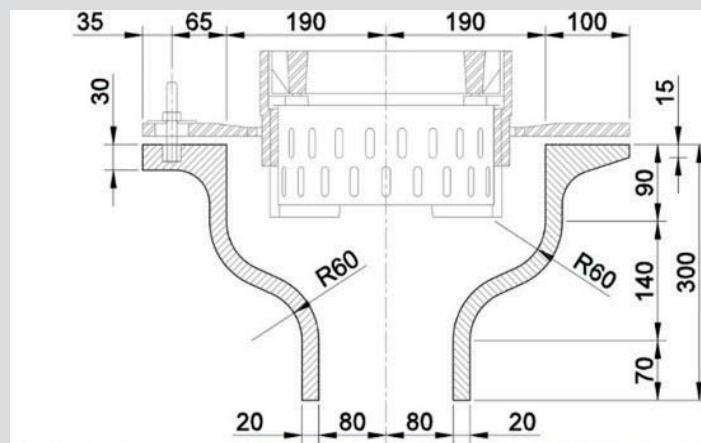


Entwicklung eines Prototyps für Brückenabläufe aus UHPC



D-3-03/2012

Verfasser: **Thomas Hofer, BSc**
Betreuer: **Nguyen Viet Tue, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.**
Mitbetreuer: **Regina della Pietra, Dipl.-Ing.**
eingereicht am: **Institut für Betonbau
Technische Universität Graz**



Masterarbeit

Entwicklung eines Prototyps für Brückenabläufe aus UHPC

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

unter der Leitung von

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

Dipl.-Ing. Regina della Pietra

Institut für Betonbau

eingereicht an der Technischen Universität Graz

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

von

Thomas Hofer, BSc

Graz, Oktober 2012

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebene Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die in den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

Zuerst möchte ich Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue danken, der mich auf die Idee gebracht hat, diese Arbeit zu schreiben und immer mit seinem Rat zur Seite gestanden ist. Großer Dank gebührt auch meiner Betreuerin Dipl.-Ing. Regina della Pietra, die der Situation meiner Halbtagsanstellung sehr viel Verständnis entgegengebracht hat und mit ihrem kollegialen Umgang mir gegenüber vieles erleichtert hat.

Den Projektpartnern DI Andreas Kammersberger und DI Dr. techn. Pius Wörle gilt es ebenfalls zu danken, da sie die Arbeit nicht nur möglich gemacht haben, sondern mit Begeisterung beteiligt waren und bei den Besprechungen immer wieder Denkanstöße in verschiedensten Richtungen lieferten.

Meine langjährige Mitarbeit im Zivilingenieurbüro DI Dr. techn. Kurt Kratzer hat mich durch mein Studium begleitet. Nicht nur für das zur Verfügung stellen der Schadensbilder, die bei vielen gemeinsamen Brückeninspektionen entstanden sind, möchte ich mich bedanken, sondern auch für die mir entgegengebrachte Unterstützung und die Flexibilität im Büroalltag, mit der es mir möglich war Beruf und Studium zu vereinen.

Die Versuche im Labor für konstruktiven Ingenieurbau wären mit Sicherheit nicht so reibungslos abgelaufen, wäre da nicht das Team aus der Werkstatt gewesen; allen voran Hannes Koitz, der mit großem Interesse bei allem dabei war, was zu tun war. Auch meinem Ansprechpartner vor Ort, Herr Dipl.-Ing. Gerhard Santner, der mit seiner unkomplizierten Art vieles vereinfacht hat und nicht nur bei den Versuchen zur Haftzugfestigkeit selbst Hand angelegt hat, gebührt mein Dank.

Herr Fachoberinspektor Robert Schrempf war zwar nicht immer der einfachste Gesprächspartner, hat es aber trotz aller Unabwägbarkeiten und Verzögerungen am Ende geschafft mit „seinem Roboter“ eine hervorragende Schalung herzustellen, die wir leider beim Ausschalen zerstören mussten.

Für die Unterstützung beim Betonieren von UHFB und Normalbeton möchte ich mich bei den Herren Dipl.-Ing. Philipp Hadl und MSc. (Eng.) Huy Hoang Kim bedanken, die auch sehr kurzfristig zur Verfügung standen und diverse Rückschläge immer mit Humor nahmen.

Am Ende will ich auch die Herren Dipl.-Ing. Oliver Reicht und Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Werner Theiler erwähnen, die mich so herzlich in ihrem Büro aufgenommen haben, auch wenn ich nicht immer sehr einfach zu ertragen gewesen sein dürfte.

Zu guter letzt möchte ich mich auch noch bei meiner Freundin Melanie für die mir entgegengebrachte Geduld bedanken; es war sicher nicht einfach, mich auf diesem langen Weg bis zur Fertigstellung der Arbeit zu begleiten.

Kurzfassung

Entwicklung eines Prototyps für Brückenabläufe aus UHPC

Die vorliegende Arbeit untersucht die Möglichkeit, einen Brückenablauf aus Ultrahochfestem Beton (kurz: UHFB) herzustellen.

Dazu wurden zuerst die nationalen und internationalen Regelwerke, die die Entwässerung von Brücken betreffen, gegenübergestellt. Danach wurden die Produkte einiger Hersteller verglichen und Schäden, die an derzeit verwendeten gusseisernen Abläufen auftreten, aufgezeigt und analysiert.

Für das Material Ultrahochfester Beton wurde mit besonderem Augenmerk auf die Dauerhaftigkeit ein Überblick über den Stand der Forschung gegeben. Im Rahmen der Vorbereitungen für die Herstellung des Prototyps wurde eine Versuchsreihe durchgeführt, um die Haftzugfestigkeit von UHFB-Fertigteilen mit Normalbeton unter Berücksichtigung der Oberflächenbeschaffenheit zu ermitteln.

Anhand der Einflussfaktoren Regelwerke, Schadensbilder und Materialeigenschaften wurden die relevanten Parameter für die Formgebung einer Ablauftasche aus UHFB gefunden. Danach wurde für die so entwickelte Form eine Schalung mit Hilfe eines Roboters gefräst.

Anschließend wurde der Prototyp mit einer am Institut für Betonbau entwickelten Rezeptur für karbonfaserverstärkten UHFB hergestellt.

Die Möglichkeit, eine Ablauftasche aus UHFB herzustellen wurde damit bewiesen.

Schlagworte: Brückenentwässerung, Brückenablauf, Regelwerke, Hersteller, Schadensbilder, Ultrahochfester Beton, Dauerhaftigkeit, Karbonfaser, Haftzugfestigkeit

Abstract

Development of a prototype for drainage outlets made of UHPC

The present work investigates the possibility of producing a drainage outlet made of ultra high strength concrete (abbr.: UHPC).

At first the national and international regulations concerning the drainage of bridges were evaluated. After that, the products of some manufacturers were compared and damage that occurs to currently used cast iron outlets was identified and analyzed.

An overview of the state of research for the material ultra high strength concrete with special attention to the durability was given. In preparation to the production of the prototype, a series of experiments was conducted in order to determine the tensile-bond strength of UHPC-precast-elements with normal concrete, taking surface characteristics into account.

Based on the factors of regulations, damage patterns and material properties the relevant parameters for the design of a drainage outlet made of UHPC were found. Thereafter, form-work for the so-evolved form was milled using a robot.

Subsequently the prototype was casted, using a formula for carbon fiber reinforced UHPC developed at the Institute for structural Concrete.

Thus the possibility of producing a drainage outlet made of UHPC was proven.

Keywords: bridge deck drainage, drainage outlet, standards, manufacturers, damage patterns, ultra high performance concrete, durability, carbon fiber, tensile bond strength

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage und Motivation	1
1.2	Potential	1
1.2.1	Nachfrage	1
1.2.2	Erwarteter Marktanteil	2
1.2.3	Zielgruppe	2
1.3	Zielsetzung.....	3
2	Brückenentwässerung.....	5
2.1	Bestandteile der Brückenentwässerung	5
2.1.1	Brückeneinlauf	5
2.1.2	Abdichtungsentwässerung.....	7
2.1.3	Fahrbahnübergangsentwässerung.....	8
2.1.4	Rohrleitungen	8
2.2	Stand der Technik	10
2.2.1	Regelwerke für Österreich.....	10
2.2.2	Internationaler Vergleich.....	16
2.2.3	Gegenüberstellung.....	30
2.3	Hersteller.....	32
2.3.1	ACO	32
2.3.2	Höllko.....	36
2.3.3	Purator Wallner & Neubert	39
2.3.4	Gegenüberstellung.....	42
2.3.5	Andere Hersteller	43
2.4	Schadensbilder	46
2.4.1	Umläufigkeit.....	46
2.4.2	Kurzer oder fehlender Ablaufstutzen	47
2.4.3	Korrosion.....	49
2.4.4	Sinter	53
2.4.5	Ablagerungen	54

3	Ultrahochleistungsbeton.....	57
3.1	Mechanische Eigenschaften.....	58
3.1.1	Druckfestigkeit.....	59
3.1.2	Faserzusatz.....	59
3.1.3	Zugfestigkeit.....	60
3.2	Dauerhaftigkeit.....	61
3.2.1	Frost-Tau- und Frost-Taumittel-Widerstand.....	61
3.2.2	Chloriddiffusion.....	63
3.2.3	Karbonatisierung.....	64
3.2.4	Chemischer Angriff.....	65
3.2.5	Verschleißwiderstand.....	68
3.3	Versuche zur Haftzugfestigkeit.....	68
3.3.1	Herstellen der Versuchskörper.....	68
3.3.2	Versuchsdurchführung.....	74
3.3.3	Ergebnisse.....	76
3.3.4	Begleitversuche.....	79
3.4	Karbonfaserverstärkter UHFB.....	80
4	Konstruktive Anforderungen.....	83
4.1	Geometrische Anforderungen.....	83
4.1.1	Auswahl des Anbieters für den Aufsatzrahmen.....	84
4.1.2	Abdichtungsanschluss.....	85
4.1.3	Durchdringung der Kragplatte.....	85
4.1.4	Rohrleitungsanbindung.....	86
4.2	Anforderungen an die Oberfläche.....	87
4.2.1	Innen.....	87
4.2.2	Außen.....	87
4.3	Optimierung für den Einbau.....	87
4.4	Erhaltung.....	88

5	Formfindung.....	89
5.1	Ausgangslage.....	89
5.2	Formstudie.....	90
5.3	Formoptimierung.....	95
5.4	Anpassen an die Anforderungen des Roboters.....	98
5.5	Endgültige Form.....	99
6	UHPC-Prototyp.....	101
6.1	Roboterdesignlabor.....	101
6.2	Schalung.....	103
6.3	Betonieren.....	105
6.4	Ergebnis.....	107
7	Zusammenfassung.....	109
7.1	Erwarteter Marktpreis.....	109
7.1.1	Herstellkosten.....	109
7.1.2	Baubetrieb.....	110
7.1.3	Wartung und Reparatur.....	110
7.2	Zusätzliche Konstruktionselemente.....	110
7.2.1	Abdichtungsablauf.....	110
7.2.2	Aufsatzteile aus UHPCrFRC.....	111
7.2.3	Sonderformen für Ablaufrohre.....	111
7.3	Ausblick.....	112
7.3.1	Schalung.....	112
7.3.2	Form.....	112
7.3.3	Hydraulik.....	112
7.3.4	Verbund mit dem Tragwerk.....	112
7.3.5	Abdichtungsanschluss.....	112
	Literaturverzeichnis.....	113
	Abbildungsverzeichnis.....	121
	Tabellenverzeichnis.....	127

Anhang	129
A1. NSC-Rezeptur.....	129
A2. UHFB-Rezeptur.....	130
A3. UHPCrFRC-Rezeptur.....	131
A4. Ergebnisse Haftzugversuche.....	132
A5. Ergebnisse Begleitversuche UHFB.....	137
A6. Ergebnisse Begleitversuche NSC.....	138
A7. Ergebnisse Begleitversuche UHPCrFRC.....	140
A8. Klebeversuche für Extrudiertes Polystyrol.....	141

Verwendete Symbole und Abkürzungen

ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BSI	British Standards Institution
CDF-Test	Capillary Suction of De-icing solution and Freeze thaw Test
CIF-Test	Capillary Suction- Internal damage and Freeze thaw Test
CEN	Comité Européen de Normalisation
DMRB	Design Manual for Roads and Bridges
EPS	Expandiertes Polystyrol
FSV	Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr
HEC	Hydraulic Engineer Circular
HPC	High Performance Concrete
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses
RCM	Rapid Chlorid Migration
RDL	Roboterdesignlabor
RiZ-ING	Richtzeichnungen für Ingenieurbauten
RkEB	Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken
RPC	Reactive Powder Concrete
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
SETRA	Service d'études Techniques des Routes et Autoroutes
UHFB	Ultrahochfester Beton
UHSC	Ultra High Strength Concrete
UHPC	Ultra High Performance Concrete
UHPCrFRC	Ultra High Performance Carbon-Fiber Reinforced Concrete
UHPRFC	Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete
UK	Unterkante
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
XPS	Extrudiertes Polystyrol
ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Motivation

Zur Ableitung der Tagwässer von Brücken werden in Österreich derzeit Brückenabläufe eingesetzt, die aus Gusseisen hergestellt sind. Der mit der Zeit abnehmende Verbund zwischen Gusseisen und Beton, sowie Schäden im Kontaktbereich mit der am Ablauf befestigten Abdichtung, führen zu Undichtigkeiten im unmittelbaren Nahbereich des Ablaufes und somit auch zur Schädigung des Brückenbauwerks. Auch ist die Dauerhaftigkeit (Korrosionsbeständigkeit) des Gusseisens durch die hohe Belastung des ablaufenden Wassers u.a. mit Taumittel nicht im gewünschten Rahmen gegeben und führt zu kürzeren Lebensdauern der Abläufe (Schadensbilder siehe 2.4). Der Austausch der Abläufe und die Sanierung der entstandenen Schäden sind meist mit hohem Aufwand und Kosten verbunden.

Da ultrahochfester Beton (kurz: UHFB) ein sehr dauerhaftes Material ist und bei entsprechender Oberflächenbehandlung sehr guten Verbund mit dem für den Überbau verwendeten Normalbeton aufweist, ergibt sich die Idee Brückenabläufe als Fertigteile aus diesem innovativen Material herzustellen.

1.2 Potential

1.2.1 Nachfrage

Im unter- und übergeordneten Straßennetz von **Österreich** befanden sich 2009 ca. 27.530 Brückenobjekte mit einer Gesamtfläche von ca. 10,4 Mio. m² [1 S. 10], was einen Bedarf an ca. 36.400 Stück¹ Brückenabläufen ergibt, die derzeit ungefähr alle 20 (Belag und Abdichtung) bis 50 Jahre (Entwässerungssystem) [2 S. 201] saniert oder ersetzt werden müssen.

Im Jahr 2010 befanden sich im Netz der Autobahnen, Schnellstraßen, Bundes- und Landesstraßen in der **Steiermark** 4.795 Brückenobjekte mit einer Gesamtgrundfläche von 1.948.898 m², davon 4.139 Betonbrücken mit 1.841.436 m² Grundfläche [3 S. 26] Diese

¹ mit max. 400 m² Einzugsfläche pro Ablauf bzw. 25 m Abstand zwischen den Abläufen [5 S. 4] & [7 S. 3]

weisen zum Großteil Spannweiten bis 20 m (72,3%) und Grundflächen bis 200 m² (69,2%) auf [3 S. 171] Daraus ergibt sich ein Bedarf an ca. 6.100 Stück Brückenabläufen für die Betonbrücken der Steiermark.

In **Deutschland** befinden sich allein im Bundesfernstraßennetz 37.110 Brücken mit 27,2 Mio. m² Brückenfläche [1 S. 12], was ca. 95.000 Stück Brückenabläufen entspricht.

Im **Schweizer Autobahnnetz** gibt es ca. 3000 Brücken mit bis zu 3,1 km Länge [4], was ca. 4.500 Brückenabläufen entspricht. Für den Unterhalt und die Sanierung der Objekte werden jährlich² 230 Millionen Franken (140 Millionen Euro) aufgewendet.

Im „deutschsprachigen“ (Alpen-) Raum ergibt das allein für das übergeordnete Straßennetz ein Potential von 136.000 Brückenabläufen.

1.2.2 Erwarteter Marktanteil

In Österreich werden Abläufe von ACO, Höllko und Purator eingesetzt. Der jeweilige Marktanteil wird geschätzt auf 40% der Abläufe der Firma Purator, 40% der Firma ACO. Die restlichen 20% Marktanteil fallen auf die Höllko Abläufe. Eine genaue Markteinschätzung ist nicht möglich, da keine Verkaufszahlen der jeweiligen Hersteller vorliegen.

Eine vorläufige Annahme des Marktanteiles im ersten Produktionsjahr des UHFB-Brückenablaufes wird mit ca. 5-10% erwartet. Langfristig soll der bestehende Gusseiserne Ablauf durch einen UHFB Ablauf bei den Herstellern ersetzt werden.

1.2.3 Zielgruppe

Der erwartete Kundenkreis sind Betreiber und Auftraggeber von Projekten der Straßen- und Brückeninfrastruktur, wie Bund, Länder und Gemeinden, ausführende Unternehmen, sowie Händler für den Vertrieb in Österreich oder Handelspartner im Ausland.

² Stand 2007

1.3 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit wird durch Materialuntersuchungen und die Herstellung eines Prototyps die Machbarkeit der Idee eines Brückenablaufs aus UHFB eingehend untersucht. Dabei werden u.a. die Aspekte eines in Zukunft abdichtungslosen Bauwerks (mit direkt befahrbarem Belag) berücksichtigt. Die Ergebnisse sollen eine Entscheidungshilfe für weitere Untersuchungen zur industriellen Herstellung von Brückenabläufen aus UHFB bilden.

Da Brückenabläufe für Beton-, Holz- und Stahlbrücken teilweise sehr unterschiedliche Anforderungen aufweisen wird in der Arbeit nur auf Abläufe für Straßenbrücken aus Beton bzw. Stahl- oder Holz-Beton-Verbundbrücken eingegangen. Ein Ablauf aus UHFB ist in eine Stahlbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte auch nur bedingt sinnvoll, in diesem Fall ist Gusseisen weiterhin das geeignetste Material.

Auch Abläufe für Eisenbahnbrücken mit Schotterbett werden nicht näher betrachtet, sind aber, vorausgesetzt es handelt sich um Betontragwerke, mit kleinen Anpassungen an Aufsatzrahmen und Abdeckrost adaptierbar. Für Eisenbahnbrücken mit fester Fahrbahn sollten die entwickelten Abläufe direkt einsetzbar sein.

2 Brückentwässerung

„Brückentwässerungen haben auftretende Oberflächenwässer entsprechend dem örtlich anzusetzenden Berechnungsregen und das bis zur Brückenabdichtung eingedrungene Wasser abzuleiten“ [5 S. 4]

Es wird im Folgenden zwischen Brückeneinläufen (welche das Niederschlagswasser ableiten) und Abdichtungsentwässerungen (die das zur Abdichtung eingedrungene Wasser ableiten) unterschieden.

2.1 Bestandteile der Brückentwässerung

Es folgt ein Überblick über die Bestandteile der Brückentwässerung und die Definition der damit verbundenen Begriffe, die dafür in dieser Arbeit verwendet werden. Die fettgedruckten Begriffe sind aus [5] entnommen, in Klammern folgen die jeweils entsprechenden aus [6], [7] und [8].

2.1.1 Brückeneinlauf

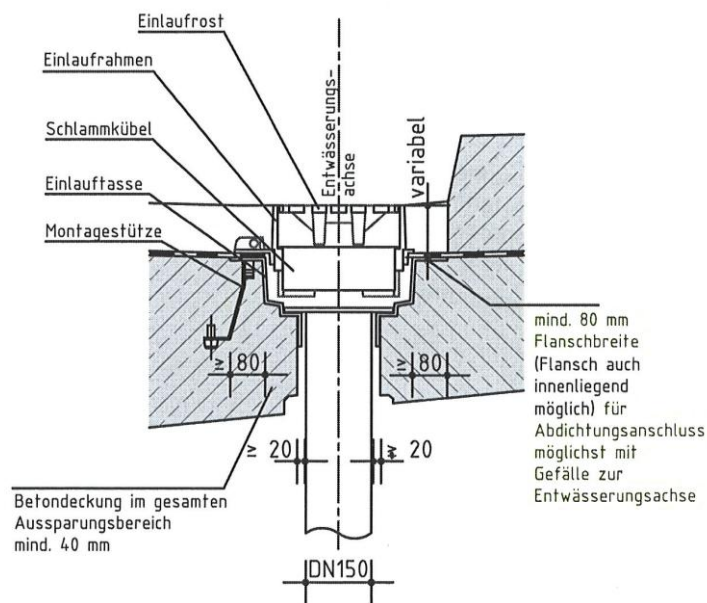


Bild 2.1 Begriffe Brückeneinlauf, Abbildung 5 in [5 S. 7]

2.1. Bestandteile der Brückenentwässerung

Der **Einlaufrost** (kurz Rost) ist der oberste Teil des Brückeneinlaufs (siehe **Bild 2.1**). Er ist üblicherweise mit Schlitz- oder anderen Öffnungen ausgestattet, deren Fläche den **Einlaufquerschnitt** (auch Eintrittsquerschnitt) definiert. Der Rost liegt am **Einlaufrahmen** (auch Aufsatzrahmen, kurz Rahmen) auf. Die Abmessungen Innerkant des Rahmens ergeben die Lichte Fläche und der Radius des größtmöglichen in diesen eingeschriebenen Kreis ist als **Lichte Weite** definiert (siehe **Bild 2.2**). Der Rahmen wiederum ist auf die **Einlauf-tasse** (auch Ablauf-tasse) aufgesetzt. Sie hat einen umlaufenden **Anschlussflansch** zur Befestigung der Abdichtung und mündet in das **Ablaufrohr**, welches an das weiterführende Rohrleitungssystem (siehe 2.1.4) angeschlossen ist. In die Einlauf-tasse kann noch ein **Schlammkübel** (auch Schlammeimer) eingesetzt werden.

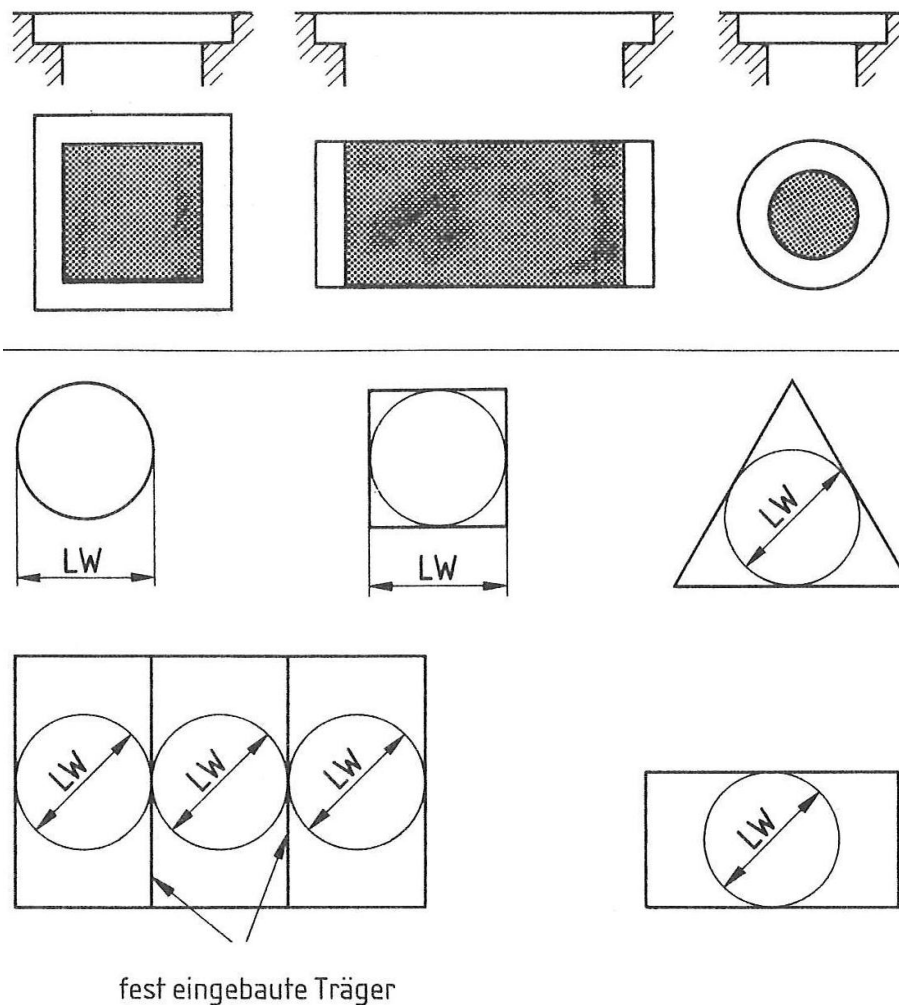


Bild 2.2 Lichte Fläche (schattiert) und Lichte Weite (LW), Bild 7a bis 8c in [6 S. 5]

2.1.2 Abdichtungsentwässerung

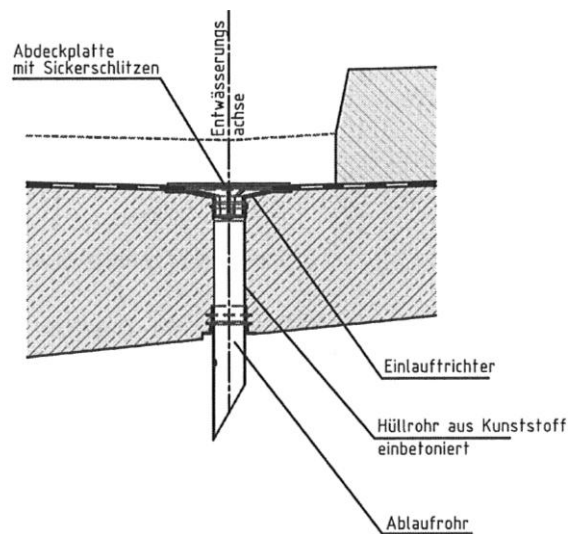


Bild 2.3 Begriffe Abdichtungsentwässerung, Abbildung 12 in [5 S. 9]

Durch den Belag bis zur Brückenabdichtung gelangtes Wasser wird über den optionalen, in Brückenlängsrichtung verlaufenden **Filterbetonstreifen** (siehe **Bild 2.4**) zur Abdichtungsentwässerung (auch Tropfülle oder Belagsentwässerung) geleitet. Dort deckt eine **Abdeckplatte** mit Sickerschlitzen den **Einlauftrichter** ab, der in ein **Ablaufrohr** mündet (siehe **Bild 2.3**). Wenn dieses nicht an das weiterführende Rohrleitungssystem (siehe 2.1.4 und **Bild 2.4**) angeschlossen wird, ist eine Abtropfkante sinnvoll (siehe **Bild 2.3**).

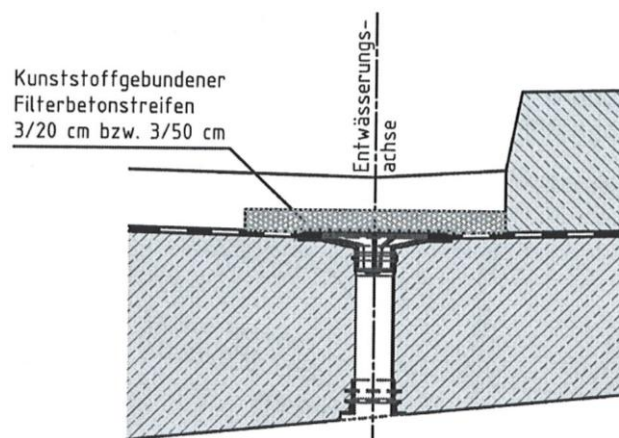


Bild 2.4 Längsdrainagestreifen (Querschnitt), Abbildung 13a in [5 S. 10]

2.1.3 Fahrbahnübergangsentwässerung

Bei Fahrbahnübergangskonstruktionen, die nicht wasserdicht ausgeführt sind, wird das anfallende Wasser ebenfalls gefasst (siehe **Bild 2.6**) und dem weiterführenden Rohrleitungssystem (siehe 2.1.4) übergeben.

2.1.4 Rohrleitungen

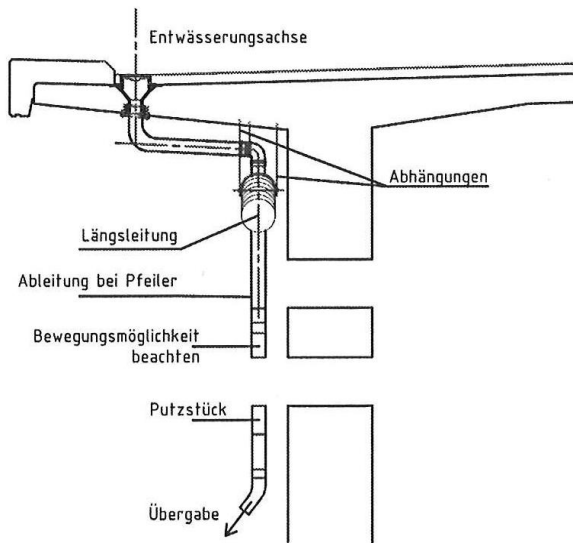


Bild 2.5 Ableitung an Stegaußenkante, Abbildung 23 in [5 S. 13]

Das Rohrleitungssystem besteht beginnend an den Ablaufrohren der Brückeneinläufe, Abdichtungs- und Fahrbahnübergangsentwässerungen aus **Zuleitungen** (auch Querleitungen) in Brückenquerrichtung, den **Längsleitungen** (auch Sammelleitungen) in Brückenlängsrichtung und **Falleitungen** an den Pfeilern (siehe **Bild 2.5**) und Widerlagern (siehe **Bild 2.6**). Es sind **Putzstücke** (auch Reinigungsöffnungen oder Reinigungsschächte) in definierten Abständen angeordnet. Durchdringt eine Leitung einen Steg (siehe **Bild 2.7**) oder ein Widerlager (siehe **Bild 2.6**) geschieht dies mittels eines **Überschubrohres** (auch Mantelrohr oder Futterrohr). Bei Bewegungsfugen (wie z.B. am Widerlager) sind **Übergangsstücke** (auch Dilatationselemente / -muffen, (Übergabe-) Trichter oder elastische Rohrverbindungen (= Brückenentwässerungsschlauch)) (siehe **Bild 2.6**) angeordnet.

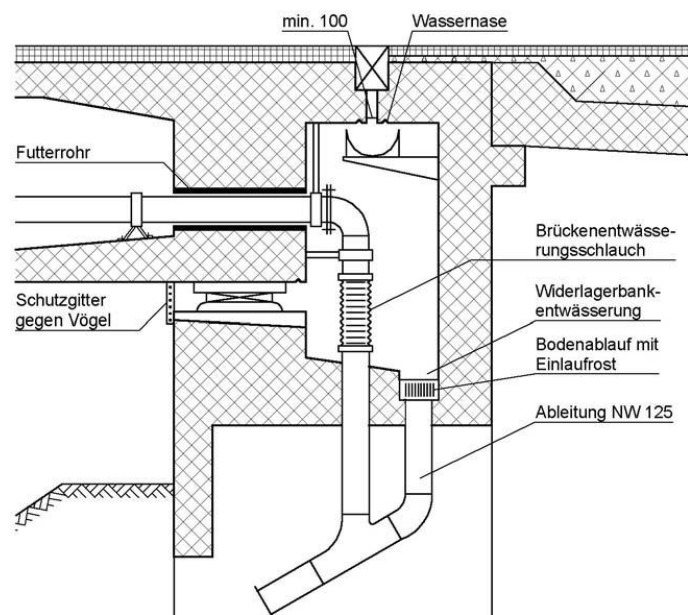


Bild 2.6 Sammelleitung mit Brückenentwässerungsschlauch und Fahrbahnübergangsentwässerung am Brückende, Abb. 11 in [8 S. 16]

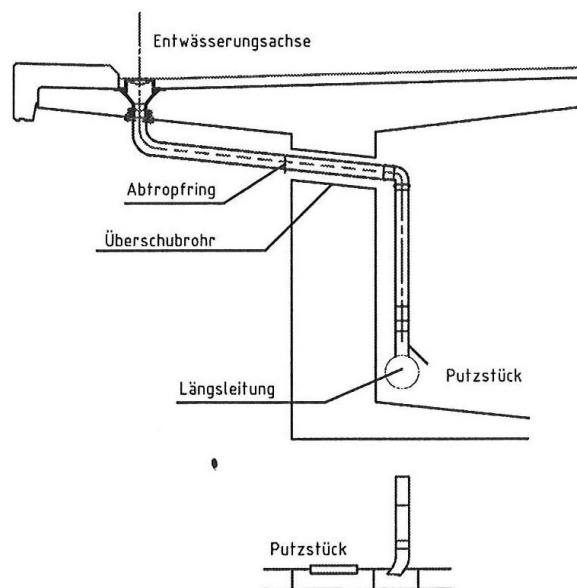


Bild 2.7 Ableitung im Hohlkasten oder an Steginnenseite, Abbildung 24 in [5 S. 13]

2.2 Stand der Technik

Im Folgenden werden nationale und internationale Regelwerke für Brückeneinläufe gegenübergestellt. Dabei werden die Bereiche Hydraulik, Bau und Erhaltung, Geometrie, Material und Lastannahmen stichpunktartig betrachtet.

2.2.1 Regelwerke für Österreich

Europäische Normung

Die Europäische Norm ÖNORM EN 124 „Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen“ [6] beschreibt nur den oberen Teil der Abläufe (Roste, Aufsätze und Abdeckungen).

- Hydraulik
Der Eintrittsquerschnitt von Schlitz in Rosten muss mindestens 30% der Lichten Fläche betragen.
- Bau und Erhaltung
Es wird auf die Richtlinien der Hersteller bzw. nationale Einbauvorschriften verwiesen.
- Geometrie
 - Die Einlegetiefe von Rosten und Abdeckungen der Klasse D 400 (siehe **Tabelle 2.2**) und höher in die Rahmen muss mindestens 50 mm betragen.
 - Für die Sicherung gegen Abheben wird auf die nationalen Anwendungsdokumente verwiesen.
 - Die Schlitzmaße in Rosten der Klassen C 250 und höher werden abhängig von der Anordnung in Fahrtrichtung laut **Bild 2.8** und **Tabelle 2.1** vorgeschrieben.
 - Die Oberfläche von Rosten der Klassen D 400 und höher muss eben sein, mit einer Toleranz von 0,8% der Lichten Weite (höchstens 6 mm).
 - Die Höhe des vollständigen Rahmens der Klassen D 400 und höher hat 100 mm zu betragen und kann für die Klasse D 400 unter bestimmten Umständen auf 75 mm reduziert werden. [6 S. 9]

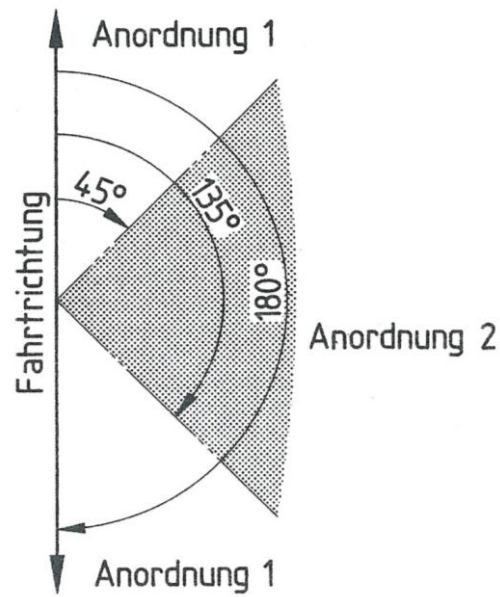


Bild 2.8 Anordnung der Schlitze, Bild 10 in [6 S. 9]

Tabelle 2.1 Schlitzmaße für Klassen C 250 bis F 900, Tabelle 5 in [6 S. 9]

Anordnung		Klasse	Breite mm	Länge mm
Nr 1	Von 0° bis <45° und von >135° bis 180°	alle Klassen	16 bis 32	≤ 170
Nr 2	Von 45° bis 135°	C 250	16 bis 42	keine Begrenzung
		D 400 bis F 900	20 bis 42	keine Begrenzung

2.2. Stand der Technik

- Material

Es ist möglich für die Bestandteile jeden Werkstoff zu verwenden, der die Anforderungen der Norm erfüllt. Für Abdeckungen und Aufsätze werden Beton und Stahlbeton als Werkstoff sogar gesondert angeführt. [6 S. 7] Die geforderte Mindestdruckfestigkeit würde einem C 40/45³ entsprechen, bei einer Betondeckung von mindestens 20 mm.

- Lastannahmen

Es werden die Anforderungsklassen für Abdeckungen und Aufsätze definiert. Für Brückeneinläufe sind die Gruppen 3 (mindestens Klasse C 250) und 4 (mindestens Klasse C 400) relevant (siehe **Bild 2.9**). Diese entsprechen Prüfkraften von 250 bzw. 400 kN (siehe **Tabelle 2.2**).

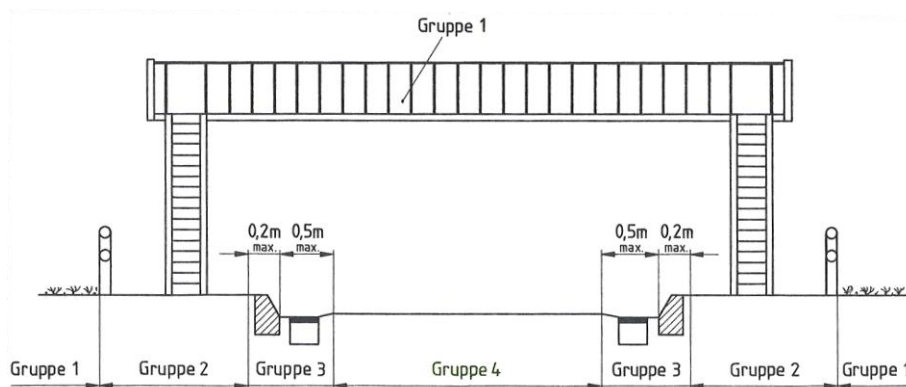


Bild 2.9 Typischer Querschnitt einer Straße mit Darstellung einiger Gruppen von Einbaustellen, Bild 9a in [6 S. 6]

³ Mindestdruckfestigkeit für die Klassen B 125 bis F 900 nach 28 Tagen: Würfel, Kantenlänge 150 mm: 45 N/mm²; Zylinder, Durchmesser 150 mm, Höhe 300 mm: 40 N/mm².

Tabelle 2.2 Prüfkraft, Tabelle 6 in [6 S. 10]

Klasse	Prüfkraft kN
A 15	15
B 125	125
C 250	250
D 400	400
E 600	600
F 900	900

- Sonstiges
Die nationalen Anwendungsdokumente ÖNORM B 5110-1 [9] und -2 [10] ergänzen folgende Punkte:
 - Roste und Abdeckungen der Klassen A 15 bis C 250 müssen eine Einlegetiefe von mind. 15 mm aufweisen. [10 S. 3]
 - Zur Sicherung gegen Abheben ist eine flächenbezogene Masse von mindestens 275 kg/m² für Deckel und Roste der Klasse D 400 und höher; und im Falle einer Sicherung 150 kg/m² für Klasse C 250 und 250 kg/m² für Klasse D 400 und höher vorgeschrieben. [9 S. 4] bzw. [10 S. 3]

Österreichische Normung

In Österreich stellt die RVS 15.04.31 „Brückenentwässerung“ [5] den Stand der Technik dar und ist für Bundesstraßen verbindlich. Eine Anwendung auch außerhalb dieses Bereiches wird angeregt.

