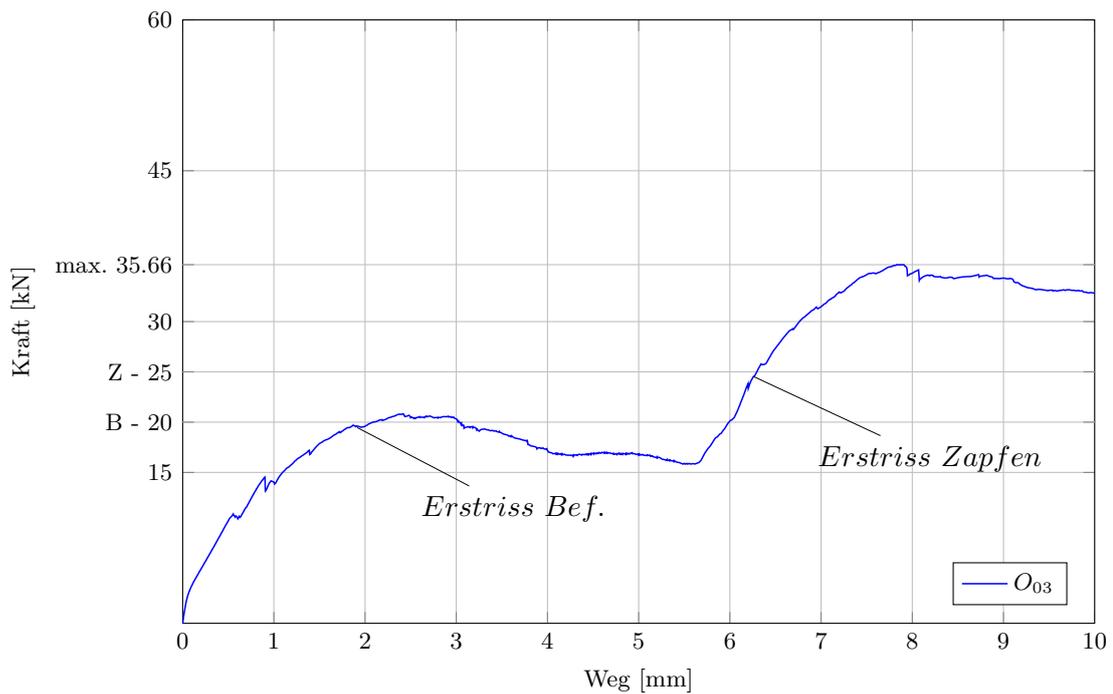


(f) Seite

**Abb. A.6.:** Versuch  $O_{02}$

**Zugversuch  $O_{03}$**

Nach den bereits geprüften Verbindungen und den dadurch entstandenen Rissbildern, wurde bei diesem versucht, den Kontaktpunkt beziehungsweise die Rissbildung in den oberen Bereich zu verlagern. Dies wurde zuerst mit einem Blechstreifen mit einer Abmessung von  $b = 25 \text{ mm} \times t = 1,0 \text{ mm}$  versucht. Hierbei zeigten sich im Kontaktpunkt eine Verschlechterung der Reibkraftübertragung und ein Herausrutschen des Zapfens aus der Verbindung. Um die Reibung zu erhöhen, wurde der Blechstreifen durch einen Holzfaserstreifen ersetzt. Anhand der kleineren Kontaktfläche, konnte kein Reibungsverbund hergestellt werden und kam es somit zu einem geringeren Prüflast.



**Abb. A.7.:** Zugversuch  $O_{03}$

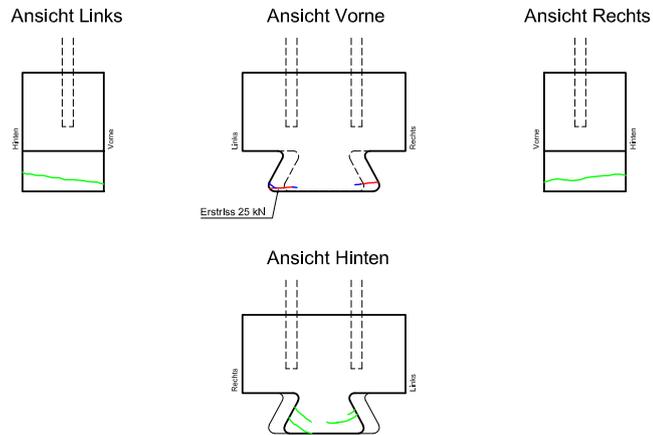
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$O_{03}$	16.07.2018	31.07.2018	15	25	20	35.66

**Tab. A.3.:** Versuchsergebnisse  $O_{03}$

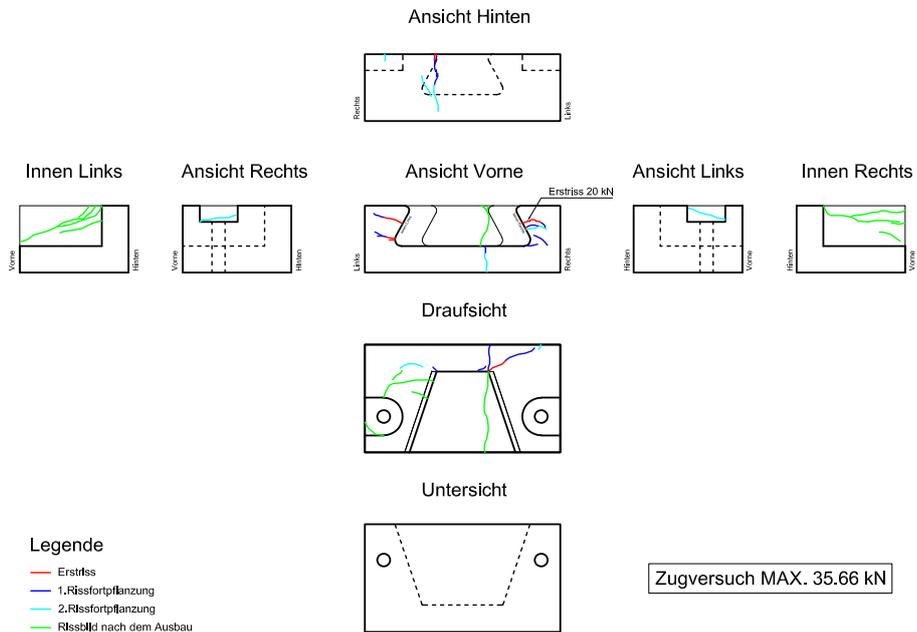
Der erste sichtbare Riss am Befestigungselement, trat bei einer Prüflast von  $20 \text{ kN}$  links und rechts vorne auf. Kurzzeitig darauf, bildeten sich an der Oberseite rechts, bei der Rückwand des Befestigungselementes, ein Riss. Nach weiterer Belastung bildeten sich bei  $25 \text{ kN}$ , zuerst ein Riss auf der linken Seite, und darauffolgend auf der rechten Seite des Zapfens. Abschließend, bildeten sich, vorne rechtes unten, die Risse am Befestigungselement.

# Rissbildung - Versuch O<sub>03</sub>

## Zapfenelement



## Befestigungselement



- Legende**
- Erststiss
  - 1. Rissfortpflanzung
  - 2. Rissfortpflanzung
  - Rissbild nach dem Ausbau

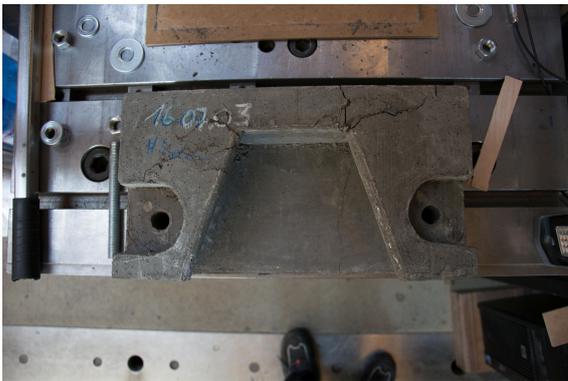
Abb. A.8.: Rissbild O<sub>03</sub>



(a) Gesamtrissbild



(b) Zapfenrückseite



(c) Befestigung Draufsicht



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen links

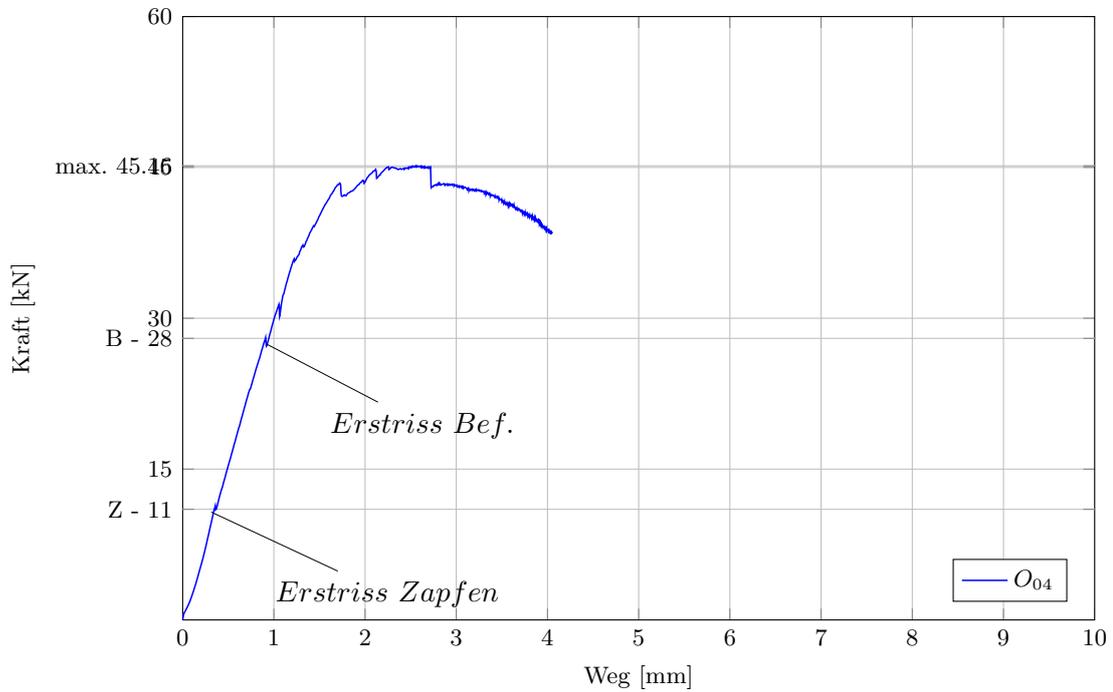


(f) Innen rechts

**Abb. A.9.:** Versuch  $O_{03}$

**Zugversuch  $O_{04}$**

Dieser Versuchsaufbau saß perfekt ineinander.



**Abb. A.10.:** Zugversuch  $O_{04}$

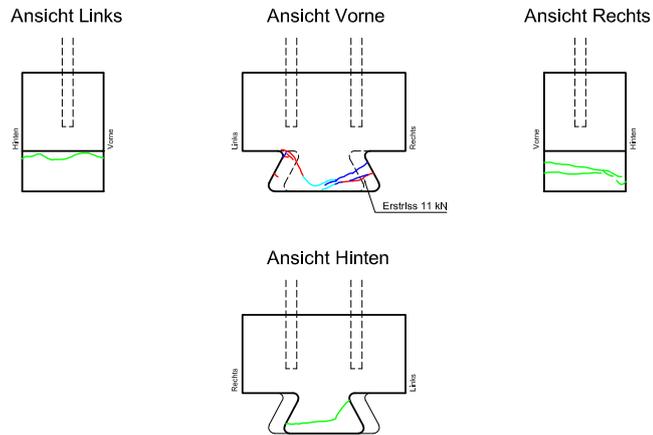
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$O_{04}$	16.07.2018	31.07.2018	15	11	28	45.16

**Tab. A.4.:** Versuchsergebnisse  $O_{04}$

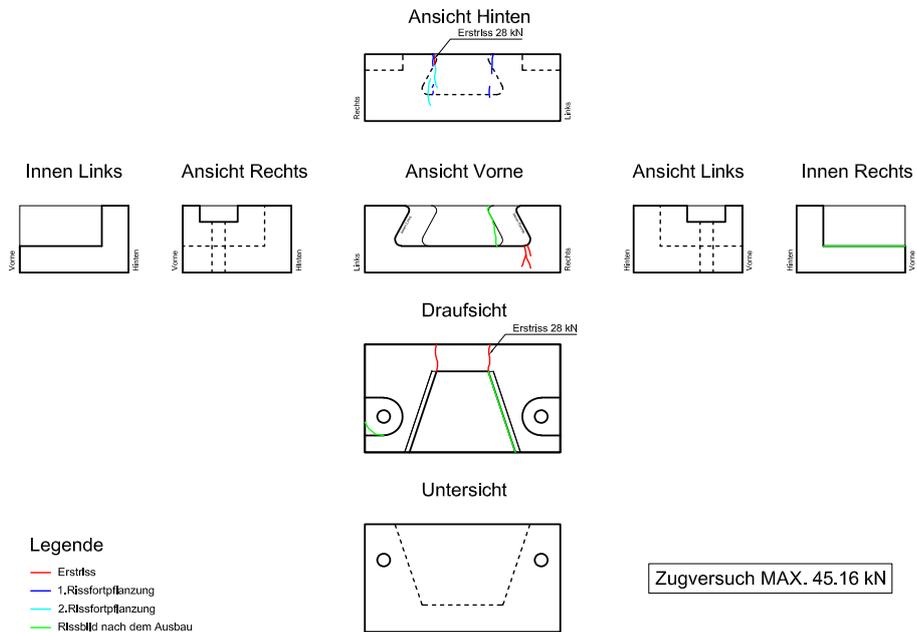
Der erste sichtbare Riss bildete sich, im rechten Bereich des Zapfens, bei einer Prüflast von 11 kN. Der nachfolgende Riss bildet sich, an der Oberseite der Rückwand des Befestigungselementes, bei einer Prüflast von 28 kN. Nach weiterer Belastung, entstand ein zweiter Riss an der Oberseite. Darauf folgend bildete sich, am Zapfen, ein diagonaler Riss, von der Ausrundung, links oben, bis zur Zapfenmitte. Anschließend entwickelte sich, der Riss im Zapfen rechts weiter. Kurz vor Erreichen der maximalen Prüflast, entstand vorne rechts unten, am Befestigungselement ein Riss, welcher bis zur Rückwand des Schlitzes führt.

# Rissbildung - Versuch O<sub>04</sub>

## Zapfenelement



## Befestigungselement

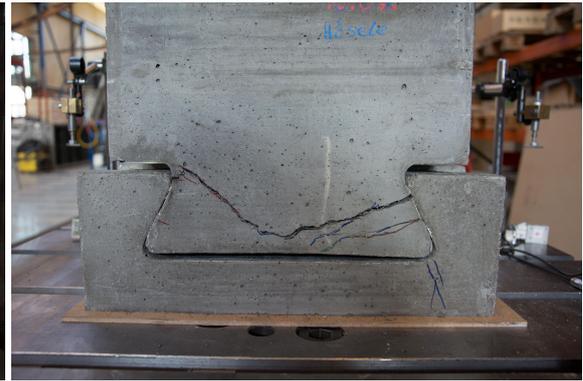


- Legende**
- Erststiss
  - 1. Rissfortpflanzung
  - 2. Rissfortpflanzung
  - Rissbild nach dem Ausbau

Abb. A.11.: Rissbild O<sub>04</sub>



(a) Versuchsaufbau



(b) Gesamttrissbild



(c) Zapfenrückseite



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen links

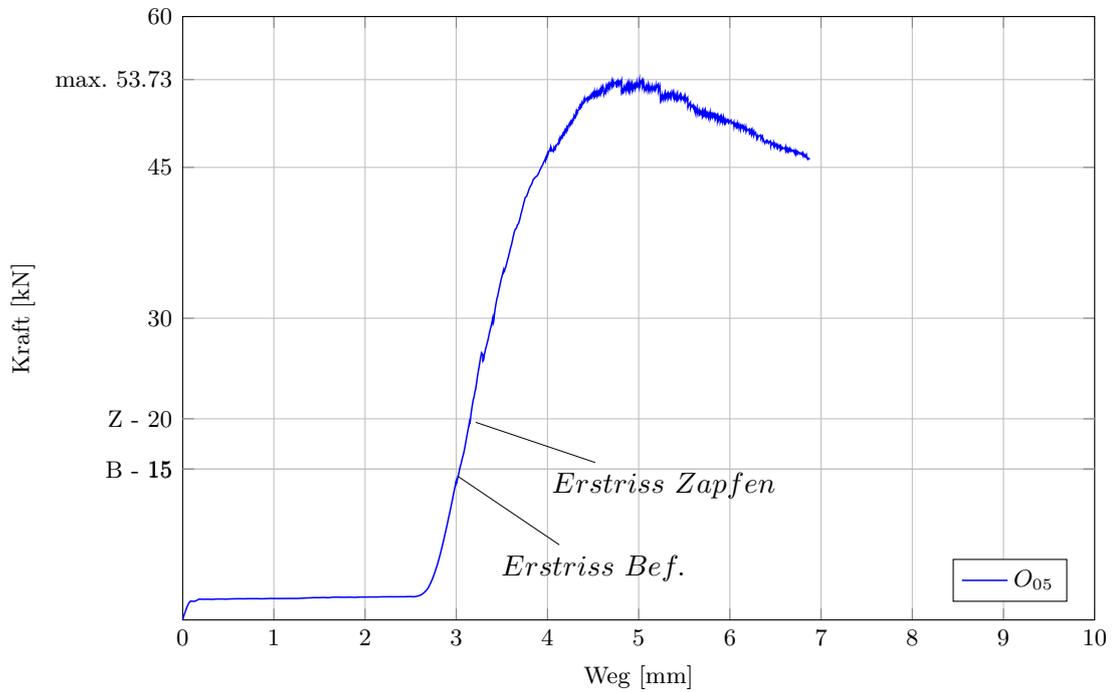


(f) Innen rechts

Abb. A.12.: Versuch  $O_04$

**Zugversuch  $O_{05}$**

Dieser Versuchsaufbau saß perfekt ineinander.



**Abb. A.13.:** Zugversuch  $O_{05}$

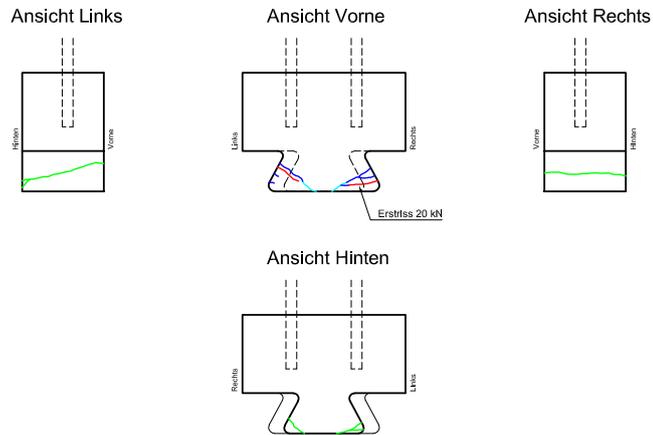
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$O_{05}$	19.07.2018	21.08.2018	33	20	15	53.73

**Tab. A.5.:** Versuchsergebnisse  $O_{05}$

Der erste sichtbare Riss, an der Oberseite der Rückwand des Befestigungselements, ist bei einer Prüflast von 15 kN entstanden. Nach geringer Laststeigerung, bildete sich der Erstriss am Zapfen rechts. Darauf folgend, bildete sich ein zweiter Riss, am Zapfen rechts, und anschließend Risse ,vorne links und unten links, am Befestigungselement. Nach weiterer Belastung, entstanden zwei Riss am Zapfen links. Der Riss am Befestigungselement von der Rückwand bis zur Vorderseite, geht über die gesamte Querschnittshöhe.

