

# Anhang bzgl. RRK An der Leimkaul

## Inhalt:

- Allgemeines:
  - Übersicht der Lage der Teilbauwerke
  - Übersichtsaufnahmen der Teilbauwerke
  
- Planunterlagen:
  - Bestandspläne: Lagepläne, Grundrisse und Schnitte – 3 Seiten
  
- Gutachtliche Stellungnahme:
  - B-6518-5 Gutachten inkl. Anhang – 84 Seiten
  
- Statische Unterlagen:
  - Geprüfter Bewehrungsplan – 1 Seite

## Übersicht der Lage der Teilbauwerke:



## Übersichtsaufnahmen des Teilbauwerks RÜ1





## Übersichtsaufnahmen des Teilbauwerks RÜ2



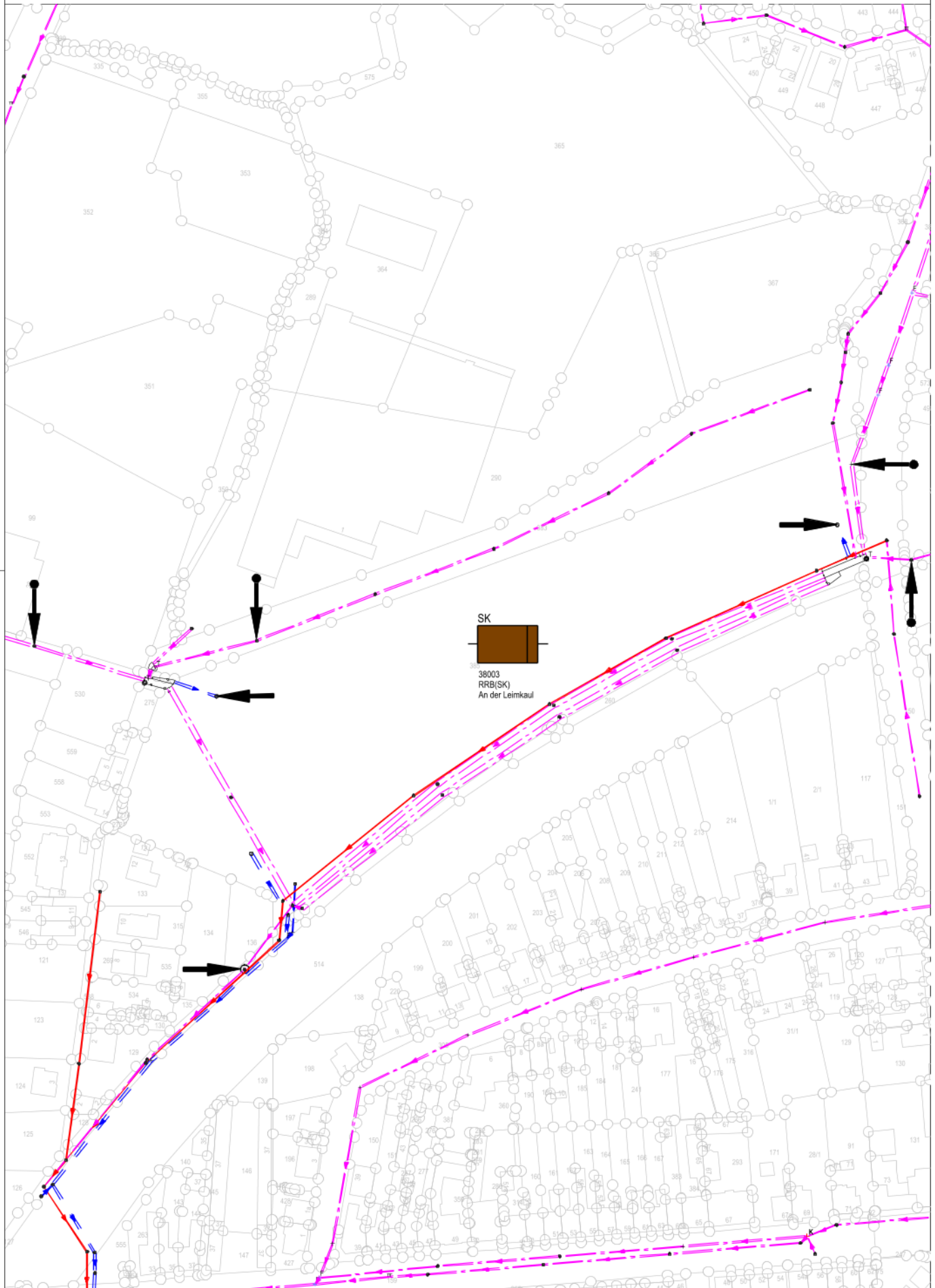
## Übersichtsaufnahmen des Teilbauwerks S



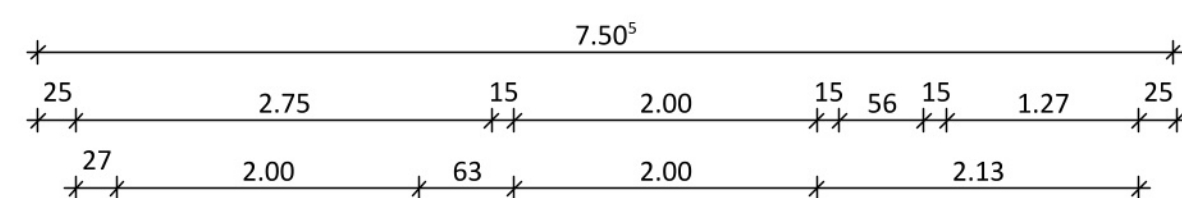
# Sonderbauwerke ABK

## 38003 RRB (SK) An der Leimkaul

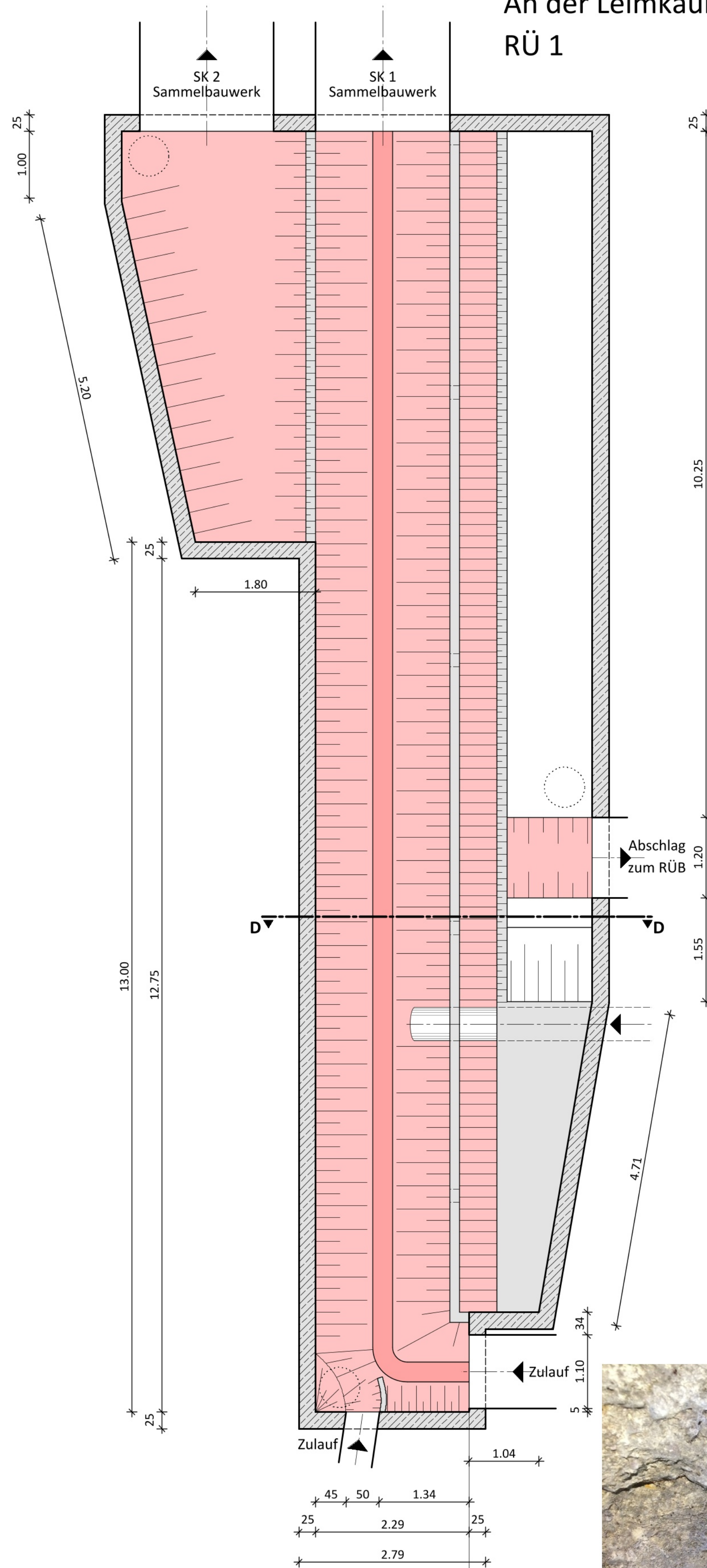
Maßstab 1:2000  
Proj.Nr.:362\_1



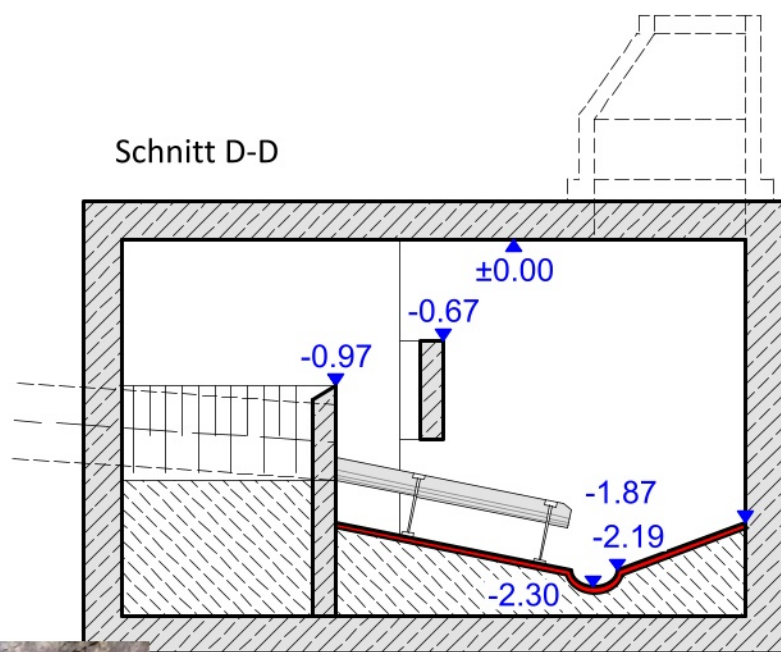
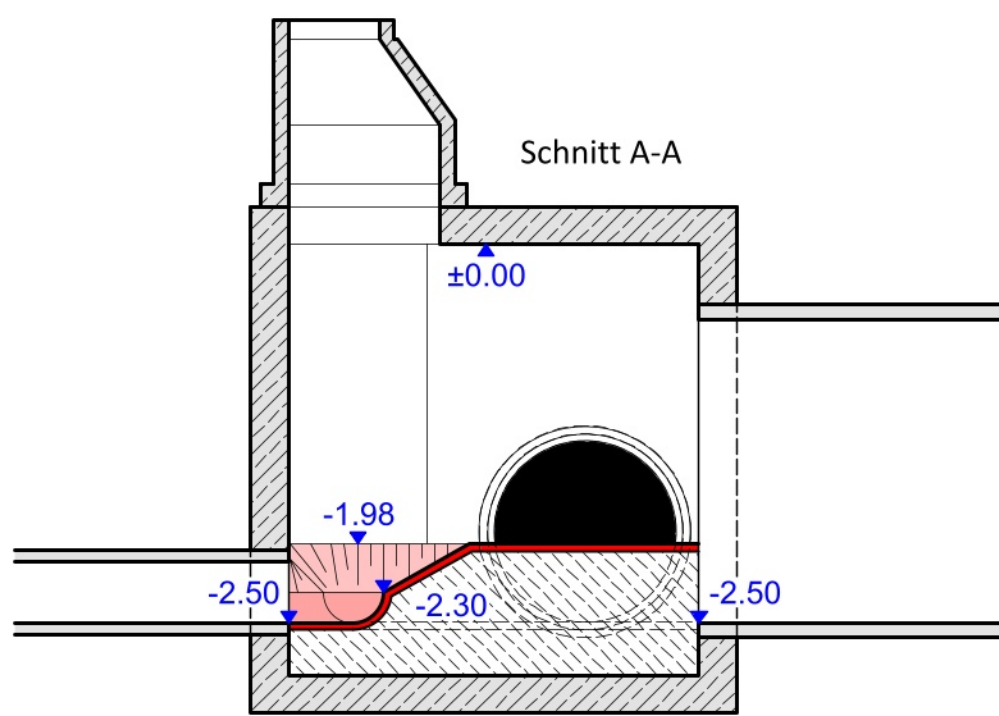
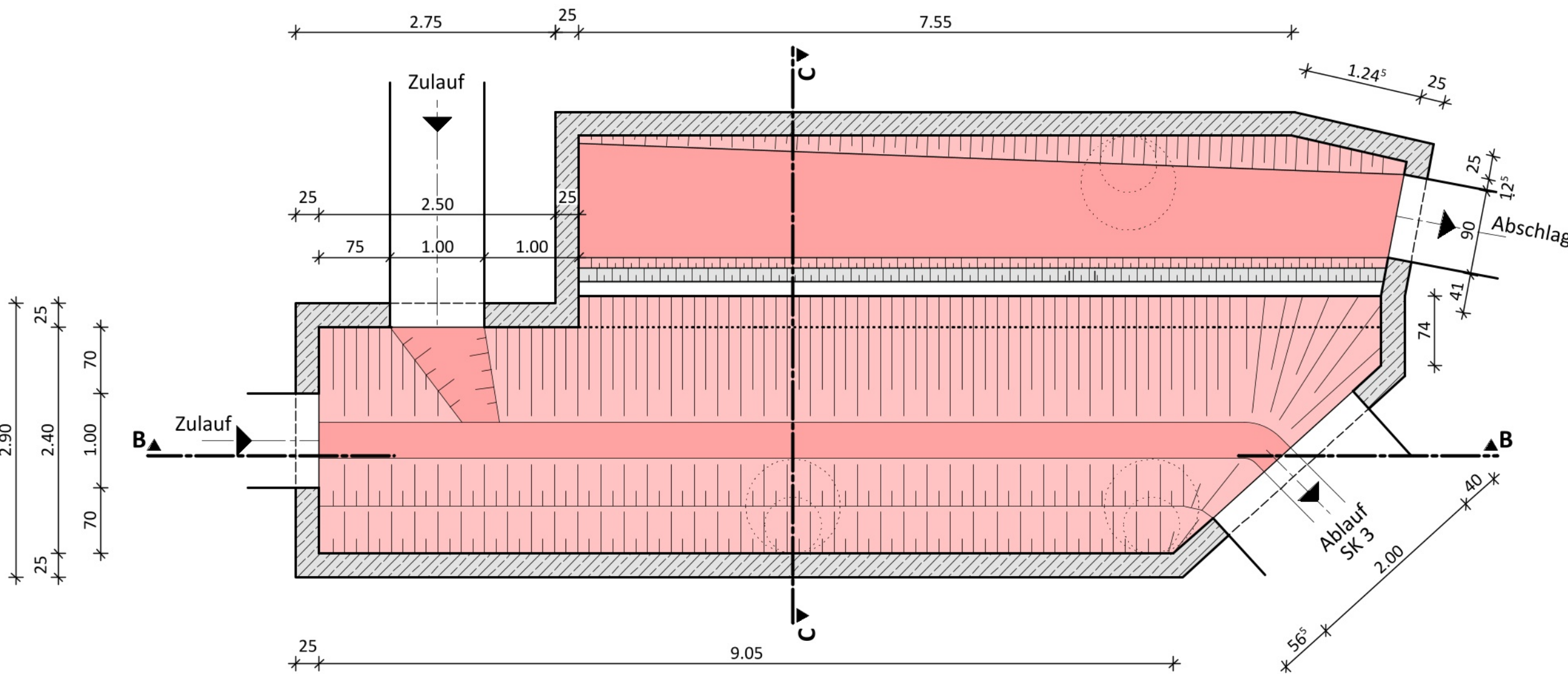




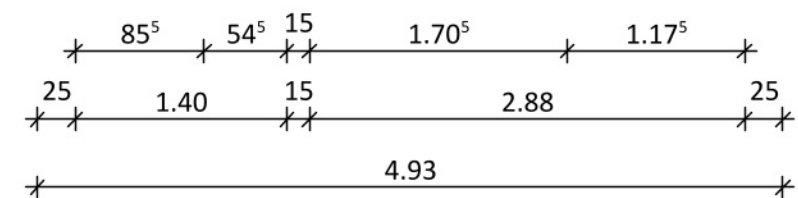
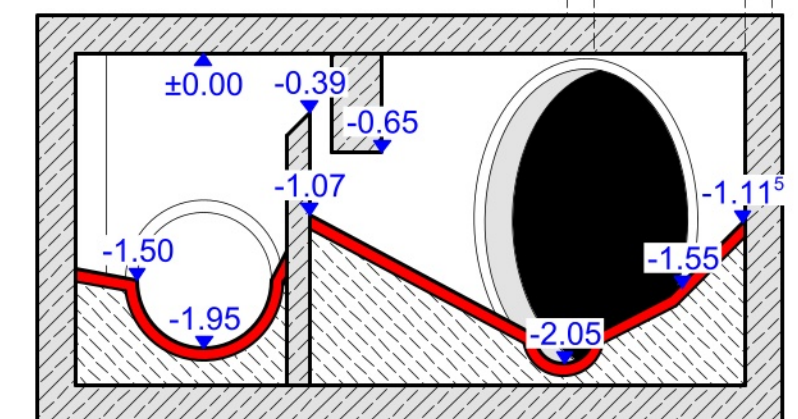
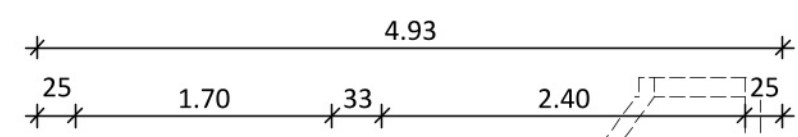
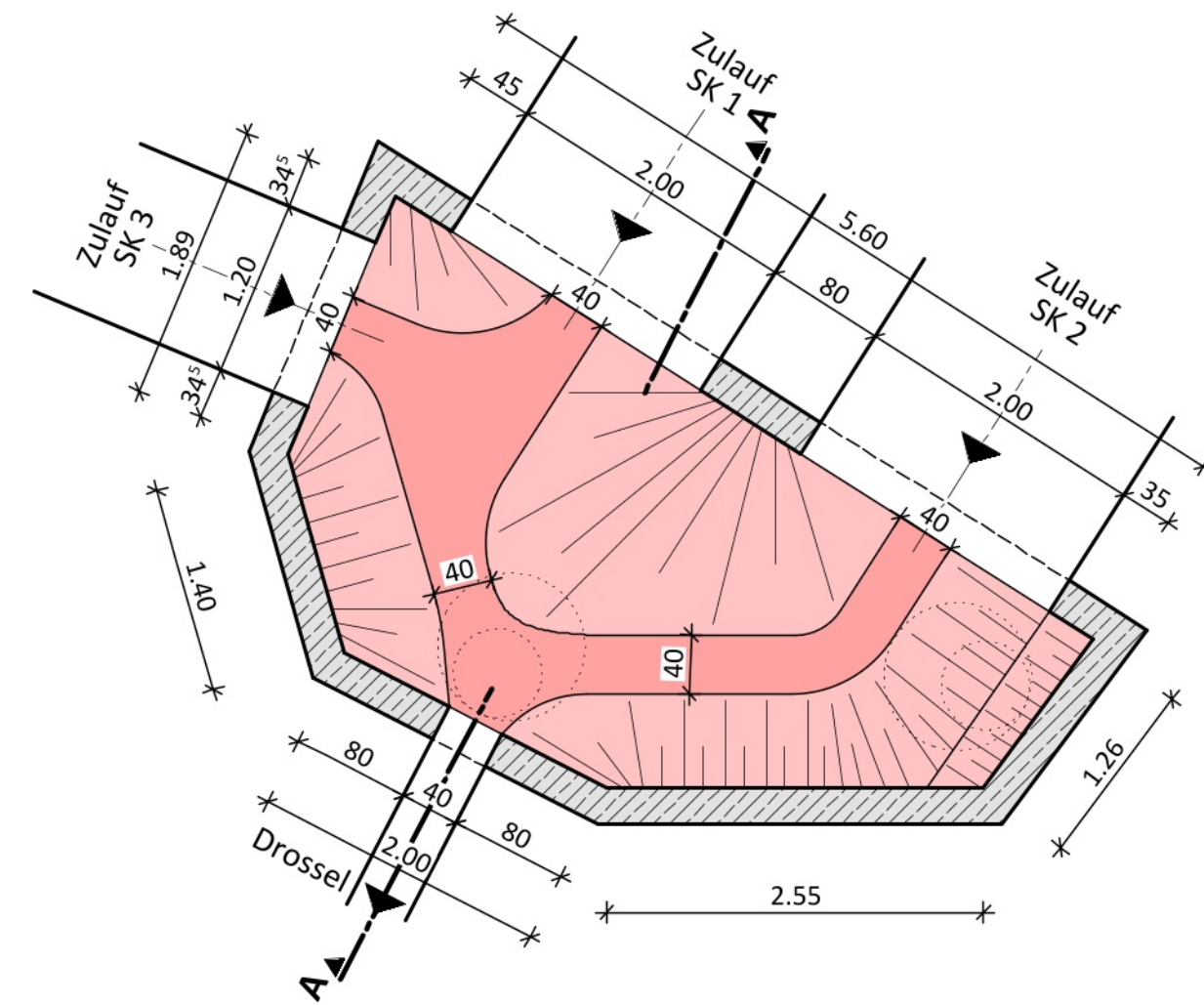
An der Leimkaul  
RÜ 1