- Hydraulik
Das Schluckvermögen hat mindestens 10 l/s zu betragen (Nachweis möglichst durch einen Versuch). Der Mindesteinlaufquerschnitt ist mit netto mindestens 350 cm² festgelegt.
- Bau und Erhaltung
 - Es ist ein sorgfältiger Anschluss der Brückenabdichtung an die Einbauteile der Brückenentwässerung zu gewährleisten. Dazu ist eine Flanscbreite von mind. 80 mm vorgeschrieben (siehe **Bild 2.10**).

- Die Anforderungen an das Rohrleitungsmaterial und die Einbauteile sind auf die zu erwartenden Beanspruchungen durch die Reinigungsgeräte abzustimmen.
- Verlängerungen der Rohrstützen der Einbauteile (z.B. durch Abfallrohre) sind gegen Ausziehen zu sichern.
- Die Anordnung eines Schlammkübels (mit Überlaufschlitzen) ist dann sinnvoll, wenn das Wasser in ein Rohrsystem weitergeleitet wird, nicht aber bei Freifalleleitungen.

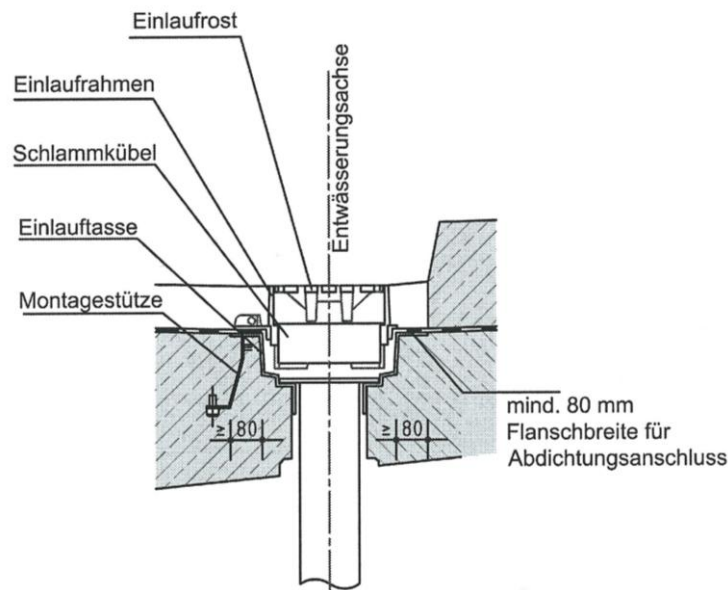


Bild 2.10 Anbindung Abdichtung an Brückenablauf, Abbildung 1 in [5 S. 5]

- Geometrie
 - Eine Höhenverstellbarkeit der Konstruktion ist unbedingt erforderlich.
 - Ein Brückeneinlauf hat auch die Funktion einer Abdichtungsentwässerung zu übernehmen.
 - Die Oberkante der Einlaufftasse hat mindestens 5 mm unter der benachbarten Betonoberfläche zu liegen.
 - Die Flanschbreite hat für den Abdichtungsanschluss mind. 80 mm zu betragen.
 - Der Rohrüberstand des Brückeneinlaufes von der Tragwerks- bzw. Kragplattenunterkante hat mindestens 100 mm zu betragen. Im Falle einer freien Ausleitung ist der Rohrüberstand auf die Geometrie des Tragwerkes abzustimmen (Windablenkung des Wasserabflusses).

- **Material**
Es wird keine Aussage zum zu verwendenden Material für die Brückeneinläufe getätigt, obwohl die präsentierten Abbildungen Bezug auf die derzeit üblichen gusseisernen Einläufe nehmen (siehe beispielsweise **Bild 2.10**).
- **Lastannahmen**
Es gilt mindestens die Prüflastklasse D 400 (siehe **Tabelle 2.2**). Bei Flächen, die mit besonders hohen Radlasten befahren werden, gilt mindestens Klasse E 600.
- **Sonstiges**
Der Einlaufrost ist gegen unbeabsichtigtes Aufklappen und Diebstahl zu sichern.

2.2.2 Internationaler Vergleich

PIARC

Das Komitee 11 des Weltstraßenverbandes PIARC hat 1991 einen Bericht mit dem Titel „Drainage of Water on Road Bridges“ [11] verfasst. Der Bericht ist nicht mehr erhältlich, wird aber aus Gründen der Vollständigkeit angeführt. Wie der folgenden Kurzfassung zu entnehmen ist, stellt er eine Zusammenstellung des Standes der Technik für Brückenentwässerung in 19 der Mitgliedsstaaten dar:

“An international inquiry carried out by the PIARC Technical Committee on Road Bridges has made it possible to collect information on current practice in nineteen countries for water drainage from road bridges (Australia, Austria, Belgium, Canada, Czechoslovakia, Denmark, France, India, Israel, Italy, Japan, the Netherlands, Norway, Poland, Spain, Sweden, Switzerland, the United Kingdom, the United States).

The fields covered are drainage of runoff water from the surface of the carriageway and roadside features (footways, etc.), of seepage water from the surfacing, under the waterproofing layer, by the channel, the gulleys and the collecting pipes, at expansion joints, at abutments.” [12]

Deutschland

In Deutschland gibt die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit der ZTV-ING Teil 8-5 „Bauwerksausstattung, Entwässerung“ [7] die Randbedingungen für Straßenabläufe und Tropftüllen vor. Für den Einbau gelten die RiZ-ING „Brückenentwässerung“, insbesondere Richtlinie „Was 0“ [13] sowie Richtzeichnung „Was 1“ [14].

- **Hydraulik**
Der Einlaufquerschnitt darf 500 cm² (bzw. 1000 cm² [14]) nicht unterschreiten.
- **Bau und Erhaltung**
 - Es sind Schlammeimer mit umlaufendem Auflagerkragen und Notüberlauf [14] (z.B. durch Entwässerungsschlitze) vorzusehen.
 - Die Ablaufunterteile sind mit der Bewehrung zu versetzen und einzubetonieren. Nachträgliches Einbetonieren ist nur bei Umbauten und Instandsetzung möglich [13]
- **Geometrie**
 - Je nach Abstand der Abläufe in Brückenlängsrichtung haben die Abmessungen 300 x 500 mm oder 500 x 500 mm zu betragen.
 - Die Oberteile müssen diebstahlsicher, stufenlos höhenverstellbar (ΔH von 0 bis mind. 45 mm [14]), neigungs- und seitenverstellbar sowie drehbar sein.

- Ablaufunterteile müssen so ausgebildet sein, dass sie eine wirksame Entwässerung der Dichtschicht ermöglichen.
- Die mindestens erforderliche Flanschbreite beträgt nach DIN EN 1253-1 [15] zum Kleben von Bitumenabdichtungen 100 mm (siehe **Tabelle 2.3**).

Tabelle 2.3 Anschlussflansche, Tabelle 2 in [15 S. 12]

Art der Abdichtung im Flanschbereich	Wirksame Mindestflanschbreite mm			
	Anschlussflansch mit Gegenflansch		Klebeflansch	Anschweiß- flansch
	Festflansch ^a	Losflansch		
mit Bitumenbelag				
- verklebt	-	-	100	-
- geklemmt	70	60	-	-
Dachbelege und Dichtungsbahnen aus Kunststoffen oder Elastomeren				
- mit Klebstoff aufgebracht	-	-	100	-
- geklemmt	50	40	-	-
- geschweißt an Dichtungsbahn	-	-	-	50
^a Dieser Wert gilt auch für Abläufe, die werkseitig mit einer Anschlussfolie versehen sind.				

- **Material**
Roste müssen aus Sphäroguss (GGG), Rahmen und Ablauftassen aus Grauguss (GG) und Schlammeimer aus feuerverzinktem Stahl bestehen. [7 S. 4] und [14]
- **Lastannahmen**
Die Abläufe sind nach Klasse D 400 zu bemessen (siehe **Tabelle 2.2**).
- **Sonstiges**
 - Roste sind durch Scharniere und Rostverriegelung zu sichern. [14]

Schweiz

Die Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken liefern mit „Kapitel 6: Entwässerung“ [8] die technischen Grundlagen für Brückenentwässerung in der Schweiz.

- Hydraulik
Zum Schluckvermögen siehe SN 640 356. [16]
- Bau und Erhaltung
 - Es muss die provisorische Entwässerung über die Ablauftasse (ohne Rahmen) vor Belagseinbau möglich sein.
 - Die Ablauftasse ist gegen Auftrieb beim Betonieren zu sichern.
 - Die Ablaufleitungen sind durch Einstecken mit der Ablauftasse zu verbinden. Der Ablauf der Tasse ist dazu in einem Futterrohr zu führen (siehe **Bild 2.11**).

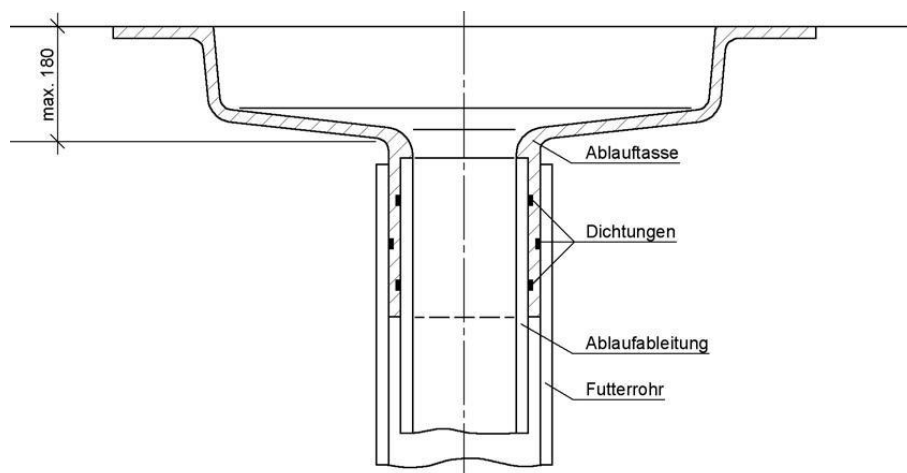


Bild 2.11 Einbau der Ablauftasse, Abb. 6 in [8 S. 9]

- Geometrie
 - Die Abmessungen innerhalb des Rahmens sind mit 500 x 300 mm festgelegt.
 - Die Rahmenhöhe bzw. der Abstand zwischen Oberkante Rahmen und Auflage des Rostes hat 43 mm zu betragen.
 - Der Rahmen muss stufenlos höhenverstellbar bzw. an das Quer- und Längsgefälle anpassbar sein.
 - Die Einbauhöhe der Ablauftasse soll im Normalfall 180 mm nicht übersteigen (siehe **Bild 2.11**).

- Der minimale Abstand zwischen UK Konstruktionsbeton und UK Tassenboden muss mindestens 80 mm betragen.
- Die Tasse ist so auszuführen und anzuordnen, dass die Brückenabdichtung auf einer Breite von mind. 100 mm angeschlossen werden kann (siehe **Bild 2.12**).

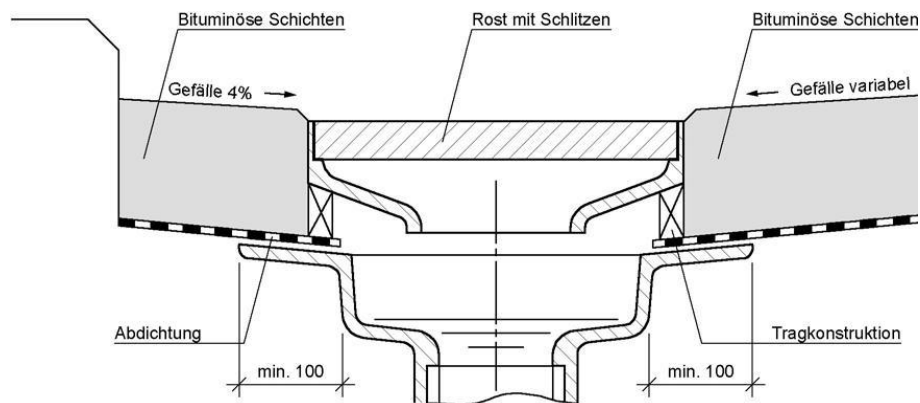


Bild 2.12 Anschluss der Abdichtung am Ablauf, Abb. 7 in [8 S. 9]

- **Material**
Es werden keine Aussagen zum Material getätigt.
- **Lastannahmen**
Es sind Abläufe der Klasse C 250 (siehe **Tabelle 2.2**) zu verwenden.
- **Sonstiges**
 - Auf Brücken mit leichtem Zweiradverkehr sind zusätzlich zu den Anforderungen aus EN 124 (siehe **Tabelle 2.1**) gekrümmte Schlitzfenster für die Roste vorzusehen (siehe **Bild 2.13**).
 - Es sind keine Schlammsammler vorgesehen, weshalb die Leitungssysteme stark auf Erosion beansprucht werden. [17 S. 23]



Bild 2.13 Ablauf mit gekrümmten Schlitzten und Reinigungsschacht, Abb. 5 in [17 S. 24]

Großbritannien

Das “Design Manual for Roads and Bridges” der Highways Agency ist in eine Vielzahl von Kapitel und Dokumente eingeteilt. Die für die Entwässerung von Brücken relevanten sind folgende:

[18] DMRB 2.3.4. BD 47/99 “Waterproofing and Surfacing of Concrete Bridge Decks”

[19] DMRB 2.3.5. BA 47/99 “Waterproofing and Surfacing of Concrete Bridge Decks”

[20] DMRB 4.2.3. HA 102/00 “Surface and Sub-surface Drainage Systems for Highways”

[21] DMRB 4.2.5. HA 104/09 “Chamber Tops and Gully Tops for Road Drainage and Services: Installation and Maintenance”

Einen guten Überblick über die Ziele⁴ der Brückenentwässerung bietet [18]:

“Systems for the drainage of water from bridges shall be so detailed that water is not allowed to fall freely from the bridge deck.” [18 S. 4/1]

Die Systeme zur Entwässerung sollen so geplant sein, dass es nicht möglich ist, das Wasser unkontrolliert vom Brückendeck abfließt.

„Surface water shall be removed from the bridge deck by the provision of falls and suitable drainage outlets, continuous drainage channels, etc.“ [18 S. 4/1]

Das Oberflächenwasser soll vom Brückendeck durch das Herstellen von ausreichender Querneigung und geeigneten Entwässerungseinläufen, durch kontinuierliche Entwässerungsrinnen etc. entfernt werden.

“Bituminous surfacing is porous and can retain surface water. Where the geometry of the deck or deck movement joints prevents this water from draining naturally through surface drainage, sub-surface drains shall be provided.” [18 S. 4/1]

Bituminöser Belag ist porös und kann Oberflächenwasser aufnehmen. Wo die Geometrie der Brücke oder der Bewegungsfugen dieses Wasser daran hindert auf natürliche Weise zur Oberflächenentwässerung zu gelangen, sollten Entwässerungsöffnungen unter der Oberfläche vorhanden sein.

Somit ist auch in Großbritannien das kombinierte System aus Brückeneinläufen und Abdichtungsentwässerung anzuwenden. Neben den in Österreich, Deutschland und der Schweiz üblichen Ablauftassen sind in Großbritannien allerdings auch Abläufe, die im Randstein integriert sind, sogenannte „Kerb-Inlets“, üblich (siehe **Bild 2.18**).

⁴ Sinngemäße Übersetzungen finden sich in grauer Schrift nach den wörtlichen Zitaten.

Im Folgenden werden wieder die wichtigsten Punkte der Richtlinien zusammengefasst.

- **Hydraulik**
 - Nachdem der Einlaufrost, im Gegensatz zur Ablauftasse oder dem anschließenden Rohrsystem, der limitierende Faktor für das Abflussvermögens eines Entwässerungsablaufes ist und eine Vielzahl an Rostformen möglich sind, wird angeregt Roste in die Typen P, Q, R, S und T, mit abnehmender hydraulischer Kapazität, einzuteilen. [20 S. 2/1] Die Einteilung erfolgt allerdings nach einem Grating-Parameter (G_d) in s/m^2 und kann nur durch miteinbeziehen von Wasserlaufbreite, dem Quer- und Längsgefälle und der Sammelleistung in % (abhängig von G_d) in ein Schluckvermögen in l/s umgerechnet werden. [20 S. B/1 und C/1ff]
 - Der Mindesteinlaufquerschnitt muss 900 cm^2 betragen, wovon 45 cm^2 in 50 mm und 90 cm^2 in 100 mm Abstand vom randsteinseitigen Rand des Rahmens liegen sollen.
 - Randsteinabläufe haben meist eine geringere Kapazität als Ablauftassen mit vergleichbarer Länge. Um die Ablaufleistung zu steigern gibt es die Möglichkeit, den Ablauf mit einem Winkel zur Fließrichtung (siehe **Bild 2.14**) einzubauen. Allerdings sollte dann aus Gründen der Verkehrssicherheit die Fahrtrichtung entgegengesetzt zur Fließrichtung liegen. [20 S. 3/1]
 - Mindesteinlaufquerschnitt und lichte Weite von Randsteinabläufen nach dem Nationalen Anwendungsdokument BS 7903 [22] können **Tabelle 2.4** entnommen werden.
 - Kurze Brücken können auch ohne Entwässerungseinläufe auskommen. [19 S. 3/1]

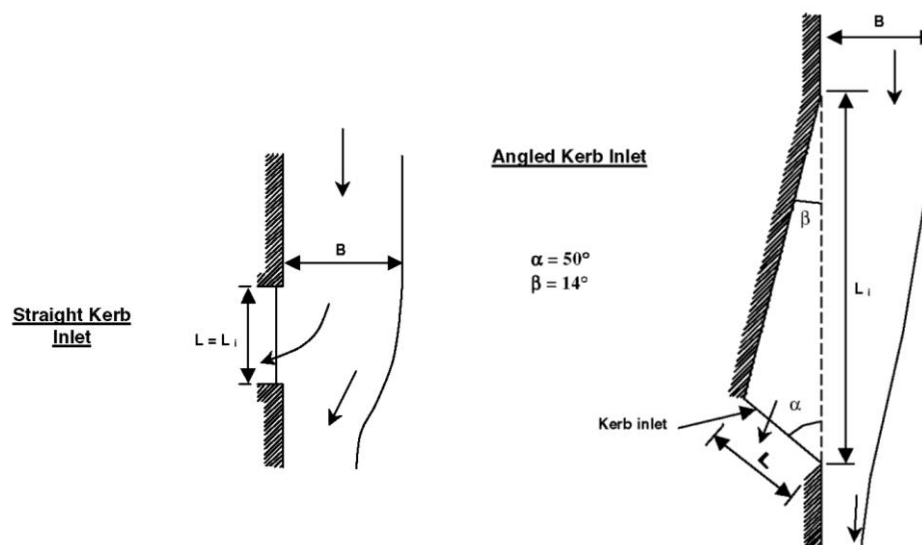


Bild 2.14 Gestaltung von Randsteinabläufen, Figure 2 in [20 S. D/2]

Tabelle 2.4 Randsteinablaufabdeckungen und –rahmen [21 S. 5/1]

	Typ 1	Typ 2
Überfallhöhe (mm)	115	165
Minimale Netto-Überfalllänge (mm)	425	425
Mindesteinlaufquerschnitt (cm²)	250	250
Minimale lichte Fläche (mm)	400 x 250	400 x 250

Anmerkung: Die Überfallhöhe ist die Distanz von der Oberkante der Abdeckung bis zur Überfallkante.

- Bau und Erhaltung
Es werden keine Angaben zu Bau und Erhaltung gemacht.
- Geometrie
 - Abläufe sollen rechteckig oder dreieckig sein und mit einer Seite parallel und möglichst nah zum Randstein angeordnet werden. Runde und andere Formen, die asymmetrisch in Richtung quer zum Randstein sind, sind nicht akzeptabel. [20 S. 2/1]
 - Der Abstand zwischen dem Randstein und den ersten Ablaufschlitzen im Rost sollte nicht mehr als 50 mm betragen. [20 S. 2/1]
 - Aufsätze von Entwässerungseinläufen sollen 100 mm hoch sein. [21 S. 5/1]
 - Die minimalen Maße von Abdeckungen für Randsteinabläufe nach dem Nationalen Anwendungsdokument BS 7903 [22] sind in **Tabelle 2.4** aufgeführt.
- Material
Das Entwässerungssystem muss gegen die Beanspruchungen aus Reinigung und üblicher chemischer Belastung resistent sein. [18 S. 4/1]
- Lastannahmen
 - Es sind mindestens Abläufe der Klasse D 400 (siehe **Tabelle 2.2**) zu verwenden [20 S. 2/1], dies gilt auch für Randsteinabläufe [20 S. 3/1].
 - Eine höhere Klasse, wie z.B. E 600, sollte bei direkt befahrenen Abdeckungen in Betracht gezogen werden. [21 S. 3/1]
- Sonstiges
 - In Großbritannien es ist üblich bei Verkehrswegen mit Fahrradverkehr Schlitze in Rosten im Winkel von 45° bis 90° zur Fahrtrichtung anzuordnen. [20 S. 1/2] Dies entspricht Anordnung Nr. 2 laut EN 124 (siehe **Tabelle 2.1**).

Vereinigte Staaten von Amerika

In den USA gibt es keine einheitliche Richtlinie zum Thema Brückenentwässerung. Die einzelnen Bundesstaaten haben ihre eigene Herangehensweise an das Thema und bevorzugen bestimmte Materialien und/oder Formen. HEC 21 „Design of Bridge Drainage“ [23] versucht allgemeingültige Berechnungsverfahren zur Verfügung zu stellen und bietet einen Überblick über die verschiedenen möglichen Ausformungen.

Die wichtigsten Planungsziele nach [23] sind wie folgt:

- Verhindern des Ausbreitens von ablaufendem Wasser über die Fahrstreifen.
- Senken des Risikos für Aquaplaning.
- Integration in die Tragstruktur und das Verhindern von Schäden an derselben.
- Ästhetik (vor allem eine ansprechende Integration des Rohrleitungssystems in den Brückenentwurf).
- Geringer Aufwand bei der Erhaltung.
- Radfahrersicherheit

Die folgenden Punkte zur Gegenüberstellung mit anderen Staaten sind, da es keine einheitlichen Richtlinien gibt, nur unvollständig, bieten aber einen Überblick über die verschiedenen Ausformungen der Brückenentwässerung, wie sie in den Vereinigten Staaten üblich ist (alle Angaben sind, wenn nicht anders vermerkt, aus [23] entnommen).

- Hydraulik⁵
 - Kurze Rinnen quer zur Fahrbahn, sog. „Scupper“ (siehe **Bild 2.15**) können im Vergleich zu rechteckigen Einlaufrosten (25 bis 35% des Zuflusses, bei 12 x 12 in⁶ bis 18 x 18 in Lichte Fläche) eine weitaus höhere Sammelleistung (bis zu 61% bei 8 x 36 in) aufweisen, solange die Längsneigung nicht zu groß wird.
 - Runde Einlauföffnungen mit geringem Durchmesser (4 oder 6 in) haben auch dementsprechend niedrige Sammelleistungen (7 und 12%). Eine Aufweitung auf 10 in (siehe **Bild 2.16**) erhöht die Effizienz bei geringem Aufwand.
 - Die direkte Ableitung durch Betonleitwände (siehe **Bild 2.17**) ist zwar verbreitete Praxis in den Vereinigten Staaten, hat aber durch die vertikale Anordnung des Einlaufrostes eine sehr schlechte Sammelleistung (nur 5% bei 2 x 24 in).

⁵ alle Sammelleistungen für eine Breite des Einzugsgebiets von 10 ft (3,05 m) bei einer Querneigung von 2%.

⁶ 1 in = 2,54 cm; 1 ft = 12 in = 30,5 cm

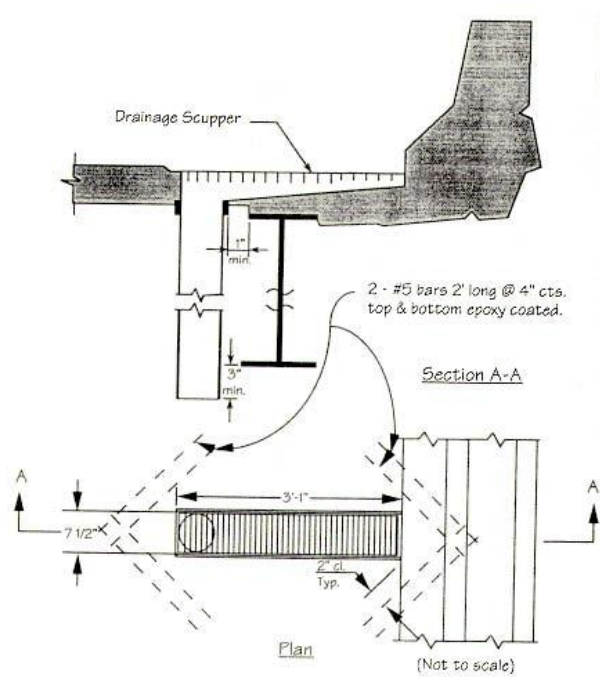


Bild 2.15 Ablaufrinne, sog. „Scupper“, Figure 5 in [23]

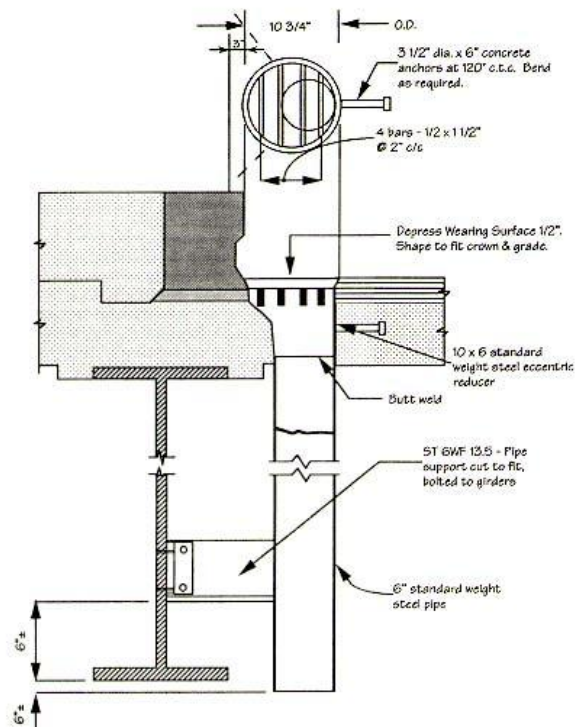


Bild 2.16 Runder Brückeneinlauf, Figure 6 in [23]

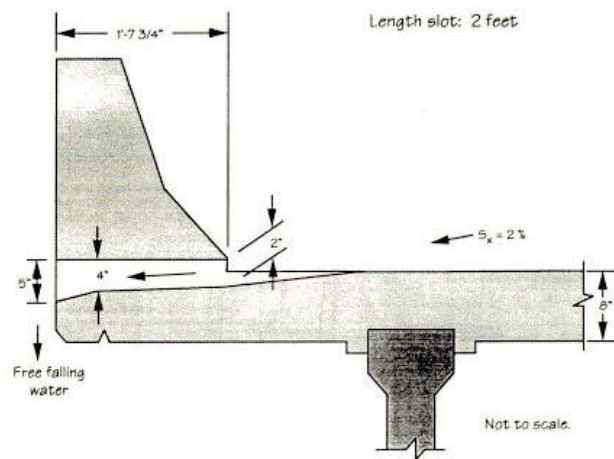


Bild 2.17 Direkte Ableitung durch die Betonleitwand, Figure 7 in [23]

- Bau und Erhaltung
 - Zur Vermeidung von Ablagerungen durch Schwemmmaterial gibt es zwei Möglichkeiten. Einerseits das Auffangen und Sammeln und andererseits den Transport durch das System, wobei in beiden Fällen der Einlaufrost bereits alle Anteile gröber als Sand und Feinkies abhält und dadurch verstopfen kann. Bei Freifallableitung ist eine Durchleitung zu bevorzugen.
 - Die Gefahr des Verstopfes des Systems wird durch kombinierte Randsteinabläufe⁷ mit einer freien Öffnung im Randstein (siehe **Bild 2.19**) verringert, da die Ablagerungen bei großem Zufluss vom Einlaufrost durch diese Öffnung gespült werden.
 - Bei Freifallableitung muss die Windablenkung berücksichtigt werden, um Schäden am Tragwerk zu vermeiden. Am besten werden dazu die Einläufe zwischen und nicht im Bereich der Pfeiler angeordnet.
 - Für die Erhaltung sollen die Abmessungen der Einläufe möglichst groß, aber zumindest mit einer Schaufel zu reinigen sein. Als die größten, mit der Tragstruktur noch vereinbare, Abmessungen werden 36 x 36 in (900 x 900 mm) angegeben.

⁷ curb-inlet^{AE} (entspricht kerb-inlet^{BE})

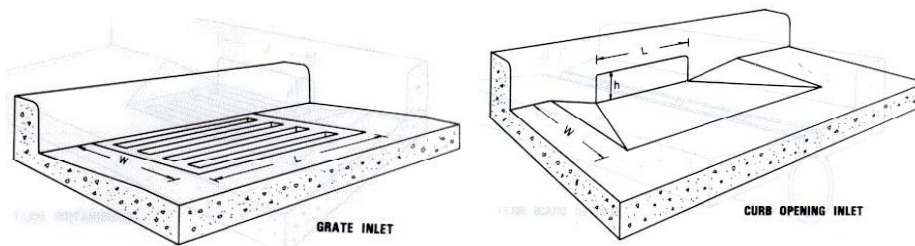


Bild 2.18 Gitter- und Randsteineinlauf im Vergleich, Figure 6 in [24]

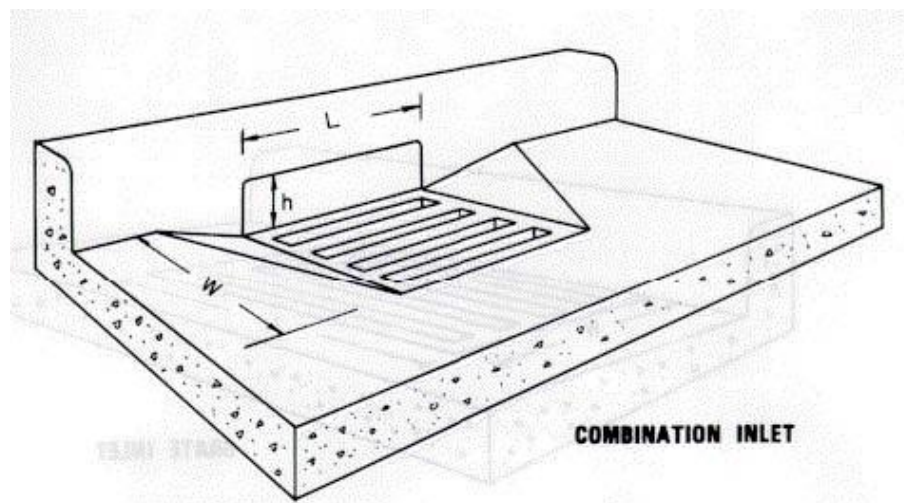


Bild 2.19 Kombiniertes Randsteineinlauf, Figure 7 in [24]

- Geometrie
 - Es werden in [23] Abläufe von 12 x 12 in (30 x 30 cm) bis 18 x 18 in (45 x 45 cm) Lichter Fläche bzw. 4 bis 10 in (100 bis 255 mm) im Durchmesser vorgestellt.
 - Typische rechteckige Abläufe haben Seitenlängen kleiner als 0,5 m (18 in).[25]
 - Runde Abläufe sollten nicht weniger als 155 mm (6 in) Durchmesser aufweisen, ein Durchmesser von 200 mm (8 in) ist anzustreben.[25]
- Material
 - Es sind Einlauftassen aus Beton (siehe **Bild 2.20**), Gusseisen (siehe **Bild 2.21**) oder geschweißtem Stahl (siehe **Bild 2.22**) üblich. Die letzten beiden sind zu bevorzugen, da sie bei geringerem Gewicht größere Öffnungen möglich machen.
 - Stahltassen werden meist verzinkt. Aus Kostengründen sind aber auch Anstriche oder Tauchlackieren mit Asphalt üblich. In besonders korrosiver Umgebung hat sich eine Epoxidbeschichtung bewährt.

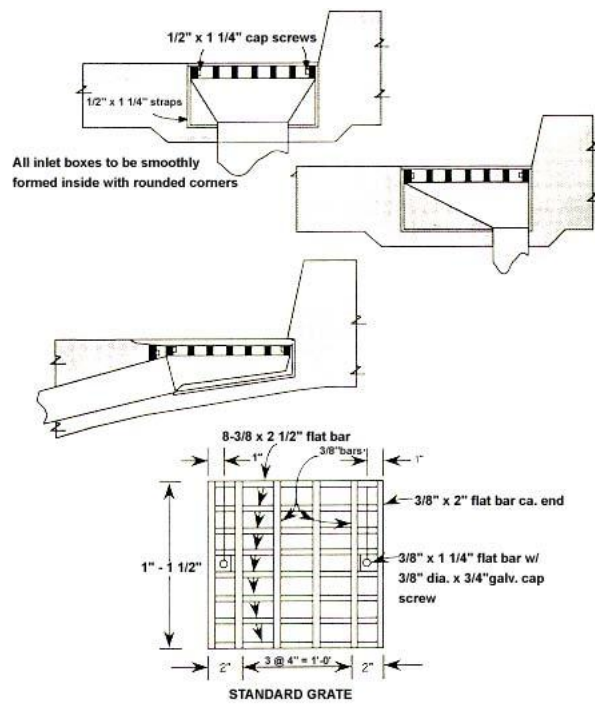


Bild 2.20 Einlauffassen aus Beton, Figure 2 in [23]

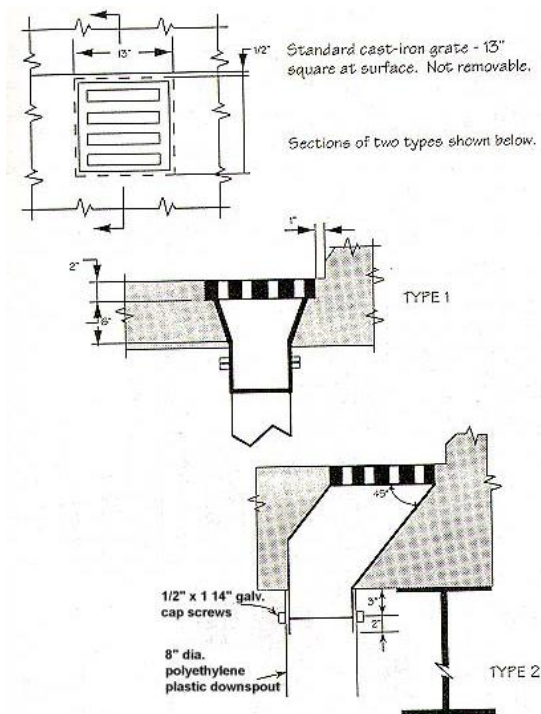


Bild 2.21 Einlauffassen aus Gusseisen, Figure 3 in [23]

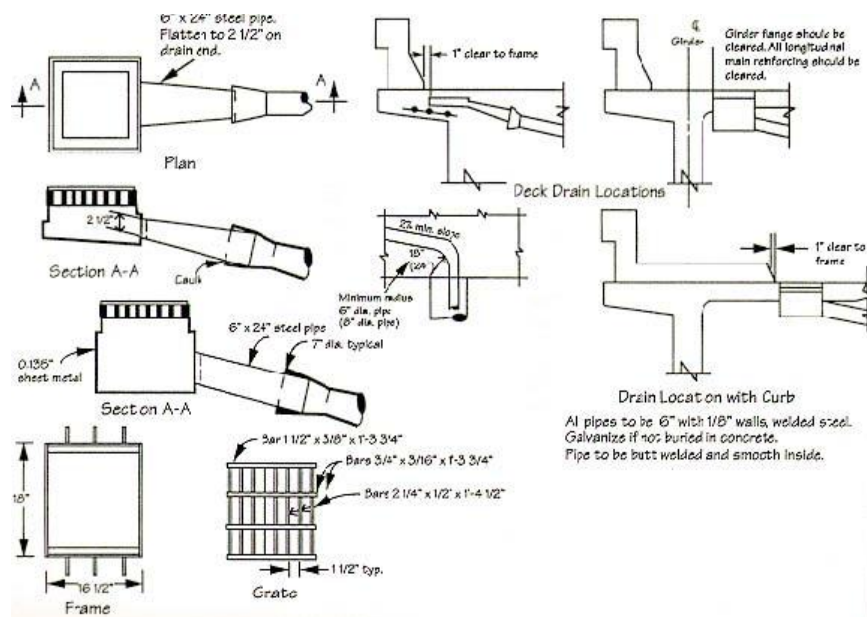


Bild 2.22 Einlauffassen aus geschweißtem Stahl, Figure 4 in [23]

- Lastannahmen
Es werden keine Aussagen zu Lasten getätigt.
- Sonstiges
 - Einlaufroste, die für Radfahrer sicher sein sollen, dürfen Schlitze mit max. 1 in (25 mm) Breite aufweisen, außer die Öffnungen liegen quer zur Fahrtrichtung. Letzteres hat allerdings eine schlechtere hydraulische Wirksamkeit des Rostes zur Folge.
 - Vom hydraulischen Standpunkt aus hat die ideale Brücke keinen Tiefpunkt und benötigt damit gar keine Brückeneinläufe. Die Anordnung von Entwässerungseinläufen vor und nach der Brücke sollte ausreichen. [25] Dies ist allerdings nur bis zu einer Brückenlänge möglich, bis zu der der für den Abfluss nötige Wasserlauf am Randstein noch nicht in die Fahrbahn reicht. [26 S. 18-4]

Frankreich

Das Regelwerk „Assainissement des ponts routes: Evacuation des eaux, perrés, drainage, corniches-caniveaux...“ „Entwässerung von Straßenbrücken. Ableitung des Wassers, Steinschlichtungen, Drainage, Gesimserinnen...“ [27] aus dem Jahre 1989 ist derzeit Stand der Normung in Frankreich.

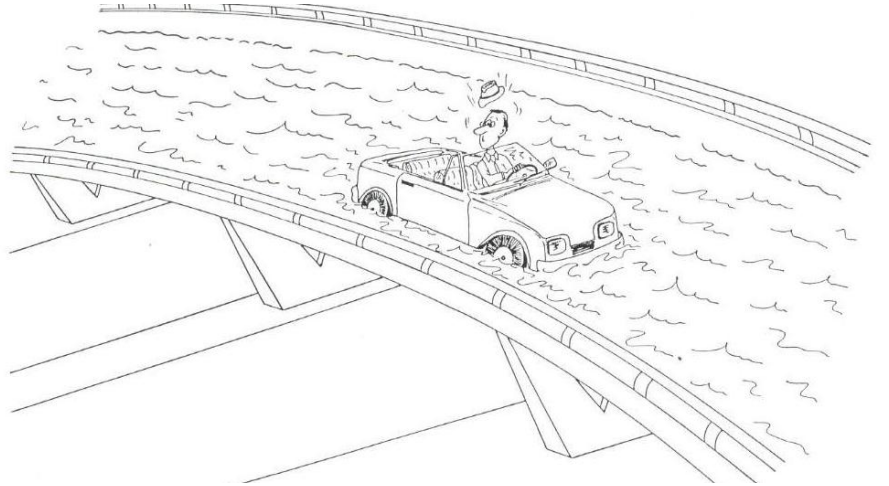


Bild 2.23 Titelbild der Richtlinie [27 S. Titel]

Die Richtlinie behandelt die Prozesse zur Planung und Durchführung der Kanalisation von Regenwasser und Abflüssen von einem Brückendeck, um die Sicherheit der Anwender zu gewährleisten und Schäden zu verhindern. Ziel ist es, eine möglichst vollständige Beschreibung der verschiedenen Systeme mit ihren Vor- und Nachteilen, notwendigen Vorsichtsmaßnahmen und den möglichen Auswirkungen auf die Gestaltung der Brücke zu liefern. Sie befasst sich insbesondere mit Steinschlichtungen (an den Widerlagern), Gesimserinnen und Entwässerungseinläufen, sowie der Abflussbemessung auf Brücken abhängig von der Niederschlagsmenge.

