

## **GUTACHTEN Nr. 130401-GA**

**Unterführung Berliner Straße  
Betoninstandsetzung  
– Zustandsanalyse; Instandsetzungskonzept; Kostenschätzung –**

**Landeshauptstadt Wiesbaden  
Tiefbau- und Vermessungsamt  
Gustav-Stresemann-Ring 15  
65189 Wiesbaden**

**Titel** : Unterführung Berliner Straße: Betoninstandsetzung  
- Zustandsanalyse; Instandsetzungskonzept;  
Kostenschätzung -

**Auftraggeber** : Landeshauptstadt Wiesbaden  
Tiefbau- und Vermessungsamt  
Gustav-Stresemann-Ring 15  
65189 Wiesbaden

**Aktenzeichen** : 130401 – GA

65203 Wiesbaden, 12.12.2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Auftrag und Veranlassung</b>	<b>4</b>
<b>2 Ortstermine</b>	<b>4</b>
<b>3 Verwendete Unterlagen</b>	<b>4</b>
3.1 Planunterlagen	4
3.2 Schrifttum	5
<b>4 Angaben zu den Bauwerken</b>	<b>5</b>
4.1 Allgemeines	5
4.2 Bauwerkbereiche	6
<b>5 Beton</b>	<b>8</b>
<b>6 Instandsetzungsarbeiten</b>	<b>8</b>
<b>7 Feststellungen vor Ort</b>	<b>8</b>
7.1 Vorbemerkungen	
7.2 Innenflächen der Stütz-/Trogwände	9
7.3 Innenflächen des Tunnels	11
7.4 Gesimskappen	13
7.5 Fugen	13
7.6 Beton	14
7.7 Verschiedenes	14
<b>8 Beurteilungen der Feststellungen und Ergebnisse</b>	<b>15</b>
8.1 Beurteilung der augenscheinlichen Feststellungen	15
8.2 Beurteilung der Ergebnisse der Untersuchung/Prüfungen	19
<b>9 Fragen zu Instandsetzungsmaßnahmen</b>	<b>21</b>
9.1 Dringlichkeit der Instandsetzung	21
9.2 Art der Instandsetzung	22
9.3 Ausführung der Instandsetzung	27
9.4 Kostenschätzung der Instandsetzungsarbeiten	28

## 1 Auftrag/Veranlassung

Das Tiefbau- und Vermessungsamt der Landeshauptstadt Wiesbaden erteilte dem Ingenieurbüro Jörg Reedwisch UG am 31.10.2018 den Auftrag , auf Grundlage des Angebots Nr. 10151304 / 15.10.2018, mit der Durchführung von Ingenieurleistungen zur Beurteilung von Betonschäden an der Bauwerkkonstruktion:

Der Ist-/ Soll – Zustand der Bauteile ist zu ermitteln und ein Instandsetzungskonzept einschl. dessen Kostenschätzung ist aufzuzeigen.

Gegenstand der Beauftragung im Einzelnen:

- Betonbauteile/-oberflächen visuell auf Mängel/Schäden qualitativ untersuchen.
- Schadensbilder optisch beschreiben und dokumentieren.
- Untersuchungen/Prüfungen vor Ort und/oder im Labor durchführen.
- Feststellungen und Prüfergebnisse analysieren und beurteilen.
- Soll-Zustand festlegen.
- Instandsetzungskonzept einschl. Kostenschätzung aufzeigen.

## 2 Ortstermine

Ortsbegehungen – zur Schadensfeststellung, Bauwerksuntersuchung und Bohrkernentnahme – haben stattgefunden am 03.11.2018 und 04.11.2018.

Das Wetter war an diesen Tagen sonnig, bewölkt und trocken, die Außentemperatur betrug ~ 10°C.

O.g. Untersuchungen / Prüfungen vor Ort - wie auch später im Labor - wurden von IQ Beton, Ing.-Büro Laukemper, Hochheim, durchgeführt.

## 3 Verwendete Unterlagen

### 3.1 Plan-/ Ausführungsunterlagen / Dokumente

- [1] Tiefbauamt Wiesbaden: Leistungsbeschreibung „Instandsetzung der Unterführung Berliner Straße“; 11/2000.
- [2] Dipl.-Ing. Falk Funke, Kassel: Statik und div. Schal- und Bewehrungspläne „Umbau Berliner Straße“; 10/71 – 4/72.
- [3] Tiefbau-/Vermessungsamt Wiesbaden: „Ermittlung von Betonflächen in der Unterführung von Berliner Straße zur Frankfurter Straße bzw. zum Gustav-Stresemann-Ring“.
- [4] Amt für Verkehrswesen, Wiesbaden: „Öffentliche Ausschreibung Nr. 16/71: Umbau Berliner Straße“; 22.03.1971.
- [5] Fa. Ferdinand Betoninstandsetzung GmbH: „Angebot Gewerk Berliner Straße“; 06.11.2000.
- [6] Fa. Ferdinand GmbH: Schlussrechnung „Gewerk Berliner Straße“; 25.06.2001.
- [7] IQ-Beton, Hochheim: Ergebnisbericht Nr. 093 –PB vom 21.11.2018.

### 3.2 Schrifttum / Regelwerke

- [8] DIN EN 1092-1 (EC 2): „ Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton – und Spannbetontragwerk, Teil1-1“: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit nationalem Anhang. Berlin 2012, Beuth-Verlag.
- [9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN e. V. (DAfStb): "Zur chloridinduzierten Makroelementkorrosion von Stahl in Beton" – Heft 433: Berlin, 1992.
- [10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN e. V. (DAfStb): "Chloridkorrosion von Stahl in gerissenem Beton; Einfluss von Betongüte, Wasserhaushalt und Zeit auf das Eindringen von Chloriden in Beton" – Heft 390: Berlin, 1988.
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): "Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton" – Heft 436: Berlin, 1993.
- [12] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV): Heftreihe 35 „ Korrosion der Bewehrung im Bereich von Trennrissen nach kurzzeitiger Chlorideinwirkung“: Berlin, 2015.
- [13] DIN Fachbericht 100: – Zusammenstellung von DIN EN 206-1 "Beton"– Teil 1: "Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität" und DIN 1045-2 "Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton" – Teil 2: "Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität" – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Ausgabe März 2010, Beuth-Verlag.
- [14] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN e. V. (DAfStb): "Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie)": Berlin, 2001.

## 4 Angaben zu den Bauwerken

Die nachfolgenden Angaben beruhen auf Vor-Ort-Feststellungen, örtlichem Aufmaß und Planunterlagen (→[2]).

### 4.1 Allgemeines

**(1)** Bei der etwa 45 Jahre alten Gesamtkonstruktion handelt es sich um ein Unterführungsbauwerk mit den daran angeschlossenen Rampenbauwerken im Verlauf der Berliner Straße, des Gustav-Stresemann-Ringes und der Frankfurter Straße.

Anmerkung: Im Folgenden wird dafür die Bezeichnung „Unterführungsbauwerk Berliner Straße" nach [2] übernommen.

→ **Anlage 1** enthält die Lage (rot gekennzeichnet) der Konstruktion bzw. den Verlauf der Straßenführung.

(2) Im Jahr 2001 wurde die Betonkonstruktion instand gesetzt. Grundlage der Instandsetzungsarbeiten war die Leistungsbeschreibung des Tiefbauamtes Wiesbaden [1].

## 4.2 Bauwerkbereiche

(3) Die Tragwerkplanung [2] unterteilt das „Unterführungsbauwerk Berliner Straße“ in mehrere Bau-/Betonierabschnitte („Block“), die entsprechend von 1 bis 58 nummeriert sind und aufgrund ihrer Konstruktionsmerkmale als Stützwand, Trog oder geschlossener Rahmen („Tunnel“) gelten.

→ **Anlage 2** enthält die Skizze mit der Lage der Bauwerkbereiche, denen die unterschiedlichen Konstruktionen zugeordnet sind.

### 4.2.1 Zu den Stützwänden

(4) Bei den Stützwänden handelt es sich um insgesamt 15 Blöcke (→ Anlage 2, blaue Kennzeichnung). Ihre Geometrie und Abmessungen sind in Statik/Plänen von [2] enthalten: Sie haben veränderliche Höhe, konstante Kappenausbildung und ihre Innenfläche ist senkrecht ausgebildet.

→ **Anlage 3** enthält die Systemskizze mit den wesentlichen Angaben.

Aus [3] gilt:

- Block 3 - 8, Achse **C**:  $H_{m,min} \sim 0,3 \text{ m}$ ;  $H_{m,max} \sim 2,2 \text{ m}$   
Block 3 - 8, Achse **D**:  $H_{m,min} \sim 1,0 \text{ m}$ ;  $H_{m,max} \sim 2,5 \text{ m}$
- Block 35 - 39, Achse **A**:  $H_{m,min} \sim 0,6 \text{ m}$ ;  $H_{m,max} \sim 1,6 \text{ m}$   
Block 35 - 39, Achse **D**:  $H_{m,min} \sim 0,8 \text{ m}$ ;  $H_{m,max} \sim 1,8 \text{ m}$
- Block 43 - 46, Achse **A**:  $H_{m,min} \sim 0,9 \text{ m}$ ;  $H_{m,max} \sim 2,4 \text{ m}$   
Block 43 - 46, Achse **B**:  $H_{m,min} \sim 0,9 \text{ m}$ ;  $H_{m,max} \sim 2,3 \text{ m}$

### 4.2.2 Zu den Trögen

(5) Bei den Trögen handelt es sich um insgesamt 25 Blöcke (→ Anlage 2, grüne Kennzeichnung). Ihre Geometrie und Abmessungen sind ebenfalls in [2] enthalten: Sie haben auch veränderliche Höhe, konstante Kappenausbildung, identisch wie die Stützwände, und auch ihre Innenfläche ist senkrecht ausgebildet.

→ **Anlage 3** enthält die Systemskizze mit den wesentlichen Angaben.

Aus [3] gilt:

- Block 9 - 16, Achse **C**:  $H_{m,min} \sim 3,0$  m;  $H_{m,max} \sim 5,4$  m  
Block 9 - 16, Achse **D**:  $H_{m,min} \sim 2,7$  m;  $H_{m,max} \sim 5,4$  m
- Block 24 - 34, Achse **A**:  $H_{m,min} \sim 1,9$  m;  $H_{m,max} \sim 5,2$  m  
Block 24 - 34, Achse **D**:  $H_{m,min} \sim 2,1$  m;  $H_{m,max} \sim 5,4$  m
- Block 47 - 52, Achse **A**:  $H_{m,min} \sim 2,9$  m;  $H_{m,max} \sim 5,2$  m  
Block 47 - 52, Achse **B**:  $H_{m,min} \sim 2,8$  m;  $H_{m,max} \sim 5,2$  m

#### 4.2.3 Zu den Rahmen (Tunnel)

(6) Die geschlossenen Rahmen, insgesamt 13 Stück weisen bereichsweise unterschiedliche Geometrie und/oder Abmessungen auf [2], wobei die Deckenbreite je nach Straßenverlauf um etwa 1,0 m variiert, die echte Wandhöhe dagegen annähernd konstant ist. Ausnahme bildet der Block der Tunneleinfahrt (Block 23) → **Anlage 4** enthält Beispiele von Systemskizzen mit den wesentlichen Angaben.

Aus [3] gilt:

- Block 23, Achse **A**:  $H_m \sim 4,5$  m  
Block 23, Achse **D**:  $H_m \sim 4,6$  m
- Block 53 - 58, Achse **A**:  $H_{m,min} \sim 4,3$  m;  $H_{m,max} \sim 4,7$  m  
Block 53 - 58, Achse **B**:  $H_{m,min} \sim 4,3$  m;  $H_{m,max} \sim 4,6$  m
- Block 17 - 22, Achse **C**:  $H_{m,min} \sim 4,3$  m;  $H_{m,max} \sim 4,6$  m  
Block 17 - 22, Achse **D**:  $H_{m,min} \sim 4,2$  m;  $H_{m,max} \sim 4,6$  m

#### 4.2.4 Zu den Gesimskappen

(7) Die Gesimskappen sowohl auf den Stützwänden als auch auf den Trogwänden haben die gleiche Geometrie und Abmessungen (→ Systemskizzen in Anlage 3).

#### 4.2.5 Zu den Fugen

(8) Die „Dehnungsfugen“ zwischen den einzelnen Blöcken waren nach Pos. 295 in [4] auszuführen:

- Verdübelt, Stahldübel:  $a = 40$  cm,  $\varnothing = 26$  mm,  $L = 75$  cm (25 cm bituminiert);
- Fugenband,  $b = 25$  cm, aus Kunststoff;
- Wasserabweisende Trennplatte ( $b = 1,5$  cm) als verlorene Schalung;
- Fugenkitt auf Thiokolbasis.

## 5 Beton

(9) Die v.g. drei Bauwerkarten (Stützwand, Trog, Rahmen) wurden nach Pos. 289/290 in [4] ausgeführt mit: „*Stahlbeton B300 als Wasserdichten Beton .... einschl. Schalung (luftseitig: Sichtbeton in gehobelter Schalung mit Nut- und Feder, sonst in rauer Schalung).*“

(10) Die Gesimskappen waren nach Pos. 291 in [4] herzustellen: „*...tausalzbeständiger Stahlbeton B 300 ... Die Sichtbaren Gesimsfläche ist mit 4 cm Betondeckung herzustellen. Zur Erzielung eines Mindestluftporengehaltes von 4 % ist ein luftporenbildender Zusatzstoff zuzugeben.*“

## 6 Instandsetzungsarbeiten

(11) Im Jahr 2001 wurden Instandsetzungsarbeiten an den Bauteilen durchgeführt: Wände (von Stützwand, Trog, Tunnel), Kappengesims (von Stützwand, Trog) und Decke (von Tunnel). Die erforderlichen Arbeiten sind in [1] beschrieben und wurden in [5] angeboten und in [6] abgerechnet. Die darin beschriebenen und ausgeführten Arbeiten sind nachfolgend genannt:

- Betonstahl vorbereiten / beschichten
- Kunststoffvergüteten Zementmörtel einbringen
- Risse tränken / verpressen
- Betonfläche vorbereiten durch Feuchtstrahlen
- Dünnbettputz aufbringen (d ~ 2 mm)
- Schutz-/ Deckanstrich aufbringen
- Fugen erneuern, bereichsweise Fugenränder reprofilieren.

## 7 Feststellungen vor Ort

### 7.1 Vorbemerkungen

(12) Die freie Einsehbarkeit/Zugänglichkeit der einzelnen Bauteilflächen war aufgrund der bereichsweisen Verkehrssperrung gegeben.

(13) Alle augenscheinlichen Feststellungen an den Bauteilen betreffen die Textur der Betonoberflächen, Betonabplatzungen bzw. – ausbrüche mit oder ohne korrodierende Bewehrung, nachgebesserte Schadenstellen, gerichtete und-/oder Netzzrisse sowie schadhafte Bewegungsfugen.



(14) Es werden im Folgenden die augenscheinlich festzustellenden Mängel/Schäden i.d.R. qualitativ aufgezeigt bzw. beschrieben. Quantitative Angaben beruhen auf überschlägige Massen-/ Mengenermittlung.

Anmerkung: Die Begriffe „Mangel/Schaden“ werden nachstehend nicht thematisiert. Es wird der Begriff „Schaden“ für die entsprechenden Feststellungen verwendet, gleich welcher Einfluss auf die Konstruktion jetzt und/oder später daraus abzuleiten ist.