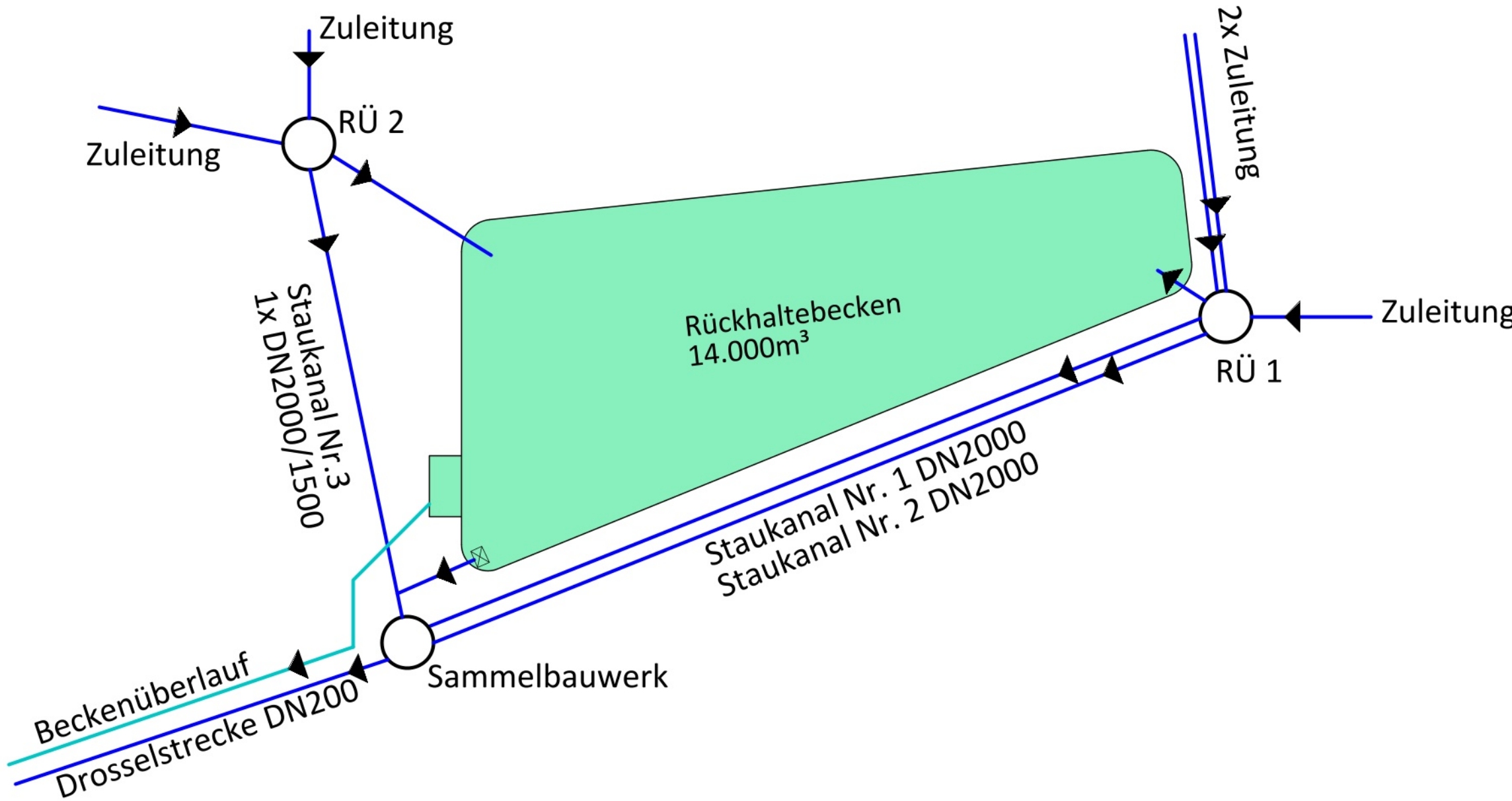
An der Leimkaul  
RÜ 2



An der Leimkaul  
Sammelbauwerk (Drossel)



Systemskizze



- RRK im RW-System
- Drossel 36 L/s (Rohrdrossel DN 200) -> noch in betrieb?



Index	Änderung	Datum / Name
PROJEKT	RÜB An der Leimkaul Bestand	
PLANINHALT	Grundrisse, Schnitte	





ANSCHLUSS LAGEPLAN I

FL16

Fl

Fl. 17

Fl. 17

Fl. 25

Fl. 1

Fl. 3

Fl. 3

Bahndurchpressung

An der Leimkaul

Anschlußsammel  
Industriegebiet Süd-Ost  
Königskamp

Anschlüsse siehe Planung  
Schweitzer Siedlung  
Entwurf vom 16.5.1973

Höhenfestpunkt:  
MB 5004/8 Stellwerk DB  
Bahnstraße + 86.249 über NN  
Industrie 101

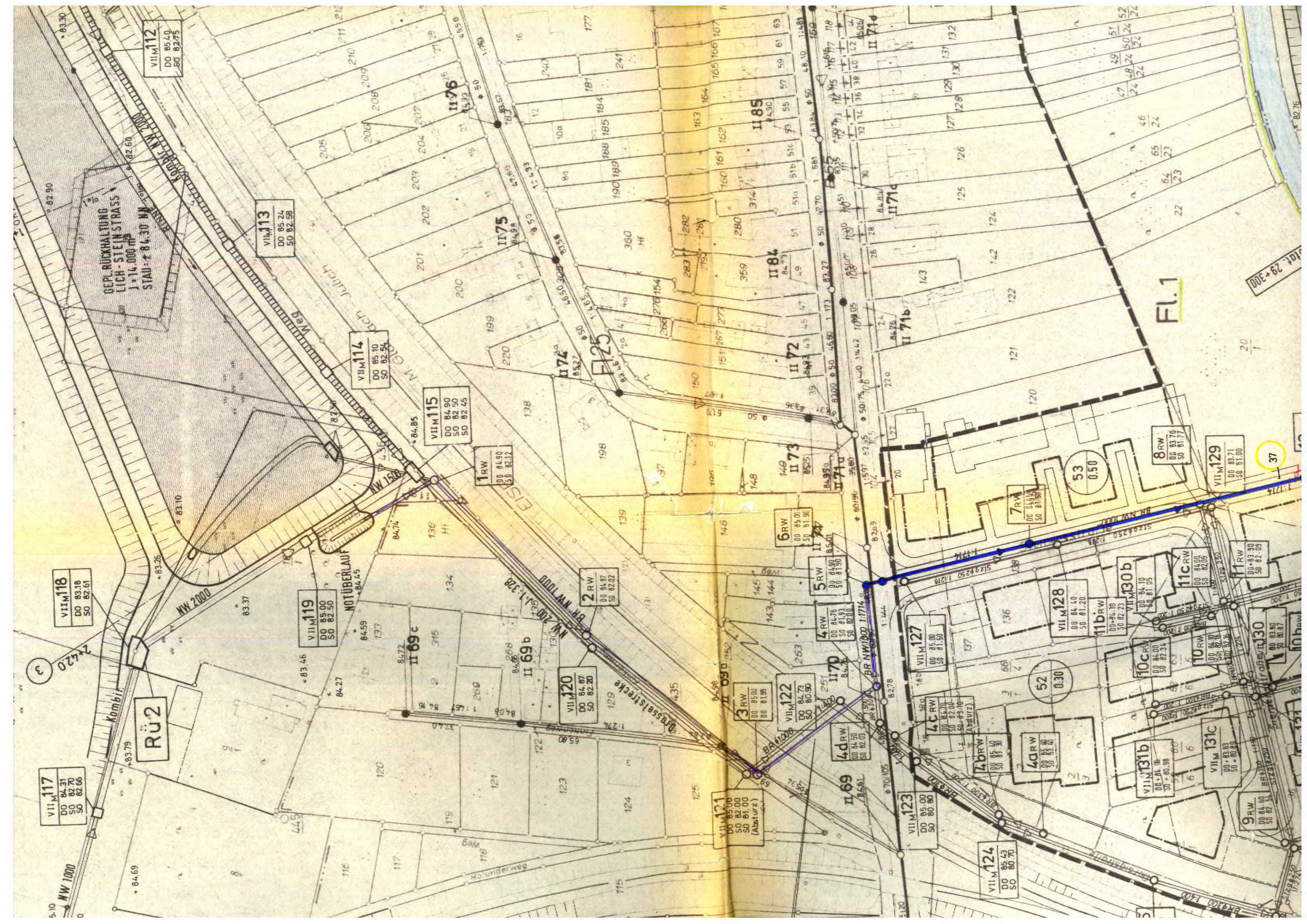
Höhenfestpunkt:  
MB 5104/102 Römerstr. 54  
0.31 m v. M. 0.4m über Erde  
Straßenseitig = + 85.611m über NN  
Industrie 101

GER. RÜCKHALTE  
WASSERTEICH (INHALT) 42.32  
H. = 82.55 NN  
H. = 82.55 NN Normalhöhe  
Sohle = 81.00 NN  
Wasserfl. = 81.00 m

Abchrift  
Gesehen  
6.9.78  
Aachen, den

Wegweiser  
Dagmar  
Bauingenieur



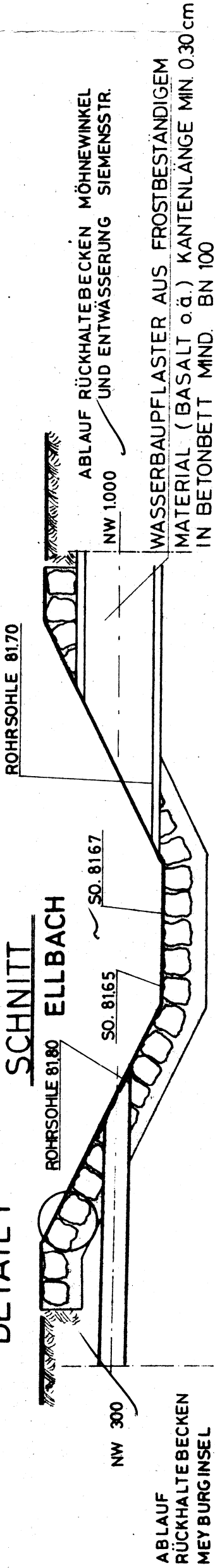




REGELAUSBILDUNG

DETAIL 1

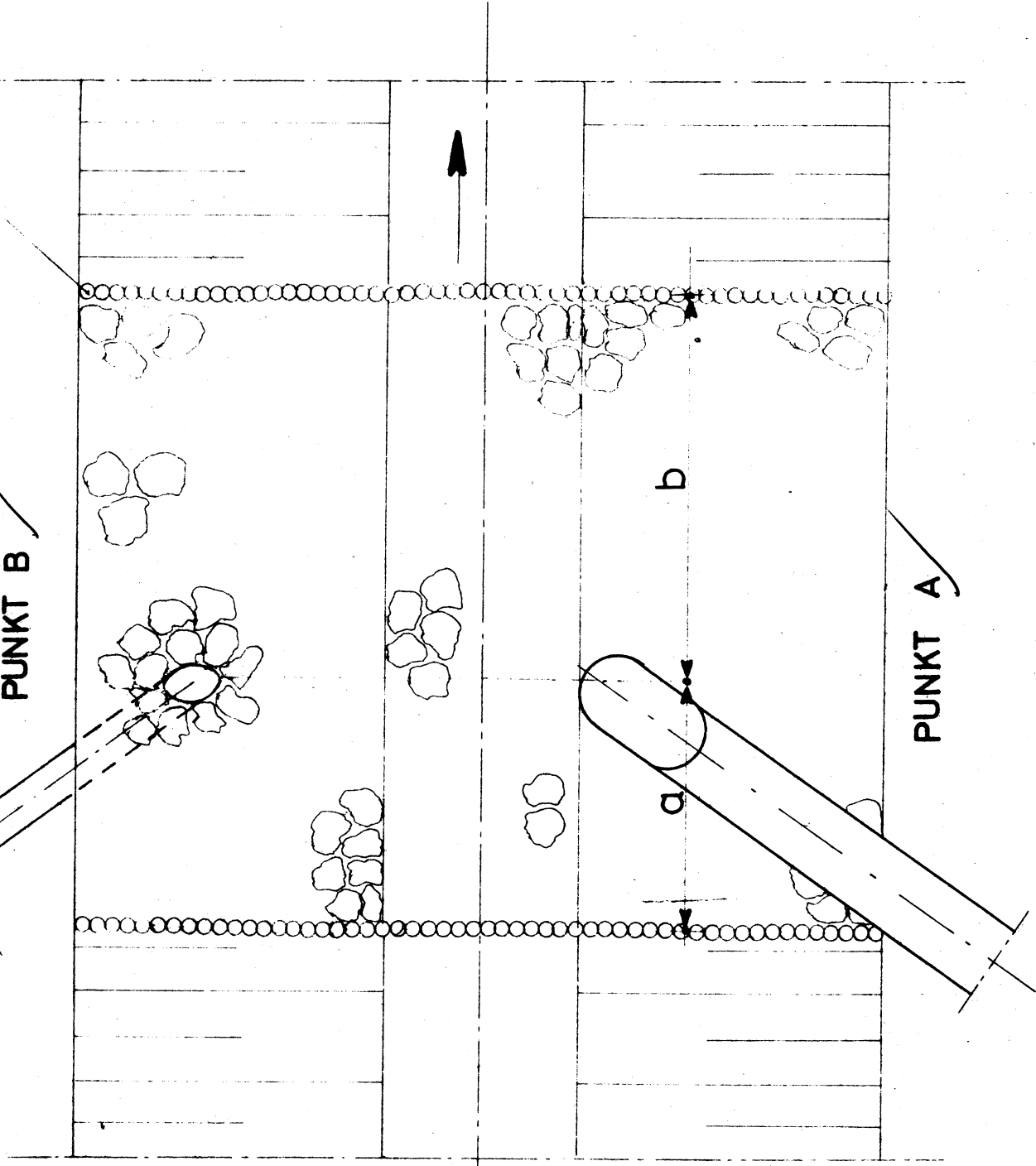
SCHNITT



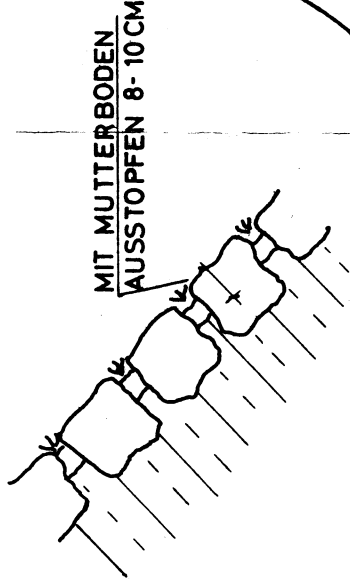
HOLZPFÄHLE INPRÄGNIERT  $\varnothing$  0.08 - 0.10 cm  
CA 1.00 - 1.20 m LG.

DRAUFSICHT

PUNKT B



DETAIL 1



Abschrift  
Gesehen  
Aachen, den 0.9.78  
Staatliches Amt  
für Wasser- und Abfallwirtschaft  
gez. Unterschrift

Wasser- und bauaufsichtlich geprüft  
Düren, den 5. Sep. 1978  
Kreis Düren  
Der Oberkreisdirektor  
- Tiefbauamt -  
Bauingenieur

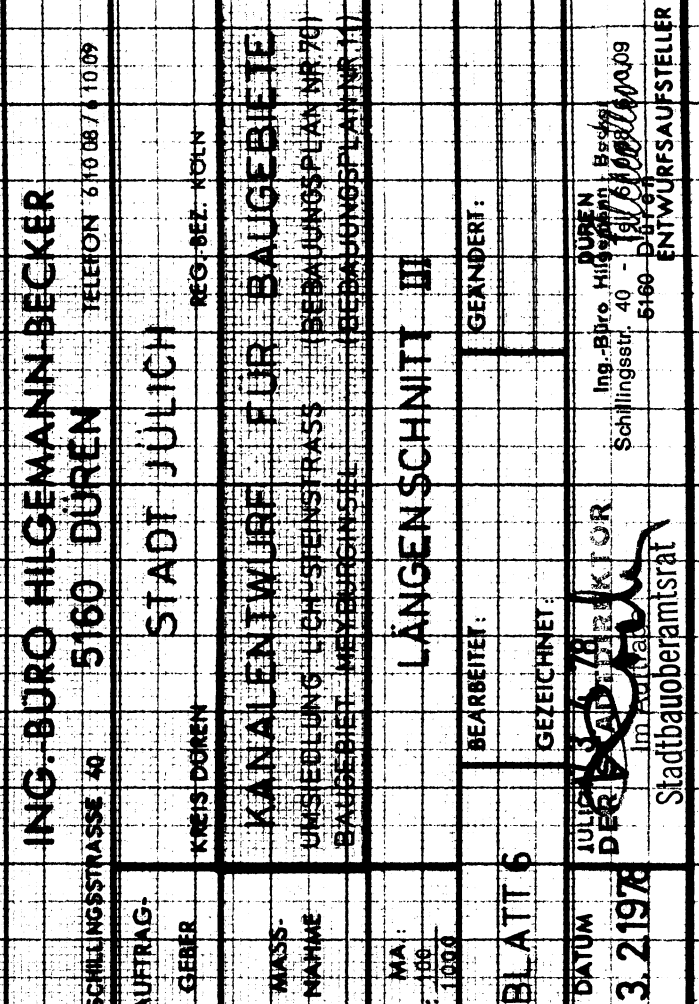
KANALEINMÜNDUNG

	a	b	Dimension	Gefälle
A	3.00	5.00	1.000	1:1.000
B	2.00	3.00	300	1:290
C				1:

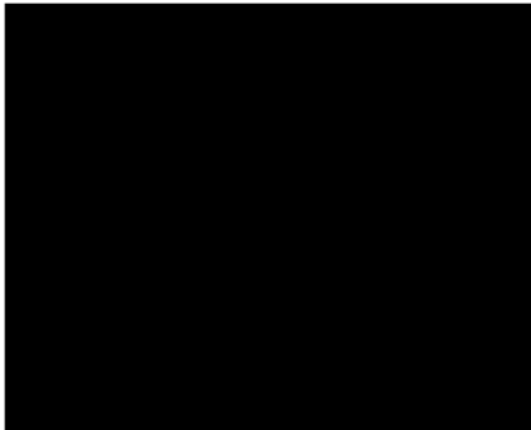
ING.-BÜRO HILGEMANN-BECKER IM KIRCHFELD 13 LENDERSDORF-DÜREN TELEFON 6 10 08 / 6 10 09	
AUFTRAG- GEBER	STADT JÜLICH KREIS DÜREN REG.-BEZ. KÖLN
MASS- NAHME	KANALENTWURF FÜR BAUGEBIETE: UMSIEDLUNG LICH-STEINSTRASS (BEBAUUNGSPLAN NR. 70) BAUGEBIET MEYBURGINSEL (BEBAUUNGSPLAN NR. 11)
MA:	AUSLAUFBAUWERK
BLATT 28	BEARBEITET: GEZEICHNET: JÜLICH 13.4.78
DATUM 23.2.1978	DER STADTDIREKTOR Im Auftrage JÜLICH 13.4.78 LENDERSDORF Ing.-Büro Hilgmann/Becker Schillingstr. 40 - Tel. 610 08/09 5160 DÜREN BAUWURFSAUFSTELLER

Stadtbauberater





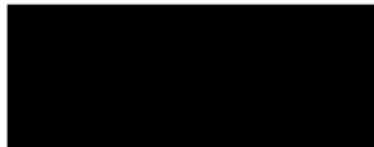




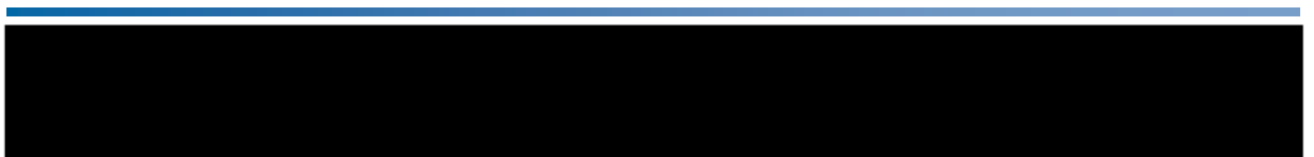
Datum: 11.12.2023

**Gutachtliche Stellungnahme über betontechnologische  
Untersuchungen am RRK An der Leimkaul in Jülich  
B 6518-5**

Auftraggeber:



Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 84 Seiten.



## Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINES.....	4
2	UNTERLAGEN .....	5
3	ORTSTERMINE.....	5
4	BAUWERKS- UND LABORUNTERSUCHUNGEN .....	6
4.1	Allgemeines .....	6
4.2	Inaugenscheinnahme .....	8
4.3	Betondeckungsmessungen .....	8
4.4	Erstellung von Inspektionsöffnungen.....	10
4.5	Bestimmung von Karbonatisierungstiefen .....	10
4.6	Bohrmehlentnahmen .....	10
4.6.1	Bestimmung des Sulfatgehaltes .....	11
4.6.2	Bestimmung des Chloridgehaltes .....	11
4.7	Bohrkernentnahmen .....	11
4.7.1	Makroskopie der Bohrkern.....	12
4.7.2	Bestimmung der Betondruckfestigkeit .....	12
4.7.3	Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit.....	12
5	ERGEBNISSE.....	13
5.1	Allgemeines .....	13
5.2	Ergebnisse der Inaugenscheinnahme .....	13
5.3	Betondeckungsmessungen .....	20
5.4	Untersuchungsstellen .....	21
5.5	Bohrkernprüfungen .....	22
6	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE .....	23
7	INSTANDSETZUNGSKONZEPT .....	27
8	BESTIMMUNG DER RESTNUTZUNGSDAUER.....	30



9	ZUSAMMENFASSUNG .....	33
10	LITERATUR .....	35
11	ANHANG A: LAGEPLAN .....	37
12	ANHANG B: AUFNAHMEN DER PRÜF- UND ENTNAHMESTELLEN .....	40
13	ANHANG C: ERGEBNISSE DER BETONDECKUNGSMESSUNGEN .....	49
14	ANHANG D: ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGSSTELLEN .....	52
15	ANHANG E: ERGEBNISSE DER BOHRKERNPRÜFUNGEN .....	67

## 1 ALLGEMEINES

\_\_\_\_\_ wurde am 14.11.2022 vom \_\_\_\_\_ auf der Grundlage unseres Angebotes A 2022-68 vom 31.08.2022 per Ingenieurvertrag \_\_\_\_\_ mit der Durchführung betontechnologischer Untersuchungen im Zuge der Ist-Zustandserfassung an fünf Sonderbauwerken des \_\_\_\_\_ sowie der Erarbeitung von Instandsetzungskonzepten beauftragt.

Auftragsgemäß umfasste das Untersuchungsprogramm gemäß unserem Angebot A 2022-68 vom 31.08.2022 sowie unserer schriftlichen Ergänzungen im Schreiben B-6518 vom 01.02.2023 je Bauwerk die folgenden Positionen:

*Pos. 1: Zustandserfassung des Bestands und Bewertung der materiellen Untersuchungen*

*Pos. 2: Durchführung und Dokumentation der mat. Untersuchungen:*

- *Pos. 2.1: Gestellung Fahrgerüst/sonst. Gerüste*
- *Pos. 2.2: Betondeckungsmessungen*
- *Pos. 2.3: Bestimmung der Karbonatisierungstiefe*
- *Pos. 2.4: Entnahme von Bohrmehlproben:*
  - *Pos. 2.4.1: Chloridanalyse aus Bohrmehlprobe*
  - *Pos. 2.4.2: Sulfatanalyse aus Bohrmehlprobe*
- *Pos. 2.5: Entnahme von Bohrkernen:*
  - *Pos. 2.5.1: Makroskopie Bohrkern*
  - *Pos. 2.5.2: Bestimmung der Betondruckfestigkeit*
- *Pos. 2.6: Bewertung Korrosionszustand der Armierung*
- *Pos. 2.7: Oberflächenzugfestigkeit (Bestimmung am Bohrkern)*
- *Pos. 2.8: Dokumentation der Messergebnisse*

*Pos. 3: Ausarbeitung Instandsetzungskonzept*

*Pos. 4: Bestimmung der Restnutzungsdauer*

*(Pos. 5: Planungsbegleitende Unterstützung)*

Über unsere Objektuntersuchungen im Zuge der Bearbeitung der Positionen 1 bis 4 zum Bauwerk **RRK An der Leimkaul** in Jülich wird in der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme berichtet.

## 2 UNTERLAGEN

Mit einer Mail bezüglich der Bitte um Angebotsabgabe von [REDACTED] wurden uns mit Datum vom 12.07.2022 neben einem auszufüllenden Leistungsverzeichnis Planunterlagen zu den fünf Bauwerken zugesandt. Zum Bauwerk RÜB Wurmstraße war folgende Unterlage enthalten:

- A) Datei RRK-An-der-Leimkaul\_Planunterlagen.pdf (Lagepläne, Grundrisse und Schnitte – 3 Seiten)

Darüber hinaus wurde uns durch [REDACTED] mit Mail vom 10.11.2022 ein Link zum Download eines ZIP-komprimierten Ordners zur Verfügung gestellt. Dieser enthielt zum Bauwerk RRK An der Leimkaul folgende zusätzliche Unterlagen:

- B) 78 JPG-Dateien (Aufnahmen aus den Bauwerken RÜ1, RÜ2 und Sammelbauwerk)
- C) 5 Ordner und 5 weitere Einzeldateien (Ergebnisse einer Kamerabefahrung)

Die für die Erstellung dieser Gutachtlichen Stellungnahme herangezogenen allgemein zugänglichen Unterlagen sind in Kapitel 10 zusammengestellt.

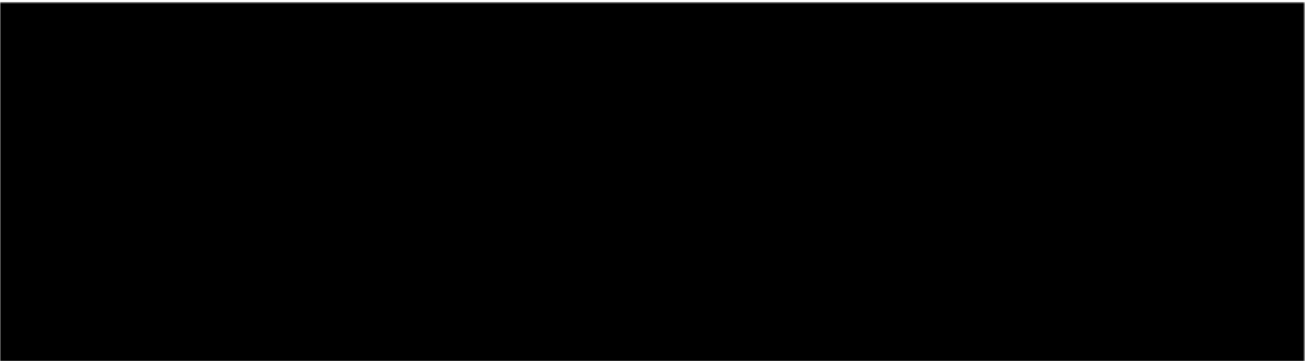
## 3 ORTSTERMINE

Zur Bearbeitung der Position 1 der Leistungsbeschreibung hat am 14.12.2022 ein Termin zur Besprechung des weiteren Vorgehens inkl. kurzer Inaugenscheinnahme aller fünf Bauwerke stattgefunden. Bei diesem Termin waren die folgenden Personen anwesend:

[REDACTED]



Die Bauwerksuntersuchungen am RRK An der Leimkaul haben am 23.08.2023 und 24.08.2023 stattgefunden. Bei diesen Terminen waren die folgenden Personen anwesend:



Die bei diesen Ortsterminen durchgeführten Bauwerksuntersuchungen und Probennahmen werden in Kapitel 4 beschrieben.

## **4 BAUWERKS- UND LABORUNTERSUCHUNGEN**

### **4.1 Allgemeines**

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine Beschreibung der bei den Bauwerks- und Laboruntersuchungen angewendeten Untersuchungsmethoden. Die Ergebnisse der Bauwerks- und Laboruntersuchungen sind im nachfolgenden Kapitel 5 enthalten.

Im Zuge der Bearbeitung von Position 1 der Leistungsbeschreibung „Zustandserfassung des Bestands und Bewertung der mat. Untersuchungen“ hat [REDACTED] dem [REDACTED] am 01.12.2023 ein Anschreiben mit Vorschlägen zu Mengenänderungen von einzelnen Untersuchungsmethoden und Probennahmen zugesendet, die per Mail vom 02.02.2023 durch [REDACTED] bestätigt wurden. Daraus ergaben sich die in den nachfolgenden Abschnitten genannten Mengen. Die seitens [REDACTED] in diesem Schreiben formulierten Empfehlungen basierten auf unserem Ortstermin am 14.12.2022 sowie der Sichtung der zur Verfügung gestellten Unterlagen (A bis C).

Die Untersuchungen beschränkten sich im vorliegenden Fall auf drei Teilbauwerke, zwei Regenüberlauf-Bauwerke und ein Sammelbauwerk. Die drei untersuchten Teilbauwerke wurden bauseits und z.T. ergänzend durch uns mit RÜ1, RÜ2 und S benannt. Im folgenden Bild 1 ist in einer Übersichtsaufnahme von Google-Maps die jeweilige Bezeichnung und Lage der Teilbauwerke dargestellt.



**Bild 1:** Darstellung der Bezeichnung und Lage der 3 Teilbauwerke (Aufnahme aus Google-Maps, abgerufen am 29.08.2023)

Die Wände und Decken der untersuchten Teilbauwerke bestehen jeweils aus Stahlbeton. Die sichtbaren Bodenflächen aller Bauwerke, bestehend aus Rinnen und Schwellen, bestehen teilweise aus Beton und teilweise aus Kanalklinkern.

Es wurden zum Teil mehrere unterschiedliche Prüfungen und Entnahmen an einer Stelle durchgeführt. Diese wurden jeweils zu Untersuchungsstellen U zusammengefasst. Im vorliegenden Fall enthielten die Untersuchungsstellen U LRÜ1-1 bis U LRÜ1-4 in Bauwerk RÜ1 jeweils eine Bohrmehlentnahme, die Erstellung einer Inspektionsöffnung sowie eine Prüfung der Karbonatisierungstiefe. An Untersuchungsstelle U LRÜ1-5 wurde nur Bohrmehl entnommen. Die in Bauwerk RÜ2 erstellten Untersuchungsstellen U LRÜ2-1, U LRÜ2-2 und U LRÜ2-5 enthielten jeweils eine Bohrmehlentnahme, die Erstellung einer Inspektionsöffnung sowie die Prüfung der Karbonatisierungstiefe und U LRÜ2-3 und U LRÜ2-4 jeweils nur eine Bohrmehlentnahme. Die in Bauwerk S erstellten Untersuchungsstellen U LS-1 bis U LS-3 enthielten jeweils eine Bohrmehlentnahme, die Erstellung einer Inspektionsöffnung sowie die Prüfung der Karbonatisierungstiefe und U LS-4 und U LS-5 eine Bohrmehlentnahme sowie die Prüfung der Karbonatisierungstiefe.

Den Lageplänen in den Bildern A1 bis A3 im Anhang A ist die Lage dieser Untersuchungsstellen sowie der Bohrkernentnahmestellen und Betondeckungsmessungen zu entnehmen. Eine Auswahl der Aufnahmen der Untersuchungs- und Bohrkernentnahmestellen ist in den Bildern B1 bis B24 in Anhang B enthalten.

## **4.2 Inaugenscheinnahme**

Die untersuchten Teilbauwerke wurden begangen und vollflächig in Augenschein genommen. Dabei wurden insbesondere die Stahlbetonbauteile (Wände und Decken) auf visuell erkennbare Schäden untersucht.

Zudem wurden auch die Bereiche mit Kanalklinkern visuell untersucht.

## **4.3 Betondeckungsmessungen**

Die Betondeckung der Bewehrung wurde zerstörungsfrei mittels des Betondeckungsmessgerätes Proceq Profometer PM 650 in Anlehnung an /1/ untersucht. Dieses Gerät erlaubt die Durchführung von Linienscans.

Erfasst werden dabei alle leitfähigen Metalle, d.h. auch nicht magnetisierbare Metalle, jedoch nur im oberflächennahen Bereich bis rd. 80 mm Tiefe. Bei diesen Linienscans werden jeweils die orthogonal zur Scanrichtung verlaufende Bewehrung und ihre Betondeckung in Abhängigkeit eines vorgegebenen Bewehrungsdurchmessers über die Weglänge des Scans aufgezeichnet.

Messungen der Betondeckung erfolgten an den Stahlbetonbauteilen (Wände und Deckenuntersichten).

In Bauwerk RÜ1 wurden 9 Scans in horizontaler Richtung (Scans LRÜ1-1 bis LRÜ1-9), 8 Scans in vertikaler Richtung (Scans LRÜ1-15 bis LRÜ1-22) an Wänden, 3 Scans in Längsrichtung (Scans LRÜ1-10 bis LRÜ1-12), 2 Scans in Querrichtung (Scans LRÜ1-13 und LRÜ1-14) an der Deckenuntersicht sowie jeweils ein Scan beidseitig eines Überfallwehrs aus Stahlbeton (Scans LRÜ1-23 und LRÜ1-24) durchgeführt.

In Bauwerk RÜ2 wurden 5 Scans in horizontaler Richtung (Scans RÜ2-1 bis RÜ2-4 und RÜ2-12), 3 Scans in vertikaler Richtung (Scans RÜ2-9 bis RÜ2-11) an Wänden, 2 Scans in Längsrichtung (Scans RÜ2-8 und RÜ2-13) und 3 Scans in Querrichtung (Scans RÜ2-5, RÜ2-6 und RÜ2-14) an der Deckenuntersicht durchgeführt.

In Bauwerk S wurden 6 Scans in horizontaler Richtung (Scans LS-1 bis LS-6), 6 Scans in vertikaler Richtung (Scans LRÜ2-9 bis LRÜ2-14) an Wänden und je ein Scan in Längs- und Querrichtung an der Deckenuntersicht (Scans LRS-7 und LS-8) durchgeführt.

Die Gesamtlänge aller durchgeführten Scans beträgt rd. 231 m.

Für die Auswertung der Scans ist die Eingabe eines Bewehrungsdurchmessers erforderlich. Diese wurden auf Basis von in Inspektionsöffnungen tatsächlich gemessenen Stabdurchmessern gewählt. Demnach wurde in den Bauwerken RÜ1 und RÜ2 bei den Scans an Wänden ein Bewehrungsdurchmesser von 6 mm und bei den Scans an Decken ein Bewehrungsdurchmesser von 20 mm und im Bauwerk S sowohl bei den Scans an Wänden als auch an der Decke ein Bewehrungsdurchmesser von 10 mm zugrunde gelegt. Sofern am Objekt tatsächlich vorhandene Bewehrungsstäbe geringere Durchmesser aufweisen, wird die gemessene Betondeckung damit überschätzt, im Fall am Objekt vorliegender größerer Bewehrungsdurchmesser unterschätzt.

Bei Bewehrungsscans ist grundsätzlich folgendes zu beachten:

Bei Bewehrungsscans bestehen verfahrensbedingt grundsätzlich Messunsicherheiten. Dies betrifft nicht nur von der Software zugeordnete Betondeckungen, sondern explizit auch die Detektion von Bewehrungsstäben. So kann es je nach Bewehrungsgeometrie durchaus vorkommen, dass Bewehrungsstäbe vom Messgerät gar nicht erfasst werden oder aber zwei eng beieinander liegende Stäbe nur als ein Stab erkannt werden. Auch ist die Fehlinterpretation von Messsignalen als Bewehrungsstab möglich.

Angaben zu Bewehrungsgeometrie, Anzahl an Bewehrungsstäben und Bewehrungsdurchmesser aus derartigen zerstörungsfreien Messungen müssen daher z.B. im Zuge einer statischen Nachrechnung mit entsprechender Sorgfalt und entsprechenden Sicherheiten behandelt werden.

Abschließend sei angemerkt, dass die vorliegende Auswertung der gemessenen Betondeckungen primär vor dem Hintergrund der Bewertung des Korrosionsrisikos der Bewehrung erfolgte. Die durchgeführte Auswertung ist nicht gleichzusetzen mit der Bewertung der Betondeckung gemäß DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach EC 2“ /2/.

#### **4.4 Erstellung von Inspektionsöffnungen**

An insgesamt 10 Stellen wurden Inspektionsöffnungen erstellt (Untersuchungsstellen U LRÜ1-1 bis U LRÜ1-4, U LRÜ2-1, U LRÜ2-2 und U LRÜ2-5 und U LS-1 bis U LS-3). Dafür wurden jeweils einzelne Bewehrungsstäbe mittels Stemmen freigelegt. An diesen wurden Durchmesser und Betondeckung bestimmt und der Korrosionszustand bewertet sowie zum Teil als Folge von Korrosion erfolgte Querschnittsverluste abgeschätzt.

#### **4.5 Bestimmung von Karbonatisierungstiefen**

Zur Messung der Karbonatisierungstiefe wurden an den 10 Inspektionsöffnungen sowie an 2 Bohrmehlentnahmestellen (Untersuchungsstellen U LS-4 und U LS-5) die frisch in den Beton eingebrachten Bruchstellen mit Druckluft ausgeblasen und die Stellen anschließend mit einer 1-%-igen Phenolphthaleinlösung besprüht. Die Indikatorlösung färbt sich in Abhängigkeit des pH-Wertes des Untergrundes entweder violett oder zeigt keine Verfärbung. Violette Bereiche weisen einen pH-Wert größer als 9 auf und sind somit noch nicht bzw. nicht vollständig karbonatisiert.

#### **4.6 Bohrmehlentnahmen**

Zur Bestimmung tiefenabhängiger Sulfat- und Chloridgehalte wurde an insgesamt 15 Stellen tiefengestaffelt Bohrmehl aus drei unterschiedlichen Tiefenlagen (0 – 15 mm, 15 – 30 mm und 30 – 45 mm) entnommen (insgesamt 45 Bohrmehlproben an Untersuchungsstellen U LRÜ1-1 bis U LRÜ1-5, U LRÜ2-1 bis U LRÜ2-5 und U LS-1 bis U LS-5). Es wurde ein Bohrer mit einem Durchmesser von 18 mm verwendet.

Sulfat- und/oder Chloridgehalte wurden an ausgewählten Bohrmehlproben bestimmt. Zum Teil wurden in der Analyse einzelne Tiefenlagen ausgelassen, da die Ergebnisse an diesen Proben weniger Aussagekraft für das Gesamtergebnis geliefert hätten.

Die ausgewählten Bohrmehlproben wurden zur Bestimmung von Sulfatgehalten ins [REDACTED] und zur Bestimmung von Chloridgehalten in die [REDACTED] eingeliefert.

#### **4.6.1 Bestimmung des Sulfatgehaltes**

Die Bestimmung des Gesamtsulfatgehalts an 39 ausgewählten Bohrmehlproben erfolgte nach DIN EN ISO 14720-1 /3/.

Als Referenz wurde zudem der Sulfatgehalt an der Unterseite eines ausgewählten Bohrkerns je Bauwerk ebenfalls nach DIN EN ISO 14720-1 /3/ bestimmt. In dieser Tiefe sollte jeweils der Ausgangssulfatgehalt des Betons vorliegen.

#### **4.6.2 Bestimmung des Chloridgehaltes**

Der Gesamtchloridgehalt an 37 ausgewählten Bohrmehlproben wurde mittels potentiometrischer Titration in Anlehnung an Heft 401 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton /4/ bestimmt. Die Umrechnung von M.-%/Beton auf M.-%/Zement erfolgte durch Annahme eines Zementgehaltes von 1/7 des Betons (in Masseprozent)

#### **4.7 Bohrkernentnahmen**

An insgesamt 9 Stellen (3 je Bauwerk) wurden mittels Nassbohren mit Stativ Bohrkerne entnommen. Der Innendurchmesser der verwendeten Bohrkronen betrug rd. 80 mm.

Die Bohrkerne wurden mit BK LRÜ1-1 bis BK LRÜ1-3, BK LRÜ2-1 bis BK LRÜ2-3 und BK S-1 bis BK LS-3 bezeichnet.

Im Zuge der Entnahmen von den Bohrkernen BK LRÜ1-3 und BK LRÜ2-1 brachen diese in einer so geringen Tiefe, dass an diesen Bohrkernen nicht beide geplanten Prüfungen (Druck- und Oberflächenzugfestigkeit) durchgeführt werden konnten. Diese Bohrkern wurden mit BK LRÜ1-3a und BK LRÜ2-1a bezeichnet und es wurde jeweils noch ein zweiter Bohrkern BK LRÜ1-3b und BK LRÜ2-1b in unmittelbarer Nähe entnommen.

#### **4.7.1 Makroskopie der Bohrkern**

Nach Einlieferung der Bohrkern ins Labor von [REDACTED] wurden die entnommenen Bohrkern gereinigt, vermessen und auf Besonderheiten hin untersucht. Zudem wurden sie allseitig fotografiert.

#### **4.7.2 Bestimmung der Betondruckfestigkeit**

An den Bohrkern erfolgte eine Bestimmung der Rohdichte und Druckfestigkeit am [REDACTED]. Dazu wurden die Bohrkern auf ein Verhältnis von  $h/d \approx 1$  (gemäß /5/) abgelängt und die Stirnseiten planparallel geschliffen.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit der Bohrkern erfolgte an den erstellten Prüfkörpern nach DIN EN 12504 1: 2021-02 /5/ mit einer Prüfmaschine des Typs FTS 3000/1 Alpha 4 und einer Belastungsgeschwindigkeit von 3,0 kN/s.

Scheiben der obersten rd. 2 cm der Bohrkern wurden [REDACTED] zurückgegeben und dienten als Prüfkörper für die Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit.

#### **4.7.3 Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit**

Die Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit des Betons erfolgte in Anlehnung an die Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Ausgabe 2001, Teil 3, Anhang C /6/ durch Abreißprüfungen gemäß DIN EN 1542 „Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch“ /7/.



Dazu wurden die Bohrkern auf einer ebenen Platte horizontal ausgerichtet und aufgeklebt, um so eine waagerechte Prüffläche zu schaffen.

Die anschließende Prüfung umfasste die folgenden Schritte:

- Leichtes Anschleifen der Prüffläche (Betonoberseite) mit einem Winkelschleifer mit Topfscheibe (Reinigen der Oberfläche)
- Entfernen von Staub und Verunreinigungen (Abblasen der Prüfstelle)
- Aufkleben von Stahlstempeln ( $\varnothing$  50 mm) auf die Oberfläche mit einem 2-komponentigen pastösen Reaktionsharzkleber
- Durchführen einer einaxialen Zugprüfung mit einer Laststeigerungsrate von 100 N/s (Prüfgerät: Freundl F10D-Easy)

Anschließend wurden die Bruchflächenanteile visuell bewertet.

## **5 ERGEBNISSE**

### **5.1 Allgemeines**

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Bauwerks- und Laboruntersuchungen dargestellt. Eine verfahrensübergreifende Bewertung der Ergebnisse erfolgt im nachfolgenden Kapitel 6.

### **5.2 Ergebnisse der Inaugenscheinnahme**

#### **Bauwerk RÜ1**

Im Bauwerk **RÜ1** war an einer Wand eine großflächige Abplatzung mit freiliegender korrodierter Bewehrung festzustellen. Darüber hinaus waren mehrere lokale Abplatzungen mit freiliegender Bewehrung an den Wänden und insbesondere an dem Überfallwehr aus Stahlbeton vorhanden. Bild 2 zeigt Beispiele für die großflächige Abplatzung sowie weitere Abplatzungen an Wänden.



Bild 2: Beispiele für Abplatzungen mit freiliegender korrodierter Bewehrung an Wänden von Bauwerk **RÜ1**

An der Deckenuntersicht von Bauwerk **RÜ1** lag insbesondere im Bereich eines Einstiegs in einer großflächigen Abplatzung korrodierte Bewehrung in diagonalen Richtung frei. Darüber hinaus wurden weitere lokale Abplatzungen mit freiliegender Bewehrung an der Deckenuntersicht festgestellt. Bild 3 zeigt Beispiele für die großflächige Abplatzung sowie weitere Abplatzungen an der Deckenuntersicht.