2.2.3 Gegenüberstellung

In **Tabelle 2.5** sind die Randbedingungen der einzelnen nationalen Richtlinien für Brückeneinläufe gegenübergestellt. Es sind auch die Anforderungen aus EN 124 angeführt, um Ergänzungen bzw. Abweichungen zur Europäischen Normung in den einzelnen Staaten sichtbar zu machen.

Tabelle 2.5 Gegenüberstellung der Richtlinien für Brückeneinläufe

Staat (Richtlinie)	EN 124	Österreich (RVS 15.04.31)	Deutschland (ZTV-ING 8-5)	Schweiz (RKEB K06)	Großbritannien (DMRB)	USA (HEC 21)
Einlaufquerschnitt	k.A.	350 cm ²	500 oder 1000 cm ²	k.A.	900 (250) ^a cm ²	k.A.
Abmessungen	k.A.	k.A.	300 x 500 oder 500 x 500 mm	300 x 500 mm	(400 x 250 mm) ^a	D 200 mm bzw. 450 x 450 mm
Rahmenhöhe	100 (75) mm	k.A.	k.A.	k.A.	100 mm	k.A.
Rahmen verstellbar	k.A.	ja	ja, ΔH 0 – 45 mm	ja	k.A.	k.A.
Einlegetiefe Rost	(15) 50 mm	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Schlammkübel	k.A.	optional	ja	nein	k.A.	nicht üblich
Abdichtungsentw.	k.A.	ja	ja	ja	k.A.	k.A.
Flanschbreite	k.A.	80 mm	100 mm	100 mm	k.A.	k.A.
Material	k.A.	k.A.	Grauguss (GG)	k.A.	k.A.	k.A.
Lastklasse	C 250 / D 400 ^b	D 400 / E 600 ^b	D 400	C 250	D 400 / E 600 ^b	k.A.

^a die Werte in Klammern gelten nur für Randsteineinläufe.

^b wenn direkt befahren.

2.3 Hersteller

Im Folgenden werden verschiedene am Markt erhältliche Entwässerungseinläufe gegenübergestellt. Es wurden, wenn nicht anders vermerkt, Produkte, die für die Anwendung in Österreich geeignet sind, betrachtet. Die meisten Hersteller liefern außerdem Gesamtkonzepte, die das Rohrleitungssystem und Tropftüllen beinhalten, auf welche nicht eingegangen wird.

Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.3.1 ACO

“ACO ist ein Hersteller von Bauelementen für den Tiefbau, Hochbau, Garten- und Landschaftsbau, die Haustechnik, die Abwasserbehandlung und landwirtschaftliches Bauen. Hauptprodukte sind Systeme und Komponenten aus Polymerbeton, Edelstahl, Gusseisen und Kunststoff zur Entwässerung von Gebäuden und Grundstücken. In diesem Bereich ist die ACO Gruppe weltweit Marktführer.

Gesellschaften der ACO-Gruppe sind heute in 40 Ländern in vier Erdteilen vertreten (bisher nicht in Afrika). Es bestehen 31 Produktionsstätten in zwölf Ländern. Die Gruppe beschäftigt 3.500 Mitarbeiter weltweit (Stand November 2008).“ [28]

Durch diese weltweite Präsenz stellt ACO alle Arten von Brückeneinläufen her. In Großbritannien sind somit unter anderem Kerb-Inlets und in den USA Scupper- sowie Curb-Inlets erhältlich.

Allgemeines

Die Brückenabläufe HSD-2 und -5 (siehe **Bild 2.24**) sind vor allem für die Anwendung in Deutschland (siehe **Tabelle 2.5**) ausgelegt und haben die Abmessungen 300 x 500 mm sowie 500 x 500 mm und entsprechen der Lastklasse D 400. Die Abläufe sind höhenverstellbar, seitenverschiebbar und drehbar (= HSD). Da Deutschland sehr restriktive Vorschriften besitzt sind die Abläufe für Österreich, die Schweiz und Frankreich ebenfalls einsetzbar.

Aufbau

- Die Abläufe bestehen aus einem Unterteil und einem Oberteil mit Rost, Eimer und Spannring.
- Das Oberteil ist gegen das Unterteil 10 mm bzw. 25 mm exzentrisch in jede Richtung seitenverschiebbar und drehbar sowie von 85–160 mm bzw. 95-140 mm stufenlos höhenverstellbar.
- Der Rost hat einen Einlaufquerschnitt von 523 cm² bzw. 1121 cm² und eine Schlitzweite von 23 mm.
- Der Eimer hat ein Fassungsvermögen von mindestens 5 l.



Bild 2.24 ACO Brückenablauf Multitop HSD-2 (links) und HSD-5 (rechts) [29 S. 10 und 11]

- Varianten
 - Nachträglich einsetzbare Abflussstutzen aus Edelstahl für den Einsatz mit verfahrbaren Schalungen.
 - Oberteile mit größerer Höhenverstellbarkeit (bis 500 mm).
 - Ablaufoberteile für Brückensanierungen (siehe **Bild 2.25**).
 - Eimer mit größerem Fassungsvermögen (bis 7,2 l).

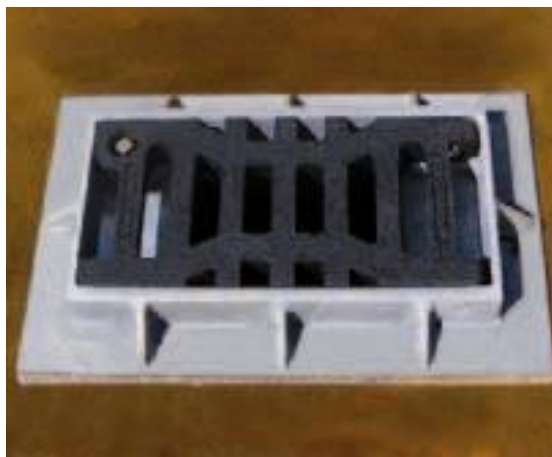


Bild 2.25 Ablaufoberteil für Brückensanierungen [29 S. 7]

Wirkungsweise

- **Anwendungsbedingungen**
Die Abläufe entsprechen in allen Punkten den in Deutschland gültigen Richtlinien (siehe Seite 16ff). Sie wurden für den Einsatz in Spann- und Stahlbetonbrücken entwickelt.
- **Belastbarkeit**
Roste und Rahmen entsprechen Lastklasse D 400
- **Werkstoffkenngrößen**
Die Abläufe bestehen aus Gusseisen, die Schlammeimer aus feuerverzinktem Stahl.

Stärken/Schwächen

- Die Abläufe sind sehr flexibel verstellbar.
- Es sind keine Abläufe der Klasse E 600 erhältlich.
- Für die Brückensanierung sind auch Abläufe erhältlich, die nach Lastklasse und Abmessungen nicht mehr der gültigen Richtlinien für Deutschland entsprechen.

International

- In **Großbritannien** ist der Randsteinablauf BridgeDrain 200 (siehe **Bild 2.26**) erhältlich. Er besteht aus Vienite (einem Recyclingmaterial auf Polymerbasis), das laut Hersteller leichter und dauerhafter als Beton ist, und entspricht Lastklasse D 400.[30]



Bild 2.26 ACO BridgeDrain 200 [30]

- In den **Vereinigten Staaten** bietet ACO mit BridgeDrain ein „Scupper and pipe system for bridge decks“ an. Die Ablauftasse besteht aus Fiberglas und ist in Längen von 18, 36 und 54 in (467, 924 und 1381 mm) mit einer Breite von 8 in (203 mm) erhältlich. Dazu sind Einlaufroste aus verzinktem Stahl (belastbar mit max. 968 psi, das entspricht Lastklasse E 600⁸) oder Sphäroguss (GGG) (max. 2323 psi = F 900) verfügbar. [31]



Bild 2.27 ACO BridgeDrain – Scupper System for Bridge Decks [32]



Bild 2.28 ACO BridgeDrain Einbaubeispiel [31 S. 65]

⁸ mit 1 N/mm² = 145 psi und einer Rostgröße von 18 x 8 in (467 x 203 mm)

2.3.2 Höllko

Höllko Brückenentwässerung ist Teil der Höllein Unternehmensgruppe, deren Stammwerk die Carolinhütte in Kallmünz (D) ist. Es gibt Niederlassungen in Chemnitz (D) und Prag (CZ). Neben Rohrleitungssystemen für Brücken stellt Höllko seit mehr als 50 Jahren auch Brückenabläufe und Tropftüllen her. Heute bietet Höllko komplette Brückenentwässerungssysteme von der Planung bis zur Montage an.[33]

Allgemeines

Die Brückenabläufe sind in den Größen 300 x 400 mm, 300 x 500 mm und 500 x 500 mm, jeweils in Lastklasse D 400 erhältlich. Sie entsprechen der deutschen RiZ Was 1 und sind Drehbar, Höhenverstellbar, Seitenverschiebbar und Neigungsverstellbar (D-H-S-N) (siehe **Bild 2.29**). Da Deutschland sehr restriktive Vorschriften besitzt sind die Abläufe für Österreich, die Schweiz und Frankreich ebenfalls einsetzbar.

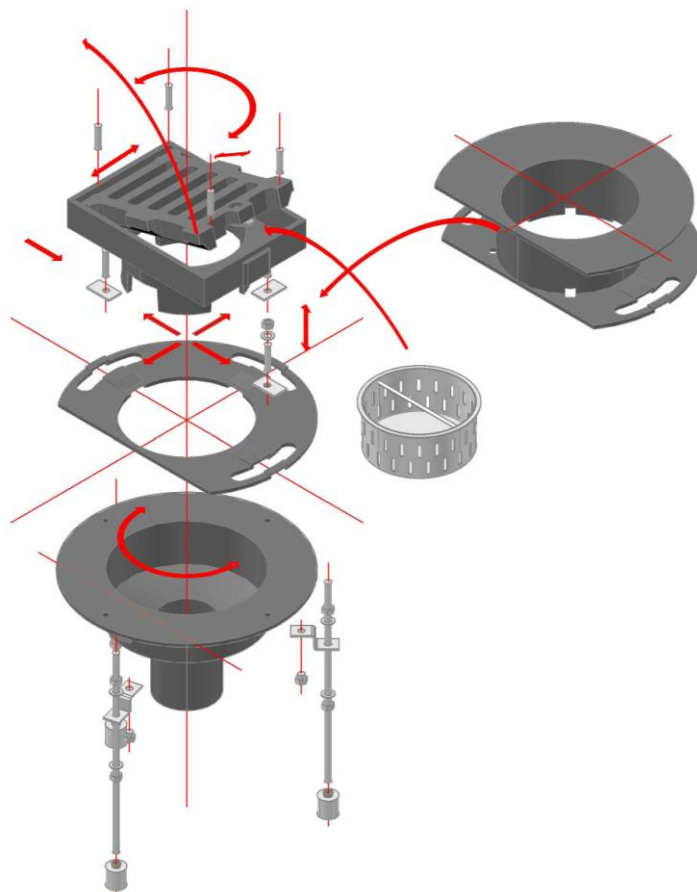


Bild 2.29 Höllko Brückenablauf – Explosionszeichnung mit Verstellmöglichkeiten [34 S. 4]

Aufbau

- Die Abläufe bestehen aus einem Oberteil mit Rost, Rahmen und Stellschrauben, einem Schlammeimer, dem Flanschring mit Klemmplatten und Verschraubung, sowie dem Unterteil mit Montageunterstützung.
- Der Rost hat einen Einlaufquerschnitt von 565, 700 bzw. 1260 cm² und eine Schlitzweite von 36 mm.
- Der Eimer hat ein Fassungsvermögen von 6 bzw. 9,5 l.
- Varianten
 - Für Einläufe der Größe 300 x 400 mm sind Roste mit einem Einlaufquerschnitt von 350 cm² (bei einer Schlitzweite von 16 mm) erhältlich. Diese entsprechen den Richtlinien für Österreich.
 - Es sind Zwischenflansche zur zusätzlichen Höhenanpassung (60 bis 200 mm) erhältlich (siehe **Bild 2.29**).
 - Für Brücken, die im Taktschiebverfahren hergestellt werden sind Abläufe mit GFK-Mantelrohren und Einhängerohren aus Edelstahl verfügbar (siehe **Bild 2.30**).
 - Für zu hoch eingebaute Unterteile, bei denen der Oberteil sonst im Bordstein zu liegen kommen würde, gibt es Flanschringe in Sonderbauhöhe 65 mm (siehe **Bild 2.31**).
 - Neben den Ablauftassen sind auch Seiteneinlässe für den Einbau in den Bordstein erhältlich (siehe **Bild 2.32**). Die Einlaufquerschnitte entsprechen zwar mit (460, 500 oder 800 cm²) den Richtlinien für Großbritannien, die Lichte Fläche ist aber selbst beim größten Ablauf zu gering (nur 400 x 202 mm) (vgl. **Tabelle 2.4**) und sie sind nur in Lastklasse C 250 (statt D 400) erhältlich.

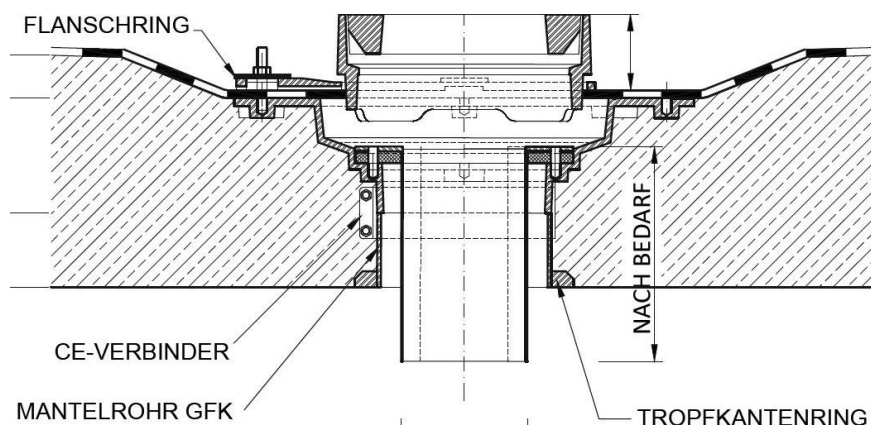


Bild 2.30 Brückenablauf Höllko 2000/5E für Taktschiebverfahren [34 S. 16]

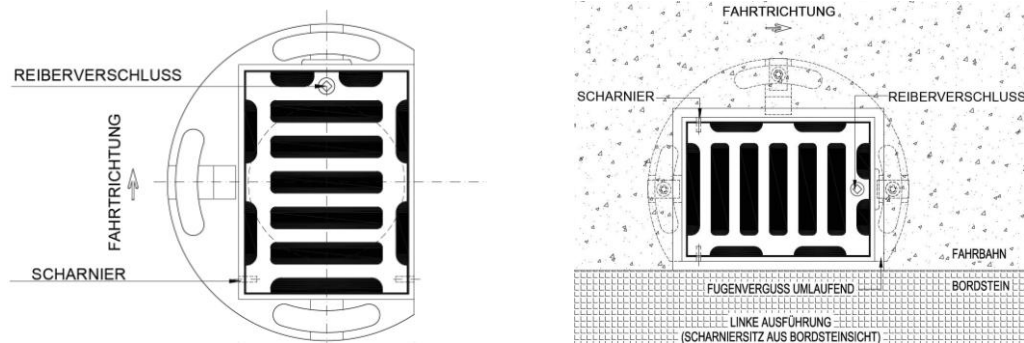


Bild 2.31 Sonderbauteil Höllko 1010-SW36 [34 S. 19]

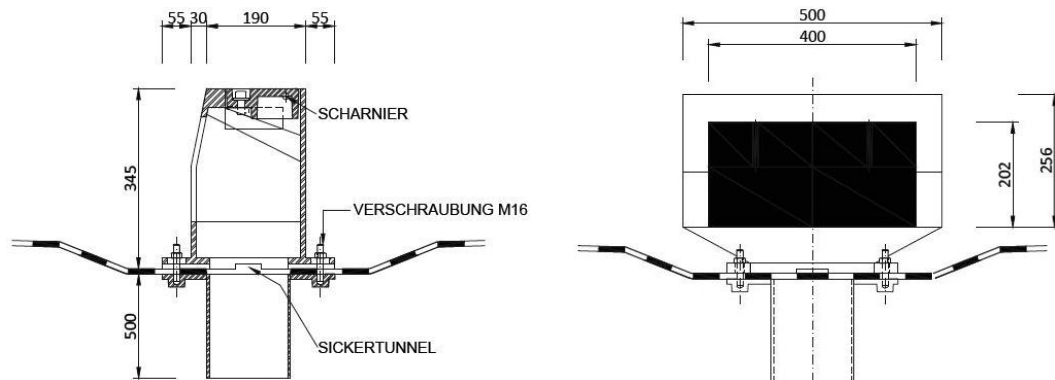


Bild 2.32 Brückenablauf Höllko 1002 - Seiteneinlass [34 S. 61]

Wirkungsweise

- Anwendungsbedingungen
Die Abläufe entsprechen in allen Punkten den in Deutschland gültigen Richtlinien
- Belastbarkeit
Die Roste und Rahmen entsprechen Lastklasse D 400.
- Werkstoffkenngrößen
Die Abläufe bestehen aus Gusseisen, die Schlammweimer aus feuerverzinktem Stahl.

Stärken/Schwächen

- Die Abläufe sind sehr flexibel verstellbar.
- Es sind keine Abläufe der Klasse E 600 erhältlich.
- Für die Brückensanierung sind auch Abläufe und Aufsätze erhältlich, die mit ihren Abmessungen nicht mehr den gültigen Richtlinien in Deutschland entsprechen.

2.3.3 Purator Wallner & Neubert

„Das Unternehmen "Purator Wallner & Neubert" (PWN) ist in Österreich Marktführer auf dem Gebiet der Entwässerungs- und Abwassertechnik.

Es ist ein Tochterunternehmen der Unternehmensgruppe "Purator International GmbH", die mit eigenen Unternehmen und internationalen Vertretungen in Mittel- und Osteuropa vertreten ist. [35]

Allgemeines

Mit WAL-Austria bietet Purator ein Brückenentwässerungssystem das speziell für alle Anforderungen im Brückenbau entwickelt wurde und den Richtlinien für Österreich entspricht. Aufgrund der geringen Abmessungen von 320 x 320 mm und einem maximalen Einlaufquerschnitt von 430 cm² sind die Abläufe für Deutschland oder die Schweiz nicht geeignet.

Aufbau

„WAL-Austria ist ein aufstockbares Baukastensystem. Es ermöglicht damit auch ein Anpassen des Brückenablaufes an nachträgliche Fahrbahnerhöhungen, ohne den Aufbau und die Isolierung unterhalb des Grundrahmens zu beschädigen. Die Isolierung wird zwischen Tülle und Grundrahmen eingespannt und verschraubt gesichert. Die Roste werden ebenso mittels Verschraubung im Rahmen gesichert.“[36 S. 2]

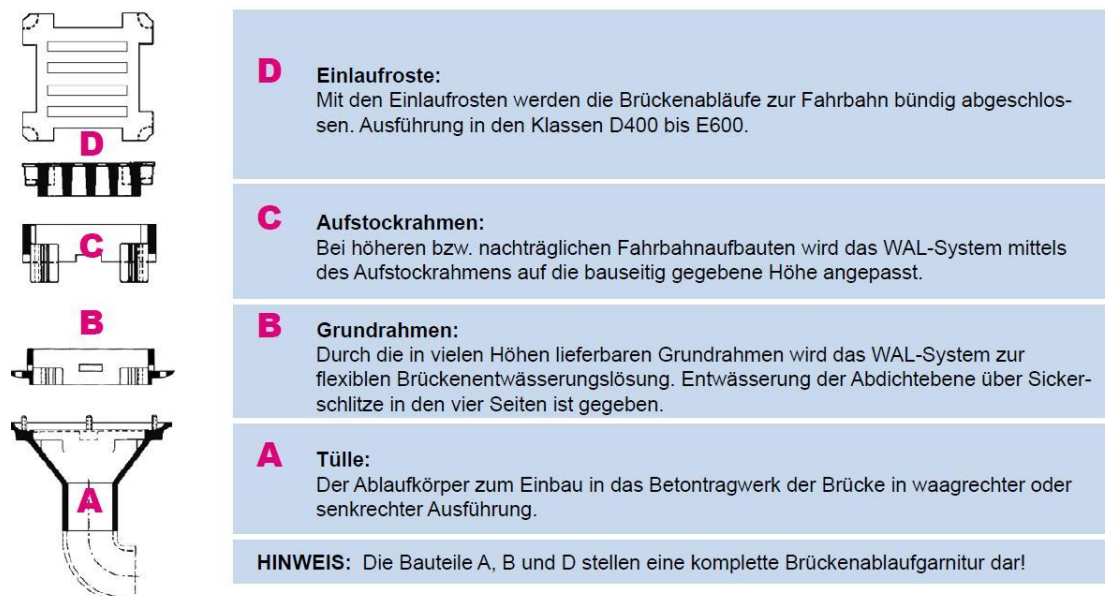


Bild 2.33 WAL-Austria Baukastensystem [36 S. 2]

2.3. Hersteller

- Es sind vier Ablauftassen (A) erhältlich, sie unterscheiden sich nur aufgrund der Positionierung des Ablaufrohres (siehe **Bild 2.34**).
- Die Grundrahmen (B) sind in Höhen von 50 bis 150 mm erhältlich.
- Zusätzliche Aufstockrahmen (C) sind in Höhen von 50 bis 160 mm verfügbar und machen damit Belagshöhen von bis zu 310 mm möglich (siehe **Bild 2.35**).
- Die Einlaufroste (D) sind mit Einlaufquerschnitten von 350 und 430 cm² bei einer Einlegetiefe von 54 mm erhältlich.
- Als Zubehör sind auch noch Schmutzfänger (= Schlammkübel) aus Edelstahl erhältlich.

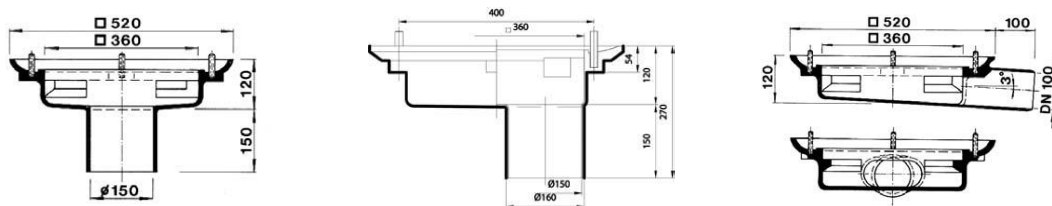


Bild 2.34 WAL-Austria Ablauftassen - Varianten [36 S. 3]

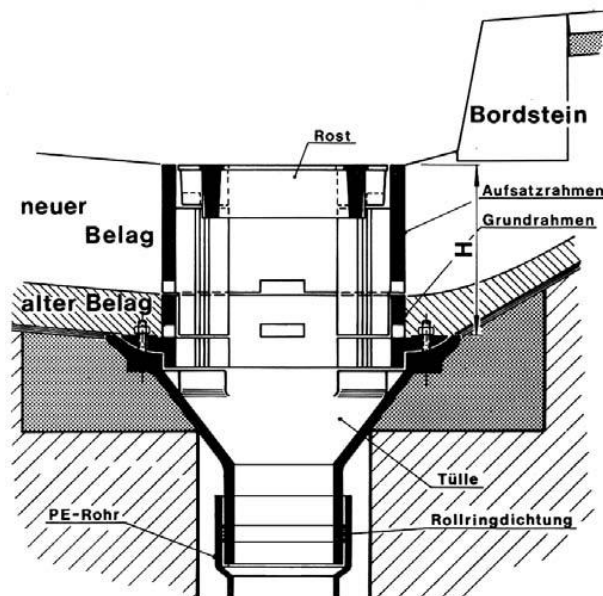


Bild 2.35 Anwendungsbeispiel Aufstockrahmen [36 S. 5]

Wirkungsweise

- Anwendungsbedingungen
Die Abläufe entsprechen in allen Punkten den in Österreich gültigen Richtlinien.
- Belastbarkeit
Die Roste sind jeweils in den Belastungsklassen D 400 und E 600 verfügbar.
- Werkstoffkenngrößen
Tüllen, Grundrahmen und Aufstockrahmen bestehen aus Grauguss (GG), die Roste aus Sphäroguss (GGG) und die Schlammkübel aus Edelstahl.

Stärken/Schwächen

- Die Abläufe sind speziell für die Anforderungen (Abmessungen und Lastklassen) in Österreich entwickelt.
- Die Höhe ist anpassbar, die Möglichkeit der Seitenverschiebung, Verdrehung oder Neigungseinstellung fehlt allerdings.



Bild 2.36 Eingebauter Purator Brückeneinlauf (Seewigtalbrücke, 24.05.2007) [37]

2.3.4 Gegenüberstellung

In **Tabelle 2.6** werden Produkte für Ablauftassen (punktförmige Entwässerung), die für Österreich geeignet sind (d.h. deren Kenngrößen denen für Österreich entsprechen) gegenübergestellt. Die kombinierten Anforderungen aus EN 124 und RVS 15.04.31 sind zu diesem Zweck ebenfalls angegeben.

Tabelle 2.6 Gegenüberstellung der für Österreich geeigneten Produkte

Hersteller (Richtlinie)	EN 124 & RVS 15.04.31	ACO (RiZ-ING Was 1)	Höllko (RiZ-ING Was 1)	Purator (RVS 15.04.31)
Abmessungen	k.A.	300 x 500 mm 500 x 500 mm	300 x 400 mm 300 x 500 mm 500 x 500 mm	320 x 320 mm
Einlaufquerschnitt	350 cm ²	523 cm ² 1121 cm ²	565 (350) cm ² 700 cm ² 1260 cm ²	350 od. 430 cm ²
Rahmen verstellbar	Höhe	H-S-D	D-S-H-N	Höhe
Rahmenhöhe	100 (75) mm	85 – 500 mm	60 – 200 mm	50 – 310 mm
Spaltweite Rost	20 – 42 mm	23 mm	36 (16) mm	k.A.
Schlammkübel	optional	Ja	Ja	optional
Flanschbreite	80 mm	100 mm	100 mm	80 mm
Ablaufrohr	Rohrsystem: DN 150	DN 100 ^a DN 150	DN 100 DN 150	DN 100 DN 150
Material	k.A.	Gusseisen und verz. Stahlblech	Gusseisen und verz. Stahlblech	Gusseisen und Edelstahl
Lastklasse	D 400 (E 600)	D 400	D 400	D 400 & E 600
^a nur für HSD-2 (300 x 500 mm)				

2.3.5 Andere Hersteller

Pipeline & Drainage Systems

Die britische Firma Pipeline & Drainage Systems Ltd. stellt seit 2003 das Bordsteinentwässerungssystem Envirokerb aus recyceltem Kunststoff mit einem Gewicht von nur 14,5 kg pro Element her. 2007 folgte darauf aufbauend das Brückenentwässerungssystem Envriodeck (siehe **Bild 2.37**). [38] Den Vertrieb in Österreich und Deutschland hat seit 2010 die Handelsgesellschaft für Tiefbauprodukte mbH (kurz: Hatiba) übernommen. [39]



Bild 2.37 Envriodeck Brückenentwässerung an der Porth Relief Rd [40 S. 3]

Folwer & Holden

Fowler & Holden Ltd aus Großbritannien stellen unter dem Namen FastFlow zwei Bordsteinentwässerungssysteme (mit oder ohne Abdichtungsentwässerungsfunktion) der Lastklasse D 400 und Öffnungen von 75, 100 und 125 mm Höhe her, die aus Gusseisen bestehen. Es wird keine Aussage zum Gewicht der Elemente getätigt, da aber von einer manuellen Handhabung abgeraten wird, ist davon auszugehen, dass es 25 kg überschreitet. [41]



Bild 2.38 Bridge Deck Gutter System 2 für Oberflächen- und Abdichtungsentwässerung [42 S. 2]

Neenah Foundry

„Neenah Foundry has been producing the world's highest quality municipal and industrial iron castings since 1872. And through a commitment to new product innovation, engineering expertise and customer service, we'll continue to deliver on that promise well into the 21st century“. [43]

Neenah Foundry produziert seit 1872 kommunalen und industriellen Eisenguss der weltweit höchsten Qualität. Durch das Bekenntnis zu Produktinnovation, technischer Kompetenz und Kundenbetreuung versprechen wir, diese auch weiterhin, bis weit bis 21. Jahrhundert, zu liefern.

Die Produkte sind auf den Markt in den Vereinigten Staaten ausgelegt, weshalb entsprechende Vielfalt angeboten wird (siehe **Bild 2.39**).



Bild 2.39 Diverse Eisengussteile zur Punkt-, Randstein- und Linienentwässerung von Stahl- und Betonbrücken [44 S. 227 - 240]

2.4 Schadensbilder

Die Entwässerung ist ein Element der Brückenkonstruktion, an das im Hinblick auf die Erhaltung der Brücke sowie wegen den zahlreichen Einwirkungen (Salzlösungen, mechanische Einwirkung durch Vibratoren beim Betonieren, Hochdruck-Wasserstrahl-Spülgeräte usw.) in konstruktiver und ausführungstechnischer Hinsicht hohe Anforderungen gestellt werden. Viele Schäden an Brückentragwerken sind die Folge von mangelhaft ausgeführten Brückenentwässerungssystemen. [5 S. 3]

Formteile für die Brückenentwässerung werden derzeit aus Gusseisen hergestellt. Obwohl die Normung in Österreich kein bestimmtes Material vorschreibt und die Schadensbilder an gusseisernen Brückeneinläufen und Abdichtungsentwässerungen hinreichend bekannt sind, gibt es derzeit am Markt, außer den unter 2.3.1 und 2.3.5 dargestellten Recyclingmaterialien für (lt. RVS 15.04.31 nicht zulässige) Randsteinabläufe, keine Alternativen.

2.4.1 Umläufigkeit

Umläufigkeiten entstehen durch undichte Anschlüsse der Brückenabdichtung an den Brückeneinlauf. Die Undichtigkeiten entstehen allerdings meist nicht durch Abreißen der Abdichtung vom Formteil, sondern durch (Spröd-) Bruch der Abdichtung am Rand des Anschlussflansches. Oftmals ist durch schlechten Haftverbund zwischen Ablauftasse und Tragwerksbeton genau in diesem Bereich eine Fuge vorhanden. Das Wasser kann in dieser um die Ablauftasse „herumlaufen“, zerstört dabei den angrenzenden Beton und die Bewehrung korrodiert in unmittelbarer Nähe (siehe **Bild 2.40**). Meist ist dieser Schaden durch Feuchtstellen und/oder Wasserflecken, Sinter (siehe 2.4.4) rund um das Abfallrohr bzw. im Bereich der Feuchtstellen, Rostfahnen, oder Abplatzungen des Betons im Nahbereich des Abfallrohres erkennbar.



Bild 2.40 Korrodierte Bewehrung durch Umläufigkeit (Brücke Zöbern, 08.02.2010) [37]

2.4.2 Kurzer oder fehlender Ablaufstutzen

Durch zu geringen Überstand des Ablaufstutzens unter das Tragwerk kann ablaufendes Wasser bei Windangriff an das Tragwerk bzw. den Unterbau getragen (siehe **Bild 2.41**) werden. Auch ist es möglich, dass aufgesteckte Ablaufstutzen durch Eislast von der Ablauftasse gelöst werden und nach unten fallen, wenn sie nicht entsprechend gesichert wurden. Dies kann dazu führen, dass das anfallende Wasser nicht mehr abtropft, sondern an der Tragwerksunterseite entlang fließt (siehe **Bild 2.42**). Fehlende Ablaufstutzen sind als Mangel direkt ersichtlich, die Schäden daraus oder durch zu geringen Überstand sind durch Feuchtstellen, Rostfahnen oder gar Abplatzungen des Betons an Tragwerk und Unterbau erkennbar. Die Entfernung des Schadens zum Ablauf kann bei hohen Brücken durchaus ein großes Ausmaß annehmen (je nach Windrichtung und -stärke) und ein solcher Schaden ist daher nicht gleich einem nicht voll funktionstüchtigen Ablauf zuzuordnen.



Bild 2.41 Kurzer Ablaufstutzen und Wasserverfrachtung zum Hauptträger
(Krummbachbrücke, 06.09.2007) [37]



Bild 2.42 Fehlender Ablaufstutzen und Rostfahne am Tragwerk
(S36 Unterführung Stadtwaldgasse, 25.06.2007) [37]

2.4.3 Korrosion

Nach [45 S. I-266] weist Gusseisen grundsätzlich eine bessere Korrosionsbeständigkeit als Stahl oder Stahlguss auf. Die Beaufschlagung des anfallenden Wassers im Bereich der Brücke mit sehr korrosiven (chloridhaltigen) Taumitteln und sonstigen korrosionsfördernden Stoffen wie z.B. Schwefeldioxid aus dem Straßenverkehr [46 S. 174] führt offensichtlich selbst bei diesem Material zu Schädigung durch Korrosion (siehe **Bild 2.43**). Dies entspricht den Ausführungen in [47 S. 342], wonach Gusseisen nur eine mit unlegierten Stählen vergleichbare allgemeine atmosphärische Korrosion aufweist.

Laut den deutschen Richtlinien [7 S. 4] und [14] ist für eine Ablauftasse Grauguss (GG) (d.h. Gusseisen mit Lamellengraphit) vorgeschrieben: *„Auf Gusseisen bildet sich durch Wechselwirkung von Schmelze und Sandform eine schützende Gusshaut. Bei durchgehendem Lamellengraphit entsteht nach anfänglicher Korrosion des Eisens eine weitgehend mit Graphit und Korrosionsprodukten bedeckte Oberfläche, die den weiteren Korrosionsfortschritt gerade in ruhender Flüssigkeit bremst.“* [47 S. 113] Aufgrund der Tatsache dass Flüssigkeiten in einem Ablauf allerdings per Definition in Bewegung sind, kann nicht davon ausgegangen werden, dass Gusseisen im Vergleich zu Stahl oder Stahlguss entscheidend korrosionsbeständiger ist.



Bild 2.43 Stark korrodierter Entwässerungsablauf [48]

Das entspricht auch der Begründung, mit der Neenah Foundry darlegt, warum die von ihnen hergestellten Gussteile nicht beschichtet werden: „*Cast iron corrosion can best be described when compared to the corrosion of steel. The physical characteristics that differ between the two include the greater concentrations of carbon and silicon in cast iron. These elements provide substantial corrosion resistance in gray iron.*

Much of the carbon in gray iron occurs in the form of graphite flakes. This graphite is inert in most corrosive environments and provides a protective physical barrier against corrosion of the metal matrix. Technically speaking, it's called graphitization. However, the graphite layer can technically be worn away exposing the iron to further oxidation.

Silicon in gray iron occurs in the metal matrix. When oxidation due to moisture initially occurs, a bright orange oxide results. This loosely adhering oxide is water soluble and is easily washed or worn away. The presence of silicon in the iron eventually causes a much tighter adhering, insoluble, black oxide-iron silicate scale which inhibits further corrosion.” [44 S. 11]

Korrosion von Gusseisen kann man am besten beschreiben, wenn man sie mit der von Stahl vergleicht. Die physikalischen Eigenschaften, die die beiden unterscheiden, sind unter anderem die größeren Konzentrationen von Kohlenstoff und Silizium in Gusseisen. Diese Elemente erhöhen die Korrosionsbeständigkeit des Graugusses wesentlich.

Ein Großteil des Kohlenstoffs in Grauguss tritt in Form von Graphit-Lamellen auf. Dieser Graphit ist in den meisten korrosiven Umgebungen träge und bildet eine schützende physikalische Barriere gegen die Korrosion der Metallmatrix. Diese Graphitschicht kann jedoch abgenutzt werden, was das Eisen weiterer Oxidation aussetzt.

Silizium tritt innerhalb der Metallmatrix des Graugusses auf. Bei Oxidation aufgrund von Feuchtigkeit resultiert dies zunächst in einer hellen, orangen Oxidschicht. Diese lose anhaftende Oxidschicht ist wasserlöslich und lässt sich leicht abwaschen oder abnutzen. Das Vorhandensein von Silizium im Eisen führt aber schließlich zu einer viel enger haftenden, unlöslichen, schwarzen Eisenoxid-Silikat-Schicht, die weitere Korrosion verhindert.

Somit ist eine bessere Korrosionsbeständigkeit des Gusseisens im Vergleich zu Stahl zwar möglich, aber in bewegten Flüssigkeiten mit Abrasionsbelastung, wie sie z.B. bei Tagwassereinläufen von Brücken vorkommen, nicht grundsätzlich gegeben. Vielmehr hängt die Korrosionsbeständigkeit, wie folgend dargelegt, vom Gefüge des Gusseisens und dem Sauerstoffgehalt des Wassers ab.