(15) Nachstehende augenscheinliche Feststellungen werden durch Feststellungen / Ergebnisse aus dem IQ-Beton-Bericht [7] über Bauteil- und Baustoffprüfungen ergänzt bzw. übernommen.

(16) Es werden im Folgenden zusammengefasst die Innenflächen der Stützwände und Trog, weil es sich hier zum einen um frei bewitterte Bauteile handelt und sie zum anderen gleiche Konstruktionsmerkmale aufweisen.

(17) Die Innen- und Deckenflächen der Tunnelbauteile sowie die Kappenflächen der Gesimse werden gesondert betrachtet.

(18) Es werden für die Lagebeschreibung stets die Nummerierung der einzelnen Blöcke und die Achsenbezeichnungen (A – D) aus dem Lageplan Anlage 2 verwendet.

## 7.2 Innenflächen der Stütz-/Trogwände

(19) Die Flächen wurden Instandgesetzt und weisen entsprechend der Vorgaben in [1] die abschließenden Arbeitsschritte „Dünnputz“, „Schutzanstrich“ und/oder „Rissüberbrückender Deckanstrich“ auf.

Der Augenschein und die Bohrkernaufnahmen in [7] ergeben nachstehenden **„Beschichtungsaufbau“** im Einzelnen:

1. Achse A, Block 41 - 24: Spachtelschicht  $d \sim 0,4 - 1,7$  mm, Beschichtung  $d \sim 0,1 - 0,2$  mm.
2. Achse A, Block 52 - 42: Spachtelschicht  $d \sim 0,5 - 2,0$  mm, Beschichtung  $d \sim 0,1$  mm.
3. Achse B, Block 52 - 42: Altanstrich, Beschichtung  $d \sim 0,1$  mm; der Bereich über + 2,0 m weist keine Beschichtung auf, er ist „roh“ gelassen und weist deutliche Porigkeit in der Oberfläche auf.
4. Achse C, Block 16 - 1: Spachtelschicht  $d \sim 0,5$  mm, Beschichtung  $d \sim 0,1$  mm.

5. Achse D, Block 41 – 24: Altanstrich, Spachtelschicht  $d \sim 0,1$  mm, Beschichtung  $d \sim 0,1$  mm.
6. Achse D, Block 16 – 1; Altanstrich; Spachtelschicht  $d \sim 1,5$  mm, Beschichtung  $d \sim 0,1$  mm.

V.g. Feststellung / Messung betreffen im Wesentlichen den „Spritzwasserbereich“,  $H \sim 2,0$  m, jeweils im unteren Wandbereich. Der obere Wandbereich weist z.T. einen (geringfügig) abweichenden Schichtenaufbau auf.

→ **Anlage 5 bis 17**; Bilder 1 bis 25, zeigen exemplarisch Teilflächen.

**(20) Schadstellen** in Form von abplatzenden Betonschichten über korrodierender Bewehrung sind vorhanden im Wandfußbereich, augenfällig im Bereich von Reprofilierungsmörtel v.a. in Achse A, Block 34 – 24.

→ **Anlage 18 bis 20**; Bilder 26 bis 30, zeigen exemplarisch schadhafte Wandbereiche.

**(21)** Die Spachtelschichten / Beschichtung (Anstrich) weisen zahlreiche Risse auf die sich in Art und Verlauf (sehr) unterschiedlich darstellen:

- Die überwiegend größte Anzahl verläuft gerichtet annähernd senkrecht über die gesamte Wandhöhe.
- Weitere senkrechte Risse sind v.a. in unteren Wandbereichen (= „Spritzwasserbereich“,  $H \sim 2,0$  m) vorhanden. Sie sind teilweise überspachtelt bzw. beschichtet, zeichnen sich aber deutlich ab. Ihre Anzahl variiert von Block zu Block.
- Waagerechte, kurze Risse sind im Bereich instandgesetzter Schadstellen vorhanden, auffällig im unteren Wandbereich Achse A.
- Gespachtelte, untere Wandbereiche weisen deutliche Netzrissbildung auf, augenfällig z.B. in Achse B; Block 42 bis 52

→ **Anlage 21 bis 26**; Bilder 31 bis 42, zeigen exemplarisch Rissbildung.

**(22)** Die entnommenen Bohrkern im Bereich deutlich sichtbarer Risse weisen aus, dass es sich hier um Trennrisse über den gesamten Wandquerschnitt handelt (→ Bohrkernaufnahmen in [7]).

**(23)** Nach [1] waren Risse zu tränken oder zu verpressen. Nach [6] sind  $\sim 360$  m bzw.  $\sim 171$  m Risse entsprechend behandelt worden. Die im Rissbereichen entnommenen Bohrkern – insgesamt 8 St., davon 4 St. mit Injektionspacker – weisen keine signifikante „Füllung“ der Risspalten auf.

(24) Es zeichnen sich zahlreiche Risse in der Beschichtung als „verspachtelt“ ab.  
→ **Anlage 27**; Bilder 43 bis 44.

(25) Es wurden in der Beschichtung sich abzeichnende Risse überschlägig gezählt, wobei diese mindestens über die halbe Wandfläche verlaufen:

1. Achse A : ~ 65 St.
2. Achse B : ~ 23 St.
3. Achse C : ~ 27 St.
4. Achse D : ~ 58 St.

(26) Im Bereich der Wandfüße (5 cm über OK Schrammbord) wurden von insgesamt 12 Messstellen an 10 Messstellen **Chloridgehalte** von min 0,45 M.-% bis max 0,92 M.-% bezogen auf das Zementgewicht ermittelt.

(27) Die **Befondeckung** wurde im Bereich der Messstellen gemessen. Sie beträgt:  
 $C_{m, \min} \sim 15 \text{ mm}$ ;  $C_{m, \text{min}}$  ~ 22 mm;  $C_{m, \max} \sim 59 \text{ mm}$ .

(28) Die **Karbonatisierungstiefen** im Bereich der Messstellen beträgt:  $t_{k, \min} \sim 0 \text{ mm}$ ,  $t_{k, \max} \sim 20 \text{ mm}$ .

## 7.3 Innenflächen des Tunnels

### 7.3.1 Zu den Wandflächen

(29) Dem „**Beschichtungsaufbau**“ liegen die Vorgaben analog Abs. 19 zugrunde. Im Einzelnen:

1. Achse A: Spachtelschicht  $d \sim 0,5 \text{ mm}$ , Beschichtung  $d \sim 0,1 \text{ mm}$ .
2. Achse B: Altanstrich, Beschichtung  $d \sim 0,1 \text{ mm}$ ; der Bereich über + 2,0 m weist keine Beschichtung auf: es ist die roh belassene Brettstruktur vorhanden, die Oberfläche weist bereichsweise deutliche Porigkeit auf.
3. Achse C: Altanstrich, Spachtelschicht  $d \sim 0,5 \text{ mm}$ , Beschichtung  $d \sim 0,1 \text{ mm}$ .
4. Achse D: Altanstrich, Spachtelschicht  $d \sim 0,5 \text{ mm}$ , Beschichtung  $d \sim 0,1 \text{ mm}$ .

→ **Anlage 28 bis 31**; Bilder 45 bis 48, zeigen exemplarisch Teilflächen,

(30) **Schadstellen** in Form von Verfärbungen, beginnenden und fortgeschrittenen Abplatzungen im Wandfußbereich von Achse B sind deutlich sichtbar.

→ **Anlage 32 bis 34**; Bilder 49 bis 54, zeigen exemplarisch schadhafte Wandbereiche.

(31) Die Wandflächen weisen ebenfalls deutliche **Risse** auf. Ihre Intensität – Menge, Größe, Verlauf – stellen sich jedoch im Vergleich zu Abs. 21 – 25 unterschiedlich dar:

- Die senkrecht über die gesamte Wandfläche verlaufenden Risse befinden sich i.d.R. etwa in Blockmitte ( $\pm \sim 2,0$  m).
- Sie sind am deutlichsten sichtbar in Achse B, da hier die Oberfläche nur dünn beschichtet ist bzw. roh belassen.
- V.g. Risse weisen Breiten von  $\max w \sim 0,7$  mm auf.
- Neben den sichtbaren wandhohen Rissen sind weitere vorhanden, die nur in Teilbereichen der Wandhöhe sichtbar sind. Die Anzahl der Risse beträgt überschlägig ermittelt:

1. Achse A:	~	9 St.
2. Achse B:	~	10 St.
3. Achse C:	~	7 St.
2. Achse D:	~	15 St.

→ **Anlage 30 bis 37**; Bilder 55 bis 63, zeigen exemplarisch Rissbildung.

(32) Der **Chloridgehalt** im Wandfußbereich beträgt an allen 8 Messstellen zwischen  $\min 0,42$  M.-% und  $\max > 2,79$  M.-% bezogen auf das Zementgewicht.

(33) Die **Betondeckung** wurde im Bereich o.g. Messstellen ermittelt. Sie beträgt:  $c_{\min} \sim 11$  mm;  $c_{\text{ru,min}}$   $\sim 23$  mm;  $c_{\max} \sim 42$  mm.

(34) Die **Karbonatisierungstiefe** im Bereich der Messstellen beträgt:  $l_{k,\min} \sim 0$  mm,  $l_{k,\max} \sim 20$  mm.

### 7.3.2 Zu den Deckenflächen

(35) Die **Textur** der Betonnabenfläche ist rau und entspricht dem Abdruck der in [4] geforderten Brettschalung. Die im i.Z. der Instandsetzung nach [1] aufgebraute Beschichtung OS C (OS 4) beeinflusst das gewollte Erscheinungsbild nur unwesentlich.

(36) Augenfällige **Schadstellen**, z.B. Betonabplatzungen und/oder Korrosionsspuren, sind in keinem Deckenfeld vorhanden.

(37) Es sind **Risse** erkennbar, die sowohl annähernd parallel oder senkrecht zur Tragrichtung über die gesamte Deckenbreite verlaufen. Ihre Anzahl konnte aufgrund der eingeschränkten Einsehbarkeit (Hubsteiger) der Deckenfläche nicht sicher ermittelt werden.

→ **Anlage 38 bis 40**; Bilder 64 bis 69, geben die Ansicht von Teilflächen wieder.

**(38)** Die an vier Messstellen durchgeführten Prüfungen haben nachstehende Ergebnisse:

1. Chloridgehalt: M.-% = 0,01.
2. Betondeckung:  $c_{\text{min}}$  ~ 19 mm,  $c_{\text{m,min}}$  ~ 19 mm;  $c_{\text{m,max}}$  ~ 36 mm.
3. Karbonatisierungstiefen:  $f_{\text{k,min}}$  ~ 0 mm,  $f_{\text{k,max}}$  ~ 23 mm.

## 7.4 Gesimskappen

**(39)** Die Flächen der Gesimskappen sind mit einem „Dünnbettputz“ und „Schufzanstrich“ entsprechend [1] versehen und nach [6] abgerechnet.

**(40)** Es sind in allen Kappen (Achse A bis D) senkrecht zu den Längsachsen verlaufende Risse, die sich in ihrer Anzahl von Block zu Block nicht wesentlich unterscheiden. Als „Richtwert“ gelten  $M \sim 11$  St.

**(41)** Augenfällige Schadenstellen sind nicht vorhanden.

→ **Anlage 41 bis 44**; Bilder 70 bis 79, zeigen exempl. Kappenausbildung/Risse.

## 7.5 Fugen

**(42)** Die Bewegungsfugen zwischen den einzelnen Blöcken sind planmäßig nach Abs. 7 ausgebildet.

Der Instandsetzungsvorgaben entsprechend wurde der Dichtstoff großteils erneuert und in (deutlich) kleinerem Umfang schadhafte Fugenränder reprofiliert.

**(43)** Das heutige Schadensbild der Bewegungsfugen stellt sich im Bereich aller Stütz- und Trogwände ähnlich/gleich dar, so dass im Folgenden hier auf eine Differenzierung der Bauteile und Lageangabe (Achsenbezeichnung) verzichtet werden kann. Im Einzelnen:

1. Der Dichtstoff weist ausgeprägte Adhäsions- und Kohäsionsrisse auf, wobei aufgrund ihrer Intensität die waagerechten Fugen der Gesimskappen hervorzuheben sind.
2. Die Fugenkanten (Fugenufer/-flanken) weisen zahlreiche Risse und/oder beginnende und fortgeschrittene Betonablösungen bzw.-abplatzungen auf. Die Schadensintensität wechselt sowohl im Verlauf der einzelnen Fuge als auch von Fuge zu Fuge.
3. Es sind im oberen Fugenbereich vereinzelt die Stahldübel und/oder senkrechten Bewehrungsstäbe infolge v.g. Betonabplatzungen freigelegt. Der Stahl weist hier deutlich Korrosion auf.

→ **Anlage 45 bis 55**; Bilder 80 bis 108, zeigen exemplarisch Schadensbilder.

(44) Die Bewegungsfugen zwischen den Tunnelblöcken – sowohl im Wand – als auch Deckenbereich – weisen i.d.R., mit deutlich geringerer Intensität, Adhäsions- und Kohäsionsrisse auf.

Das v.g. Schadenbild (→ Abs. 43 Aufz. 2) stellt sich umfänglich sehr gering dar.

(45) Die im Fugenbereich der Stützwand und der Tunnelwand entnommenen zwei Bohrkern (→ BK 29-F bzw. BK 53-F in [7]) belegen die in [1] und [4]gewollte Ausbildung der Fuge.

## 7.6 Beton

(46) An den entnommenen Bohrkernen, die in [7] bildhaft dokumentiert sind, können nachstehende visuelle, wesentliche Feststellungen zusammengefasst werden:

1. Es handelt sich um einen **Normalbeton** mit runder Gesteinskörnung, die gleichmäßig verteilt ist.
2. Die **Mörtelmatrix** ist leicht erhöht und weist geringe/normale **Porigkeit** auf.
3. Die **Bewehrung** ist gerippter Beton-Stabstahl, der weder Verbundstörungen noch signifikante Korrosionserscheinungen aufweist.
4. Vorhandene **Risse** sind gerichtet und „offen“. (Anmerkung: Es sei hier auf die in Abs. 22/23 genannten Feststellungen bzw. Forderung verwiesen, wonach die Risse zu schließen waren - oder zumindest bereichsweise.)

## 7.7 Verschiedenes

(47) Im Zuge vor genannter „Beton-Untersuchung“ wurden „Begleitende Feststellungen“ getroffen, die nachstehend zusammengefasst sind.

(48) Die nach [6] ausgeführten „**Geländerpfostenverankerung**“ (210 St.) weist teilweise Risse und Abplatzungen auf.

→ **Anlage 56**; Bilder 109 und 110, zeigen exemplarisch die Pfostenverankerung.

(49) Im Bereich der Fahrbahnen wurden insgesamt 4 Bohrkern entnommen. Die daran festgestellte Gesamtdicke der **Asphaltschicht** beträgt zwischen  $D_{\min} \sim 65$  mm und  $D_{\max} \sim 125$  mm (→ [7] Tabelle 4).

(50) Die im BK-Bereich entnommenen Bohrmehlproben weisen nur an einer Stelle im Bereich eines Risses /Fuge im Asphalt, „gefährliche“ **Chloridgehalte** von 0,68/0,95 M.-% auf, bezogen auf das Zementgewicht.

(51) Die Anschlussfugen aller aufgehenden Wände mit den Schrammborden weisen unterschiedlichen Schadensgrad auf mit Kohäsions- und Adhäsionsrissen. → **Anlage 57** und **58**; Bilder 111 bis 116, zeigen exemplarisch den Fugenzustand.