Bild 3: Beispiele für Abplatzungen mit freiliegender korrodierteter Bewehrung an der Deckenuntersicht von Bauwerk **RÜ1**

In einem Bereich der Deckenuntersicht von Bauwerk **RÜ1** wurde zudem auf einer Fläche von rd. 50 x 50 cm<sup>2</sup> kuppenartig freiliegende Gesteinskörnung und sehr weicher Beton bis in eine Tiefe von einigen Zentimetern festgestellt. Bild 4 zeigt Aufnahmen dieses Bereichs.





Bild 4: Beispiele für bereichsweise an der Deckenuntersicht von Bauwerk **RÜ1** vorhandene kuppenartig freiliegende Gesteinskörnung und minderfester Beton

Kanalklinker sowie die Fugen der Rinnen und Schwellen von Bauwerk **RÜ1** wirkten insgesamt in einem guten Zustand. Größere Schäden waren visuell nicht erkennbar.

### Bauwerk RÜ2

An den Wänden von Bauwerk **RÜ2** wurde nur eine einzige Abplatzung mit einem freiliegenden, korrodierten Bewehrungsstab (Doppelstab) festgestellt. Diese befand sich oberhalb eines Durchlasses. Bild 5 zeigt diese Abplatzung.



Bild 5: Aufnahmen einer Abplatzung an einer Wand von Bauwerk **RÜ2**

Auch an der Deckenuntersicht von Bauwerk **RÜ2** lagen nur sehr vereinzelt Abplatzungen mit freiliegender korrodierteter Bewehrung vor. Allerdings löste sich im Zuge der Erstellung einer Inspektionsöffnung eine vorhandene großflächige Hohlstelle und führte zu einer größeren Abplatzung an der Decke. Die Hohlstelle erstreckte sich zudem noch über den abgeplatzten Bereich hinaus. Bild 6 zeigt Beispiele für die großflächige Abplatzung und Hohlstelle sowie weitere lokale Abplatzungen an der Deckenuntersicht.



Bild 6: Beispiele für Abplatzungen freiliegender, korrodierteter Bewehrung und Hohllagen an der Decke von Bauwerk **RÜ2**

Auch die Kanalklinker sowie die Fugen der Rinnen und Schwellen von Bauwerk **RÜ2** wirkten insgesamt in einem guten Zustand.



### **Bauwerk S (Sammelbauwerk)**

An einer Wand von Bauwerk **S** lagen in mehreren Abplatzungen vertikal verlaufende, korrodierte Bewehrungsstäbe frei. Weitere Abplatzungen an Wänden waren nur lokal vereinzelt vorhanden. Bild 7 zeigt Beispiele für die freiliegende Bewehrung an einer Wand mit mehreren Abplatzungen sowie in weiteren lokalen Abplatzungen.



**Bild 7:** Beispiele für Abplatzungen mit freiliegender, korrodierte Bewehrung an Wänden von Bauwerk **S**

An der Deckenuntersicht von Bauwerk **S** wurde nur ein einzelner freiliegender Bewehrungsstab in Querrichtung des Bauwerks in einer Abplatzung festgestellt. Bild 8 zeigt diese Abplatzung.



Bild 8: Abplatzung mit freiliegender, korrodierender Bewehrung an der Decke von Bauwerk **S**

An einer Wand unterhalb einer Einstiegsöffnung von Bauwerk **S** war auf einer größeren Fläche kuppenartig freiliegende Gesteinskörnung festzustellen. Bild 9 zeigt diesen Bereich.



Bild 9: Bereich mit kuppenartig freiliegender Gesteinskörnung an einer Wand von Bauwerk **S**

Der Kanalklinker, der die Rinnen und Schwellen von Bauwerk **S** bildet, war zu einem großen Teil abgängig und fehlte insbesondere in der Mitte des Bauwerks schon auf größerer Fläche. Die abgelösten Kanalklinker selber wirkten allgemein noch intakt, sodass die Ursache für die Abgängigkeit in mangelhafter Qualität des Fugen- und Bettungsmörtels zu liegen scheint. Bild 10 zeigt beispielhaft Bereiche mit abgängigen bzw. fehlenden Kanalklinkern.





**Bild 10:** Beispiele für Bereiche mit abgängigen bzw. fehlenden Kanalklinkern an den Rinnen und Schwellen von Bauwerk **S**

### 5.3 Betondeckungsmessungen

Die Ergebnisse der Betondeckungsmessungen sind in grafisch ausgewerteter Form in den Bildern C1 bis C3 im Anhang C dargestellt.

Die Messergebnisse der Linienscans wurden derart ausgewertet, dass jeweils die auf einer Messlänge von 20 cm gemessene mittlere Betondeckung bestimmt wurde und anhand einer Betondeckungsklasse farblich skaliert im Linienscan dargestellt wurde.

Die für die Darstellung der Betondeckungsscans verwendete Farbskalierung reicht von  $\leq 5$  mm (rot) bis  $>50$  mm (violett). Eine Legende für diese Farbskalierung ist in den Bildern C1 bis C3 in Anhang C enthalten. In weiß dargestellten Bereichen wurde keine Bewehrung detektiert.

Bei nassen oder rauen bzw. unebenen Betonoberflächen ist es unter Umständen möglich, dass der Wegaufnehmer des Betondeckungsmessgeräts nicht konstant mitläuft. So möglicherweise entstandene Wegverluste wurden jeweils über die Länge eines Scans verschmiert ausgeglichen, indem die Wegkoordinate eines Messsignals jeweils mit dem Faktor zwischen Weglänge eines Scans und Soll-Länge multipliziert wurde.

#### 5.4 Untersuchungsstellen

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Untersuchungsstellen U LRÜ1-1 bis U LRÜ1-5, U LRÜ2-1 bis U LRÜ2-4 und U LS-1 bis U LS-5 sind in tabellarischer Form in den Tabellen D1 bis D15 im Anhang D gegeben.

Für jede Untersuchungsstelle ist in einer Tabelle jeweils eine Übersichtsaufnahme und eine Beschreibung der Lage und des Zustands der Untersuchungsstelle gegeben.

Für die Inspektionsöffnungen werden jeweils die Richtung, der Durchmesser, die Betondeckung sowie der Korrosionszustand jedes freigelegten Stabs angegeben. Zudem wird die Karbonatisierungstiefe angegeben.

Für die Untersuchungsstellen, an denen Bohrmehl entnommen wurde, sind in den Tabellen jeweils die ermittelten Schwefel- und Chloridgehalte je Tiefenlage angegeben.

Entsprechend der Höhe der ermittelten Schwefelgehalte wurden diese in Anlehnung an den beispielsweise in /8/ genannten Schwellenwert wie folgt farblich markiert:

**Grün:** Gesamtschwefelgehalt als  $\text{SO}_3 < 1,0 \text{ M.-%}$

**Rot:** Gesamtschwefelgehalt als  $\text{SO}_3 \geq 1,0 \text{ M.-%}$

Die Referenzbeprobungen an den Unterseiten von den Bohrkernen BK LRÜ1-3b, BK LRÜ2-2 und BK LS-3 ergaben Gesamtschwefelgehalte als  $\text{SO}_3$  von 0,40 M.-% (BK LRÜ1-3b), 0,44 M.-% (BK LRÜ2-2) und 0,57 M.-% (BK LS-3) (vermutlich Ausgangssulfatgehalte des Betons in 103 mm bis 126 mm, 107 mm bis 132 mm bzw. 107 mm bis 132 mm Tiefe).

Entsprechend der Höhe der ermittelten Chloridgehalte wurden diese in Anlehnung an /9/ wie folgt farblich markiert:

<b>Grün:</b>	Chloridgehalt < 0,5 M.-%/Zement
<b>Gelb:</b>	0,5 M.-%/Zement ≤ Chloridgehalt < 1,0 M.-%/Zement
<b>Rot:</b>	Chloridgehalt ≥ 1,0 M.-%/Zement

Nicht analysierte Bohrmehlproben einzelner Tiefenlagen sind in den Tabellen grau hinterlegt.

## 5.5 Bohrkernprüfungen

Die Ergebnisse der Bohrkernprüfungen (Fotografie, Makroskopie, und Oberflächenzugfestigkeit) sind in Anhang E gegeben.

Aufnahmen der Bohrkerns sind in den Bildern E1 bis E11 gegeben.

Die Ergebnisse der Makroskopie können Tabelle E1 entnommen werden. In dieser Tabelle sind Durchmesser und Länge der Bohrkerns sowie die längste Ausdehnung des augenscheinlich größten Gesteinskorns an der Bohrkernmantelfläche (hier als Größtkorn bezeichnet, nicht gleichzusetzen mit dem Größtkorn einer Sieblinie) gegeben. Zudem sind an den Bohrkerns festgestellte Besonderheiten aufgeführt.

Die Maße der für die Druckfestigkeitsprüfungen erstellten Prüfkörper sowie die an diesen bestimmten Rohdichten und Druckfestigkeiten sind in den Tabellen E2 bis E4 getrennt für die drei Teilbauwerke gegeben. In den Tabellen E5 bis E7 sind die Ergebnisse der Prüfung der Oberflächenzugfestigkeiten sowie jeweils eine Beschreibung und eine Aufnahme des Bruchbilds getrennt für die drei Teilbauwerke gegeben.

Im Zuge der Präparation der Prüfkörper wurden die Scheiben für die Prüfung der Oberflächenzugfestigkeiten zum Teil in zu geringer Dicke abgesägt. Dies führte dazu, dass bei sieben von neun geprüften Bohrkerns während der Prüfung kein kompletter Bruch im Beton erreicht wurde, sondern teilweise im Kleber zwischen den Betonscheiben und der Platte, auf der sie aufgeklebt wurden. Die Ergebnisse von fünf dieser Prüfungen müssen daher für eine Auswertung entfallen.



## 6 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

### Bauwerk RÜ1

Die Inaugenscheinnahme von Bauwerk **RÜ1** ergab, dass sowohl an den Wänden als auch an der Deckenuntersicht jeweils eine großflächige Abplatzung mit freiliegender, korrodierter Bewehrung sowie weitere lokale vorhandenen Abplatzungen vorhanden waren. Die Bestimmung der Chloridgehalte an den in **RÜ1** entnommenen Bohrmehlproben ergab keinen Hinweis auf chloridinduzierte Korrosion, da an nur einer Stelle (U LRÜ1-4) in zwei Tiefenlagen gegenüber einem für Beton üblichen Ausgangschloridgehalt erhöhte Gehalte bis 0,47 M.-%/Zement bestimmt wurden. Die Gehalte lagen aber noch knapp unterhalb des Schwellenwertes der TR Instandhaltung /9/. Bei gleichzeitiger Karbonatisierung des Betons wirken erhöhte Chloridgehalte allerdings korrosionsfördernd.

Es ist davon auszugehen, dass die in **RÜ1** bereichsweise festgestellte Bewehrungskorrosion hauptsächlich infolge der Depassivierung der Bewehrung durch Karbonatisierung hervorgerufen wurde. So lagen alle gemessenen Karbonatisierungstiefen (Wertespanne von 5 mm bis 20 mm) höher als die lokal bestimmten, verhältnismäßig niedrigen Betondeckungen von 2 mm bis 15 mm.

Obwohl es beispielsweise in /10/ heißt, dass „die generellen Voraussetzungen für eine Korrosion der Bewehrung infolge Carbonatisierung des Betons [...] bei den ständig feuchten Umgebungsbedingungen für Bauteile im Abwasserbereich nicht gegeben“ sind, scheint im vorliegenden Fall der Zustand des Betons das Eindringen von CO<sub>2</sub> allerdings begünstigt zu haben. Insbesondere eine Stelle an der Decke (U LRÜ1-5) wies lokal eine sehr weiche Konsistenz des Betons auf und die Gesteinskörnung lag hier zum Teil kuppenartig frei. Diese Betonstruktur könnte eine Karbonatisierung begünstigt haben und kann zudem auf einen lokalen Sulfatangriff hindeuten. Ergebnisse der Sulfatanalysen an den in **RÜ1** entnommenen Bohrmehlproben zeigen zwar zum Teil gegenüber dem vermutlichen Ausgangsgehalt von 0,40 M.-% erhöhte Gesamtschwefelgehalte bis 0,81 M.-%, sind aber für sich gesehen kein Hinweis auf eindeutig stattfindende Säurekorrosion. So zeigten die Sulfatanalysen insgesamt einen in gewissen Grenzen schwankenden Sulfatgehalt.

Unabhängig davon, worin die Ursachen für den bereichsweise minderfesten bzw. kiesnestartigen Beton liegen oder welche anderen Bedingungen ein Eindringen von CO<sub>2</sub> in den Beton begünstigt haben können, führte Karbonatisierung vielfach zu Korrosion und infolge dessen zu Abplatzungen der Betondeckung. Querschnittsverluste freiliegender korrodierter Bewehrungsstäbe wurden exemplarisch zu 10 % bis 40 % abgeschätzt.

Die als Rinnen und Schwellen dienenden Aufbauten aus Kanalklinkern schienen im **RÜ1** augenscheinlich ungeschädigt zu sein.

### **Bauwerk RÜ2**

Die vorigen Ausführungen zu Bauwerk RÜ1 können im Wesentlichen gleichermaßen auf Bauwerk **RÜ2** übertragen werden. Auch hier zeigten sich als hauptsächliches Schadensbild Abplatzungen der Betondeckung mit freiliegender, korrodierter Bewehrung und Querschnittsverlusten von 10 % bis 30 %. Eine chloridinduzierte Korrosion ist auch in **RÜ2** auf Basis der bestimmten Chloridgehalte bis 0,28 M.-%/Zement nicht anzunehmen. Bei gleichzeitiger Karbonatisierung des Betons wirken erhöhte Chloridgehalte allerdings korrosionsfördernd.

An einer Stelle (U LRÜ2-1) wurden erhöhte Gesamtschwefelgehalte bis 1,03 M.-% bestimmt. Daher kann hier bereichsweise ein stattgefundener oder stattfindender Sulfatangriff nicht ausgeschlossen werden, gilt aber aufgrund der nur sehr lokal festgestellten erhöhten Gesamtschwefelgehalte zumindest nicht als dominierende Belastung in **RÜ2**. Die übrigen Sulfatgehalte lagen in der Größenordnung des in größerer Tiefe als Ausgangssulfatgehalt zu betrachtenden Gehaltes.

Auch bei **RÜ2** ist es eher das Erreichen der Tiefenlage der Bewehrung durch die Karbonatisierungsfront, was zur Depassivierung der Bewehrung und infolge dessen zur Korrosion und zu Abplatzungen geführt hat. Nicht auszuschließen ist, dass auch hier lokal ein minderfester Beton oder ein Sulfatangriff die Karbonatisierung begünstigt haben können.

Auch die in **RÜ2** vorhandene Kanalklinkern schienen visuell in gutem Zustand zu sein.

### **Bauwerk S (Sammelbauwerk)**

Insgesamt waren auch die Feststellungen in Bauwerk **S** ähnlich zu denen in RÜ1 und RÜ2 mit lokalen Abplatzungen mit freiliegender, korrodierte Bewehrung und lokalen Hinweisen auf Säurekorrosion durch Bereiche mit kiesnestartiger Betonstruktur und zum Teil kuppenartig freiliegender Gesteinskörnung.

Auch lieferten die an den in **S** entnommenen Bohrmehlproben bestimmten Gesamtschwefelgehalte keinen direkten Anlass zur Annahme eines eindeutig stattfindenden oder stattgefundenen Sulfatangriffs, sind aber zum Teil gegenüber dem vermutlichen Ausgangssulfatgehalt von 0,57 M.-% teilweise bis 0,88 M.-% erhöht. Ggf. handelt es sich dabei aber auch nur um Schwankungen in der Betonzusammensetzung, da die übrigen Werte dieses Profils (U LS-4) bei 0,71 bzw. 0,74 M.-% lagen.

Auffälliger hingegen sind die an den in **S** entnommenen Bohrmehlproben bestimmten Chloridgehalte. Zwar sind diese mit bis zu 0,73 M.-%/Zement nicht extrem erhöht, es zeigt sich aber, dass sie in der Tiefe, meist in der zweiten Tiefenlage 15 mm bis 30 mm am höchsten liegen. Denkbar ist, dass ggf. in früheren Jahren eine Chloridbelastung des Bauwerks stattgefunden hat, die aufgrund von Änderungen der Straßenführung oberhalb des Bauwerks oder der Schadstofffracht im Abwasser aktuell nicht mehr gegeben ist, so dass anschließend an der Oberfläche Auswaschungen der Chloride durch chloridfreies bzw. chloridärmeres Wasser stattgefunden haben. Hinweise auf ggf. erfolgte Instandsetzungsmaßnahmen, die den oberflächlich reduzierten Chloridgehalt erklären könnten, haben wir an den Bauteilflächen im Bauwerk oder den entnommenen Bohrkernen nicht feststellen können.

Im Bauwerk **S** ist aufgrund der Bauwerks- und Laboruntersuchungen im Wesentlichen von karbonatisierungsinduzierter Bewehrungskorrosion auszugehen, wobei die doch häufig auch in größerer Tiefe erhöhten Chloridgehalte korrosionsfördernd gewirkt haben dürften. Die bereichsweise geringeren Betondeckungen haben diesen Umstand begünstigt.

Die aus Kanalklinker bestehenden Rinnen, Bermen und Schwellen von Bauwerk **S** sind, anders als in RÜ1 und RÜ2, in einem sehr schlechten Zustand. Vermutlich bedingt durch mangelhafte Qualität des Fugen- und Bettungsmörtels fehlen bereits auf größerer Fläche Kanalklinker und die Konstruktion wirkt allgemein abgängig.



Obwohl aufgrund oben beschriebener Gründe nur fünf Ergebnisse der Bestimmung von Oberflächenzugfestigkeiten in die Auswertung einbezogen wurden, kann auf Basis der ermittelten Druckfestigkeiten von im Mittel 58,8 N/mm<sup>2</sup> für RÜ1, 59,1 N/mm<sup>2</sup> für RÜ2 und 66,1 N/mm<sup>2</sup> für S sowie der Oberflächenzugfestigkeiten von im Mittel 1,90 N/mm<sup>2</sup> für RÜ1 und 3,75 N/mm<sup>2</sup> für RÜ2 mit hoher Wahrscheinlichkeit der Beton aller drei Teilbauwerke der Altbetonklasse A4 nach TR Instandhaltung /9/ zugeordnet werden (s. Bild 11).

	1 Altbetonklasse	2 Druckfestigkeit <sup>1)</sup> [MPa]	3 Oberflächenzugfestigkeit <sup>2)</sup>	
			Mittelwert	kleinster Einzelwert
			[MPa]	[MPa]
1	A1 <sup>3)</sup>	≤ 10	< 0,8	< 0,5
2	A2	> 10	≥ 0,8	≥ 0,5
3	A3	> 20	≥ 1,2	≥ 0,8
4	A4	> 30	≥ 1,5	≥ 1,0
5	A5	> 75	≥ 2,5	≥ 2,0

<sup>1)</sup> Mittelwert der Druckfestigkeit (Bestimmung nach DIN EN 12504-1)  
<sup>2)</sup> Kleinster Einzelwert / Mittelwert (Bestimmung nach DIN EN 1542)  
<sup>3)</sup> Die Technische Regel enthält keine abschließenden Regelungen zur Altbetonklasse A1.

**Bild 11:** Einordnung des Altbetons im Bereich der Instandsetzungsebene nach TR Instandhaltung /9/

Eine kurzfristige Instandsetzung der Stahlbetonbauteile scheint für die drei Teilbauwerke vor dem Hintergrund der bisherigen Schadensausmaße mit eher lokalen Bereichen stattfindender Bewehrungskorrosion und der anzunehmenden oberseitigen statischen Belastung der Konstruktionen, die zumindest vermutlich nicht unter viel befahrenen Verkehrsflächen liegen, aus technischer Sicht nicht zwingend erforderlich zu sein. Da die Schädigungsprozesse jedoch fortschreiten, sollte mittelfristig eine Instandsetzung erfolgen, um die übliche Nutzungsdauer der Bauwerke erreichen zu können (siehe hierzu auch Kapitel 8).

Die Gerinne, Bermen und Schwellen von Bauwerk S sollten allerdings kurzfristig instandgesetzt werden, um Folgeschäden an der Stahlbetonkonstruktion zu vermeiden. Im Zuge dieser Maßnahme sollte kontrolliert werden, wie der Zustand der Betonflächen unterhalb der aus Kanalklinkern bestehenden Bereiche ist.

## 7 INSTANDSETZUNGSKONZEPT

Die TR Instandhaltung /9/ beschreibt für die Instandsetzung von durch Bewehrungskorrosion geschädigten Bauteilen grundsätzlich drei verschiedene Instandsetzungsprinzipien, wobei anschließend zwei der drei Instandsetzungsprinzipien nochmals in unterschiedliche Verfahren unterteilt werden. Die einzelnen Instandsetzungsprinzipien und –verfahren sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Die in den Spalten 1 bis 3 enthaltenen Informationen sind /9/ entnommen. Die in den Spalten 4 und 5 enthaltenen Informationen haben wir unter Berücksichtigung der Inhalte aus /9/ hinzugefügt.

Tabelle 1: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von durch Bewehrungskorrosion geschädigten Bauteilen nach TR Instandhaltung /9/ mit erläuternden Ergänzungen zum Anwendungsfall

Prinzip	Bezeichnung	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Geeignet für	Bemerkung
1	2	3	4	5
7	Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	7.1 Erhöhung bzw. Teilersatz der Betondeckung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton	Erhalt der Passivität (d.h. der Bewehrungsstahl ist noch nicht korrosionsbereit)	Nicht geeignet bei bereits depassivierter Bewehrung
		7.2 Ersatz von chloridhaltigem oder karbonatisiertem Beton	Wiederherstellung der Passivität	Geeignet bei Chlorideinwirkung und Karbonatisierung
		7.4 Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion	Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	Nicht geeignet bei Chlorideinwirkung
		7.6 Füllen von Rissen oder Hohlräumen	Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität bei Karbonatisierung oder bei zu erwartender Chlorideinwirkung	Nicht geeignet bei bereits in den Beton eingedrungenen Chloriden
		7.7 Beschichtung	Erhalt der Passivität (d.h. der Bewehrungsstahl ist noch nicht korrosionsbereit)	Präventive Schutzmaßnahme bei Chlorideinwirkung und Karbonatisierung
		7.8 Lokale Abdeckung von Rissen (Bandagen)	Erhalt der Passivität (d.h. der Bewehrungsstahl ist noch nicht korrosionsbereit)	Geeignet bei Chlorideinwirkung und Karbonatisierung
8	Erhöhung des elektrischen Widerstandes	8.1 Hydrophobierung	Erhalt der Passivität oder Reduzierung der Korrosionsgeschwindigkeit	Nicht geeignet bei Chlorideinwirkung
		8.3 Beschichtung		Anwendung bei hohen Chloridgehalten kritisch
10	Kathodischer Schutz (KKS)	10.1 Anlegen eines elektrischen Potentials	Elektrochemischer Korrosionsschutz	Anwendung vorwiegend bei Chlorideinwirkung

Für alle drei Teilbauwerke kann als lokale Instandsetzungsmaßnahme der Stahlbetonbauteile eine Reparatur von Schadstellen, also freiliegenden, korrodierten Bewehrungsstäben, im Sinne der Anwendung von Verfahren 7.2 (Ersatz von chloridhaltigem oder karbonatisiertem Beton) in Betracht gezogen werden.



Folgende wesentliche Teilschritte wären im Zuge dieser lokalen Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich:

- Abtrag loser und minderfester Betonteile
- Untergrundvorbereitung des Altbetons und der Bewehrung (z.B. durch Strahlen mit festem Strahlmittel, bei kleinen Flächen kann ggf. auch eine Untergrundvorbereitung mittels Nadelpistole erfolgen.) zur Erzielung des Reinheitsgrads der Bewehrung Sa 2 (bei Kleinflächen nach /9/ ggf. St2 ausreichend)
- Reprofilierung der Schadstellen mit Betonersatz nach TR Instandhaltung /9/ (z.B. mit RM-A4) und im Zuge dieser Reprofilierungen sollte, soweit möglich, die Betondeckung unmittelbar über dem Bewehrungsstab geringfügig erhöht werden (durch Ausbildung einer leichten Erhöhung).

Um zukünftig weitere Schäden nach Möglichkeit zu vermeiden und die üblicherweise für solche Bauwerke anzusetzende Restnutzungsdauer zu erreichen (siehe auch nachfolgendes Kapitel), sollte bei allen drei Bauwerken eine flächige Instandsetzung im Sinne von Verfahren 7.2 angestrebt werden, bei der die Betondeckung im Zuge der Applikation von Betonersatz flächig erhöht wird. Zumindest bei **Sammelbauwerk S** sollte im Zuge dieser Instandsetzungsmaßnahmen ein begrenzter Abtrag des chloridbelasteten Betons erfolgen, da bei Belassen der Chloride ansonsten nicht sichergestellt werden kann, dass in Anbetracht der dauerhaft feuchten klimatischen Verhältnisse allein über die Zufuhr neuer Alkalität über den Betonersatz eine Repassivierung der Bewehrung erreicht werden kann. Aufgrund der Größe der Bauwerke sollte, anders als bei anderen von uns in diesem Jahr untersuchten Schachtbauwerken eine Untergrundvorbereitung und anschließende flächige Applikation von Betonersatz, z.B. SRM-A4, mit entsprechender Baustelleneinrichtung sowie Zu- und Abluftanlage möglich sein.

Ohne weitergehende Nachweise ist nach TR Instandhaltung /9/ für die gegebene Exposition eine Mindestdicke der flächigen Aufdickung von 25 mm vorzusehen (vor dem Hintergrund einer angenommenen Restnutzungsdauer von 50 Jahren nach TR Instandhaltung /9/).

Für die vorgenannten Varianten einer Instandsetzung ist die Akzeptanz von bereits durch Korrosion entstandenen Querschnittsverlusten der Bewehrung aus statischer Sicht vorausgesetzt. Sollte dies nicht der Fall sein, müssten im Zuge der Instandsetzung zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen angedacht bzw. korrodierte Bewehrung ersetzt werden.

Je nach mittelfristigen Überlegungen des Bauherrn zur Weiternutzung der drei Teilbauwerke kann es auch eine Option sein, zunächst durch regelmäßige kurze Inaugenscheinnahmen Veränderungen des Ist-Zustands zu verfolgen und bei sich deutlich veränderndem Schadensbild Instandsetzungsmaßnahmen einzuleiten. Zu beachten ist aber, dass sich hierdurch der Instandsetzungsbedarf insgesamt vergrößern kann (durch fortschreitende Bewehrungskorrosion).

## **8 BESTIMMUNG DER RESTNUTZUNGSDAUER**

Die „Baufachlichen Richtlinien Abwasser“ vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen und vom Bundesministerium der Verteidigung /11/ gibt für den Beton von Schächten und Bauwerken abwassertechnischer Anlagen eine technische Lebensdauer von 60 bis 80 Jahren und für sogenannten Kanalklinker 80 bis 100 Jahre an. Allerdings wird in /11/ ebenso beschrieben, dass die Restnutzungsdauer einer abwassertechnischen Anlage neben der technischen Lebensdauer auch auf Grundlage bekannter Zustandsinformationen und sonstiger örtlicher Randbedingungen festzulegen ist.

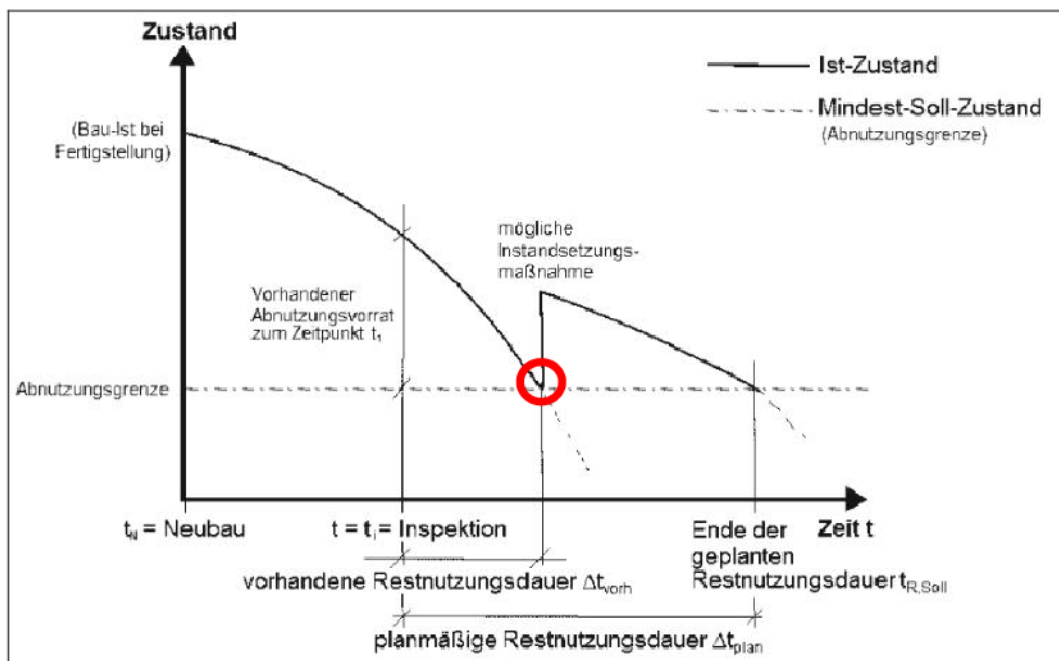
Das Baujahr der Bauwerke wurde uns in der Angebotsanfrage mit dem Jahr 1978 angegeben. Das Ende der technischen Lebensdauer des Betons nach /11/ von mindestens 60 Jahren ist damit bei weitem noch nicht erreicht.

Prognosen einer Restnutzungsdauer von Stahlbetonbauteilen sind auf Grundlage verschiedener Modelle möglich (s. z.B. /12/ und /13/). Diese Modelle beschreiben die Dauer bis zur Initiierung korrosionsauslösender Prozesse an der Bewehrung.

Demnach ist das Ende einer Restnutzungsdauer der Stahlbetonbauteile aller drei Teilbauwerke auf Grundlage der ermittelten Zustandsinformationen und sonstiger örtlicher Randbedingungen in Form festgestellter Bewehrungskorrosion infolge von Karbonatisierung zumindest sehr lokal bereits erreicht.



Betrachtet man die im folgenden Bild 12 dargestellte Abbildung aus der TR Instandhaltung /9/, in der der Instandsetzungszyklus während der Lebensdauer eines Tragwerks, dessen Zustand durch Instandhaltungsmaßnahmen beeinflusst wird, beschrieben wird, befindet man sich bei den Stahlbetonbauteilen lokal in dem rot markierten Bereich und die Abnutzungsgrenze ist erreicht.



**Bild 12:** Instandsetzungszyklus während der Lebensdauer eines Tragwerks, dessen Zustand durch Instandhaltungsmaßnahmen beeinflusst wird (Abbildung aus TR Instandhaltung /9/)

Deutlich ist, dass durch eine Instandsetzungsmaßnahme eine Verlängerung der Restnutzungsdauer erreicht werden kann. Da es im vorliegenden Fall allerdings nur lokal zu Bewehrungskorrosion gekommen zu sein scheint und das Verhältnis der geschädigten Bereiche der drei Teilbauwerke zu den gesamten Stahlbetonkonstruktionen jeweils noch gering ist, kann der Einfluss des Erreichens der Abnutzungsgrenze von Teilbereichen auf die Restnutzungsdauer der Gesamtbauwerke zumindest in Frage gestellt werden.

Im Fall des mangelhaften Zustands der Kanalklinker von Bauwerk S handelt es sich im Kontext der Funktionalität des Gesamteilbauwerks allerdings schon um eine wesentliche Einschränkung, da durch die lokal schadhaften Gerinne das Fließverhalten des Abwassers beeinflusst wird und zudem Folgeschäden an der Konstruktion zu befürchten sind.

Sofern eine Restnutzungsdauer derart erreicht werden soll, dass der obere Wert der in /11/ genannten Spanne von 80 Jahren zielführend erreicht werden kann, sind zumindest im Sammelbauwerk S nicht nur lokale, sondern flächige Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich. Im Fall des Bauwerks S sind dies ein tiefenmäßig begrenzter Betonabtrag und eine flächige Aufdickung mit Betonersatz.

Auch in den Bauwerken RÜ1 und RÜ2 können solche flächigen Maßnahmen, d.h. eine flächige Aufdickung der Betondeckung, zu einem zielsicheren Erreichen einer Gesamtnutzungsdauer von ca. 80 Jahren entsprechend /11/ beitragen.

Als ein vereinfachter Ansatz kann hier für eine überschlägliche Prognose beispielsweise nach /13/ das sogenannte Wurzel-Zeit-Gesetz (Formel 1) angewendet werden:

$$x_{c,d}(t) = k_d * \sqrt{t} \quad (1)$$

mit:

$x_{c,d}(t)$ :	Bemessungswert der Karbonatisierungstiefe [mm] zum Zeitpunkt t [a]
$k_d$ :	Karbonatisierungsrate (zusammengesetzt aus Material-, Einfluss- und Zuverlässigkeitsbeiwerten)
$t$ :	Zeit [a]

Für den Ansatz der größten Karbonatisierungstiefe hat sich nach /9/ üblicherweise das 90 %-Quantil bewährt. Vor dem Hintergrund der die für Bauwerke RÜ1, RÜ2 und S vorliegenden geringen Anzahl an Messwerten (RÜ1: n = 4; RÜ2: n = 3; S: n = 5) ist diese statistische Auswertung sicher nur bedingt anwendbar. In der folgenden Tabelle 2 sind die ermittelten 90 %-Quantilwerte sowie die sich unter Berücksichtigung des bisherigen Alters des Bauwerks von 45 Jahren (angenommenes Baujahr: 1978) ergebenden Karbonatisierungstiefen nach 80 Jahren dargestellt, wobei in Tabelle 2 auf den zusätzlichen Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwertes nach /13/ verzichtet wurde. Der Ansatz eines solchen Teilsicherheitsbeiwertes würde die ermittelten Karbonatisierungstiefen weiter erhöhen.



Tabelle 2: 90 %-Quantilwerte der nach 45 Jahren (Annahme: Baujahr 1978) bestimmten Karbonatisierungstiefen und prognostizierte Karbonatisierungstiefen nach 80 Jahren

Bauwerk	90 %-Quantilwerte der nach 45 Jahren bestimmten Karbonatisierungstiefen	Prognostizierte Karbonatisierungstiefen nach 80 Jahren
1	2	3
RÜ1	18,5 mm (4 Messwerte)	ca. 25 mm
RÜ2	29,2 mm (3 Messwerte)	ca. 39 mm
S	15,5 mm (5 Messwerte)	ca. 21 mm

Vor dem Hintergrund der aktuell gegebenen 90-Quantilwerte der Karbonatisierungstiefen muss bereits aktuell zumindest in Bauwerk RÜ1 von einer größerflächigen Depassivierung der Bewehrung ausgegangen werden. Mit zunehmendem Alter wird der Anteil dieser Fläche erwartungsgemäß bei allen Bauwerken weiter zunehmen. So weist ein nennenswerter Anteil der Bewehrung aller drei Bauwerke entsprechend der stichpunktartig durchgeführten Bewehrungsscans Betondeckungen von unter 20 mm auf.

## 9 ZUSAMMENFASSUNG

\_\_\_\_\_ wurde vom \_\_\_\_\_ mit der Durchführung betontechnologischer Untersuchungen im Zuge der Ist-Zustandserfassung an fünf Sonderbauwerken des \_\_\_\_\_ sowie der Erarbeitung von Instandsetzungskonzepten beauftragt.

In der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme wird über die angewandten Untersuchungsmethoden sowie die dabei erzielten Ergebnisse am **RRK An der Leimkaul** berichtet. Darüber hinaus wird ein Instandsetzungskonzept als Vorschlag für weitere Maßnahmen unterbreitet. Zudem wird die Restnutzungsdauer bestimmt und beschrieben, wie diese durch die Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen verlängert werden kann.

Zu den vier weiteren Sonderbauwerken wurden separate Dokumente erstellt.





## 10 LITERATUR

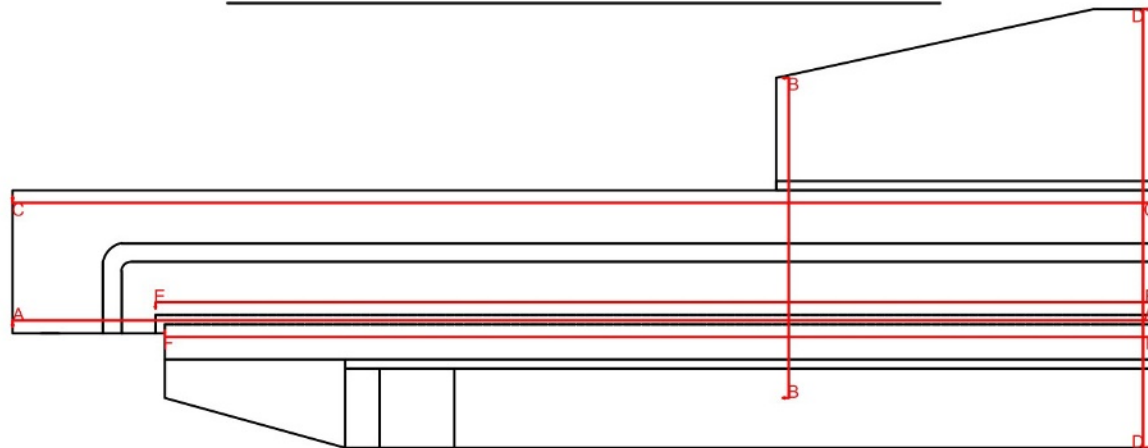
- /1/ Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung - Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen – Merkblatt B 02 – April 2014
- /2/ DBV-Merkblatt: DBV-Merkblatt "Betondeckung und Bewehrung nach EC 2" Fassung 12/2015
- /3/ DIN EN ISO 14720-1: 2013-06: Prüfung keramischer Roh- und Werkstoffe – Bestimmung des Schwefelgehaltes in pulver- und kornförmigen nicht oxidischen keramischen Roh- und Werkstoffen – Teil 1: Infrarotmessverfahren
- /4/ Springenschmid, R.: Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb, Heft 401. Beuth Verlag GmbH Berlin 1989
- /5/ DIN EN 12504-1: 2021-02 Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 1: Bohrkernproben - Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit
- /6/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; DAfStb; DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (RiLi SIB). Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze. Teil 2: Bauprodukte und Anwendung. Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung. Teil 4: Prüfverfahren. Ausgabe Oktober 2001. Berlin : Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2001, inklusive Ergänzungsblättern
- /7/ DIN EN 1542; 07.1999 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch; Deutsche Fassung EN 1542:1999
- /8/ DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 211: Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken in kommunalen Kläranlagen. April 2008
- /9/ Deutsches Institut für Bautechnik Berlin DIBt: Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken (TR Instandhaltung). Fassung Mai 2020
- /10/ DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 168: Korrosion von Abwasseranlagen - Abwasserleitungen. Juni 2010

- /11/ Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen und Bundesministerium der Verteidigung: Baufachliche Richtlinien Abwasser – Arbeitshilfen zu Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaft des Bundes. Stand: Juli 2022
- /12/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie „Instandhaltung von Betonbauteilen“, Teil 5 – Nachweisverfahren zur Ermittlung der Restnutzungsdauer und der Bemessung von Schichtdicken für Betonersatz bei Karbonatisierung und Chlorideinwirkung. Gelbdruck-Entwurf Stand 2016-06-14
- /13/ Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): BAWMerkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC). Ausgabe 2019

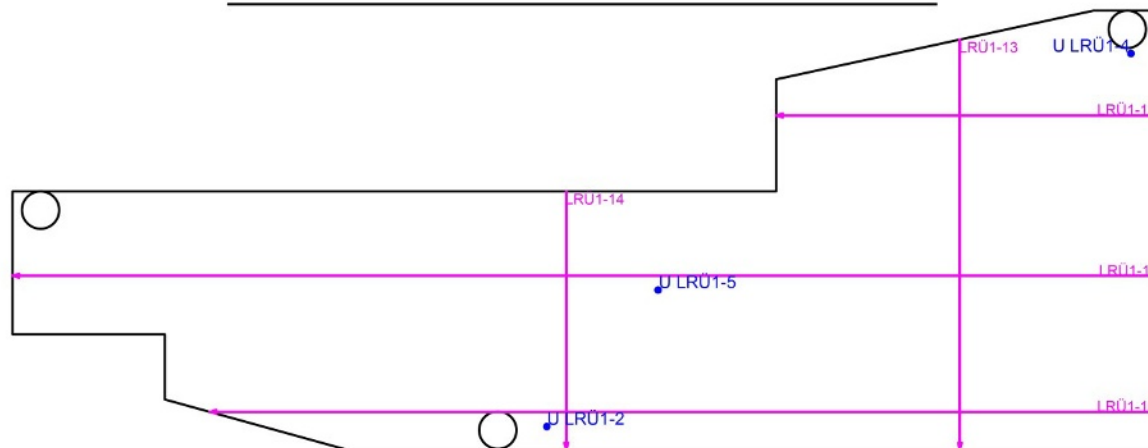


## 11 ANHANG A: LAGEPLAN

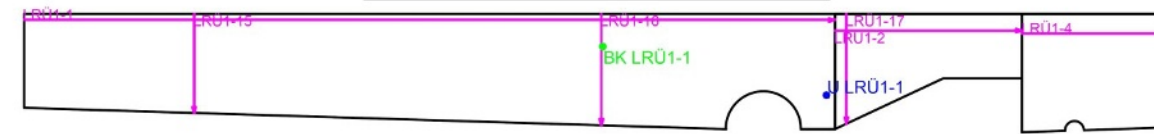
## Draufsicht Boden



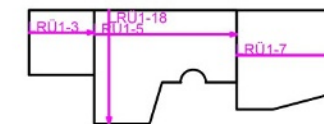
## Draufsicht Decke



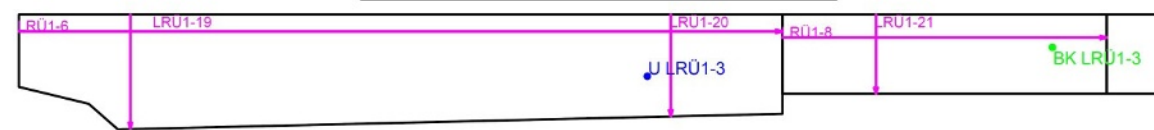
## Schnitt A-A



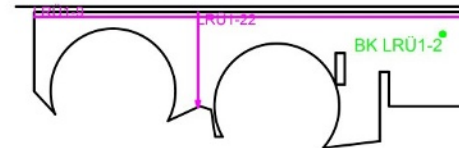
## Schnitt B-B



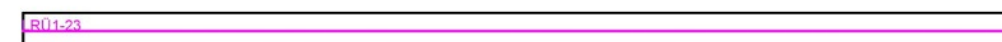
## Schnitt C-C



## Schnitt D-D



## Schnitt E-E



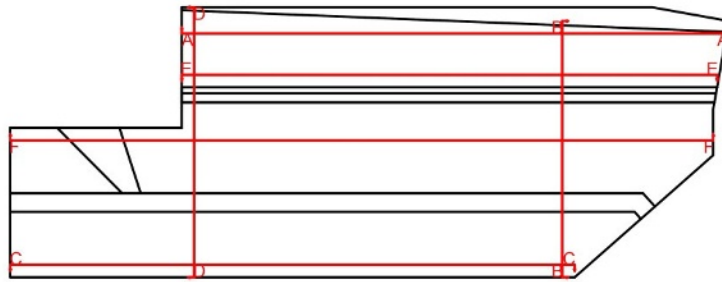
## Schnitt F-F



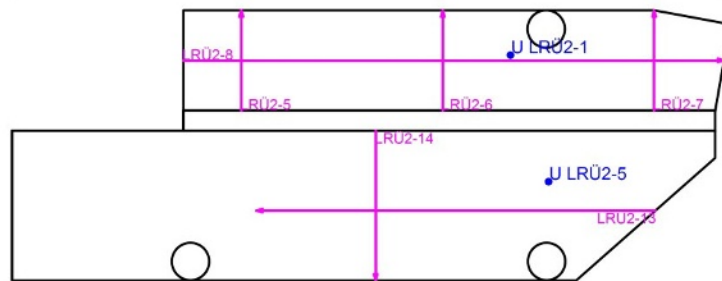
Lageplan der Prüf- und Entnahmestellen	
RRK An der Leimkaul - RÜ 1	
●	Betondeckungsmessung
●	Untersuchungsstelle
●	Bohrkernentnahmestelle
Zustand: gut / befriedigend / mangelhaft / ungenügend	

Bild A1: Lageplan der Prüf- und Entnahmestellen an Bauwerk RÜ1

## Draufsicht Boden



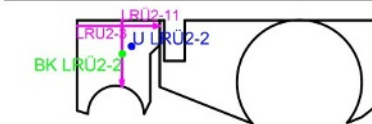
## Draufsicht Decke



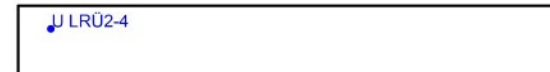
## Schnitt A-A



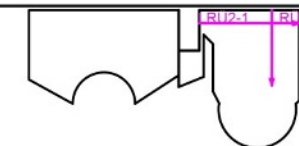
## Schnitt B-B



## Schnitt C-C



## Schnitt D-D



## Schnitt E-E



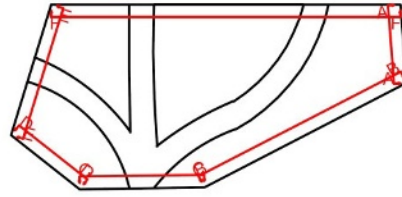
## Schnitt F-F



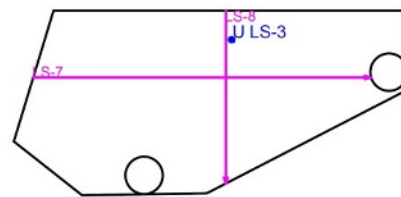
Lageplan der Prüf- und Entnahmestellen	
RRK An der Leimkaul - RÜ 2	
<span style="color: purple;">—</span>	Betondeckungsmessung
<span style="color: blue;">•</span>	Untersuchungsstelle
<span style="color: green;">•</span>	Bohrkernentnahmestelle
Skizze: 11.12.2023	
Gezeichnet: [Signature]	

Bild A2: Lageplan der Prüf- und Entnahmestellen an Bauwerk RÜ2

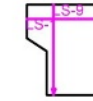
## Draufsicht Boden



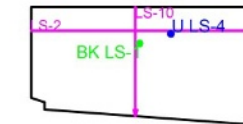
## Draufsicht Decke



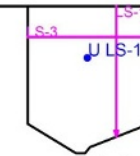
## Schnitt A-A



## Schnitt B-B



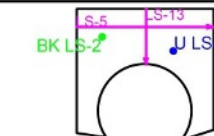
## Schnitt C-C



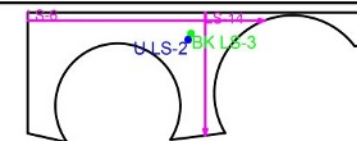
## Schnitt D-D



## Schnitt E-E



## Schnitt F-F



Lageplan der Prüf- und Entnahmestellen	
RRK An der Leimkaut - S	
—	Betondeckungsmessung
•	Untersuchungsstelle
•	Bohrkernentnahmestelle

Bild A3: Lageplan der Prüf- und Entnahmestellen an Bauwerk S



## 12 NHANG B: AUFNAHMEN DER PRÜF- UND ENTNAHMESTELLEN



Bild B1: Untersuchungsstelle U LRÜ1-1



Bild B2: Untersuchungsstelle U LRÜ1-2



Bild B3: Untersuchungsstelle U LRÜ-3







Bild B4: Untersuchungsstelle U LRÜ1-4



Bild B5: Untersuchungsstelle U LRÜ1-5



Bild B6: Bohrkernentnahmestelle BK LRÜ1-1



Bild B7: Bohrkernentnahmestelle BK LRÜ1-2



Bild B8: Bohrkernentnahmestelle BK LRÜ1-3





Bild B9: Untersuchungssstelle U LRÜ2-1



Bild B10: Untersuchungssstelle U LRÜ2-2



Bild B11: Untersuchungssstelle U LRÜ2-3







Bild B12: Untersuchungsstelle U LRÜ2-4



Bild B13: Untersuchungsstelle U LRÜ2-5



Bild B14: Bohrkernentnahmestelle BK LRÜ2-1



Bild B15: Bohrkernentnahmestelle BK LRÜ2-2



Bild B16: Bohrkernentnahmestelle BK LRÜ2-3





Bild B17: Untersuchungsstelle U LS-1



Bild B18: Untersuchungsstelle U LS-2



Bild B19: Untersuchungsstelle U LS-3





Bild B20: Untersuchungsstelle U LS-4



Bild B21: Untersuchungsstelle U LS-5



Bild B22: Bohrkernentnahmestelle BK LS-1





Bild B23: Bohrkernentnahmestelle BK LS-2

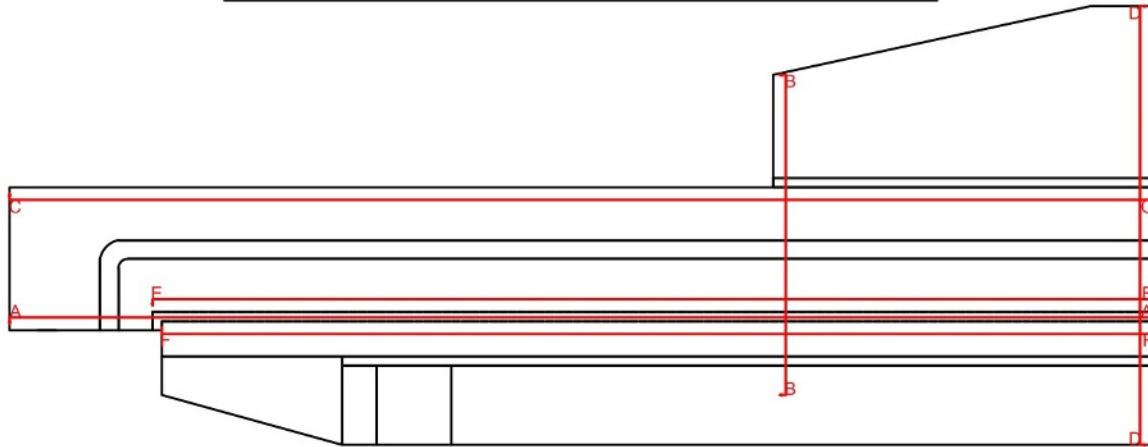


Bild B24: Bohrkernentnahmestelle BK LS-3

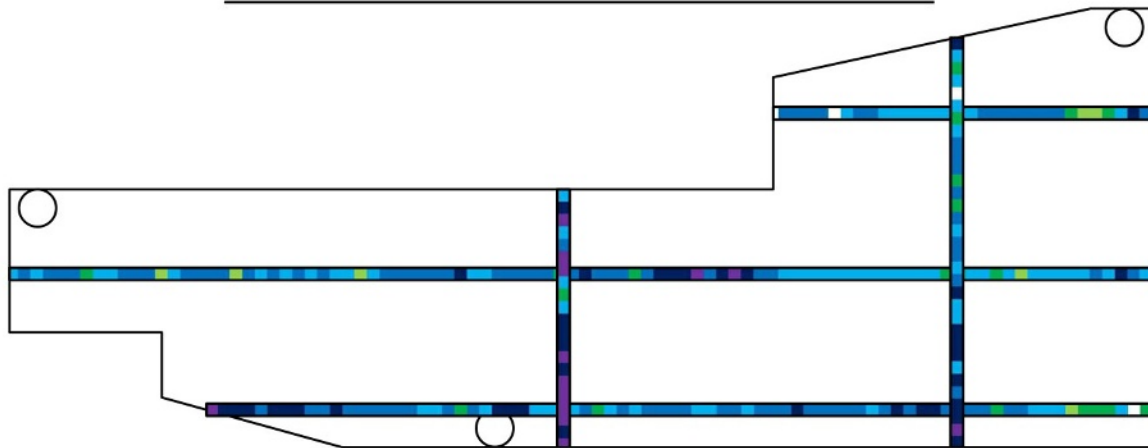


## 13 ANHANG C: ERGEBNISSE DER BETONDECKUNGSMESSUNGEN

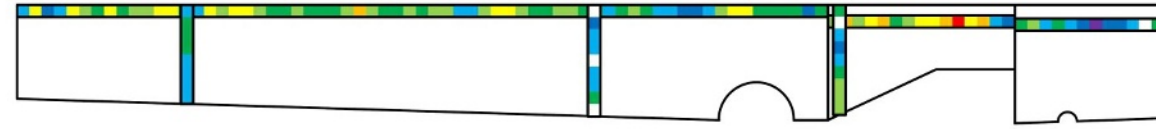
# Draufsicht Boden



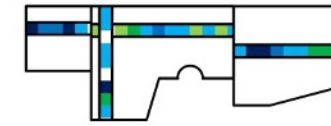
# Draufsicht Decke



# Schnitt A-A



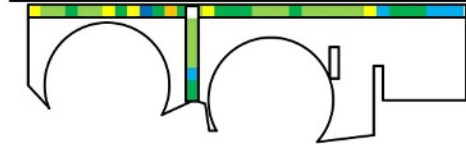
## Schnitt B-B



## Schnitt C-C



# Schnitt D-D



## Schnitt E-E



## Schnitt F-F



**Darstellung der  
Betondeckungen c**

**RRK An der Leimkaul - RÜ**

3 mm < c ≤ 5 mm	25 mm < c ≤ 30 mm
5 mm < c ≤ 10 mm	30 mm < c ≤ 35 mm
10 mm < c ≤ 15 mm	35 mm < c ≤ 40 mm
15 mm < c ≤ 20 mm	40 mm < c ≤ 50 mm
20 mm < c ≤ 25 mm	50 mm

Quelle: DIN EN 12607

Darstellung nach: [www.stb-tisch.de](#)

**Bild C1:** Darstellung der Betondeckung an Wänden und Deckenuntersicht von Bauwerk RÜ1



A diagram of a 2D rectangular mesh. A central cross is formed by a horizontal and a vertical line. The horizontal line has a yellow segment in the middle, and the vertical line has a green segment in the middle. The four quadrants of the mesh are colored: top-left is green, top-right is blue, bottom-left is green, and bottom-right is blue. The top-right corner of the mesh is folded over, creating a triangular flap. The flap is divided into two regions: a green region on the left and a blue region on the right. The fold line is a diagonal line from the top-right corner to the center of the cross. There are two small white circles, one in the top-left quadrant and one in the bottom-right quadrant.

[illegible]

\_\_\_\_\_

**Darstellung der Betondeckungen c**

**RRK An der Leimkaul - RÜ**

3 mm $\leq c \leq 5$ mm	35 mm $\leq c \leq 50$ mm
5 mm $\leq c \leq 10$ mm	30 mm $\leq c \leq 35$ mm
10 mm $\leq c \leq 15$ mm	35 mm $\leq c \leq 40$ mm
15 mm $\leq c \leq 20$ mm	40 mm $\leq c \leq 50$ mm
20 mm $\leq c \leq 25$ mm	45 mm $\leq c \leq 50$ mm

© 2012 Dr. L. J. J. J. J.

Darstellung der Betondeckungen c

Bild C2: Darstellung der Betondeckung an Wänden und Deckenuntersicht von Bauwerk RÜ2







## 14 ANHANG D: ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGSSTELLEN

Tabelle D1: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ1-1 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Wand unmittelbar neben einem Bereich mit einer großflächigen Abplatzung mit freiliegender und korrodierte Bewehrung			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Vertikal	6,1	11	erkennbar QV: bis 20 %	15	0 ÷ 15	0,28	0,10
					15 ÷ 30	0,81	-
					30 ÷ 45	-	-



Tabelle D2: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ1-2 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Deckenuntersicht in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstab in unmittelbarer Nähe zum Einstieg			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Quer	10,4	10	deutlich QV: bis 40 %	13	0 ÷ 15	0,34	0,09
					15 ÷ 30	0,61	-
					30 ÷ 45	-	-



Tabelle D3: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ1-3 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstab und weiterer kleinerer Abplatzungen mit z.T. freiliegender Bewehrung			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Vertikal	5,9	2	erkennbar QV: bis 10 %	5	0 ÷ 15	0,63	0,08
					15 ÷ 30	0,42	-
					30 ÷ 45	-	-



Tabelle D4: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ1-4 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)



Übersichtsaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Deckenuntersicht in einem Bereich einer großflächigen Abplatzung mit freiliegender und korrodierter Bewehrung in diagonaler Richtung vermutlich als verstärkende Bewehrung am Einstieg			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Diagonal	20,4	15	erkennbar QV: bis 20 %	20	0 ÷ 15	0,64	0,47
					15 ÷ 30	0,57	0,41
					30 ÷ 45	0,24	0,08



Tabelle D5: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ1-5

Übersichtsaufnahme	Beschreibung																		
	<p>Untersuchungsstelle an der Deckenuntersicht in einem Bereich sehr weichen Betons bis in eine Tiefe von 3 cm bis 4 cm, was ggf. auf einen lokalen Sulfatangriff hindeuten kann</p>																		
<table><tr><th colspan="3">Bohrmehlproben</th></tr><tr><th>Tiefen- lage</th><th>Schwefel als SO<sub>3</sub></th><th>Chlorid- gehalt</th></tr><tr><th>mm</th><th>M.-%</th><th>M.-%/z</th></tr><tr><td>0 ÷ 15</td><td>0,79</td><td>0,09</td></tr><tr><td>15 ÷ 30</td><td>0,38</td><td>-</td></tr><tr><td>30 ÷ 45</td><td>0,38</td><td>-</td></tr></table>		Bohrmehlproben			Tiefen- lage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chlorid- gehalt	mm	M.-%	M.-%/z	0 ÷ 15	0,79	0,09	15 ÷ 30	0,38	-	30 ÷ 45	0,38	-
Bohrmehlproben																			
Tiefen- lage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chlorid- gehalt																	
mm	M.-%	M.-%/z																	
0 ÷ 15	0,79	0,09																	
15 ÷ 30	0,38	-																	
30 ÷ 45	0,38	-																	



**Tabelle D6:** Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ2-1 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Deckenuntersicht in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstab sowie einer großflächigen Hohlage, die sich im Zuge des Stemmens teilweise löste und zahlreiche weitere Bewehrungsstäbe in beide Richtungen freilegte			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Quer	18,0	20	deutlich QV: bis 30 %	32	0 ÷ 15	0,75	0,11
					15 ÷ 30	1,03	0,17
					30 ÷ 45	-	0,28



Tabelle D7: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ2-2 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstab (Doppelstab)			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm		mm	mm	M.-%	M.-%/z
Vertikal (Doppelstab)	jeweils 4,9	11	deutlich QV: bis 30 %	15	0 ÷ 15	0,59	0,09
					15 ÷ 30	0,57	0,07
					30 ÷ 45	-	-



Tabelle D8: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ2-3


Übersichtsaufnahme	Beschreibung		
	<p>Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich augenscheinlich intakten Betons</p>		
	Bohrmehlproben		
	Tiefen- lage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chlorid- gehalt
	mm	M.-%	M.-%/z
	0 ÷ 15	0,41	0,09
	15 ÷ 30	0,47	0,07
	30 ÷ 45	-	-



Tabelle D9: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ2-4


Übersichtsaufnahme	Beschreibung		
	<p>Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit lokal oberflächlich kiesnestartigem Beton unterhalb der Einstiegsöffnung</p>		
	Bohrmehlproben		
	Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
	mm	M.-%	M.-%/z
	0 ÷ 15	0,50	0,11
	15 ÷ 30	0,37	0,06
	30 ÷ 45	0,47	0,07



Tabelle D10: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LRÜ2-5 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtsaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Deckenuntersicht in einem Bereich mit einer Abplatzung mit mehreren freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstäben			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm		mm	mm	M.-%	M.-%/z
Quer	19,6	19	erkennbar QV: bis 10 %	18	0 ÷ 15	0,52	0,07
					15 ÷ 30	0,53	0,07
					30 ÷ 45	0,43	0,07



Tabelle D11: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LS-1


Übersichtaufnahme	Beschreibung			
	<p>Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit lokal kuppenartig freiliegender Gesteinskörnung unterhalb der Einstiegsöffnung</p>			
	Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
	mm	mm	M.-%	M.-%/z
	5	0 ÷ 15	0,57	0,24
		15 ÷ 30	0,71	0,73
		30 ÷ 45	0,52	0,40



Tabelle D12: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LS-2 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtsaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden Bewehrungsstab			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Vertikal	10,3	11	leicht kein QV	12	0 ÷ 15	0,59	0,26
					15 ÷ 30	0,68	0,71
					30 ÷ 45	0,60	0,57



Tabelle D13: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LS-3 (Ø: Durchmesser; c: örtlich gemessene Betondeckung; QV: abgeschätzter korrosionsbedingter Querschnittsverlust)


Übersichtaufnahme				Beschreibung			
				Untersuchungsstelle an der Deckenuntersicht in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstab			
Inspektionsöffnung				Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
Stab	Ø	c	Korrosion		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
Richtung	mm	mm			mm	mm	M.-%
Quer (Stabende)	11,1	6	deutlich QV: bis 30 %	17	0 ÷ 15	0,39	0,12
					15 ÷ 30	0,55	0,25
					30 ÷ 45	0,56	0,37



Tabelle D14: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LS-4



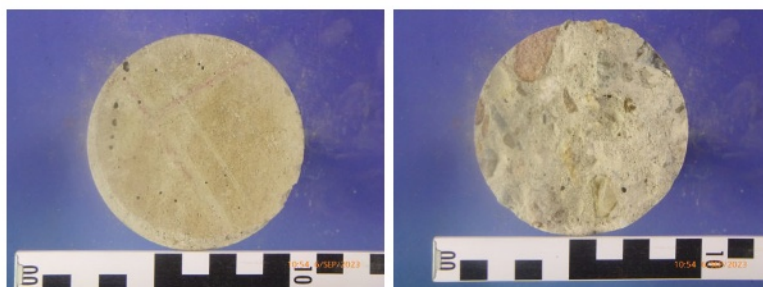
Übersichtaufnahme	Beschreibung			
	<p>Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit mehrerer Abplatzung mit freiliegender und korrodierter vertikaler Bewehrung ohne Betondeckung</p>			
	Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
	mm	mm	M.-%	M.-%/z
	12	0 ÷ 15	0,71	0,32
		15 ÷ 30	0,88	0,69
		30 ÷ 45	0,74	0,67



Tabelle D15: Ergebnisse der Untersuchungsstelle U LS-5

Übersichtaufnahme	Beschreibung			
	<p>Untersuchungsstelle an der Wand in einem Bereich mit einer Abplatzung mit einem freiliegenden und korrodierten Bewehrungsstab und mehrerer kleinerer Abplatzungen</p>			
	Tiefe der Karbonatisierung	Bohrmehlproben		
		Tiefenlage	Schwefel als SO <sub>3</sub>	Chloridgehalt
	mm	mm	M.-%	M.-%/z
	11	0 ÷ 15	0,60	0,27
		15 ÷ 30	0,67	0,60
		30 ÷ 45	0,47	0,35



**15 ANHANG E: ERGEBNISSE DER BOHRKERNPRÜFUNGEN**

**Bild E1:** Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ1-1



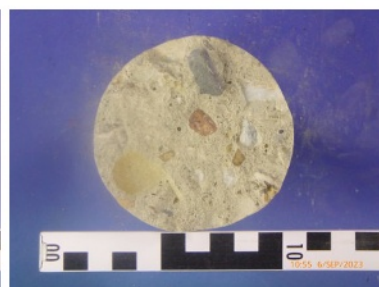


Bild E2:    Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ1-2



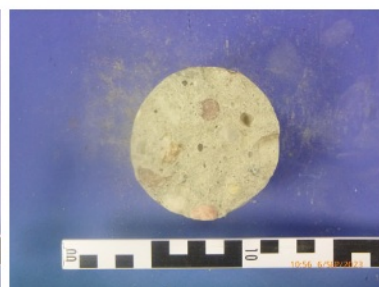
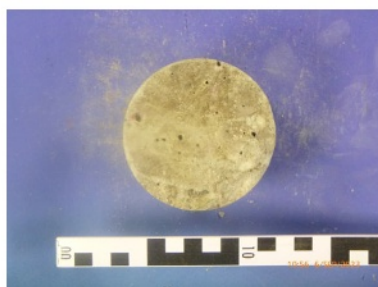
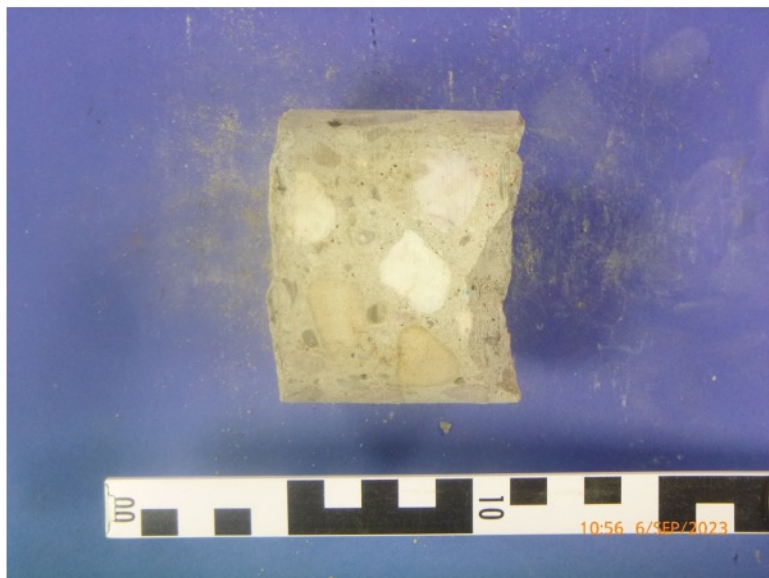
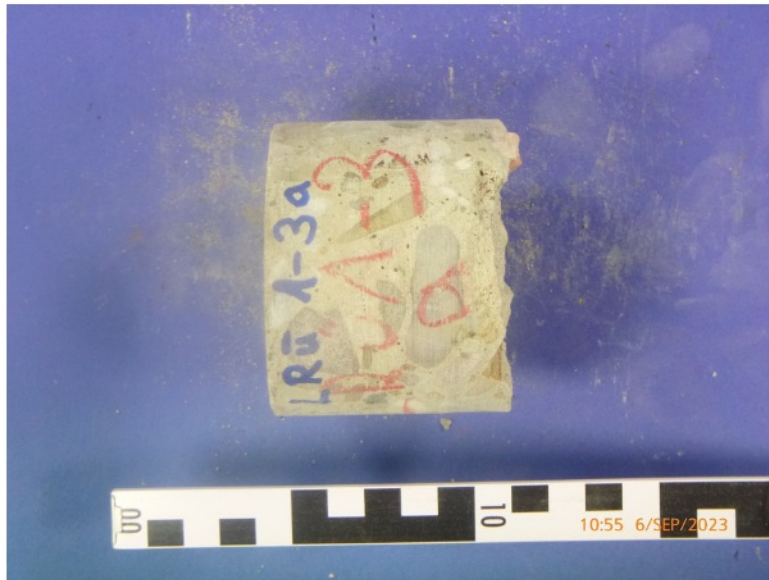


Bild E3: Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ1-3a



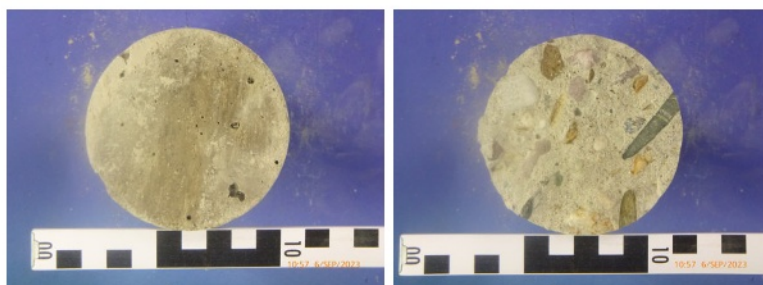
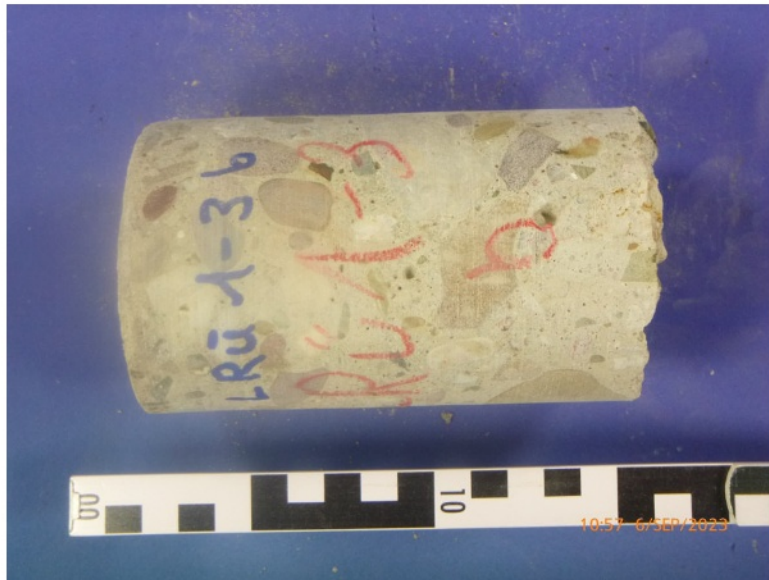


Bild E4: Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ1-3b



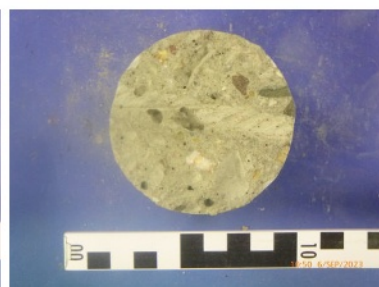
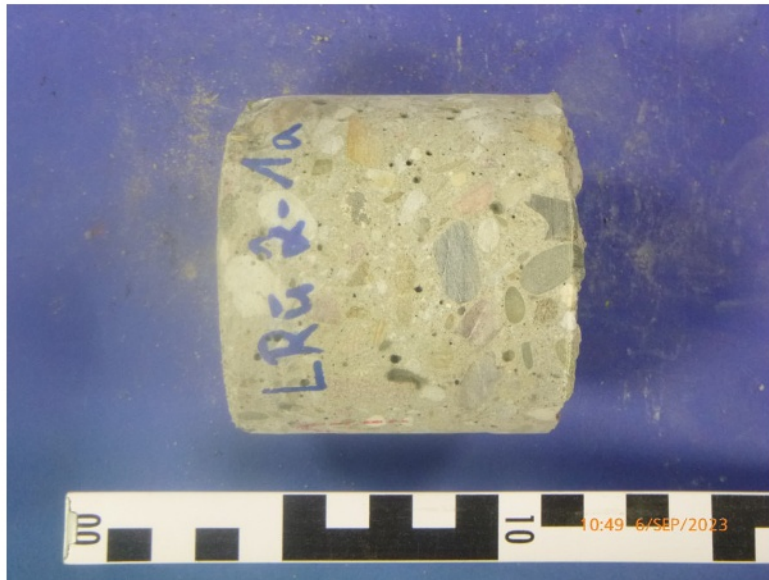


Bild E5: Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ2-1a



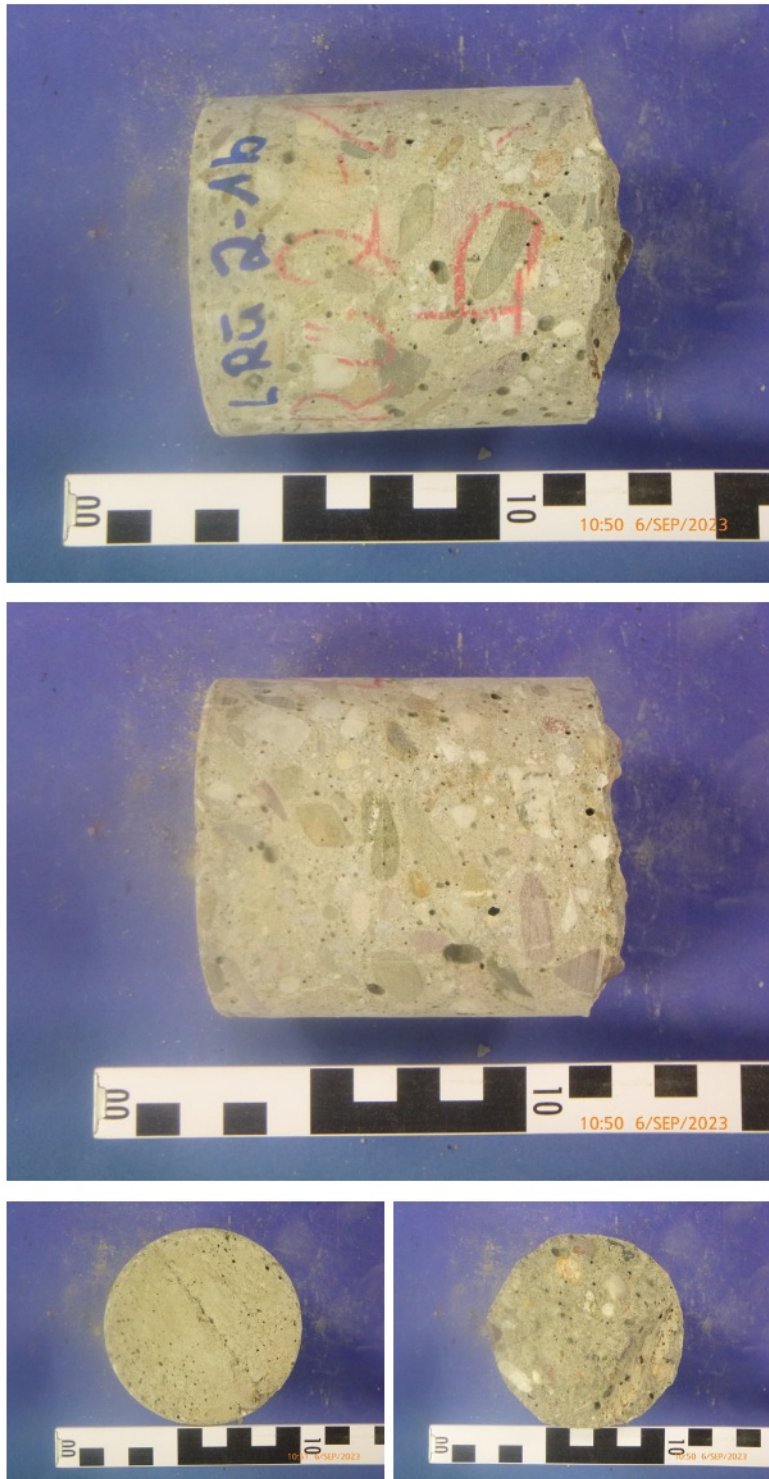


Bild E6:    Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ2-1b



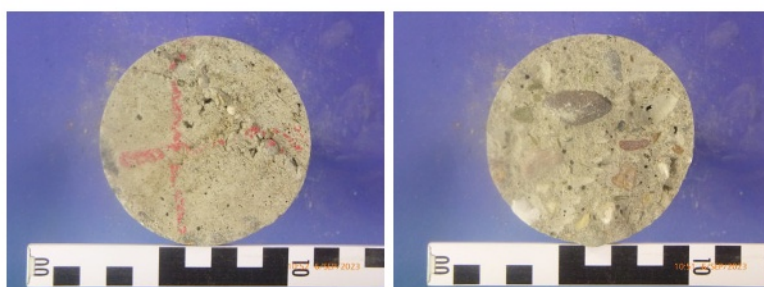


Bild E7: Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ2-2



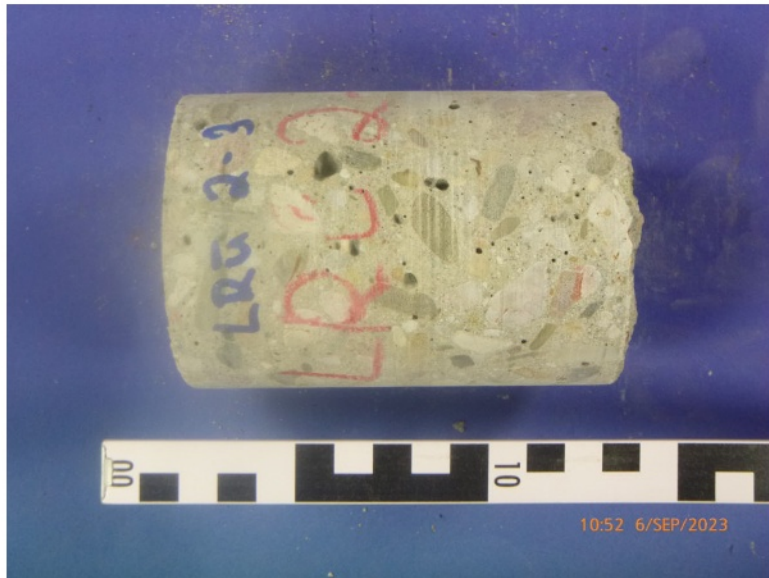


Bild E8:    Aufnahmen des Bohrkerns BK LRÜ2-3



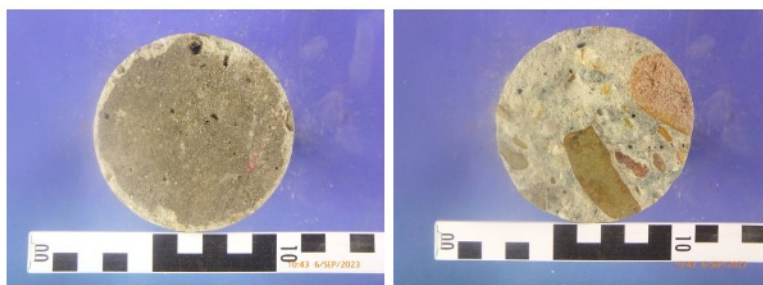
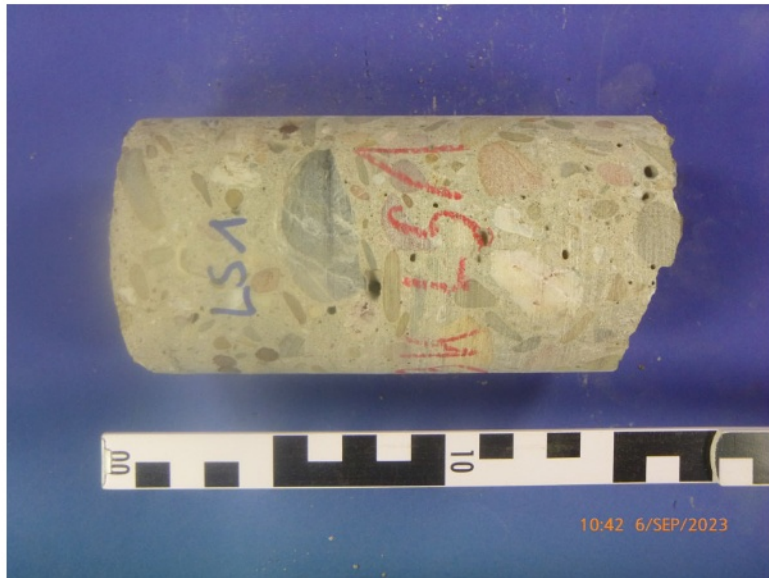


Bild E9: Aufnahmen des Bohrkerns BK LS-1





Bild E10: Aufnahmen des Bohrkerns BK LS-2



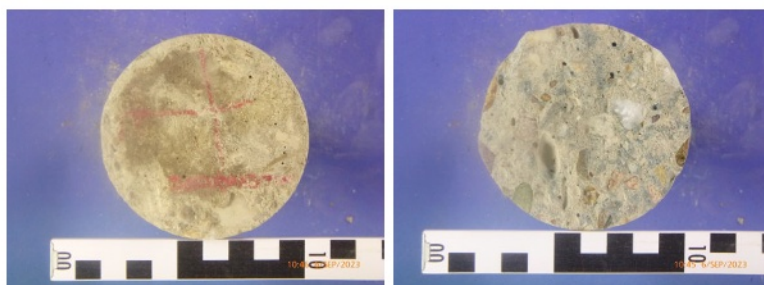


Bild E11: Aufnahmen des Bohrkerns BK LS-3



Tabelle E1: Ergebnisse der Makroskopie

Bohrkern	Durch- messer	Mindest- länge	Größtkorn	Bemerkung
	mm			
1	2	3	4	5
BK LRÜ1-1	79	140	40	Dichtes Gefüge
BK LRÜ1-2		116	40	Dichtes Gefüge
BK LRÜ1-3a		43	39	Dichtes Gefüge
BK LRÜ1-3b		126	44	Dichtes Gefüge
BK LRÜ2-1a		65	17	Dichtes Gefüge Hoher Anteil kleiner Gesteinskörnung
BK LRÜ2-1b		82	22	Dichtes Gefüge Hoher Anteil kleiner Gesteinskörnung
BK LRÜ2-2		132	26	Dichtes Gefüge Hoher Anteil kleiner Gesteinskörnung
BK LRÜ2-3		107	22	Dichtes Gefüge Hoher Anteil kleiner Gesteinskörnung
BK LS-1		145	46	Dichtes Gefüge 3 Stähle enthalten: Ø 6 mm, c = 25 mm (Doppels.) Ø 6 mm, c = 38 mm Ø 5 mm, c = 43 mm
BK LS-2		120	37	Dichtes Gefüge 1 Stahl enthalten: Ø 8 mm, c = 43 mm
BK LS-3		132	40	Dichtes Gefüge

Tabelle E2: Probekörpergeometrie, Rohdichte und Druckfestigkeiten an Bohrkernen aus Bauwerk RÜ1

Bohrkern	Durchmesser	Höhe	Rohdichte	Druckfestigkeit	h/d	Korr.-faktor	Druckfestigkeit korrigiert
	mm		kg/m³	N/mm²	-	-	N/mm²
1	2	3	4	5	6	7	8
BK LRÜ1-1	79,5	80,0	2260	56,3	1,01	1,00	<b>56,3</b>
BK LRÜ1-2	79,6	79,5	2300	66,1	1,00	1,00	<b>66,1</b>
BK LRÜ1-3b	79,6	80,3	2310	54,0	1,01	1,00	<b>54,0</b>
<b>Mittelwert</b>							<b>58,8</b>



Tabelle E3: Probekörpergeometrie, Rohdichte und Druckfestigkeiten an Bohrkernen aus Bauwerk RÜ2

Bohrkern	Durchmesser	Höhe	Rohdichte	Druckfestigkeit	h/d	Korr.-faktor	Druckfestigkeit korrigiert
	mm		kg/m³	N/mm²	-	-	N/mm²
1	2	3	4	5	6	7	8
BK LRÜ2-1b	80,1	80,0	2270	62,5	1,00	1,00	<b>62,5</b>
BK LRÜ2-2	80,1	80,4	2260	56,9	1,00	1,00	<b>56,9</b>
BK LRÜ2-3	80,1	80,3	2280	57,8	1,00	1,00	<b>57,8</b>
<b>Mittelwert</b>							<b>59,1</b>

Tabelle E4: Probekörpergeometrie, Rohdichte und Druckfestigkeiten an Bohrkernen aus Bauwerk S

Bohrkern	Durchmesser	Höhe	Rohdichte	Druckfestigkeit	h/d	Korr.-faktor	Druckfestigkeit korrigiert
	mm		kg/m³	N/mm²	-	-	N/mm²
1	2	3	4	5	6	7	8
BK LS-1	80,1	80,3	2320	67,3	1,00	1,00	<b>67,3</b>
BK LS-2	79,6	79,6	2340	61,7	1,00	1,00	<b>61,7</b>
BK LS-3	79,5	79,8	2340	69,2	1,00	1,00	<b>69,2</b>
<b>Mittelwert</b>							<b>66,1</b>



Tabelle E5: Übersicht über die ermittelten Oberflächenzugfestigkeiten des Betons aus Bauwerk RÜ1 (gerundet auf 0,05 N/mm<sup>2</sup>)




Bohrkern	Oberflächen- zugfestigkeit in N/mm	Bruchbild	Bild
1	2	3	4
BK LRÜ1-1	0,80 (Ergebnis entfällt für Auswertung)	60% im Beton 40% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
BK LRÜ1-2	1,10	70% im Beton 30% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
BK LRÜ1-3a	2,70	100% im Beton gebrochen	
<b>Mittelwert</b>	<b>1,90</b>		
<b>Kleinsten Einzelwert</b>	<b>1,10</b>		

Tabelle E6: Übersicht über die ermittelten Oberflächenzugfestigkeiten des Betons aus Bauwerk RÜ2 (gerundet auf 0,05 N/mm<sup>2</sup>)


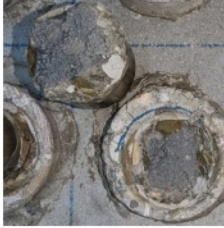
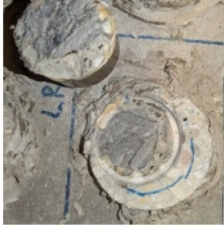



Bohrkern	Oberflächen- zugfestigkeit in N/mm	Bruchbild	Bild
1	2	3	4
BK LRÜ2-1a	3,75	100% im Beton gebrochen	
BK LRÜ2-2	0,10 (Ergebnis entfällt für Auswertung)	100% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
BK LRÜ2-3	0,90 (Ergebnis entfällt für Auswertung)	10% im Beton 90% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
<b>Mittelwert</b>	<b>3,75</b>		
<b>Kleinsten Einzelwert</b>	<b>3,75</b>		



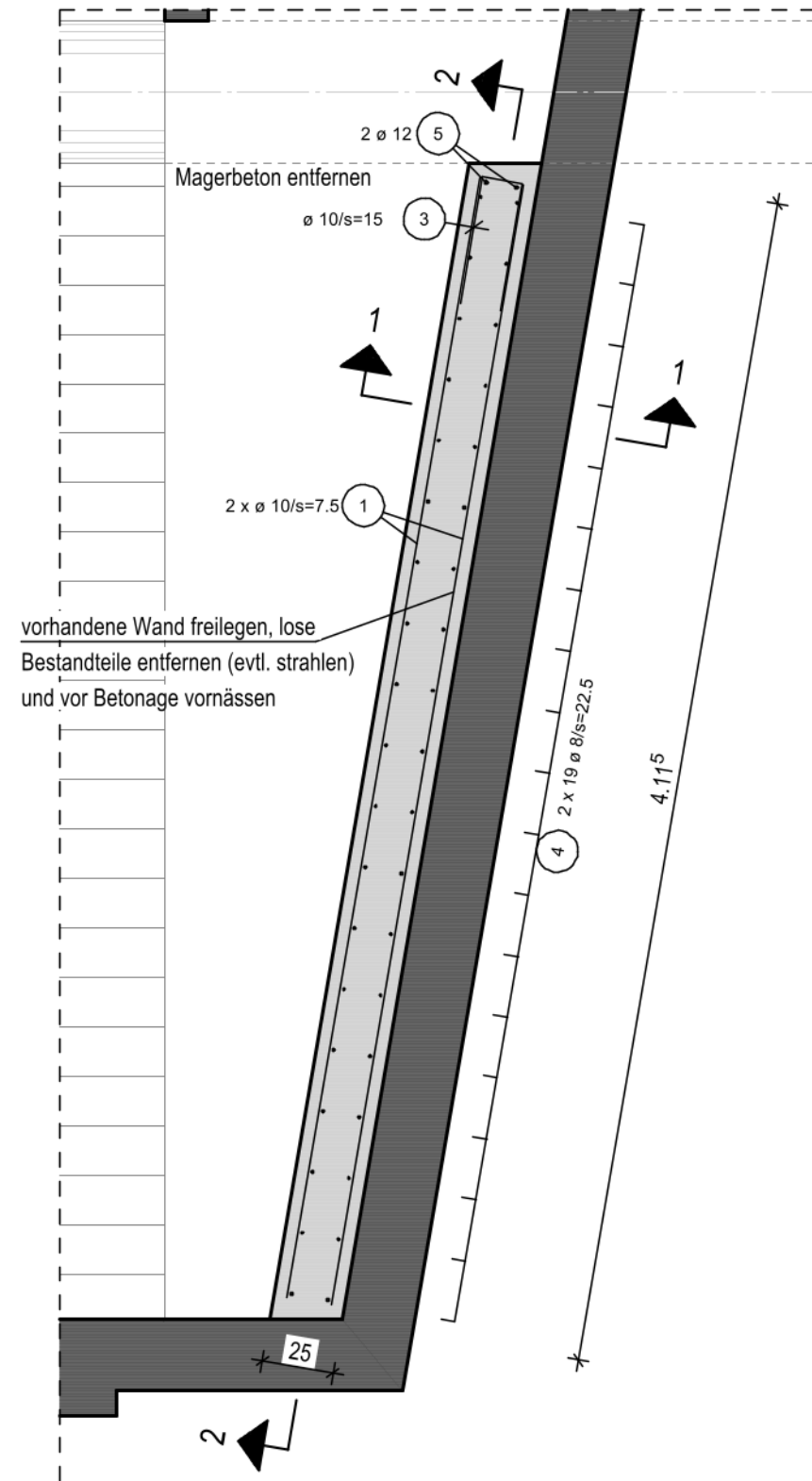
Tabelle E7: Übersicht über die ermittelten Oberflächenzugfestigkeiten des Betons aus Bauwerk S (gerundet auf 0,05 N/mm<sup>2</sup>)

Bohrkern	Oberflächen- zugfestigkeit in N/mm	Bruchbild	Bild
1	2	3	4
BK LS-1	0,50 (Ergebnis entfällt für Auswertung)	100% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
BK LS-2	1,30 (Ergebnis entfällt für Auswertung)	50% im Beton 50% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
BK LS-3	0,55 (Ergebnis entfällt für Auswertung)	50% im Beton 50% im Kleber zwischen Beton und Platte gebrochen	
<b>Mittelwert</b>	-		
<b>Kleinsten Einzelwert</b>	-		

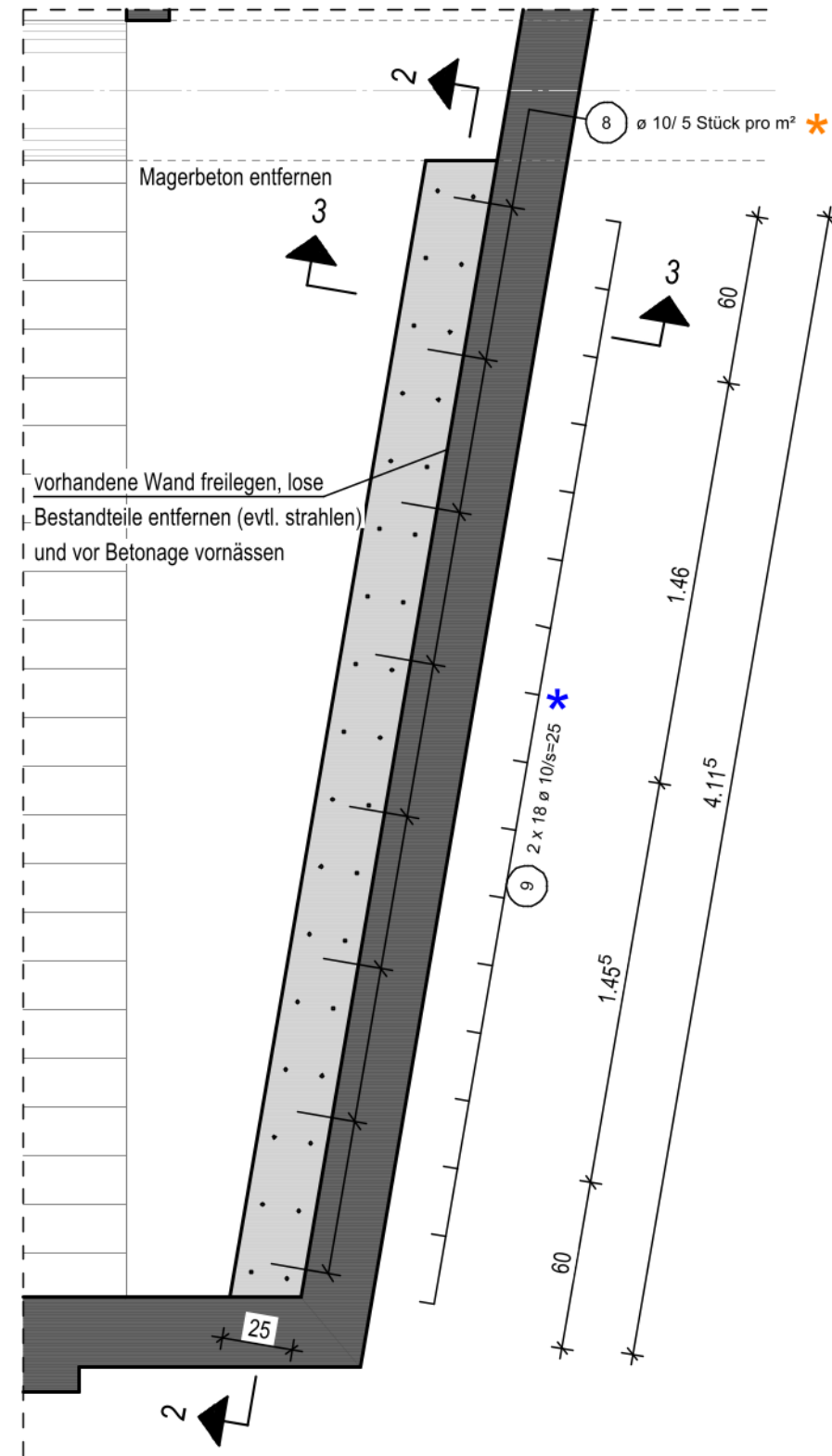
# Pos. 1-0 Regenüberlaufbecken

M. 1:25

Grundriss 1



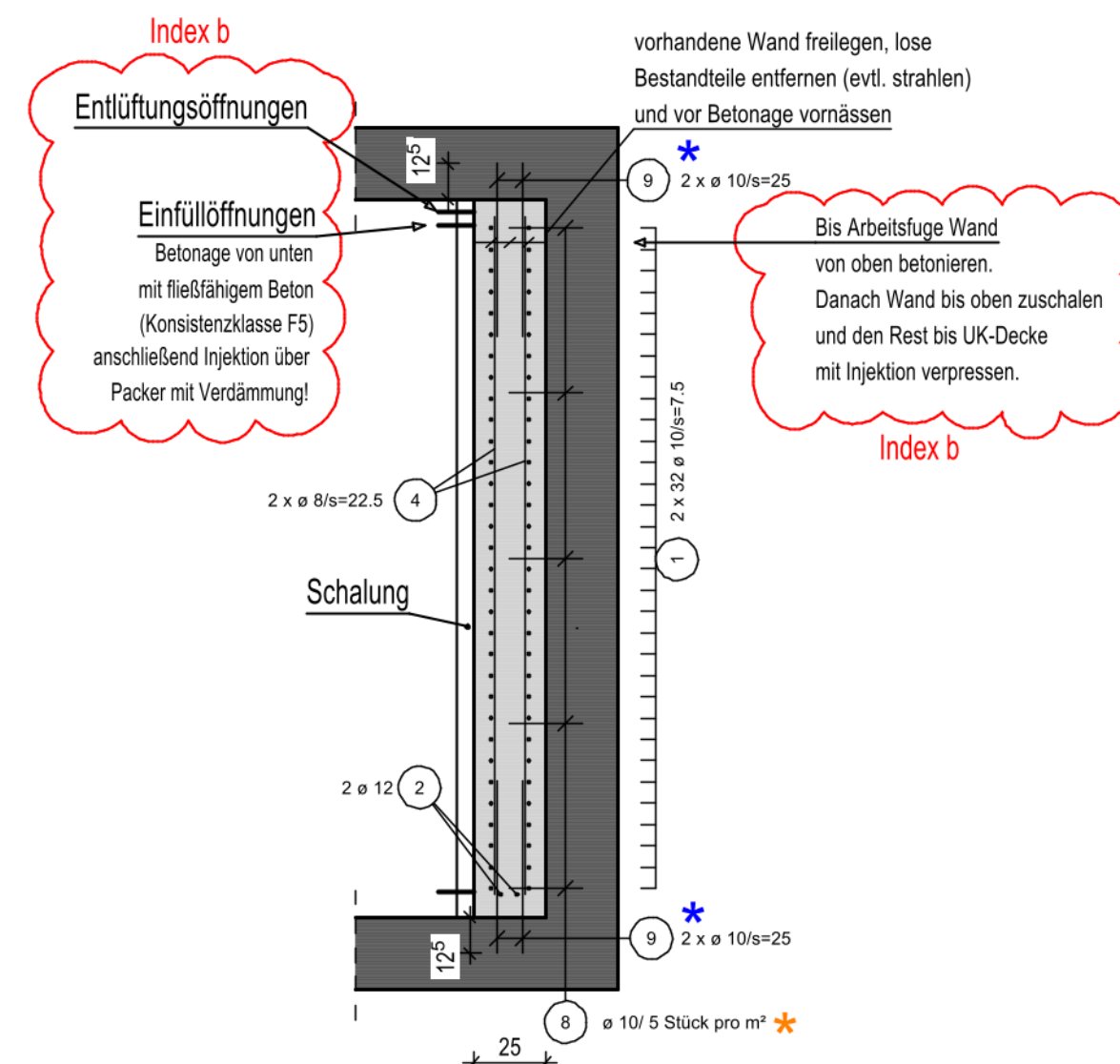
Grundriss 2



## Schnitt 1-1

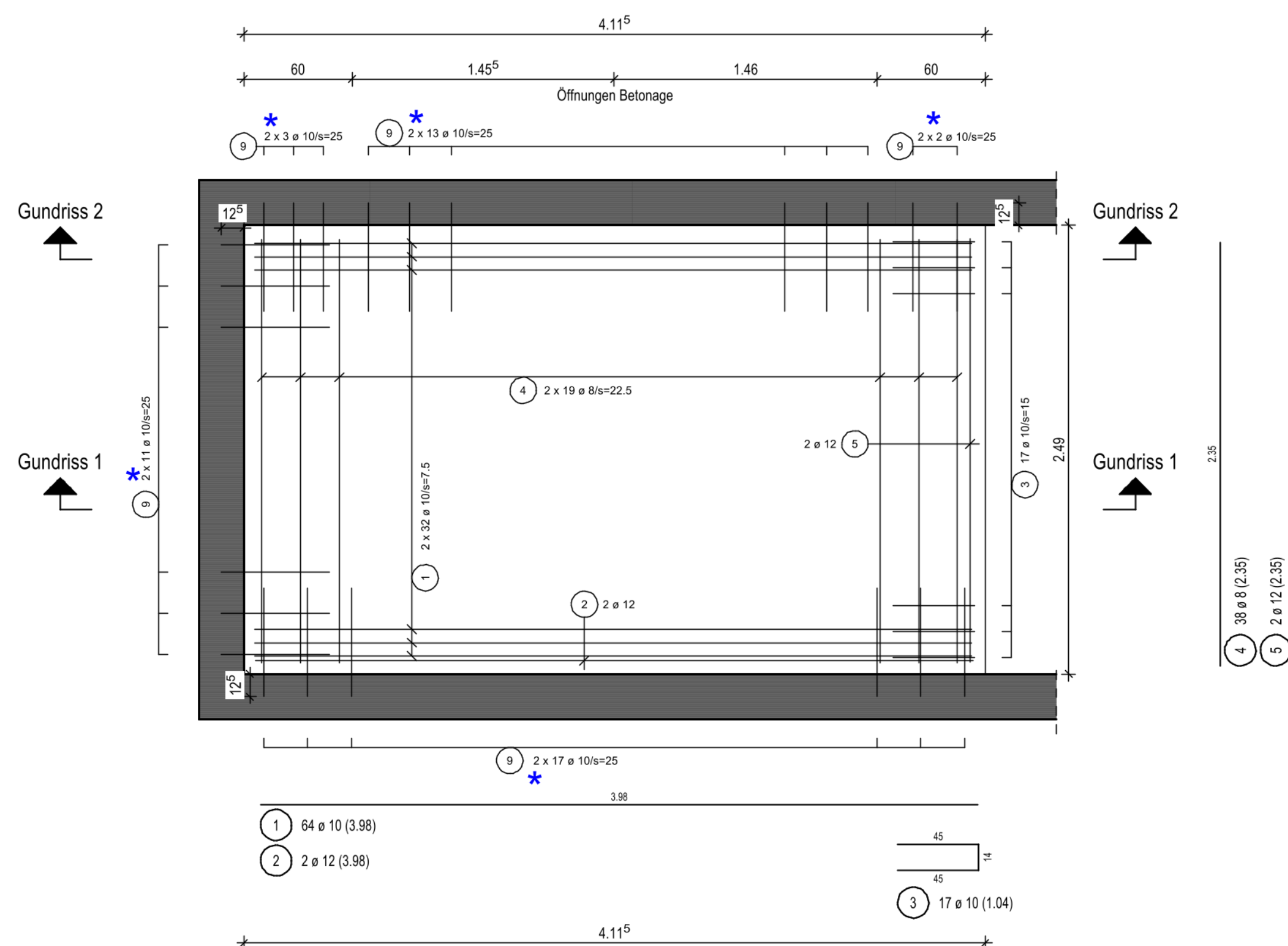
M. 1:25

GOK



## Schnitt 2-2

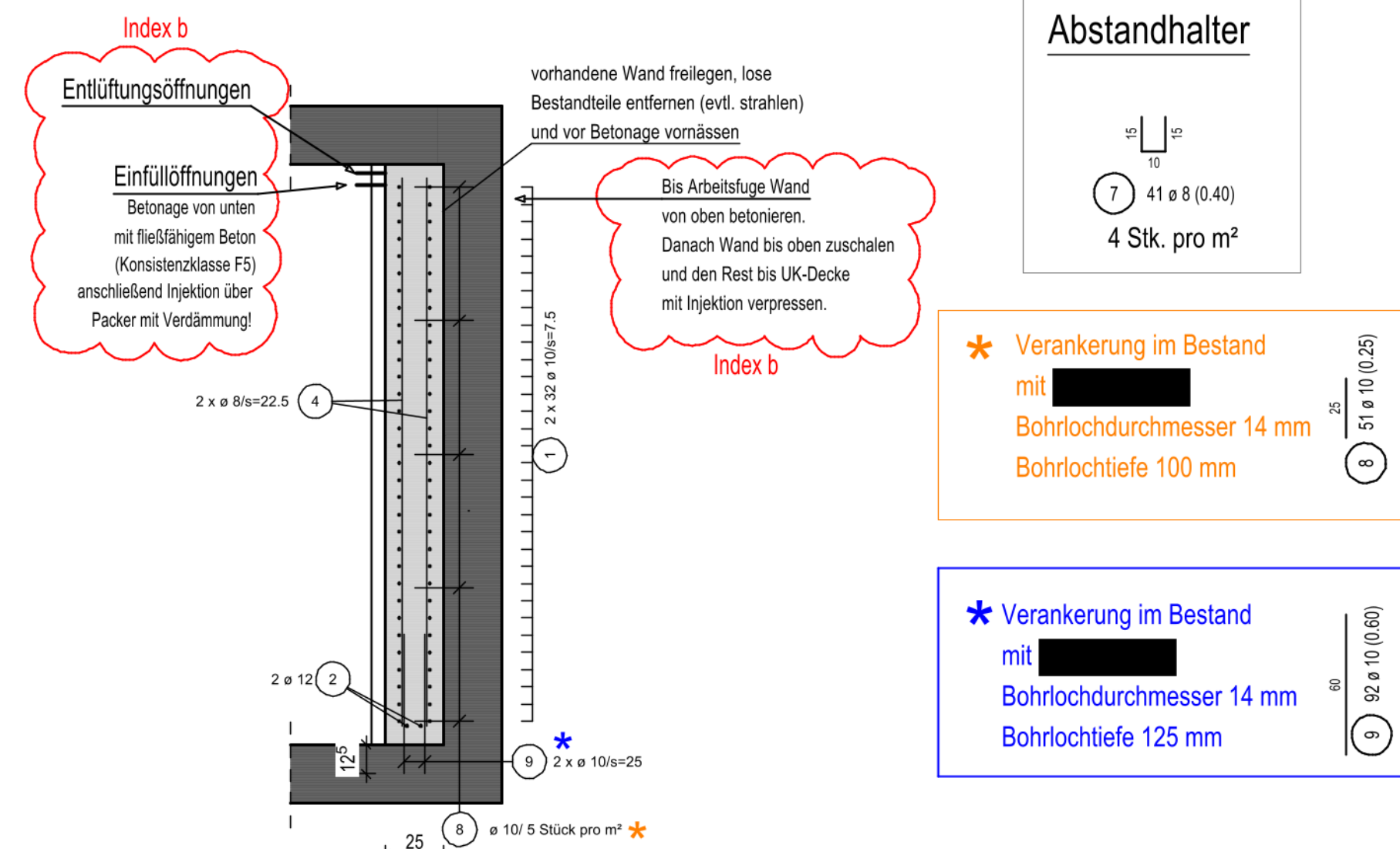
M. 1:25



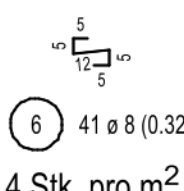
## Schnitt 3-3

M. 1:25

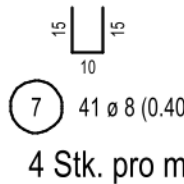
GOK



### Abstandhalter



### Abstandhalter



★ Verankerung im Bestand mit [redacted] Bohrlochdurchmesser 14 mm Bohrlochtiefe 100 mm

★ Verankerung im Bestand mit [redacted] Bohrlochdurchmesser 14 mm Bohrlochtiefe 125 mm

### zur Ausführung freigegeben

Freigabe:	Datum:	Plan Nr.:	Index:
Prüfingenieur	19.02.2026	4596-Bw-1	a
Statiker	19.02.2026	4596-Bw-1	a

Planstand: 03.03.2026

Die Bewehrung ist zwingend durch den zuständigen qualifizierten Tragwerksplaner bzw. Prüfenieur für die Bescheinigung der stichprobenhafte Kontrolle gem. § 68 Abs. 2 BauO NRW abzunehmen und freizugeben! Ohne die vom Bauamt geforderte Bescheinigung kann die Endabnahme des Bauwerks nicht erfolgen!!

### Zum Betonieren freigegeben:

Datum	qual. Tragwerksplaner	Unterschrift

Biegen von Betonstählen	nach DBV-Merkblatt "Betondeckung und Bewehrung"														
Bei der Bestimmung des Biegerollendurchmessers D min ist DIN EN 1992-1-1NA Tabelle 8.10E zu beachten und nach der bautechnischen Funktion der Biegung zu unterscheiden:															
A) Mindestwerte der Biegerollendurchmesser für Schrägstäbe oder andere gebogene Stäbe	B) Mindestwerte der Biegerollendurchmesser für Haken, Winkelhaken, Schlaufen, Bügel														
Mindestwerte der Betonstähle rechtwinklig zur Krümmungsebene	Mindestwerte der Betonstähle rechtwinklig zur Krümmungsebene														
<table><tr><th>Stabdurchmesser a [mm]</th><th>Biegerollendurchmesser D [mm]</th></tr><tr><td>&gt; 100 mm und &gt; 7 ø</td><td>D min = 10 ø</td></tr><tr><td>&gt; 50 mm und &gt; 3 ø</td><td>D min = 15 ø</td></tr><tr><td>≤ 50 mm und ≤ 3 ø</td><td>D min = 20 ø</td></tr></table>	Stabdurchmesser a [mm]	Biegerollendurchmesser D [mm]	> 100 mm und > 7 ø	D min = 10 ø	> 50 mm und > 3 ø	D min = 15 ø	≤ 50 mm und ≤ 3 ø	D min = 20 ø	<table><tr><th>Stabdurchmesser a [mm]</th><th>Biegerollendurchmesser D [mm]</th></tr><tr><td>&lt; 20</td><td>D min = 4 ø</td></tr><tr><td>≥ 20</td><td>D min = 7 ø</td></tr></table>	Stabdurchmesser a [mm]	Biegerollendurchmesser D [mm]	< 20	D min = 4 ø	≥ 20	D min = 7 ø
Stabdurchmesser a [mm]	Biegerollendurchmesser D [mm]														
> 100 mm und > 7 ø	D min = 10 ø														
> 50 mm und > 3 ø	D min = 15 ø														
≤ 50 mm und ≤ 3 ø	D min = 20 ø														
Stabdurchmesser a [mm]	Biegerollendurchmesser D [mm]														
< 20	D min = 4 ø														
≥ 20	D min = 7 ø														

### Expositionsklassen gemäß DIN EN 1992-1-1

Bauteil	Orientierung	Expositionsklasse	Betongüte:
Sanierungsbereich	umlaufend	XC4, XD3, XF4, XA1, WA	C35/45 LP

### Betondeckungsmaße c<sub>nom</sub> in mm

Expositionsklasse	Stabdurchmesser d <sub>s</sub> in mm			
	ø ≤ 16	ø 20	ø 25	ø 28
XC1	25	30	35	40
XC2 und XC3	35	35	40	45
XC4	40	40	40	45
XD1, XD2, XD3 und XS1, XS2, XS3	55	55	55	55

### Achtung:

Alle Maße sind vor Baubeginn örtl. und eigenverantwortlich zu prüfen. Unstimmigkeiten mit der Bauleitung oder dem Statiker klären.

### Legende:

	Stahlbeton Sanierung nach Tabelle Expositionsklassen
	Bestand

### Änderungen

Index	Datum	Änderung
b	03.03.2026	Änderung Betonage
a	19.02.2026	Freigabe Prüfer