Spongiose

Spongiose oder Graphitierung nennt man eine spezielle Korrosionsform an grau erstarrtem Gusseisen mit lamellarem Graphit in wässrigen Medien. Dabei bleiben durch selektive Korrosion der Eisenbestandteile vor allem Graphit und Carbide als feste Phase zurück. Dieses verbleibende Gefüge ist porös und brüchig und wenn sich keine Korrosionsprodukte einlagern können, begünstigt seine Form eine weitere Korrosion (siehe **Bild 2.44**). Bei Temperguss und Grauguss mit Kugelgraphit tritt Spongiose nicht auf, da die Graphitkügelchen aus der Matrix fallen und kein solches Gefüge bilden können (siehe **Bild 2.45**) Typisch für diese Form der Korrosion ist auch, dass sie in eigentlich wenig korrosiven Medien, wie z.B. Wasser mit geringem Sauerstoffgehalt, auftritt. In diesem können die in Lösung gehenden zweiwertigen Eisenionen nicht zu dreiwertigen oxidieren und keine korrosionshemmende Rostschicht bilden, was die Korrosion in die Tiefe weiter fortschreiten lässt. Ein höherer Sauerstoffgehalt begünstigt die Deckschichtbildung und mindert die Korrosion (siehe **Bild 2.46**). [49 S. 97f]

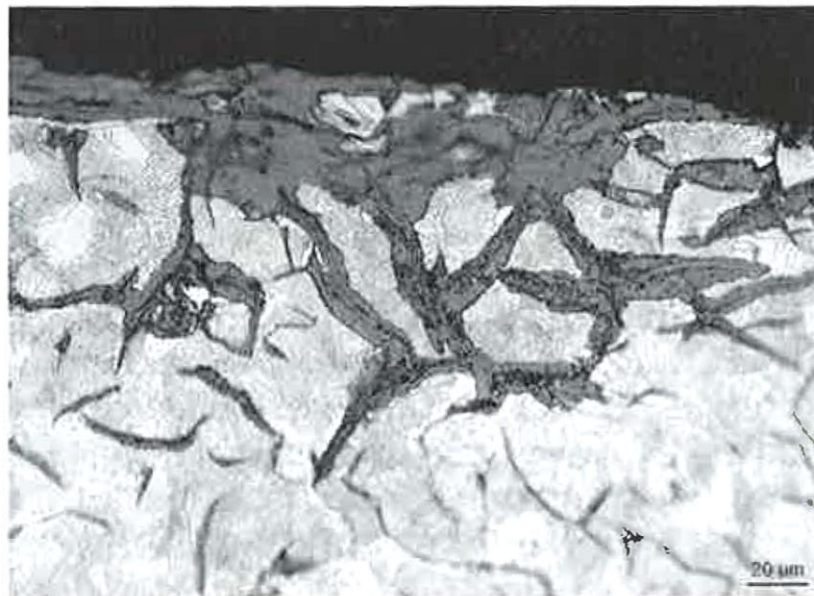


Bild 2.44 Querschliff durch Gusseisen GG. Lamellarer Graphit ragt aus der Oberfläche und begünstigt als Kathode die Korrosion Abb. 4-31 in [49 S. 97]

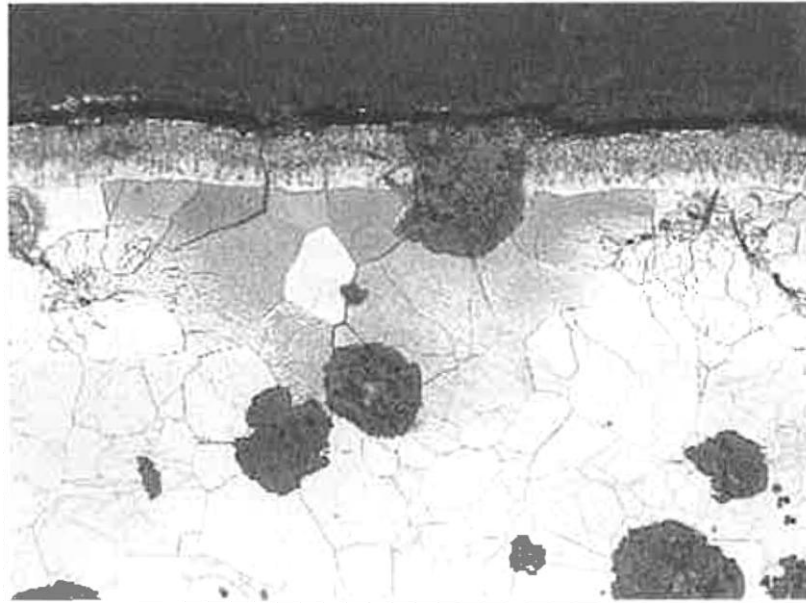


Bild 2.45 Gusseisen GGG mit Kugelgraphit. Die Kugeln können leicht ausbrechen und stehen dann als Kathoden nicht zur Verfügung, Abb. 4-33 in [49 S. 98]

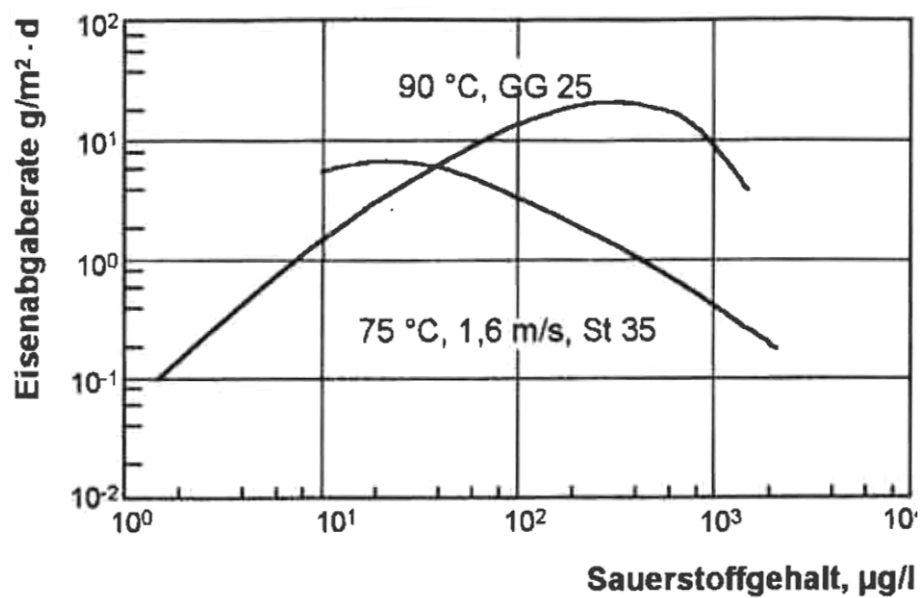


Bild 2.46 Korrosion von Gusseisen und unlegiertem Stahl in belüftetem Wasser bis eine schützende Deckschicht entsteht, Abb. 3-15 in [49 S. 60]

2.4.4 Sinter

Sinter ist eine mineralische Ablagerung die hauptsächlich aus Kalkstein (Calciumkarbonat CaCO_3) besteht und sich, ähnlich wie bei Tropfsteinen an Höhlendecken, an der Unterseite von Brücken bildet. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), einem Hauptbestandteil des Porenwassers im Beton. Dieses wird durch kohlen-säurehaltiges Regenwasser in Calciumhydrogenkarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) umgewandelt und ausgeschwemmt, da es in Wasser leicht löslich ist. Dafür ist wiederum eine Undichtigkeit der Brückenabdichtung (siehe 2.4.1) nötig, damit das Wasser überhaupt an den Beton gelangen kann. Nach und nach bildet sich dann durch die Abgabe von CO_2 an die Luft und die damit einhergehende Ausfällung von Kalkstein ein Tropfstein (siehe **Bild 2.47**), der im Extremfall die Brückenentwässerung vollständig verlegen und funktionsuntüchtig machen kann.



Bild 2.47 Durch Sinter verlegte Abdichtungsentwässerung und Umläufigkeit
(S6 Brücke Sonnleiten, RFB St. Michael, 15.07.2008) [37]

Kritisch sind Sinterablagerungen auch deshalb, weil durch das Ausschwemmen von Calciumhydroxid der alkalische Schutz der Bewehrung gegen Korrosion verloren geht und dieses im Beton nur mit Festigkeitsverminderung (siehe **Bild 2.48**) nachgebildet werden kann. [45 S. I-85 ff]

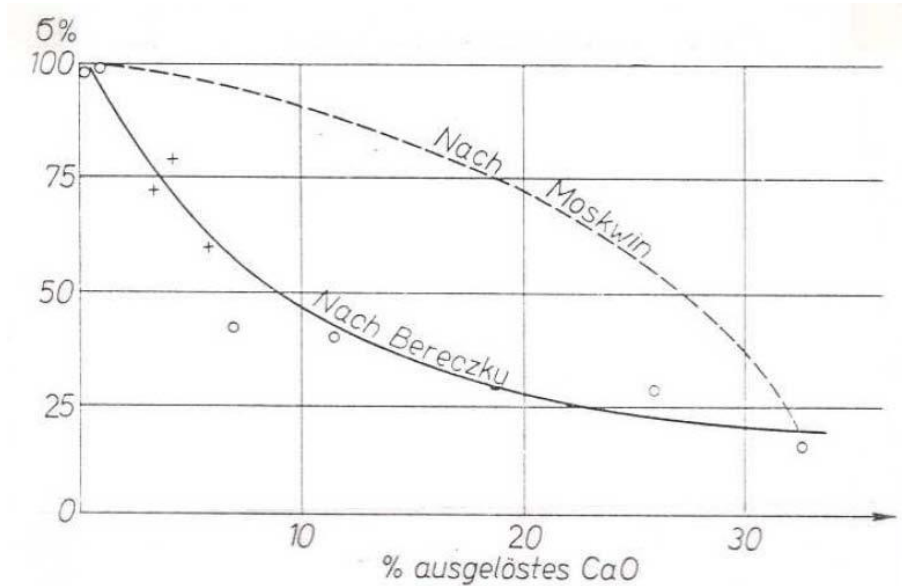


Bild 2.48 Festigkeitsverminderung infolge Auslaugung des Portlandzementes, Abbildung 9 in [45 S. I-86]

2.4.5 Ablagerungen

Meist reichen auch schon Ablagerungen wie Sand und/oder organische Materialien um den Rost eines Brückeneinlaufs zu verstopfen (siehe **Bild 2.49**). Obwohl Schlammkübel die Lebensdauer der weiterführenden Rohrleitungssysteme durch das Verringern der Abrasionsbelastung erhöhen, können auch diese, wenn sie nicht gewartet werden, zum Versagen des Entwässerungssystems beitragen. In den meisten Fällen bildet sich nach einiger Zeit durch die günstige Kombination aus Substrat und regelmäßiger Bewässerung auch Bewuchs (siehe **Bild 2.50**). Ablagerungen können durch ausreichende Fließgeschwindigkeiten des abzuleitenden Wassers verringert und bei regelmäßiger Wartung leicht entfernt werden.



Bild 2.49 Verlegter Brückeneinlauf (A9 B2, 06.04.2009) [37]



Bild 2.50 Verstopfter Ablauf einer Brückenentwässerung, Abb. 2 in [17 S. 23]

3 Ultrahochleistungsbeton

„Durch die Entwicklung neuartiger Fließmittel und dem Einsatz von Silicastauben hat die Festigkeitsentwicklung von zementgebundenen Baustoffen in den vergangenen Jahren einen ständigen Aufwärtstrend erfahren. Die letzte Steigerungsstufe in dieser Entwicklungsgeschichte stellt der ultrahochfeste Beton (UHPC) dar. Dieser Beton ermöglicht durch die - auf sein Eigengewicht bezogenen - höheren aufnehmbaren Lasten, größere Spannweiten bzw. Schlankheiten von Betonkonstruktionen. Damit ergeben sich ganz neue Möglichkeiten für das Entwerfen und Konstruieren mit Beton. Neben der hohen Druckfestigkeit sind bei diesen Betonen auch andere Eigenschaften von Interesse. Dazu gehören neben der gegenüber Normalbeton verbesserten Zugfestigkeit die extrem hohe Undurchlässigkeit für aggressive Flüssigkeiten und Gase. Aufgrund der charakteristischen Eigenschaften von ultrahochfesten Betonen eignen sich diese besonders für den Bau von dünnen Brückenplatten, Fachwerkträgern, filigranen Wänden (Fassaden) und Drucklagern.“ [50 S. 3]

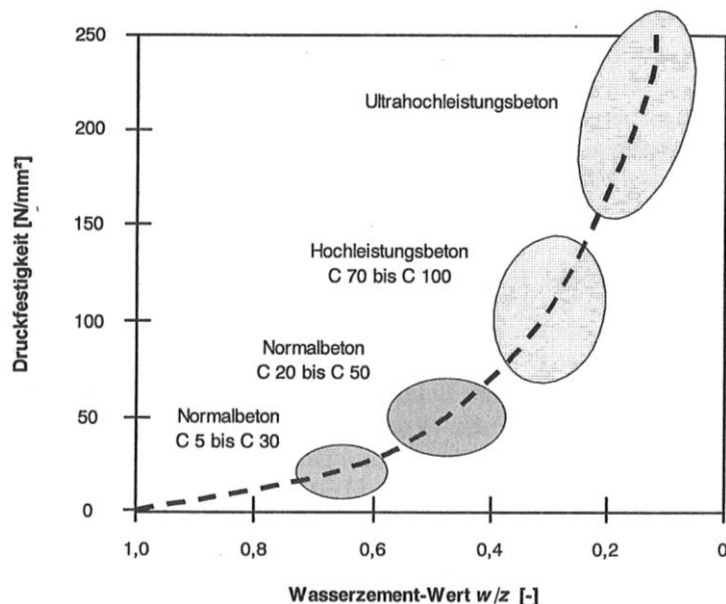


Bild 3.1 Spektrum der Betondruckfestigkeit in Abhängigkeit vom Wasserzement-Wert,
Bild 5-37 in [46 S. 418]

3.1 Mechanische Eigenschaften

„Das mechanisch begründete Grundprinzip zur Herstellung von ultrahochfesten Betonen ist die Minimierung von Gefügestörungen. Das heißt, daß Poren und Mikrorisse durch die Wahl der Ausgangsstoffe sowie durch eine entsprechende Verarbeitung und Nachbehandlung reduziert werden. Die Ausgangsstoffe müssen dazu entsprechend sorgfältig ausgewählt und aufeinander abgestimmt werden. Insbesondere muß das Betongefüge durch die Abstimmung der Partikelgröße von Zuschlag und Bindemittel derart homogenisiert werden, daß der Werkstoff ein sehr dichtes Gefüge aufweist. Mit steigender Homogenität und sinkendem Porenvolumen steigen dann sowohl die Tragfähigkeit als auch die Dauerhaftigkeit des Betons deutlich an. Im Allgemeinen wird dieses Grundprinzip durch folgende Forderungen konkretisiert:

- *Verbesserung der Homogenität des Betongefüges durch die Elimination von Grobzuschlägen,*
- *Verbesserung der Packungsdichte durch Optimierung des Korngemisches und Aufbringung von Druck vor und während des Erstarrens bzw. Erhärtens des Betons,*
- *Verbesserung der Mikrostruktur durch Wärmebehandlung nach dem Erstarren,*
- *Verbesserung der Zähigkeit durch den evtl. Zusatz von feinen Stahlfasern,*
- *Beibehaltung der herkömmlichen, für Normalbeton und hochfesten Beton bekannten Misch- und Betonertechnologie.“ [51 S. 469]*

„Mit Hilfe der ersten drei Forderungen kann man eine Matrix mit sehr hoher Druckfestigkeit erzeugen. Die Zähigkeit des Betons ist jedoch nicht größer als bei einem herkömmlichen Mörtel. Durch den Zusatz von Stahlfasern wird die Zugfestigkeit verbessert und die Zähigkeit erhöht.“ [46 S. 420]

Aufgrund der Position im Brückentragwerk und der Verbindung mit dem umgebenden Normalbeton sind die mechanischen Eigenschaften für die Formteile nicht vorrangig von Bedeutung. Es muss aber von Belastungen durch Transport und Lagerung, sowie aufgrund von Temperaturschwankungen im eingebauten Zustand ausgegangen werden. Deshalb werden im Weiteren nur die Druck- und Zugfestigkeit, sowie der Faserzusatz bei UHFB kurz vorgestellt. Für weiterführende Erläuterungen dieser und anderer mechanischen Eigenschaften wird jedoch auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

3.1.1 Druckfestigkeit

„UHFB ohne Fasern versagt im Druckversuch explosionsartig, so dass kein abfallender Ast im Spannungs-Dehnungs-Diagramm zu beobachten ist.“ [52 S. 62] (siehe **Bild 3.2**).

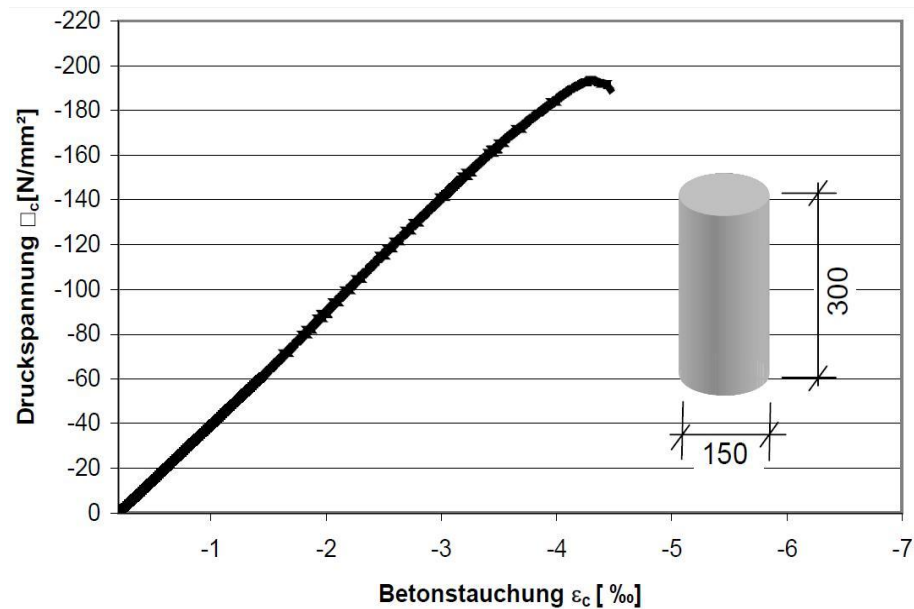


Bild 3.2 Spannungs-Dehnungs-Linie von UHFB ohne Fasern, Bild 3.5-2 in [53 S. 40]

3.1.2 Faserzusatz

„Durch gezielte Zugabe von Fasern kann vor allem das Nachbruchverhalten des ultrahochfesten Betons verbessert werden, während sich der ansteigende Ast kaum vom faserfreien UHFB unterscheidet. Dadurch kann ein duktiles Verhalten erreicht werden. Die Spannungs-Dehnungs-Linie lässt dann in Abhängigkeit vom Fasergehalt und der Fasergeometrie (Länge, Durchmesser) einen ausgeprägten abfallenden Ast erkennen.“ [52 S. 64] (siehe **Bild 3.3**)

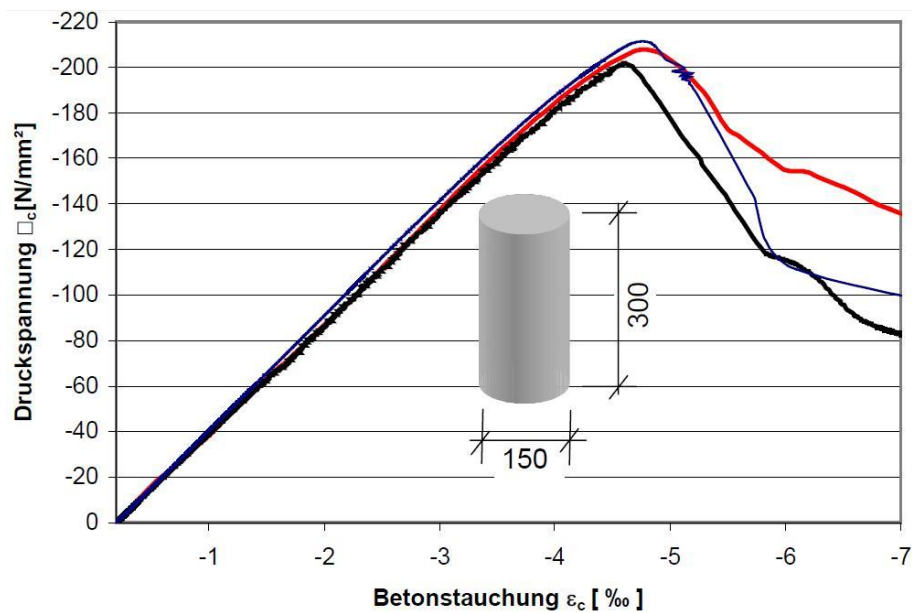


Bild 3.3 Beispiele von Spannungs-Dehnungs-Linien von UHFB mit 2,5 Vol.-% Stahlfasern, Bild 3.5-3 in [53 S. 41]

3.1.3 Zugfestigkeit

„Versuche zur einaxialen Zugfestigkeit von UHFB ohne Faserzusatz haben Festigkeiten zwischen 7 und 10 N/mm² ergeben. [...] Das Versagen auf Zug ist bei ungefasertem UHFB sehr spröde, und es kann bei zentrischen Versuchen praktisch kein abfallender Ast beobachtet werden.

Je nach Fasergehalt und Fasergeometrie weist ultrahochfester Beton mit Fasern bei vergleichbaren Druckfestigkeiten im Allgemeinen eine höhere Zugfestigkeit auf als der ungefaserte UHFB. [...] Nochmals zu betonen ist, dass die Festigkeitszunahme und der abfallende Ast entscheidend von Fasergehalt, Fasergeometrie und Faserausrichtung abhängen.“ [52 S. 66] (siehe **Bild 3.4**)

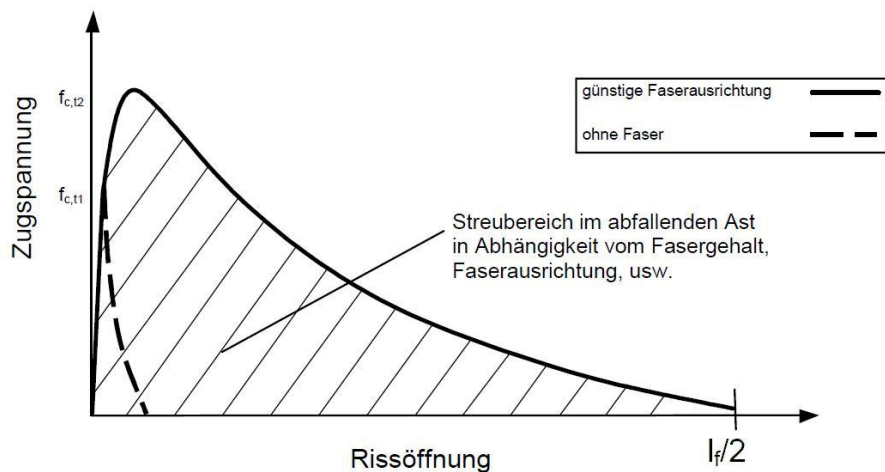


Bild 3.4 Spannungs-Rissöffnungsdiagramm bei axialem Zug, Bild 6.8 in [52 S. 66]

3.2 Dauerhaftigkeit

„Bei der rein festigkeitsbezogenen Denkweise bleiben oft die möglichen Vorteile des UHFB im Bereich der Dauerhaftigkeit unberücksichtigt. Dabei führen UHFB aufgrund ihrer hohen Dichtigkeit zu einem bisher nicht gekannten Materialwiderstand gegen verschiedenste Expositionen aus der Umwelt. Um die erweiterte Leistungsfähigkeit dieser Betone auch für den Bereich der Dauerhaftigkeit zum Ausdruck zu bringen, wäre somit wohl die Bezeichnung UHPC (Ultra-High-Performance-Concrete) angebrachter als UHFB.“ [54 S. 117]

Für die Dauerhaftigkeit von Brückenabläufen aus UHFB sind, aufgrund der beobachteten Schäden an gusseisernen Abläufen (siehe 2.4), vorrangig die Abwitterung unter Frost-Tau-Angriff mit und ohne Taumittel, die Karbonatisierung, der Widerstand gegen chemischen Angriff sowie der Verschleißwiderstand von Bedeutung.

3.2.1 Frost-Tau- und Frost-Taumittel-Widerstand

UHFB zeigt im CDF-Test unabhängig von der Zusammensetzung nach 28 Frost-Tauwechseln Abwitterungsmengen von 50 – 80 g/m², was in etwa 15% der Menge bei luftporenmodifiziertem Normalbeton entspricht (siehe **Bild 3.5**) [54 S. 119f] bzw. [55 S. 98ff].

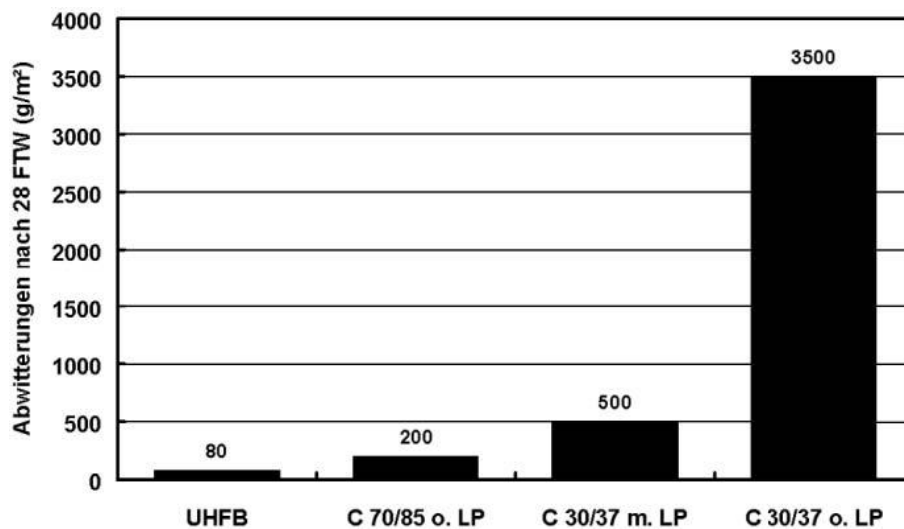


Bild 3.5 Frost-Tausalz-Widerstand von UHFB im Vergleich zu typischen Betonen anderer Festigkeitsklassen, Bild 6 in [54 S. 119]

Bei Erhöhung auf 56 Frost-Tau-Wechsel zeigt sich keine wesentliche Erhöhung der Abwitterungsmenge im Vergleich zu Normal- und Hochleistungsbeton. In beiden Fällen bleibt sie für UHFB weit unter dem für den CDF-Test angegebenen Richtwert von 1500 g/m² (siehe **Bild 3.6**). [56 S. 13f]

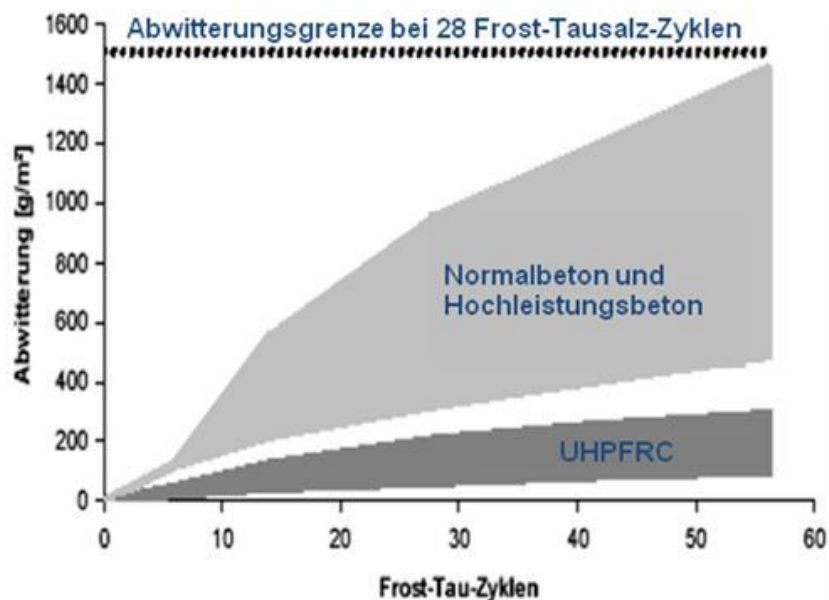


Bild 3.6 Vergleich der Abwitterung zwischen Normal-/Hochleistungsbetonen und UHPC [57]

Selbst nach einer Ausweitung auf 200 Frost-Tau-Wechsel wurde in keiner der in **Bild 3.7** dargestellten Versuchsreihe der Grenzwert von 1500 g/m² erreicht. [58 S. 338ff]

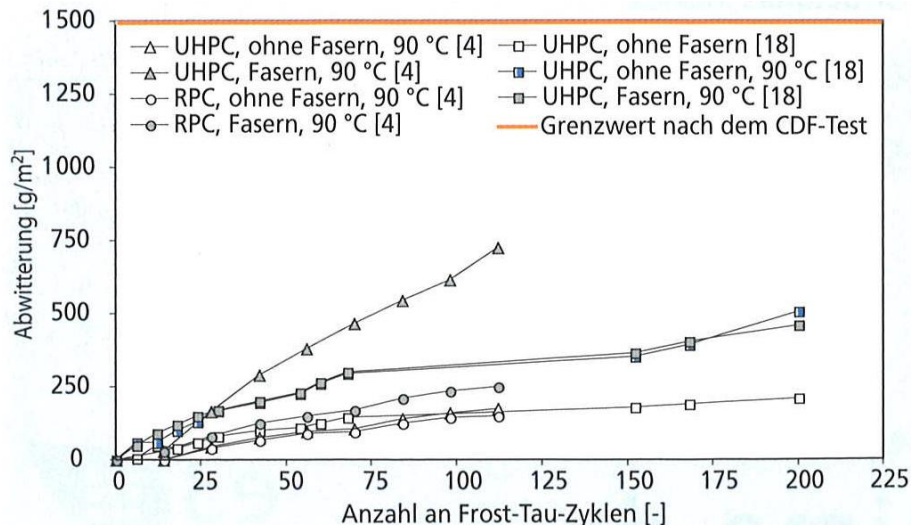


Bild 3.7 Abwitterung infolge eines Frost-Taumittelangriffs in Abhängigkeit von der Anzahl an Frost-Tau-Zyklen für verschiedene ultrahochfeste Grobkornbetone⁹, Bild 6 in [58 S. 340]

Es wurden in den angeführten Versuchsreihen parallel auch CIF-Tests durchgeführt, die dem UHFB ebenfalls einen hohen Widerstand im Vergleich zu Normalbeton zuschreiben. Da eine innere Schädigung die Anwendung als Brückenablauf nicht beeinträchtigt, wird an dieser Stelle nur darauf verwiesen.

3.2.2 Chloriddiffusion

Durch die hohe Gefügedichtigkeit von UHFB ist die Diffusion von Chloridionen im Vergleich zu Normal- oder hochfesten Betonen sehr verlangsamt und liegt, für die üblichen Migrationsschnelltests (RCM-Methode), um einen Faktor 100 unter dem Vergleichswert eines Betons der Festigkeitsklasse C 30/37 (siehe **Bild 3.8**). [52 S. 82] Langzeitversuche mit 3%iger NaCl-Lösung an UHFB und HPC ergaben zwar höhere Diffusionskoeffizienten, zeigten aber auch eine Abnahme mit zunehmender Beaufschlagungsdauer (siehe **Bild 3.9**), was auf die Abdichtwirkung des im UHFB in großen Mengen vorhandenen unhydratisierten Zementklinker bei Wasserzutritt zurückgeführt wird. [58 S. 338]

⁹ Verweise: „[4]“ gleich [57] und „[18]“ gleich [74]; Werte nach [76] nicht dargestellt, aber in ähnlicher Größe.

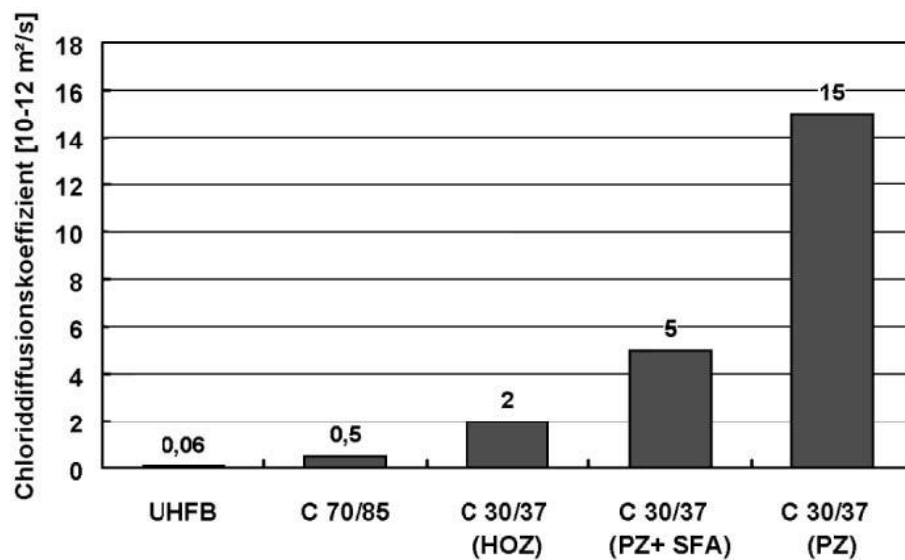


Bild 3.8 Chloriddiffusionskoeffizient von UHFB im Vergleich zu typischen Betonen anderer Festigkeitsklassen, Bild 8 in [54 S. 120]

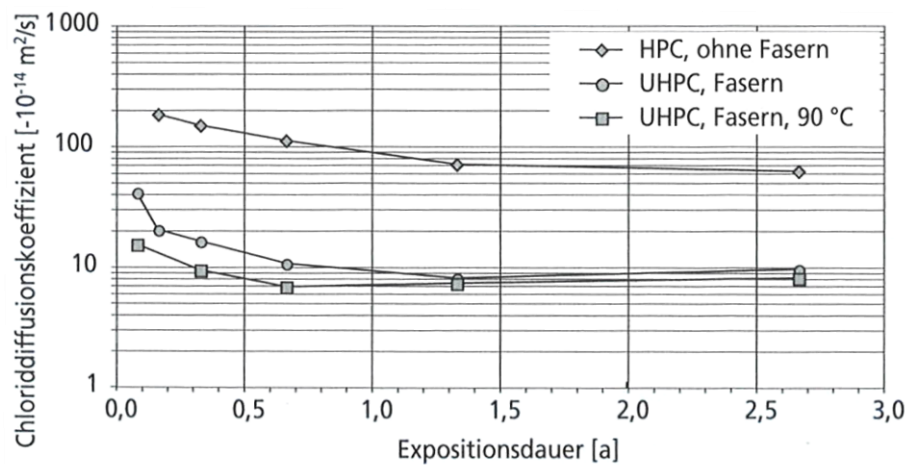


Bild 3.9 Entwicklung des aus Langzeitversuchen ermittelten Chloriddiffusionskoeffizienten in Abhängigkeit von der Expositionsdauer, Bild 4 in [58 S. 338]

3.2.3 Karbonatisierung

Aufgrund des hohen Anteils an (Mikro-)Silika und deren Reaktion mit dem Calciumhydroxid des Porenwassers sind der $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Gehalt und damit die Alkalität der Porenlösung von UHFB geringer als die von Normal- oder hochfesten Betonen. Dem entgegen steht die hohe Gefügedichtigkeit des UHFB, die einen CO_2 -Zutritt nur in geringerem Maße zulässt. [52 S. 85] Die ermittelten Karbonatisierungstiefen von UHFB liegen nach 56 Tagen mit 0,010 bis

0,015 mm um einen Faktor 10 unter denen von HPC (C 70/85, 0,1 mm) und um einen Faktor 500 unter denen von Normalbeton (C 20/25, 3 bis 10 mm). [54 S. 120] bzw. [55 S. 101f] In Langzeitversuchen zeigte sich ein überproportionaler Anstieg im Vergleich zum vorhergesagten Verlauf (siehe **Bild 3.10**), was auf die Entstehung von Mikrorissen an der Oberfläche (vor allem im Bereich von randnahen Fasern und Quarzkörnern) und die damit abnehmende Gefügedichtigkeit zurückgeführt wird. [58 S. 337]

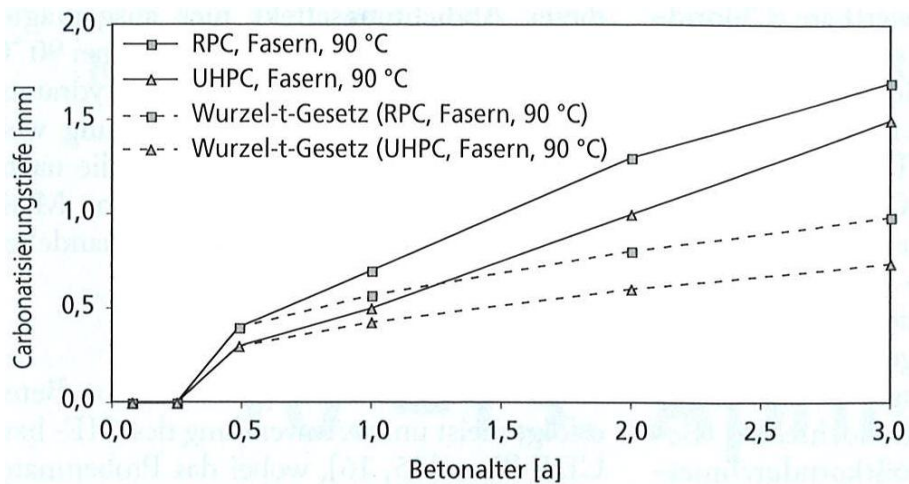


Bild 3.10 Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit vom Betonalter im Vergleich zum vorhergesagten Verlauf, Bild 1 in [58 S. 337]

3.2.4 Chemischer Angriff

Sekundärettringitbildung (Sulfatwiderstand)

Neben der Tatsache, dass in der Regel C_3A -arme und -freie HS-Zemente für UHFB verwendet werden, trägt die hohe Gefügedichtigkeit, und der damit verbundene geringe Wasser- bzw. Sulfationenzutritt, dazu bei, dass Treibvorgänge durch Ettringitbildung bei UHFB nahezu ausgeschlossen werden können. [52 S. 84] Selbst für wärmebehandelte UHFB (durch eine Wärmebehandlung $> 65^\circ\text{C}$ wird die primäre Ettringitbildung beeinträchtigt bzw. verhindert) ist kein Risiko der Schädigung des Festbetons durch spätere (sekundäre) Ettringitbildung zu erwarten. [54 S. 120f]

Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

Der sehr hohe Gehalt an Zement, Silikastaub und Quarzsand im UHFB kann bei deren Agglomeration und Reaktion mit der alkalischen Porenlösung ebenfalls zu einer Keimzelle eines treibenden Angriffs werden. Dem entgegen stehen allerdings die hohe Gefügedichtigkeit und der geringe Porenwassergehalt des UHFB. Bei sachgerechter Herstellung sollte auch eine ausreichende Verteilung des Silikastaubes gegeben sein, was insgesamt zu einem sehr kleinen Risiko für eine AKR führt. [52 S. 83f] Neben (Mikro-)Silika-Agglomeration stellen auch gestresste Quarzkörner, wie sie bei wärmebehandelten UHFB auftreten (siehe **Bild 3.11**), eine Ursprungsquelle für eine AKR dar. Somit ist das Risiko bei wärmebehandelten Bauteilen höher als bei unbehandelten einzuschätzen. [58 S. 340f]

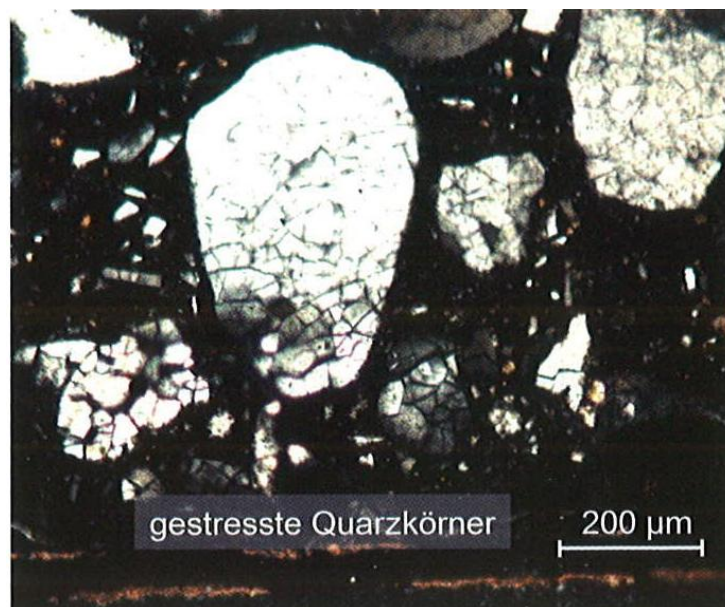


Bild 3.11 Gestresste Quarzkörner in UHFB nach thermischer Beanspruchung bei 90°C,

Bild 8 in [58 S. 342]

Lösender Angriff

Im Bezug auf das Verhalten von UHFB beim Angriff von mineralischen Säuren wurden die Einflussfaktoren Korndurchmesser, Nachbehandlung, Säureart (HCl, H₂SO₄ und organische Milchsäure) und Intensität (pH 1 bis 5) untersucht. Demnach ist der Widerstand nur geringfügig vom maximalen Korndurchmesser abhängig, eine Wärmebehandlung senkt den Korrosionswiderstand. Die Korrosionstiefen folgen einem Wurzel-t-Gesetz; die Parameter sind in **Tabelle 3.1** dargestellt. [58 S. 337f]

Tabelle 3.1 Parameter a für die Entwicklung der Korrosionstiefe x in Abhängigkeit von der Zeit t,
Tafel 1 in [58 S. 337]

Beton	$x(t) = a \cdot t^{0,5^*)}$				
	HCl			H ₂ SO ₄	
	pH 5	pH 3	pH 1	pH 5	pH 3
NPC	74,9	125,3	887,3	-	-
UHPC	42,7	53,4	484,1	40,7	77,1
UHPC _{90°C}	-	63,8	-	-	-

*) x [µm], t [d], a [µm/d^{0,5}]

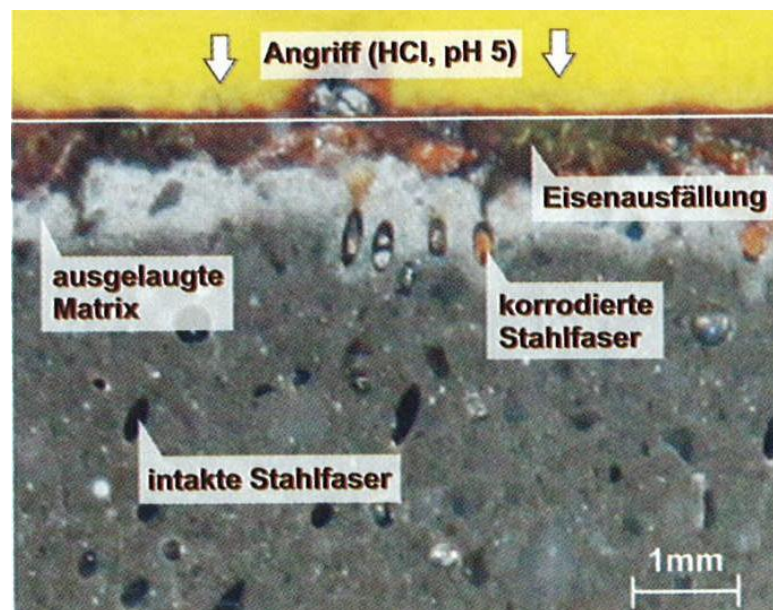


Bild 3.12 Schnitt durch einen faserbewehrten RPC nach 80-wöchigem Angriff
(gelb: Einbettmasse zur Stabilisierung), Bild 3 in [58 S. 338]

3.2.5 Verschleißwiderstand

„Hochleistungsbeton wird häufig und mit Erfolg bei Bauwerken verwendet, die einen hohen Widerstand gegen Abrasion und Erosion haben müssen. Dieser hohe Widerstand kommt durch die Dichtigkeit und Festigkeit des Zementsteins zustande. So wird dieser Baustoff z.B. erfolgreich beim Bau von Tosbecken für große Wasserstauwerke verwendet und weist dort gegenüber Normalbeton einen nur verschwindend geringen Verschleiß auf. Extrapoliert man diese Ergebnisse auf das System ultrahochfester Beton, so lässt sich ein noch weitaus höherer Verschleißwiderstand erwarten als bei Hochleistungsbeton. Als Beispiel hierzu können erste orientierende Versuche hinsichtlich der Abreißfestigkeit genannt werden, die zeigen, dass UHFB mit 6 bis 8 N/mm² sehr hohe Abreißfestigkeiten besitzen.“ [52 S. 86]

3.3 Versuche zur Haftzugfestigkeit

Bei gusseisernen Brückenabläufen werden Schadensbilder wie Umläufigkeiten (siehe 2.4.1) oder Aussinterungen (siehe 2.4.4) erst durch undichte Brückenabdichtungsanschlüsse und den schlechten Haftverbund zwischen Gusseisenformteil und Normalbeton möglich. Ein Ziel der Entwicklung eines Ablaufes aus UHFB ist es, diese Schwachstelle auszuschließen.