## 8 Beurteilung der Feststellungen und Ergebnisse der Untersuchung/Prüfungen

### 8.1 Beurteilungen der augenscheinlichen Feststellungen

#### 8.1.1 Vorbemerkungen

(52) Zur Beurteilung der augenscheinlichen Feststellungen (→ Abschn. 7) werden nachfolgend die visuellen Feststellungen der Bohrkernaufnahmen sowie auch Teilergebnisse der Untersuchungen/Prüfungen mit einbezogen, um Sachverhalte zu verdeutlichen und/oder sicherer zu beurteilen.

(53) Primäre Schadensursachen, z.B. Ursachen der Rissbildung, werden (auftragsgemäß) nicht aufgezeigt.

#### 8.1.2 Zum Beschichtungsaufbau (→ Abs. 19; 29; 21)

(54) Der beschriebene Beschichtungsaufbau der auf den weitaus meisten Betonflächen vorhanden ist - Ausnahme sind obere Wandbereiche in Achse B - stellen sich in wechselnder unterschiedlicher Ausführung dar.

Für die geplante Instandsetzungsmaßnahme sei an dieser Stelle die maßgebenden Schichtdicken genannt: Spachtelschicht  $d \sim 2,0$  mm, Beschichtung  $d \sim 0,1$  mm.

Anmerkung: Die technisch richtige und qualitative Ausführung v.g. Arbeiten wird weder an dieser Stelle noch im Folgenden beurteilt.

(55) Die auf allen Oberflächen sichtbaren **Risse** unterschiedlicher Art und Intensität (→ z.B. Abs. 21/24) sind auch in Ihrer Auswirkung unterschiedlich zu beurteilen:

- Die Netzrisse haben keinen Einfluss auf die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit der Betonkonstruktion. Sie beeinflussen jedoch nachhaltig die Dauerhaftigkeit des Beschichtungsaufbaues.
- Die oberflächlich geschlossenen / gespachtelten Risse sind analog zu beurteilen, so lange sie nur den Beschichtungsaufbau durchtrennen.
- Die senkrechten, gerichteten Risse haben dagegen aufgrund ihrer Ausbildung (Breite, Tiefe) wesentlichen Einfluss auf die Betonkonstruktion (s.u.).

(56) Als Zusammenfassung aller v.g. Rissbilder gilt, dass es sich um ein „Konglomerat“ von Rissen unterschiedlicher Art, Zustände und Auswirkungen handelt. Diese Einstufung hat – im Vorgriff – wesentlichen Einfluss auf die geplante Instandsetzungsmaßnahme.

### 8.1.3 Zu den gerichteten Rissen (→ Abs. 22/23; 31)

(57) Bei den gerichteten Rissen handelt es sich um Trenn-/ Spaltfisse, d. h., den gesamten Beton-/Bauteilquerschnitt durchtrennende Risse.

Die derzeitigen Rissbreiten sind  $> 0,1$  mm – was die größte, rechnerische Rissbreite für die Wasserundurchlässigkeit darstellt – und sie sind wasserdurchlässig: Beweis sind Kalk- und/oder Korrosionsprodukte in den Rissbereichen.

Da wichtige Beobachtungsmerkmale fehlen, die direkt auf die Rissursache hinweisen, wie zeitliches Entstehen, Verlauf der Rissflächen und Gipsmarken, ob der Riss noch "arbeitet", sowie Angaben zur konstruktiven Ausbildung, Last- und Verformungsannahmen, seien an dieser Stelle nur die grundsätzlich als Ursache in Frage kommenden Zwangsspannungen genannt, ohne weiterführende "Ursachenforschung" zu betreiben.

Sie treten hauptsächlich auf aus:

- dem Trocknungsschwinden des Betons
- den Temperaturänderungen der Bauteile und
- den äußeren Lasten und dem Eigengewicht.

Die Auswirkungen der Risse sind unterschiedlich zu beurteilen auf Standsicherheit, Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit (= Lebensdauer) des Bauwerks:

(58) Die **Standsicherheit**, als wichtigstes Kriterium für die Gebrauchsfähigkeit eines Bauwerks, ist auch beim Auftreten von Rissen sichergestellt – normgerechte Bemessung vorausgesetzt. Und es besteht an dieser Stelle kein begründeter Zweifel an der statischen Berechnung bezüglich Rissebegrenzung und Ansätzen für zu erwartende Spannungen aus Last und Zwang am Tragwerk. Grundsätzlich sei noch einmal daran erinnert, dass feine Risse in auf Zug und/oder Biegung beanspruchten Betonbauteilen "normal" sind. Sie entsprechen dem Wesen des Stahlbetonbaus (Zustand II). [8] enthält daher Forderungen zur "Begrenzung" von Rissbreiten, nicht jedoch zur vollständigen "Vermeidung" von Rissen. Durch die Rissbildung werden Eigenspannungen und Zwangsschnittgrößen erheblich abgebaut: Sie stellt somit ein "Sicherheitsventil" gegen Überlastung durch Zwangsverformungen dar.



**(59)** Die **Gebrauchsfähigkeit** der „Unterführung“ ist nicht eingeschränkt.

**(60)** Das dritte, wichtige Beurteilungskriterium ist die **Dauerhaftigkeit** (=Lebensdauer). Richtig ist, dass sie durch Risse gemindert werden kann: Luft, Feuchtigkeit und Aggressivstoffe – hier: Chloride – haben Zutritt zur Stahloberfläche. Alle v. g. Voraussetzungen für eine Korrosion sind schneller erfüllt. Die Bewehrung kann korrodieren nach der Karbonatisierung der Rissufer und/oder wenn Chloride durch den Riss an den Stahl gelangen; die Korrosionsmechanismen hängen ab von Betongüte, Betondeckung, Rissbreite und Wassergehalt des Betons. Der Einfluss der Zeit ist von Bedeutung, da die Geschwindigkeit der Stahlkorrosion in Betonrissen stark vermindert wird, wenn diese durch Korrosions-, Karbonatisierungsprodukte, Schmutz, usw. verstopfen, oder wie im konkreten Fall durch Beschichtungen und/oder Injektionsharz geschützt bzw. geschlossen sind.

**(61)** Über den Einfluss und die Abhängigkeit von Rissen, Korrosion, Chloride und Karbonatisierung wird in umfangreichem Schrifttum berichtet. Stellvertretend seien Hefte des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) genannt [9] und [10]. Unter der Berücksichtigung aller darin genannten Theorien und Erkenntnissen und der Tatsache, dass die Risse größer 0,1 mm breit sind, und in der Bewehrungsebene „gefährliche“ Werte gemessen wurden, kann in der Summe ein Einfluss der Risse auf erhöhte Korrosionsgefahr der Bewehrung bejaht werden.

#### **8.1.4 Zu den Betonabplatzungen und zur Korrosion der Bewehrung**

(→ Abs. 20 bis 30)

**(62) Vorbemerkung:** Die "Korrosionsschäden" sind in Abs. 8.1.3 bereits für die gerichteten Risse bewertet worden. Es werden nachstehend daher nur die allgemein gültigen Schadensursachen und -mechanismen für die Betonabplatzungen aufgezeigt.

**(63)** Betonstahl ist im hochalkalischen Beton immer durch Ausbildung sog. Passivschichten "aktiv" vor Korrosion geschützt.

Der Korrosionsschutz wird aufgehoben, wenn gleichzeitig folgenden drei Bedingungen erfüllt sind:

- a) Auflösung der Stahl-Passivschicht durch Neutralisierung des umgebenden Betons infolge Karbonatisierung durch das Kohlendioxid der Luft.
- b) Ausreichendes Feuchtigkeitsangebot im Beton für die Elektrolytbildung.
- c) Ausreichendes Sauerstoffangebot im Beton (am Stahl) für die Korrosionsreaktion (Oxidation).

**(64)** Im vorliegenden Fall ist die erstgenannte Bedingung dort, wo Korrosionserscheinungen augenscheinlich festzustellen sind, immer erfüllt: die Karbonatisierungsfront hat den Betonstahl erreicht bzw. es liegen Chloride vor.

**(65)** Die zwei letztgenannten Bedingungen (b, c) sind im Außen- und Bodenbereich regelmäßig erfüllt. In ständig völlig durchfeuchtetem oder vollständig trockenem Beton korrodiert Bewehrung kaum, bei häufig wechselnden Feuchteverhältnissen dagegen rasch. Diese Tatsache ist auch der Grund für das ausgeprägtere Schadensbild in den oft wechselnd "nassen" oberflächennahen Bereichen der frei bewitterten Wandfüßen.

Bei Ersteren (a) wird der Schadensmechanismus zusätzlich durch die im Spritzwasser enthaltenen Chloride verstärkt: In karbonatisiertem Beton fördern Chloride eine gegenüber chloridfreiem Beton verstärkte Korrosion in Form gleichmäßigen Abtrages an der Bewehrung. Diese flächenhaften Abtragungen unter Bildung voluminöser Rostprodukte führen dann zu Betonabplatzungen.

**(66)** Der Schadensmechanismus ist somit eindeutig:

- Die äußere Betonschicht (Betondeckung) ist im Laufe der Jahre karbonatisiert.
- Sauerstoff gelangt von der Betonaußenseite infolge Diffusion durch die Betondeckung zum Bewehrungsstahl.
- Im Beton ist freies Wasser (Elektrolyt) vorhanden.
- Alle Bedingungen für die Stahlkorrosion sind gleichzeitig erfüllt: die Bewehrung korrodiert.
- Mit wachsendem Volumen der Korrosionsprodukte nimmt der "Sprengdruck" auf den Beton zu, so dass letztlich zu geringe und/oder wenig feste Betondeckung abplatzt.

### **8.1.5 Zu den schadhafte Bewegungsfugen (→ Abs. 7.5)**

**(67)** Die aufgezeigten Schäden sind grundsätzlich zu unterscheiden zwischen Schäden des Dichtstoffes und Schäden der Betonbauteile.

**(68)** Die Adhäsions- und/oder Kohäsionsrisse der Dichtstoffe sind zum einen auf dessen Versprödung zurückzuführen und zum anderen auf techn. nicht richtige Ausführungsgrundsätze (Querschnitt; Primer).

**(69)** Die verstärkten Betonabplatzungen/Rissbildungen sowie Korrosionserscheinungen im Bereich der Fugenufer/-flanken beruhen primär auf der Durchlässigkeit der Fugenkonstruktion infolge des unwirksamen schadhaften Dichtstoffes v.a. im Bereich der waagerechten Gesimsfuge - so ist das „Wasserangebot“ groß- und damit sekundär auf den Schadenmechanismus entsprechend Abs. 66.

## **8.2 Beurteilung der Ergebnisse der Untersuchung / Prüfungen**

### **8.2.1 Zu den Karbonatisierungstiefen**

**(70)** Über die Karbonatisierung liegt zahlreiches Schrifttum vor. Stellvertretend ist die DAfStb-Veröffentlichung [11] genannt.

Beton ist demnach alkalisch mit einem pH-Wert von 12,6 bis 13,9. Stahl verhält sich in dieser Umgebung passiv, wobei eine sehr dünne, dichte Oxidschicht die Eisenauflösung praktisch vollständig verhindert. Die Korrosionsschutzwirkung eines die Bewehrung umhüllenden Betons beruht also nicht auf der geringen Durchlässigkeit des Betons für Wasser und Sauerstoff, welche beide für die Korrosion nötig sind. Der Schutz von Korrosion beruht auf dem o. g. "alkalischen Milieu",

**(71)** Die Karbonatisierung wird von den nachstehenden Faktoren maßgebend beeinflusst:

- Porigkeit des Betons, Verteilung der Poren
- Wasserhaushalt in den Kapillarporen
- Gehalt an CO<sub>2</sub> der umgebenden Luft
- Kalziumhydroxidgehalt Ca(OH)<sub>2</sub> des Betons.

Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit ist insbesondere abhängig von der Porigkeit des Zementsteins in der oberflächennahen Zone und dem Benetzungsgrad der Poren. (Die Karbonatisierung erreicht bei 50 bis 70 % relativer Luftfeuchte ein Maximum.)

**(72)** Der Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls wird aufgehoben, wenn gleichzeitig die folgenden drei Bedingungen erfüllt sind:

- a) Auflösung der Stahl-Passivschicht durch Neutralisierung des umgebenen Betons infolge Karbonatisierung durch das Kohlenstoffdioxid der Luft,
- b) ausreichendes Feuchtigkeitsangebot im Beton für die Elektrolytbildung,
- c) ausreichendes Sauerstoffangebot im Beton (am Stahl) für die Korrosionsreaktion (Oxidation).

(73) Die gemessenen Karbonatisierungstiefen sowohl in den frei bewitterten als auch geschützten Tunnelbauteilen weisen für das Bauwerkalter übliche Werte mit entsprechenden Streuungen auf:  $t_k \sim 0 - 20$  mm.

Die Karbonatisierungsfront hat demnach, zumindest bereichsweise, die Bewehrungsebene mit  $c_{min} \sim 11/15$  mm ( $\rightarrow$  Abs. 33/27) partiell erreicht.

(74) Als zusammenfassendes Ergebnis gilt, das mit der Karbonatisierungsfront in der Bewehrungsebene eine der Bedingungen für den Korrosionsmechanismus erfüllt ist.

### 8.2.2 Zu der Betondeckung

(75) Die damals gültige DIN 1045 (Ausgabe 1972-01) forderte Mindestbetondeckungen zum Schutz gegen Korrosion in Abhängigkeit von Umweltbedingungen. Aufgrund von Lage und Beanspruchung der unteren Wandbereiche war eine Einstufung aus v.g. Norm Tabelle 10, Zeile 4, vorzunehmen. Daraus ergibt sich (damals wie heute!)  $c_{min} = 40$  mm und  $c_{norm} = 50$  mm. Diese Vorgaben wurden nicht umgesetzt / eingehalten: mit  $c_{min} \sim 19$  mm bzw. 23 mm werden sie deutlich unterschritten.

(76) Als Ergebnis ist zusammenzufassen:

- Die ermittelte Betondeckung entspricht nicht damaligen und heutigen Normanforderungen.
- An augenfälligen Schadstellen (Wandfüße) ist die Betondeckung (sehr) klein ( $\leq 10$  mm). Entsprechende Korrosionsschäden liegen vor.

### 8.2.3 Zu den Chloriden ( Abs. 26/32/38)

(77) Im allgemeinen sind Chloridgehalte mit dem Grenzwert des DAfStb von max 0,4 M.-% bezogen auf den Zementgehalt bzw. 0,07 M.-% bezogen auf das Betongewicht für die Bewehrung unschädlich, da diese Mengen unter normalen Bedingungen im Zementstein chemisch gebunden werden. Bei größeren Gehalten können die dann "freien" Chloridionen auch in alkalischem, also nicht karbonatisiertem Beton die Passivschicht des Stahles durchdringen. Es kommt dann bei Anwesenheit von Sauerstoff und Feuchtigkeit – und nur dann – zu örtlich konzentriertem Angriff am Stahl mit Narbenbildung bzw. "Lochfraß".

Einen Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand zu Fragen über die Wirkung von Chloriden auf Beton und Stahlbeton gibt z. B. [12].

(78) Von den insgesamt 20 Messstellen im Bereich der Wandfüße (Stützwand/Trog/Tunnel) weisen 18 Messstellen mit Chloridgehalte von 0,42 M.-% bis > 2,79 M.-% auf und überschreiten damit o.g. Grenzwert von 0,4 M.-% und können chloridinduzierte Bewehrungskorrosion bewirken.