# Rissbildung - Versuch O<sub>05</sub>

## Zapfenelement



## Befestigungselement

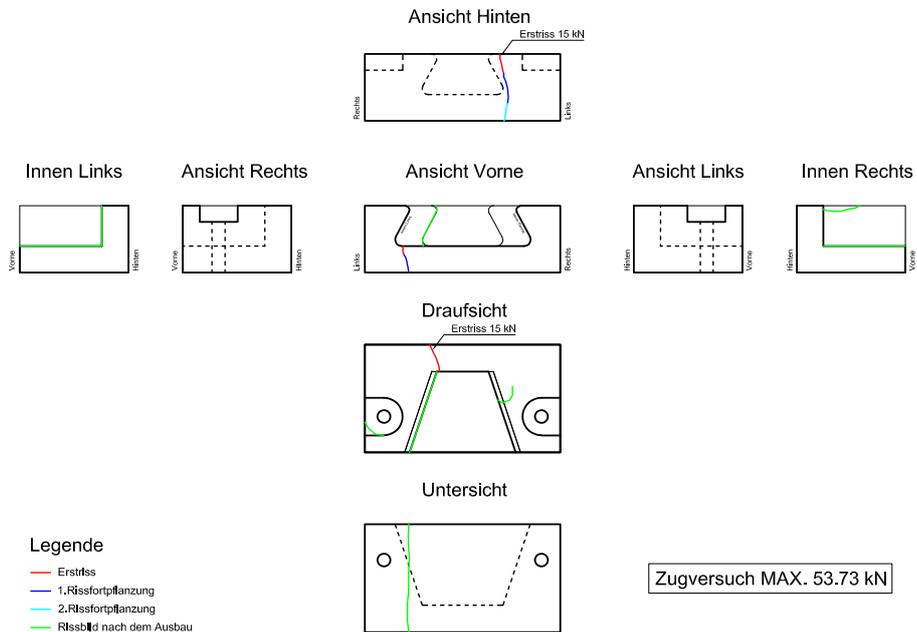


Abb. A.14.: Rissbild O<sub>05</sub>



(a) Gesamttrissbild



(b) Zapfenvorderseite



(c) Zapfenrückseite



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen

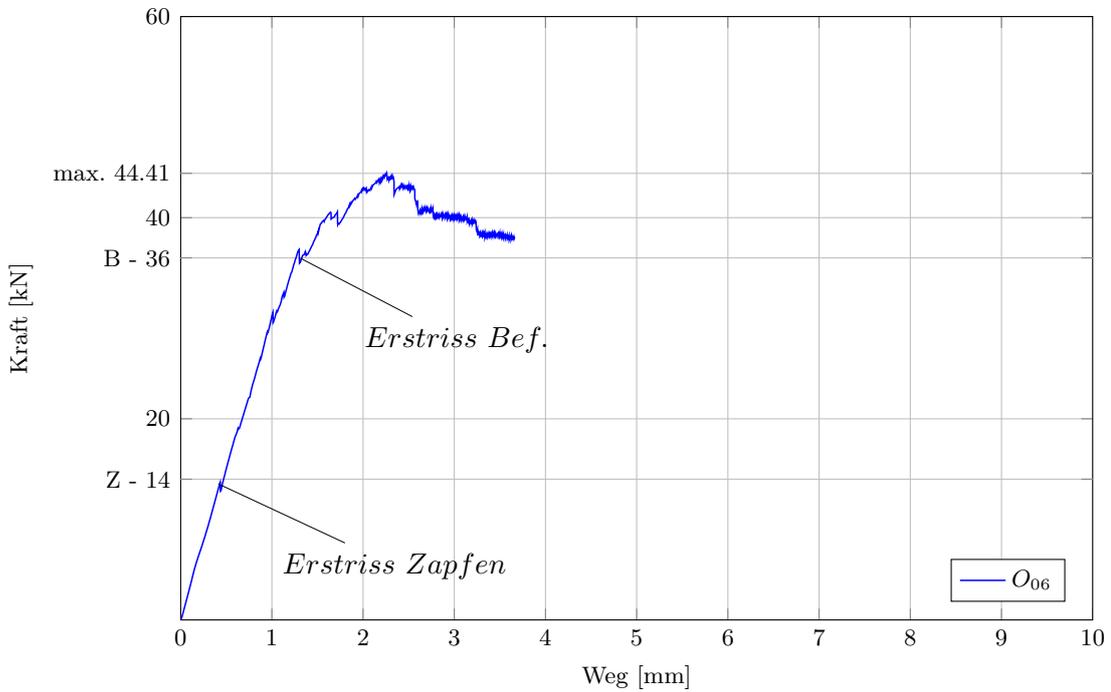


(f) Unterseite

**Abb. A.15.:** Versuch  $O_{05}$

**Zugversuch  $O_{06}$**

Dieser Versuchsaufbau saß perfekt ineinander.



**Abb. A.16.:** Zugversuch  $O_{06}$

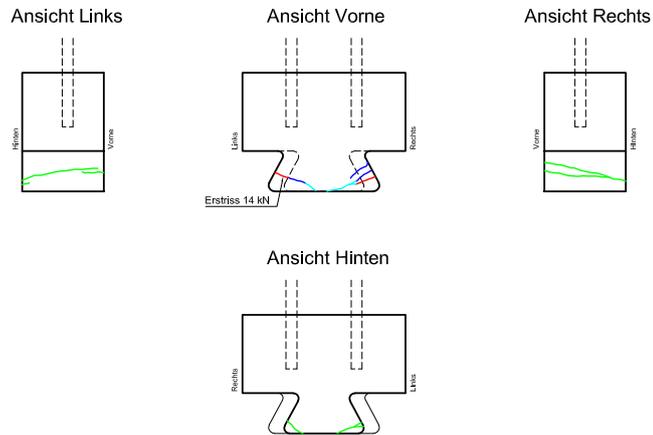
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$O_{06}$	19.07.2018	27.07.2018	33	14	36	44.41

**Tab. A.6.:** Versuchsergebnisse  $O_{06}$

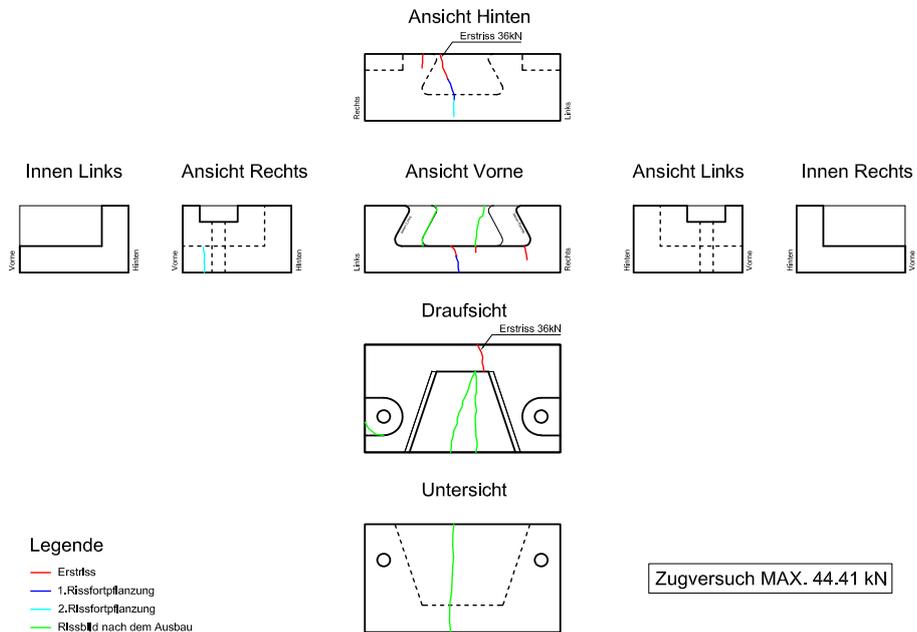
Zu dem Erstriss, am Zapfen links, kam es bei einer Prüflast von 14 kN. Nach zusätzlicher Belastung, bildete sich gegenüberliegend am Zapfen, ein weiterer Riss. Anschließend, kam es zur Erstrissbildung an der Oberseite der Rückwand, bei einer Prüflast von 36 kN. Weiters folgte ein Riss am Befestigungselement, rechts vorne und rechts unten. Anschließend, bildete sich ein zweiter Riss, an der Oberseite der Rückwand links und an der Vorderseite unten. Der Riss am Befestigungselement von der Rückwand bis zur Vorderseite, geht über die gesamte Querschnittshöhe.

# Rissbildung - Versuch O<sub>06</sub>

## Zapfenelement

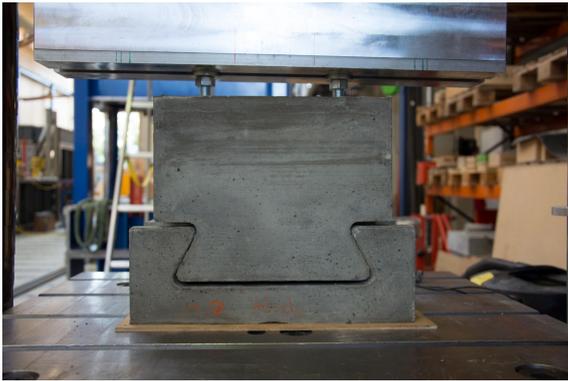


## Befestigungselement

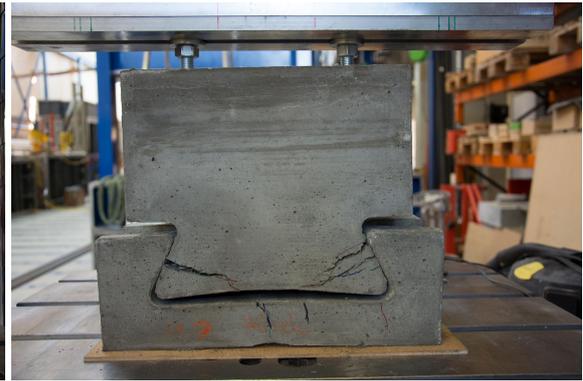


- Legende**
- Erststiss
  - 1. Rissfortpflanzung
  - 2. Rissfortpflanzung
  - Rissbild nach dem Ausbau

Abb. A.17.: Rissbild O<sub>06</sub>



(a) Versuchsaufbau



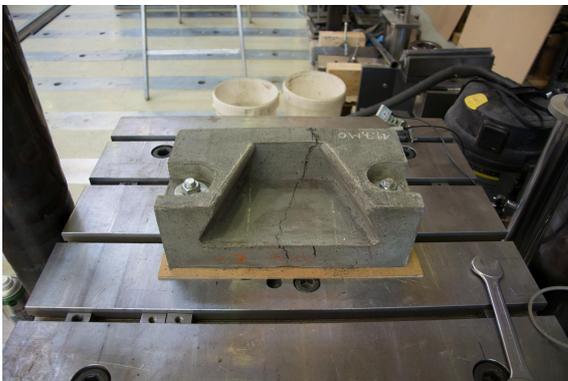
(b) Gesamttrissbild



(c) Zapfenrückseite



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen

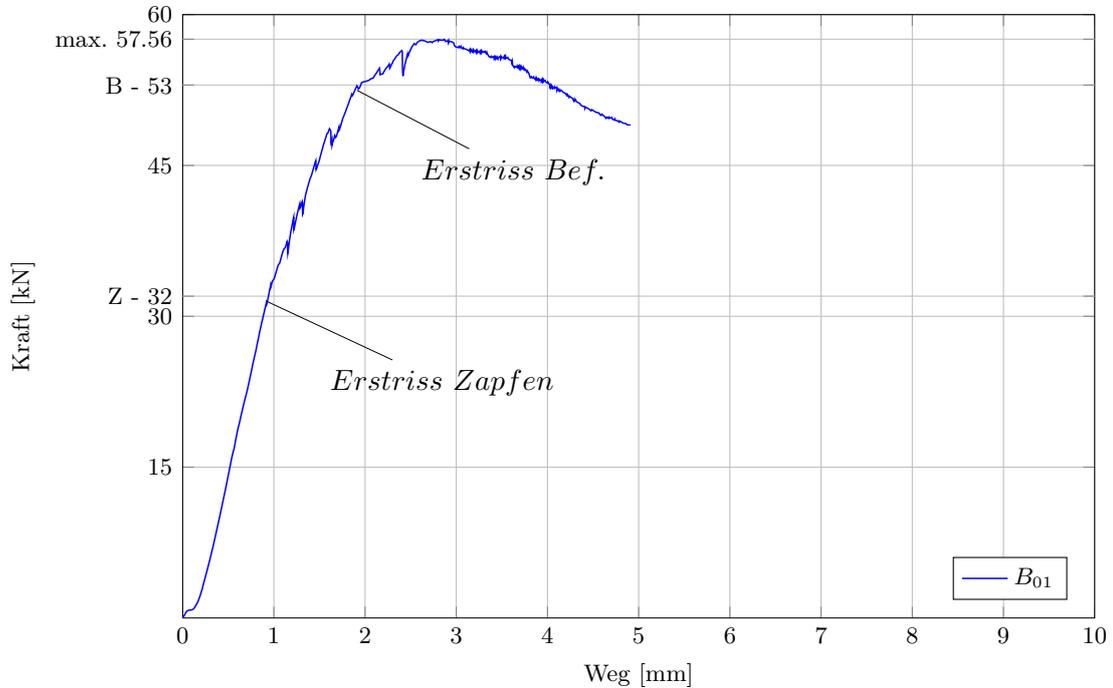


(f) Draufsicht

Abb. A.18.: Versuch  $O_{06}$

**Zugversuch  $B_{01}$**

Bei diesem Zugversuch befindet sich ein Bewehrungskorb im Zapfen und im Befestigungselement. Die beiden Elemente passten perfekt ineinander.



**Abb. A.19.:** Zugversuch  $B_{01}$

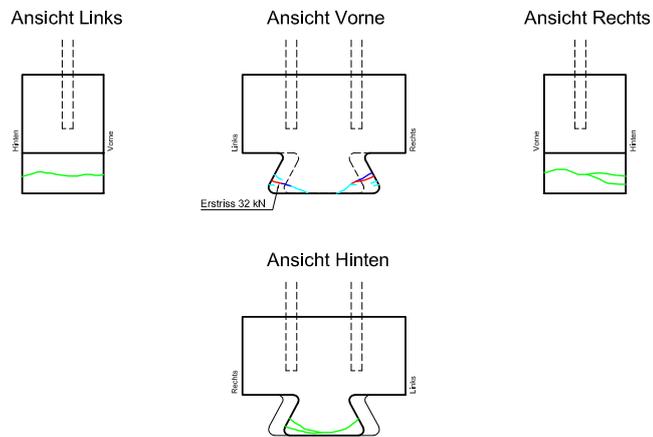
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$B_{01}$	13.07.2018	30.07.2018	17	32	53	57.56

**Tab. A.7.:** Versuchsergebnisse  $B_{01}$

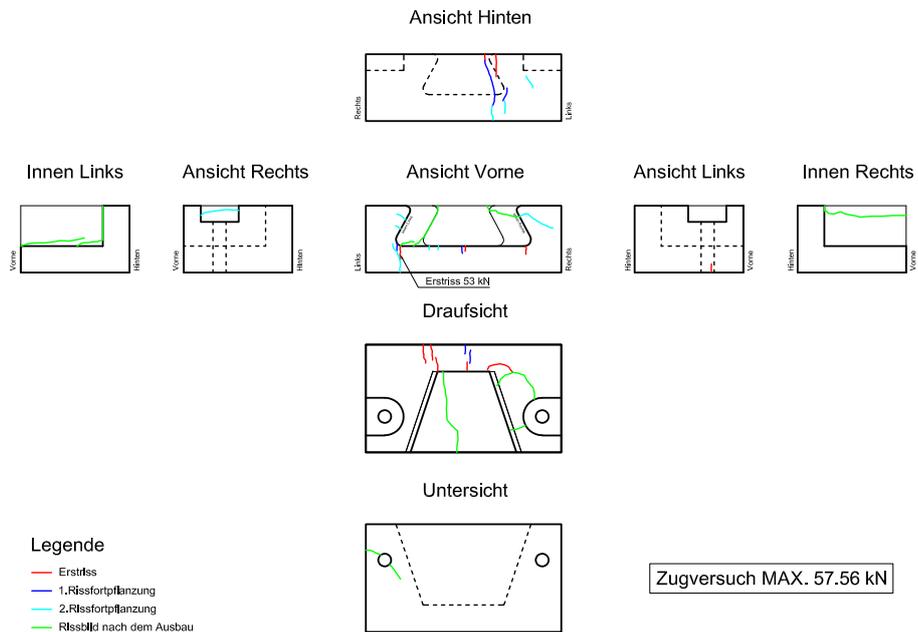
Der Erstriss, am Zapfen rechts, entstand bei einer Prüflast von 32 kN. Anschließend, bildete sich ein Riss, gegenüberliegend am Zapfen. Nach weiterer Belastung, bildeten sich die Risse, bei einer Prüflast von 53 kN im Oberen Bereich der Rückwand und an der Vorderseite, links, rechts und mittig, am Befestigungselement.

## Rissbildung - Versuch B<sub>01</sub>

### Zapfenelement



### Befestigungselement



- Legende
- Erststiss
  - 1. Rissfortpflanzung
  - 2. Rissfortpflanzung
  - Rissbild nach dem Ausbau

Abb. A.20.: Rissbild B<sub>01</sub>



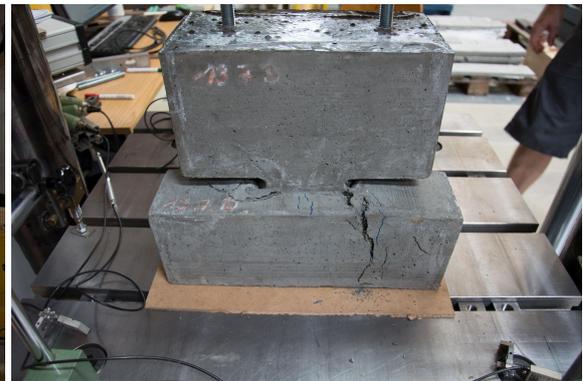
(a) Gesamttrissbild



(b) Zapfenrückseite



(c) Befestigung Unten



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen links

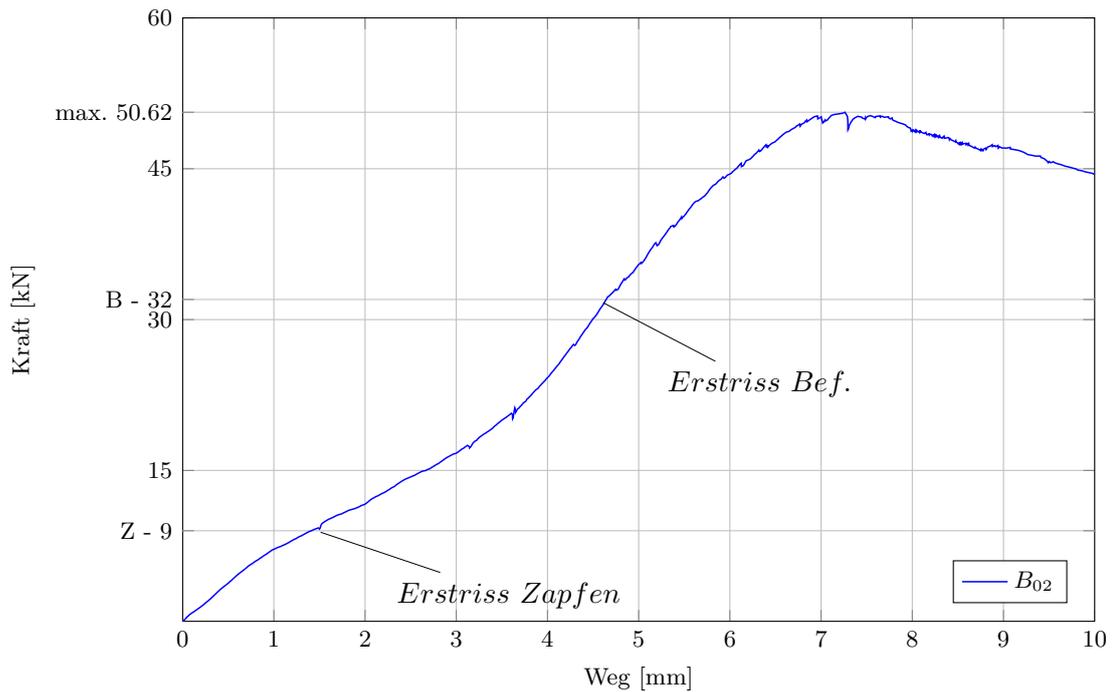


(f) Innen rechts

**Abb. A.21.:** Versuch  $B_{01}$

**Zugversuch  $B_{02}$**

Bei diesem Zugversuch befindet sich ein Bewehrungskorb im Zapfen und im Befestigungselement. Hier ist in der Draufsicht ersichtlich, dass der Zapfen auf der linken Seite um 2-3 mm hervor stand. Dies wirkte sich während des Versuches auf den ersten Kontaktpunkt aus. Dieser fand auf der rechten Seite statt. Durch diese Verdrehung des Zapfens im Schlitz, bewegt sich der Zapfen während der Prüfung gering aus der Verbindung heraus. Weiters ist durch diese einseitige Belastung das Rissbild nur auf der rechten Seite erkennbar, welches sich jedoch auf der Unterseite bis zur Rückseite verbindet. Dies hat jedoch kaum eine Auswirkung auf die aufnehmbare Prüflast der Verbindung. Diese liegt über  $50kN$ .



**Abb. A.22.:** Zugversuch  $B_{02}$

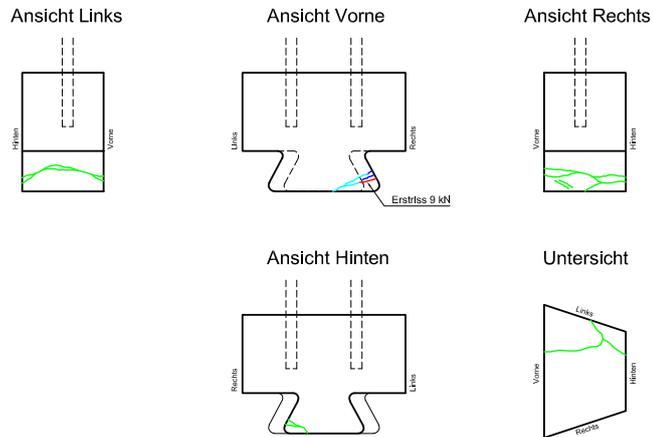
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$B_{02}$	13.07.2018	31.07.2018	18	9	32	50.62

**Tab. A.8.:** Versuchsergebnisse  $B_{02}$

Der Erstriss am Zapfen rechts, bildete sich bei einer Prüflast von  $9\text{ kN}$ . Darauf folgend, bei  $32\text{ kN}$ , bildete sich der Erstriss rechts am Befestigungselement. Nach steigender Belastung, entstanden weitere Risse im rechten unteren Bereich und an der Oberseite der Kammerwand. Durch die einseitige Belastung, entwickelte sich der Riss am Zapfen nur bis zur Zapfenmitte der Unterkante.

## Rissbildung - Versuch B<sub>02</sub>

### Zapfenelement



### Befestigungselement

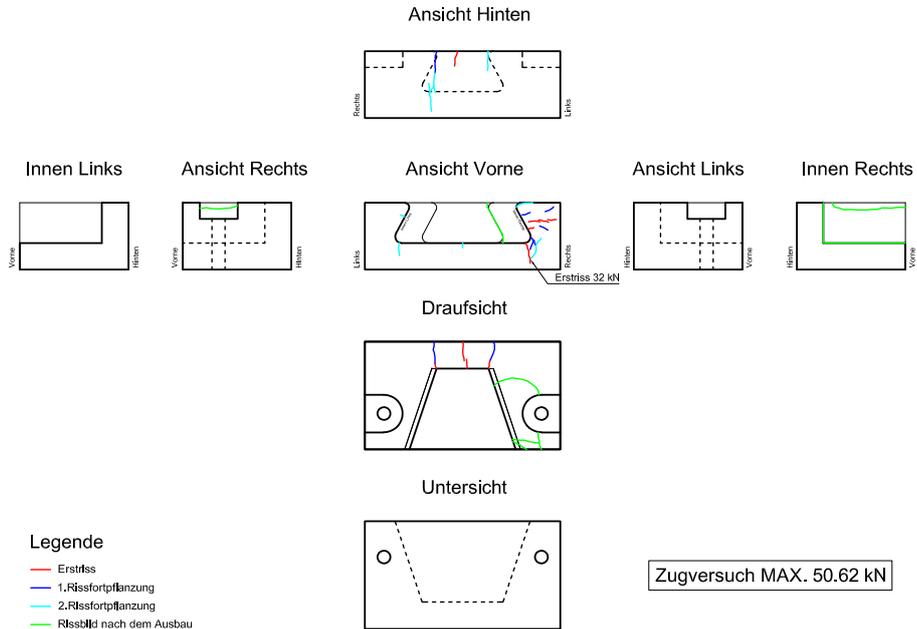
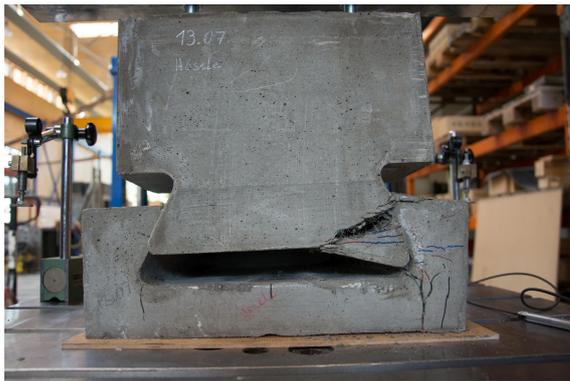


Abb. A.23.: Rissbild B<sub>02</sub>



(a) Gesamtrissbild



(b) Zapfenrückseite



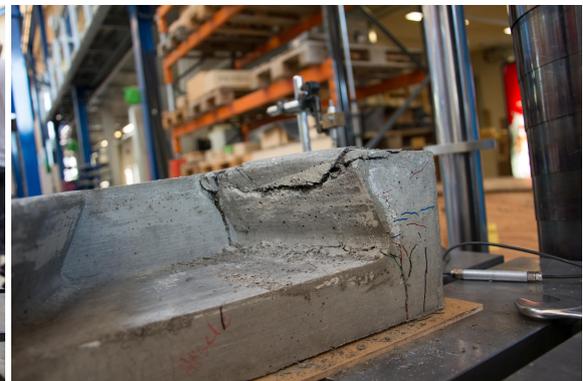
(c) Zapfen Unten



(d) Befestigung Draufsicht



(e) Befestigung Rückseite

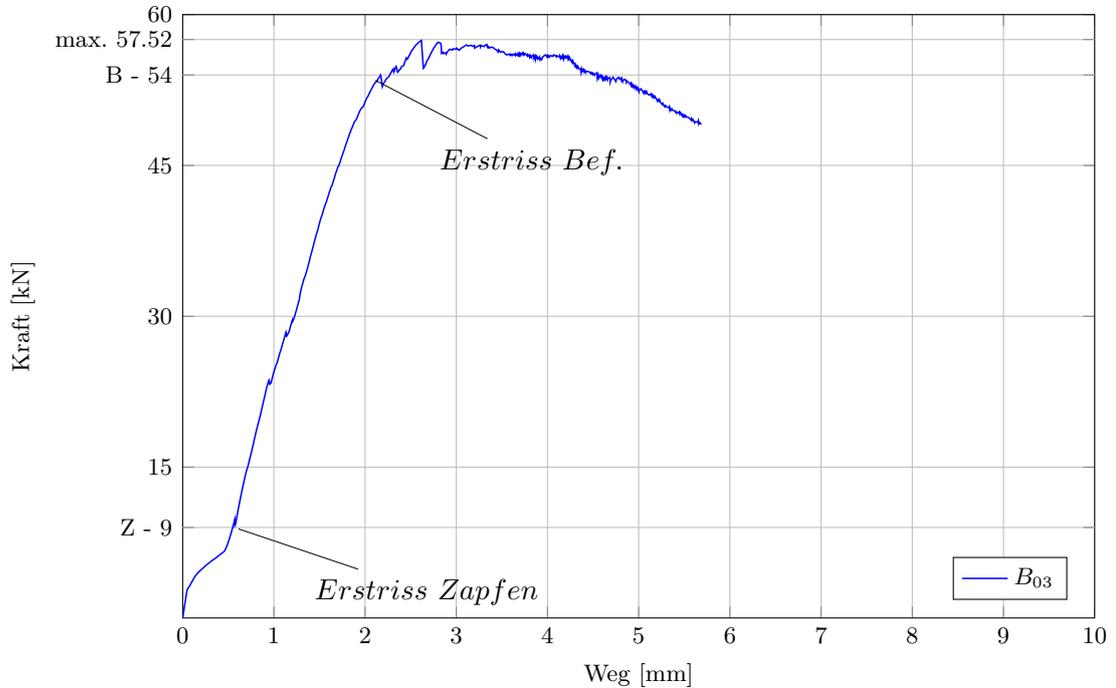


(f) Innen rechts

Abb. A.24.: Versuch  $B_{02}$

**Zugversuch  $B_{03}$**

Bei diesem Zugversuch befindet sich ein Bewehrungskorb im Zapfen. Die beiden Elemente passten perfekt ineinander.



**Abb. A.25.:** Zugversuch  $B_{03}$

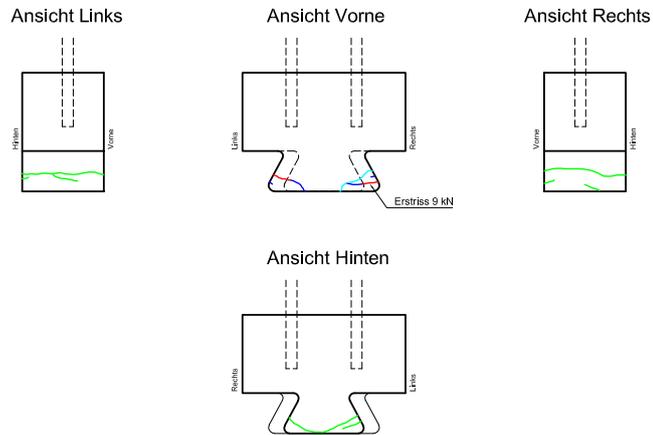
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$B_{03}$	26.07.2018	22.08.2018	22	9	54	57.52

**Tab. A.9.:** Versuchsergebnisse  $B_{03}$

Der Erstriss, am Zapfen rechts, entstand bei einer Prüflast von 9 kN. Darauf folgend bildete sich gegenüberliegend ein weiterer Riss. Bei einer Prüflast von 54 kN, entstand der Erstriss am Befestigungselement, an der Oberseite der Rückwand. Nach weiterer Belastung, bildete sich ein zusätzlicher Riss an der Oberseite der Rückwand und an der Vorderseite des Befestigungselements.

## Rissbildung - Versuch B<sub>03</sub>

### Zapfenelement



### Befestigungselement

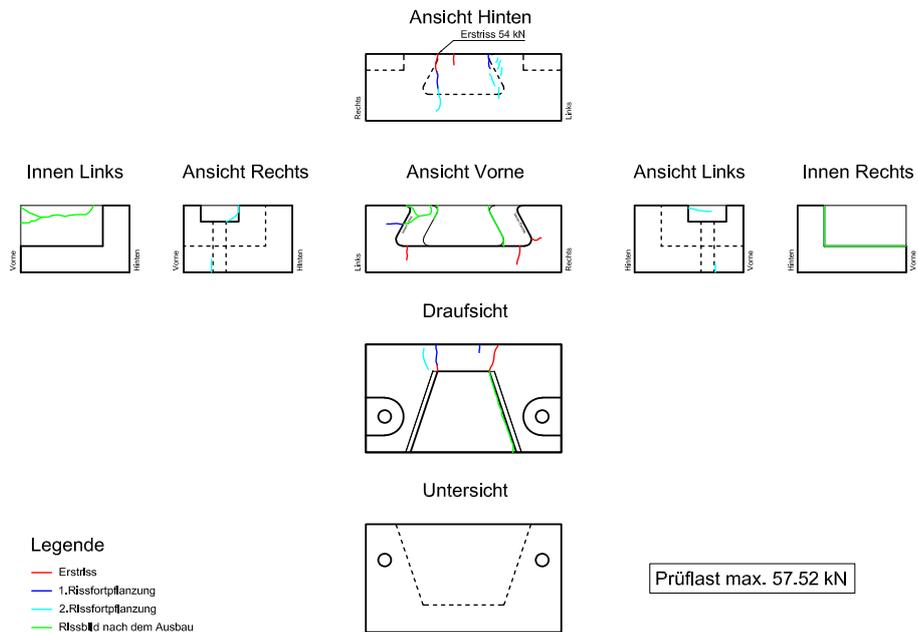


Abb. A.26.: Rissbild B<sub>03</sub>



(a) Gesamttrissbild



(b) Zapfenrückseite



(c) Befestigung Draufsicht



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen rechts

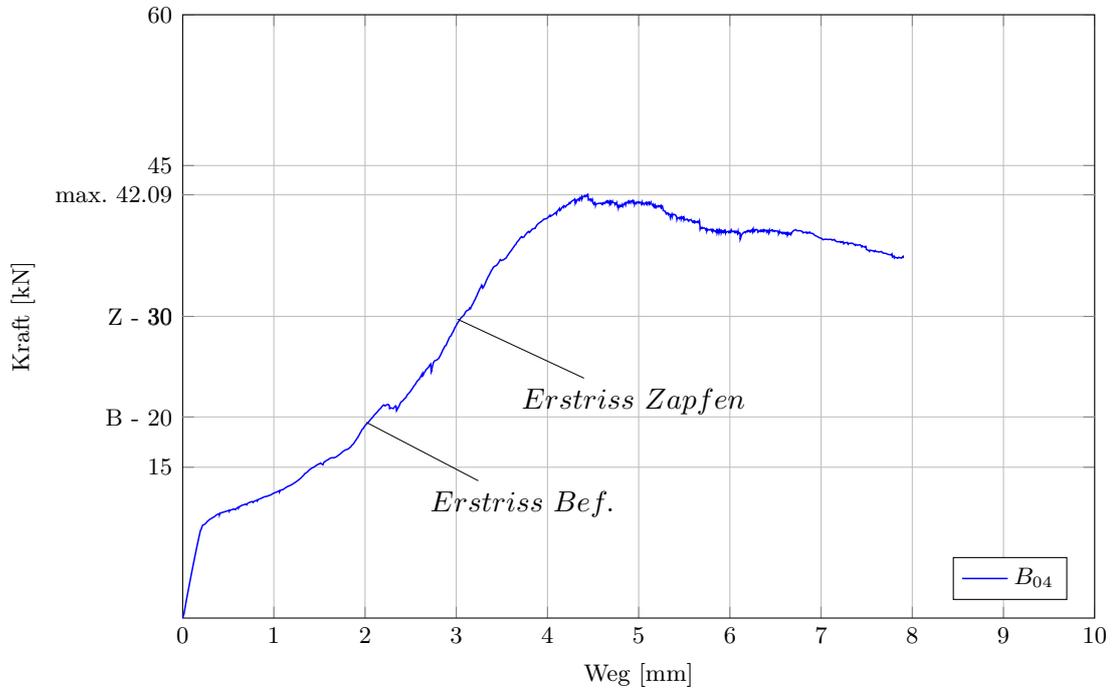


(f) Befestigung Seite

Abb. A.27.: Versuch  $B_{03}$

**Zugversuch  $B_{04}$**

Dieser Zugversuch weißt einen Bewehrungskorb im Zapfen auf. Hier ist in der Draufsicht gesehen, der Zapfen aus der Ebene etwas hervor gestanden. Um ein Herausbewegen des Zapfens zu verhindern, wurde zu Beginn des Versuches die Lage des Zapfens fixiert. Nachdem der Reibungskontakt zwischen Zapfen und Schlitz erfolgte, wurde die Fixierung gelöst.



**Abb. A.28.:** Zugversuch  $B_{04}$

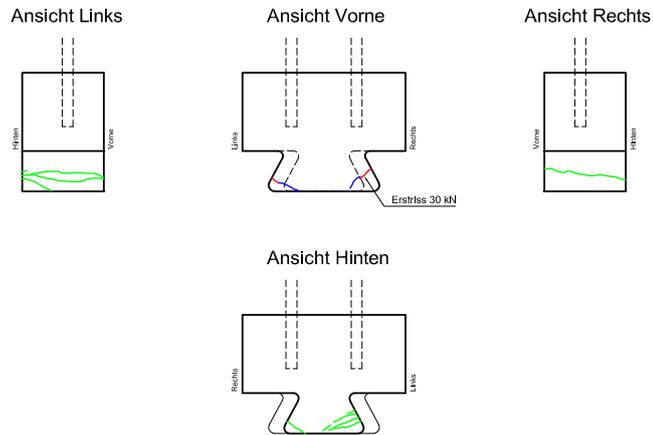
Bez.	Herstelldatum	Prüfdatum	Prüfalter [d]	Erstriss Zapfen[kN]	Erstriss Bef.[kN]	Prüflast max.[kN]
$B_{04}$	26.07.2018	22.08.2018	22	30	20	42.09

**Tab. A.10.:** Versuchsergebnisse  $B_{04}$

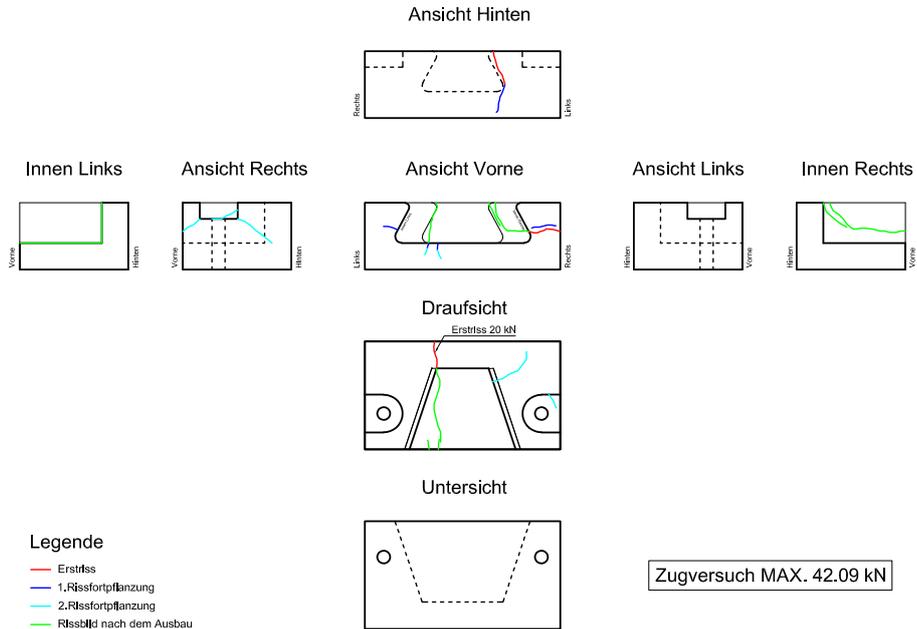
Der Erstriss am Befestigungselement, entstand bei einer Prüflast von 20 kN, an der Oberseite der Rückwand. Folgend bildete sich, vorne rechts, ein weiterer Riss. Am Zapfen rechts, kam es zur Rissbildung bei einer Prüflast von 30 kN. Am Befestigungselement, seitlich rechts, bildete sich ein diagonaler Riss, von der Aussparung der Verankerung, bis rechts unten, zur Rückseite. Darauffolgend, kam es zu mehreren Rissen an der Vorderseite.

## Rissbildung - Versuch B<sub>04</sub>

### Zapfenelement



### Befestigungselement



- Legende
- Erststiss
  - 1. Rissfortpflanzung
  - 2. Rissfortpflanzung
  - Rissbild nach dem Ausbau

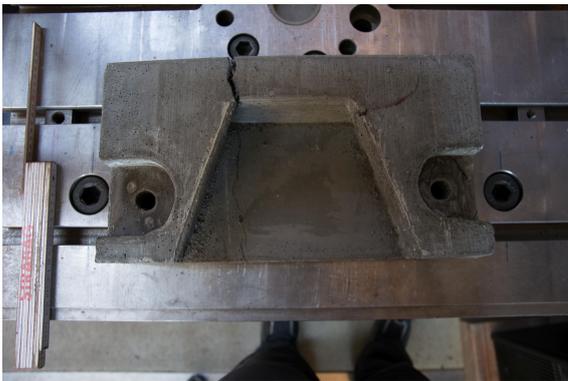
Abb. A.29.: Rissbild B<sub>04</sub>



(a) Zapfenvorderseite



(b) Zapfenrückseite



(c) Befestigung Draufsicht



(d) Befestigung Rückseite



(e) Innen



(f) Seite

Abb. A.30.: Versuch  $B_{04}$



# B. Fahrzeugrückhaltesysteme



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmwvrt)  
Abteilung IV / IV/S2 - Verkehrssicherheit und Sicherheitsmanagement Infrastruktur

Ing. Claus Ritzal  
Telefon: +43 1 711 62 Durchwahl 65 5650  
e-fax: +43 1 711 62 Durchwahl 65 65650  
e-mail: [claus.ritzal@bmwvrt.gv.at](mailto:claus.ritzal@bmwvrt.gv.at)

Stand: 21. Dez. 2017

Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken  
Anpralllasten gemäß RVS 15.04.71

Hersteller	Fahrzeug-Rückhaltesystem	Aufhalte- stufe	Mindest- aufstelllänge <sup>1</sup> [m]	ASI [-]	W [t]	min. B <sub>verf</sub> Randbaken <sup>2</sup> [m]	Einwirkungen H und M auf den Randbaken; Kraftepaar im Abstand e zugleich n-fach ansetzen				Einwirkungen h, m und v für die Kragplatte; anzusetzen als Gleichlast auf 4,0 m Länge				bmvrt - Einsatzfreigabe GZ
							H [kN]	M [kNm]	Abstand a [m]	Anzahl n	h [kN/m]	v [kN/m]	m [kNm/m]		
vaSTS	Kremsbarrier 1 R N1	N1	36,0	0,50	W2	0,3	13	5	2,00	2	10	4	6	328.040/0004-IV/IST2/15	
Leit-Schutz	Leitschutz N2 Kunstbau	N2	57,0	0,80	W4	1,0	25	15	1,90	5	13	10	15	328.040/0010-IV/IST2/13	
vaSTS	Kremsbarrier 1 R N2	N2	45,6	0,90	W5	1,25	13	5	1,90	3	10	6	12	328.040/0024-II/IST2/06	
vaSTS	Kremsbarrier 1 R N2 C	N2	34,2	1,10	W2	0,45	13	5	1,27	4	13	6	16	328.040/0015-IV/IV/S2/17	
Leit-Schutz	Leitschutz H1	H1	57	1,18	W6	1,	30	15	1,90	3	40	50	20	328.040/0010-IV/IST2/04	
vaSTS	Kremsbarrier 1 R H1 K <sup>3</sup>	H1	53,2	1,30	W4	0,5	50	40	1,90	3	35	50	20-85	328.040/0002-IV/IST2/11	
vaSTS	Kremsbarrier 1 R H1 C	H1	57	1,20	W3	0,5	40	25	1,90	4	40	65	40	328.040/0002-IV/IST2/12	
Leit-Schutz	Leitschutz H1 Kunstbau 2015	H1	57,0	1,10	W4	0,5	65	15	1,90	5	45	40	40	328.040/0005-IV/IV/S2/16	
IMEVA	H1 BP 100	H1	59,7	1,00	W3	0,65	30	25	3,20	4	40	40	40	328.040/0007-IV/IV/S2/17	
vaSTS	Kremsbarrier 1 R H2	H2	57,0	1,44	W3	0,5	40	25	1,27	3	50	50	30	327.120/66-III/A7/02	
vaSTS	Kremsbarrier 3 R H2	H2	56	1,19	W5	0,5	40	25	1,33	3	50	50	30	328.040/0004-II/IST2/05	
IMABA	Delta Bloc 60AS-R/GM	H2	78,1	1,37	W4	0,9	75	0	1,00	4	70	70	75	328.040/0005-II/IST2/05	
Fracasso	Fracasso Barriere 3n24335 <sup>4</sup>	H2	76,5	1,38	W5	0,5	130	70	2,25	3	70	140	30	328.040/0010-IV/IV/S2/16	
IMEVA	Barriera bordo laterale H2 - vincolo a piastra H2 BP 300	H2	72,0	1,11	W2	0,6	150	35	1,33	3	90	50	90	328.040/0003-II/IST2/08	
Fracasso	Fracasso Barriera 3n32122	H2	78	0,98	W4	0,6	70	40	2,25	3	45	40	75	328.040/0010-IV/IV/S2/16	
vaSTS	Kremsbarrier 2 R H2 C	H2	57,0	1,10	W3	0,65	50	20	1,27	5	60	65	45	328.040/0012-IV/IST2/13	
IMEVA	H2 BP 500	H2	57,59	0,95	W3	0,7	80	20	2,13	5	60	50	45	328.040/0001-IV/IV/S2/17	
vaSTS	Kremsbarrier 1 R H3	H3	49,4	1,31	W5	0,7	130	60	1,27	3	90	65	60	328.040/0004-II/IST2/04	
vaSTS	Kremsbarrier 3 R H3 V	H3	56	1,40	W5	0,75	90	30	1,33	5	65	100	65	328.040/0008-IV/IST2/13	

Abb. B.1.: Fahrzeugrückhaltesysteme auf Brücken - Seite 1 [12]

Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken Anpralllasten gemäß RVS 15.04.71														
Hersteller	Fahrzeug-Rückhaltesystem	Aufhalte- stufe	Mindest- aufstelllänge <sup>1</sup> [m]	ASI [-]	W [-]	min. B <sub>erf</sub> Randbalken <sup>2</sup> [m]	H [kN]	M [kNm]	Abstand a [m]	Anzahl n	h [kN/m]	v [kN/m]	m [kNm/m]	bmvt - Einsatzfreigabe GZ
IMEVA	H3 BP 400	H3	57,6	1,29	W4	0,7	150	30	2,13	5	70	100	60	328.040/0011-IV/IV/S2/16
vaSTS	Kremsbarrier 2 R H3 C	H3	57	1,10	W5	0,6	125	25	1,27	5	60	95	80	328.040/0017-IV/IV/S2/17
MABA	Delta Bloc 100AS-R6M	H4b	90,5	1,37	W5	1,25	75	0	1,00	4	70	100	100	328.040/0005-II/ST2/04
vaSTS	Kremsbarrier 3 R H4	H4b	72	0,93	W4	0,7	130	70	1,33	3	80	130	145	328.040/0005-II/ST2/06
Fracasso	Fracasso Barriera 3n31622 <sup>5</sup>	H4b	78,0	1,02	W6	1,4	100	75	1,50	3	75	95	95	328.040/0010-IV/IV/S2/16
Spengler	NJ - 110 - BW - 30	H4b	48,18	1,20	W3	1,0	150	40	3,00	4	80	95	75	328.040/0004-IV/IV/S2/17
REBLOC	RE100SF_8 H4b/W4	H4b	93,0	1,30	W4	1,25	60	0	1,00	4	60	115	100	328.040/0016-IV/IV/S2/17

Gemäß ÖNORMEN 1990 und ÖNORMEN 1991 ist für

- ständige Lasten ein Teilscheinheitswert von 1,35 und für Anpralllasten (außergewöhnliche Belastungen) ein Teilscheinheitswert von 1,00 anzusetzen.
- Veränderrliche Einwirkungen sind für Last-Kombinationen, die Anpralllasten auf Fahrzeug-Rückhaltesysteme (FRS) beinhalten, zu vernachlässigen.

<sup>1</sup> Länge der Regelleider (ohne etwaige Absenkungen, Rampenelemente, etc.)

<sup>2</sup> Minimal erforderliche Breite des Randbalkens bei Aufstellung des FRS am Fahrbahnrand.

<sup>3</sup> Ist im Wirkungsbereich des FRS ein Geländer angebracht, wirkt sich dies in der Regel positiv auf die Rückhaltefähigkeit aus; die anzusetzenden Kräfte können unverändert beibehalten werden.

<sup>4</sup> Die Aufstellung des FRS erfolgt stets am äußersten Brückenrand. Das Moment für die Kragplatte wurde deshalb in Abhängigkeit zur Randbalkenbreite berechnet:

- B ≤ 0,75 m / m = 20 kNm
- B ≤ 1,25 m / m = 45 kNm
- B ≤ 1,75 m / m = 65 kNm
- B > 1,75 m / m = 85 kNm

<sup>5</sup> Die Einwirkungen auf das Brückentragwerk liegen deutlich über dem Durchschnitt vergleichbarer, bisher zum Einsatz freigegebener FRS derselben Rückhalteklasse. Die **Einsatzfreigabe** wird deshalb für Neubau und Generalinstandsetzungen erteilt. Für **Bestandsobjekte** ist in jedem Fall ein **Tragfähigkeitsnachweis** zu führen.

<sup>6</sup> - das **Bohrloch** ist mit  $\varnothing$  18 mm, bis zu einer **Bohrtiefe von 130 ± 5 mm** herzustellen;

- ein **Mehrverbrauch an Klebmittel** gegenüber  $\varnothing$  16 mm-Bohrlöchern von **ca. 25 %** ist einzukalkulieren;

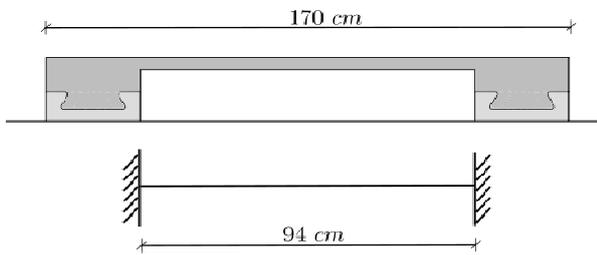
- es ist zu berücksichtigen, dass das System eine Randbalkenbreite von **1,40 m** erfordert welche über der Regelrandbalkenbreite von **1,25 m** liegt.

Abb. B.2.: Fahrzeugrückhaltesysteme auf Brücken - Seite 2 [12]

## **C. Berechnung Begleitprojekt**

## Modellierung und Bemessung

### Randbalken LÄNGS



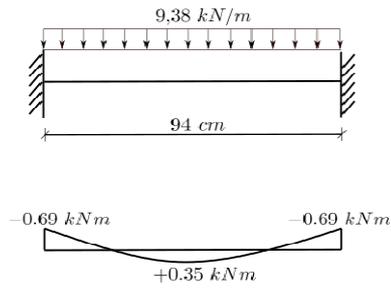
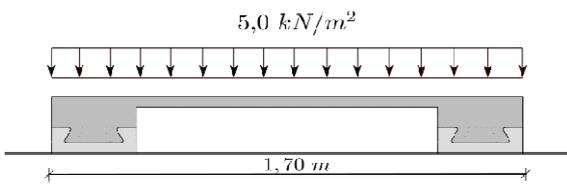
b	1.7 m
h	0.15 m
bRippe	0.36 m
hRippe	0.15 m
bPlatte	0.94 m
hPlatte	0.05 m

$$W = b \cdot h_{\text{Platte}}^2 / 6 = 0.000416667 \text{ m}^3$$

## Materialeigenschaften

$\gamma_c$	1.3		
Zugfestigkeit Betonmatrix $f_{ct,0}$	5.8 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctd,0} =$	4.5 N/mm <sup>2</sup>
Nachrissbetonzugfestigkeit $f_{ct,r}$	4.37 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctd,r} =$	3.4 N/mm <sup>2</sup>

## Gleichlast



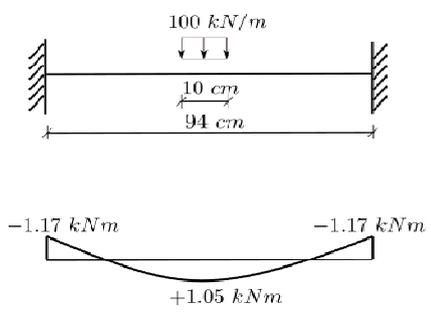
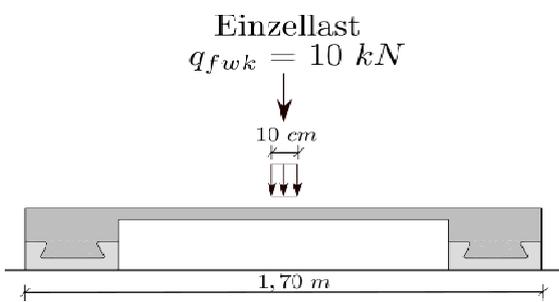
$\gamma_q =$	1.5
$q_k =$	5 kN/m²
Einflussbreite $e =$	1.25 m
$q_d = q_k \cdot e \cdot \gamma_q$	9.38 kN/m

$W = b \cdot h^2 / 6$	0.000416667 m³
-----------------------	----------------

$M_d =$	0.69 kNm
---------	----------

$\sigma = M/W$	1656.00 kN/m²	1.66 MPa
----------------	---------------	----------

## Einzellast



$\gamma_a =$	1.0
$q_{fwk} =$	10 kN
Aufstandsfläche $a =$	0.1 * 0.1
$q_k = q_{fwk} / a$	100 kN/m
$q_d = \gamma_a \cdot q_k$	100.00 kN/m

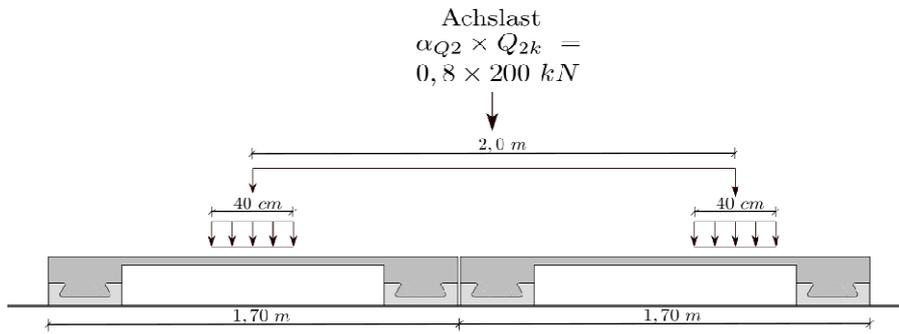
$W = b \cdot h^2 / 6$	0.000504167 m³
-----------------------	----------------

$M_d =$	1.17 kNm
---------	----------

$\sigma = M/W$	2320.66 kN/m²
----------------	---------------

2.32 MPa	<	3.4 MPa
----------	---	---------

## Außergewöhnliche Achslast - Abgeirrtes Fahrzeug



γ <sub>a</sub> =	1.0
α <sub>Q2</sub> =	0.8
Q <sub>2k</sub> =	200.0 kN

Achslast - A= α <sub>Q2</sub> *Q <sub>2k</sub>	160 kN
Radlast - R= A/2	80 kN
Aufstandsfläche a= 0.4*0.4	0.4 m
Ausbreitungswinkel	45 °
B <sub>s</sub> Schwerachse	0.45 m

q <sub>k</sub> = R/B <sub>s</sub>	200 kN/m
q <sub>d</sub> = γ <sub>a</sub> *q <sub>k</sub>	200.00 kN/m

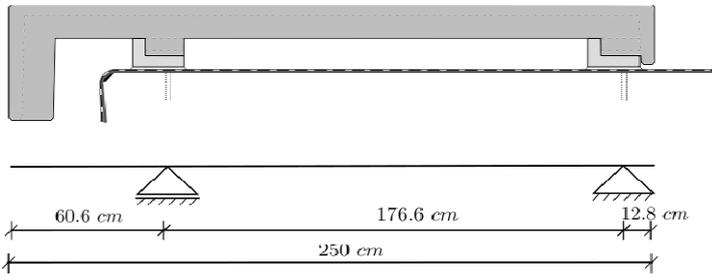
aus Flächenhafte Betrachtung

M <sub>Ed</sub> =	5.1 kNm
M <sub>Rd</sub> = A*z*f <sub>ctd,r</sub>	5.3 kNm

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

## Modellierung und Bemessung

### Randbalken Quer



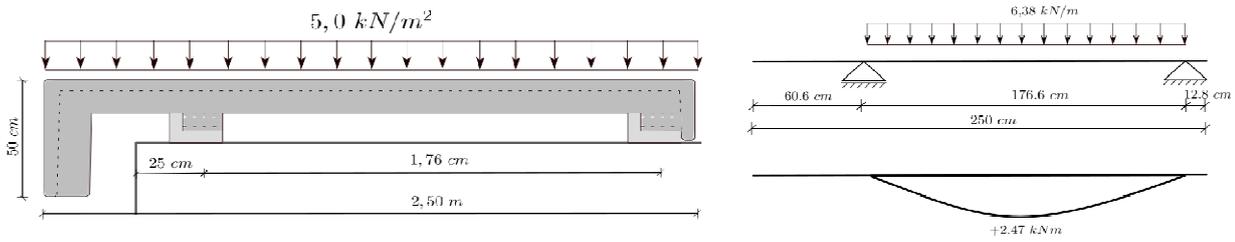
b	1.7 m
h	0.15 m
	0.28 m
bRippe	0.36 m
hRippe	0.15 m
bPlatte	0.94 m
hPlatte	0.05 m

$$W = b \cdot h_{\text{Rippe}}^2 / 6 \quad 0.00135 \text{ m}^3$$

## Materialeigenschaften

$\gamma_c$	1.3		
Zugfestigkeit Betonmatrix $f_{ct,0}$	5.8 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctd,0} =$	4.5 N/mm <sup>2</sup>
Nachrissbetonzugfestigkeit $f_{ct,r}$	4.37 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctd,r} =$	3.4 N/mm <sup>2</sup>

## Gleichlast



$$\begin{aligned} \gamma_q &= 1.5 \\ q_k &= 5 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Einflussbreite } e &= 0.85 \text{ m} \end{aligned}$$

$$q_d = q_k * e * \gamma_q = 6.38 \text{ kN/m}$$

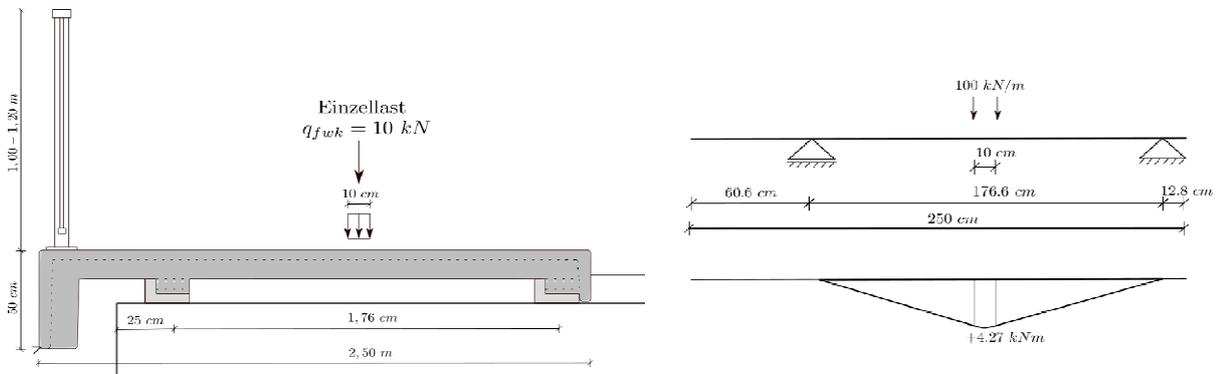
$$W = b * h^2 / 6 = 0.00135 \text{ m}^3$$

$$M_d = 2.47 \text{ kNm}$$

$$\sigma = M / W = 1829.63 \text{ kN/m}^2$$

$$1.83 \text{ MPa} < 3.4 \text{ MPa}$$

## Einzellast



$$\begin{aligned} \gamma_a &= 1.0 \\ q_{fwk} &= 10 \text{ kN} \\ \text{Aufstandsfläche } a &= 0.1 * 0.1 = 0.1 \text{ m} \\ q_k &= q_{fwk} / a = 100 \text{ kN/m} \\ q_d &= \gamma_a * q_k = 100.00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

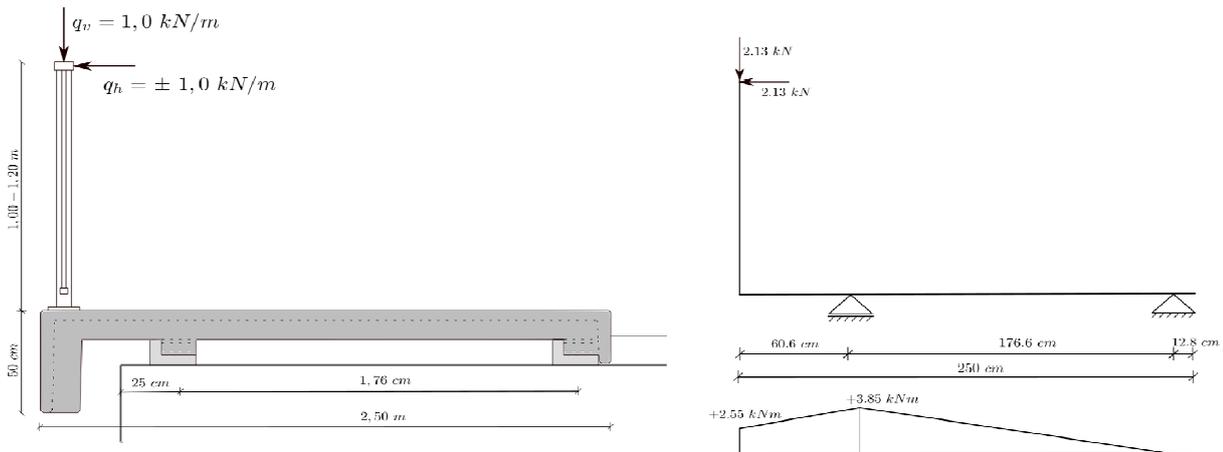
$$W = b * h^2 / 6 = 0.00135 \text{ m}^3$$

$$M_d = 4.27 \text{ kNm}$$

$$\sigma = M / W = 3162.96 \text{ kN/m}^2$$

$$3.16 \text{ MPa} < 3.4 \text{ MPa}$$

## Geländer



Kein Rückhaltesystem - Äußergewöhnlicher Lastfall - 1,25 fach

$\gamma_a =$	1.0
$q_h =$	1.0 kN/m
$q_v =$	1.0 kN/m
Einflussbreite - e =	1.7 m
Erhöhungsfaktor - f =	1.25

$q_{hd} = q_h \cdot e \cdot \gamma_a \cdot f$	2.13 kN
$q_{vd} = q_v \cdot e \cdot \gamma_a \cdot f$	2.13 kN

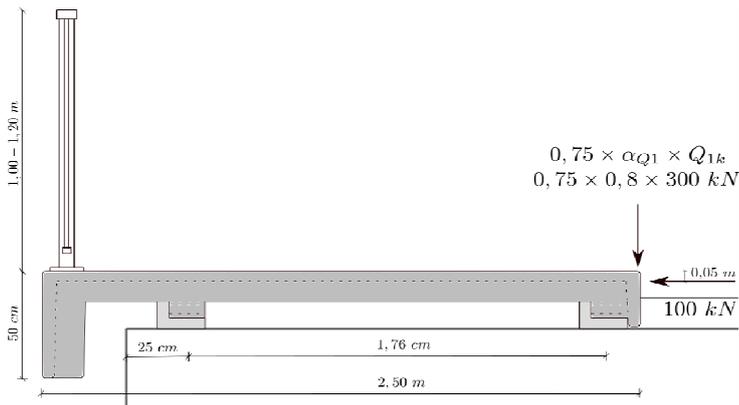
$W = b \cdot h^2 / 6$	0.00135 m <sup>3</sup>
-----------------------	------------------------

$M_d =$	3.85 kNm
---------	----------

$\sigma = M/W$	2851.85 kN/m <sup>2</sup>
----------------	---------------------------

2.85 MPa	<	3.4 MPa
----------	---	---------

## Schrammbordanprall



Ansatz für ein Sonderelement - maximale Beanspruchung für einen Zapfen

$\gamma_a =$	1.0
$\alpha_{Q1} =$	0.8
$Q_{1k} =$	300.0 kN
$q_h =$	100.0 kN
$q_v = 0,75 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}$	180.0 kN
$h_a = h_b - 0.05$	0.23 m

$$q_{hd} = q_h \cdot \gamma_a = 100.00 \text{ kN}$$

$$q_{vd} = q_v \cdot \gamma_a = 180.00 \text{ kN}$$

$q_{vd}$  wird nicht angesetzt. Nicht maßgebend ist für die max. Belastung

$$W = b \cdot h^2 / 6 = 0 \text{ m}^3$$

$$M_d = q_{hd} \cdot h_a = 23 \text{ kNm}$$

$$\text{Auflagerkräfte} = 13.07 \text{ kN}$$

### Beanspruchung für Dübelbemessung für 1 Zapfen

$$V = 13.07 \text{ kN}$$

$$H = 50.00 \text{ kN}$$

www.hilti.at

 Firma:  
 Adresse:  
 Tel. | Fax: |  
 Befestigung: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)  
 Pos. Nr.: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal

 Seite: 1  
 Bearbeiter:  
 E-Mail:  
 Datum: 11.01.2019

**Bemerkung:** Schrammbordanprall

## 1 Eingabedaten

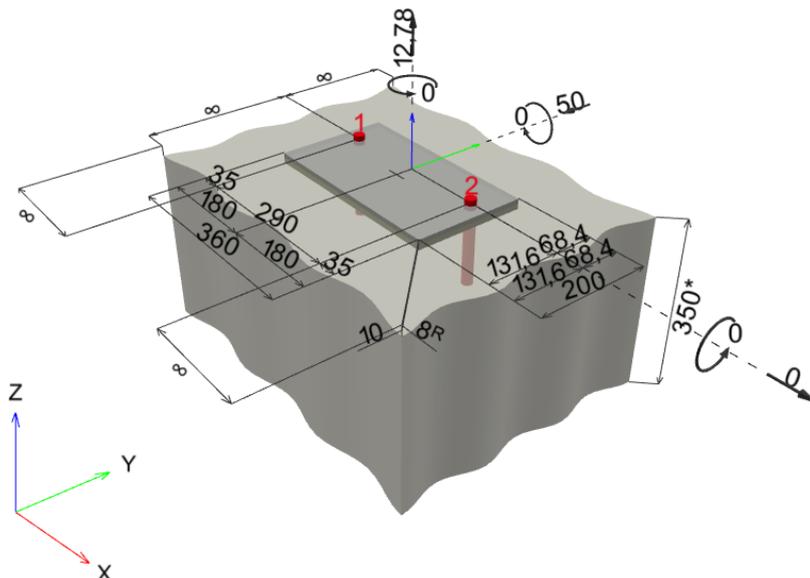


<b>Ankertyp und Größe:</b>	<b>HIT-RE 500 V3 + HIT-V-HCR M20</b>
Artikelnummer:	400383 HIT-V-HCR M20x330 (Anker) / 2123403 HIT-RE 500 V3 (Mörtel)
Effektive Verankerungstiefe:	$h_{ef,act} = 130,0 \text{ mm}$ ( $h_{ef,limit} = - \text{ mm}$ )
Werkstoff:	HCR
Zulassungs-Nr.:	ETA 16/0143
Ausgestellt   Gültig:	12.07.2017   -
Nachweis:	Bemessungsverfahren ETAG Verbund; EOTA TR 029
Abstandsmontage:	ohne Verspannung (Dübel); Einspanngrad (Ankerplatte): 1,00; $e_b = 10,0 \text{ mm}$ ; $t = 8,0 \text{ mm}$  Hilti Vergussmörtel: , Multivergußmörtel, $f_{c,GROUT} = 30,00 \text{ N/mm}^2$
Ankerplatte <sup>R</sup> :	$I_x \times I_y \times t = 360,0 \text{ mm} \times 200,0 \text{ mm} \times 8,0 \text{ mm}$ ; (Empfohlene Plattendicke: nicht berechnet)
Profil:	kein Profil
Untergrund:	gerissener Beton, C30/37, $f_{c,cube} = 37,00 \text{ N/mm}^2$ ; $h = 350,0 \text{ mm}$ , Temp. kurz/lang: 40/24 °C
<b>Installation:</b>	<b>Bohrloch: hammergebohrt, Installationsbed.: trocken</b>
Bewehrung:	Keine Bewehrung oder Stababstand $\geq 150 \text{ mm}$ (jeder $\emptyset$ ) oder $\geq 100 \text{ mm}$ ( $\emptyset \leq 10 \text{ mm}$ )  Keine Randlängsbewehrung

**Anwendung auch möglich mit HVU2 + HAS(-E)-HCR M20 unter den gewählten Randbedingungen**  
**Mehr Informationen unter Abschnitt Alternative Befestigungsdaten dieses Berichts.**

<sup>R</sup> - Die Dübel Berechnung basiert auf der Annahme einer biegesteifen Ankerplatte.

### Geometrie [mm] & Belastungen [kN, kNm]



www.hilti.at

Firma:  
 Adresse:  
 Tel. | Fax: |  
 Befestigung: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)  
 Pos. Nr.: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal

Seite: 2  
 Bearbeiter:  
 E-Mail:  
 Datum: 11.01.2019

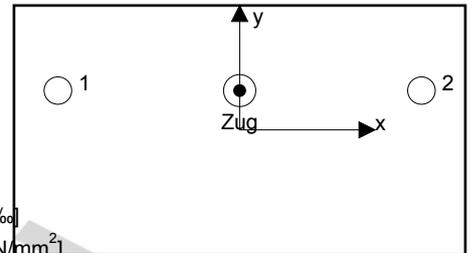
## 2 Lastfall/Resultierende Dübelkräfte

Lastfall: Design Lasten

### Resultierende Dübelkräfte [kN]

Normalkraft: +Zug -Druck

Dübel	Normalkraft	Querkraft	Querkraft x	Querkraft y
1	6,390	25,000	0,000	-25,000
2	6,390	25,000	0,000	-25,000



Maximale Betonstauchung:

Maximale Betondruckspannung:

resultierende Zugkraft in (x/y)=(0,0/31,6):

resultierende Druckkraft in (x/y)=(0,0/0,0):

- [%]  
 - [N/mm<sup>2</sup>]  
 12,780 [kN]  
 0,000 [kN]

Die Dübelbelastungen werden unter der Annahme einer biegesteifen Ankerplatte ermittelt.

TRIAL VERSION

www.hilti.at

 Firma:  
 Adresse:  
 Tel. | Fax: |  
 Befestigung: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)  
 Pos. Nr.: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal

 Seite: 3  
 Bearbeiter:  
 E-Mail:  
 Datum: 11.01.2019

**3 Zugbeanspruchung (EOTA TR 029, Abschnitt 5.2.2)**

	Einwirkung [kN]	Tragfähigkeit [kN]	Ausnutzung $\beta_N$ [%]	Status
Stahlversagen*	6,390	130,667	5	OK
Kombiniertes Versagen Herausz. - Betonabr.**	12,780	78,994	17	OK
Betonversagen**	12,780	75,457	17	OK
Spaltversagen**	O.Nw.	O.Nw.	O.Nw.	O.Nw.

\* ungünstigster Dübel \*\*Dübelgruppe (Dübel unter Zug)

**3.1 Stahlversagen**

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]
196,000	1,500	130,667	6,390

**3.2 Kombiniertes Versagen Herausz. - Betonabr.**

$A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	$c_{min}$ [mm]
265.200	152.100	15,00	390,0	195,0	$\infty$
$\psi_c$	$\tau_{Rk,cr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	k	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1,040	8,32	2,300	1,000	1,000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]	
67,958	118,491	1,500	78,994	12,780	

**3.3 Betonversagen**

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]		
265.200	152.100	195,0	390,0		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000
$k_1$	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	$N_{Sd}$ [kN]	
7,200	64,915	1,500	75,457	12,780	

**www.hilti.at**

Firma:		Seite:	4
Adresse:		Bearbeiter:	
Tel.   Fax:		E-Mail:	
Befestigung:	Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)	Datum:	11.01.2019
Pos. Nr.:	Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal		

**4 Querbeanspruchung (EOTA TR 029, Abschnitt 5.2.3)**

	Einwirkung [kN]	Tragfähigkeit [kN]	Ausnutzung $\beta_V$ [%]	Status
Stahlversagen ohne Hebelarm*	25,000	78,400	32	OK
Stahlversagen mit Hebelarm*	O.Nw.	O.Nw.	O.Nw.	O.Nw.
Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite**	50,000	150,915	34	OK
Betonkantenbruch, Richtung **	O.Nw.	O.Nw.	O.Nw.	O.Nw.

\* ungünstigster Dübel    \*\*Dübelgruppe (relevante Dübel)

**4.1 Stahlversagen ohne Hebelarm**

$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Sd}$ [kN]
98,000	1,250	78,400	25,000

**4.2 Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Betonausbruch maßgebend)**

$A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k-factor	$k_1$
265.200	152.100	195,0	390,0	2,000	7,200
$e_{c1,V}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	$V_{Sd}$ [kN]		
64,915	1,500	150,915	50,000		

**www.hilti.at**

Firma:		Seite:	5
Adresse:		Bearbeiter:	
Tel.   Fax:		E-Mail:	
Befestigung:	Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)	Datum:	11.01.2019
Pos. Nr.:	Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal		

**5 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung (EOTA TR 029, Abschnitt 5.2.4)**

$\beta_N$	$\beta_V$	$\alpha$	Ausnutzung $\beta_{N,V}$ [%]	Status
0,169	0,331	1,500	27	OK

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$$

**6 Verschiebungen (höchstbelasteter Dübel)**

Kurzzeitbelastung:

$N_{Sk}$	=	4,733 [kN]	$\delta_N$	=	0,0579 [mm]
$V_{Sk}$	=	18,519 [kN]	$\delta_V$	=	0,7407 [mm]
			$\delta_{NV}$	=	0,7430 [mm]

Langzeitbelastung:

$N_{Sk}$	=	4,733 [kN]	$\delta_N$	=	0,0927 [mm]
$V_{Sk}$	=	18,519 [kN]	$\delta_V$	=	1,1111 [mm]
			$\delta_{NV}$	=	1,1150 [mm]

Hinweis: Die Verschiebungen infolge Zugkraft gelten, wenn die Hälfte des Drehmomentes beim Verankern aufgebracht wurde - ungerissener Beton! Die Verschiebungen infolge Querkraft gelten, wenn zwischen Beton und Ankerplatte keine Reibung vorliegt! Der Verschiebungswert aus dem Lochspiel zwischen Ankerkörper und Bohrlochrand sowie zwischen Ankerkörper und Anbauteil ist in dieser Berechnung nicht berücksichtigt!

Die zulässigen Verschiebungen hängen von der zu befestigenden Konstruktion ab und sind vom Konstrukteur festzulegen!

**7 Warnungen / Hinweise**

- Lastumlagerungen aufgrund von elastische Formänderung der Ankerplatte werden nicht berücksichtigt. Die Ankerplatte muss ausreichend steif sein, so dass sie sich unter den einwirkenden Kräften nicht verformt! Eingabedaten und Ergebnisse müssen mit den tatsächlichen Randbedingungen abgeglichen werden und auf Plausibilität geprüft!
- Die Weiterleitung der Kräfte im Bauteil ist nach der Bemessungsrichtlinie EOTA TR 029, Abschnitt 7 nachzuweisen.
- Diese Berechnung gilt nur wenn die Durchgangslöcher nicht grösser als in Tabelle 4.1 in EOTA TR029 angegeben sind! Bei grösseren Durchgangslöchern ist Kapitel 1.1. in EOTA TR029 zu beachten!
- Die Liste der Zubehörteile in diesem Bericht ist nur zur Information des Anwenders. Die Setzanweisungen, die mit dem Produkt mitgeliefert werden, sind stets zu beachten, um eine korrekte Installation zu gewährleisten.
- Die zulässigen Verbundspannungswerte sind von den vorliegenden Kurz- und Langzeittemperaturen abhängig.
- Bitte kontaktieren Sie Hilti, um die Verfügbarkeit der HIT-V Ankerstangen zu überprüfen.
- Randbewehrung zur Verhinderung des Spaltens des Betons nicht erforderlich!

**Nachweis der Verankerung: OK!**

[www.hilti.at](http://www.hilti.at)

Firma:  
 Adresse:  
 Tel. | Fax: |  
 Befestigung: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)  
 Pos. Nr.: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal

Seite: 6  
 Bearbeiter:  
 E-Mail:  
 Datum: 11.01.2019

## 8 Installationsdaten

Ankerplatte, Stahl: S 235; E = 210.000,00 N/mm<sup>2</sup>; f<sub>yk</sub> = 235,00 N/mm<sup>2</sup>  
 Profil: kein Profil

Durchmesser Durchgangsloch: d<sub>f</sub> = 22,0 mm

Plattendicke (Eingabe): 8,0 mm

Empfohlene Plattendicke: nicht berechnet

Bohrmethode: Hammergebohrt

Reinigungsart: Druckluftreinigung des Bohrloches ist erforderlich

Ankertyp und Größe: HIT-RE 500 V3 + HIT-V-HCR M20  
 Artikelnummer: 400383 HIT-V-HCR M20x330 (Anker) /  
 2123403 HIT-RE 500 V3 (Mörtel)

Anzugsdrehmoment: 150 Nm

Durchmesser Bohrloch im Untergrund: 22,0 mm

Bohrlochtiefe im Untergrund: 130,0 mm

Minimale Bauteildicke: 174,0 mm

Hilti HIT-V Gewindestange mit HIT-RE 500 V3 Injektionssystem mit 130 mm Verankerungstiefe h<sub>ef</sub>, M20, Hoch Korrosionsresistent, Hammerbohren, Installation gemäß ETA 16/0143

### 8.1 Erforderliches Zubehör

#### Bohren

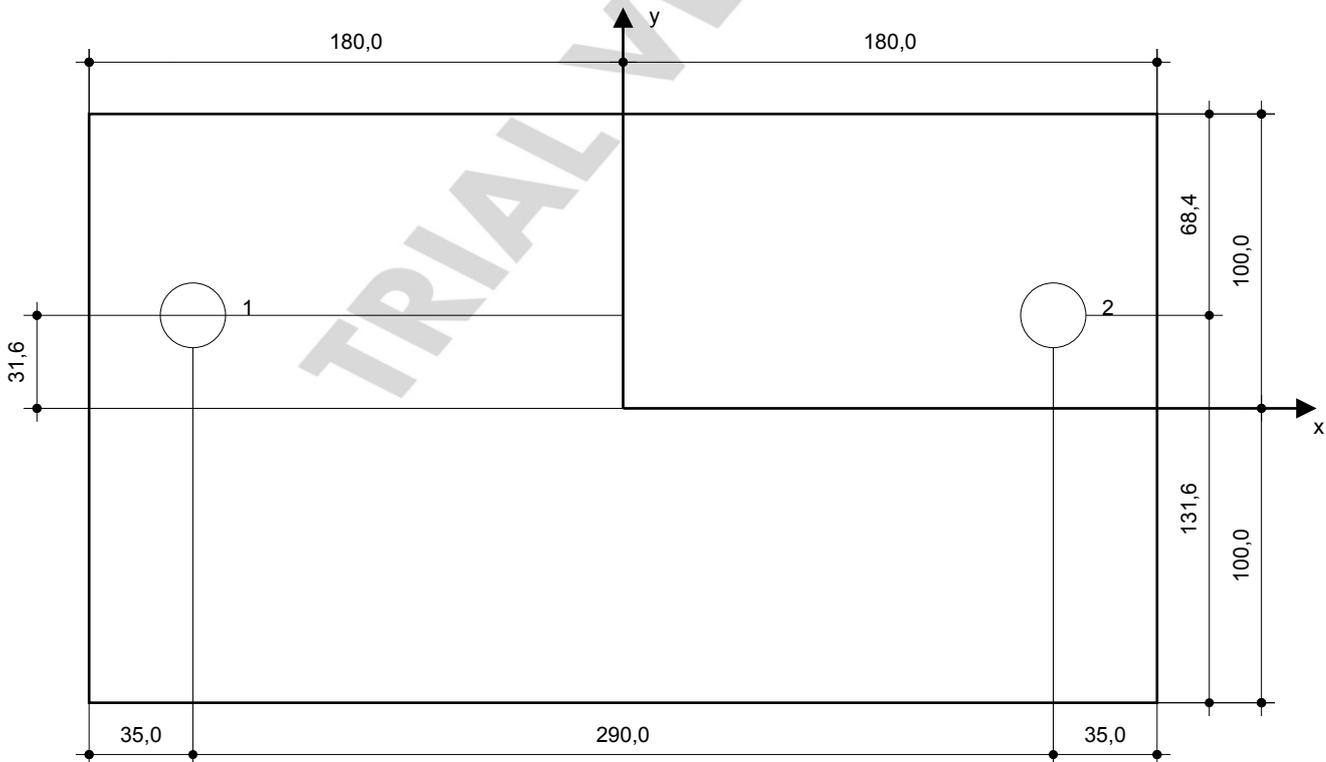
- Geeigneter Hammerbohrer
- Hammerbohrer geeigneten Durchmessers

#### Reinigen

- Druckluft mit erforderlichen Zubehörteilen um das Loch von unten auszublasen
- Drahtbürste korrekter Durchmesser

#### Installieren

- Auspressgeräte einschließlich Kassette und Mischer
- Drehmomentschlüssel



#### Koordinaten Dübel [mm]

Dübel	x	y	c <sub>-x</sub>	c <sub>+x</sub>	c <sub>-y</sub>	c <sub>+y</sub>
1	-145,0	31,6	-	-	-	-
2	145,0	31,6	-	-	-	-

**www.hilti.at**

Firma:  
Adresse:  
Tel. | Fax: |  
Befestigung: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)  
Pos. Nr.: Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal

Seite: 7  
Bearbeiter:  
E-Mail:  
Datum: 11.01.2019

## 9 Alternative Befestigung

### 9.1 Alternative Befestigungsdaten

<b>Ankertyp und Größe:</b>	<b>HVU2 + HAS(-E)-HCR M20</b>	
Artikelnummer:	229508 HAS-E-HCR M20X170/48 (Anker) / 2164509 HVU2 M20x170 (Patrone)	
Effektive Verankerungstiefe:	$h_{ef,act} = 170,0 \text{ mm}$ , $h_{nom} = 170,0 \text{ mm}$	
Werkstoff:	HCR	
Zulassungs-Nr.:	ETA-16/0515	
Ausgestellt   Gültig:	14.12.2017   -	
Nachweis:	Bemessungsverfahren ETAG Verbund; EOTA TR 029	
Abstandsmontage:	ohne Verspannung (Dübel); Einspanngrad (Ankerplatte): 1,00; $e_b = 10,0 \text{ mm}$ ; $t = 8,0 \text{ mm}$ Hilti Vergussmörtel: , Multivergußmörtel, $f_{c,Grout} = 30,00 \text{ N/mm}^2$	
Ankerplatte <sup>R</sup> :	$l_x \times l_y \times t = 360,0 \text{ mm} \times 200,0 \text{ mm} \times 8,0 \text{ mm}$ ; (Empfohlene Plattendicke: nicht berechnet)	
Profil:	kein Profil	
Untergrund:	gerissener Beton, C30/37, $f_{c,cube} = 37,00 \text{ N/mm}^2$ ; $h = 350,0 \text{ mm}$ , Temp. kurz/lang: 40/24 °C	
<b>Installation:</b>	<b>Bohrloch: hammergebohrt, Installationsbed.: trocken</b>	
Bewehrung:	Keine Bewehrung oder Stababstand $\geq 150 \text{ mm}$ (jeder $\emptyset$ ) oder $\geq 100 \text{ mm}$ ( $\emptyset \leq 10 \text{ mm}$ ) Keine Randlängsbewehrung	

## Max. Ausnutzung mit HVU2 + HAS(-E)-HCR M20: 35 % Nachweis der Verankerung: OK!

### 9.2 Installationsdaten

Ankerplatte, Stahl: S 235;  $E = 210.000,00 \text{ N/mm}^2$ ;  $f_{yk} = 235,00 \text{ N/mm}^2$   
Profil: kein Profil

Durchmesser Durchgangsloch:  $d_f = 22,0 \text{ mm}$

Plattendicke (Eingabe): 8,0 mm

Empfohlene Plattendicke: nicht berechnet

Bohrmethode: Hammergebohrt

Reinigungsart: Druckluftreinigung des Bohrloches ist erforderlich

Ankertyp und Größe: HVU2 + HAS(-E)-HCR M20  
Artikelnummer: 229508 HAS-E-HCR M20X170/48 (Anker)  
/ 2164509 HVU2 M20x170 (Patrone)  
Anzugsdrehmoment: 150 Nm  
Durchmesser Bohrloch im Untergrund: 22,0 mm  
Bohrlochtiefe im Untergrund: 170,0 mm  
Minimale Bauteildicke: 220,0 mm

Hilti HAS Gewindestange mit HVU2 Patronensystem mit 170 mm Verankerungstiefe  $h_{ef}$ , M20, Hoch Korrosionsresistent, Hammerbohren, Installation gemäß ETA-16/0515

### 9.2.1 Erforderliches Zubehör

#### Bohren

- Geeigneter Hammerbohrer
- Hammerbohrer geeigneten Durchmessers

#### Reinigen

- Druckluft mit erforderlichen Zubehörteilen um das Loch von unten auszublasen
- Drahtbürste korrekter Durchmesser

#### Installieren

- HVA Setzwerkzeug
- Drehmomentschlüssel

**www.hilti.at**

---

Firma:		Seite:	8
Adresse:		Bearbeiter:	
Tel.   Fax:		E-Mail:	
Befestigung:	Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal (1)	Datum:	11.01.2019
Pos. Nr.:	Zugpunkt - TWK - 1/2 Horizontal		

---

## 10 Kommentar; Anmerkungen

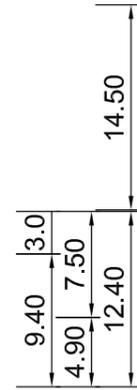
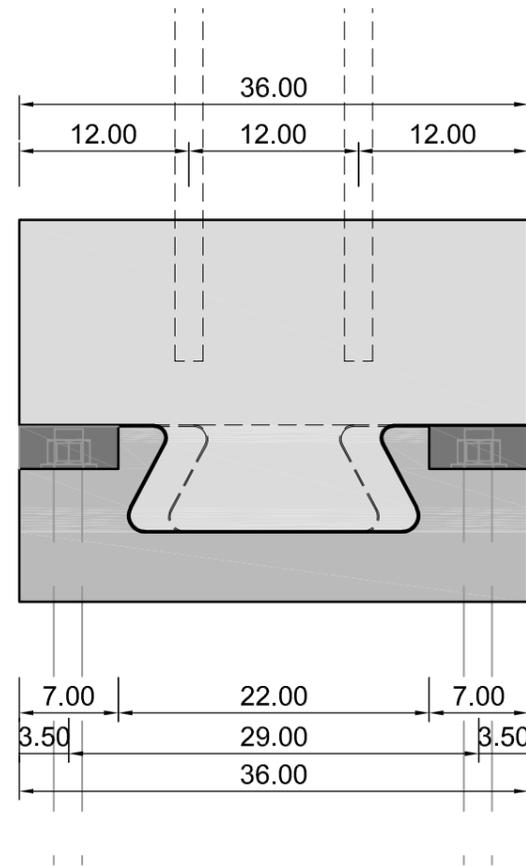
- Sämtliche in den Programmen enthaltenen Informationen und Daten beziehen sich ausschließlich auf die Verwendung von Hilti-Produkten und basieren auf den Grundsätzen, Formeln und Sicherheitsbestimmungen gem. den technischen Anweisungen und Bedienungs-, Setz- und Montageanleitungen usw. von Hilti, die vom Anwender strikt eingehalten werden müssen. Sämtliche enthaltenen Werte sind Durchschnittswerte; daher sind vor Anwendung des jeweiligen Hilti-Produkts stets einsatzspezifische Tests durchzuführen. Die Ergebnisse der mittels der Software durchgeführten Berechnungen beruhen maßgeblich auf den von Ihnen einzugebenden Daten. Sie tragen daher die alleinige Verantwortung für die Fehlerfreiheit, Vollständigkeit und Relevanz der von Ihnen einzugebenden Daten. Sie sind weiterhin alleine dafür verantwortlich, die erhaltenen Ergebnisse der Berechnung vor der Verwendung für Ihre spezifische(n) Anlage(n) durch einen Fachmann überprüfen und freigeben zu lassen, insbesondere hinsichtlich der Konformität mit geltenden Normen und Zulassungen. Die Software dient lediglich als Hilfsmittel zur Auslegung von Normen und Zulassungen ohne jegliche Gewährleistung auf Fehlerfreiheit, Richtigkeit und Relevanz der Ergebnisse oder Geeignetheit für eine bestimmte Anwendung.
- Sie haben alle erforderlichen und zumutbaren Maßnahmen zu ergreifen, um Schäden durch die Software zu verhindern oder zu begrenzen. Insbesondere müssen Sie für die regelmäßige Sicherung von Programmen und Daten sorgen sowie regelmäßig ggf. von Hilti angebotene Updates der Software durchführen. Sofern Sie nicht die AutoUpdate-Funktion der Software nutzen, müssen Sie durch manuelle Updates über die Hilti-Website sicherstellen, dass Sie jeweils die aktuelle und somit gültige Version der Software verwenden. Soweit Sie diese Verpflichtung schuldhaft verletzen, haftet Hilti nicht für daraus entstehende Folgen, insbesondere nicht für die Wiederbeschaffung verlorener oder beschädigter Daten oder Programme.

TRIAL VERSION

## D. Pläne

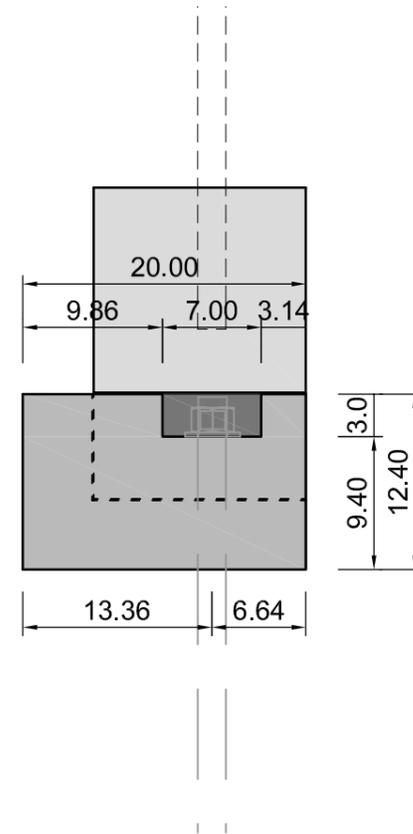
# Längsschnitt

M 1:5



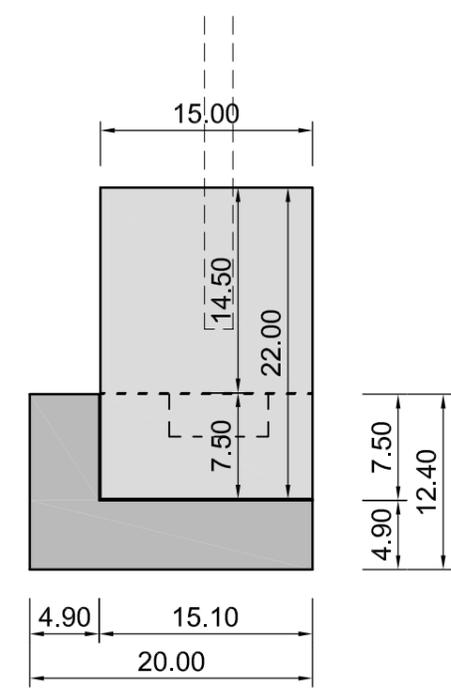
# Querschnitt 1-1

M 1:5



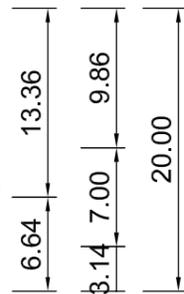
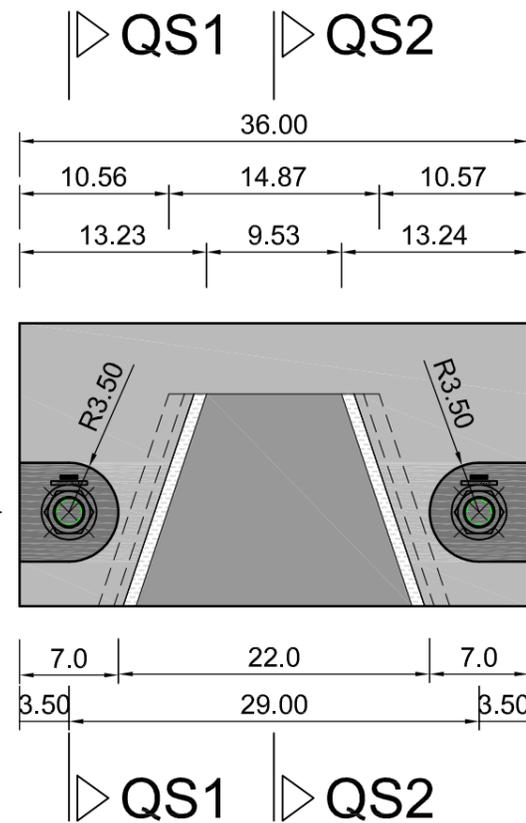
# Querschnitt 2-2

M 1:5



# Draufsicht

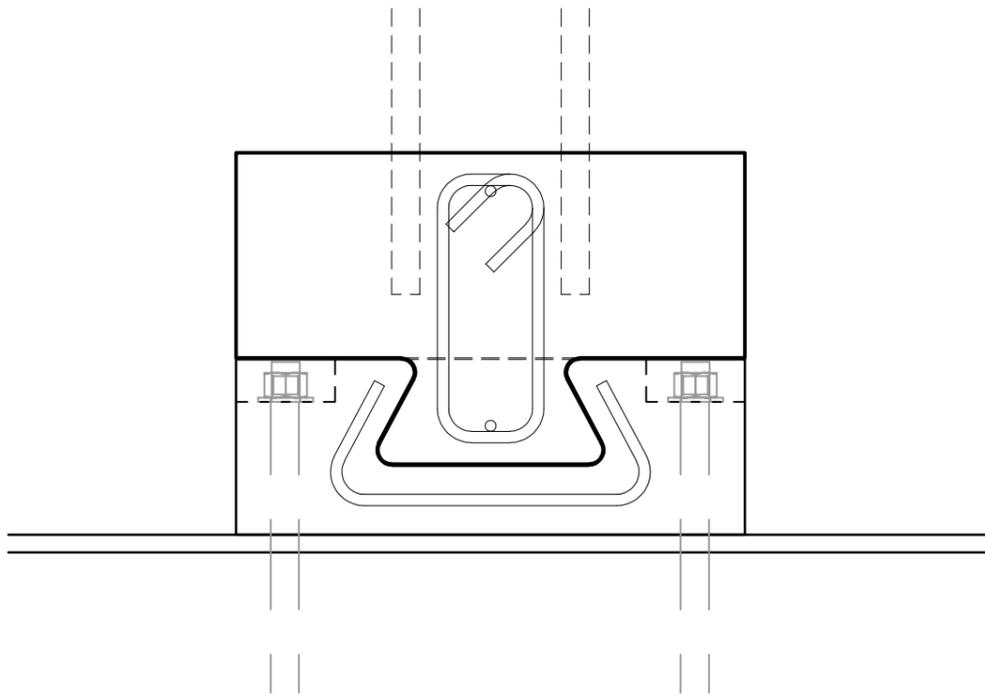
M 1:5



<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>		Planinhalt: <b>Schalung - Kleinversuche</b>	
Verfasser: <b>Hösele</b>	Masstab: <b>M 1: 5</b>	Datum: <b>29.06.2018</b>	

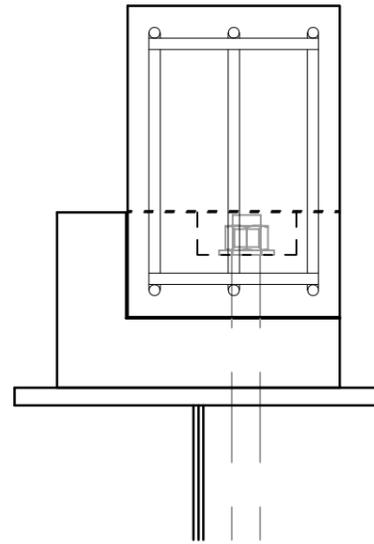
# Längsschnitt

M 1:5



# Querschnitt

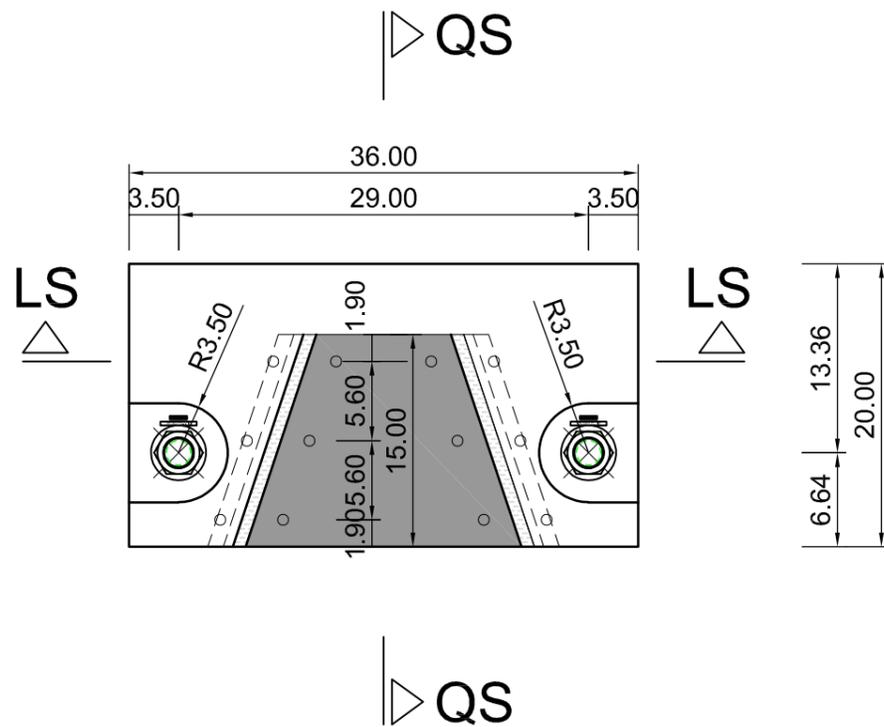
M 1:5



Bewehrung Ø8 B 550B  
 Betondeckung c=1,5cm  
 Verankerung Ø16 M8.8

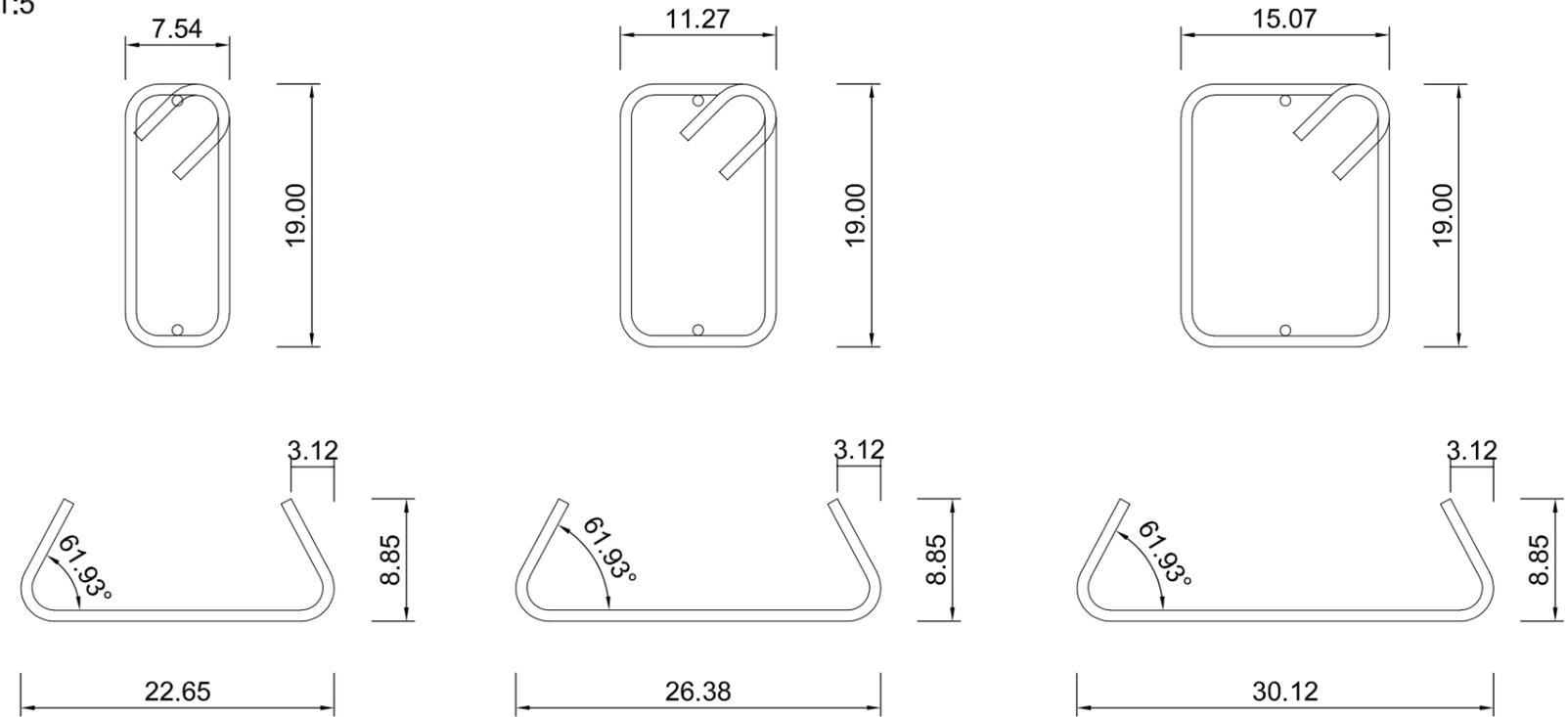
# Draufsicht

M 1:5

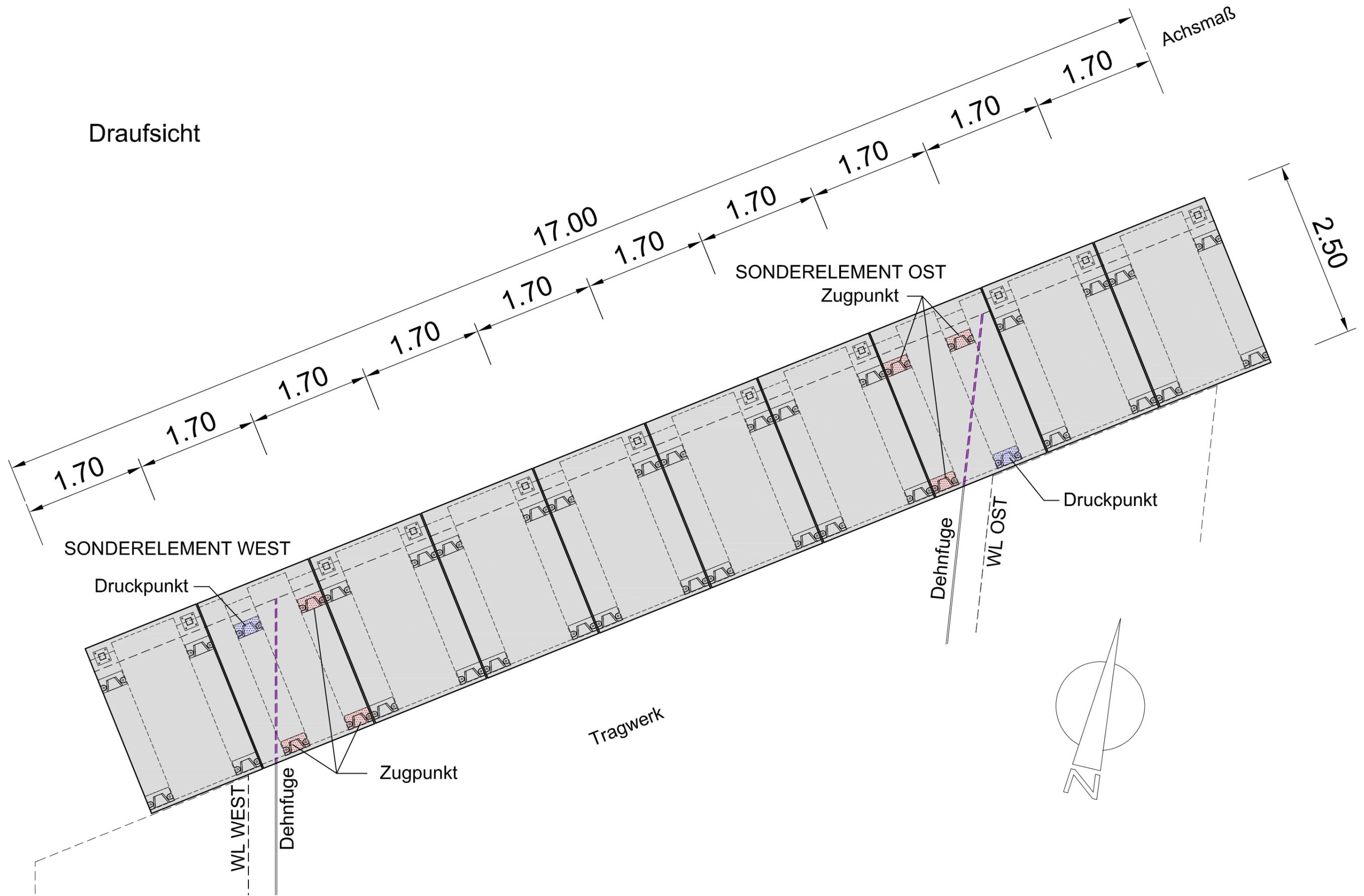


# Bewehrung

M 1:5

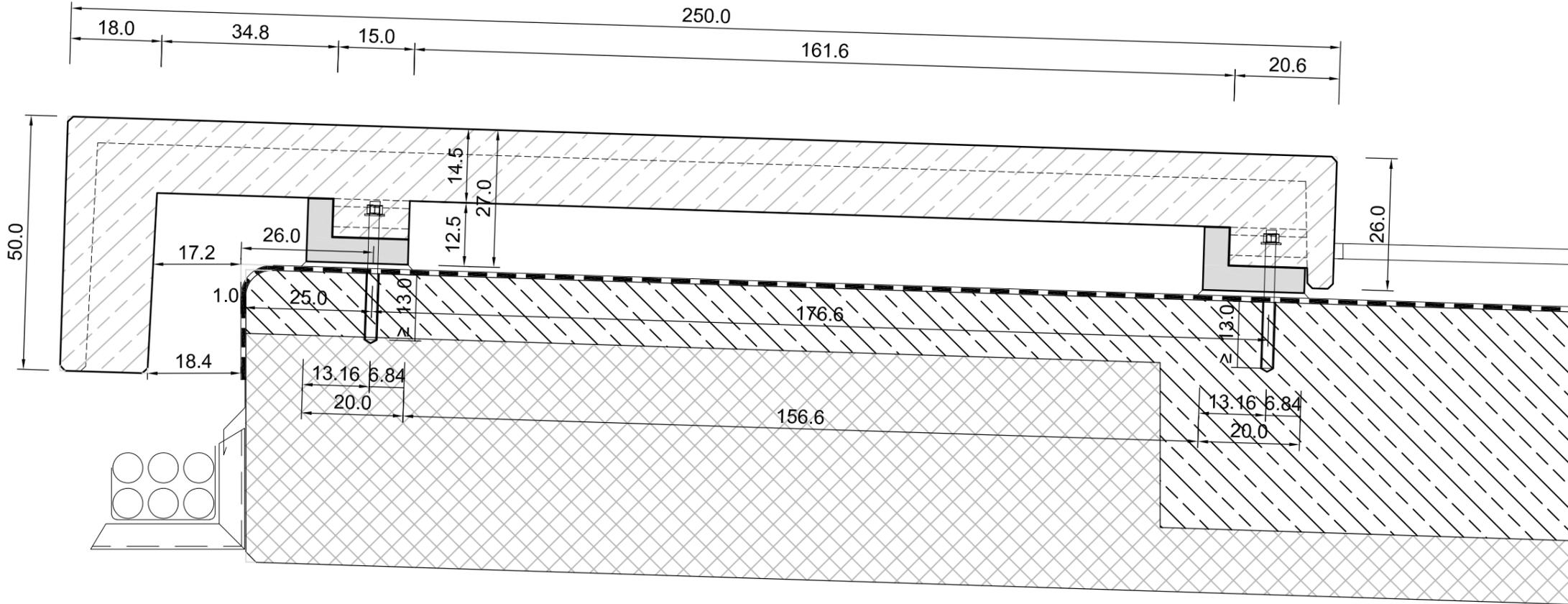


<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>		Planinhalt: <b>Bewehrung - Kleinversuche</b>	
Verfasser: <b>Hösele</b>	Massstab: <b>M 1: 5</b>	Datum: <b>29.06.2018</b>	



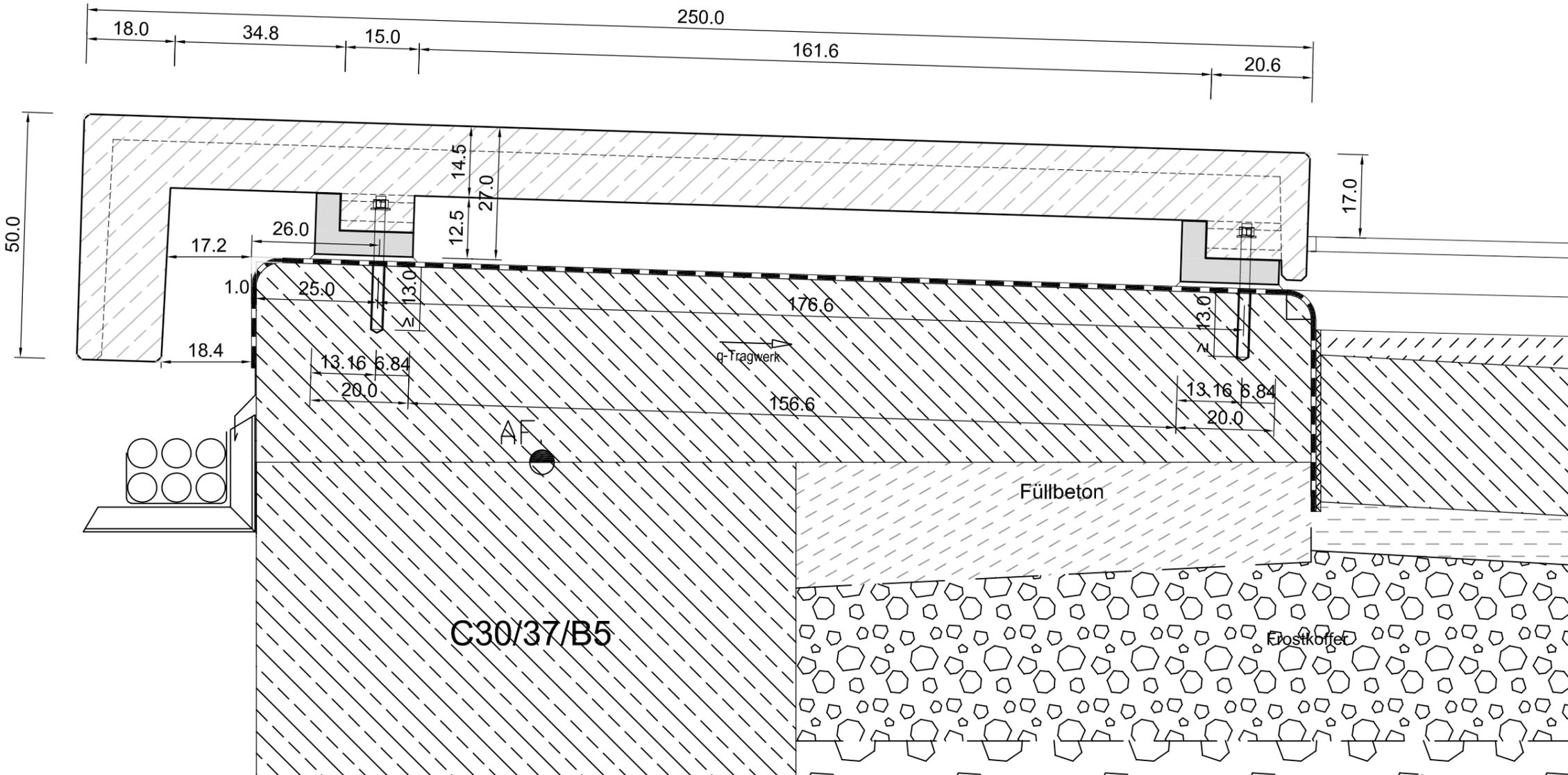
<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>		Planinhalt: <b>Draufsicht - Fugenausteilung</b>	Verfasser: <b>Hösele Claudia Matrikelnr.: 1031079</b>
Projekt: <b>Masterarbeit</b>	Massstab: <b>M 1:50</b>	Datum: <b>23.08.2018</b>	

# Querschnitt Tragwerk



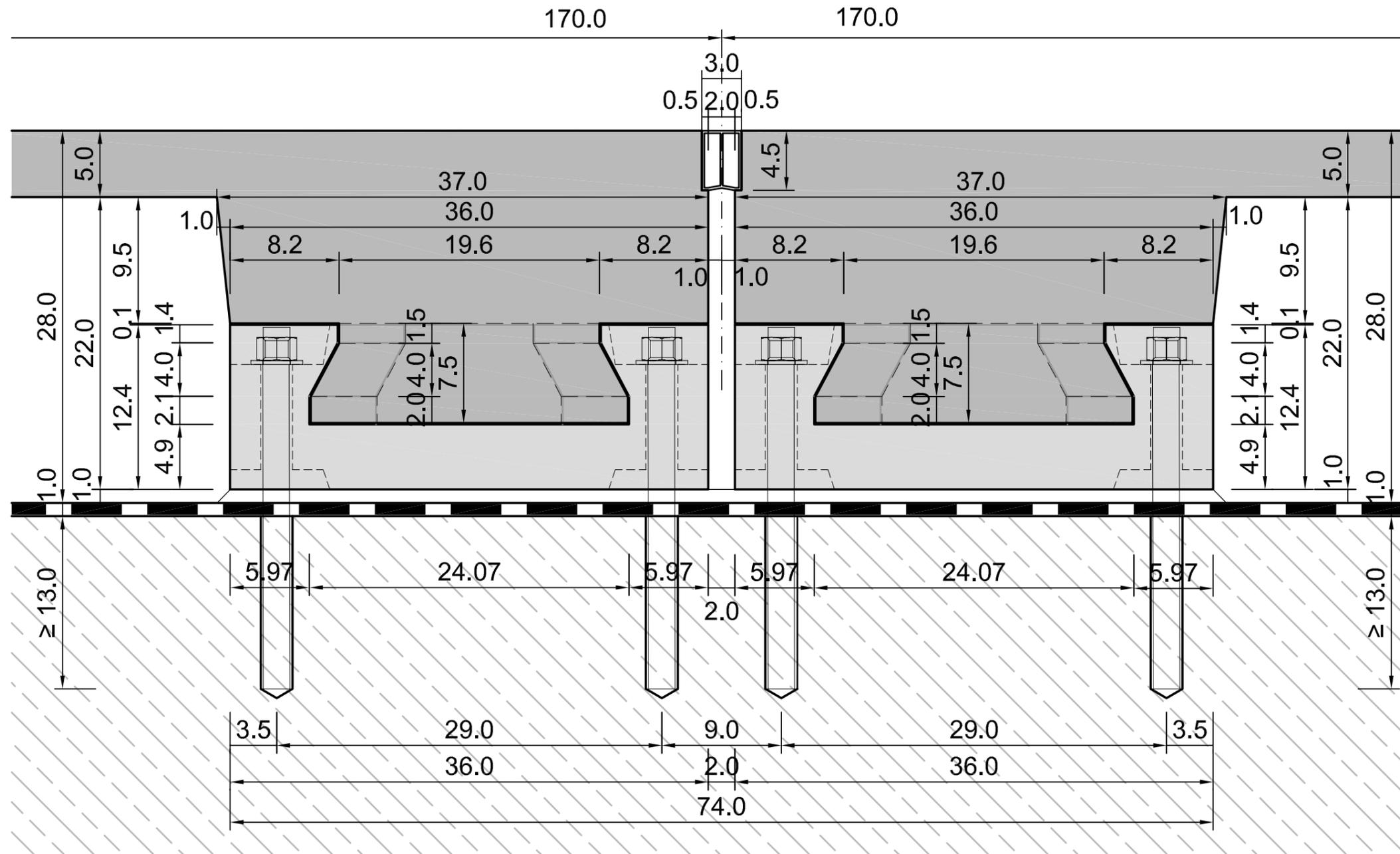
<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>	Planinhalt: <b>Querschnitt - Tragwerk</b>		Verfasser: <b>Hösele Claudia Matrikelnr.: 1031079</b>
Projekt: <b>Masterarbeit</b>	Massstab: <b>M 1:10</b>	Datum: <b>23.08.2018</b>	

# Querschnitt Flügel



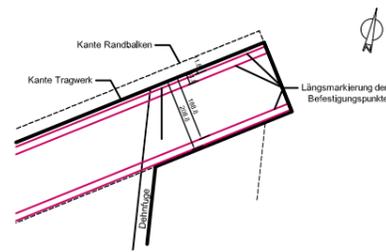
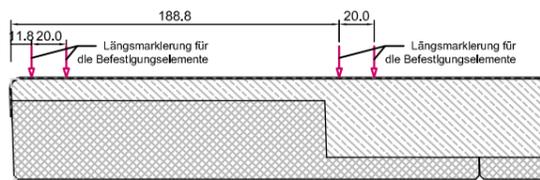
<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>	Planinhalt: <b>Querschnitt - Flügel</b>		Verfasser:  <b>Hösele Claudia Matrikelnr.: 1031079</b>
	Projekt: <b>Masterarbeit</b>	Masstab: <b>M 1:10</b>	

Längsschnitt

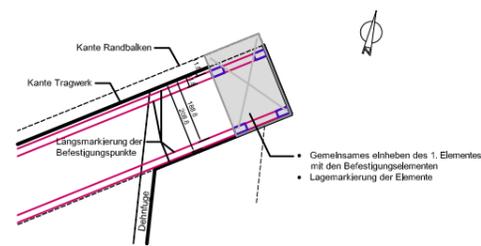
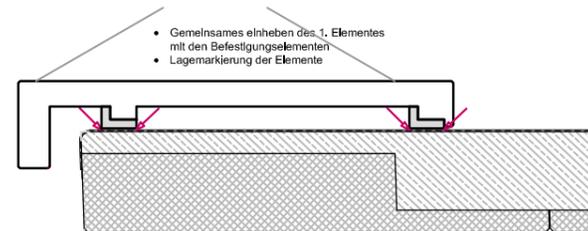


<p><b>Institut für Betonbau</b> <b>Technische Universität Graz</b></p>	<p>Planinhalt: <b>Kontur Zapfen - Längsschnitt</b></p>		<p>Verfasser: <b>Hösele Claudia</b> Matrikelnr.: 1031079</p>
	<p>Projekt: <b>Masterarbeit</b></p>	<p>Massstab: <b>M 1: 5</b></p>	

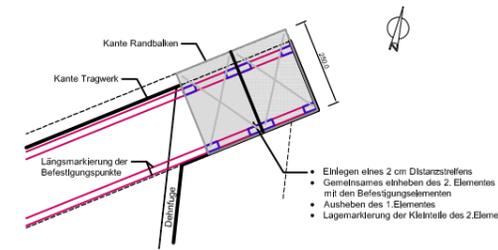
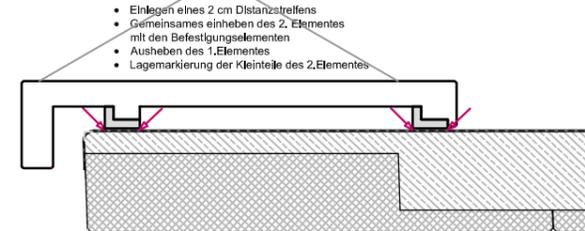
### Schritt 1



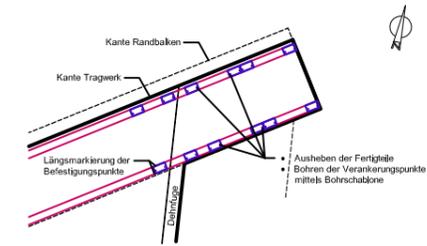
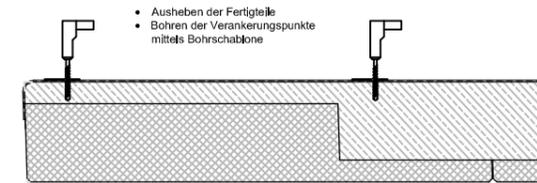
### Schritt 2



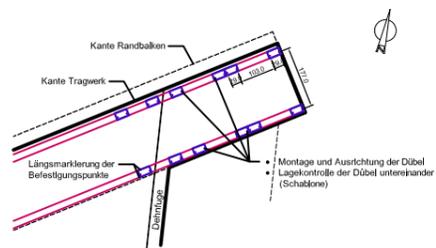
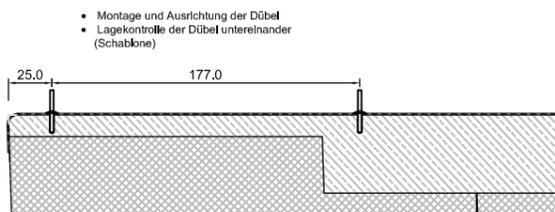
### Schritt 3



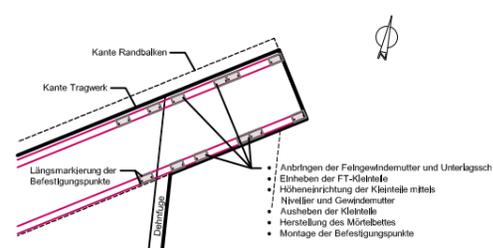
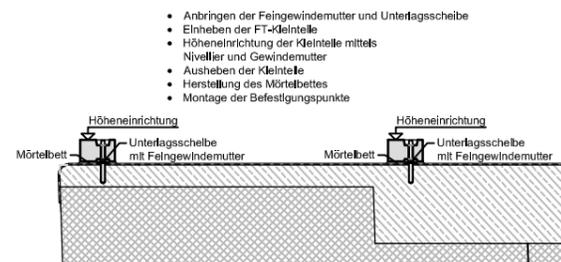
### Schritt 4



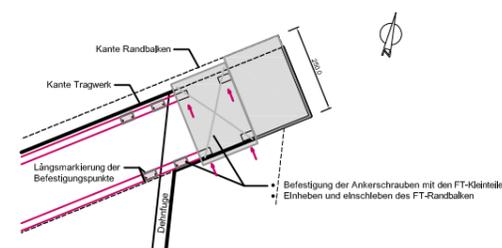
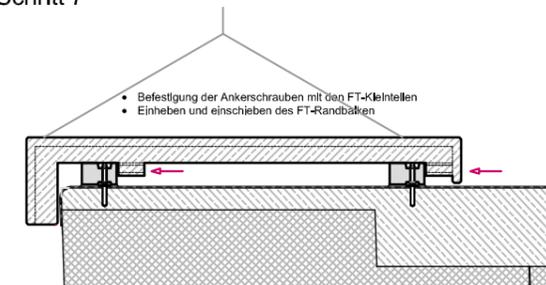
### Schritt 5



### Schritt 6



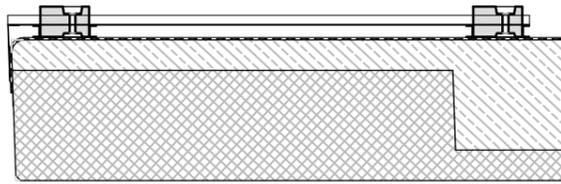
### Schritt 7



<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>		Planinhalt:	Montagekonzept - Einheben
Verfasser:	Hösele	Maßstab:	M 1: 10
		Datum:	09.08.2018

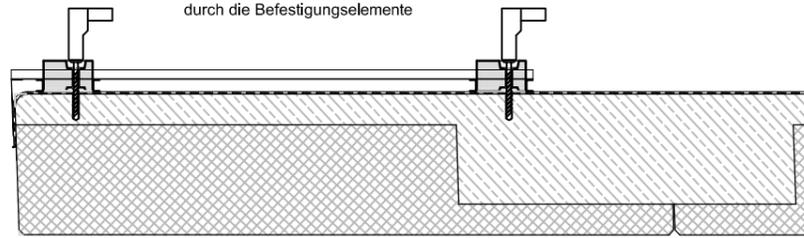
### Schritt 1

- Auflegen der Montageschablone und der FT-Kleinteile



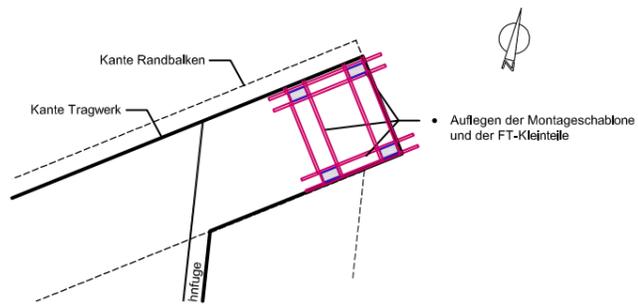
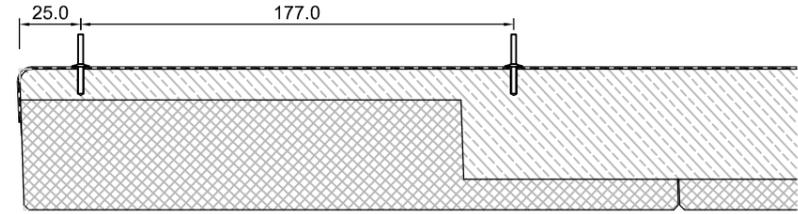
### Schritt 2

- Bohren der Verankerungspunkte durch die Befestigungselemente

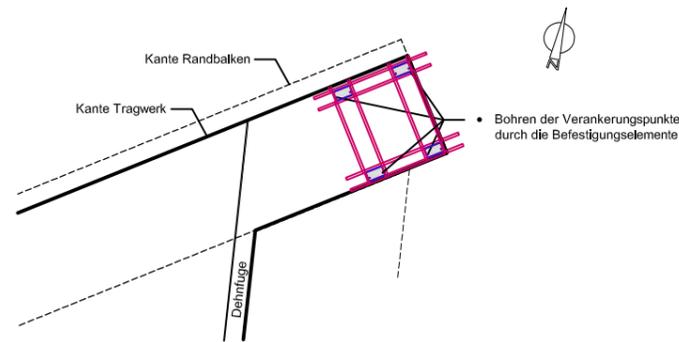


### Schritt 3

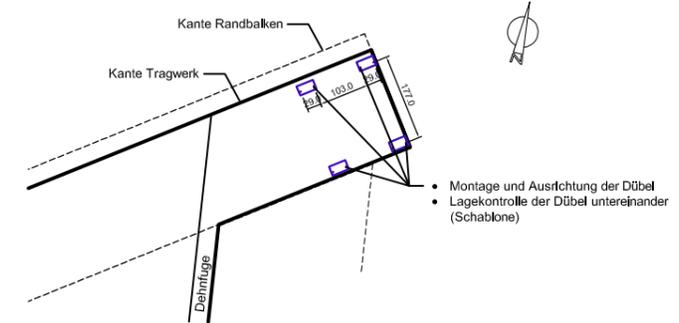
- Montage und Ausrichtung der Dübel
- Lagekontrolle der Dübel untereinander (Schablone)



- Auflegen der Montageschablone und der FT-Kleinteile



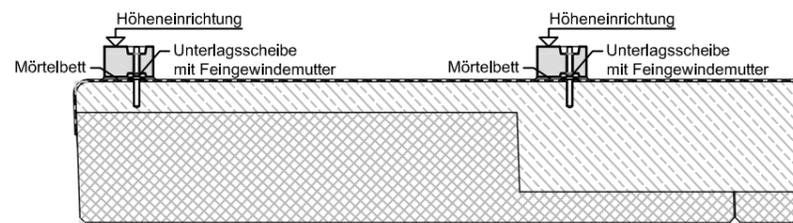
- Bohren der Verankerungspunkte durch die Befestigungselemente



- Montage und Ausrichtung der Dübel
- Lagekontrolle der Dübel untereinander (Schablone)

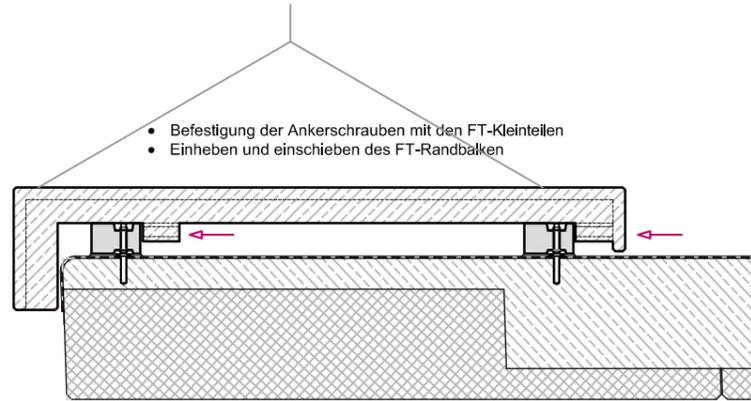
### Schritt 4

- Anbringen der Feingewindmutter und Unterlagsscheibe
- Einheben der FT-Kleinteile
- Höheneinrichtung der Kleinteile mittels Nivellier und Gewindemutter
- Ausheben der Kleinteile
- Herstellung des Mörtelbettes
- Montage der Befestigungspunkte



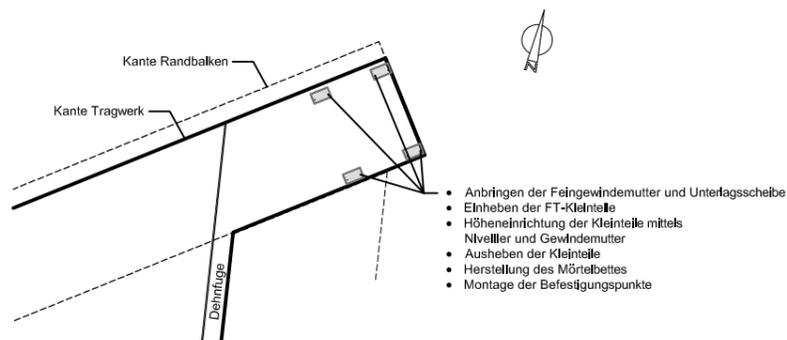
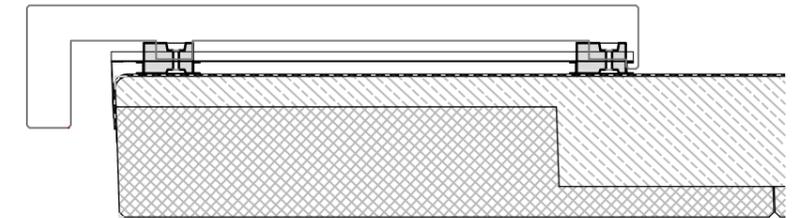
### Schritt 5

- Befestigung der Ankerschrauben mit den FT-Kleinteilen
- Einheben und einschieben des FT-Randbalken

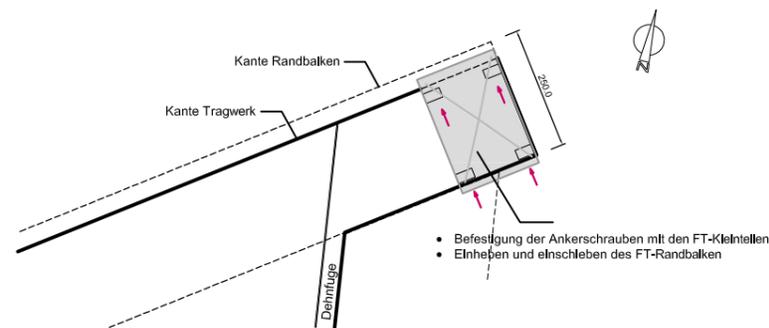


### Schritt 6

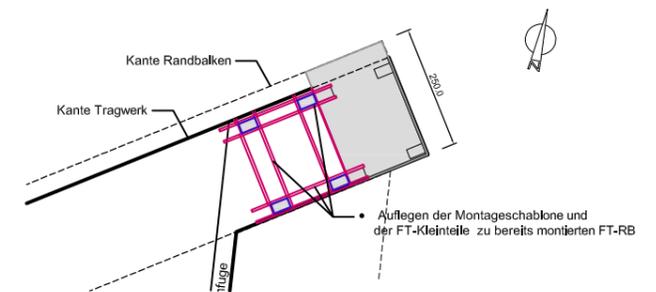
- Auflegen der Montageschablone und der FT-Kleinteile zu bereits montierten FT-RB



- Anbringen der Feingewindmutter und Unterlagsscheibe
- Einheben der FT-Kleinteile
- Höheneinrichtung der Kleinteile mittels Nivellier und Gewindemutter
- Ausheben der Kleinteile
- Herstellung des Mörtelbettes
- Montage der Befestigungspunkte



- Befestigung der Ankerschrauben mit den FT-Kleinteilen
- Einheben und einschieben des FT-Randbalken



- Auflegen der Montageschablone und der FT-Kleinteile zu bereits montierten FT-RB

<b>Institut für Betonbau Technische Universität Graz</b>		Planinhalt: Montagekonzept - Schablone	
Verfasser: Hösele	Masstab: M 1: 10	Datum: 23.08.2018	