Da keine Werte der Haftzugfestigkeit von Normal-Frischbeton mit UHFB-Fertigteilen vorliegen, wurden in Zusammenarbeit mit dem Labor für Konstruktiven Ingenieurbau der TU-Graz Versuche durchgeführt. Desweiteren wurde dabei die notwendige Rauigkeit der Schalung bei der Herstellung der Formteile ermittelt, um mit geringem Aufwand eine annehmbare Haftzugfestigkeit zu erreichen.

3.3.1 Herstellen der Versuchskörper

In der ersten Versuchsreihe waren jeweils 6 Versuchskörper mit unterschiedlichen Oberflächen vorgesehen. In einer zweiten Reihe wurde eine weitere sandgestrahlte Platte hergestellt, um den Einfluss des Strahlzeitpunktes und der Rautiefe¹⁰ zu untersuchen.

In **Tabelle 3.2** ist das Versuchsprogramm zusammengefasst. Die Abmessungen der Platten, aus denen die Probekörper entnommen wurden, betragen 30 x 40 x 3 cm, die Rezeptur des verwendeten, stahlfaserverstärkten UHFB ist im Anhang A2 angeführt.

¹⁰ Die Rautiefen wurden nur optisch beurteilt und nicht gemessen.

Tabelle 3.2 Versuchsprogramm der Haftzugversuche

(Schalungs-) Oberfläche	Probekörper Versuchsreihe 1	Probekörper Versuchsreihe 2	Bild
Styrodur (gefräst)	6 Stück	-	Bild 3.13
Sandgestrahlt (2x nach vier Tagen)	6 Stück	-	Bild 3.14
Sandgestrahlt 2 (1x nach einem Tag)	-	6 Stück	Bild 3.15
Glatt	6 Stück	-	Bild 3.16
Gusseisen	6 Stück	-	Bild 3.17

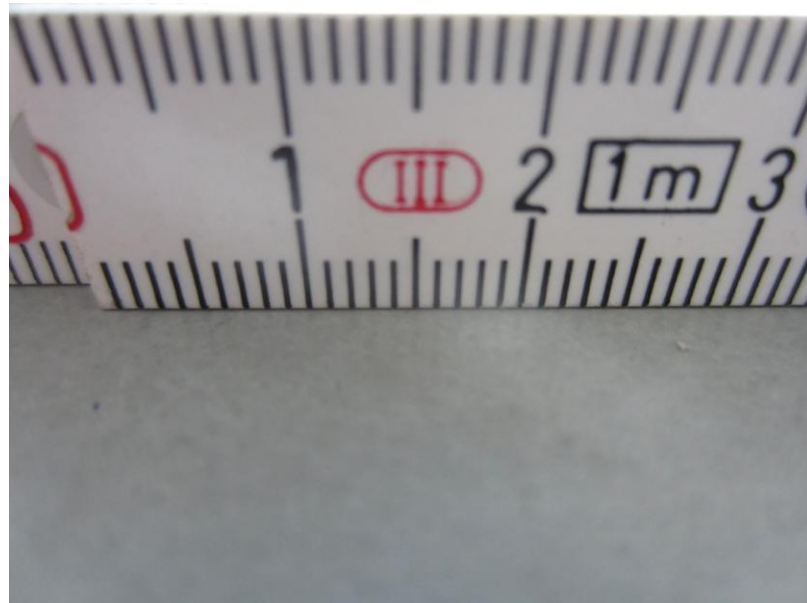


Bild 3.13 Glatte UHFB-Oberfläche durch Schalung mit Furniersperrholz

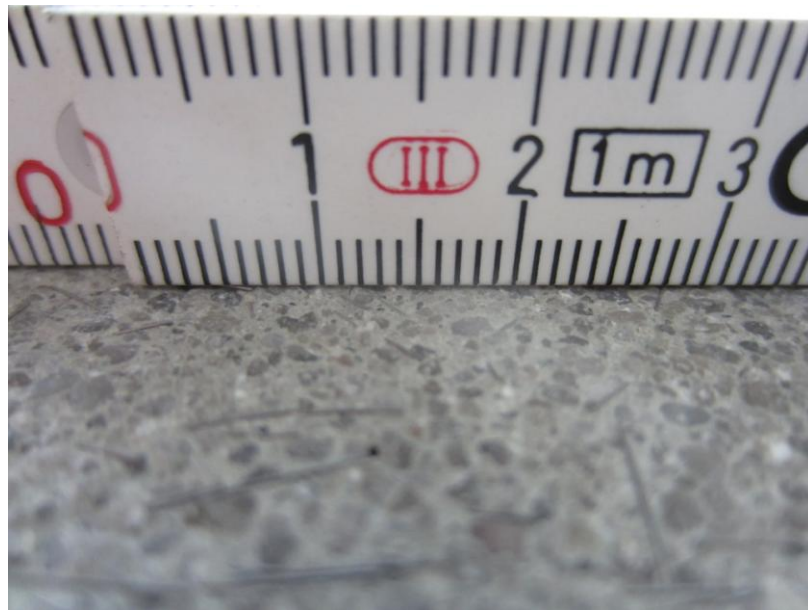


Bild 3.14 Nach 4 Tagen 2x sandgestrahlte (ehemals glatte) UHFV-Oberfläche



Bild 3.15 Nach einem Tag 1x sandgestrahlte UHFV-Oberfläche

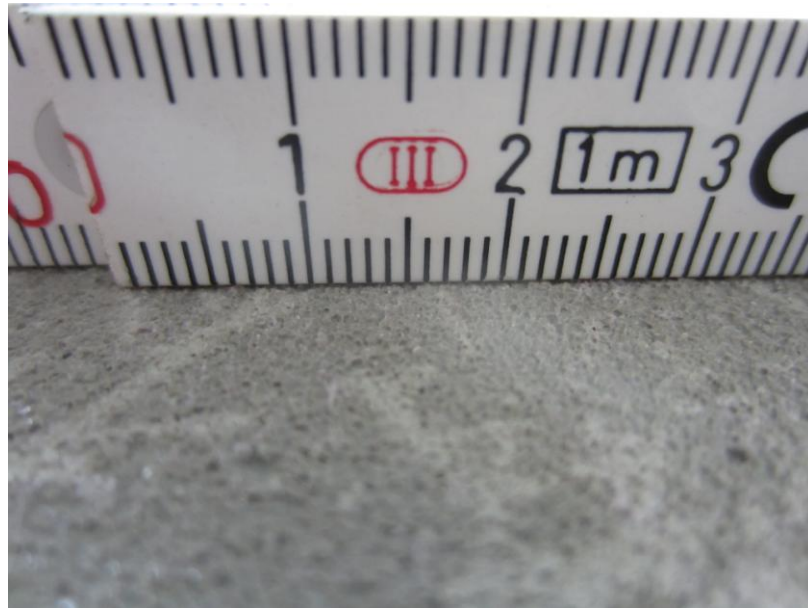


Bild 3.16 Raue UHFB-Oberfläche durch Schalung mit robotergefräster XPS-Platte

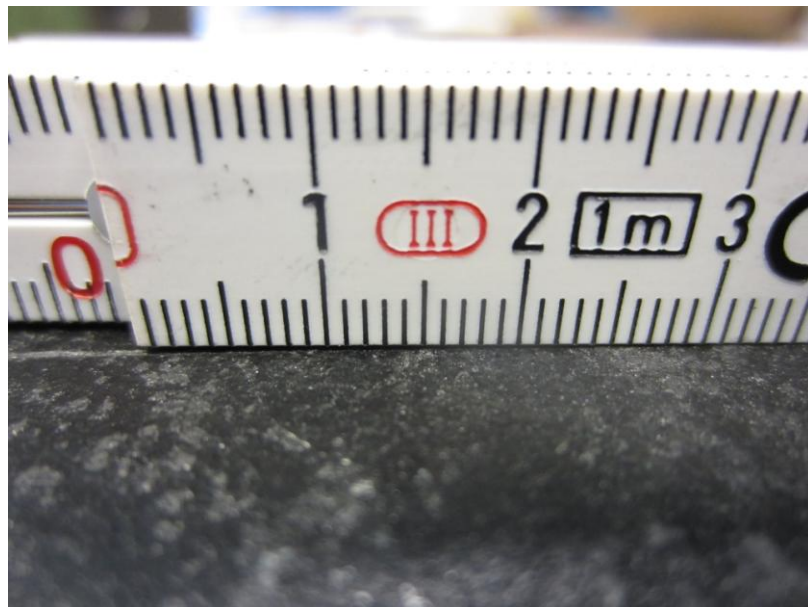


Bild 3.17 Gusseisenoberfläche einer handelsüblichen Ablauftasse

3.3. Versuche zur Haftzugfestigkeit

Nach 14 Tagen wurde auf die UHFB-Platten jeweils 7 cm Normalbeton (C 30/37/B5) aufgebracht (Rezeptur siehe Anhang A1), nach weiteren 14 Tagen wurden mittels Kernbohrung aus jeder Platte 6 Probekörper mit einem Durchmesser von 100 mm entnommen. Nach dem Abtrag der oberen UHFB-/NSC-Schicht (siehe **Bild 3.18** und **Bild 3.19**) wurden die Zylinder mit Sikadur®-30¹¹ auf die Prüfstempel für die Zugversuche aufgeklebt (siehe **Bild 3.20**).

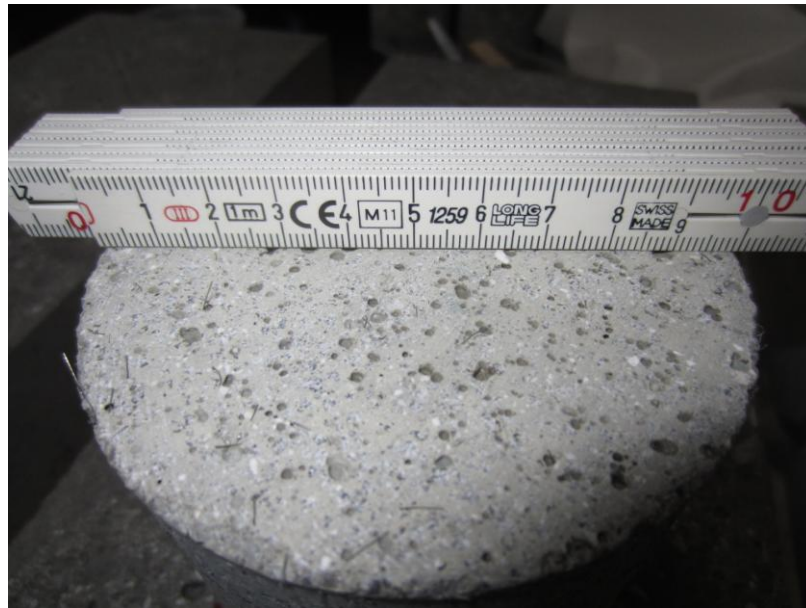


Bild 3.18 UHFB-Oberfläche nach dem Reinigen

¹¹ Sikadur®-30 ist ein lösemittelfreier, thixotroper, 2-komponentiger Armierungskleber auf Epoxidharzbasis und speziellen Füllstoffen für Temperaturen zwischen +8 °C und +35 °C für das kraftschlüssige Verkleben von Sika® CarboDur® CFK-Lamellen auf Beton, Mauerwerk und Holz sowie Stahllamellen auf Beton. [78 S. 1]

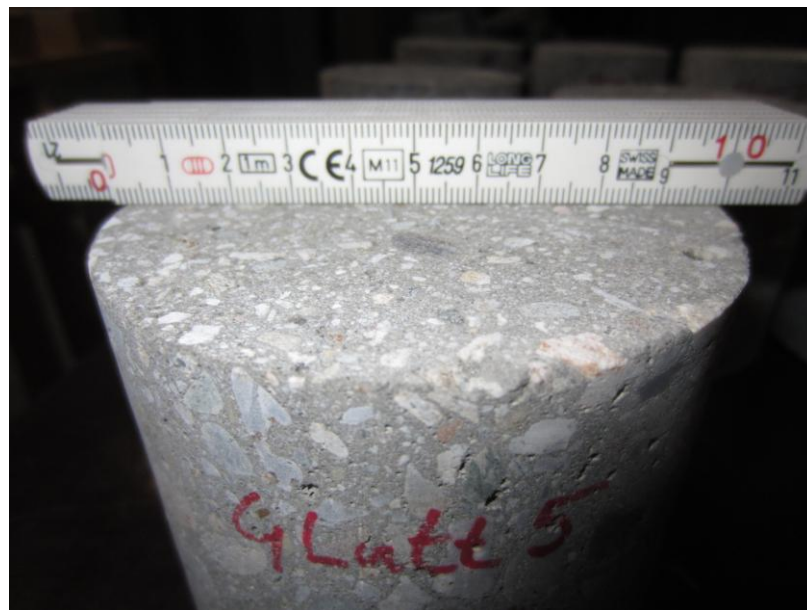


Bild 3.19 Probekörper mit gereinigter NSC-Oberfläche



Bild 3.20 Vorbereitung der Prüfkörper durch Aufkleben der Stahlstempel

3.3. Versuche zur Haftzugfestigkeit

In der ersten Versuchsreihe ist auch die Haftzugfestigkeit zwischen Gusseisen und Normalbeton untersucht worden. Dazu wurden auf sechs, aus einer handelsüblichen Ablaufkassette entnommen, Scheiben mit einem Durchmesser von 94 mm ebenfalls 7 cm Normalbeton im Format 200 x 200 mm aufgebracht. Diese Probekörper wurden nach 14 Tagen wie die UHFB/Normalbeton-Zylinder für die Prüfung vorbereitet (siehe **Bild 3.21**).



Bild 3.21 Probekörper für die Haftzugversuche an Gusseisen

3.3.2 Versuchsdurchführung

Die Zugversuche wurden mit einer Beta 1000-Universalprüfmaschine¹² durchgeführt. Zum Ausgleich eventueller Exzentrizitäten erfolgte die Krafteinleitung über 3 Kettenglieder (siehe **Bild 3.22**). Dieser Versuchsaufbau ist im Großen und Ganzen vergleichbar mit dem des Forschungsprojekts „AdBond-UHPC“ (siehe **Bild 3.23** und [59 S. 109f]).

¹² Zweispindelige, Viersäulen Universalspindelprüfmaschine der Firma Messphysik mit einer Nennkraft von 1000 kN [79 S. 9] und Kraftmessdosen mit einem Messbereich von maximal 100 kN.

3.3.3 Ergebnisse

Es zeigt sich, dass Sandstrahlen der Oberfläche das beste Ergebnis, auch im Bezug auf die Herstellung und Wiederverwendung der Schalung, bietet. Für die praktische Anwendung sollten Messverfahren herangezogen werden, mit denen die Rauigkeit quantitativ beurteilt werden kann. Eine glatte UHFB-Oberfläche ist im Mittel allerdings den derzeit üblichen Gusseisenoberflächen schon um einen Faktor 5 überlegen.

Die Ergebnisse der Versuche sind in **Tabelle 3.3** dargestellt. Eine detaillierte Darstellung der Versuchsreihen findet sich in Anhang A4. Außer im Fall des mit Styrodur geschalteten UHFB befand sich die Bruchstelle zu mehr oder weniger großem Teil in der Kontaktfuge zum NSC (siehe **Bild 3.24** bis **Bild 3.27**). Der Anteil der sichtbaren Kontaktfuge zum UHFB an der Bruchfläche wurde abgeschätzt und korreliert (umgekehrt proportional) mit den erreichten Haftzugwerten.

Tabelle 3.3 Haftzugfestigkeit je nach Oberfläche

(Schalungs-) Oberfläche	Mittelwert [N/mm ²]	Standard- abweichung [N/mm ²]	5% Fraktile ^a [N/mm ²]	Bruchfläche (% der Fuge sichtbar)
Styrodur (gefräst)	3,07	0,12	2,87	Normalbeton
Sandgestrahlt (2x nach vier Tagen)	2,25	0,41	1,58	Fuge (~37%)
Sandgestrahlt 2 (1x nach einem Tag)	1,42	0,38	0,79	Fuge (~57%)
Glatt	0,71	0,28	0,25	Fuge (~84%)
Gusseisen	0,16	0,15	– ^b	Fuge (100%)
^a 5%-Fraktilewerte errechnet nach: Mittelwert – 1,645 x Standardabweichung ^b keine Aussage aufgrund der großen Streuung und geringen Anzahl der Ergebnisse.				



Bild 3.24 Bruchbild bei Styroduroberfläche



Bild 3.25 Bruchbild bei sandgestrahlter UHFB-Oberfläche



Bild 3.26 Bruchbild bei glatter UHFB-Oberfläche

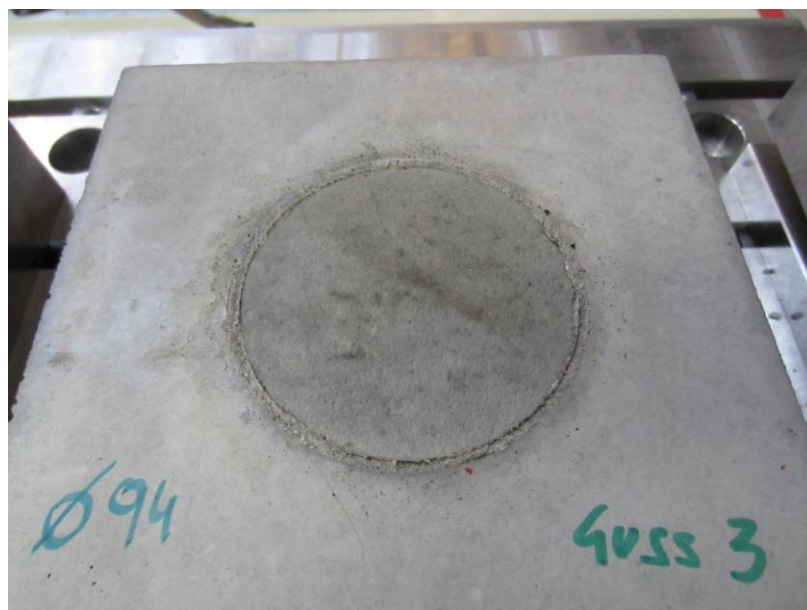


Bild 3.27 Bruchbild bei Gusseisen

3.3.4 Begleitversuche

Zur Klassifizierung der verwendeten UHFB-Rezeptur wurden an je 3 Würfeln (Seitenlänge 10 cm) und Zylindern (d/h gleich 10/20 cm) Druckversuche durchgeführt. Für den NSC-Aufbeton sind zusätzlich zu Druckversuchen an Würfeln (Seitenlänge 15 cm) und Zylindern (d/h gleich 15/30 cm) auch noch Spaltzugversuche an drei weiteren Zylindern durchgeführt worden. Wie in **Tabelle 3.4** ersichtlich ist, erreicht der Normalbeton die gewünschte Druckfestigkeit eines C30/37. Die vollständigen Ergebnisse der Begleitversuche sind in Anhang A5 und A5 aufgeführt.

Tabelle 3.4 Klassifizierung der verwendeten Betone

Versuch	Mittelwert [N/mm ²]	Klassifizierung
Druck UHFB Zylinder	163,0	C150/165 ^a
Druck UHFB Würfel	172,1	
Spaltzug NSC Zylinder	4,07	C45/55 ^b
Druck NSC Zylinder	41,12	C40/50 ^c
Druck NSC Würfel	60,80	
^a 5%-Fraktilwerte errechnet nach: Mittelwert – 1,645 x Standardabweichung ^b nach ÖNORM EN 1992-1-1:2004, Tabelle 3.1 [60 S. 29] ^c nach ÖNORM B 4710-1:2007, Tabelle NAD 13 [61 S. 85]		

3.4 Karbonfaserverstärkter UHFB

In UHFB wurden bis vor kurzem vorwiegend Stahlfasern zur Verbesserung der Duktilität und Zugtragfähigkeit eingesetzt. Nachteile von Stahlfasern sind z.B. Korrosion der Fasern und die Verletzungsgefahr durch an der Oberfläche befindliche Fasern. Derzeit wird am Institut für Betonbau der TU Graz ein Forschungsprojekt durchgeführt, das die Entwicklung von Karbonfaserverstärktem UHFB zum Ziel hat.

Verwendet wurde in ersten Versuchen eine Faser mit einem Durchmesser von $7\ \mu\text{m}$ (siehe **Bild 3.28**), einem Karbongehalt von mindestens 95% und einer Dichte von $1,8\ \text{g/m}^3$. Die Zugfestigkeit betrug $\sim 4\ \text{GPa}$ und der Elastizitätsmodul $\sim 240\ \text{GPa}$ (beides in der Größenordnung von Stahl). Als Matrix wurde ein Feinkorn-UHFB mit Nanodur^{®13} als Bindemittel verwendet. Die Versuche zeigten, dass die Verarbeitbarkeit (im Besonderen die Fließeigenschaft) des UHFB durch die Zugabe der Mikrokarbonfasern stark reduziert und die Druckfestigkeit dabei im Vergleich zu Stahlfaser-UHFB nur unwesentlich gesteigert wird. [62]



Bild 3.28 In den ersten Versuchen verwendete Fasern ($7\ \mu\text{m}$ Durchmesser), Bild 1 in [63 S. 1]

¹³ Nanodur[®] Compound 5941 der Firma Dyckerhoff AG

Obwohl die Zugtragkapazität der Karbonfasern theoretisch schon bei sehr geringer Rissöffnung aktiviert werden kann, zeigte sich auch bei der Zugtragfähigkeit des UHFB keine Verbesserung gegenüber der Stahlfaser. Grund dafür ist die hohe Querdruckempfindlichkeit aufgrund der zufälligen Orientierung der Fasern im Vergleich zur Rissfläche.

In weiteren Versuche mit Faserbündeln (siehe **Bild 3.29**) wurden verschiedene Fasergeometrien mit unterschiedlichen Schichten getestet um einen ausreichenden Verbund zu erreichen.



Bild 3.29 Karbonfaserbündel, Bild 1 in [63 S. 1]

Dabei wurden in Ausziehversuchen (siehe **Bild 3.30**) durch eine verbesserte Oberfläche Verbundfestigkeiten von 10 MPa erreicht, was etwa im Bereich von Stahlfasern liegt.

Durch diese verbesserte Fasergeometrie kann zwar die Druckfestigkeit des UHFB kaum beeinflusst werden, das Zugtragverhalten verbessert sich jedoch deutlich (siehe **Bild 3.31**). Anders als die Fasern mit 7 μm Durchmesser, brechen die Faserbündel bei Rissbildung nicht; das Versagen der Probekörper wird hauptsächlich durch das Herausziehen der Fasern bestimmt und das Nachbruchverhalten kommt dem von Stahlfasern nahe. Auch bleibt die Integrität der Fasern beim Mischen erhalten, was sich positiv auf die Frischbetoneigenschaften auswirkt. [63]

3.4. Karbonfaserverstärkter UHFB



Bild 3.30 Ausziehversuche zur Ermittlung des Verbundverhaltens, Bild 2 in [63 S. 2]

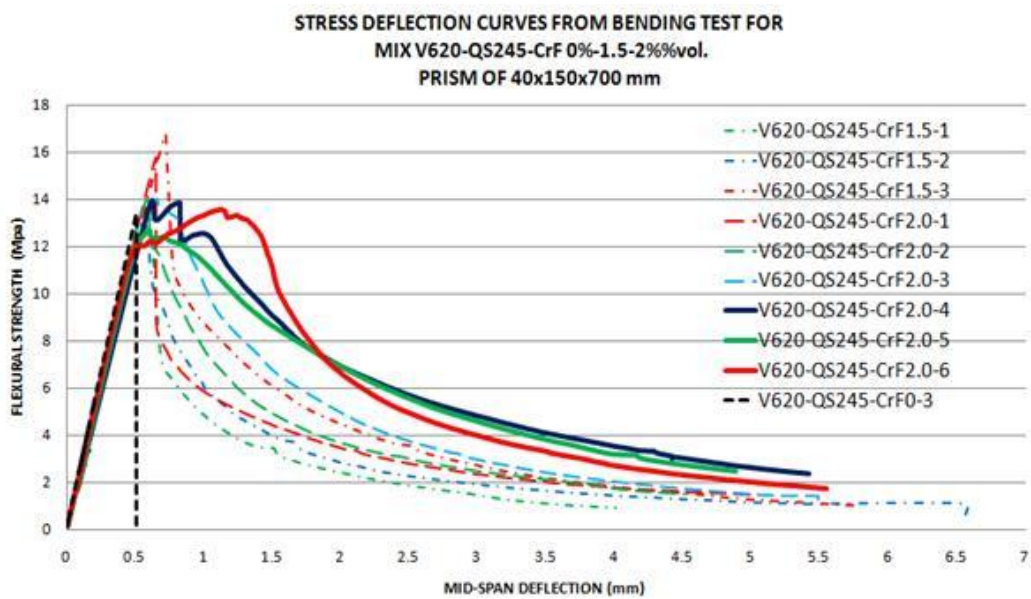


Bild 3.31 Biegezugfestigkeit in Abhängigkeit des Faserzusatzes, Bild 3 in [63 S. 2]

4 Konstruktive Anforderungen

Da die meisten Hersteller Systeme anbieten, die für den deutschen Markt entwickelt wurden (siehe **Tabelle 2.6**) und die Anforderungen der RVS 15.04.31 im Vergleich nicht einschränkender sind als die der ZTV-ING 8-5, wird der Brückeneinlauf für die kleinere in Deutschland übliche Größe entwickelt. Desweiteren ist der Einlauf dadurch auch nach Schweizer Vorschriften einsetzbar (vgl. **Tabelle 2.5**). Im Bezug auf einen möglichst großen Marktanteil ist die Anwendbarkeit in diesen drei Ländern natürlich auch von Vorteil.

4.1 Geometrische Anforderungen

Aus Werten für die drei Länder in **Tabelle 2.5** ergeben sich zusammenfassend folgende Geometrische Anforderungen für den Brückeneinlauf:

- Der nötige Eintrittsquerschnitt des Rostes ist mit mind. 500 cm² festgelegt. (D)
- Die Größe des Aufsatzrahmens hat mind. 300 x 500 mm zu betragen. (D, CH)
- Die Höhe des verstellbaren Rahmens ist mit mind. 100 mm vorgeschrieben. (EN)
- Eine Möglichkeit für den Einsatz eines Schlammkübels wird vorgesehen. (A, D)
- Die Flanschbreite für den Anschluss der Abdichtung ist mit 100 mm festgelegt. (D, CH)
- Der Ablauf muss mind. Lastklasse D 400 entsprechen (E 600 wird angestrebt). (A, D)
- Die Gesamthöhe der Ablauftasse darf max. 180 mm betragen. (CH)
- Der Abstand von UK Ablauftasse bis zu UK Konstruktionsbeton muss mind. 80 mm (CH) bzw. 70 mm (D) betragen.
- Das Material der Ablauftasse muss Grauguss (GG) sein. (D)¹⁴

¹⁴ Dieser Punkt wird schon durch die Zielsetzung dieser Arbeit nicht erfüllt.

4.1.1 Auswahl des Anbieters für den Aufsatzrahmen

Da in dieser Arbeit vorrangig eine Ablauffasse, also ein Unterteil, aus UHFB entwickelt wird, ist es nötig diese an den vorhandenen Oberteil (Aufsatzrahmen und Rost) eines ausgewählten Anbieters anzupassen.

Der österreichische Hersteller **PWN** (siehe 2.3.3) stellt Systeme nach RVS 15.04.31 her, diese sind aber nach ZTV-ING 8-5 nicht einsetzbar, weshalb ein solches Oberteil für den Prototypen ausscheidet.

Höllko (siehe 2.3.2) stellt aufgrund der vierfachen Verstellbarkeit im Vergleich zu ACO das flexiblere System dar und bietet Oberteile mit 3 verschiedenen Abmessungen an, von denen eines für den Einsatz in Österreich adaptiert werden kann. Es wird das Oberteil der Größe 300 x 500 mm (Artikelbezeichnung: Brückenablauf 2300/250-SW36) gewählt (siehe **Bild 4.1**), da dieses die Anforderungen Österreichs, Deutschlands und der Schweiz erfüllt.

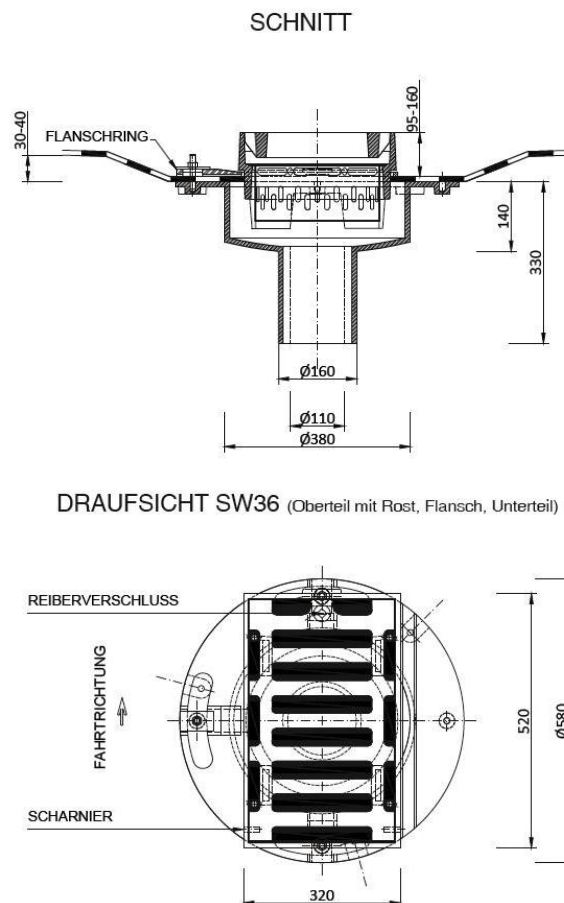


Bild 4.1 Geometrie des gewählten Aufsatzrahmens 2300/250-SW36 [34 S. 25]



Bild 4.2 Gusseiserne Ablauftasse mit gewähltem Aufsatzrahmen

4.1.2 Abdichtungsanschluss

Die Flanscbreite ist nach EN 1253-1 zum Kleben von Bitumenabdichtungen mit 100 mm vorgeschrieben (siehe **Tabelle 2.3**). Dies stellt eine Erhöhung des Wertes nach RVS 15.04.31 dar, entspricht aber auch den deutschen und Schweizer Richtlinien.

Die Abreißfestigkeiten der Abdichtung müssen denen des umgebenden Normalbetons entsprechen. Dazu sind noch Untersuchungen nötig, um zu verifizieren, ob dafür eine besondere Oberflächenbehandlung des Flansches nötig ist. Da allerdings die Schäden an der Abdichtung bei den Gusseisernen Abläufen meist in der Fuge zum Normalbeton entstehen (siehe 2.4.1) wird davon ausgegangen das die Abreißfestigkeit der Abdichtung für die Dauerhaftigkeit nur eine untergeordnete Rolle im Vergleich zur Haftzugfestigkeit mit dem Normalbeton spielt.

4.1.3 Durchdringung der Kragplatte

Die Ablauftasse kann an die Neigung der Untersicht sowie die Stärke der Kragplatte angepasst werden, indem der Ablaufstutzen nach Fertigstellung des Fertigteils entsprechend gekürzt wird.

4.1.4 Rohrleitungsanbindung

Der Durchmesser des Ablaufstutzens ist in Deutschland mit mindestens DN 150 vorgeschrieben, in Österreich ist er nur durch den Durchmesser des anschließenden Rohrsystems (ebenfalls DN 150) festgelegt [5 S. 16]. Es ergeben sich zwei mögliche Varianten der Anbindung:

- **Steckmuffe:** Das Rohr wird außen auf den Ablaufstutzen aufgeschoben; dafür ist eine Ausnehmung im Normalbeton nötig (siehe **Bild 4.3**). Diese bildet auch eine Tropfkante, falls das Rohr aufgrund von mangelhafter Befestigung abfällt.
- **Einhängerohr:** Das Rohr wird innen in den Ablaufstutzen geschoben und ist dicht zu befestigen (siehe **Bild 2.30**). An das über den Ablaufstutzen hinausführende Eihängerohr wird dann das Rohrleitungssystem angeschlossen. In diesem Fall ist eine Tropfkante ebenfalls sinnvoll, kann aber kleiner ausfallen, da keine Rohrmuffe aufgenommen werden muss.

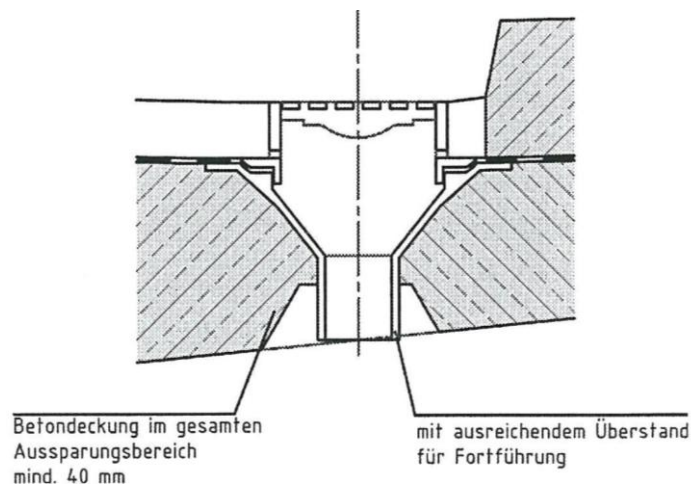


Bild 4.3 Ausführung mit Aussparung, Abbildung 7 in [5 S. 8]

4.2 Anforderungen an die Oberfläche

4.2.1 Innen

Aus Gründen der Dauerhaftigkeit (siehe 3.2) ist eine hohe Dichtigkeit, d.h. Geschlossenporigkeit, anzustreben, dazu ist es nötig die Schalung entsprechend glatt auszuführen. Aus Sicht der Hydraulik ist eine glatte Oberfläche auch von Vorteil; das nötige Schluckvermögen von 10 l/s ist aber zusätzlich noch vom freien Ablaufquerschnitt abhängig.

4.2.2 Außen

Für die Gestaltung der Außenoberfläche ist der Verbund mit dem umgebenden Normalbeton das Kriterium. In den durchgeführten Haftzugversuchen (siehe 3.3) ergab sich, dass die UHFB-Oberfläche zumindest sandgestrahlt werden muss um eine Haftzugfestigkeit von $1,50 \text{ N/mm}^2$ ¹⁵ zu erreichen. Damit ist das Aussehen der Oberfläche nach dem Ausschalen nur von nachrangiger Bedeutung.

4.3 Optimierung für den Einbau

Wenn möglich, ist ein Gewicht der Ablauftasse von maximal 25 kg ¹⁶ zu erreichen, um die Manipulation auf der Baustelle zu erleichtern. Je nach verwendeter Faser (Stahl/Karbon) und der Behandlung der Oberfläche kann sich auch Verletzungspotential ergeben.

Eine Form, die die Entlüftung beim Betonieren des Fertigteils begünstigt, sollte theoretisch auch das spätere Einbringen des Normalbetons erleichtern, damit das Fertigteil vollständig umschlossen wird. Versuche um dies zu bestätigen stehen allerdings noch aus.

Es ist vorgesehen den Ablaufstutzen nach Fertigstellung des Fertigteils so zu kürzen, dass er an die Stärke und Neigung der UK des Tragwerks angepasst werden kann. Wenn nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Ablauftasse durch ihr Eigengewicht in Position bleibt, können, wie bei gusseisernen Systemen derzeit üblich, zusätzlich Standfüße angebracht werden (siehe **Bild 2.24**).

¹⁵ Diese Anforderung entspricht der Eignung von aufgerautem Altbeton zum Aufbringen von Aufbeton: Die Abreißfestigkeit f_A hat $1,50 \text{ N/mm}^2$ zu betragen und das Korngerüst muss freiliegen. [79 S. 2f]

¹⁶ Diese Gewichtsvorgabe ergibt sich aus § 64 ASchG [71] in Verbindung mit § 62 AAV [72], in denen auf eine noch nicht erschienenen Durchführungsverordnung für Grenzwerte verwiesen wird. Das Zentral-Arbeitsinspektorat bezieht sich daher auf die in Erlass Zl. 62.260/1-4/80 veröffentlichte Grenzwerttabelle nach P. Köck und F. Sulka aus dem Jahr 1976. Für Männer ergibt sich demnach für eine Dauer der Belastung von täglich $1\frac{1}{2}$ bis 4 Stunden eine Grenzlast von 25 kg . [73 S. III]

4.4 Erhaltung

Bei der Projektierung der Brückenentwässerung sind speziell die Belange der Wartung und Erhaltung zu beachten. Insbesondere ist auf eine nachträgliche Auswechselbarkeit von Systemteilen Bedacht zu nehmen. [5 S. 3]

Der hohe Aufwand beim Austausch defekter Entwässerungssysteme ist darauf zurückzuführen, dass sie einerseits mit der bituminösen Abdichtung verbunden sein müssen und andererseits ins Tragwerk einbetoniert sind. Obwohl es Systeme mit Hüllrohr (siehe **Bild 4.4**) gibt, bleibt noch immer die Schwachstelle des Anschlusses an die Abdichtung.