(79) Aufgrund der Tatsache, dass 90 % der Messstellen „gefährliche“ Chloridgehalt bis in eine Tiefe von 0 bis 4 cm aufweisen und die Betondeckung großen Schwankungen unterliegt und mit  $c_{min}$  und  $c_{m,min}$  deutlich in diesem Bereich liegt, ist die Aussage „zulässig“, dass im Großteil der Wandbereiche aktive Bewehrungskorrosion vorhanden ist.

(80) Und es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass infolge der Verkehrsbelastung die Wandflächen auf Dauer ständig durch tausalzhaltiges Spritzwasser beaufschlagt werden und somit der Chloridgehalt ansteigt sowie die Geschwindigkeit und Intensität der Korrosion vergrößert wird (!).

## 9 Fragen zu Instandsetzungsmaßnahmen

### 9.1 Dringlichkeit der Instandsetzung

(81) Die Maßnahmen zur Instandsetzung werden bestimmt durch die Antwort auf die Frage nach der **Standicherheit**, der **Gebrauchsfähigkeit** und der **Dauerhaftigkeit (Lebensdauer)** der Bauteile bzw. der Konstruktion. Ergänzend stellt sich die Frage nach möglichen Folgeschäden, die durch die vorhandenen Schäden ausgelöst werden.

Aus dem in Abschnitt 8 erörterten Schadensursachen und –mechanismen ergibt sich nachstehende Beurteilung.

(82) Generell ist die **Standicherheit** aktuell gegeben – im Sinne allgemein gültiger Interpretation (z. B. bautechnischer Prüfungsverordnung). **Aber:** Es liegt chloridinduzierte Bewehrungskorrosion vor. Dafür gelten die Regelungen der Instandsetzungs-Richtlinie [14]. Diese interpretiert die Standicherheitsrelevanz deutlich enger, so dass hier die Frage im Sinne dieser Richtlinie nach einer Gefährdung der Standicherheit zu bejahen ist (!), weil

- bereits aktive Bewehrungskorrosion an den Wänden vorliegt,
- ohne wirksame Instandsetzungsmaßnahmen die Bauteilwiderstände nicht mehr den Plangrundlagen entsprechen.

(83) Die **Gebrauchsfähigkeit** ist z. Z. gegeben.

**(84)** Die **Dauerhaftigkeit** (=Lebensdauer) der Konstruktion ist durch Korrosion und Betonabplatzungen geschädigter Bereiche wegen der Gefahr des Beginns oder Fortschreitens abtragender Korrosion an der Bewehrung auf lange Sicht – ohne Instandsetzungsmaßnahmen – erheblich gemindert.

**(85)** Aus der Forderung nach Standsicherheit und Dauerhaftigkeit leitet sich ein zeitnaher Handlungsbedarf ab:

1. Das vorhandene Schadensbild und die vorliegenden Prüfergebnisse lassen die Antwort zu, dass eine Instandsetzung / Instandhaltung der Tiefgarage erforderlich und technisch erfolgreich möglich ist.
2. Die einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen und Arbeitsschritte sind in einem Instandsetzungskonzept und weiterführend in einen Instandsetzungsplan bzw. Leistungsverzeichnis auszuarbeiten.
3. Die Ausführung der Instandsetzungsarbeiten ist von Fachfirmen entsprechend der Anforderungen der DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [14] vornehmen zu lassen.

## 9.2 Art der Instandsetzung

### 9.2.1 Vorbemerkung

**(86)** Aufgrund der zusammenfassenden Beurteilung der Schadstellen und Prüfergebnisse ergibt sich die Forderung nach einer bauteilbezogenen Instandsetzungsmaßnahme, die ausgeführt werden muss, um Standsicherheit und Dauerhaftigkeit sicherzustellen. Als wesentliches Auswahlkriterium für die Instandsetzungsmaßnahmen kommt den Bauteilbereichen mit hoher Korrosionswahrscheinlichkeit (Chlorideintrag) eine besondere Bedeutung zu.

**(87)** Ziel und Zweck der Instandsetzungsarbeiten ist, alle Schadstellen an den Betonbauteilen zu beseitigen und alle Flächen dauerhaft zu schützen. Es werden im Folgenden keine Berechnungen zur erwartenden Lebensdauer der Betonbauteile vorangestellt. Die nachstehend aufgezeigte Instandsetzungsmaßnahme sind aufgrund des vorhandenen Schadensbildes und/oder Diagnoseergebnisses im Wesentlichen auf das Verhindern/Verringern der chloridinduzierten Bewehrungskorrosion in den Betonbauteilen abgestellt sowie auf das Eindringen von Feuchtigkeit.

(88) Die Prinzipien der nachstehenden Instandsetzungsmaßnahmen beruhen auf der Realkalisierung des Betons (Prinzip R), dem Austausch von chloridkontaminiertem Beton (Prinzip R-Cl) sowie dem Absenken des Wassergehaltes im Beton, um den elektrolytischen Teilprozess bei der Korrosion der Bewehrung zu unterbinden (Prinzip W).

(89) Den Anforderungen der DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie entsprechend ist die Gesamtmaßnahme als „**standsicherheitsrelevant**“ einzustufen, was in Folge besondere Anforderungen an die Instandsetzungstoffe und die Fremdüberwachung durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle während der Ausführung bedingt.

(90) Die Reihenfolge der nachstehenden Arbeitsgänge ist bei der Ausführung eigenverantwortlich durch den Auftragnehmer ggf. zu ändern.

### 9.2.3 Zu den Wandflächen (Stützwand / Trog / Tunnel)

(91) Die nachstehenden Instandsetzungsmaßnahmen betreffen die gesamten senkrechten Innenflächen aller Bauwerkblöcke von OK-Schrammbord bis UK-Gesimskappe. Das Prinzip beruht auf dem Instandsetzungsprinzip R-CL für den unteren Wandbereich ( $H \sim 50$  cm) und für die flächig vorbeugende Schutzmaßnahme im oberen Wandbereich nach dem Instandsetzungsprinzip W. Folgende wesentliche Arbeitsschritte sind zur zielsicheren Instandsetzung erforderlich:

#### 1. Wandfußbereiche

- a) Schadhafte und chloridkontaminierte Betondeckung einschl. Altbeschichtung im Bereich des unteren Wandbereiche durch Stemmen/Hochdruckwasserstrahlen bis ca. 50 cm Höhe abtragen. Die Tiefe des Abtrages muss  $T \geq 30$  mm betragen bzw. mindestens  $T = c_{\text{vorh.}} + d_s + 10$  mm, d.h. die Bewehrung muss allseitig freigelegt sein.
- b) Betonstahl mit Hochdruckwasserstrahlen  $> 600$  bar entrostet (bei chlorid-induzierter Korrosion!).
- c) Mineralischen Korrosionsschutzstoff auf freigelegten Betonstahl aufbringen.
- d) Gerichtete Risse aufweiten,  $b_m/t_m \sim 30/30$  mm und wieder füllen mit Reaktionsharzmörtel PC (EP/PUR).

- e) Gerichtete Trennrisse verpressen mit niedrigviskosem Injektionsharz (PUR-I).
- f) Ausbruchstellen-/flächen der Vorleistungen mit kunststoffmodifiziertem Instandsetzungsmörtel der Beanspruchungsklasse M3 im Spritzverfahren reprofiliert (SPCC).
- g) Kratz-/ Ausgleichspachtelung aus kunststoffmodifiziertem Zementmörtel (PCC-Betonersatzsystem) zum Ausgleich unterschiedlicher Rauheit aufbringen.
- h) Oberfläche der Vorleistung durch Wasserstrahlen (~ 300 bar) oder Feuchtstrahlen mit festen Strahlmitteln vorbereiten.
- i) Oberflächenschutzsystem OS 5a aufbringen in mind. 2 Arbeitsgängen (hwO).

## 2. Wandflächen

- a) Geschädigte und lose Betonschichten bis zum korrosionsfreien Bereich des Bewehrungsstahles abtragen.
- b) Rost auf dem Betonstahl entfernen, korrodierte (alte) Befestigungsmittel entfernen.
- c) Betonstahl und Betonoberflächen einschl. Altbeschichtung mittels Strahlen (Wasser und/oder feuchte Strahlmittel) vorbereiten, zu erzielende Oberflächenzugfestigkeit:  $\beta_{z,m} > 1,5 \text{ N/mm}^2$ .
- d) Betonstahl gegen Korrosion beschichten.
- e) Risse öffnen und wieder füllen mit Reaktionsharzmörtel PC (EP/PUR).
- f) Ausbruchstellen im Beton mit PCC-Grob-/Feinmörtel reprofiliert.
- g) Kratz-/Ausgleichspachtelung aus kunststoffmodifiziertem Zementmörtel (PCC-Betonersatzsystem) zum Ausgleich unterschiedlicher Rauheit der Betonoberfläche aufbringen.
- h) Oberflächenschutzsystem OS 5a aufbringen in mind. 2 Arbeitsgängen (hwO).

### 9.2.2 Zu den Deckenflächen (Tunnel)

(92) Die Betoninstandsetzungsmaßnahme ist eine Kombination aus verschiedenen "Grundsatzlösungen" nach der DAfStb-Rili - Prinzip W + C: Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes im Beton und durch Beschichtung der Bewehrung. Folgende wesentliche Arbeitsgänge - oder bereichsweise je nach Schadensgrad, Teile davon - sind auszuführen:



- a) Geschädigte und lose Betonschichten bis zum korrosionsfreien Bereich des Bewehrungsstahles abtragen.
- b) Rost auf dem Betonstahl entfernen, korrodierte (alte) Befestigungsmittel entfernen.
- c) Betonstahl und Betonoberflächen mit Altbeschichtung mittels Feucht-/ Feststoffstrahlen vorbereiten, zu erzielende Oberflächenzugfestigkeit:  $\beta_{z,m} > 1,5$  N/mm<sup>2</sup>.
- d) Betonstahl gegen Korrosion beschichten.
- e) Risse öffnen und wieder füllen mit Reaktionsharzmörtel PC (EP/PUR).
- f) Ausbruchstellen im Beton mit PCC-Grob-/Feinmörtel reprofilieren.
- g) Kratz-/Ausgleichspachtelung aus kunststoffmodifiziertem Zementmörtel (PCC-Betonersatzsystem) zum Ausgleich unterschiedlicher Rauheit der Betonoberfläche aufbringen.
- h) Oberflächenschutzsystem OS 5a aufbringen in mind. 2 Arbeitsgängen (hwO).

#### **9.2.4 Zu den Gesimskappen**

(93) Die Leistung ist entsprechend der Arbeitsschritte in Abs. 92, Aufz. a-h auszuführen.

#### **9.2.5 Zu den Bewegungsfugen**

(94) Alle Fugen sind gegen eindringende Feuchtigkeit abzudichten. Je nach Lage - horizontal oder vertikal - und nach Zustand bzw. Schadengrad sind nachstehende Arbeitsschritte in vollem Umfang oder teilweise auszuführen:

- a) Lose und geschädigte Betonschichten im Bereich der Fugenkanten abtragen bis auf festes Betongefüge und/oder korrosionsfreien Bewehrungsstahl.
- b) Gesamten Fugenbereich ausräumen und reinigen.
- c) Betonstahl und Ausbruchflächen trocken strahlen.
- d) Betonstahl gegen Korrosion schützen.
- e) Fugenflanken mit PC/PCC – Grob-/Feinmörtel planeben und – parallel reprofilieren.
- f) Kompressions – Fugenprofil oder Dichtschnur einbringen.
- g) Fuge mit elastischem Dichtstoff schließen.

### 9.2.6 Zu verschiedenen Nebenarbeiten

(95) Es sind „begleitende“ Nebenarbeiten erforderlich, um die Gebrauchsfähigkeit / Dauerhaftigkeit des Gesamtbauwerkes sicherzustellen. Im Folgenden werden wesentliche Maßnahmen / Arbeitsschritte genannt:

(96) **Geländepfostenverankerung** (→ Abs. 48) freistemmen, Korrosionsschutz der Pfostenfüße aufbringen, Ausbruchstellen mit PC/PCC schließen.

(97) **Anschlussfuge** Wand / Schrammbord vorbereiten, PE-Rundschnur einbringen, Fugenspalt vergießen mit Bitumen / PUR.

(98) **Asphaltbelag** im Fahrbahnbereich erneuern.

### 9.3 Ausführung der Instandsetzung

(98) Die in Abschn. 9.2 aufgezeigten Instandsetzungsmaßnahmen stellen (auftragsgemäß) das Instandsetzungskonzept dar, auf Grundlage der Beurteilung des Istzustandes der Unterführung. Auf dieser Basis ist der Instandsetzungsplan einschl. Leistungsverzeichnis für die Ausführung der Schutz- und Instandsetzungsmaßnahme aufzustellen. Bei Arbeiten der Betoninstandsetzung werden hohe Anforderungen an die Werkstoffe und die handwerkliche Ausführung gestellt, um die Dauerhaftigkeit der Arbeiten sicherzustellen. Die bauausführende Fachfirma muss daher die Anforderungen nach [14] Instandsetzungs-Richtlinie Teil 3 Abschnitt 1 "Personal und Ausstattung der bauausführenden Unternehmen" erfüllen. Die Mitgliedschaft der Fachfirma in einer "anerkannten Überwachungsstelle" und die Erlaubnis zum Führen des Güte-/Überwachungszeichens ist dem AG nachzuweisen. Außerdem ist der Nachweis über bereits ausgeführte Baumaßnahmen mit ähnlichem Umfang und Schwierigkeitsgrad zu erbringen.

(99) Die Ausführungszeit der Instandsetzungsarbeiten auf Grundlage der in Absatz 91 bis 97 genannten Arbeitsschritten und der Massen-/Mengenansätzen in Abs. 102 bis 109 hängt im Wesentlichen ab von

- der Jahreszeit (Wetter)
- der umfangreichen möglichen Verkehrssperrungen und/oder Sicherungsmaßnahmen
- des technischen Know-hows des ausführenden Unternehmens
- des möglichen Personal-/Maschineneinsatzes (Anzahl / Art / Größe)
- Logistikabläufe zwischen Sicherungsmaßnahmen – Materialbestellungen/-lieferungen – Maschineneinsätzen.

Es ist daher nicht möglich, eine gesicherte Ausführungszeit zu nennen. Unter Annahme einseitiger Verkehrssperrungen und vier Bauabschnitten ( Achse A – D) sei an dieser Stelle für „normale Bedingungen“ eine gesamte Ausführungszeit von sechs Monaten genannt / geschätzt.

#### 9.4 Kostenschätzung der Instandsetzungsarbeiten

(100) Die nachstehende Kostenschätzung beruht auf den in Abschn. 9.2 genannten wesentlichen Instandsetzungsmaßnahmen / Arbeitsschritten und auf überschlägig ermittelten Massen, die den wesentlichen Leistungspositionen für die entsprechende Maßnahme zuzuordnen sind. Erkenntnisse aus erweiterten Untersuchungen (z.B. Potentialfeldmessung) können zu diesem Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt werden. Es liegen marktübliche Preise zugrunde, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass es in der Praxis zu erheblichen Preisdifferenzen kommen kann.