Aufgrund der guten Haftzugverbindung zwischen UHFB und Normalbeton (siehe 3.3.3) sollte ein Brückenablauf aus UHFB diese Schwachstelle nicht aufweisen und ist aufgrund seiner hohen Lebensdauer (siehe 3.2) während der Nutzungsdauer einer Brücke selten bis gar nicht auszutauschen und kann somit kraftschlüssig mit dem Tragwerk verbunden werden.

Trotzdem sollte das weiterführende Rohrsystem leicht zu Warten sein. Deshalb ist besonders der bei Ausführung mit Einhängerohren darauf zu achten, dass diese von oben (d.h. durch die Öffnung für den Schlammkübel) leicht zu tauschen sind.

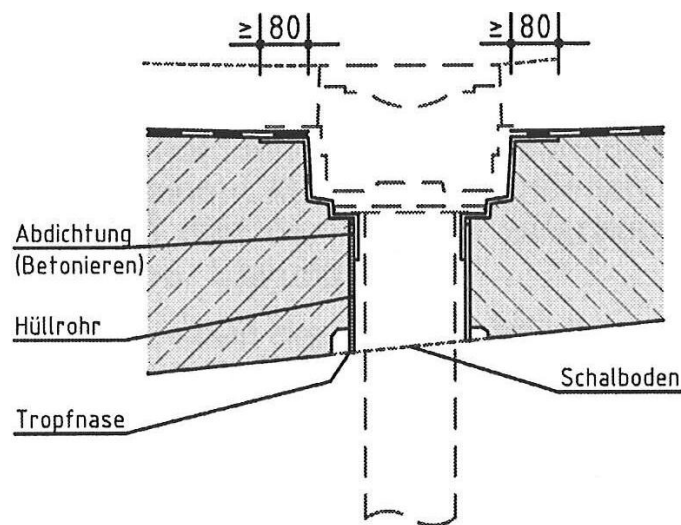


Bild 4.4 Ausführung mit Hüllrohr, Abbildung. 10 in [5 S. 9]

5 Formfindung

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte zur Formfindung auf Basis von Kapitel 4 erläutert. Ziel ist unter anderem eine leichtere Konstruktion als sie mit Gusseisen möglich ist herzustellen, um die Arbeit mit dem Ablauf beim Einbau zu erleichtern.

5.1 Ausgangslage

Ausgehend vom Querschnitt der Gusseisernen Ablauffasse wird die Wandstärke auf 20 mm erhöht, da davon ausgegangen wird, dass dies für eine Ausführung in UHFB mindestens erforderlich ist (siehe **Bild 5.1**).

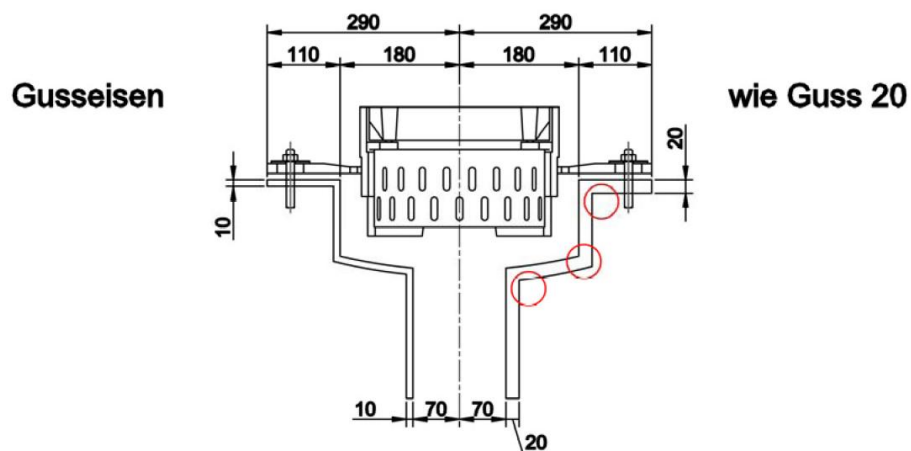


Bild 5.1 Ablauffasse aus Gusseisen und Variante „wie Guss 20“

Ein Nachteil der Gusseisenform ist die schlechte Ummantelung mit dem Frischbeton des Tragwerks aufgrund der Winkel von fast 90°. Dadurch sind an diesen Stellen die Einbringung und Verdichtung auf der Baustelle behindert. Ebenso muss bei der Formfindung die Betonierbarkeit des Fertigteils berücksichtigt werden. Starke Krümmungen und Knicke sollten auch hier in jedem Fall vermieden werden, um die Entlüftung des UHFB zu ermöglichen.



Bild 5.2 Gusseiserne Ablauffasse

5.2 Formstudie

Für den Einbau des Normal-Frischbetons werden die horizontalen Bereiche mit Winkeln von 30 bzw. 60 Grad leichter gängig gemacht. Die Entlüftung ist bei einer Wandstärke von 20 mm noch in einem Bereich beeinträchtigt. Eine Erhöhung der Wandstärke auf 40 mm verringert dies und erhöht allgemein die Stabilität der Konstruktion (siehe **Bild 5.3**). Auch erleichtert sie die Anbringung des Flanschrings, da die nötigen Gewindestifte (M 12x70 mm [34 S. 5]) vollständig im Fertigteil verankert werden können.

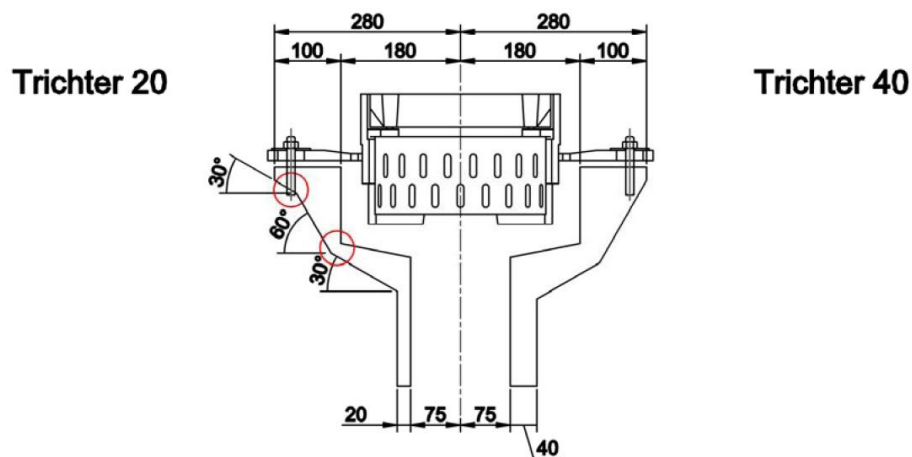


Bild 5.3 Varianten „Trichter 20“ und „Trichter 40“

Da selbst bei diesen Varianten der Einbau des Normal-Frischbetons beeinträchtigt ist, wird der Trichter geweitet um die rückspringenden Ecken zu entfernen. Die Flanschbreite zum Aufkleben der Bitumenbahn beträgt weiterhin 100 mm, die Losflanschbreite des Flanschrings hat nach **Tabelle 2.3** 60 mm zu betragen. Zur Beurteilung der Entlüftbarkeit sind 2 Wandstärken (20 und 30 mm) dargestellt (siehe **Bild 5.4**).

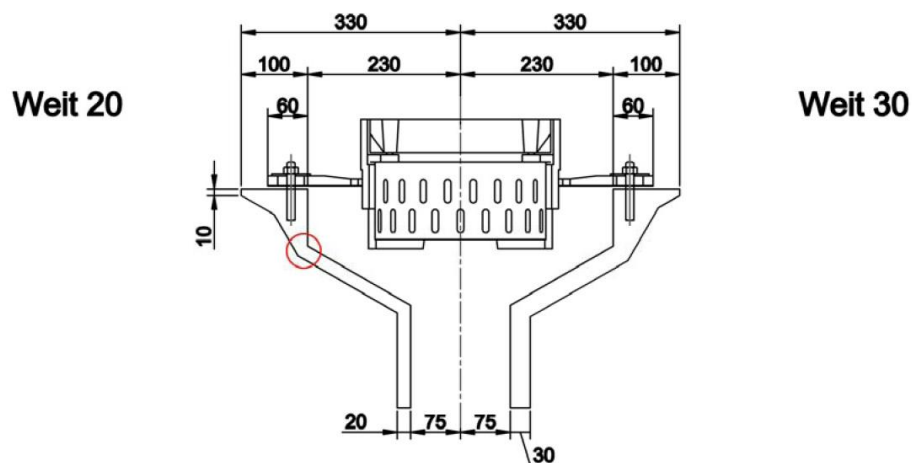


Bild 5.4 Varianten „Weit 20“ und „Weit 30“

Durch den resultierenden großen Durchmesser der Konstruktion und des damit verbundenen hohen Gewichts (siehe **Tabelle 5.1**) werden diese Varianten ausgeschieden und es wird versucht die Probleme der Betonier- und Entlüftbarkeit anders (z.B.: mit einem geringeren Durchmesser) zu lösen.

Die Varianten in **Bild 5.5** haben im Vergleich zu den in **Bild 5.3** dargestellten den Vorteil des geringeren Gewichtes. Im Punkt der Entlüftungproblematik ergibt sich keine Verbesserung. Grundsätzlich ist dafür aber eine Wandstärke zwischen 20 und 30 mm ausreichend (angestrebt werden 25 mm).

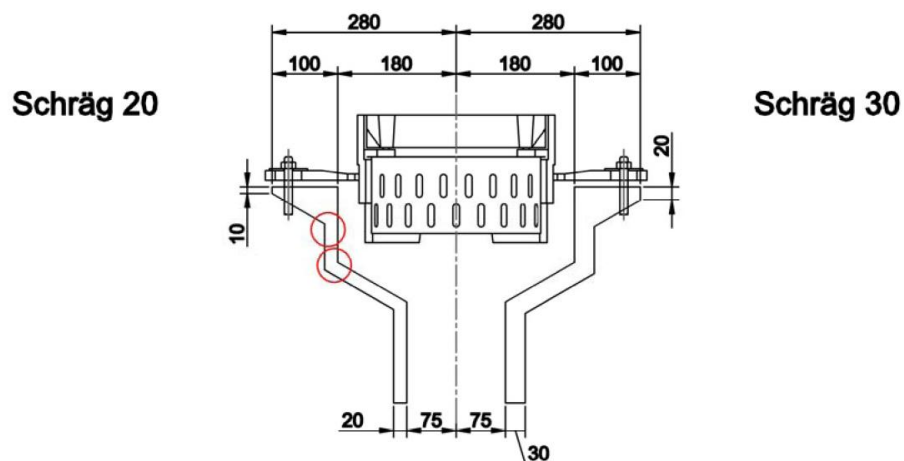


Bild 5.5 Varianten „Schräg 20“ und „Schräg 30“

Im nächsten Schritt wird zur Verringerung des Gewichtes am Flanschring die Neigung auf 15° reduziert. Diese Neigung bringt im rückspringenden Teil die bekannten Probleme beim Einbringen des Normal-Frischbetons und der Entlüftung beim Betonieren des UHFB-Fertigteils. Eine Freiform, die durch die Fixpunkte am Flansch und am Ablaufstutzen und vertikalen Tangenten in diesen Punkten definiert ist, führt zur in **Bild 5.6** dargestellten Variante.

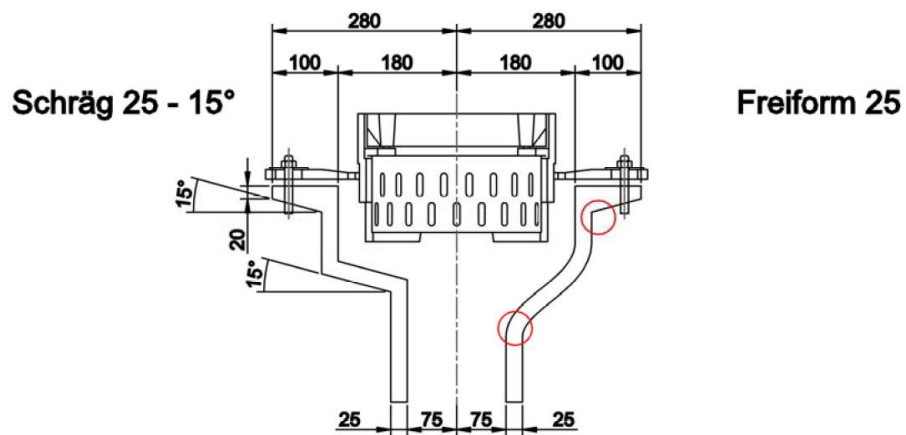


Bild 5.6 Varianten „Schräg 25 – 15°“ und „Freiform 25“

Um die Form weiter zu optimieren, wird auch der Übergang am Flansch ausgerundet, um die letzte rückspringende Ecke zu beseitigen. Die Wandstärke wird auf 20 mm reduziert, da durch die runde Form die Entlüftung nur geringfügig beeinträchtigt ist (siehe **Bild 5.7**).

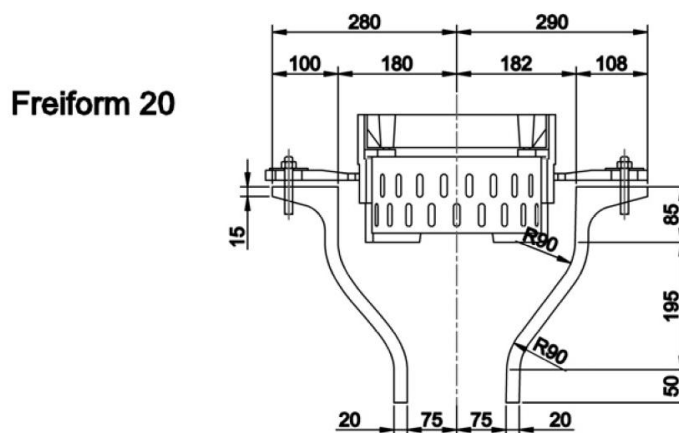


Bild 5.7 Variante „Freiform 20“

In **Tabelle 5.1** ist das Gewicht der einzelnen Varianten gegenübergestellt. Das Raumgewicht von UHFB wurde dabei mit 2600 kg/m³ angenommen (Bereich: 2,4 – 2,7 kg/dm³ [64 S. 7]). Ziel der Formstudie war es eine leichtere Konstruktion, als sie mit Gusseisen möglich ist, herzustellen und, wenn möglich, ein Gewicht der Ablaufwanne von maximal 25 kg zu erreichen. Dies wird mit Variante „Freiform 20“ (siehe **Bild 5.7**) fast erreicht.

Tabelle 5.1 Gegenüberstellung der möglichen Varianten für die Ablauftasche

Variante	Querschnitt [mm²]	Raumgewicht [kg/m³]	Schwerpunkt- radius [mm]	Gewicht [kg]	Vergleich zu Guss [%]
Gusseisen	5230	7850	143	36,9	100
wie Guss 20	10251	2600	147	24,6	67
Trichter 20	14594	2600	161	38,4	104
Trichter 40	22006	2600	161	57,9	157
Weit 20	11560	2600	186	35,1	95
Weit 30	15491	2600	182	46,1	125
Schräg 20	10460	2600	158	27,0	73
Schräg 30	14533	2600	159	37,7	102
Schräg 25 - 15°	12518	2600	152	31,1	84
Freiform 25	11512	2600	159	29,9	81
Freiform 20	9468	2600	164	25,4	69

5.3 Formoptimierung

Für die Herstellung der Schalung mit dem Roboter sollte die angestrebte Freiform im besten Fall aus Kreisen und Linien zusammengesetzt werden können. Desweiteren müssen, um das Ausschalen des Fertigteils zu erleichtern (bzw. überhaupt zu ermöglichen), alle senkrechte Flächen mit einer geringen Neigung ausgeführt werden. Da das Gewicht der daraus resultierenden Form über dem der Freiform und deutlich von den angestrebten 25 kg entfernt liegt, wird versucht durch eine enge Ablauffasse, die von der maximalen Verschiebbarkeit des Flanschrings begrenzt wird, Gewicht zu sparen (siehe **Bild 5.8**).

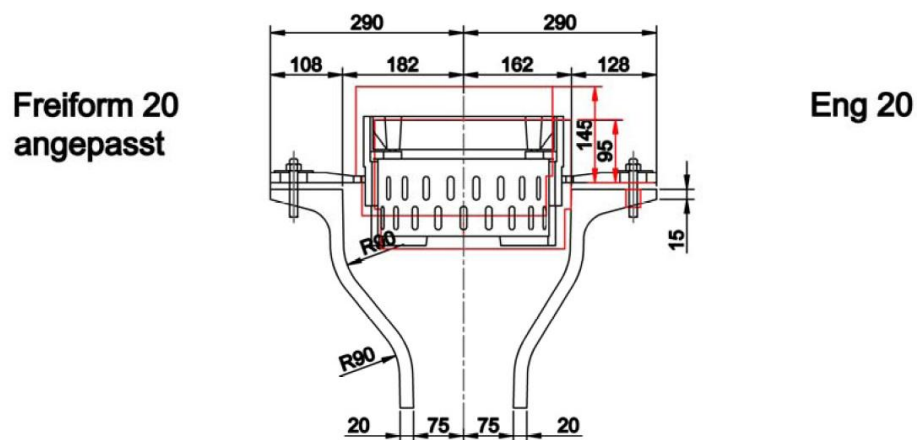


Bild 5.8 Varianten „Freiform 20 angepasst“ und „Eng 20“

Die nächste Form weist die minimal nötige Flanscbreite von 100 mm auf (siehe **Bild 5.9**). Das Gewicht liegt wie erwartet unter dem der angepassten Freiform (siehe **Tabelle 5.2**).

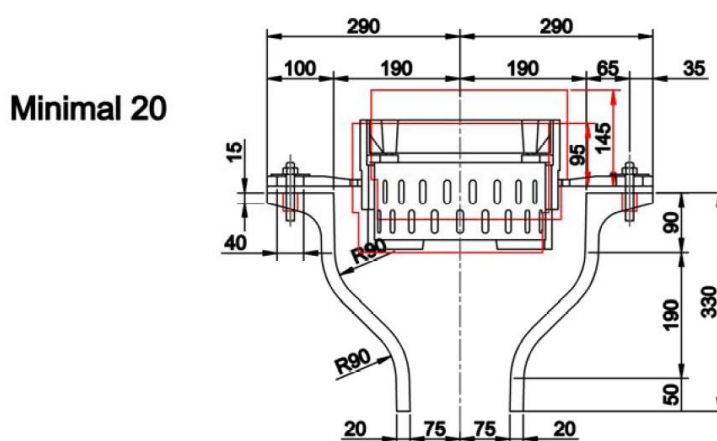


Bild 5.9 Variante „Minimal 20“

Eine weitere Randbedingung ist der Anschluss an das weiterführende Rohrleitungssystem (mind. DN 150). Dieser kann entweder über ein von innen eingeschobenes oder über ein von unten aufgestecktes Rohr (Ausparung im Frischbeton Vorsehen/Herstellen) geschehen. Bei ersterem ist darauf zu achten, dass es durch die Öffnung des Schlammkübels getauscht werden kann; der Außendurchmesser eines solchen Einschubrohres aus beispielsweise PVC beträgt ca. 160 mm. Für ein aufgestecktes Rohr ergibt sich daher ebenfalls ein Außendurchmesser für den Ablaufstutzen von 160 mm. In Deutschland ist ein Ablaufstutzen-Durchmesser von mindestens 150 mm vorgeschrieben, was, bei einer Wandstärke des Fertigteils von mind. 20 mm, nur die erste Variante („Innen 20“) ermöglicht.

Als (ideale) Höhe für das Formteil werden, wie bei der gusseisernen Ablauftasse, 330 mm angenommen (siehe **Bild 4.1**). Der Abstand der Ablauftasse zur Unterkante der Fahrbahnplatte muss dabei aber mindestens 70 mm (D, A) bzw. 80 mm (CH) betragen. In der Schweiz ist zusätzlich die maximale Höhe der Ablauftasse mit 180 mm beschränkt (siehe **Bild 2.11**) und daher eigentlich nur mit Gusseisen zu erreichen, da die Entlüftung einer entsprechenden Schalung für UHFB nicht zu bewerkstelligen ist.

Aus den oben genannten Anforderungen ergeben sich die in **Bild 5.10** dargestellten Varianten, wobei die Ausführung mit Steckmuffe (Variante „Außen 20“) zwar das geringere Gewicht aufweist, aber aufgrund des zu kleinen Ablaufstutzen-Durchmessers nur in Österreich zulässig wäre.

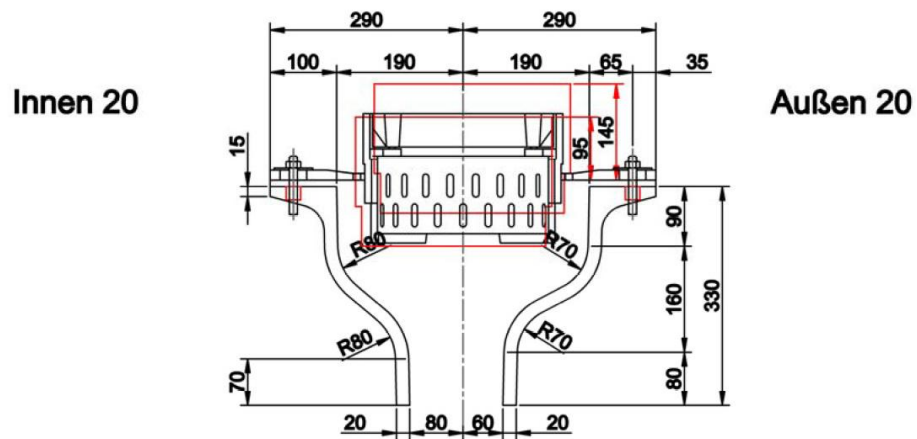


Bild 5.10 Varianten „Innen 20“ und „Außen 20“

In **Tabelle 5.2** sind die Varianten angeführt, die den Anforderungen der Herstellung entsprechen.

Tabelle 5.2 Gegenüberstellung der an die Herstellung angepassten Varianten

Variante	Querschnitt [mm ²]	Raumgewicht [kg/m ³]	Schwerpunkt- radius [mm]	Gewicht [kg]	Vergleich zu Guss [%]
Gusseisen	5230	7850	143	36,9	100
Freiform 20 angepasst	9784	2600	168	26,9	73
Eng 20	10387	2600	163	27,7	75
Minimal 20	9607	2600	170	26,7	72
Innen 20	9623	2600	170	26,7	72
Außen 20	9985	2600	160	26,1	71

5.4 Anpassen an die Anforderungen des Roboters

Damit der Formteil für die Schalung gefräst werden kann, muss der Fräskopf jede Stelle erreichen können. Für den Arbeitsablauf (und für die Genauigkeit) ist anzustreben, dass das Werkstück nicht gewendet werden muss. Damit die vertikalen Flächen effizient gefräst werden können, wurde die Neigung von 1° wieder entfernt. In **Bild 5.11** ist diese Form mit dem Fräskopf und seine maximal nötigen Beweglichkeit dargestellt, damit es zu keinen Kollisionen mit dem Werkstück kommt.

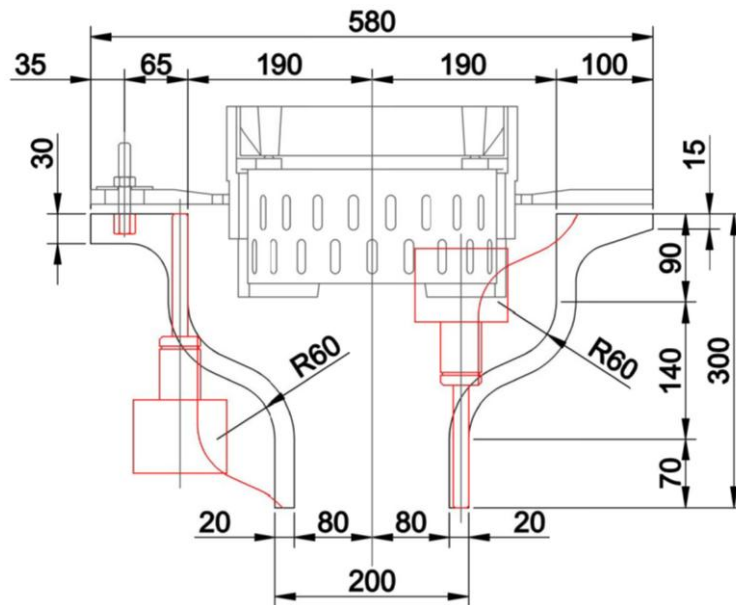


Bild 5.11 Roboter geeignete Variante „Innen 20 - Vertikal“

5.5 Endgültige Form

Als optimale Form für die Herstellung wurde Variante „Innen 20 - Vertikal“ gewählt (siehe **Bild 5.11** und **Bild 5.12**). Dieser Ablauf erfüllt alle Anforderungen der Richtlinien für Österreich und Deutschland. Bei Verwendung einer entsprechenden UHFB-Mischung (max. 2,45 kg/dm³), oder Herstellung mit einer geringeren Wandstärke bzw. Verringerung dieser durch Sandstrahlen, ist es möglich das angestrebte Maximalgewicht von 25 kg zu erreichen.

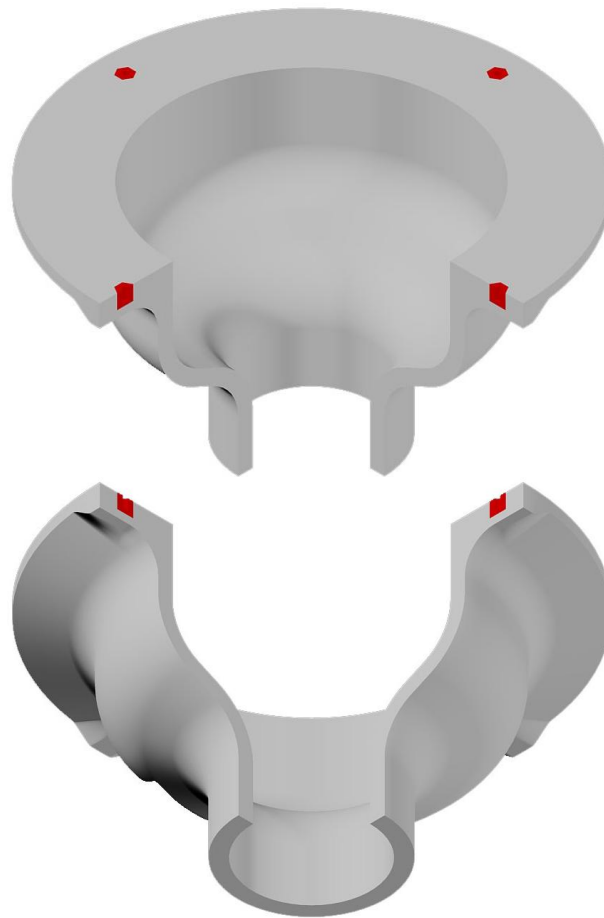


Bild 5.12 3D-Visualisierung von Variante „Innen 20 - Vertikal“

Einlegeteile

In das UHFB-Fertigteil werden vier Muttern für die Gewindestangen zur Befestigung des Flanschrings eingelegt. Als Einlegeteil in den Normal-Frischbeton ist ein Styroporring für die Ausbildung einer Tropfkante an der Unterkante der Fahrbahnplatte bzw., wenn die Rohrleitung außen aufgesteckt wird, ein entsprechend größerer Ring als Aussparung vorgesehen.

Anmerkung zu Fahrbahnplatten mit geringer Bauhöhe

Grundsätzlich sollte es kein Problem darstellen, wenn die Ablauftasse mit einem größeren Anteil als nur dem Ablaufstutzen die Fahrbahnplatte durchdringt (d.h. die 70 bzw. 80 mm Abstand zur UK Fahrbahnplatte nicht eingehalten sind). Maßnahmen für den Korrosionsschutz wie bei gusseisernen Formteilen sind nicht nötig und der Verbund zwischen Normal-Frischbeton und UHFB-Fertigteil ist besser als der mit Gusseisen (siehe 3.3.3), sodass Abplatzungen auszuschließen sind. Als Vergleich für eine solche Ausführung sind Ablauftassen von Stahltragwerken mit orthotroper Fahrbahnplatte anzuführen (siehe **Bild 5.13**). Mit dem vermehrten Einsatz von (ultra-) hochfesten Betonen im Brückenbau ist aufgrund der Möglichkeit zu geringeren Bauhöhen der Fahrbahnplatten von einer Entwicklung der Ablauftassen in diese Richtung sogar auszugehen.

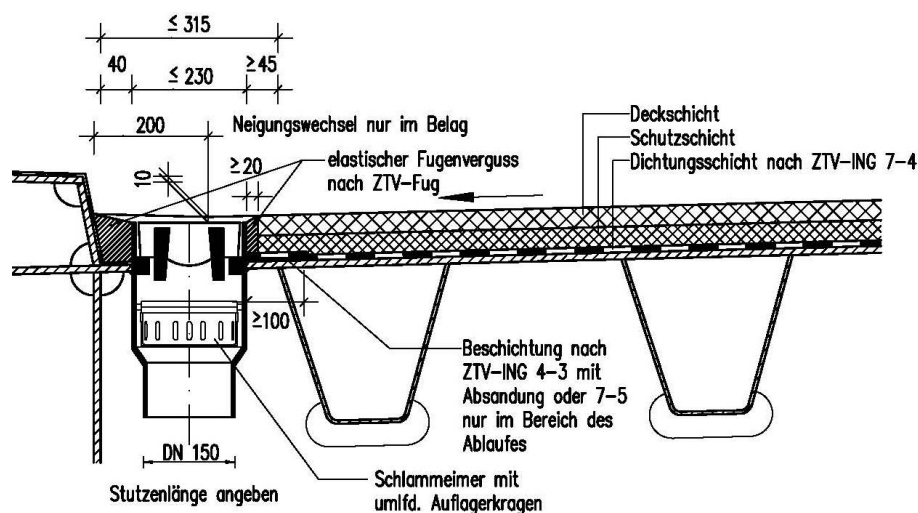


Bild 5.13 Brückenablauf bei orthotroper Fahrbahnplatte – Querschnitt [65]

6 UHPC-Prototyp

Die Schalung der Prototypen wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Tragwerksentwurf im Roboterdesignlabor gefräst und mit karbonfaserverstärktem UHFB befüllt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Ablauf mit 20 mm Wandstärke hergestellt; im Laufe des Forschungsprojektes werden noch weitere folgen, um die Wandstärke und die Form zu optimieren.

6.1 Roboterdesignlabor

Das Roboterdesignlabor (RDL) an der TU-Graz betreibt seit 13. Jänner 2011 einen „pre-machining robot“ auf einem 6 m langem Linearführungsmaschinenbett inklusive Spindelpaket und Software zur Bearbeitung von Schalung und Beton (siehe **Bild 6.1** und **Bild 6.2**). Die spezielle Ausstattung der Anlage ermöglicht die Bearbeitung von Formmaterialien wie Holz und Schäumen, sowie Nassbearbeitung von harten Materialien wie Stein, Beton und UHFB.



Bild 6.1 Ansicht des Roboterdesignlabors[66]



Bild 6.2 Der Roboter bei der Arbeit [67]

Industrieroboter

Der Industrieroboter ABB – IRB 6660-205/1,9 wurde für die Anarbeitung von Gussteilen in der metallverarbeitenden Industrie entwickelt. Er verfügt über eine Beweglichkeit um 6 Achsen, eine Reichweite von 1,93 m und eine Handhabungskapazität von 205 kg. Durch die Kombination aus hohem Eigengewicht des Roboters und leichter Konstruktion der Spindel wird eine Verringerung von Hoch- und Niederfrequenzschwingungen erreicht, was sich positiv auf Zykluszeiten, Genauigkeit und Produktivität auswirkt. [68]

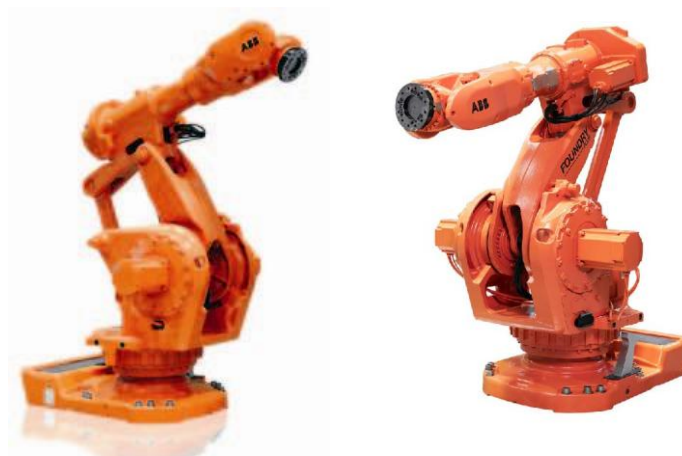


Bild 6.3 Industrieroboter ABB - IRB 6660-205/1,9 [68 S. 1] und [69 S. 3]

6.2 Schalung

Die Schalung besteht aus mit Formalate¹⁷ beschichtetem extrudiertem Polystyrol, um die gewünschten Rauigkeiten (siehe 4.2) bzw. Haftzugfestigkeiten (siehe 3.3.3) zu erreichen und das Ausschalen zu erleichtern. An der Innenschalung sind 4 Schraubmuffen für das spätere Aufbringen des Flanschrings angebracht (siehe **Bild 6.4**). Die Innenschalung wurde mittels Spanngurten mit der Außenschalung (siehe **Bild 6.5**) verbunden und auf dem Rütteltisch fixiert (siehe **Bild 6.6**).

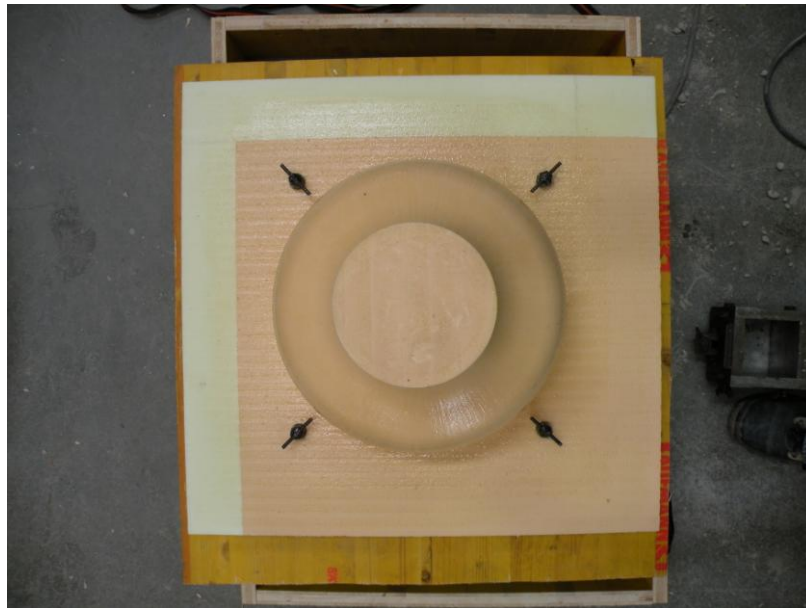


Bild 6.4 Innenschalung des Prototyps mit fixierten Schraubmuffen

¹⁷Latex-Abformmasse ARTIDEE Formalate: Luftvulkanisierende Latexmilch; 2-mal aufgetragen.



Bild 6.5 Außenschalung des Prototyps



Bild 6.6 Zusammengesetzte Schalung am Rütteltisch

6.3 Betonieren

Für den Prototyp wurde ein Karbonfaserverstärkter UHFB (Rezeptur siehe Anhang A3) verwendet, um die Dauerhaftigkeit der Ablauftasse zu erhöhen und die Verletzungsgefahr beim Einbau zu minimieren. Die Schalung wurde von der Unterseite der Ablauftasse her befüllt. Dadurch sollten entstehende Luftporen möglichst an der Außenseite zu liegen kommen. Ein weiterer Vorteil dieses Betonierkonzeptes ist es, dass die Innenseite und die Flanschoberseite der Ablauftasse glatt und geschlossporig sind. Dadurch wird das Abfließen des Tagwassers erleichtert und die Gefahr eines Angriffes des UHFB vermindert bzw. seine Dauerhaftigkeit erhöht. Der Flansch weist für die Verklebung mit der Bitumenabdichtungsbahn dadurch auch eine ebene, saubere Oberfläche auf.

Um das Einfüllen des UHFB zu erleichtern und die Einfüllgeschwindigkeit gleichmäßig zu halten, wurde ein Trichter aufgesetzt (siehe **Bild 6.7**). So konnte die errechnete Menge von 10,2 l UHFB vollständig in die Schalung eingebracht und verdichtet werden.



Bild 6.7 Befüllen der Schalung

Während des Ausschalens zeigte sich, dass eine Schalung aus XPS für eine Serienproduktion nicht geeignet sein wird. Die Außenschalung konnte nur in 3 Teilen abgenommen werden; die Innenschalung musste vollständig zerstört werden (siehe **Bild 6.8**).



Bild 6.8 Entfernen der XPS-Schalung

6.4 Ergebnis

Die Oberfläche an der Innenseite und der Flanschring wiesen, wie erwartet, wenige kleine Poren auf (siehe **Bild 6.9**). An der Außenseite traten teilweise sehr große Poren auf (max. 6 mm Durchmesser bei 2,4 mm Tiefe) (siehe **Bild 6.10**). Da diese Oberfläche Sandgestrahlt wird (siehe 4.2.2), sind diese Poren zu vernachlässigen. Nicht zu vernachlässigen sind allerdings die Lufteinschlüsse an den Aufweitungen für die Schraubmuffen (siehe **Bild 6.11**). Obwohl die Betondeckung in diesem Bereich zumindest augenscheinlich gegeben ist, zeigt sich hier Verbesserungspotential für den Punkt der Entlüftung der Schalung. Fünf Tage nach dem Betonieren ergab sich, nach Wasserlagerung, für die Ablauftasche ein Gewicht von 25,2 kg¹⁸.



Bild 6.9 Innenseite des Prototyps

¹⁸ Errechnet: 24,4 kg, bei einem Raumgewicht des UHPCrFRC von 2381 kg/m³ (siehe Anhang A3)



Bild 6.10 Außenseite des Prototyps



Bild 6.11 Aufweitung mit Lufteinschluss

7 Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass es möglich ist eine Ablauftasse aus UHPCrFRC herzustellen, die in ihren Eigenschaften einer Ablauftasse aus Gusseisen überlegen ist:

Die Innenseite der hergestellten Ablauftasse ist glatt und geschlossporig, womit eine hohe Dauerhaftigkeit garantiert werden kann (siehe 3.2). Der Flansch weist eine ebenmäßige, saubere Oberfläche für die Verklebung mit der Bitumenabdichtungsbahn auf. Im Vergleich zu Gusseisen wird, wenn die Außenoberfläche sandgestrahlt wird, ein etwa 10-mal so hoher Haftzugverbund mit Normalbeton erreicht (siehe **Tabelle 3.3**). Da die Wärmeleitfähigkeit von UHFB und umgebenden Betons gleich ist, kann insgesamt eine deutlich verbesserte Lebensdauer dieser Fuge erreicht werden.

Das Gewicht des Prototyps liegt bei 25,2 kg, was 68% des Gewichts der gusseisernen Ablauftasse entspricht (36,9 kg), damit ist das Ziel von max. 25 kg im Rahmen des ASchG¹⁶ zwar knapp nicht erfüllt, aber das händische Manipulieren beim Einbau wird im Vergleich zu Gusseisen sehr erleichtert.

7.1 Erwarteter Marktpreis

7.1.1 Herstellkosten

Für die Brückenerhalter (ASFINAG, Ämter der Landesregierungen) ergeben sich signifikante Kosteneinsparungen. Die reinen Materialkosten für derzeit verwendete Brückenabläufe (z.B. ACO oder Purator) belaufen sich auf ca. € 350 pro Stück. Die prognostizierte Materialkosteneinsparung des UHPCrFRC Brückenablaufes beläuft sich pro Stück auf ca. € 150. Dadurch ergeben sich in Österreich allein Einsparungskosten für die nächsten 35 Jahre in der Höhe von € 5.460.000 (€ 150 x 36.400 Stk.). Eine langfristige Beurteilung der Herstellungskosten und des Marktpreises ist aufgrund stark schwankender Preise der Einzelkomponenten sehr schwierig.

7.1.2 Baubetrieb

Derzeitige gusseiserne Ablauftassen haben ein Gewicht von ca. 37 kg und müssen daher auf Grund des Arbeitnehmerschutzgesetzes von mind. 2 Personen getragen werden¹⁶. Sollte es möglich sein eine Ablauftasse mit einer Wandstärke von 15 mm herzustellen, lässt sich das Gewicht auf unter 25 kg reduzieren. Dies würde weitere Einsparungen in baubetrieblicher Hinsicht bedeuten.

7.1.3 Wartung und Reparatur

In dem unter 7.1.1 angeführten Einsparungspotential ist die Reduktion von Reparatur- und Wartungskosten an den Brückentragwerken aufgrund der längeren Lebensdauer der Brückeneinläufe noch nicht mitgerechnet. Bei Berücksichtigung dieser Kosten lässt sich der oben genannte Betrag jedenfalls verdoppeln.

7.2 Zusätzliche Konstruktionselemente

Rein theoretisch können analog zu den in dieser Arbeit vorgestellten auch andere Formteile aus UHPCrFRC hergestellt werden, die derzeit aus Gusseisen, verzinktem Stahlblech, oder Kunststoff bestehen.

7.2.1 Abdichtungsablauf

Naheliegender ist es, auch die Abdichtungsentwässerungsabläufe aus UHPCrFRC herzustellen. Die Anforderungen nach [5 S. 10f] sind denen einer Ablauftasse für einen Brückeneinlauf sehr ähnlich, die Formgebung sogar einfacher:

- Innendurchmesser von mind. 70 mm
- Rohrüberstand mind. 100 mm. Bei freier Ausleitung an Geometrie des Tragwerkes anpassen (Windablenkung)
- Ablaufrohre gegen Ausziehen sichern
- Flanschbreite für Abdichtungsanschluss mind. 80 mm (siehe **Bild 7.1**)
- Die Hitzebeständigkeit des Materials ist für den Anschluss der Abdichtung zu gewährleisten

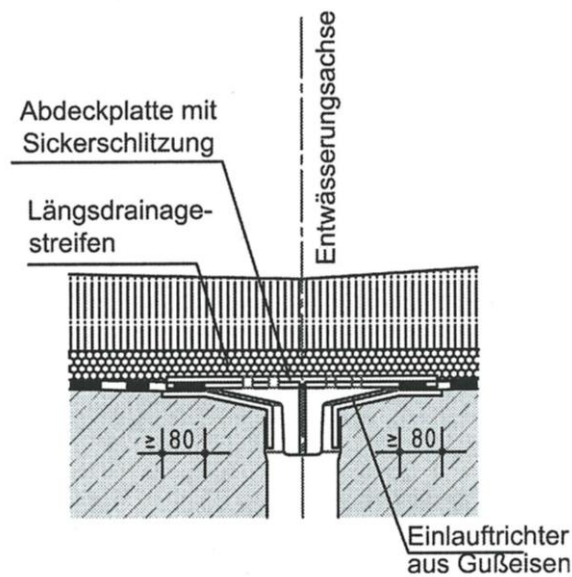


Bild 7.1 Anbindung Abdichtung an Abdichtungsentwässerung, Abbildung 2 in [5 S. 5]

7.2.2 Aufsatzteile aus UHPCrFRC

Nachdem gezeigt wurde, dass es möglich ist beliebige Formen mit geringer Wandstärke aus UHPCrFRC herzustellen, bietet sich die Möglichkeit auch den Flanschring und/oder den Aufsatzrahmen aus UHPCrFRC herzustellen.

Für einen Rost aus UHPCrFRC sind allerdings zusätzliche Untersuchungen nötig, da an diesen höhere Anforderungen als an eine Ablauftasse gestellt werden. Einerseits betreffen die für die Tragfähigkeit nötigen Lastklassen (D 400 bzw. E 600) vorrangig den Rost und andererseits ist gleichzeitig eine hydraulisch günstige Form zu finden.

7.2.3 Sonderformen für Ablaufrohre

In der vorliegenden Arbeit wurde die häufigste Form einer Ablauftasse behandelt, nämlich die mit zentrischem vertikalen Ablaufrohr. Es ist denkbar auch andere Formen (siehe **Bild 2.34**) aus UHPCrFRC herzustellen.

7.3 Ausblick

7.3.1 Schalung

Eine Schalung aus XPS ist für eine Serienproduktion nicht geeignet, da sie aufgrund der Problematik beim Ausschalen (siehe **Bild 6.8**) nur einmal verwendet werden kann. Eine Möglichkeit wäre eine Schalhaut aus Stahlblech, die nicht nach oben abgezogen werden muss, sondern aufgeklappt werden kann (analog zu einer Tortenform). Für die Innenschalung ist dafür eine segmentierte Schalung nötig.

7.3.2 Form

Es ist möglich eine Ablauftasse mit 20 mm Wandstärke herzustellen. Ein weiterer Schritt wäre die Reduktion der Wandstärke auf 15 mm, um Gewicht und Material einzusparen. Dafür sind im Rahmen des Forschungsprojektes bereits Versuche geplant.

In dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass das Einbringen des Normalbetons durch die Form der Ablauftasse einfacher ist als bei gusseisernen Abläufen. Um dies zu bestätigen, sind noch weitere Versuche nötig.

7.3.3 Hydraulik

Nachdem in RVS 15.04.31 ein Schluckvermögen eines Tagwassereinlaufs von 10 l/s [5 S. 4] vorgeschrieben ist, wird es nötig sein auch dazu Versuche durchzuführen. Desweiteren kann damit auch eine Aussage über die nötige Oberflächenbeschaffenheit an der Innenseite getroffen werden.

7.3.4 Verbund mit dem Tragwerk

Um die Wechselwirkung der Ablauftasse mit dem Tragwerk bei verschiedenen Witterungsbedingungen zu untersuchen, ist im Rahmen des Forschungsprojektes eine Finite-Element-Modellierung vorgesehen. Im Besonderen sollen diese Simulationen Aufschluss über die Dauerhaftigkeit des Abdichtungsanschlusses im Bereich der Fertigteil-Normalbeton-Fuge im Vergleich zu Gusseisen liefern.

7.3.5 Abdichtungsanschluss

Für den Anschluss der Bitumenabdichtung an das Fertigteil sind noch weitere Untersuchungen der Flanschoberfläche nötig. Es gilt herauszufinden, wie die Oberfläche behandelt werden muss, damit die Abreißfestigkeiten, die im Tragwerksbereich nötig sind, auch am Fertigteil erreicht werden.

Literaturverzeichnis

- [1] NEUBURG, Dirk. Brückentagung 2009. *Lehrgang Brückeninspektoren*. [Präsentation]. Wien - Kahlenberg : MA 29, 2009.
- [2] MEHLHORN, Gerhard, [Hrsg.]. *Handbuch Brücken*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-04422-9.
- [3] THALLER, Otto. *Stahlbetonbrückenbau in der Steiermark im Zeitraum 1945 - 2010*. [Dissertation]. Graz : Institut für Betonbau, Technische Universität Graz, November 2011.
- [4] 20 MINUTEN AG. 20 Minuten Online. *Schweizer Autobahnbrücken sind "panzersicher"*. [Online] 03. 08 2007. [Zitat vom: 23. 03 2012.] <http://www.20min.ch/schweiz/news/story/14095654>.
- [5] FSV. RVS 15.04.31. *Brückenentwässerung*. 01. 10 2011.
- [6] CEN. ÖNORM EN 124. *Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 1995.
- [7] BAST. ZTV-ING. *Teil 8 Bauwerksausstattung - Abschnitt 5 Entwässerungen*. 2010.
- [8] BUNDESAMT FÜR STRASSEN. Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken. *Kapitel 6: Entwässerung*. 2007.
- [9] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT. ÖNORM B 5110-1. *Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen, Teil 1: Austauschbare Aufsätze und Abdeckungen*. 2004.
- [10] —. ÖNORM B 5110-2. *Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen, Teil 2: Nicht austauschbare Aufsätze und Abdeckungen*. 2004.
- [11] Technical Committee 11 "Bridges and Other Structures". *Drainage of Water on Road Bridges*. La Defense Cedex : PIARC, 1991. Out of print. PIARC Ref. 11.02.B.
- [12] PIARC. [Online] [Zitat vom: 22. 02 2012.] [http://www.piarc.org/en/order-library/4276-en-Drainage of Water on Road Bridges.htm?catalog&catalog-topic=36#](http://www.piarc.org/en/order-library/4276-en-Drainage%20of%20Water%20on%20Road%20Bridges.htm?catalog&catalog-topic=36#).
- [13] BAST. Richtlinie Was 0. *Planungshinweise für Entwässerung von Brückenbauwerken*. Dezember 2009.

- [14] —. Richtzeichnung Was 1. *Brückenablauf, Anforderungen und Einbauvorgänge*. Dezember 2009.
- [15] CEN. DIN EN 1253-1. *Abläufe für Gebäude - Teil 1: Anforderungen*. 2003.
- [16] VSS. SN 640 356. *Strassenentwässerung; Ablauf, Strassenablauf*. 2003.
- [17] BÜRKEL, Peter. Fachartikel Strasse und Verkehr Nr. 1-2. *Die Brückenentwässerung - ein Bauelement mit hohen Anforderungen*. Januar-Februar 2008.
- [18] HIGHWAYS AGENCY. DMRB 2.3.4. *BD 47/99 Waterproofing and Surfacing of Concrete Bridge Decks*. 1999.
- [19] —. DMRB 2.3.5. *BA 47/99 Waterproofing and Surfacing of Concrete Bridge Decks*. 1999.
- [20] —. DMRB 4.2.3. *HA 102/00 Surface and Sub-surface Drainage Systems for Highways*. 2000.
- [21] —. DMRB 4.2.5. *HA 104/09 Chamber Tops and Gully Tops for Road Drainage and Services: Installation and Maintenance*. 2009.
- [22] BSI. BS 7903. *Guide to selection and use of gully tops and manhole covers for installation within the highway*. 1997. ISBN 0 580 27696 1.
- [23] YOUNG, G. K., WALKER, S. E. und CHANG, F.M. Hydraulic Engineer Circular No. 21. *Design of Bridge Deck Drainage*. Washington D.C. : Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1993. FHWA-SA-92-010.
- [24] JOHNSON, F.L. und CHANG, F.M. Hydraulic Engineer Circular No. 12. *Drainage of Highway Pavements*. Washington D.C. : Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1984. outdated. FHWA-TS-84-202.
- [25] MAYS, L. W. Hydraulic Design Handbook. [Buchverf.] G. Kenneth YOUNG und Stuart M. STEIN. *Chapter 13: Hydraulic Design of Drainage for Highways*. New York : McGraw-Hill, 1999.
- [26] South Carolina Department of Transportation. SCDOT Bridge Design Manual. *Chapter 18: Bridge Deck Drainage*. Columbia, South Carolina : s.n., 2006.
- [27] SETRA. Equipements des Ponts. *Assainissement des ponts routes. Evacuation des eaux, perrés, drainage, corniches-caniveaux...* 1989.
- [28] Wikipedia. ACO Gruppe. [Online] 27. 07 2011. [Zitat vom: 28. 02 2012.] http://de.wikipedia.org/wiki/ACO_Gruppe.
- [29] ACO Tiefbau Vertrieb GmbH. Entwässerung und Sanierung von Brücken und Geschossdecken. *Brückenablaufsysteme für die Belastungsklassen C 250 und D 400*. [Produktkatalog]. 2008.

- [30] ACO Technologies plc. ACO Water Management. *BridgeDrain 200*. [Online] 2010. [Zitat vom: 01. 03 2012.] http://www.aco.co.uk/product_detail.php?id=69.
- [31] ACO USA. ACO ROAD - Technical Handbook and Product Catalog. *BridgeDrain*. [Produktkatalog].
- [32] —. ACO Road. *ACO Bridge Drain, scupper and pipe system for bridge decks*. [Online] 2011. [Zitat vom: 01. 03 2012.] <http://www.acousa.com/road/bridgedrain.htm>.
- [33] R. Höllein CAROLINENHÜTTE GmbH & Co. KG. Höllko Brückenentwässerung. *Historie*. [Online] 2012. [Zitat vom: 02. 03 2012.] <http://www.hoellko.com/>.
- [34] HÖLLKO Brückenentwässerung. Brückenabläufe - Sanierungsaufsätze - Tropftüllen - Reinigungsanschlussrohre. *Technischer Katalog*. [Produktkatalog]. Kallmünz : R. Höllein Carolinenhütte GmbH & Co. KG, 2012.
- [35] Wallner & Neubert Gesellschaft m.b.H. . Purator web. *Das Unternehmen*. [Online] V+Z marketeers OG. [Zitat vom: 02. 03 2012.] http://www.purator.com/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=61&lang=de.
- [36] Purator Umwelttechnik. WAL-Austria Brückenabläufe. *Brückenabläufe und Isolierentwässerungen*. [Produktkatalog]. Wien : Wallner & Neubert Gesellschaft m.b.H., 2011.
- [37] Zivilingenieurbüro Dipl.-Ing. Dr. Kurt KRATZER, Graz. div. Brückeninspektionen im Auftrag der ASFINAG. 2007 - 2012.
- [38] Pipeline & Drainage Systems Ltd. *Über uns*. [Online] LUXSON ldt, 2008-12. [Zitat vom: 07. Mai 2012.] <http://www.pds-plc.de/uber-uns.aspx>.
- [39] openPR UG & Co. KG. openPR. *Innovatives Produkt von HATIBA übertrifft die Erwartungen*. [Online] 25. August 2011. [Zitat vom: 09. Juli 2012.] <http://www.openpr.de/news/565254.html>.
- [40] Pipeline & Drainage Systems Ltd. *Envriodeck*. [Online] 15. Februar 2010. [Zitat vom: 20. Jänner 2012.] <http://www.pds-plc.com/clickyzine/envirodeck/pdf/Envirodeck.pdf>.
- [41] Fowler & Holden Ltd. *FastFlow - Bridge Deck Drainage System*. [Online] STEVO, 2011. [Zitat vom: 07. Mai 2012.] <http://www.fowlerandholden.co.uk/bridgedrain/index.htm>.
- [42] Fowler & Holden Ltd. *FastFlow, Bridge Deck Drainage System*. [Herstellerkatalog]. Grimsby, North East Lincolnshire : s.n.

- [43] Neenah Enterprises Inc. *Neenah Foundry and Neenah Enterprises, Inc.* [Online] 2012. [Zitat vom: 01. Juni 2012.] <http://www.nfco.com/>.
- [44] —. *14th Edition Construction Castings Catalog*. [Herstellerkatalog]. Neenah, Wisconsin : Neenah Foundry, 18. Mai 2011.
- [45] MAYDL, Peter und TRITTHART, Josef. *Baustofflehre GL Vorlesung*. Graz : Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie Technische Universität Graz, 2007.
- [46] DEHN, Frank, KÖNIG, Gert und MARZAHN, Gero. *Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen*. Berlin : Ernst & Sohn, 2003. ISBN 3-433-01652-6.
- [47] BERNS, Hans und THEISEN, Werner. *Eisenwerkstoffe - Stahl und Gusseisen*. Bochum : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. 4. bearbeitete Auflage. ISBN 978-3-540-79955-9.
- [48] KAMMERSBERGER, Andreas. div. *Brückeninspektionen*. Graz : Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Abteilung 16 Verkehr und Landeshochbau - Referat Straßeninfrastruktur - Bestand - Bereich Brückenbau.
- [49] TOSTMANN, Karl-Helmut. *Korrosion*. Weinheim : Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001. ISBN 3-527-30203-4.
- [50] SCHIESSL, P. *Skriptum zur Vertiefervorlesung Bauingenieurwesen Grundfachvorlesung Baustoffingenieurwesen des Fachs Baustoffkunde. Ultrahochfester Beton*. München : Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, 2005.
- [51] SCHNEIDER, Ulrich, et al. *Beton- und Stahlbetonbau 96, Heft 7. Materialverhalten von ultrahochfesten Betonen (UHPC)*. Berlin : Ernst & Sohn, 2001.
- [52] DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON. Heft 561. *Sachstandsbericht Ultrahochfester Beton*. Berlin - Wien - Zürich : Beuth Verlag GmbH, 2008. 1. Auflage. ISBN 3-410-65045-4.
- [53] FEHLING, E., et al. *Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau*. [Hrsg.] M. SCHMIDT und E. FEHLING. [Redakt.] T. TEICHMANN. *Heft 1: Entwicklung, Dauerhaftigkeit und Berechnung Ultrahochfester Betone (UHPC)*. Kassel : kassel university press GmbH, 2005. ISBN 3-89958-108-3.
- [54] LUDWIG, Horst-Michael. *Beton- und Stahlbeton 100, Heft 2. Bewertung Ultrahochfester Betone unter dem Aspekt der Dauerhaftigkeit*. Berlin : Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2005.

- [55] LUDWIG, Horst-Michael und THIEL, Roland. Ultrahochfester Beton. [Hrsg.] Gert KÖNIG, Klaus HOLSCHEMACHER und Frank DEHN. *Dauerhaftigkeit von UHFB*. Berlin : Bauwerk Verlag GmbH, 2003. S. 89-106. ISBN 3-89932-045-X.
- [56] SCHMIDT, Michael. Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, Heft 2: Ultra-Hochfester Beton – Planung und Bau der ersten Brücke mit UHPC in Europa. [Hrsg.] M. SCHMIDT und E. FEHLING. [Redakt.] Carsten GEISENHANSLÜKE. S. 5-20: *Ultra-Hochleistungsbeton – Ausgangsstoffe, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit*. Kassel : kassel university press GmbH, 2003. ISBN: 3-89958-518-6.
- [57] TEICHMANN, T., et al. Proceedings of the 6th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete. *Durability of Ultra High Performance Concrete (UHPC)*. Leipzig : s.n., 2002.
- [58] MÜLLER, Harald S. und SCHEYDT, Jennifer C. Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit von ultrahochfestem Beton. Karlsruhe : beton, 2011. Nr. 9.
- [59] JUHART, Joachim. Adhäsion von UHPC an Stahl und Glas. [Dissertation]. Graz - Villach : Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Technische Universität Graz, Juni 2011.
- [60] CEN. ÖNORM EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2004. 2009.
- [61] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT. ÖNORM B 4710-1. *Beton, Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis*. 2007.
- [62] HADL, Philipp, et al. Carbonfaserverstärkter UHPC mit Nanodur. Graz : Institut für Betonbau, Technische Universität Graz, August 2012.
- [63] TUE, Nguyen Viet und KIM, Huy Hoang. Weiterentwicklung des mit Carbonfasern verstärkten UHPC. Graz : Institut für Betonbau, Technische Universität Graz, September 2012.
- [64] REICHEL, Michael Maria. Dünnwandige Segmentfertigteilbauweisen im Brückenbau aus gefasertem Ultrahochleistungsbeton (UHFB) - Tragverhalten, Bemessung und Konstruktion -. [Dissertation]. Graz : Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Technische Universität Graz, September 2010.
- [65] BAST. Richtzeichnung Was 4. *Brückenablauf bei orthotroper Fahrbahnplatte mit bituminösem Brückenbelag*. Dezember 2009.

- [66] TRUMMER, Andreas. Roboterdesignlabor. Graz : Institut für Tragwerksentwurf, TU Graz, 2011-2012.
- [67] INDUSTRIEMAGAZIN Verlag GmbH. SOLID Wirtschaft und Technik am Bau. *Ein multitalentierter Bauroboter aus Graz*. [Online] 12. Jänner 2011. [Zitat vom: 11. Juni 2012.] http://www.solidbau.at/home/artikel/Wissenschaftliche_Projekte/Ein_multitalentierter_Bauroboter_aus_Graz/aid/5347?analytics_from=thema_single.
- [68] ABB Automation GmbH, Unternehmensbereich Robotics. *IRB 6660-205/1,9 Industrieroboter*. [Datenblatt]. Friedberg, Deutschland : s.n., März 2011.
- [69] RYLANDER, Dan. The optimised pre-machining robot. [Hrsg.] ABB Robotics AB. *IRB 6660 – for high performance applications*. [Präsentation]. 24. Jänner 2008.
- [70] RÜMMELIN, Andreas Timo. Entwicklung, Bemessung, Konstruktion und Anwendung von ultrahochfesten Betonen. [Diplomarbeit]. Stuttgart : Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik, 2005.
- [71] ZEHENTNER, Helmut. Ein Beitrag zur Entwicklung von Flachdecken mit UHPFRC-Fertigteilen. [Dissertation]. Graz : Institut für Betonbau der Technischen Universität Graz, August 2008.
- [72] Bundeskanzleramt der Republik Österreich. Rechtsinformationssystem. *Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Fassung vom 04.05.2012*. [Online] 2012. [Zitat vom: 04. Mai 2012.] <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008910>.
- [73] —. Rechtsinformationssystem. *Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Allgemeine Arbeitnehmerschutzverordnung, Fassung vom 04.05.2012*. [Online] 2012. [Zitat vom: 04. Mai 2012.] <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008540>.
- [74] KERSCHHAGL, Josef. Manuelle Lasthandhabung - Beurteilung der Belastung. *Anlage 3 - Grundlagen*. Wien : Zentral-Arbeitsinspektorat, 24. Juli 2001.
- [75] CWIRZEN, Andrzej, HABENMEHL-CWIRZEN, Karin und PENTTALA, Vesa. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. [Hrsg.] Ekkehard FEHLING, Michael SCHMIDT und Simone STÜRWALD. *The effect of heat treatment on the salt freeze-thaw durability of UHSC*. Kassel : kassel university press GmbH, 2008. S. 221-230. ISBN 978-3-89958-376-2.

- [76] FRANKE, Lutz, DECKELMANN, Gernod und SCHMIDT, Holger. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. [Hrsg.] Ekkehard FEHLING, Michael SCHMIDT und Simone STÜRWALD. *Behavior of ultra high-performance concrete with respect to chemical attack*. Kassel : kassel university press GmbH, 2008. S. 453-460. ISBN 978-3-89958-376-2.
- [77] PALECKI, Susanne und SETZER, Max J. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. [Hrsg.] Ekkehard FEHLING, Michael SCHMIDT und Simone STÜRWALD. *Ultra-high-performance concrete under frost and de-icing salt attack*. Kassel : kassel university press GmbH, 2008. S. 443-451. ISBN 978-3-89958-376-2.
- [78] SCHEYDT, Jennifer C., HEROLD, Gunther und MÜLLER, Harald S. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. [Hrsg.] Ekkehard FEHLING, Michael SCHMIDT und Simone STÜRWALD. *Long Term Behavior of Ultra High Performance Concrete under the Attack of Chlorides and Aggressive Waters*. Kassel : kassel university press GmbH, 2008. S. 231-238. ISBN 978-3-89958-376-2.
- [79] SIKA. Sikadur®-30. *Armierungskleber*. [Produktdatenblatt]. Zürich : Sika Schweiz AG, 14. Oktober 2010. Version Nr. 6.
- [80] MESSPHYSIK. BETA Series. *High Grade Universal Testing Machines*. [Produktdatenblatt]. Fürstenfeld : s.n., 12. April 2012.
- [81] FSV. RVS 15.02.34. *Bemessung und Ausführung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten*. 01.07 2011.

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1 Begriffe Brückeneinlauf, Abbildung 5 in [5 S. 7].....	5
Bild 2.2 Lichte Fläche (schattiert) und Lichte Weite (LW), Bild 7a bis 8c in [6 S. 5].....	6
Bild 2.3 Begriffe Abdichtungsentwässerung, Abbildung 12 in [5 S. 9]	7
Bild 2.4 Längsdrainagestreifen (Querschnitt), Abbildung 13a in [5 S. 10]	7
Bild 2.5 Ableitung an Stegaußenkante, Abbildung 23 in [5 S. 13].....	8
Bild 2.6 Sammelleitung mit Brückenentwässerungsschlauch und Fahrbahnübergangs- entwässerung am Brückenende, Abb. 11 in [8 S. 16].....	9
Bild 2.7 Ableitung im Hohlkasten oder an Steginnenseite, Abbildung 24 in [5 S. 13]	9
Bild 2.8 Anordnung der Schlitze, Bild 10 in [6 S. 9].....	11
Bild 2.9 Typischer Querschnitt einer Straße mit Darstellung einiger Gruppen von Einbaustellen, Bild 9a in [6 S. 6].....	12
Bild 2.10 Anbindung Abdichtung an Brückenablauf, Abbildung 1 in [5 S. 5].....	14
Bild 2.11 Einbau der Ablauftasse, Abb. 6 in [8 S. 9]	18
Bild 2.12 Anschluss der Abdichtung am Ablauf, Abb. 7 in [8 S. 9]	19
Bild 2.13 Ablauf mit gekrümmten Schlitzten und Reinigungsschacht, Abb. 5 in [17 S. 24] .	20
Bild 2.14 Gestaltung von Randsteinabläufen, Figure 2 in [20 S. D/2]	22
Bild 2.15 Ablaufrinne, sog. „Scupper“, Figure 5 in [23].....	25
Bild 2.16 Runder Brückeneinlauf, Figure 6 in [23]	25
Bild 2.17 Direkte Ableitung durch die Betonleitwand, Figure 7 in [23]	26
Bild 2.18 Gitter- und Randsteineinlauf im Vergleich, Figure 6 in [24].....	27
Bild 2.19 Kombiniertes Randsteineinlauf, Figure 7 in [24].....	27
Bild 2.20 Einlauf Fassens aus Beton, Figure 2 in [23].....	28
Bild 2.21 Einlauf Fassens aus Gusseisen, Figure 3 in [23]	28
Bild 2.22 Einlauf Fassens aus geschweißtem Stahl, Figure 4 in [23].....	29

Bild 2.23 Titelbild der Richtlinie [27 S. Titel].....	30
Bild 2.24 ACO Brückenablauf Multitop HSD-2 (links) und HSD-5 (rechts) [29 S. 10 und 11]	33
Bild 2.25 Ablaufoberteil für Brückensanierungen [29 S. 7]	33
Bild 2.26 ACO BridgeDrain 200 [30].....	34
Bild 2.27 ACO BridgeDrain – Scupper System for Bridge Decks [32]	35
Bild 2.28 ACO BridgeDrain Einbaubeispiel [31 S. 65].....	35
Bild 2.29 Höllko Brückenablauf – Explosionszeichnung mit Verstellmöglichkeiten [34 S. 4]	36
Bild 2.30 Brückenablauf Höllko 2000/5E für Taktschiebeverfahren [34 S. 16]	37
Bild 2.31 Sonderbauteil Höllko 1010-SW36 [34 S. 19]	38
Bild 2.32 Brückenablauf Höllko 1002 - Seiteneinlass [34 S. 61]	38
Bild 2.33 WAL-Austria Baukastensystem [36 S. 2].....	39
Bild 2.34 WAL-Austria Ablauftassen - Varianten [36 S. 3].....	40
Bild 2.35 Anwendungsbeispiel Aufstockrahmen [36 S. 5].....	40
Bild 2.36 Eingebauter Purator Brückeneinlauf (Seewigtalbrücke, 24.05.2007) [37]	41
Bild 2.37 Envirodeck Brückenentwässerung an der Porth Relief Rd [40 S. 3]	43
Bild 2.38 Bridge Deck Gutter System 2 für Oberflächen- und Abdichtungsentwässerung [42 S. 2].....	44
Bild 2.39 Diverse Eisengussteile zur Punkt-, Randstein- und Linienentwässerung von Stahl- und Betonbrücken [44 S. 227 - 240].....	45
Bild 2.40 Korrodierte Bewehrung durch Umläufigkeit (Brücke Zöbern, 08.02.2010) [37]..	47
Bild 2.41 Kurzer Ablaufstützen und Wasserverfrachtung zum Hauptträger (Krummbachbrücke, 06.09.2007) [37]	48
Bild 2.42 Fehlender Ablaufstützen und Rostfahne am Tragwerk (S36 Unterführung Stadtwaldgasse, 25.06.2007) [37]	48
Bild 2.43 Stark korrodierter Entwässerungsablauf [48].....	49
Bild 2.44 Querschliff durch Gusseisen GG. Lamellarer Graphit ragt aus der Oberfläche und begünstigt als Kathode die Korrosion Abb. 4-31 in [49 S. 97]	51

Bild 2.45 Gusseisen GGG mit Kugelgraphit. Die Kugeln können leicht ausbrechen und stehen dann als Kathoden nicht zur Verfügung, Abb. 4-33 in [49 S. 98]	52
Bild 2.46 Korrosion von Gusseisen und unlegiertem Stahl in belüftetem Wasser bis eine schützende Deckschicht entsteht, Abb. 3-15 in [49 S. 60]	52
Bild 2.47 Durch Sinter verlegte Abdichtungsentwässerung und Umläufigkeit (S6 Brücke Sonnleiten, RFB St. Michael, 15.07.2008) [37]	53
Bild 2.48 Festigkeitsverminderung infolge Auslaugung des Portlandzementes, Abbildung 9 in [45 S. I-86].....	54
Bild 2.49 Verlegter Brückeneinlauf (A9 B2, 06.04.2009) [37]	55
Bild 2.50 Verstopfter Ablauf einer Brückenentwässerung, Abb. 2 in [17 S. 23]	55
Bild 3.1 Spektrum der Betondruckfestigkeit in Abhängigkeit vom Wasserzement-Wert, Bild 5-37 in [46 S. 418]	57
Bild 3.2 Spannungs-Dehnungs-Linie von UHFB ohne Fasern, Bild 3.5-2 in [53 S. 40].....	59
Bild 3.3 Beispiele von Spannungs-Dehnungs-Linien von UHFB mit 2,5 Vol.-% Stahlfasern, Bild 3.5-3 in [53 S. 41]	60
Bild 3.4 Spannungs-Rissöffnungsdiagramm bei axialem Zug, Bild 6.8 in [52 S. 66].....	61
Bild 3.5 Frost-Tausalz-Widerstand von UHFB im Vergleich zu typischen Betonen anderer Festigkeitsklassen, Bild 6 in [54 S. 119]	62
Bild 3.6 Vergleich der Abwitterung zwischen Normal-/Hochleistungsbetonen und UHPC [57].....	62
Bild 3.7 Abwitterung infolge eines Frost-Taumittelangriffs in Abhängigkeit von der Anzahl an Frost-Tau-Zyklen für verschiedene ultrahochfeste Grobkornbetone, Bild 6 in [58 S. 340].....	63
Bild 3.8 Chloriddiffusionskoeffizient von UHFB im Vergleich zu typischen Betonen anderer Festigkeitsklassen, Bild 8 in [54 S. 120]	64
Bild 3.9 Entwicklung des aus Langzeitversuchen ermittelten Chloriddiffusionskoeffizienten in Abhängigkeit von der Expositionsdauer, Bild 4 in [58 S. 338].....	64
Bild 3.10 Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit vom Betonalter im Vergleich zum vorhergesagten Verlauf, Bild 1 in [58 S. 337].....	65
Bild 3.11 Gestresste Quarzkörner in UHFB nach thermischer Beanspruchung bei 90°C, Bild 8 in [58 S. 342]	66

Bild 3.12 Schnitt durch einen faserbewehrten RPC nach 80-wöchigem Angriff (gelb: Einbettmasse zur Stabilisierung), Bild 3 in [58 S. 338]	67
Bild 3.13 Glatte UHFB-Oberfläche durch Schalung mit Furniersperrholz	69
Bild 3.14 Nach 4 Tagen 2x sandgestrahlte (ehemals glatte) UHFB-Oberfläche	70
Bild 3.15 Nach einem Tag 1x sandgestrahlte UHFB-Oberfläche.....	70
Bild 3.16 Raue UHFB-Oberfläche durch Schalung mit robotergefräster XPS-Platte	71
Bild 3.17 Gusseisenoberfläche einer handelsüblichen Ablauftasse.....	71
Bild 3.18 UHFB-Oberfläche nach dem Reinigen	72
Bild 3.19 Probekörper mit gereinigter NSC-Oberfläche	73
Bild 3.20 Vorbereitung der Prüfkörper durch Aufkleben der Stahlstempel	73
Bild 3.21 Prüfkörper für die Haftzugversuche an Gusseisen.....	74
Bild 3.22 Einbau der Probekörper in die Prüfmaschine.....	75
Bild 3.23 Probekörper für Haftzug- und Haftschiebversuche der Hauptserien, Abbildung 5.1 in [59 S. 104]	75
Bild 3.24 Bruchbild bei Styroduroberfläche	77
Bild 3.25 Bruchbild bei sandgestrahlter UHFB-Oberfläche	77
Bild 3.26 Bruchbild bei glatter UHFB-Oberfläche.....	78
Bild 3.27 Bruchbild bei Gusseisen	78
Bild 3.28 In den ersten Versuchen verwendete Fasern (7 µm Durchmesser), Bild 1 in [63 S. 1].....	80
Bild 3.29 Karbonfaserbündel, Bild 1 in [63 S. 1]	81
Bild 3.30 Ausziehversuche zur Ermittlung des Verbundverhaltens, Bild 2 in [63 S. 2].....	82
Bild 3.31 Biegezugfestigkeit in Abhängigkeit des Faserzusatzes, Bild 3 in [63 S. 2].....	82
Bild 4.1 Geometrie des gewählten Aufsatzrahmens 2300/250-SW36 [34 S. 25].....	84
Bild 4.2 Gusseiserne Ablauftasse mit gewähltem Aufsatzrahmen	85
Bild 4.3 Ausführung mit Aussparung, Abbildung 7 in [5 S. 8]	86
Bild 4.4 Ausführung mit Hüllrohr, Abbildung. 10 in [5 S. 9]	88
Bild 5.1 Ablauftasse aus Gusseisen und Variante „wie Guss 20“	89
Bild 5.2 Gusseiserne Ablauftasse	90

Bild 5.3 Varianten „Trichter 20“ und „Trichter 40“	91
Bild 5.4 Varianten „Weit 20“ und „Weit 30“	91
Bild 5.5 Varianten „Schräg 20“ und „Schräg 30“	92
Bild 5.6 Varianten „Schräg 25 – 15°“ und „Freiform 25“	93
Bild 5.7 Variante „Freiform 20“	93
Bild 5.8 Varianten „Freiform 20 angepasst“ und „Eng 20“	95
Bild 5.9 Variante „Minimal 20“	96
Bild 5.10 Varianten „Innen 20“ und „Außen 20“	97
Bild 5.11 Robotergeeignete Variante „Innen 20 - Vertikal“	98
Bild 5.12 3D-Visualisierung von Variante „Innen 20 - Vertikal“	99
Bild 5.13 Brückenablauf bei orthotroper Fahrbahnplatte – Querschnitt [65]	100
Bild 6.1 Ansicht des Roboterdesignlabors[66]	101
Bild 6.2 Der Roboter bei der Arbeit [67]	102
Bild 6.3 Industrieroboter ABB - IRB 6660-205/1,9 [68 S. 1] und [69 S. 3]	102
Bild 6.4 Innenschalung des Prototyps mit fixierten Schraubmuffen	103
Bild 6.5 Außenschalung des Prototyps	104
Bild 6.6 Zusammengesetzte Schalung am Rütteltisch	104
Bild 6.7 Befüllen der Schalung	105
Bild 6.8 Entfernen der XPS-Schalung	106
Bild 6.9 Innenseite des Prototyps	107
Bild 6.10 Außenseite des Prototyps	108
Bild 6.11 Aufweitung mit Lufteinschluss	108
Bild 7.1 Anbindung Abdichtung an Abdichtungsentwässerung, Abbildung 2 in [5 S. 5] ..	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Schlitzmaße für Klassen C 250 bis F 900, Tabelle 5 in [6 S. 9].....	11
Tabelle 2.2 Prüfkkräfte, Tabelle 6 in [6 S. 10].....	13
Tabelle 2.3 Anschlussflansche, Tabelle 2 in [15 S. 12]	17
Tabelle 2.4 Randsteinablaufabdeckungen und –rahmen [21 S. 5/1]	23
Tabelle 2.5 Gegenüberstellung der Richtlinien für Brückeneinläufe	31
Tabelle 2.6 Gegenüberstellung der für Österreich geeigneten Produkte.....	42
Tabelle 3.1 Parameter a für die Entwicklung der Korrosionstiefe x in Abhängigkeit von der Zeit t, Tafel 1 in [58 S. 337]	67
Tabelle 3.2 Versuchsprogramm der Haftzugversuche	69
Tabelle 3.3 Haftzugfestigkeit je nach Oberfläche	76
Tabelle 3.4 Klassifizierung der verwendeten Betone.....	79
Tabelle 5.1 Gegenüberstellung der möglichen Varianten für die Ablauftasse.....	94
Tabelle 5.2 Gegenüberstellung der an die Herstellung angepassten Varianten.....	97

Anhang

A1. NSC-Rezeptur

Einsatzstoff			Gehalt [kg/m³]	Stoffraum [dm³/m³]		Ansatz: 65,0 Ltr.
Luftporengehalt in V%=Luftg.		2,5 %	--	25,0	mit trockenen Ausgangsstoffen	Berücksichtigung des Wassers in Zuschlägen
CEM I 42,5 R	z		320	104,9	20,80 kg	20,800 kg
Flugasche	SFA	0,00 %	0	0,0	0,00 kg	0,000 kg
		0,00 %	0	0,0	0,00 kg	0,000 kg
Wasser w/z-Wert	w	0,50	160	158,4	10,30 kg	10,298 kg
Zusatzmittel						
Sika® ViscoCrete®-20 Gold	FM	0,70 %	2,2	2,13	0,146 kg	0,146 kg
Sika Luftporenbildner	LP	0,15 %	0,5	0,44	0,031 kg	0,031 kg
Leim (Vol.%)				290,5		
Stahlfaser						
	SF	0,00 Vol.-%	0,0	0,0	0,00 kg	0,000 kg
Gesteinkörnung						
I. Sand 0-2 mm		46,0 %	849	326,4	55,16 kg	55,158 kg
II. Kies 4-8 mm		14,0 %	262	99,3	17,05 kg	17,045 kg
II. Kies 8-16 mm		21,0 %	404	149,0	26,25 kg	26,246 kg
IV. Kies 16-22 mm		19,0 %	367	134,8	23,83 kg	23,834 kg
Summe Zuschlag			100 %			
Beton			2362	1000,0	Setzfließmaß (mm)	
w/z-Wert			0,500		Vw/Vp =	1,525
w/b-Wert (w/(z+SFA))			0,500			
Rohdichten						
	ρ_d					ρ_d
1 Sand 0-2 mm	2,600	Wassergehalt= 0,00%		CEM I 42,5 R		3,050
2 Kies 4-8 mm	2,640	Wassergehalt= 0,00%		Flugasche		2,300
3 Kies 8-16 mm	2,710	Wassergehalt= 0,00%		Sika Luftporenbildner		1,100
4 Kies 16-22 mm	2,720	Wassergehalt= 0,00%		Sika® ViscoCrete®-20 Gold		1,050
Anmerkung:						
I. Eirich-Mischer				Mischdauer (Sec)	Wirbler	Teller
				CEM + MS + QM	30	100 RPM langsam
II. Probekörper				Wasser + FM	360	450 RPM langsam
6 Balken: 40*40*160 mm	1,536 l			Körnung + Stahlfaser	360	100 RPM langsam
0 Zylinder: 100*200 mm	0,000 l			Säubern	60	- -
0 Würfel: 100*100*100 mm	0,000 l			Entleerung	-	- -
	1,536 l					
III. Frischbetonprüfung:						
Ausbreitmaß: (43+44)/2						
Luftporengehalt: 3%						