(101) Die erforderliche Sicherung der Verkehrsführung i.Z. der Baumaßnahme sowie die möglichen Asphaltarbeiten im Fahrbahnbereich sind in der nachstehenden Kostenschätzung nicht enthalten Diese Kosten sind ggf. zu ergänzen. Im Einzelnen:

##### (102) Baustelleneinrichtung / Sicherungsmaßnahmen

1. Baustelleneinrichtung vorhalten/räumen	
→ Pauschale	35.000,00 €
2. Strom-/Wasserversorgung sicherstellen	
→ Pauschale	3.000,00 €
3. Schutz-/Arbeitsgerüst aufbauen und vorhalten	
→ Pauschale	10.000,00 €
4. Sicherungsmaßnahmen durchführen	
→ Pauschale	15.000,00 €
5. Sondermüll entsorgen	
→ Pauschale	5.000,00 €
	<u>          5.000,00 €</u>
	$\Sigma_{102} = \text{---} 68.000,00 \text{ €}$

##### (103) Güteüberwachung

1. Kontrollprüfungen durchführen	
→ Pauschale	5.500,00 €
2. Fremdüberwachung ausführen	
→ Pauschale	3.500,00 €
	<u>          3.500,00 €</u>
	$\Sigma_{103} = \text{---} 9.000,00 \text{ €}$

**(104) Wandfußbereich** (Abs. 91, Aufz. 1)

1. Betonoberfläche abtragen ( $f_m \sim 40$ mm; H $\sim 50$ cm → 590 m <sup>2</sup> à 130,00 €	76.700,00 €
2. Betonstahl strahlen, Korrosionsschutz aufbringen → 2.000 m à 6,00 €	12.000,00 €
3. Risse aufweiten/füllen (PCC/PC) → 200 m à 17,00 €	3.400,00 €
4. Risse injizieren → 200 m à 90,00 €	18.000,00 €
5. Spritzmörtel (SPCC) aufbringen → 590 m <sup>2</sup> à 150,00 €	88.500,00 €
6. Kratz-/ Ausgleichspachtel aufbringen → 590 m <sup>2</sup> à 16,00 €	9.440,00 €
7. Untergrund vorbereiten → 590 m <sup>2</sup> à 5,00 €	2.950,00 €
8. Oberflächenschutzsystem OS 5a einschl. EP-Grundierung aufbringen → 590 m <sup>2</sup> à 21,00 €	12.390,00 €
	<u>Σ<sub>104</sub> = 223.380,00 €</u>

**(105) Wandflächen** (Abs. 91, Aufz. 2)

1. Schadstellen/Durchbindungen freistemmen, A < 0,01 m <sup>2</sup> und reprofiliieren → 1.000 St. à 21,00 €	21.000,00 €
2. Schadstellen A < 0,25 freistemmen und reprofiliieren → 300 St. à 35,00 €	10.500,00 €
3. Betonuntergrund vorbereiten durch Strahlen (Wasser/Strahlmittel) → 3.200 m <sup>2</sup> à 25,00 €	80.000,00 €
4. Betonstahl strahlen, Korrosionsschutz aufbringen → 500m à 8,00 €	4.000,00 €
5. Risse aufweiten / füllen (PC) → 1.250 m à 15,00 €	18.750,00 €
6. Kratz-/Ausgleichspachtel aufbringen → 3.200 m <sup>2</sup> à 22,00 €	70.400,00 €
7. Oberflächenschutzsystem OS 5a aufbringen → 3.200 m <sup>2</sup> à 14,00 €	44.800,00 €

## 8. Antigraffiti - Beschichtung aufbringen (Zulage)

→ 3.200 m<sup>2</sup> à 10,00 €32.000,00 € $\Sigma_{105} = \underline{\underline{281.450,00 €}}$ **(106) Deckenflächen (Tunnel)** (→ Abs. 92)1. Schadstellen/-flächen freistemma; Bewehrung strahlen,  
schützen; Ausbruchstellen reprofiliere→ 100 m<sup>2</sup> à 170,00 €

17.000,00 €

## 2. Risse aufweiten/füllen

→ 400 m à 15,00 €

6.000,00 €

## 3. Betonuntergrund feucht-/feststoffstrahlen

→ 1.300 m<sup>2</sup> à 18,00 €

23.400,00 €

## 4. Kratz-/Ausgleichspachtel aufbringen

→ 1.300 m<sup>2</sup> à 19,00 €

24.700,00 €

## 5. Oberflächenschutzsystem OS 5 aufbringen

→ 1.300 m<sup>2</sup> à 16,00 €20.800,00 € $\Sigma_{106} = \underline{\underline{91.900,00 €}}$ **(107) Gesimskappen** (→ Abs. 93)

## 1. Betonuntergrund vorbereite mittels Feucht-/Feststoffstrahlen

→ 950 m<sup>2</sup> à 25,00 €

23.750,00 €

## 2. Kratz-/Ausgleichspachtel aufbringen

→ 950 m<sup>2</sup> à 27,00 €

25.650,00 €

3. Oberflächenschutzsystem OS 5a einschl.  
EP-Grundierung aufbringen→ 950 m<sup>2</sup> à 23,00 €21.850,00 € $\Sigma_{107} = \underline{\underline{71.250,00 €}}$ **(108) Bewegungsfugen** (→ Abs. 94)

## 1. Fugenkante freilegen und reprofiliere

→ 500 m à 43,00 €

21.500,00 €

## 2. Fugen ausräumen / schleifen / reinigen

→ 570 m à 23,00 €

13.110,00 €

## 3. Betonstahl strahlen und korrosionsschützen

→ 500 m à 8,00 €

4.000,00 €

## 4. Kompressionsprofil im Bereich der Kappenfuge einbringen

→ 100 m à 80,00 €

8.000,00 €

## 5. Fuge mit Dichtstoff (PUR) schließen

→ 570 m à 19,00 €

10.830,00 € $\Sigma_{108} = \underline{\underline{57.440,00 €}}$

**(109) Nebenarbeiten** (→ Abs. 96/97)

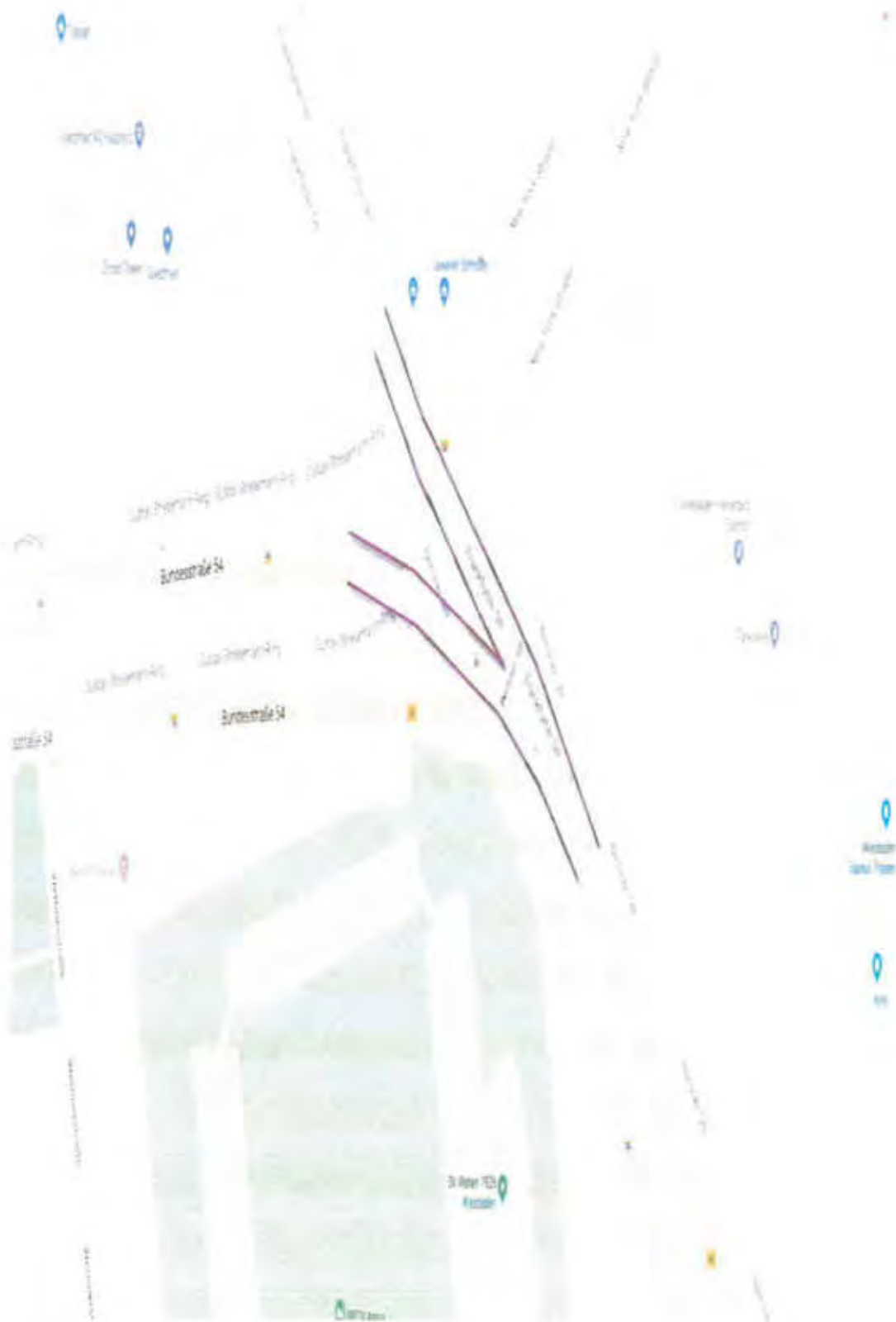
1. Geländerpfostenverankerung neu herstellen → 250 St. à 28,00 €	7.000,00 €
2. Anschlussfuge Wand / Schrammbord herstellen → 1200 m à 32,00 €	38.400,00 €
3. Stundenlohnarbeiten ausführen → 300 h à 50,00 €	<u>15.000,00 €</u>
$\Sigma_{109} =$	<u>60.400,00 €</u>

**(110) Zusammenstellung der Kosten**

1. Baustelleneinrichtung/ Sicherungsmaßnahmen	68.000,00 €
2. Güteüberwachung	9.000,00 €
3. Wandfußbereich	233.380,00 €
4. Wandflächen	281.450,00 €
5. Deckenflächen	91.900,00 €
6. Gesimskappen	71.250,00 €
7. Bewegungsfugen	57.440,00 €
8. Nebenarbeiten	<u>60.400,00 €</u>
$\Sigma_{\text{netto ges.}}$	<u>862.820,00 €</u>

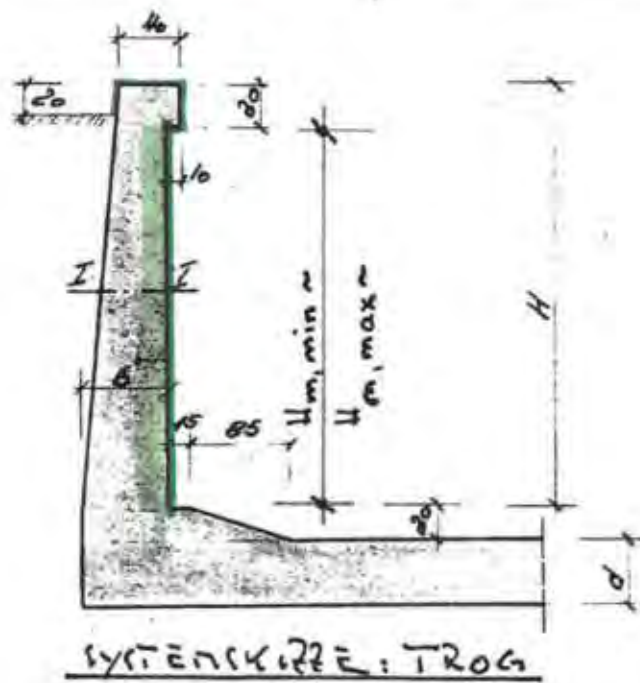
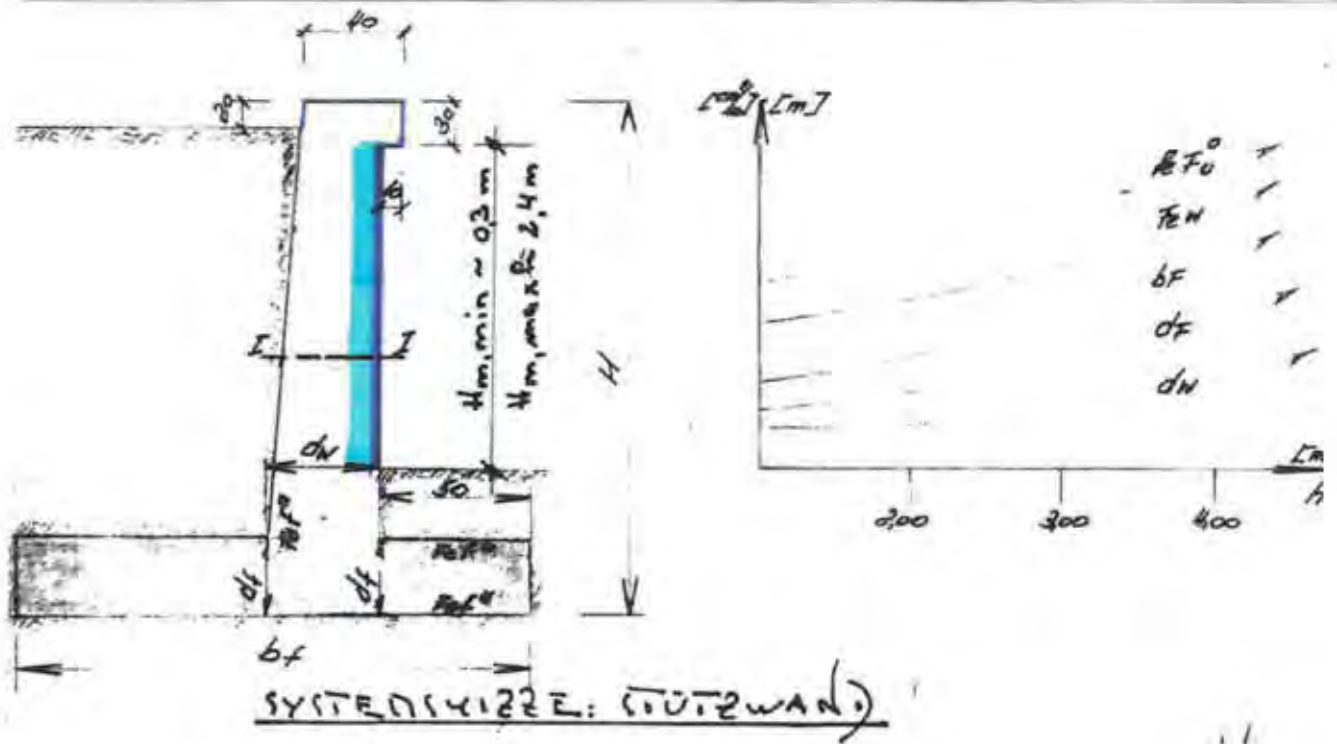
Wiesbaden, den 12.12.2018

Jörg REEDWISCH UG  
 Dipl. Ing. Jörg P. Reedwisch  
 VDI Sachverständiger für Betonpathologie  
 Brückenschaden: Instandsetzung







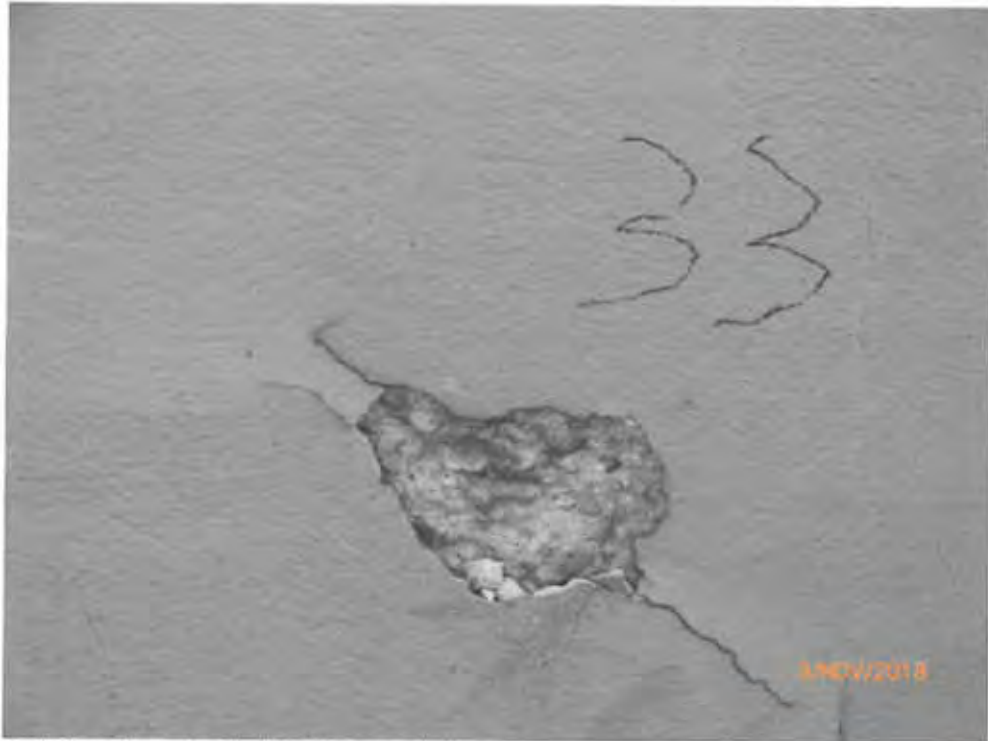




**Bild 25:** Achse A, Block 34: Betonabplatzungen, Bewehrungskorrosion



**Bild 26:** Achse A, Block 34: Betonabplatzungen, Bewehrungskorrosion



**Bild 27:** Achse A, Block 33: Betonabplatzung



**Bild 28:** Achse A, Block 24: Betonabplatzung, Bewehrungskorrosion



**Bild 29:** Achse B, Block 51: Betonabplatzungen, Bewehrungskorrosion



**Bild 30:** Achse B, Block 49: Betonabplatzungen, Bewehrungskorrosion



**Bild 31:** Achse A, Block 29 (BK 29)



**Bild 32:** Achse A, Block 52

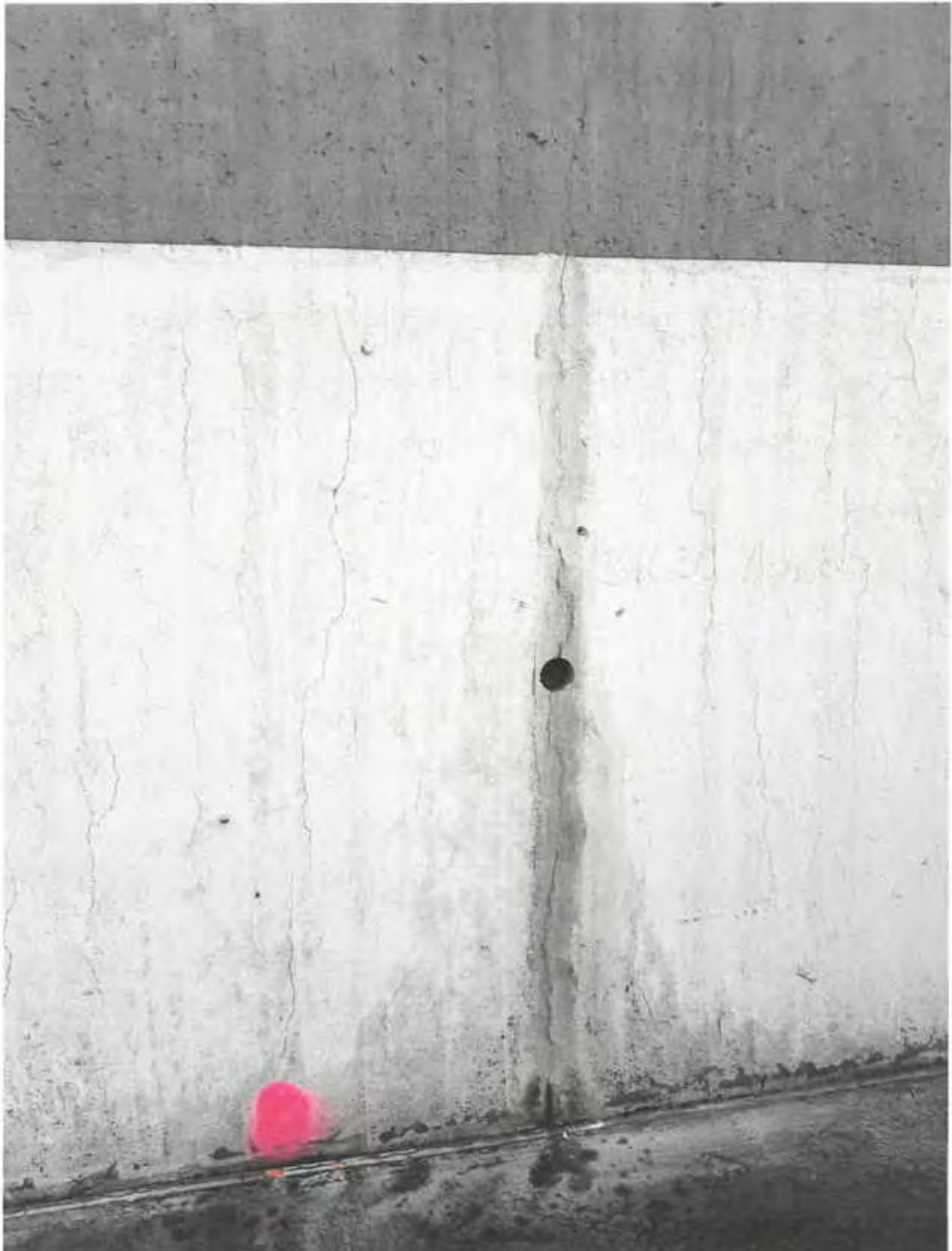


**Bild 33:** Achse D, Block 34



**Bild 34:** Achse D, Block 28 (BK 28)

Bilder 31 bis 34: Senkrechte Trennrisse (mit BK Entnahmestellen)



**Bild 35:** Achse B, Block 50: senkrechte Trennrisse (BK 50)



**Bild 36:** Achse B, Block 52: Rissbildung in Spachtelschicht



**Bild 37:** Achse C, Block 16: Senkrechte Rissbildung in Spachtelschicht



**Bild 38:** Achse A, Block 28: senkrechte / waagerechte Rissbildung



**Bild 39:** Achse A, Block 31: senkrechte / waagerechte Rissbildung





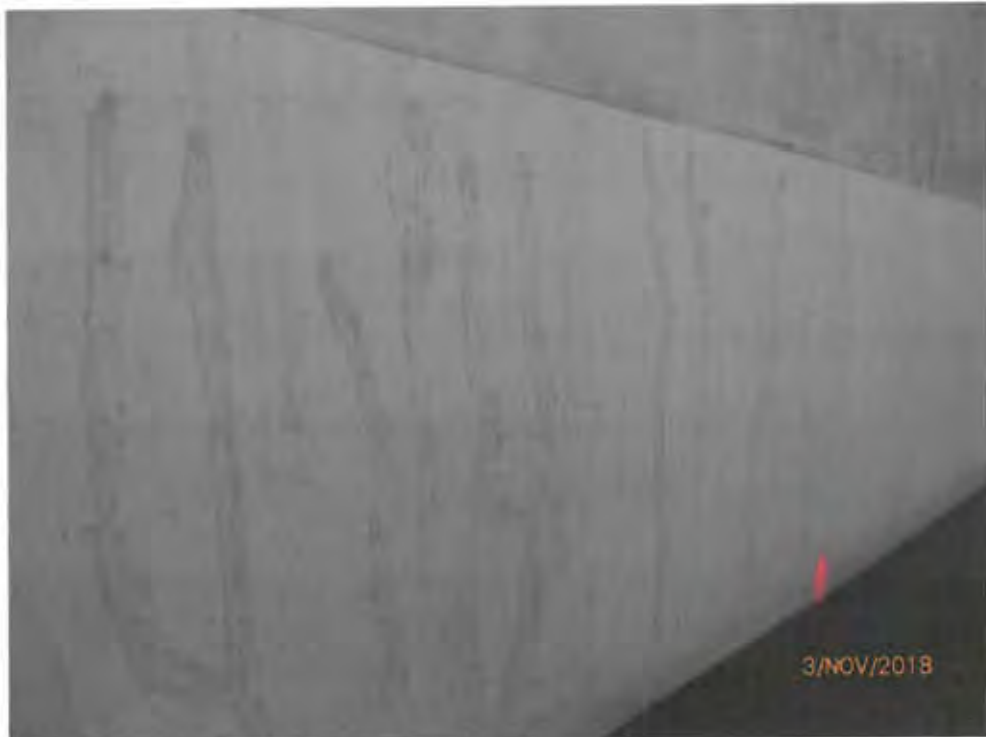
**Bild 40:** Achse B, Block 50: Netzrisbildung



**Bild 41:** Achse B, Block 51: Netzrisbildung



**Bild 42:** Achse c, Block 7: senkrecht-/ Netzzisse



**Bild 43:** Achse D, Block 26: verspachtelter Rissverlauf



**Bild 44:** Achse D, Block 12: verspachtelter Rissverlauf



Bild 45: Achse A, Block 57: Spachtelschicht, Beschichtung



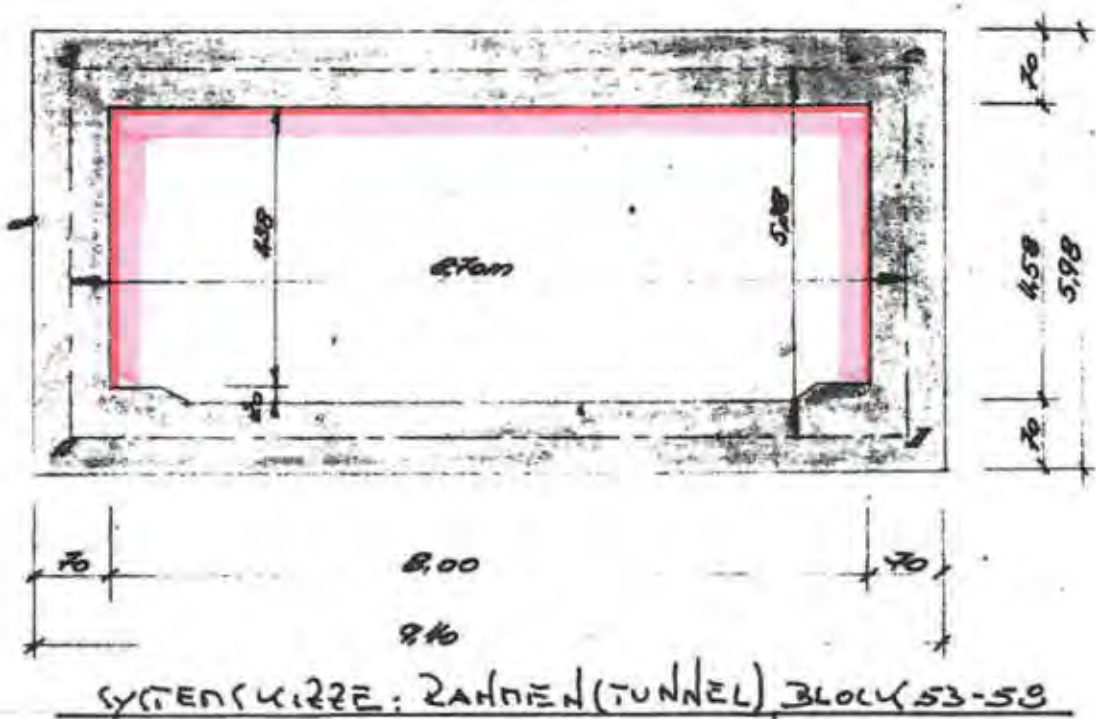
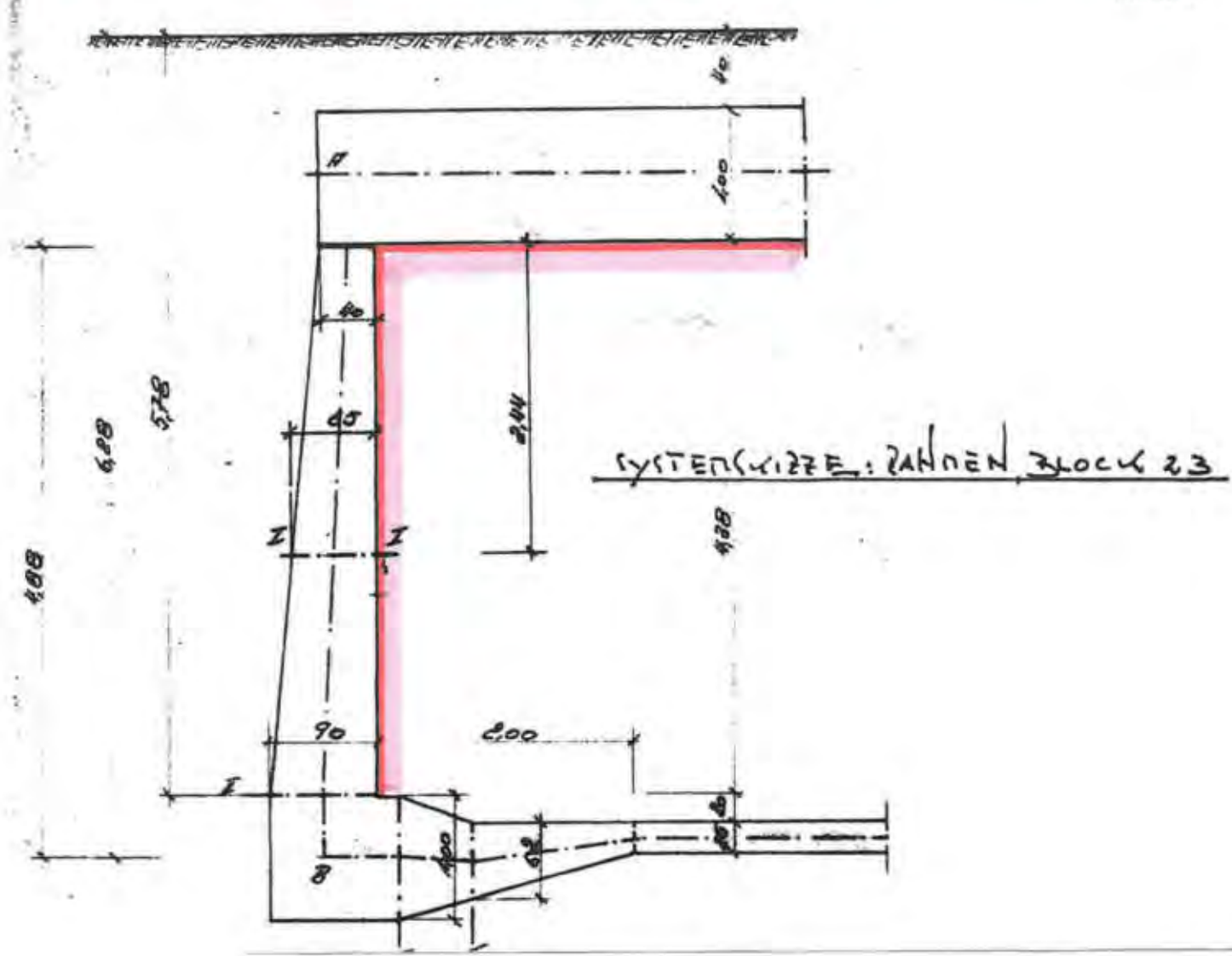
**Bild 46:** Achse B, Block 56/57: Altanstrich / Beschichtung; Sichtbeton



**Bild 47:** Achse C, Block 18: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 48:** Achse D, Block 19/18: Spachtelschicht, Beschichtung







**Bild1:** Achse A, Block 37/36: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild2:** Achse A, Block 34: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild3:** Achse A, Block 30/29: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 4:** Block 52



**Bild 5:** Block 51/50

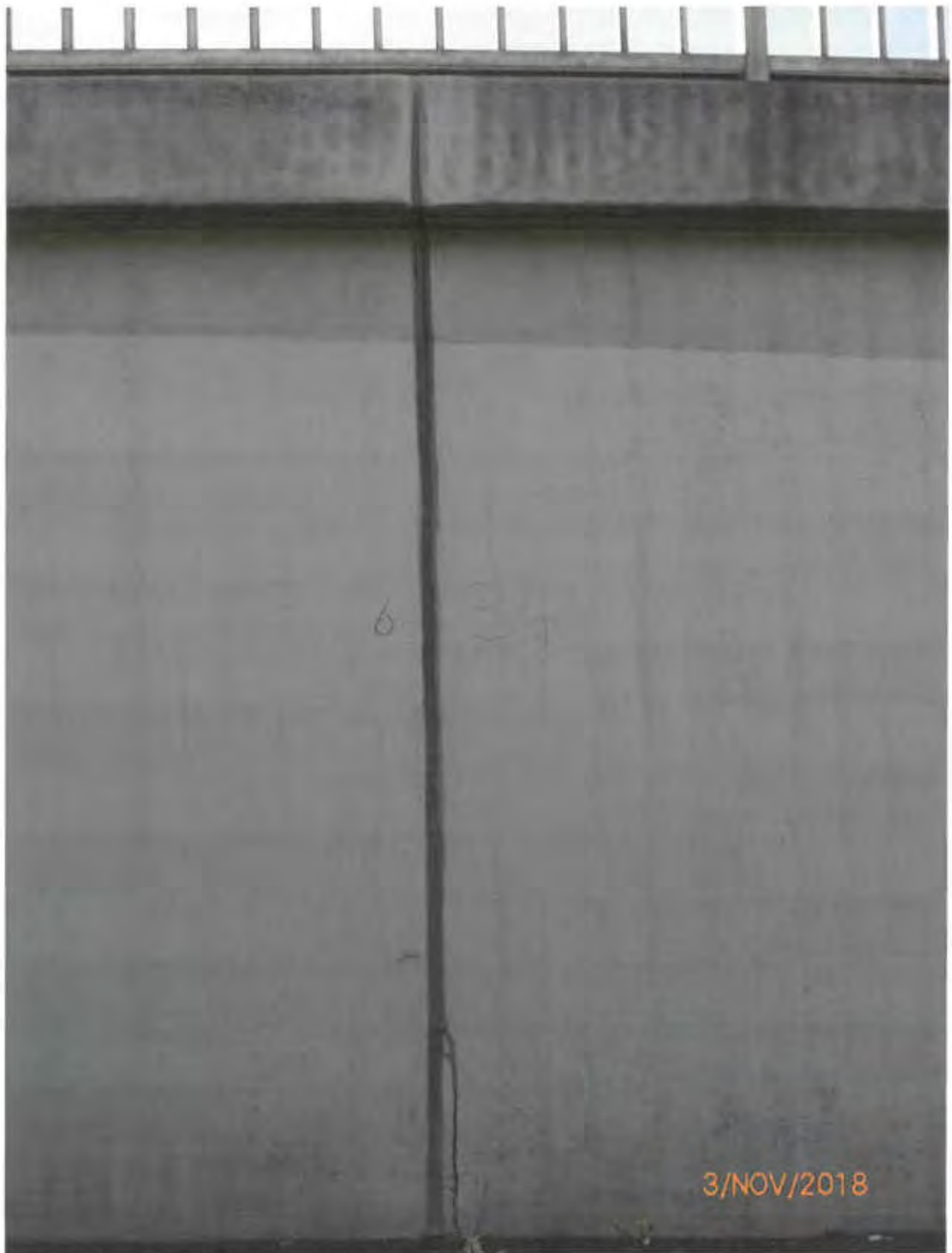


**Bild 6:** Block 49/50



**Bild 7:** Block 48/49

Bilder 4 – 7: Achse A: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 8:** Achse D, Block 34/35: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 10:** Achse D, Block 26: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 9:** Achse D, Block 28/27: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 11:** Achse D, Block 15/14: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 12:** Achse D, Block 15/14: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 13:** Achse D, Block 10/9: Spachtelung

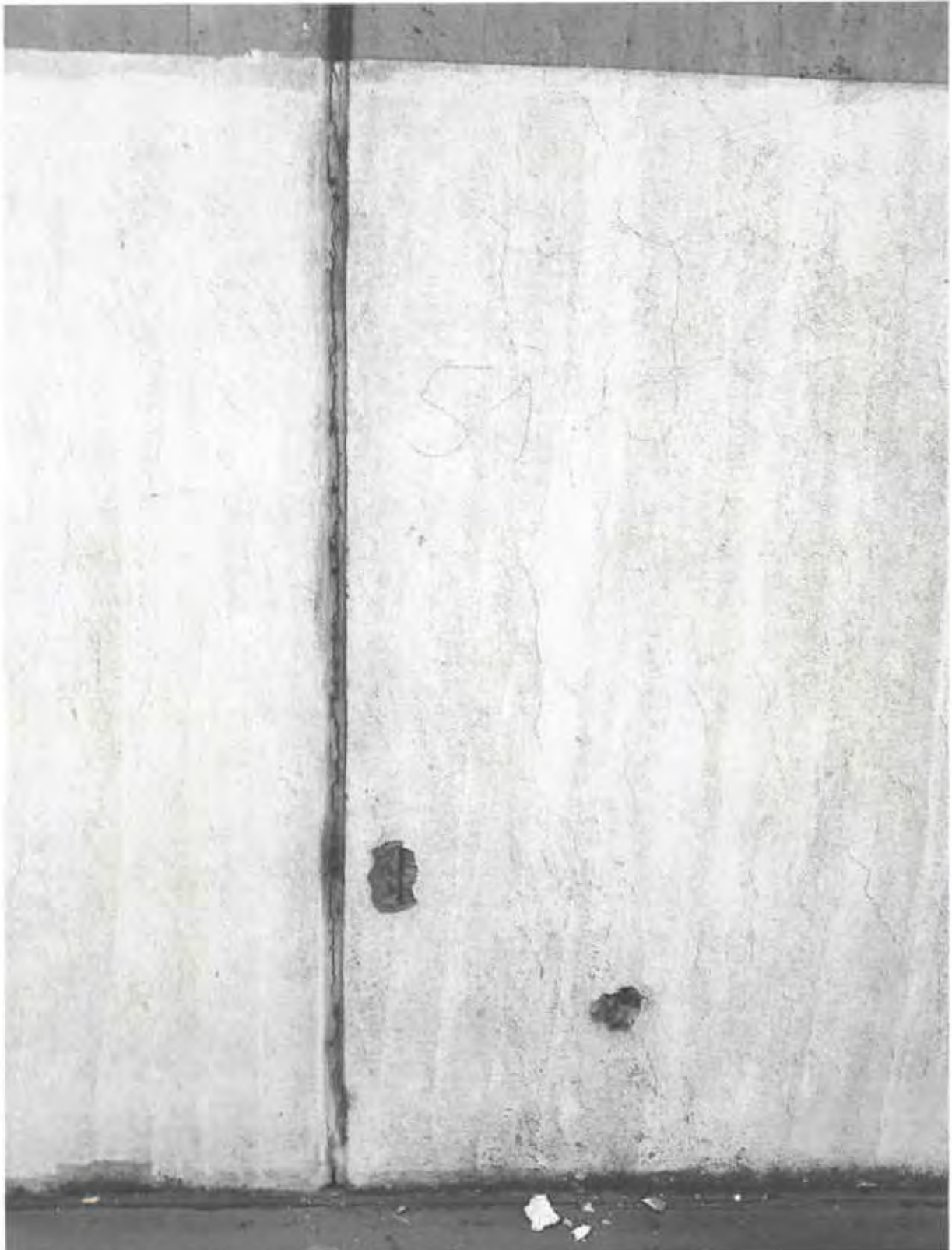


**Bild 14:** Achse B, Block 52: Altanstrich, Beschichtung / Sichtbeton





**Bild 15:** Achse B, Block 52: Sichtbetonfläche mit hoher Porigkeit



**Bild 16:** Achse B, Block 51: Altanstrich / Beschichtung



**Bild 17:** Block 50



**Bild 18:** Block 49

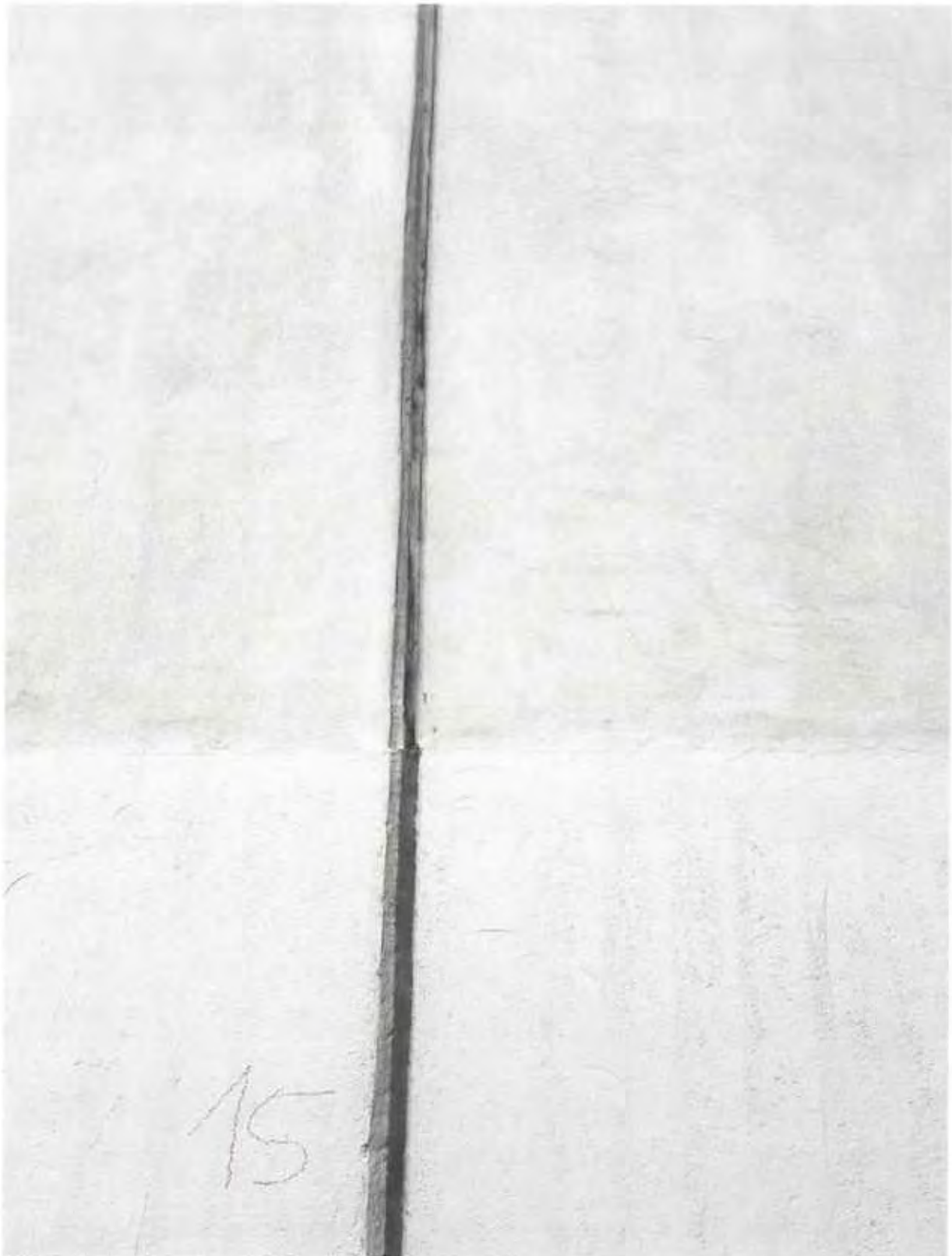


**Bild 19:** Block 49



**Bild 20:** Block 48

Bild 17 und 18: Achse B Sichtbetonfläche (Porigkeit; Durchbindung Schalungsanker)  
Bild 19 und 20: Achse B Altanstrich / Beschichtung



**Bild 21:** Achse C, Block 15/16: Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 22:** Block 14/15



**Bild 23:** Block 14/15



**Bild 24:** Block 9/10



**Bild 25:** Block 7/8

Bild 22 bis 25: Achse C; Spachtelschicht, Beschichtung



**Bild 49:** Achse B/L, Block 23: Schadstelle im Wandbereich



**Bild 50:** Achse B, Block 57: schadhafter Wandbereich



**Bild 51:** Achse B, Block 56/57: Schadstelle im Wandfußbereich



**Bild 52:** Achse B, Block 56: Betonabplatzungen, Bewehrungskorrosion



**Bild 53:** Achse B, Block 54: Betonabplatzung, Bewehrungskorrosion



**Bild 54:** Achse B, Block 53/54: Betonabplatzung, Bewehrungskorrosion,  
Entnahmestelle BK 53 F





Bild 55: Achse B, Block 58: senkrechter Trennriss



Bild 56



Bild 57



Bild 58



Bild 59

Bilder 56 bis 59: Achse B, Block 57/6: senkrechte Trennrisse



Bild 60



Bild 61



Bild 62



Bild 63

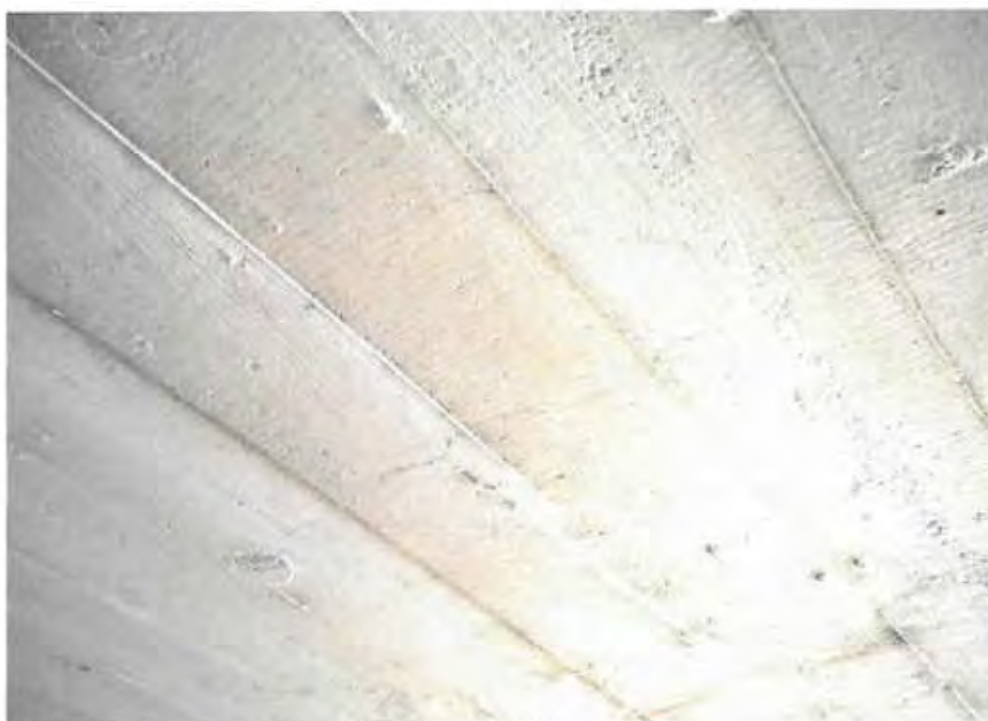
Bilder 60 bis 63, Achse B, Block 55-53: senkrechte Trennrisse



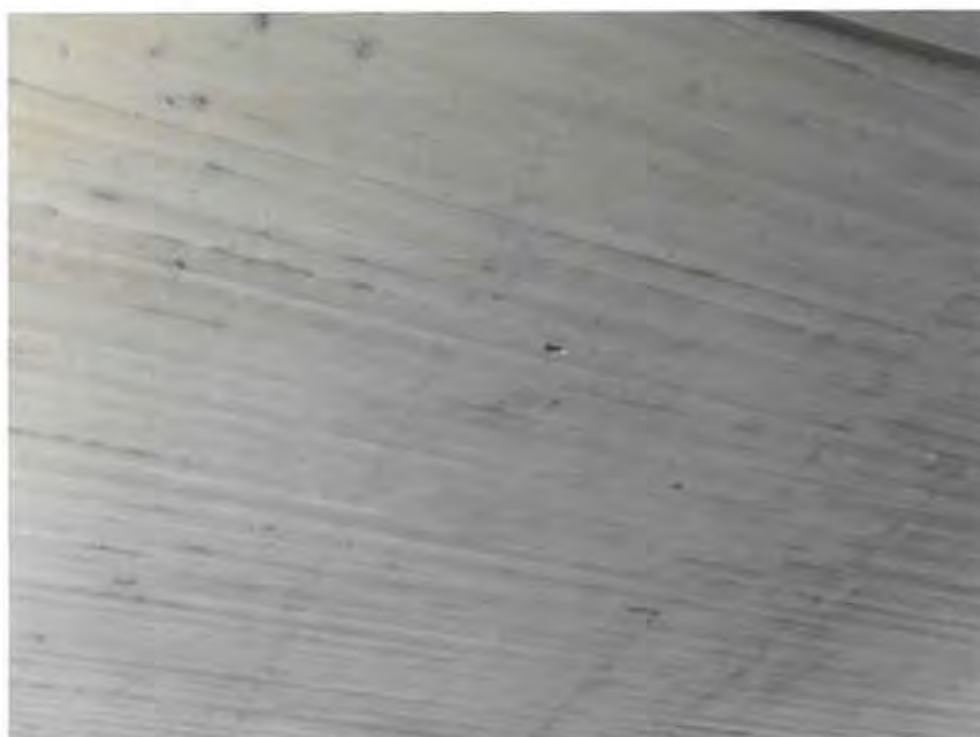
**Bild 64:** Deckenunterseite: Sichtbeton, Rissbildung



**Bild 65:** Deckenunterseite: Sichtbeton, Rissbildung



**Bild 66:** Deckenunterseite: Sichtbeton, Rissbildung



**Bild 67:** Deckenunterseite: Sichtbeton



**Bild 68:** Deckenunterseite: Sichtbeton, Rissbildung



**Bild 69:** Deckenunterseite: Sichtbeton; Messstelle Karbonatisierungstiefe



**Bild 70:** Achse A, Block 40: Kappenausbildung, Rissbildung



**Bild 71:** Achse D, Block 38: Kappenausbildung, Rissbildung



Bild 74



Bild 75



Bild 76



Bild 77

Bilder 74 bis 77: Details Kappenausbildung





**Bild 72:** Achse A, Block 44: Kappenausbildung, Rissbildung



**Bild 73:** Achse C, Block 3: Kappenausbildung, Rissbildung



**Bild 78:** Achse C, Block 3: Kappe mit Rissbildung



**Bild 79:** Achse C, Block 3: Kappe mit Rissbildung



**Bild 80:** Block 40/39



**Bild 81:** Block 33



**Bild 82:** Block 31



**Bild 83:** Block 30

Bilder 80 - 83: Achse A: schadhaft Bewegungsfugen



**Bild 84:** Achse 47/48



**Bild 85:** Achse 46/47



**Bild 86:** Achse 45/46



**Bild 87:** Achse 43/44

Bilder 84 – 87: Achse A: schadhafte Bewegungsfugen



**Bild 88:** Block 34/35



**Bild 89:** Block 33/34

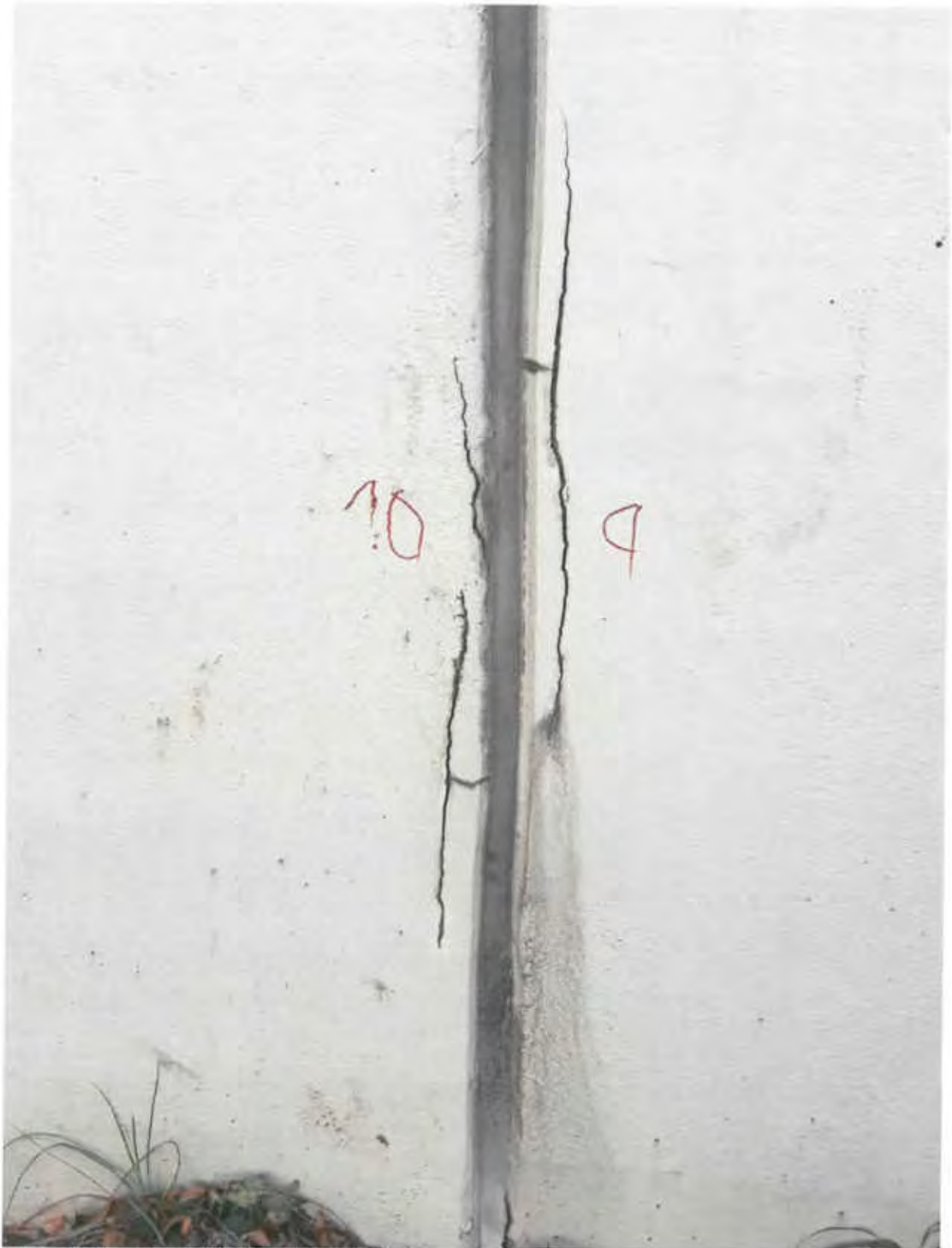


**Bild 90:** Block 34/35



**Bild 91:** Block 33/32

Bilder 88 – 91: Achse D: schadhafte Bewegungsfugen



**Bild 92:** Achse D, Block 10/9: schadhafte Bewegungsfuge



**Bild 93:** Block 7/8



**Bild 94:** Block 5/6



**Bild 95:** Block 4/3



**Bild 96:** Block 4/3

Bilder 93 – 96: Achse D: schadhafte Bewegungsfugen



**Bild 97:** Achse B, Block 50/49: schadhafte Bewegungsfuge





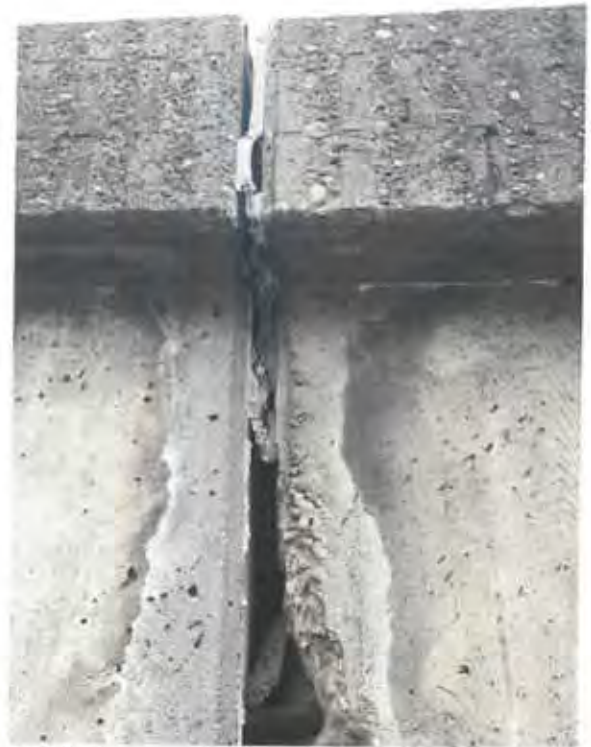
**Bild 98:** Achse B, Block 48/49: schadhafte Bewegungsfuge



**Bild 99:** Achse B, Block 47/46: schadhafte Bewegungsfuge



**Bild 100**



**Bild 101**



**Bild 102**



**Bild 103**

Bilder 100 – 103: Achse B 47/48: Details aus Bild 99



**Bild 104:** Block 46/45



**Bild 105:** Block 45/44

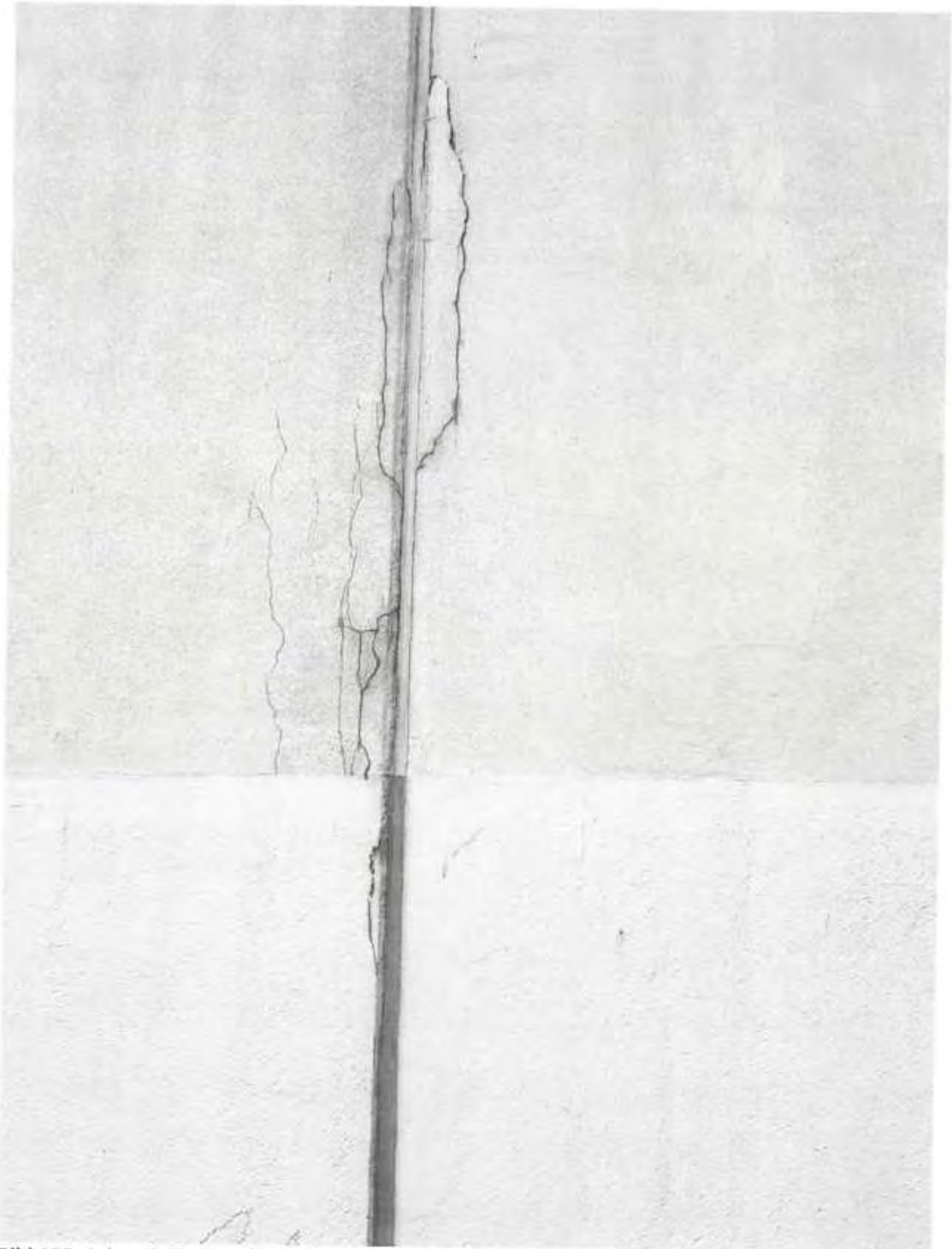


**Bild 106:** Block 44/43



**Bild 107:** Block 42

Bilder 104 – 107: Achse D: schadhafte Bewegungsfugen



**Bild 108:** Achse C, Block 11/10: schadhafte Bewegungsfuge



**Bild 109:** Geländerpfostenverankerung



**Bild 110:** Geländerpfostenverankerung



**Bild 111:** Achse D: schadhafte Anschlussfuge



**Bild 112:** Achse C: schadhafte Anschlussfuge



**Bild 113:** Achse D



**Bild 114:** Achse D



**Bilder 115:** Achse D



**Bild 116:** Achse B

Bilder 113 – 116: schadhafte Anschlussfugen Schrammbord / Wand