Institut für Betonbau
Lessingstraße 25/I
8010 Graz
Tel.: +43 (0)316 873 - 6191



Baustelle:
Labor für konstruktiven
Ingenieurbau - LKI
Inffeldgasse 24
8010 Graz

Bauteil: DfStb-Balken
1207-Rezeptur_Thomas-C30/37 B5

A2. UHFB-Rezeptur

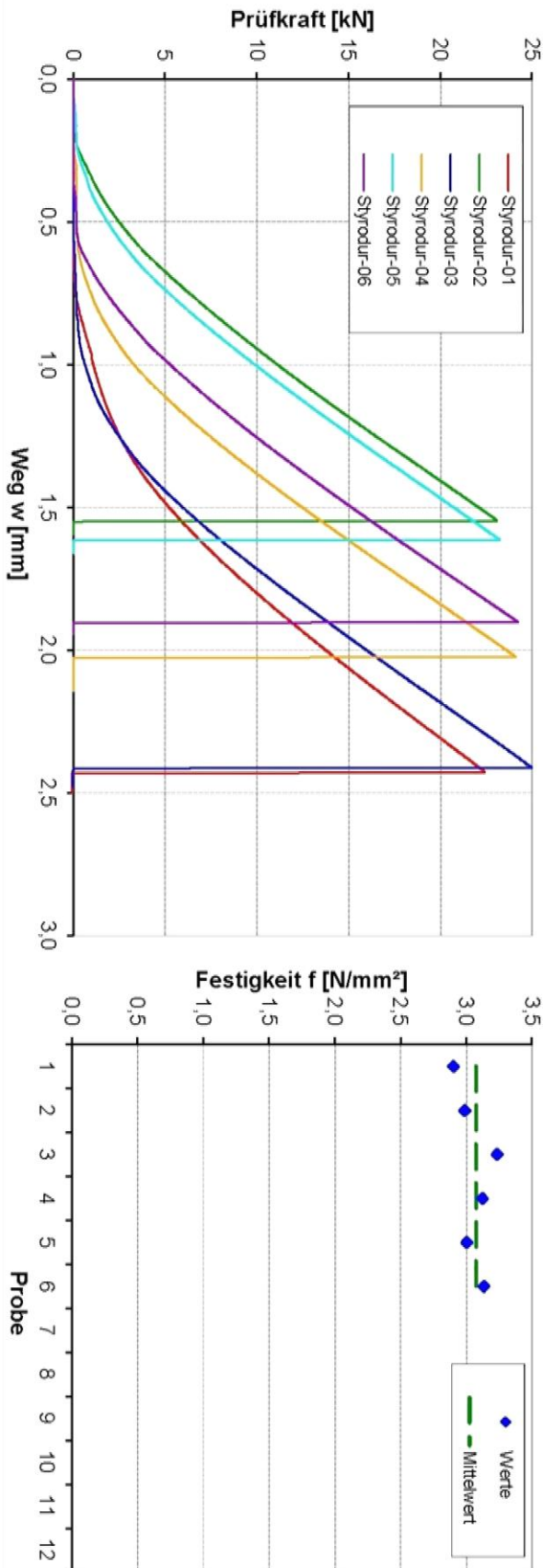
		Institut für Betonbau Lessingstraße 25/I 8010 Graz Tel. +43 (0)316 873 - 6191		 TU Graz Graz University of Technology	
Zielfestigkeit	≥ 150 MN/m ²	Baustelle:			
Verdichtung		Labor für konstruktiven Ingenieurbau - LKI			
Verdichtungsdauer		Inffeldgasse 24			
Gesamtmenge	2,0 Liter	8010 Graz			
Herstelldatum:		Rezeptur:			
Lufttemperatur		2906-Thomas			
Zielsetzfließmaß (ohne faser)	≥ 750 mm				
Einsatzstoff		Gehalt [kg/m ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]	Ansatz: 4,5 Ltr.	
1. Luftporengehalt in V%=Luftg.		0,00 % Vol. Bt	0,0		
2. Faser		1,25 % Vol. Bt			
Faser 1 (Stahlfaser L9-D0.15)	F1	1,25 % Vol. Bt	98,1	12,5	0,442 kg
Faser 2 (Carbonfaser L9-W1-T0.1)	F2	0,00 % Vol. Bt	0,0	0,0	0,000 kg
Summe Zuschlag		1,25 % Vol. Bt			
3. Matrix					
3.1. V Leim / (V Leim + V aggregate)		0,550			
3.2. Leim (Vol.%)		54,31 % Vol. Bt			
3.2.1. Pulver					
Nanodur Compound 6238 grau	NC	1032,47	1032,5	366,8	4,646 kg
Silicastaub (Sika® Silicoll P)	SF	0,00 % wt. NC	0,0	0,0	0,000 kg
Quarzmehl (Mikro-Dorsliit® 110)	QM	0,00 % wt. NC	0,0	0,0	0,000 kg
3.2.2. Zusatzmittel					
Fließmittel 1 (Sika® ViscoCrete®-20 Gold)	FM 1	2,30 % wt. NC	23,7	22,6	0,107 kg
Verzögerer	FM 2		0,0	0,0	0,000 kg
3.2.3. Wasser					
(Wasser / Zement) Wert		16,50 % wt. NC			
Wasser added	W		153,7	153,7	0,692 kg
3.3. Gesteinkörnung (Vol.%)		44,44 % Vol. Bt			
Körnung 1 (Dorsliit® 0.1-0.5 mm)	K 1	0,00 % Vol. K	0,0	0,0	0,000 kg
Körnung 2 (Dorsliit® 0.3-0.8 mm)	K 2	16,42 % Vol. K	191,9	73,0	0,864 kg
Körnung 3 (Dorsliit® 0.6-1.2 mm)	K 3	34,67 % Vol. K	405,2	154,1	1,823 kg
Körnung 4 (Dorsliit® 1.0-1.8 mm)	K 4	20,08 % Vol. K	234,7	89,2	1,056 kg
Körnung 5 (Dorsliit® 1.6-2.5 mm)	K 5	28,83 % Vol. K	336,9	128,1	1,516 kg
Summe Zuschlag		100,00 %			
Beton		2460	1000,0	Setzfließmaß (mm)	
w/NC-Wert		0,165		Vw/Vpow =	0,464
w/b-Wert (w/(NC+SF))		0,165			
Rohdichten		ρ_d			ρ_d
Körnung 1 (Dorsliit® 0.1-0.5 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	Nanodur Compound 6238 grau
Körnung 2 (Dorsliit® 0.3-0.8 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	Silicastaub (Sika® Silicoll P)
Körnung 3 (Dorsliit® 0.6-1.2 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	Quarzmehl (Mikro-Dorsliit® 110)
Körnung 4 (Dorsliit® 1.0-1.8 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	
Körnung 5 (Dorsliit® 1.6-2.5 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	
Faser 1 (Stahlfaser L9-D0.15)		7,850			Fließmittel 1 (Sika® ViscoCrete®-20 Gold)
Faser 2 (Carbonfaser L9-W1-T0.1)		1,800			Verzögerer
					1,050
					1,050
Anmerkung:		Mischdauer (Sec)		Geschwindigkeit	Teller
I. Hobat-Mischer		(NC + QS) (~120)		1	
		(W + FM) -			
II. Probekörper		(NC+QS)+(W+FM) 120 (2)		1	
6 Balken: 40*40*160 mm	1,536 l	300 (5)		2	
0 Zylinder: 100*200 mm	0,000 l	60 (1)		3	
0 Würfel: 100*100*100 mm	0,000 l	Betontemperatur 1 30 (0.5)		Stop	
1,536 l					
III. Lufttemperatur					
Betontemperatur 1		120 (2)		2	
Betontemperatur 2		60 (1)		1	
Setzfließmaß (mm)		Betontemperatur 2 30		Stop	

A3. UHPCrFRC-Rezeptur

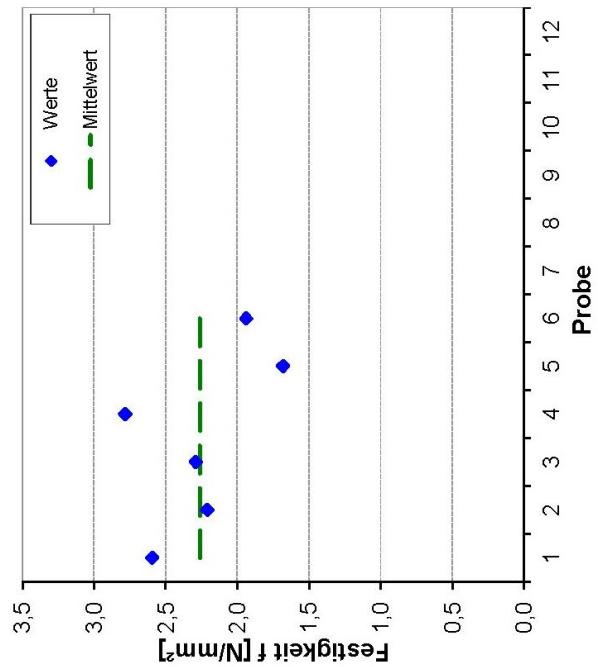
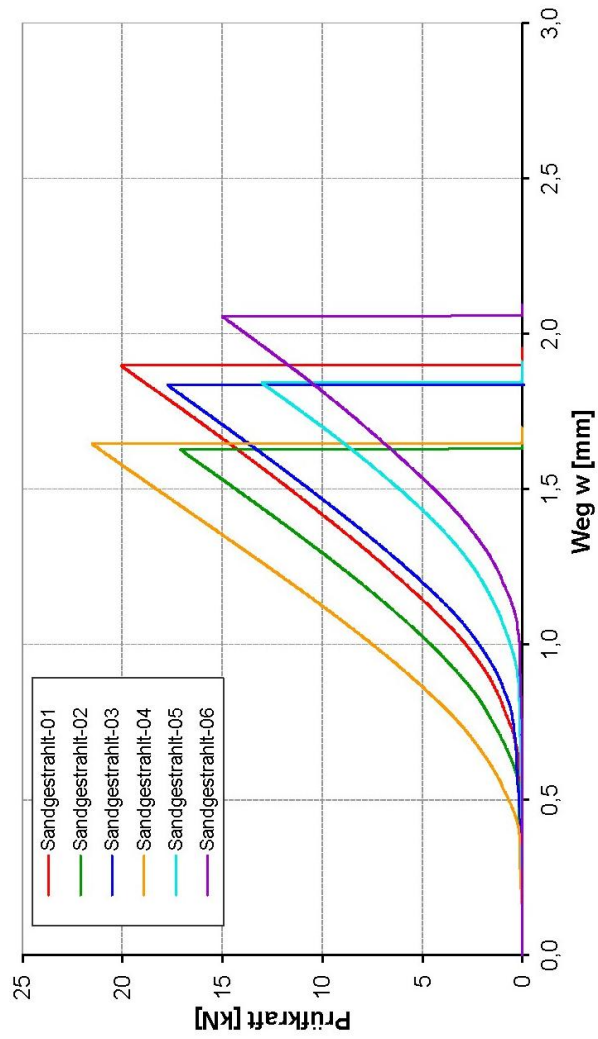
Einsatzstoff		Gehalt [kg/m ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]	Ansatz: 4,5 Ltr.		
1. Luftporengehalt in V%=Luftg.		0,00 %Vol. Bt	0,0			
2. Faser		2,00 %Vol. Bt				
Faser 1 (Stahlfaser L9-D0.15)	F1	0,00 %Vol. Bt	0,0	0,000 kg	0,000 kg	
Faser 2 (Carbonfaser L9-W1-T0.1)	F2	2,00 %Vol. Bt	20,0	0,162 kg	0,162 kg	
Summe Zuschlag		2,00 %Vol. Bt				
3. Matrix						
3.1. V Leim / (V Leim + V aggregate)		0,550				
3.2. Leim (Vol.%)		53,90 %Vol. Bt				
3.2.1. Pulver						
Nanodur Compound 6238 grau	NC	1018,37	1018,4	4,583 kg	4,583 kg	
Silicastaub (Sika® Silicoll P)	SF	0,00 % wt. NC	0,0	0,000 kg	0,000 kg	
Quarzmehl (Mikro-Dorsilit® 110)	QM	0,00 % wt. NC	0,0	0,000 kg	0,000 kg	
3.2.2. Zusatzmittel						
Fließmittel 1 (Sika® ViscoCrete®-20 Gold)	FM 1	1,60 % wt. NC	16,3	0,073 kg	0,073 kg	
Verzögerer	FM 2		0,0	0,000 kg	0,000 kg	
3.2.3. Wasser						
(Wasser / Zement) Wert	W	17,00 % wt. NC	161,7	0,728 kg	0,728 kg	
3.3. Gesteinkörnung (Vol.%)		44,10 %Vol. Bt				
Körnung 1 (Dorsilit® 0.1-0.5 mm)	K 1	0,00 % Vol. K	0,0	0,000 kg	0,000 kg	
Körnung 2 (Dorsilit® 0.3-0.8 mm)	K 2	16,42 % Vol. K	190,4	0,857 kg	0,857 kg	
Körnung 3 (Dorsilit® 0.6-1.2 mm)	K 3	34,67 % Vol. K	402,1	1,810 kg	1,810 kg	
Körnung 4 (Dorsilit® 1.0-1.8 mm)	K 4	20,08 % Vol. K	232,9	1,048 kg	1,048 kg	
Körnung 5 (Dorsilit® 1.6-2.5 mm)	K 5	28,83 % Vol. K	334,4	1,505 kg	1,505 kg	
Summe Zuschlag		100,00 %				
Beton			1000,0		Setzfließmaß (mm)	
w/NC-Wert		0,170		Vw/Vp _w =	0,479	
w/b-Wert (w/(NC+SF))		0,170				
Rohdichten		P_d			P_d	
Körnung 1 (Dorsilit® 0.1-0.5 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	Nanodur Compound 6238 grau	2,815
Körnung 2 (Dorsilit® 0.3-0.8 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	Silicastaub (Sika® Silicoll P)	2,300
Körnung 3 (Dorsilit® 0.6-1.2 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000	Quarzmehl (Mikro-Dorsilit® 110)	2,630
Körnung 4 (Dorsilit® 1.0-1.8 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000		
Körnung 5 (Dorsilit® 1.6-2.5 mm)		2,630	Wassergehalt=	0,000		
Faser 1 (Stahlfaser L9-D0.15)		7,850			Fließmittel 1 (Sika® ViscoCrete®-20 Gold)	1,050
Faser 2 (Carbonfaser L9-W1-T0.1)		1,800			Verzögerer	1,050
Anmerkung:						
I. Hobat-Mischer			Mischdauer (Sec)	Geschwindigkeit	Teller	
			(NC + QS)	(~120)	1	
			(W + FM)	-		
II. Probekörper						
6 Balken: 40*40*160 mm	1,536 l		(NC+QS)+(W+FM)	120 (2)	1	
0 Zylinder: 100*200 mm	0,000 l			300 (5)	2	
0 Würfel: 100*100*100 mm	0,000 l			60 (1)	3	
	1,536 l		Betontemperatur 1	30 (0.5)	Stop	
III. Lufttemperatur						
Betontemperatur 1				120 (2)	2	
Betontemperatur 2				60 (1)	1	
Setzfließmaß (mm)			Betontemperatur 2	30	Stop	

A4. Ergebnisse Haftzugversuche

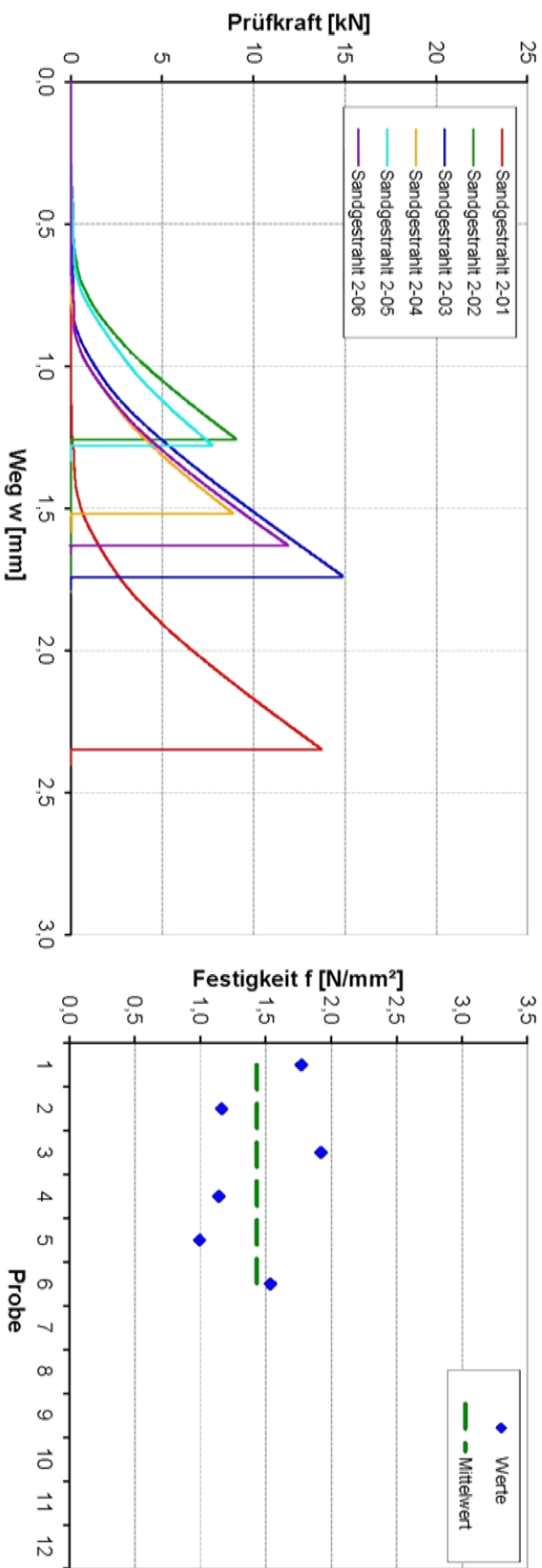
Projekt: UHPC Brückenablauf - A6 Haftzugversuche												Probengruppe: Styrodur												Prüfdatum: 02.08.2012		
Test Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert	Standardabweichung	9	minWert	maxWert									
Durchmesser	d [mm]	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99														
QS-Fläche	A [mm ²]	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698														
Prüfkraft	F* [kN]	22,43	23,09	24,98	24,12	23,21	24,21	24,21	23,67	0,93	22,43	24,98														
Festigkeit	f* [N/mm ²]	2,91	3,00	3,25	3,13	3,02	3,14	3,14	3,08	0,12	2,91	3,25														
Kontaktfläche	sichtbar [%]	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-														
Masse Bruchst.	m [kg]	6,65	6,87	7,19	7,16	6,88	6,86	6,86	6,86	6,86	6,86	6,86														
res. Kraft	F [kN]	22,37	23,02	24,91	24,05	23,14	24,14	24,14	23,60	0,92	22,37	24,91														
res. Festigkeit	f [N/mm ²]	2,91	2,99	3,24	3,12	3,01	3,14	3,14	3,07	0,12	2,91	3,24														



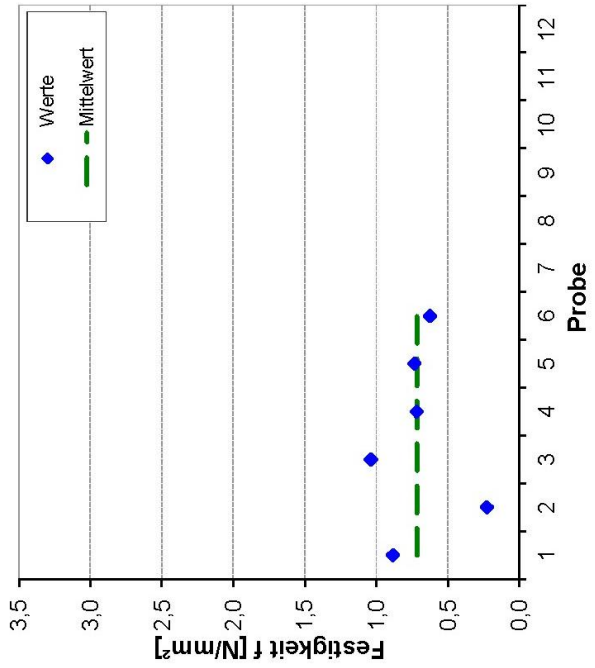
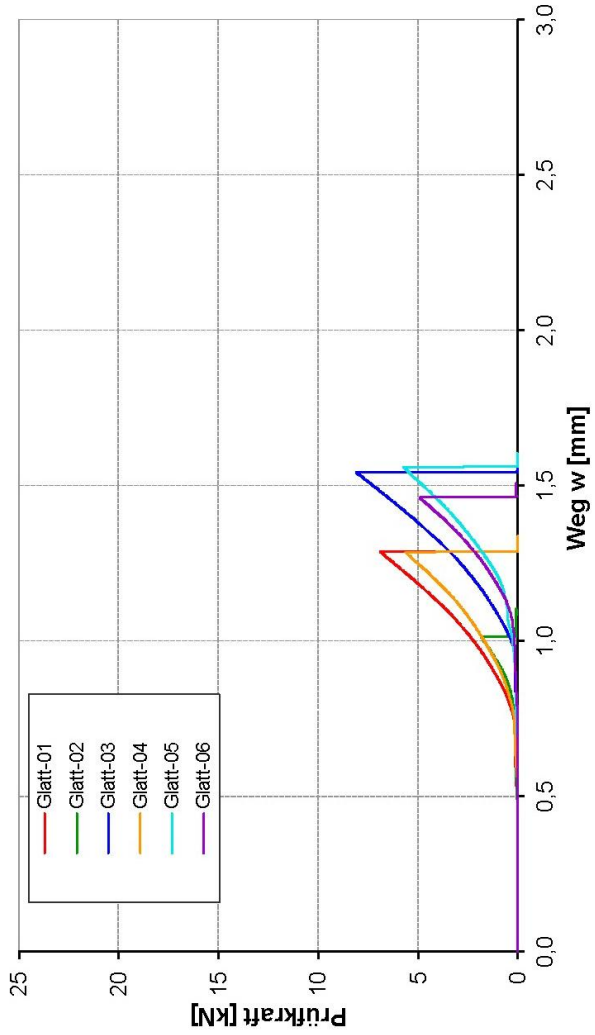
Projekt: UHPC Brückenablauf - A6 Haftzugversuche				Probengruppe: Sandgestrahit						Prüfdatum: 02.08.2012						
Test Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert	Standardabweichung	minWert	maxWert
Durchmesser <i>d</i> [mm]	99	99	99	99	99	99										
QS-Fläche <i>A</i> [mm ²]	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698										
Prüfkraft <i>F*</i> [kN]	20,05	17,10	17,72	21,50	13,04	15,01							17,40	3,12	13,04	21,50
Festigkeit <i>f*</i> [N/mm ²]	2,60	2,22	2,30	2,79	1,69	1,95							2,26	0,41	1,69	2,79
Kontaktfläche <i>sichtbar</i> [%]	12	33	37	27	63	50							37	17,8	12	63
Masse Bruchst. <i>m</i> [kg]	7,16	7,07	7,18	7,19	7,19	7,18										
res. Kraft <i>F</i> [kN]	19,98	17,03	17,65	21,43	12,97	14,94							17,33	3,12	12,97	21,43
res. Festigkeit <i>f</i> [N/mm ²]	2,60	2,21	2,29	2,78	1,69	1,94							2,25	0,41	1,69	2,78



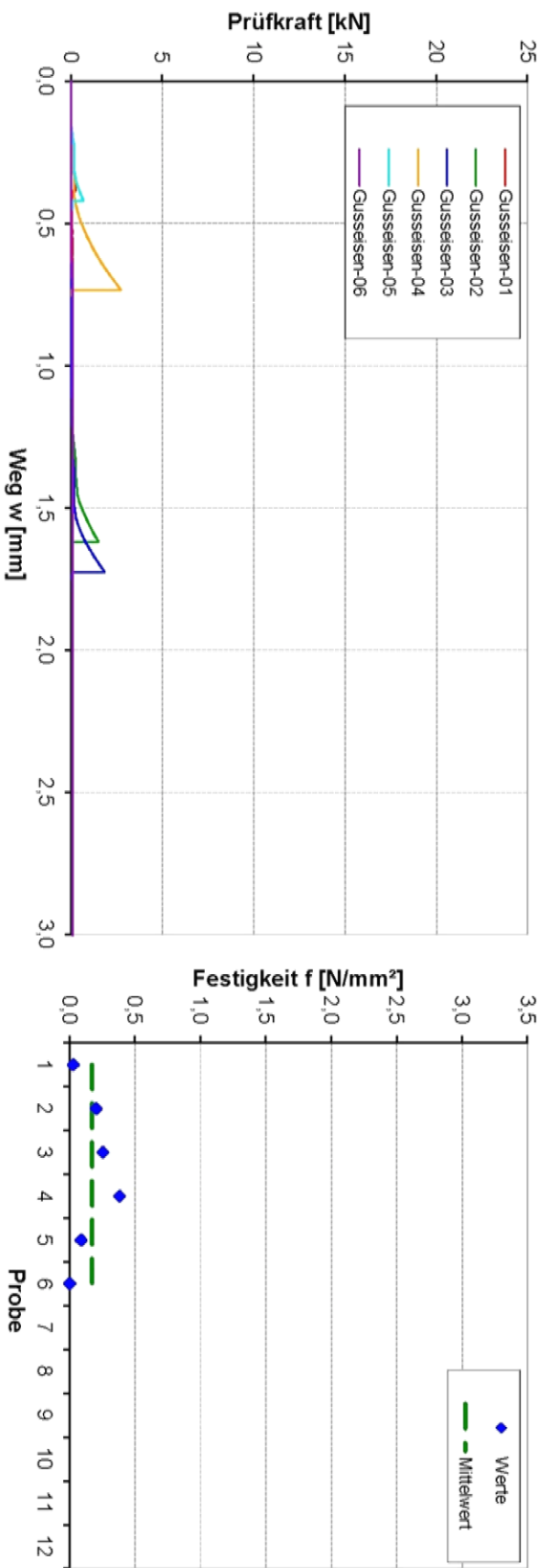
Projekt: UHPC Brückenablauf - A6 Haftzugversuche												Probengruppe: Sandgestraht 2												Prüfdatum: 10.09.2012		
Test Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert	Standard- abweichun g	minWert	maxWert										
Durchmesser	d [mm]	99	99	99	99	99																				
QS-Fläche	A [mm ²]	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698																				
Prüfkraft	F* [kN]	13,73	9,05	14,89	8,89	7,75	11,91						11,04	2,91	7,75	14,89										
Festigkeit	f* [N/mm ²]	1,78	1,18	1,93	1,15	1,01	1,55						1,43	0,38	1,01	1,93										
Kontaktfläche	sichtbar [%]	55	75	25	50	90	47						57	22,8	25	90										
Maße Buchst.	m [kg]	7,16	7,23	7,25	7,18	7,25	7,28																			
res. Kraft	F [kN]	13,66	8,98	14,82	8,82	7,68	11,84						10,96	2,91	7,68	14,82										
res. Festigkeit	f [N/mm ²]	1,77	1,17	1,93	1,15	1,00	1,54						1,42	0,38	1,00	1,93										



Projekt: UHPC Brückenablauf - A6 Haftzugversuche												Prüfdatum: 06.08.2012				
Probengruppe: Glatt																
Test Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert	Standardabweichung g	minWert	maxWert
Durchmesser d [mm]	99	99	99	99	99	99										
QS-Fläche A [mm²]	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698	7.698										
Prüfkraft F* [kN]	6,90	1,84	8,09	5,62	5,74	4,90							5,51	2,12	1,84	8,09
Festigkeit f* [N/mm²]	0,90	0,24	1,05	0,73	0,75	0,64							0,72	0,28	0,24	1,05
Kontaktfläche sichtbar [%]	87	95	85	82	77	75							84	7,3	75	95
Masse Bruchst. m [kg]	7,31	7,27	7,28	7,25	7,28	7,25										
res. Kraft F [kN]	6,83	1,77	8,02	5,55	5,67	4,83							5,44	2,12	1,77	8,02
res. Festigkeit f [N/mm²]	0,89	0,23	1,04	0,72	0,74	0,63							0,71	0,28	0,23	1,04



Projekt: UHPC Brückenablauf - A6 Haftzugversuche												Probengruppe: Gusseisen			Prüfdatum: 02.08.2012		
Test Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert	Standardabweichung g	minWert	maxWert	
Durchmesser	d [mm]	94	94	94	94	94											
QS-Fläche	A [mm ²]	6.940	6.940	6.940	6.940	6.940											
Prüfkraft	F* [kN]	0,29	1,50	1,86	2,74	0,70	0,10						1,20	1,02	0,10	2,74	
Festigkeit	f* [N/mm ²]	0,04	0,22	0,27	0,39	0,10	0,01						0,17	0,15	0,01	0,39	
Kontakfläche sichtbar [%]		100	100	100	100	100							100	0,0	100	100	
Masse Bruchst:	m [kg]	6,52	6,53	6,51	6,51	6,51	6,55										
res. Kraft	F [kN]	0,22	1,44	1,80	2,67	0,63	0,04						1,13	1,02	0,04	2,67	
res. Festigkeit	f [N/mm ²]	0,03	0,21	0,26	0,39	0,09	0,01						0,16	0,15	0,01	0,39	



A5. Ergebnisse Begleitversuche UHFB

Tabelle A5.1 Druckversuche an Zylindern

Probe	Nr. Maschine	F_{\max} [kN]	σ_{\max} [N/mm ²]
1	142	1310,0	166,8
2	143	1290,0	164,2
3	143	1240,0	157,9
Mittelwert	-	1280,0	163,0

Tabelle A5.2 Druckversuche an Würfeln

Probe	Nr. Maschine	F_{\max} [kN]	σ_{\max} [N/mm ²]
1	2504	1690,0	168,9
2	2505	1760,0	175,8
3	2506	1710,0	171,6
Mittelwert	-	1720,0	172,1

A6. Ergebnisse Begleitversuche NSC

Tabelle A6.1 Spaltzugversuche an Zylindern

Probe	Nr. Maschine	F_{\max} [kN]	σ_{\max} [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm ²]
1	148	92,38	4,11	3,70
2	149	104,10	4,63	4,16
3	150	108,60	4,83	4,34
Mittelwert	-	101,69	4,52	4,07

Tabelle A6.2 Druckversuche an Zylindern

Probe	Nr. Maschine	F_{\max} [kN]	σ_{\max} [N/mm ²]
1	151	699,9	39,61
2	152	737,1	41,71
3	153	743,2	42,06
Mittelwert	-	726,7	41,12

Tabelle A6.3 Druckversuche an Würfeln

Probe	Nr. Maschine	F_{max} [kN]	σ_{max} [N/mm ²]
1	2468	1440,0	64,09
2	2469	1230,0	54,67
3	2470	1400,0	62,22
4	2471	1400,0	62,22
Mittelwert	-	1367,5	60,80

A7. Ergebnisse Begleitversuche UHPCrFRC

In **Tabelle A7.1** ist die Druckfestigkeit der für den Prototyp verwendeten Rezeptur für karbonfaserverstärkten UHFB (siehe Anhang A3) im Vergleich zum Nullbeton und zu stahlfaserverstärktem UHFB gleicher Rezeptur dargestellt.

Tabelle A7.1 Entwicklung der Druckfestigkeit [N/mm²] (Mittelwerte)

Faserzusatz	1 Tag	2 Tage	3 Tage	7 Tage	28 Tage ^a	56 Tage ^a
Ohne Faser (Nullbeton)	97,5	116,8	124,9	143,3		
1 Vol.-% Stahlfaser	-	-	-	148,5		
2 Vol.-% Karbonfaser	-	-	-	122,6		
^a diese Ergebnisse lagen zum Zeitpunkt des Druckes der Arbeit noch nicht vor.						

A8. Klebeversuche für Extrudiertes Polystyrol

Im Rahmen der Vorbereitungen für das Fräsen der Schalung durch das RDL wurden Versuche zum Kleben des verwendeten XPS-Materials sowie von EPS-Vergleichskörpern durchgeführt. Ziel der Versuche war es einen dauerhaften, zum Fräsen geeigneten und wasserbeständigen Verbund der einzelnen Platten zu gewährleisten. Die Anforderungen an die Kleber ergaben sich somit wie folgt:

- Zum Verkleben von EPS und XPS geeignet, aber nicht zwingend dafür vorgesehen (d.h. Lösungsmittelfrei)
- Nicht elastisch, nicht klebrig und nicht mineralisch (Verschleiß des Fräswerkzeugs des Roboters)
- Wasserbeständig (Betoniervorgang)
- Einfache Verarbeitung (Auftrag, Nachbehandlung und Aushärtedauer)
- Im Idealfall keine Verpressung nötig bzw. fugenfüllend

Die Klebeflächen waren ca. 10 x 10cm groß und bei XPS einmal „glatt“ (unbehandelt) und einmal „rau“ (vom Roboter gefräst); die EPS-Stücke waren unbehandelt. Alle verwendeten Produkte außer dem Sprühkleber wurden mit einer Zahnpachtel (b = 1,8 mm, t = 1,6 mm) gleichmäßig verteilt.

In Tabelle A8.1 sind die Ergebnisse gegenübergestellt. Die Haftzugfestigkeit wurde aufsteigend wie folgt bewertet: sehr leicht – leicht – mittelschwer – schwer - nicht zu trennen.

Auf Basis der Versuche wurde der Ponal® Konstruktion PUR-Kleber für die Verklebung der XPS-Blöcke gewählt.

Tabelle A8.1 Ergebnisse der Klebeversuche

Kleber	Material	Festigkeit	Fugenbeschaffenheit	Anmerkung
Tesa® Sprühkleber Permanent	EPS	sehr leicht zu trennen	Material in der Mitte aufgelöst	sehr einfacher Auftrag
	XPS-rau	sehr leicht zu trennen	Innen noch klebrig	
	XPS-glatt	leicht zu trennen	Innen noch klebrig	
Pattex® Montage Kraft-Kleber Spezial ^a	EPS	nicht zu trennen	-	schwer zu verarbeiten, teuer
	XPS-rau	schwer zu trennen	Kleber gummiartig	
UHU® Holzleim Wasserfest ^a	EPS	schwer zu trennen	Material in der Fuge gebrochen, Bildet Film	muss gepresst werden
	XPS-rau	leicht zu trennen	Innen noch feucht	
UHU® POR Styropor®- Kleber	EPS	mittelschwer zu trennen	Material in der Fuge gebrochen, Kleber bildet Haut	-
	XPS-rau	mittelschwer zu trennen	Noch klebrig	
	XPS-glatt	nicht zu trennen	Innen noch klebrig und elastisch	
Ponal® Konstruktion PUR-Kleber	EPS	nicht zu trennen	-	muss gepresst werden
	XPS-rau	nicht zu trennen	-	
	XPS-glatt	mittelschwer zu trennen	Nicht vollflächig verklebt	

^a aufgrund schlechter Verarbeitbarkeit bzw. erwarteter langer Aushärtedauer wurde auf XPS-glatt verzichtet.



Bild A8.1 Tesa® Sprühkleber auf EPS



Bild A8.2 Tesa® Sprühkleber auf XPS-rau



Bild A8.3 Tesa® Sprühkleber auf XPS-glatt



Bild A8.4 Tesa® Sprühkleber



Bild A8.5 Pattex® Montage Kleber auf EPS



Bild A8.6 Pattex® Montage Kleber auf XPS-rau



Bild A8.7 UHU® Holzleim auf EPS



Bild A8.8 UHU® Holzleim auf XPS-rau

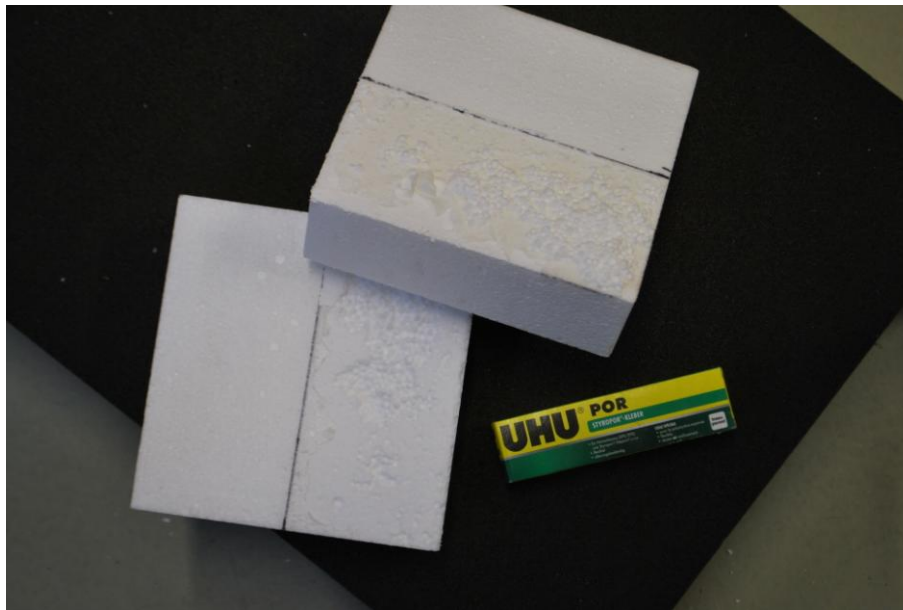


Bild A8.9 UHU® POR auf EPS



Bild A8.10 UHU® POR auf XPS-rau



Bild A8.11 UHU® POR auf XPS-glatt



Bild A8.12 Ponal® PUR-Kleber auf EPS



Bild A8.13 Ponal® PUR-Kleber auf XPS-rau

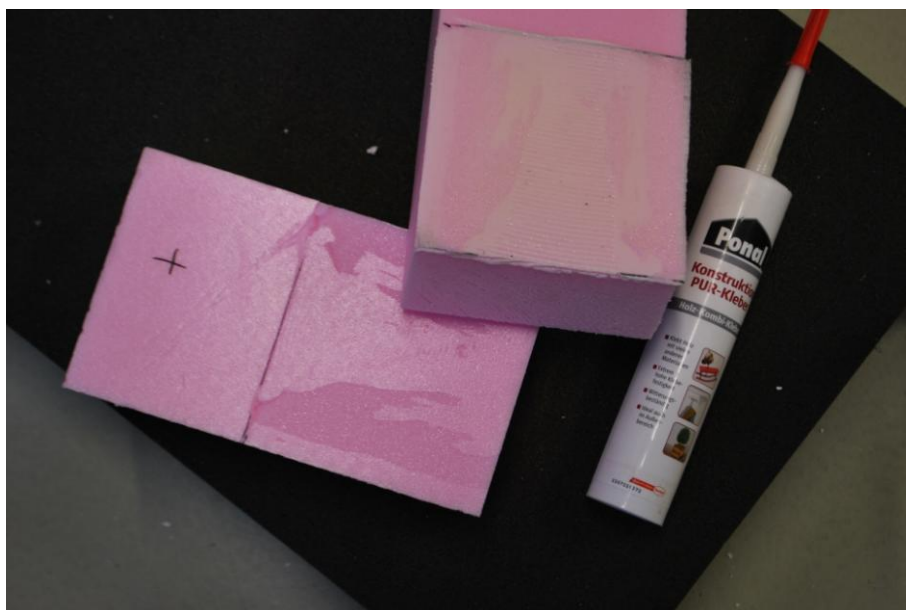


Bild A8.14 Ponal® PUR-Kleber auf XPS-glatt

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe:

D – Diplomarbeiten/Dissertationen | F – Forschungsberichte
S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | V – Vorträge, Tagungen

Institutskenzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik
10 – Labor für Konstruktiven Ingenieurbau

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl