



SMP Ingenieure
im Bauwesen GmbH

ehemals
Prof. Eibl + Partner GbR
Prof. Müller + Dr. Günter IGB GmbH

Schlussbericht

Fassaden der Stadthalle Lahnstein

Materialtechnologische und dauerhaftigkeitsbezogene Untersuchungen und Bewertungen

Beurteilung des Zustandes und Empfehlungen zur Instandsetzung und Instandhaltung



Auftraggeber:

Stadt Lahnstein

Fachbereich 4:

Bauen, natürliche Lebensgrundlagen und Eigenbetrieb WBL

Didierstraße 21c, 56112 Lahnstein

Dieser Zwischenbericht umfasst 73 Textseiten und 58 Anlagenseiten.

17.04.2019

Projektnummer: A17 0121

Dr.-Ing. F.-H. Schlüter
Prof. Dr.-Ing. H. S. Müller
Dr.-Ing. M. Günter
Dr.-Ing. C. Ruckebrod

Amtsgericht Mannheim
HRB 111397
USt.-IdNr. DE251008593

Stephanienstr. 102
D-76133 Karlsruhe
Telefon: (0721) 91319-0
Telefax: (0721) 91319-99

Würzburger Str. 50
D-01187 Dresden
Telefon: (0351) 43612-60
Telefax: (0351) 43612-69

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	5
1.1 Vorgang	5
1.2 Informationen zum Gebäude	6
1.3 Problemstellung	6
1.4 Aufgabenstellung	7
2 Verwendete Unterlagen	8
2.1 Vom Auftraggeber und anderen Projektbeteiligten übergebene Unterlagen	8
2.2 Eigene Berichte und Berichte zu unsererseits veranlassten Materialprüfungen	8
2.3 Fachliteratur	9
3 Untersuchungen und sonstige Tätigkeiten	10
3.1 Vor-Ort-Untersuchungen	10
3.2 Laborprüfungen	11
3.3 Auswertungen und gutachterliche Bewertungen	11
3.4 Entwicklung eines Instandsetzungsbetons	12
4 Zusammenfassung der bei Beginn unserer Untersuchungen vorliegenden Informationen	13
4.1 Untersuchungsergebnisse des Ingenieurbüros E+P aus dem Jahr 2015	13
4.1.1 Aufbau der Sichtbetonaußenwände	13
4.1.2 Unregelmäßigkeiten und Schäden	14
4.1.3 Betondeckung der Bewehrung	15
4.1.4 Karbonatisierungstiefe des Betons	15
4.1.5 Oberflächenzugfestigkeit der Sichtbetonfassaden	16
4.1.6 Druckfestigkeit und Rohdichte der Fassadenbetone	17
4.2 Bewertungen und Folgerungen des Ingenieurbüros E+P	19
4.2.1 Schäden und korrosionsrelevante Gegebenheiten	19
4.2.2 Gefüge und Festigkeit der Fassadenbetone	20
4.2.3 Fugendichtungen	20
4.3 Instandsetzungsvorschlag des Ingenieurbüros E+P	21
4.4 Fazit der Unterlagensichtung und Folgerungen	22
5 Ergebnisse eigener Vor-Ort-Untersuchungen	24
5.1 Erscheinungsbild der Sichtbeton-Fassaden	24
5.2 Unregelmäßigkeiten	26
5.3 Gefügebeschaffenheit der Betonrandzone	27
5.4 Karbonatisierungstiefe des Betons	27
5.5 Betondeckung der Bewehrung	28

5.6	Korrosion der Bewehrung	29
6	Ergebnisse der Laborprüfungen	31
7	Auswertung der Ergebnisse und Folgerungen	32
7.1	Unregelmäßigkeiten	32
7.1.1	Ursachen der Unregelmäßigkeiten	32
7.1.2	Bewertung	34
7.2	Ausmaß der Schädigungen	35
7.3	Betonkennwerte	35
7.3.1	Druckfestigkeit	36
7.3.2	Zugfestigkeit und Haftzugfestigkeit	37
7.3.3	Elastizitätsmodul	37
7.3.4	Fazit	38
7.4	Korrosionsschutz der Bewehrung in bislang oberflächlich nicht geschädigten Bereichen (Jahr 2018)	38
8	Prognose der Entstehung bzw. Fortentwicklung betonbedingter Schäden	40
9	Prognose der Entstehung bzw. Fortentwicklung stahlkorrosionsbedingter Schäden	41
9.1	Schritt 1: Prognose der Depassivierung der Bewehrung	41
9.1.1	Allgemeines	41
9.1.2	Depassivierungswahrscheinlichkeit	42
9.1.3	Fazit	43
9.2	Schritt 2: Bewerten des Vorliegens der weiteren für eine Korrosion der Bewehrung notwendigen Randbedingungen	43
9.3	Schritt 3: Abschätzen der Fortentwicklung der Schäden (Ausmaß zukünftiger Schäden)	44
10	Grundsätze der Instandhaltung	46
10.1	Allgemeines	46
10.2	Einschlägige Richtlinien	46
10.2.1	Begriff der Instandhaltung	47
10.2.2	Instandsetzung	48
10.2.3	Inspektion und Wartung	51
11	Objektspezifische Diskussion verschiedener Möglichkeiten der Instandhaltung	53
11.1	Mit den hier vorliegenden Fassadenbauteilen aus technischer Sicht verträgliche Instandsetzungsmaßnahmen	53
11.2	Mit den Fassaden aus technischer sowie aus architektonischer und denkmalpflegerischer Sicht verträgliche Instandsetzungsmaßnahmen	54
11.3	Zu empfehlende Instandsetzungsmaßnahmen	54

12 Bauwerksspezifische Ausgestaltung der Instandhaltung (Instandhaltungsplan)	56
12.1 Überblick	56
12.2 Instandsetzung	56
12.2.1 Beseitigen der vorhandenen Schäden sowie Wiederherstellen und Sichern der Dauerhaftigkeit der Fassaden	57
12.2.2 Sicherstellung einer wirtschaftlichen Inspektion und Wartung der Fassaden	58
12.2.3 Beschreibung der Instandsetzungsmaßnahmen	58
12.2.3.1 Reinigen der Oberflächen	59
12.2.3.2 Betonaustauscharbeiten	59
12.2.3.3 Behandlung von Rissen	61
12.2.4 Richtlinienkonformität der vorgeschlagenen Lösung	61
12.3 Inspektion	62
12.4 Wartung	63
13 Kostenschätzung	64
14 Entwicklung eines Instandsetzungsbetons mit Haftbrücke	66
14.1 Anforderungen bzw. besondere Eigenschaften	66
14.2 Vorgehensweise bei der Entwicklung	67
14.3 Zusammensetzung der entwickelten Instandsetzungsmaterialien	68
14.4 Eigenschaften der entwickelten Instandsetzungsmaterialien	68
14.5 Eignungsbewertung	69
15 Zusammenfassung	71

1 Einführung

1.1 Vorgang

Nach Besichtigungs- bzw. Besprechungsterminen am 09.11.2016 und 04.07.2017 wurden wir auf der Grundlage unseres Angebots vom 07.07.2017 mit materialtechnologischen und dauerhaftigkeitsbezogenen Untersuchungen der Fassaden der Stadthalle Lahnstein beauftragt (Ingenieurvertrag vom 08.11.2017). Gegenstand der Beauftragung war ferner die Beurteilung des Zustands der Fassaden und die Empfehlung eines Konzepts zur Instandsetzung und Instandhaltung.

Die Instandsetzung der Stadthalle Lahnstein wird durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU gefördert (Bewilligungsschreiben vom 22.09.2017). Das Förderungsprojekt trägt den Titel

„Modellhafte, denkmalgerechte Instandsetzung von Betonbauten
am Beispiel der Stadthalle in Lahnstein“.

Nach einem gemeinsamen Koordinierungsgespräch vor Ort am 22.11.2017 fanden die Untersuchungen des Bauwerks vom 06. bis zum 08.02.2018 (Lokalisierung und Aufmaß der Schadstellen an den Fassadenflächen) und vom 20. bis zum 22.02.2018 (Detaillierte Untersuchungen und Erkundungen der Betonfassaden) statt.

Mit unserem Schreiben vom 06.04.2018 erhielten Sie die Kostenschätzung der vorgeschlagenen Instandsetzungsmaßnahme.

Die Leistungsverzeichnisse für die behutsame Instandsetzung der Sichtbetonbauteile der Stadthalle Lahnstein und der Fugenerneuerung wurden dem Architekturbüro Maier-Körner am 06.04.2018 bzw. am 10.04.2016 per E-Mail übersandt.

Einen Überblick über die Auswertungsergebnisse hatten wir Ihnen in unserem Zwischenbericht vom 24.04.2018 [2.1] vermittelt.

1.2 Informationen zum Gebäude

Die Stadthalle Lahnstein wurde nach den Plänen der Wiesbadener Architekten Dr. Jürgen Jüchser und Peter Ressel vom Planungsring Wiesbaden unter Hinzuziehung des Stuttgarter Künstlers Prof. Otto Herbert Hajek in den Jahren 1971/72 errichtet. Der Entwurf erhielt im Jahre 1975 den rheinland-pfälzischen Staatspreis „Kunst am Bau“.

Im Jahr 2007 wurde die Stadthalle als Kulturdenkmal eingestuft, da sie weitgehend unverändert erhalten war und ein seltenes Zeugnis für die Architektur und den Städtebau der 1970-er Jahre darstellt.

Die etwa 50 Meter lange Nordfassade des Gebäudes grenzt an den Salhofplatz. Eine öffentliche Passage unterteilt den Baukörper im Erdgeschoss und stellt die Verbindung zu den rückwärtig gelegenen Straßenzügen „Blankenberg“ im Süden und „Adolfstraße“ im Osten her.

Die Stadthalle wird als Tagungs-, Kongress- und Veranstaltungszentrum genutzt. Darüber hinaus ist die Volksbank Lahnstein in dem Gebäude untergebracht. In einem zwischen den Straßen Blankenberg und Adolfstraße gelegenen Nebenflügel sind Privatwohnungen eingerichtet.

Die Außenwände bzw. die Fassaden der Stadthalle bestehen bereichsweise aus massiven, in Ortbetonbauweise erstellten Stahlbetonwänden und bereichsweise aus vorgehängten Stahlbetonfertigteilen. Die außenliegenden Oberflächen der Ortbetonbauteile weisen eine vertikal orientierte Schalbretttextur auf. In Bezug auf die Oberflächengestaltung der Stahlbetonfertigteile ist zwischen ebenen Flächen mit Bretter-Matrizenschalung und künstlerisch gestalteten, teilweise mit einer Farbschicht versehenen Flächen zu unterscheiden.

Horizontale, teilweise raumhohe Fensterbänder und farbig gestaltete Teilflächen untergliedern die Fassaden.

An der gesamten Fassadenfläche haben die Ortbetonoberflächen einen Anteil von etwa 52 %, die Fertigteiloberflächen mit ebener Oberfläche einen Anteil von 13 % und die Fertigteiloberflächen mit künstlerischer Gestaltung einen Anteil von etwa 8 %. Etwa 27 % der Fassadenfläche sind Fenster-, Tür- und sonstige Oberflächen.

1.3 Problemstellung

Die Bewitterung bzw. Alterung des Stahlbetons hatte zu Verfärbungen bzw. Schmutzablagerungen geführt. Der durch die Textur der Oberflächen bewirkte unregelmäßige Abfluss des Regenwassers hatte hierbei einen deutlichen Einfluss. Anzeichen der Alterung zeigten sich auch an den mit einer Farbschicht versehenen Fassadenbereichen.

Lokal waren Absprengungen der Betondeckungsschicht als Folge einer Korrosion der Bewehrung des Stahlbetons entstanden.

Angesichts der genannten Alterungserscheinungen und Schäden beauftragte die Stadt Lahnstein im Jahr 2015 das Ingenieurbüro E+P Engelbach und Partner Planungsgesellschaft mbH mit Untersuchungen und der Erarbeitung eines Instandsetzungskonzepts. In dem diesbezüglich erstellten Gutachten vom 09.12.2015 schlägt das Ingenieurbüros E+P [1.2] Instandsetzungsmaßnahmen vor, die mit Veränderungen der Bauwerksoberflächen bzw. mit Veränderungen des Erscheinungsbildes der Stadthalle einhergehen würden. Dies war seitens der Stadt nicht erwünscht. In Kapitel 4 wird ausführlicher auf die Untersuchungen des Ingenieurbüros E+P eingegangen.

1.4 Aufgabenstellung

Unsere Aufgabe bestand in folgenden Punkten:

- Erarbeiten eines Konzepts zum sachgerechten weiteren Umgang mit den denkmalgeschützten Sichtbetonfassaden. Dieses sollte allen technischen und wirtschaftlichen Anforderungen genügen, aber auch der architektonischen Bedeutung des Bauwerks gerecht werden.
- Entwickeln von Instandsetzungsmaterialien, deren technische und deren das Erscheinungsbild der Reparaturstellen prägende Eigenschaften auf den Bestand abgestimmt sind.
- Erstellen eines Leistungsverzeichnisses für die Betoninstandsetzungsarbeiten.
- Begleiten der Ausführung der Betoninstandsetzungsarbeiten (Fachbegleitung).

Nicht zu unseren Aufgaben gehörte die Untersuchung und Bewertung der Aufhängung der Fertigteile an den jeweiligen Unterkonstruktionen.

2 Verwendete Unterlagen

Die Ausführungen in diesem Bericht bauen auf folgenden Unterlagen auf:

2.1 Vom Auftraggeber und anderen Projektbeteiligten übergebene Unterlagen

- [1.1] Bauten mit Dyckerhoff Weiss: Die Stadthalle von Lahnstein. Werbebroschüre der Fa. Dyckerhoff Zementwerke AG mit Text und Abbildungen zum Bau der Stadthalle, Datum nicht bekannt (übersandt vom Institut für Steinkonservierung e. V. per E-Mail vom 18.10.2016)
- [1.2] Schadensgutachten zur Betonfassade der Stadthalle Lahnstein, Salhofplatz, 56112 Lahnstein, Projekt Nr. 35288. E+P Engelbach + Partner Planungsgesellschaft mbH, Beratende Ingenieure VBI, Frankfurt am Main, 09.12.2015 (pdf-Dokumente, übersandt von der Stadt Lahnstein per E-Mail vom 15.11.2016)
- [1.3] CD mit folgenden Planungsunterlagen (pdf- Dokumente, übersandt vom Architekturbüro Maier-Körner mit Schreiben vom 23.11.2017):
- Alte Ausführungspläne des Architekturbüros Planungsring Wiesbaden (6 Dokumente)
 - Aktuelle Pläne mit Ansichten des Architekturbüros Maier-Körner Wiesbaden (4 Dokumente)
 - Aktuelle Pläne mit Grundrissen des Architekturbüros Maier-Körner Wiesbaden (6 Dokumente)
 - Pläne zum Schadensgutachten [1.2] mit Kennzeichnung der Erkundungs- bzw. Öffnungsstellen (5 Dokumente)

2.2 Eigene Berichte und Berichte zu unsererseits veranlassten Materialprüfungen

- [2.1] Fassaden der Stadthalle Lahnstein. Materialtechnologische und dauerhaftigkeitsbezogene Untersuchungen und Bewertungen, Beurteilung des Zustandes und Empfehlungen zur Instandsetzung und Instandhaltung. SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH, Zwischenbericht vom 24.04.2018, Karlsruhe 2018
- [2.2] Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590 der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe (MPA) vom 18.12.2018: Materialprüfungen an Bohrkernen aus Beton (siehe Anlagenseiten 42 ff.)

- [2.3] Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384 der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe (MPA) vom 24.01.2019: Durchführung von Materialprüfungen an Betonplatten und Prismen (siehe Anlageseiten 50 ff.)

2.3 Fachliteratur

- [3.1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), Teile 1 bis 4, Beuth Verlag Berlin und Köln, Oktober 2001 inklusive nachfolgender Berichtigungen
- [3.2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie), Teile 1 bis 5, erschienen als Gelbdruck, Juni 2016
- [3.3] DIN 31051:2012-06, Grundlagen der Instandhaltung
- [3.4] DIN EN 1504-9:2008-11: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 9: Allgemeine Grundsätze für die Anwendung von Produkten und Systemen; Deutsche Fassung EN 1504-9:2008

3 Untersuchungen und sonstige Tätigkeiten

Unsere Tätigkeiten gliederten sich in

- Untersuchungen vor Ort,
- Laborprüfungen an entnommenen Proben und in
- Auswertungen und gutachterliche Bewertungen

3.1 Vor-Ort-Untersuchungen

Die Vor-Ort-Untersuchungen wurden in den wesentlichen Teilen vom 06. bis zum 08.02.2018 und vom 20. bis zum 22.02.2018 vorgenommen und bestanden in folgenden Tätigkeiten:

1. Visuelle Aufnahme und Dokumentation der an den Fassadenflächen vorliegenden Unregelmäßigkeiten und Schäden
2. Ortung weiterer Schadstellen durch Inaugenscheinnahme und „Abklopfen“ der Flächen in Bezug auf „Hohlklang“
3. Erkunden der Gegebenheiten an Schadstellen
4. Bewerten der physikalischen Eigenschaften der Betondeckungsschicht durch qualitative Prüfungen
5. Ermitteln der Karbonatisierungstiefen des Betons durch örtliches Aufstemmen der Betonoberfläche, Besprühen der Bruchflächen mit einer Phenolphthaleinlösung und Vermessen des sich nicht violett verfärbenden Bereichs der Betonrandzone entlang des Umfanges der Betonaufbruchstelle
6. Ermitteln der Betondeckung der Bewehrung (zerstörungsfrei) in einzelnen Bereichen der Bauwerksoberflächen mit Hilfe eines elektromagnetischen Verfahrens sowie durch lokales Freilegen der Bewehrung
7. Erkunden des Korrosionszustandes der Bewehrung durch lokales Anlegen von Erkundungsöffnungen über zuvor zerstörungsfrei lokalisierten Bewehrungsstäben

Punkt 1 betraf die Gesamtheit der Fassadenflächen.

Die unter den Punkten 2 bis 7 genannten Erkundungen und Messungen erfolgten an exemplarisch ausgewählten, für den Gesamtzustand repräsentativen Stellen der vom Boden und von einem Hubsteiger aus zugänglichen Bereiche der Fassadenflächen. Bei den Untersuchungen wurden insbesondere auch Bereiche berücksichtigt, in denen bislang keine Schädigungen erkennbar waren.

Die Lage der zusätzlich zu flächig durchgeführten qualitativen Klopf- und Ritzprüfungen angeordneten Prüf-, Erkundungs- und Messfelder geht aus den Abbildungen A1a bis A1f der Anlagenseiten 2 bis 7 hervor, die auf der Basis der uns übergebenen Pläne [1.3] erstellt wurden.

In den Abbildungen A2a bis A2f der Anlagenseiten 8 bis 13 sind die augenscheinlichen und durch Abklopfen georteten Schadstellen skizziert.

Für die im Detail bzw. ganzflächig untersuchten Fassadenbereiche wurden Schädigungsquoten ermittelt. Durch Übertragung dieser Schädigungsquoten auf die gesamte Betonfassadenfläche wurde der Gesamtschädigungsumfang einer Fassade abgeschätzt. Der so ermittelte Schadensumfang ist Basis der Schätzung der Kosten der Instandsetzung.

3.2 Laborprüfungen

In Laborprüfungen wurden maßgebende mechanische Kennwerte des Betons ermittelt.

Hierzu wurden nach unseren Vorgaben sechs Bohrkerne aus den Stahlbetonfassaden der Stadthalle entnommen und nach Karlsruhe versandt. Die Bohrkernentnahmen fanden am 09.08.2018 statt. Die Lage der Entnahmestellen ist den Abbildungen A1a, A1d und A1f sowie A5 bis A10 in den Anlagen zu entnehmen.

Der entnommene Beton wurde im Labor der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt MPA Karlsruhe folgenden Prüfungen unterzogen, Einzelheiten siehe Kapitel 6:

- Rohdichte,
- Druckfestigkeit,
- zentrische Zugfestigkeit sowie
- dynamischer Elastizitätsmodul

3.3 Auswertungen und gutachterliche Bewertungen

Die Auswertungen und gutachterlichen Bewertungen bestanden

- in Schadensanalysen,
- in einer Korrelation betontechnischer Messdaten,
- in Schadensprognosen,
- in der Diskussion verschiedener Instandsetzungsmöglichkeiten
- im Erarbeiten von Instandsetzungs- und Instandhaltungsvorschlägen sowie
- in Kostenschätzungen.

3.4 Entwicklung eines Instandsetzungsbetons

Die Entwicklung bestand in folgenden Tätigkeiten:

- Recherchen zu den Ausgangsmaterialien der Originalbetone
- Entwicklung eines Materialkonzepts
- Recherchen nach geeigneten Ausgangsmaterialien
- Entwicklung und Erprobung von Rezepturen des Instandsetzungsbetons und einer zugehörigen Haftbrücke
- Herstellung von Mustern im Labor
- Abgleich der Muster mit dem Bestand
- Erstellung eines technischen Eignungsprüfprogramms
- Herstellung von Prüfkörpern für die technischen Eignungsprüfungen
- Durchführung der technischen Eignungsprüfungen
- Organisatorische Tätigkeiten

4 Zusammenfassung der bei Beginn unserer Untersuchungen vorliegenden Informationen

4.1 Untersuchungsergebnisse des Ingenieurbüros E+P aus dem Jahr 2015

4.1.1 Aufbau der Sichtbetonaußenwände

Dem Gutachten des Ingenieurbüros E+P [1.2] ist in Bezug auf den Aufbau der Sichtbetonaußenwände der Stadthalle Folgendes zu entnehmen (Zitat):

„Nach Abschluss der Baubegehung und Fassadenuntersuchung kann festgestellt werden, dass das Gebäude teilweise als Stahlbetonkonstruktion mit massiven Sichtbetonwänden bzw. mit vorgehängter Fertigteilfassade und teilweise als Stahlkonstruktion mit vorgehängter Fertigteilfassade (großer Saal) errichtet wurde. In die Fassadenflächen sind große Fensterflächen / -bänder integriert.

Die Fertigteil-Fassadenelemente unterteilen sich in eine künstlerisch gestaltete Fassade (Bild ...) und eine Fassade mit strukturierter Oberfläche (Bild ...). Die Plattenstärke der künstlerisch gestalteten Fassade beträgt 5 cm. Die monolithisch aufbetonierten Ornamente setzen sich aus unterschiedlich wiederkehrenden Quadern zusammen und stehen 5 cm, 8 cm bzw. 12 cm über die restliche Fassadenoberfläche vor. Die Zwischenräume sowie die Flanken der Ornamente sind farblich gestaltet (Bild ...).

Die Plattenstärke der mit Strukturbeton versehenen Fertigteilplatten beträgt 8 cm.

Die Befestigungen der Fertigteilfassadenelemente an die Tragkonstruktion wurden im Zuge der Bauwerksuntersuchungen detaillierter untersucht. Die Ergebnisse sind Kapitel ... zu entnehmen.

Massive Sichtbetonwände sind ebenfalls mit einer strukturierten Oberfläche versehen.

Die Dachflächen bestehen großformatig aus Porenbeton-Plattenelementen mit Wärmedämmung und Abdichtung. Im Zuge einer energetischen Sanierungsmaßnahme vor einigen Jahren wurde eine zusätzliche Wärmedämmschicht mit Dachabdichtung über die vorhandene Dachhaut verlegt.“

4.1.2 Unregelmäßigkeiten und Schäden

Die Untersuchungen der Betonfassaden der Stadthalle Lahnstein des Ingenieurbüros E+P wurden vom 19. bis zum 21.10.2015 durchgeführt. Dabei wurde Folgendes festgestellt (Zitate):

„... Künstlerisch gestaltete Fertigteil-Fassadenplatten

Die Farben zwischen den Elementen sind stark verwittert. Insbesondere an den Kunst-Ornamenten sind lokale Betonabplatzungen mit freiliegenden rostenden Eisen vorhanden (Bilder ...). Ebenfalls sind lokale Haarrisse erkennbar, mit Rissbreiten von 0,15 mm (Bilder ...).

... Fertigteil-Fassadenplatten mit strukturierten Oberflächen

Auf der Fassadenoberfläche sind mehr oder weniger stark ausgeprägte Hohllagen bzw. Betonabplatzungen mit freiliegenden rostenden Eisen, Schlaufen und Hülsen feststellbar. Die Schadstellen befinden sich über zu dicht an der Oberfläche liegender Bewehrung (Bilder ...) und Metallhülsen (Bild ...) bzw. im Bereich von Kiesnestern an Plattenrändern (Bilder ...). Besonders stark sind die Abplatzungen auf der schräg verlaufenden aufgehenden Fassadenfläche über dem tiefer liegenden Dach zur Blankenberg-Straße (Bild ...). In den zuvor beschriebenen freiliegenden Hülsen sind keine Verstiftungen vorhanden, es handelt sich vermutlich um Montagebehelfe. An einer Fertigteilplatte der Südfassade (Blankenberg) wurde ein mittig in der Platte liegender horizontaler Riss mit Rissbreite 0,3 mm festgestellt (Bilder ...).

... Sichtbetonflächen mit strukturierter Oberfläche

Die strukturierte Betonoberfläche ist teils stark verwittert. Hohllagen und Betonabplatzungen mit freiliegenden rostenden Eisen sind lokal dort vorhanden, wo die Bewehrung zu dicht an der Betonoberfläche verlegt wurde. Dies ist insbesondere an Scheinfugenrändern auf der rechten Nordseite zum Salhofplatz gegeben Bild ...).

Auf der Rückseite zur Straße Blankenberg sind ebenfalls lokale Schäden an Außenwänden des Fluchttreppenhauses (Bild ...) und an Brüstungen unterhalb von Fensterbändern (Bild ...) feststellbar. Ferner sind an den Brüstungen vertikale Risse, die auch auf der Brüstungsoberseite erkennbar sind, vorhanden (Bild ...).“

4.1.3 Betondeckung der Bewehrung

Die im Jahr 2015 vom Ingenieurbüro E+P zerstörungsfrei und an Erkundungsöffnungen durchgeführten Messungen der Betonüberdeckung der Bewehrung ergab Werte zwischen 6 mm und 56 mm. Eine genauere Aufschlüsselung der Messergebnisse der Betondeckung der Bewehrung nach Art und Orientierung der Fassaden kann Tabelle 0.1 entnommen werden.

Tabelle 0.1: In Untersuchungen im Jahr 2015 gemessene Betondeckungen der Bewehrung (eigene Aufbereitung und Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse in [1.2])

Art und Orientierung der Fassade	Anzahl der Einzelwerte	Betondeckung der Bewehrungs [mm]	
		Wertebereich	Mittelwert
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	56	6 - 56	31,4
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	-	-	-
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	21	21 - 34	29,0
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	24	17 - 31	24,1
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	34	6 - 50	24,7
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	11	12 - 40	25,5

4.1.4 Karbonatisierungstiefe des Betons

Gemäß den Ausführungen im Gutachten des Ingenieurbüros E+P [1.2] erfolgte die Ermittlung der Karbonatisierungstiefe des Betons an insgesamt 10 Erkundungsöffnungen im Außenbereich. Da an den Erkundungsöffnungen im Bereich der Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche kein bzw. nur ein schwacher Farbumschlag beim Besprühen der Aufbruchstelle mit Phenolphthaleinlösung festgestellt werden konnte, wurden ergänzende Messungen der Karbonatisierungstiefe an einem Betonbohrkern aus diesen Fertigteilen durchgeführt.

Eine genauere Aufschlüsselung der Messergebnisse der Karbonatisierungstiefe nach Art und Orientierung der Fassaden kann Tabelle 0.2 entnommen werden.

Tabelle 0.2: In Untersuchungen im Jahr 2015 gemessene Karbonatisierungstiefe des Betons (eigene Aufbereitung und Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse in [1.2])

Art und Orientierung der Fassade	Anzahl der Einzelwerte	Karbonatisierungstiefe [mm]
		Messwerte
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	2	10 / 12
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	-	-
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	4	Plattenbereich: >30 / >30 Ornament innen: 15, Ornament außen: 40
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	2	10 / 15
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	3	5 / 12 / 20
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	1	15

Weitere Angaben des Ingenieurbüros E+P zur Karbonatisierung des Betons sind in Abschnitt 4.2.1 wiedergegeben.

4.1.5 Oberflächenzugfestigkeit der Sichtbetonfassaden

Das Ingenieurbüro E+P ließ an fünf aus den Sichtbetonfassade der Stadthalle entnommenen Bohrkernen Prüfungen der Oberflächenzugfestigkeit vornehmen. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 0.3 zusammengefasst.

Tabelle 0.3: Im Rahmen der Untersuchungen im Jahr 2015 an Betonbohrkernen ermittelte Oberflächenzugfestigkeiten (eigene Aufbereitung und Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse in [1.2])

Art und Orientierung der Fassade	Anzahl der Einzelwerte	Oberflächenzugfestigkeit [N/mm ²]
		Messwerte
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	1	3,49
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	-	-
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	1	2,24
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	1	3,08
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	2	2,67 / 3,67
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	-	-

Die Prüfwerte der Oberflächenzugfestigkeit liegen zwischen 2,24 N/mm² und 3,67 N/mm². Der Mittelwert aus allen Prüfwerten beträgt 3,03 N/mm².

4.1.6 Druckfestigkeit und Rohdichte der Fassadenbetone

Gemäß den Ausführungen des Ingenieurbüros E+P im Schadengutachten [1.2] wurden neben Rückprallhammerprüfungen Druckfestigkeitsprüfungen an fünf aus den Sichtbetonfassaden entnommenen Bohrkernen vorgenommen.

Einen Überblick über die an den Bohrkernen ermittelten Rohdichten und Druckfestigkeiten der Fassadenbetone liefert die nachfolgende Tabelle 0.4.

Tabelle 0.4: Im Rahmen der Untersuchungen im Jahr 2015 an Betonbohrkernen ermittelte Rohdichten und Druckfestigkeiten der Fassadenbetone (eigene Aufbereitung und Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse in [1.2])

Art und Orientierung der Fassade	Rohdichte [kg/dm ³]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
	Messwerte	Messwerte
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	2,26	66,4
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	-	-
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	2,21	60,4
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	2,24	55,5
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	2,21 / 2,24	65,7 / 78,8
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	-	-

Die Rohdichte der Fassadenbetone liegt im Mittel bei 2,23 kg/dm³ (bei Berücksichtigung aller Prüfwerte). Es wurden Einzelwerte der Rohdichte zwischen 2,21 kg/dm³ und 2,26 kg/dm³ ermittelt.

Die Prüfung der Druckfestigkeit der Fassadenbetone ergab Einzelwerte zwischen 55,5 N/mm² und 78,4 N/mm². Bei Berücksichtigung aller Einzelwerte beträgt der Mittelwert der Druckfestigkeit 65,4 N/mm².

Die Rückprallhammerprüfungen lieferten insgesamt hohe Werte. Die Ergebnisse werden von uns jedoch nicht weiter betrachtet, da die Karbonatisierung zu einer Verdichtung und Verfestigung des Betongefüges führt, so dass die Rückprallwerte keine Quantifizierung der Festigkeit des Kernbereichs der Bauteile liefern.

4.2 Bewertungen und Folgerungen des Ingenieurbüros E+P

4.2.1 Schäden und korrosionsrelevante Gegebenheiten

Die Untersuchungsergebnisse zu den Schäden und den korrosionsrelevanten Gegebenheiten (Karbonatisierung des Betons und Betondeckung der Bewehrung) bewertet das Ingenieurbüro E+P wie folgt (Zitate):

„... Künstlerisch gestaltete Fertigteil-Fassadenplatten

Die mittleren Betondeckungen sind mit 24 bis 30 mm für damalige Verhältnisse relativ gut, auch wenn die Mindestmaße gem. heutiger Norm nicht eingehalten sind. Die nur 5 cm starken Fertigteilplatten sind komplett karbonatisiert. Wie an dem Bohrkern, gezogen aus einem 10 cm starken Ornament, festgestellt, beträgt die Karbonatisierungstiefe an der Außenseite 1,5 cm und an der Innenseite 4 cm. Die Bewehrung liegt damit großflächig im depassivierten (ungeschützten) Betonbereich und wird bei Feuchtigkeitzufuhr korrodieren.

... Fertigteil-Fassadenplatten mit strukturierter Oberfläche

Die Mindestmaße der Betondeckungen gem. heutiger Norm werden nicht eingehalten. Die Karbonatisierungstiefen betragen 5 bis 12 mm an der hohen Südfassade und 20 mm an der aufgehenden schräg verlaufenden Fassadenfläche über dem Dach zur Blankenberg-Straße. Ursache für die Hohllagen und Betonabplatzungen wie unter Punkt ... beschrieben ist, dass überall dort, wo die Karbonatisierungsfront die Bewehrung erreicht hat, diese bei Feuchtigkeitzufuhr zu rosten beginnt, an Volumen zunimmt und den Beton absprengt. Dies ist insbesondere an der aufgehenden Wand über dem Dach zur Blankenberg-Straße der Fall. Hier hat die Karbonatisierungsfront großflächig die Bewehrung (mittlere Betondeckung 17,6 mm) erreicht. In den übrigen Fassadenflächen liegt nur Bewehrung mit geringer Betondeckung im karbonatisierten Bereich (Schlaufen, Hülsen und Bewehrung an Plattenrändern).

... Sichtbetonflächen mit strukturierter Oberfläche

Die Mindestmaße der Betondeckungen gem. heutiger Norm werden nicht eingehalten. Die Karbonatisierungstiefen betragen zwischen 10 bis 15 mm. An lokalen Stellen, wo die Karbonatisierungsfront die Bewehrung erreicht hat, beginnt diese bei Feuchtigkeitzufuhr zu rosten. Als Folge der Volumenvergrößerung entstehen Hohllagen und der Beton wird abgesprengt.

... Risse

Die vorhandenen Risse bis 0,4 mm sind in der Regel statisch unbedenklich, müssen hier aber aus Gründen der Dauerhaftigkeit (geringe Bauteilstärken, Wassereindrang) verschlossen werden.“

Vor dem Hintergrund der geschilderten Gegebenheiten werden vom Ingenieurbüro folgende Schlüsse gezogen (Zitat der Ausführungen auf der Seite 27, unten, des Gutachtens des Ingenieurbüros E+P):

„In Bereichen, in denen die Bewehrung im depassivierten, also ungeschützten Bereich liegt, besteht bei Feuchtigkeitzufuhr unmittelbare Korrosionsgefahr.

Ein weiteres Voranschreiten der Karbonatisierung und die Feuchtigkeitzufuhr sind zu verhindern.“

4.2.2 Gefüge und Festigkeit der Fassadenbetone

Gefügeeigenschaften

Es wird festgestellt, dass der Konstruktionsbeton der Fertigteiffassadenplatten sowie der Sichtbetonwände ein dichtes und homogenes Gefüge aufweist. Hohlräume seien nur vereinzelt vorhanden und hinsichtlich der Tragfähigkeit unbedenklich. Die in den Bohrkernen vorgefundene Bewehrung sei nicht korrodiert.

Oberflächenzugfestigkeit

Der Anforderungswert an die Oberflächenzugfestigkeit von 1,5 N/mm² im Mittel für Betoninstandsetzungsmaßnahmen würde von den Fassadenbetonen bei einem erwiesenen Mittelwert von 3,03 N/mm² erreicht. Auch die Mindestanforderungen an den kleinsten ermittelten Einzelwert der Oberflächenzugfestigkeit von 1,0 N/mm² würde erreicht.

Druckfestigkeit

Die Fassadenbetone wiesen eine Druckfestigkeit entsprechend der Druckfestigkeitsklasse C40/50 bzw. B45 auf und erfüllten die Druckfestigkeitsanforderung der Expositionsklasse XC4 der DIN 1045, die für Außenbauteile mit direkter Beregnung maßgebend sei.

4.2.3 Fugendichtungen

Die gerissenen Fugendichtungen zwischen den Fertigteilelementen weisen über dem Grenzwert liegende PCB-Gehalte auf und müsse bei Ausbau als Sondermüll entsorgt werden.

4.3 Instandsetzungsvorschlag des Ingenieurbüros E+P

Auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen und Prüfungen empfiehlt das Ingenieurbüro E+P eine Instandsetzung nach der Grundsatzlösung W der Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen des DAfStb [3.1] (dazu nachfolgendes Zitat).

„Das Prinzip beruht auf einer Absenkung des Wassergehalts im Beton, die die elektrolytische Leitfähigkeit so stark reduziert, dass die Korrosionsgeschwindigkeit auf praktisch vernachlässigbare Werte gesenkt wird. Im Bereich von Betonausbrüchen und / oder korrodierten Eisen erfolgt eine örtliche Ausbesserung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel. Hierdurch wird lokal eine neue Passivschicht auf der Stahloberfläche (Repassivierung) durch Auftragen zementgebundener Instandsetzungsstoffe erzeugt.“

Wesentlicher Bestandteil der Grundsatzlösung W ist das Aufbringen eines ganzflächigen Oberflächenschutzsystems. Das Instandsetzungskonzept des Ingenieurbüros E+P sieht diesbezüglich ein Oberflächenschutzsystem OS 5a vor. Hierbei handelt es sich, gemäß [3.1], um eine „Beschichtung mit geringer Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung)“. Als Anwendungsbereich wird in [3.1] angegeben: *„Freibewitterte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen auch im Sprühbereich von Auf-tausalzen“*. Das System besitzt nach [3.1] folgenden Regelaufbau: *„Kratz- / Ausgleichspachtelung, i.d.R. Grundierung, mindestens zwei Oberflächenschutzschichten (hauptsächlich wirk-same Oberflächenschutzschicht hwO), gegebenenfalls Deckversiegelung“*

Das Ingenieurbüro E+P weist im Zusammenhang mit dem vorgeschlagenen Instandsetzungskonzept auf Folgendes hin (Zitat):

„...“

- *Durch das Aufbringen der Spachtelschicht als Teilleistung der OS 5-Oberflächenbeschichtung ändert sich die Optik der strukturierten Fassadenoberfläche in eine glatte Oberfläche;*
- *An Reprofilierungsstellen, an denen die Bewehrung zu dicht an der Betonoberfläche liegt, wird durch eine neue Mindestbetondeckung von mind. 10 mm die Oberfläche lokal uneben werden;*
- *Im Zuge der Planung der Sanierungsmaßnahmen muss für das empfohlene Instandsetzungsprinzip W geprüft und sichergestellt werden, dass an den Innenflächen kein Tauwasser anfällt.“*

4.4 Fazit der Unterlagensichtung und Folgerungen

Fazit

Das Ingenieurbüro E+P hat die Fassaden der Stadthalle Lahnstein im Jahr 2015 untersucht und die vorliegenden Schäden bewertet. Hauptschadensbild sind Abplatzungen über korrodierender Bewehrung, die eine zu geringe Betondeckung aufweisen. Die Ergebnisse der durchgeführten Materialprüfungen zeigen, dass die Betonfassaden in nicht geschädigten eine ausreichende Festigkeit aufweisen bzw. dass eine Instandsetzung gemäß der Richtlinie des DAfStb prinzipiell möglich ist.

Das Ingenieurbüro E+P schlägt ein Instandsetzungskonzept vor, das neben einer Reparatur der vorhandenen Schäden zum Ziel hat, das weitere Voranschreiten der Karbonatisierung zu begrenzen und das Eindringen von Feuchtigkeit zu reduzieren, um die Entstehung zusätzlicher Schäden in Zukunft zu vermeiden.

Gemäß dem Vorschlag des Ingenieurbüros E+P soll dabei ein Oberflächenschutzsystem zum Einsatz kommen, welches das Erscheinungsbild der Stadthalle nachhaltig verändern würde. Das Ingenieurbüro E+P weist in seinem Gutachten [1.2] auf diesen Sachverhalt explizit hin.

Die Machbarkeit alternativer Instandsetzungsmethoden unter weitgehendem Erhalt der Sichtbetonfassaden der Stadthalle wurde von Seiten des Ingenieurbüros E+P nicht geprüft, offenbar auch nicht in Erwägung gezogen.

Stellungnahme und Folgerungen

Die durch das Ingenieurbüro E+P im Jahr 2015 durchgeführten Untersuchungen lieferten Informationen zu einigen Eigenschaften der Sichtbetonfassaden der Stadthalle.

Eine zu fordernde Prognose der Restnutzungsdauer der Fassaden wird vom Ingenieurbüro nicht vorgenommen. Die Aussage, dass in Bereichen, in denen die Bewehrung im depassivierten Bereich liegt, „*bei Feuchtigkeitszufuhr unmittelbare Korrosionsgefahr*“ besteht, stellt keine Schadensprognose dar und ist so nicht richtig. Richtig ist, dass depassivierte Bewehrung korrodiert, wenn der an sie angrenzende Beton einen ausreichenden Feuchte- und Sauerstoffgehalt aufweist. Die Bewitterung der Bauteiloberflächen und die damit verbundene „Feuchtezufuhr“ führt nicht zwangsläufig zu Randbedingungen, die eine nennenswerte Korrosion der Bewehrung erlauben. Maßgebend sind vielmehr die Höhe und Dauer der Feuchtezufuhr bzw. die Qualität und Dicke der Betondeckungsschicht der Bewehrung. Die beiden letztgenannten Eigenschaften beeinflussen maßgeblich das Vordringen der Feuchtigkeit und des Sauerstoffs zur Bewehrung. Das Ingenieurbüro hat dies nicht berücksichtigt bzw. nicht betrachtet. Aus den eher pauschalen Feststellungen des Ingenieurbüros darf daher nicht auf die Notwendigkeit einer ganzflächigen Oberflächenschutzmaßnahme geschlossen werden.

Die Entscheidung über die Notwendigkeit von Oberflächenschutzmaßnahmen bedarf der Gewinnung einer umfangreichen Datenbasis und einer Schadensprognose für bislang nicht ge-

schädigte Bereiche, die auf einer statistischen Auswertung der Messdaten aufbaut. Der Umfang der vom Ingenieurbüro ermittelten Daten ist zu gering, um daraus Aussagen zur Korrosionswahrscheinlichkeit der Bewehrung ableiten zu können.

Vor diesem Hintergrund wurde die Datengrundlage durch uns ergänzt und der Stand an Erkenntnissen zum derzeitigen und zukünftigen Zustand der Sichtbetonfassaden erweitert. Über die Einzelheiten und Hintergründe wird in den folgenden Kapiteln berichtet.

5 Ergebnisse eigener Vor-Ort-Untersuchungen

5.1 Erscheinungsbild der Sichtbeton-Fassaden

Ortbetonoberflächen

Die Ortbetonoberflächen sind durch regelmäßig angeordnete Scheinfugen in rechteckige Teilflächen untergliedert. Das Scheinfugenraster greift das Raster der Fugen angrenzender Fertigteile auf.

Die Oberflächen weisen eine Schalbretttextur mit vertikal orientierten Schalbrettern von 9,5 cm Breite auf.

Die mit Kappen verschlossenen Hüllrohre der Schalungsanker sind in gleichmäßigen Abständen bzw. in horizontalen Reihen angeordnet.

Entlang der Schalbrettstöße liegen bereichsweise Schütthorizonte und Kiesnester sowie feinteilmarme Zonen vor.

Das Erscheinungsbild der Ortbetonoberflächen wird durch die hellgraue, fast weiße Eigenfarbe des verwendeten Betons geprägt. Lediglich einige Teilflächen der Fassaden erhielten planmäßig eine rote bzw. blaue Farbschicht, die mittlerweile verblasst bzw. witterungsbedingt unterschiedlich stark abgewaschen ist.

Einzelne, vom Boden aus zugängliche Teilflächen wurden in der Vergangenheit mit weißer Farbe überstrichen, was nur bei genauerer Betrachtung erkennbar ist.

Die Ortbetonoberflächen zeigen alterstypische Spuren der Witterungseinwirkung in Form von unterschiedlich stark ausgeprägten Schmutzablagerungen unterhalb horizontaler Flächen an Dachrändern, Gesimsen und Brüstungen.

Ebene Fertigteiloberflächen

Die Stahlbetonfertigteile mit ebener Oberfläche weisen im Regelfall eine rechteckige Geometrie mit Breiten von 1,16 bis 1,28 Metern auf. Die Plattenhöhe variiert in Abhängigkeit der Gegebenheiten des Einbauortes bzw. der Fassadengeometrie.

Die Dicke der Fertigteile beträgt 8 Zentimeter.

Die Oberflächen sind nur leicht verschmutzt.

Die Kanten entlang der Plattenränder wurden unter einem Winkel von 45 Grad gefast ausgeführt. Hier liegen I mehr oder weniger stark ausgeprägte feinteilmarme Zonen vor.

Die sichtbaren Fertigteiloberflächen weisen die Textur einer Matrizzenschalung auf, die derjenigen einer Holzschalung mit vertikal orientierten Schalbrettern ähnelt.

Die Fertigteile mit ebener Oberfläche tragen keine Farbschicht. Die Eigenfarbe des Fertigteilbetons ist hellgrau bis weiß und entspricht weitgehend dem Farbton des Ortbetons.

Die Fugen zwischen den Fertigteilplatten sind mit einem farblich auf den Plattenbeton abgestimmten Fugenfüllstoff verschlossen. Die Fugenabschlussdichtung ist in unterschiedlicher Ausprägung rissig, vereinzelt liegen Flankenablösungen vor.

Künstlerisch gestaltete Fertigteiloberflächen

Die Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche weisen im Regelfall eine Breite von 2,51 Metern und eine Höhe von 1,64 Metern auf (Maße der Ansichtsfläche). Davon abweichende Abmessungen besitzen die Fertigteile, die im Bereich der Dachschräge und der Gebäudekanten zum Einbau gekommen sind.

Die Oberfläche der Fertigteile ist als kubisches Relief ausgeführt, weshalb die Dicke der Fertigteile zwischen 5 Zentimetern im Bereich der Platte ohne reliefartige hervorstehende Teilflächen und 17 Zentimetern im Bereich der größten Reliefdicke variiert.

Die zurückliegenden Teilflächen bzw. die Vertiefungen des Reliefs tragen eine mehr oder weniger stark abgewaschene bzw. verblasste Farbschicht in den Farbtönen rot und blau. Im Bereich der Gebäudekante sind die Vertiefungen des Reliefs mit Blattgold beschichtet, welches stark abblättert.

Der Beton der Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche weist eine ähnliche hellgraue bis weiße Eigenfarbe auf wie der Ortbeton bzw. wie der Beton der Fertigteile mit ebener Oberfläche.

An den künstlerisch gestalteten Fertigteiloberflächen liegen leichte Verfärbungen bzw. Verschmutzungen vor.

5.2 Unregelmäßigkeiten

Die an den Sichtbetonfassaden der Stadthalle feststellbaren Unregelmäßigkeiten lassen sich wie folgt klassifizieren:

Ortbetonoberflächen

- Verfärbungen bzw. Verunreinigungen der Oberflächen (insbesondere ausgehend von Vorsprüngen in den Fassadenflächen)
- Abgewaschene bzw. verblasste Farbschichten
- Moosbewuchs (insbesondere im Bereich horizontaler Reliefoberflächen)
- Schütthorizonte, teilweise mit feinteilarmen Zonen („Kiesnester“)
- Abgängige Randschicht der Bauteilquerschnitte über korrodierender Bewehrung bzw. freiliegende Bewehrung (nur lokal auftretend, keine Konzentration auf bestimmte Bereiche).
- Hohllagen der Randschicht der Bauteilquerschnitt, sog. „Schollenbildungen“ (nur lokal auftretend)
- Signifikante Einzelrisse in den Ortbetonbauteilen. Die Breite der Risse beträgt ca. 0,35 mm.

Ebene Fertigteiloberflächen

- Verfärbungen bzw. Verunreinigungen der Oberflächen (nur lokal in Dachrandnähe auftretend, insgesamt liegen nur leichte Verfärbungen bzw. Verunreinigungen vor)
- Feinteilarme Zonen entlang der Längskanten der Fertigteilplatten
- Rissige Fugenabschlussdichtungen
- Abgängige Randschicht der Bauteilquerschnitte über korrodierender Bewehrung und über Montagehülsen (nur lokal auftretend, freiliegende Montagehülsen liegen im Bereich der Plattenränder bzw. der Plattenfugen vor)
- Hohllagen der Randschicht der Bauteilquerschnitt, sog. „Schollenbildungen“ (nur lokal auftretend)
- Ein signifikanter horizontal verlaufender Einzelriss in einer Fertigteilplatte an der Südfassade den Ortbetonbauteilen. Die Breite der Risse beträgt ca. 0,45 mm.

Künstlerisch gestaltete Fertigteiloberflächen

- Abblätterungen der Blattgoldbeschichtung
- Abgewaschene bzw. verblasste Farbschichten

- Verfärbungen bzw. Verunreinigungen der Oberflächen (nur lokal unmittelbar unterhalb hervorstehender Bereiche des Reliefs auftretend, insgesamt liegen nur leichte Verfärbungen bzw. Verunreinigungen vor)
- Rissige Fugenabschlussdichtungen und Flankenablösungen der Fugenabschlussdichtungen
- Abgängige Randschicht der Bauteilquerschnitte über korrodierender Bewehrung bzw. freiliegende Bewehrung (nur lokal und kleinflächig auftretend, keine Konzentration auf bestimmte Bereiche).
- Hohllagen der Randschicht der Bauteilquerschnitt, sog. „Schollenbildungen“ (nur lokal auftretend)

5.3 Gefügebeschaffenheit der Betonrandzone

Sowohl an den Betonoberflächen der Fertigteile als auch an jenen der Ortbetonflächen ist in den nicht durch Bewehrungskorrosion geschädigten Bereichen im Allgemeinen eine gefügedichte Bauteilrandschicht gegeben.

Das Betongefüge ist insgesamt als sehr fest einzustufen. Dies zeigte sich anhand qualitativer Prüfungen durch Ritzen, Klopfen und Stemmen mit Hammer und Meißel sowie beim Anlegen von Erkundungsöffnungen mit einem Elektrohammer. Zermürbungen oder auffallend geringe Festigkeiten des Betons wurden nicht festgestellt.

Hinweise auf Dauerhaftigkeitsprobleme des Betongefüges (z. B. Zermürbungen, größere Abwitterungen) liegen nicht vor.

Das Betongefüge der Ortbetonbauteile, der Fertigteile mit ebener Oberfläche und der Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche setzt sich aus gelblichen, teilweise auch hellgrauen Gesteinskörnungen zusammen, die in einer annähernd weißen Zementsteinmatrix eingebettet sind.

5.4 Karbonatisierungstiefe des Betons

Die an der Stadthalle gemessenen Werte der Karbonatisierungstiefe des Betons sind in den Tabellen A3a bis A3f (Anlagenseiten 28 und 29) zusammengestellt. Die Tabellen enthalten die an den über die Fassadenflächen verteilten Messstellen ermittelten Einzelwerte der Karbonatisierungstiefe des Betons sowie die daraus für die Messstellen errechneten Mittelwerte. Zusätzlich sind die jeweils festgestellten Kleinst- und Größtwerte sowie die jeweiligen Standardabweichungen der Einzelwerte angegeben.

Folgende Wertebereiche und Mittelwerte der Karbonatisierungstiefe des Betons liegen vor (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Karbonatisierungstiefe des Betons

Art und Orientierung der Fassade	Anzahl der Einzelwerte	Karbonatisierungstiefe [mm]	
		Wertebereich	Mittelwert
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	76	2 - 18	7,0
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	16	3 - 14	7,1
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	11	4 - 10	7,3
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	116	3 - 26	9,3
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	40	3 - 28	12,2
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	103	2 - 22	13,4

Eine Übersicht über die vorliegenden Karbonatisierungstiefen in grafischer Form bieten die Abbildungen A3a bis A3f im Anhang (Anlageseiten 30 bis 32).

Die Abbildungen zeigen, mit welcher relativen Häufigkeit – bezogen auf die Gesamtheit der gemessenen Einzelwerte – Karbonatisierungstiefen zwischen 0 und 2,5 mm („Tiefenbereich 2,5“ in den Abbildungen), 2,5 und 5 mm („Tiefenbereich 5“ in den Abbildungen), 5 und 7,5 mm („Tiefenbereich 7,5“ in den Abbildungen) etc. vorliegen (Häufigkeitsverteilung der Karbonatisierungstiefe). Auf die in diesen Abbildungen vorliegenden Informationen zur Betondeckung der Bewehrung wird in Abschnitt 5.5 eingegangen.

5.5 Betondeckung der Bewehrung

Die in den einzelnen Messfeldern (Prüf- und Erkundungsbereichen) ermittelten Werte der Betondeckung der Bewehrung sind in den Tabellen A2a bis A2f der Anlagenseiten 18 bis 27 wiedergegeben. Die Tabellen enthalten neben den Einzelwerten die auf die Messfelder bezogenen Kleinst-, Größt- und Mittelwerte der Betondeckung sowie die Standardabweichungen der Einzelwerte.

Folgende Wertebereiche und Mittelwerte der Betondeckung der Bewehrung liegen vor (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Betondeckung der Bewehrung

Art und Orientierung der Fassade	Anzahl der Einzelwerte	Betondeckung [mm]	
		Wertebereich	Mittelwert
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	843	6 - 85	33,0
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	111	8 - 40	17,3
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	21	22 - 69	39,9
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	1393	6 - 88	32,3
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	998	6 - 89	31,1
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	967	5 - 86	33,8

Eine Übersicht über die vorhandenen Betondeckungen der Bewehrung in grafischer Form bieten die Abbildungen A3a bis A3f auf den Anlagenseiten 30 bis 32.

Die Abbildungen zeigen, mit welcher relativen Häufigkeit – bezogen auf die Gesamtheit der gemessenen Einzelwerte – Betondeckungen zwischen 0 und 2,5 mm („Tiefenbereich 2,5“ in den Abbildungen), 2,5 und 5 mm („Tiefenbereich 5“ in den Abbildungen), 5 und 7,5 mm („Tiefenbereich 7,5“ in den o. g. Abbildungen) usw. gemessen wurden (Häufigkeitsverteilung der Betondeckung).

5.6 Korrosion der Bewehrung

An Stellen, an denen Absprengungen der Betonrandzone aufgetreten sind, weist die Bewehrung Betonüberdeckungswerte bis ca. 17 mm auf (siehe Tabelle A1b auf den Anlagenseiten 16 und 17). Nur in einem Fall sind – offenbar infolge einer Überlagerung von Abplatzungen an dicht nebeneinander liegenden Bewehrungsstäben – auch bei einer Betondeckung von 19 mm korrosionsbedingte Abplatzungen entstanden.

Die Korrosion der Bewehrung reicht dabei bis zu einem mehr oder weniger starken Querschnittabtrag an den Rippen. Der Kernquerschnitt ist intakt.

Bewehrung, die von jeher nicht mit Beton überdeckt war, ist nur gering korrodiert.

An Erkundungsöffnungen in bislang schadensfreien Bereichen wurde keine oder nur eine vernachlässigbare Korrosion (leichte Oberflächenkorrosion) der Bewehrung festgestellt. Die Befunde bzw. Feststellungen zum Korrosionszustand der Bewehrung in bislang schadensfreien Bereichen sind in der Tabelle A1a auf den Anlagenseiten 14 und 15 zusammengestellt.

6 Ergebnisse der Laborprüfungen

Die Abbildungen A5 bis A10 (Anlagenseiten 40 und 41) zeigen Ansichtsflächen der Bohrkerne.

Die Ermittlung der Kennwerte des Betons erfolgte an der MPA Karlsruhe. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt. Einzelheiten können dem Prüfungsbericht der MPA entnommen werden; siehe [2.2] bzw. Anlagenseiten 42 bis 49 zum vorliegenden Bericht).

Tabelle 3: Rohdichte, Druck- und Zugfestigkeit sowie Schallausbreitungsgeschwindigkeit und dynamischer E-Modul des Ortbetons und des Fertigteilbetons der Stadthalle

Materialkennwert	Art des Fassadenbetons	Anzahl der Prüfwerte	Wertebereich	Mittelwert
Rohdichte in [kg/m ³] gemäß DIN EN 12390-7:2009-07	Ortbeton	3	2.270 – 2.300	2.290
	Fertigteilbeton	3	2.300 – 2.400	2.360
Druckfestigkeit in [N/mm ²] ermittelt an separaten Prüfkörpern gemäß DIN EN 12390-3:2009-07	Ortbeton	1	65,1	-
	Fertigteilbeton	3	56,7 – 67,0	62,0
Zentrische Zugfestigkeit in [N/mm ²] in Anlehnung an DAfStb-Heft 422:1991	Ortbeton	2	2,6 – 2,7	-
	Fertigteilbeton	-	-	-
Schallausbreitungsgeschwindigkeit in [km/s] bei Durchschallung mit Ultraschall gemäß DIN EN 12504-4:2004-12	Ortbeton	3	4,17 – 4,26	4,21
	Fertigteilbeton	3	4,14 – 4,21	4,17
Dynamischer E-Modul in [N/mm ²] berechnet auf der Grundlage der Schallausbreitungsgeschwindigkeit (Ultraschall)	Ortbeton	3	36.000 – 37.600	36.500
	Fertigteilbeton	3	36.400 – 37.400	36.900

7 Auswertung der Ergebnisse und Folgerungen

7.1 Unregelmäßigkeiten

Dem vorstehenden Kapitel kann entnommen werden, dass an den Fassaden der Stadthalle in mehr oder weniger hohem Umfang folgende Unregelmäßigkeiten vorliegen:

- Verfärbungen bzw. Verunreinigungen der Oberfläche, Moosbewuchs
- Verblasste und abblätternde Farbschichten Rissige und sich von den Flanken ablösende Fugenabschlussdichtungen Schütthorizonte, teilweise mit feinteilarmen Zonen („Kiesester“) Absprengungen der Betondeckungsschicht der Bewehrung in den Stadien „noch anhaftende aber abzufallen drohende Scholle“ und „bereits abgängige Scholle“, jeweils in Verbindung mit einer vorangegangenen und noch stattfindenden Korrosion der Bewehrung Rissbildung des Betons ohne Korrosion der Bewehrung. Die Risse sind außen-seitig auf den Ortbetonbauteilen und den Fertigteilen ebener Oberfläche sichtbar.

7.1.1 Ursachen der Unregelmäßigkeiten

Allgemeines

Das Fehlen von Unregelmäßigkeiten in Form von Entfestigungen des Betongefüges lässt darauf schließen, dass keine schädigenden Frostbeanspruchungen oder chemische Beanspruchungen vorliegen.

Verfärbungen bzw. Verunreinigungen der Oberfläche, Moosbewuchs

Verschmutzungen sind unvermeidbare Folgen der durch die Umwelt und die Witterung verursachten Beanspruchung der Fassaden. Moosbewuchs spricht für hohe Feuchtegehalte des Betons.

Verblasste und abblätternde Farbschichten

Verblasste und abblätternde Farbschichten sind unvermeidbare Folgen der Alterung bzw. begrenzten Dauerhaftigkeit der Werkstoffe unter den umwelt- und witterungsbedingten Beanspruchungen. Polymere Werkstoffe zeigen gegenüber mineralischen Werkstoffen eine schnellere Alterung.

Rissige und sich von den Platten ablösende Fugenabschlussdichtungen

Es ist bekannt, dass polymere Fugenabschlussdichtungen nur für einen begrenzten Zeitraum funktionstüchtig sind. Sie weisen eine relativ schnelle Alterung auf.

Schütthorizonte, teilweise mit feinteilarmen Zonen („Kiesester“)

Schütthorizonte und feinteilarme Zonen sind die Folgen einer unzureichenden Verdichtung des Betons und/oder einer undichten Schalung beim Einbau des Betons. Diese Unregelmäßigkeiten bestehen seit Fertigstellung der Fassaden.

Absprengungen der Betondeckungsschicht der Bewehrung

Absprengungen der Betondeckungsschicht der Bewehrung sind auf die Korrosion querschnittsrandnah eingelegter und nicht mehr vor Korrosion geschützter Bewehrung zurückzuführen. Korrodiert Bewehrung in nennenswertem Umfang, so führt dies zur Bildung von Korrosionsprodukten, die etwa das 2 bis 3-fache des von Korrosion betroffenen Querschnittanteils des Stahles betragen. Hierdurch entsteht ein Sprengdruck auf den umgebenden Beton, der i. d. R. zunächst zur Ausbildung von senkrecht zur Bauteiloberfläche verlaufenden Rissen über den korrodierenden Bewehrungsstäben führt und sodann parallel zur Bauteiloberfläche verlaufende Risse im Bereich der Bewehrungsstäbe verursacht. Die letztgenannten, auch als „Schalenrisse“ bezeichneten Risse sind die Ursache des beim Abklopfen der Bauteiloberfläche feststellbaren Hohlklangs und führen im fortgeschrittenen Stadium der Bewehrungskorrosion zum Abfallen der Betondeckungsschicht über der korrodierenden Bewehrung. Hieraus kann eine Gefährdung von Passanten resultieren.

Rissbildung des Betons ohne Korrosion der Bewehrung

Neben den genannten korrosionsbedingten Rissen liegen an wenigen Stellen Einzelrisse in den Ortbetonfassaden mit Rissbreiten bis 0,35 mm vor. Entsprechende Erkundungen (Lage und Verlauf der Risse, Lokalisierung von Bewehrung, Klopfprüfungen) und Überlegungen ergaben, dass die rissauslösenden Spannungen nicht auf den Sprengdruck einer ggf. korrodierenden Bewehrung sondern auf tages- und jahreszeitliche wechselnde Temperierungen der Bauteilquerschnitte zurückzuführen sind, die zur Ausbildung von Zwangspannungen führten.

Die Ursache des einzelnen horizontalen Risses in einem Fertigteil auf der Südseite der Stadthalle mit einer Rissbreite bis 0,45 mm ist nicht mehr eindeutig zu klären. Möglicherweise handelt es sich um einen Riss, der als Folge einer mechanischen Einwirkung auf das Fertigteil während der Bauphase entstanden ist.

Verlauf, Breite und Ursache der Risse lassen den Schluss zu, dass die Risse die Standsicherheit des betroffenen Bauteilbereichs nicht beeinträchtigen.

7.1.2 Bewertung

Die Bewertung der Unregelmäßigkeiten muss vor dem Hintergrund des zu erfüllenden Mindest-Soll-Zustandes erfolgen, der sich aus den Anforderungen an die

- Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Verkehrssicherheit und an den Brandschutz ergibt.

Von den in Abschnitt 7.1 beschriebenen Unregelmäßigkeiten stellen lediglich die bereits offenkundigen oder sich durch Hohllagen ankündigenden Betonabsprengungen der Betondeckungsschicht der Bewehrung Schäden dar. Die Schäden sind als Folge einer Korrosion der Bewehrung bzw. anderer Metallteile (Montagehülsen) hervorgerufen. Die Abmessungen der Schadstellen sind gering. Häufig ist es noch nicht zu einem Abfallen der abgesprengten Schollen gekommen. Das heißt, ein Teil der Schadstellen ist augenscheinlich noch nicht erkennbar bzw. nur durch Abklopfen der Flächen mit einem Hammer aufgrund eines „Hohlklangs“ lokalisierbar. Die Anzahl der Schadstellen ist insgesamt betrachtet gering.

Die Schäden beschränken sich auf die außenseitige Querschnittsrandzone der Ortbetonwände und der Fertigteilplatten. Tiefgreifende Zermürbungen der Bauteilquerschnitte liegen nicht vor. Der Beton der Bauteile weist keine auffallend geringen Festigkeiten auf. Von einer hieraus resultierenden Beeinträchtigung der Standsicherheit der Wände ist angesichts dieses Sachverhaltes nicht auszugehen. Reduziert ist allerdings die Verkehrssicherheit, da die hohl liegenden Betonteile abfallen und u. U. zu einer Gefährdung von Passanten führen können. Soweit Brandchutzanforderungen an die Fassaden zu stellen sind, gilt dies aufgrund der lokal fehlenden Betondeckung auch für den Brandschutz. Aufgrund des mit den Absprengungen verbundenen Erscheinungsbildes ist weiterhin in geringem Maß auch die Gebrauchstauglichkeit der repräsentativen Zwecken dienenden Sichtbetonfassade der als Kulturdenkmal eingestuftes Stadthalle beeinträchtigt.

Rissbildungen der Stahlbetonbauteile, die mit tiefgehenden und breiten Rissen verbunden sind, liegen nur vereinzelt vor. Die rissverursachenden Spannungen sind nicht auf unzureichende Bauteileigenschaften zurückzuführen. Ursachen sind in einem Fall unplanmäßige Belastungen während der Bauphase und Zwängungen einzelner Bauteilbereiche. Mit der Entstehung der zwangsbedingten Risse im Ortbeton war zu rechnen. Diese Risse stellen selbstgeschaffene Dehnungsfugen der Ortbetonbauteile dar. Die Risse beeinträchtigen nicht die Gebrauchstauglichkeit, Standsicherheit, Verkehrssicherheit und den Brandschutz.

Das Fehlen von Unregelmäßigkeiten in Form von Entfestigungen des Betongefüges lässt darauf schließen, dass keine schädigenden Frostbeanspruchungen oder chemische Beanspruchungen vorliegen. Die Fassadenbauteile weisen keine Schädigungen auf, die auf eine unzureichende Dauerhaftigkeit des Betons schließen lassen.

7.2 Ausmaß der Schädigungen

In der Tabelle 4 sind die anhand der Schadensaufnahme ermittelten Schadflächenanteile angegeben. Hierbei handelt es sich also um durch Korrosion der Bewehrung verursachte Betonabspregungen (abgängige Betondeckungsschicht und hohlliegende Betondeckungsschicht).

Tabelle 4: Schadflächenanteile der einzelnen Fassaden [%]

Orientierung der Fassade	Anteil der Schäden an der untersuchten Fassadenfläche (Öffnungen übermessen)	Anteil der Schäden an den untersuchten <u>Betonoberflächen</u> der Fassaden
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	0,2	0,3
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche		1,2
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche		0,1
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	0,4	0,2
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche		0,9
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	0,1	0,1

Es ist festzustellen, dass die untersuchten **Fassadenflächen** (Anmerkung: Fenster- und Türflächen etc. wurden übermessen, siehe mittlere Spalte der Tabelle 4) in einem Flächenanteil von ca. 0,1 % bis 0,4 % Absprengungen der Betondeckungsschicht (hohllegend oder bereits abgängig) aufweisen.

Bezogen auf die reine **Betonoberflächen** der Fassaden ergeben sich Flächenanteile von ca. 0,1 % bis 1,2 % mit sichtbaren bzw. durch Abklopfen lokalisierbare Schädigungen (rechte Spalte der Tabelle 4).

7.3 Betonkennwerte

7.3.1 Druckfestigkeit

Einen Überblick über die Ergebnisse der bauseits bereits früher veranlassten Materialprüfungen, siehe [1.2], und der durch uns ergänzend vorgenommenen Untersuchungen [2.2] gibt die Tabelle A4 im Anhang.

Die Zusammenstellung aller nunmehr vorliegenden Prüfergebnisse in Tabelle A4 zeigt, dass die Betonkennwerte der Fassadenbereiche der Stadthalle mehr oder weniger starken Steuungen unterworfen sind. Hinsichtlich der von beiden Institutionen ermittelten Kennwerte Rohdichte und Druckfestigkeit des Betons ist festzustellen, dass sich die Streubereiche der Prüfwerte stark überschneiden und dass die Einzelwerte jeweils vergleichsweise nah beieinander liegen.

Die Einzelwerte der Druckfestigkeit des Ortbetons liegen zwischen 55,5 N/mm² und 66,4 N/mm² (Abbildung 1). Für die Fertigteile mit ebener Oberfläche wurden Einzelwerte zwischen 56,7 N/mm² und 78,8 N/mm² ermittelt. Für die Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche liegt ein Prüfwert von 60,4 N/mm² vor.

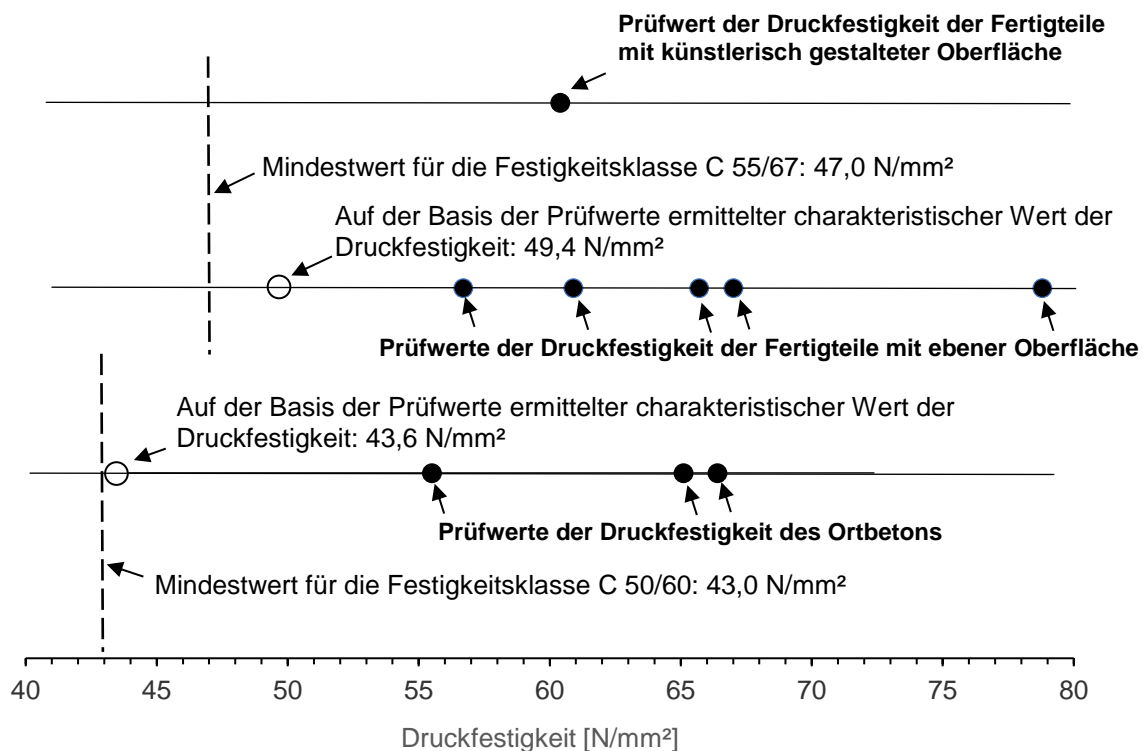


Abbildung 1: Prüfwerte und daraus ermittelte charakteristische Werte der Druckfestigkeit des Ortbetons und des Fertigteilbetons mit ebener Oberfläche gemäß den derzeit gültigen Normen. Mindestwerte der Festigkeitsklassen C 50/60 und C 55/67. (Anm.: Der Einzelwert der Druckfestigkeit der Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche erlaubt keine Aussagen zur Festigkeitsklasse.)

Bei Anwendung der derzeit gültigen Normen lässt sich aus der Gesamtheit der vorliegenden Prüfdaten für den Ortbeton eine Festigkeitsklasse von C 50/60 und für den Beton der Fertigteile mit ebener Oberfläche von C 55/67 ableiten (siehe Abbildung 1). Diese Aussage gilt für den Prüfzeitpunkt.

Zur Schonung der wertvollen Fassadenbereiche mit künstlerisch gestalteter Fertigteiloberfläche wurde bei unseren Untersuchungen auf eine Entnahme von Bohrkernen aus diesem Bereich verzichtet. Dies war gerechtfertigt, da der im Zuge der bauseits veranlassten Prüfungen für diesen Bereich ermittelte Einzelwert der Druckfestigkeit des Fertigteilbetons in Höhe von 60,4 N/mm² innerhalb des Streubereichs der anderen Prüfwerte liegt (siehe Abbildung 1).

7.3.2 Zugfestigkeit und Haftzugfestigkeit

Die Zugfestigkeit und Oberflächenzugfestigkeit der Fassadenbetone liegt mit Werten zwischen 2,6 N/mm² und 2,7 N/mm² bzw. 2,2 N/mm² und 3,7 N/mm² in dem für Betone mit den in Abschnitt 7.3.1 dargelegten Druckfestigkeiten zu erwartenden Bereich.

7.3.3 Elastizitätsmodul

Gemäß der sog. Nachrechnungsrichtlinie des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Abteilung Straßenbau) kann der mechanische Kennwert „Elastizitätsmodul“ eines Bestandsbetons anhand der Festlegungen im DIN Fachbericht 102 („Betonbrücken“) aus dem Jahre 2009 auf der Basis der charakteristischen Betondruckfestigkeit f_{ck} bestimmt werden.

Für einen Beton der Festigkeitsklasse C 50/60 bzw. für die dafür maßgebende charakteristische Druckfestigkeit sind im DIN Fachbericht 102 folgende Werte des Elastizitätsmoduls angegeben:

Elastizitätsmodul

Tangentenmodul	E_{c0m} :	36.800 N/mm ²
Sekantenmodul	E_{cm} :	34.300 N/mm ²

Für einen Beton der Festigkeitsklasse C 55/67 nennt der DIN Fachbericht 102 keine Werte des Elastizitätsmoduls.

Die Werte gelten für einen unter Normalbedingungen nachbehandelten und vorwiegend aus quarzischen Gesteinskörnungen im Sieblinienbereich 3 (A/B) hergestellten Beton, der im Alter den Beton von 28 Tagen geprüft wird.

Der Sekantenmodul wird i. d. R. als sogenannter statischer E-Modul des geprüften Betons definiert. Untersuchungen und Erfahrungen zeigen, dass der in Druckversuchen ebenfalls ermittel-

bare Tangentenmodul – was die Höhe der Werte betrifft – annähernd dem sog. dynamischen Elastizitätsmodul, ermittelt anhand schallgebender Verfahren, gleichgesetzt werden kann.

Wie zu erkennen, liegen die Mittelwerte der aktuell vorgefundenen Prüfwerte des dynamischen Elastizitätsmoduls in Höhe von ca. 36.500 N/mm² für den Ortbeton und 36.900 N/mm² für den Fertigteillbeton (siehe Tabelle 3) in derselben Größenordnung wie der aus der obigen Herleitung zu erwartende Wert des Tangentenmoduls in Höhe von 36.800 N/mm² für einen Beton der Festigkeitsklasse C 50/60. Die Prüfwerte sind damit verlässlich.

7.3.4 Fazit

Die Materialkennwerte des Betons der Stahlbetonbauteile der Fassaden liegen im zu erwartenden Bereich. Die Werte lassen auf einen festen und dauerhaften Beton schließen.

Es liegt ein Beton vor, auf den im Zuge einer Instandsetzung Materialien (z. B. Reparaturbetone) aufgetragen werden können. Die Reparaturmaterialien müssen auf die Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Bestandsbetons abgestimmt werden.

7.4 Korrosionsschutz der Bewehrung in bislang oberflächlich nicht geschädigten Bereichen (Jahr 2018)

Da mit einer korrosionsschutzaufhebenden Wirkung von Chloriden, z. B. aus Tausalzen, bei den hier zu betrachtenden Fassaden nicht gerechnet werden muss, ist die Karbonatisierung des Betons der entscheidende Parameter für den Korrosionsschutz der Bewehrung.

Eine Gegenüberstellung der ermittelten Häufigkeitsverteilungen der Werte der Karbonisierungstiefe des Betons und der Betondeckung der Bewehrung wurde in den Abbildungen A3a bis A3f auf den Anlagenseiten 30 bis 32 vorgenommen.

Die Abbildungen lassen erkennen, dass für das untersuchte Gebäude die Karbonatisierung derzeit einen gewissen Teil der randnahen Bewehrung erreicht bzw. überschritten hat.

Mit Hilfe einer statistischen Auswertung der gewonnenen Messdaten wurde die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens depassivierter, d. h. nicht mehr korrosionsgeschützter Bewehrung rechnerisch ermittelt. Die ermittelten Werte dieser sogenannten Depassivierungswahrscheinlichkeit der Bewehrung sind in der Spalte 2 der Tabelle 5 wiedergegeben.

Auf die in den Spalten 3 und 4 der Tabelle 5 genannten, für einen zukünftigen Zeitpunkt prognostizierten Werte, wird in Abschnitt 9.1.2 eingegangen.

Tabelle 5: Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen depassivierter Bewehrung
(Depassivierungswahrscheinlichkeit) [%]

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
Bauteil / Orientierung der Fassade	Depassivierungswahrscheinlichkeit [%]		
	derzeitiger Zustand	Prognostizierter Zustand in 30 Jahren	Zunahme um
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	1,0	1,5	+ 0,5
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	9,7	13,3	+ 3,6
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	0,9	1,2	+ 0,3
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	3,1	4,3	+ 1,2
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	8,4	11,6	+ 3,2
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	7,2	10,4	+ 3,2

Die Analysen zeigen, dass an allen Fassaden der Stadthalle derzeit nur ein vergleichsweise geringer Anteil der oberflächennahen Bewehrung depassiviert ist. Die Depassivierungswahrscheinlichkeiten liegen zwischen 0,9 % und 9,7 % (Tabelle 5, Spalte 2).

In oberflächlich nicht geschädigten Bereichen der Ortbetonfassaden und der Fertigteilfassaden mit ebener Oberfläche ist die Bewehrung weitestgehend vor Korrosion geschützt ist.

Bei den Fertigteilen mit künstlerischer bzw. reliefartiger Gestaltung der Oberflächen ist die Bewehrung in den reliefartig vorstehenden Querschnittsteilen vor Korrosion geschützt. In den zurückversetzt liegenden Querschnittsteile ist die Bewehrung jedoch nicht mehr vor Korrosion geschützt. Der Querschnitt ist dort vollständig karbonatisiert (vgl. Untersuchungsstellen U8 und U9 in Tabelle A1a). Trotzdem liegen dort praktisch keine korrosionsbedingten Schäden vor.

8 Prognose der Entstehung bzw. Fortentwicklung betonbedingter Schäden

Bei einer ausschließlichen Betrachtung des Betons ist Folgendes festzustellen:

- Hinweise auf schädigende chemische Reaktionen in den Bauteilen liegen nicht vor. Eine diesbezügliche Schädigung ist bei ausschließlich witterungsbedingten Beanspruchungen daher auch in Zukunft nicht zu erwarten.
- Das Schwinden der Bauteile ist weitestgehend abgeschlossen, so dass auch hieraus nicht mit Eigen- und Zwangspannungen bzw. weiteren Rissbildungen zu rechnen ist. Entsprechendes gilt auch für Risse infolge von Temperatureinwirkungen auf die Bauteile. Risse als Folge von Eigen- und Zwangsspannungen haben sich bereits gebildet und dazu geführt, dass diese Spannungen abgebaut wurden und zukünftig nicht oder nicht mehr in kritischer Höhe entstehen können. Derartige Risse wirken quasi als „selbstgeschaffene“ Fugen. Sie dürfen daher im Zuge der Instandsetzung nicht kraftschlüssig gefüllt oder überarbeitet werden.
- Sofern sich auch zukünftig keine kritischen Wassersättigungsgrade in den Bauteilen einstellen (Sättigungsgrade um 80 % und höher), ist auch zukünftig nicht mit Frostschädigungen zu rechnen.

Zusammenfassend ist somit festzustellen, dass der Beton der Fassaden auch nach nunmehr ca. 47-jähriger Standzeit keine Entfestigungen, Zermürbungen oder Abwitterungen aufweist, die auf eine zu geringe Dauerhaftigkeit des Betons gegenüber den vorhandenen Einwirkungen schließen ließen. Da sich die Exposition der Bauteile zukünftig nicht drastisch ändern wird, besteht kein Grund, von zukünftigen Dauerhaftigkeitsproblemen des Betons auszugehen.

9 Prognose der Entstehung bzw. Fortentwicklung stahlkorrosionsbedingter Schäden

Die Korrosion von Bewehrung erfordert das gleichzeitige Vorliegen der drei Randbedingungen

- depassivierte Bewehrung (d. h. in Bezug auf die Fassaden: karbonatisierter Beton an der Bewehrung)
- ausreichendes Sauerstoffangebot in der Tiefenlage der Bewehrung
- ausreichendes Feuchtigkeitsangebot in der Tiefenlage der Bewehrung.

Zur Prognose der Fortentwicklung der Karbonatisierung des Betons stehen allgemein anerkannte Stoffgesetze zur Verfügung, die anhand von Messungen am Bauwerk für verschiedene Fassadenbereiche kalibriert werden können; dies geschieht im folgenden Abschnitt 9.1. Die Prognose der Fortentwicklung der Karbonatisierung des Betons erlaubt eine Prognose der karbonatisierungsbedingten Depassivierung der Bewehrung.

Für eine Prognose der Schadensentwicklung bedarf es darüber hinausgehender Auswertungen. Es muss untersucht und bewertet werden, inwieweit in der Betondeckungsschicht der Bewehrung die weiteren für eine nennenswerte Korrosion der Bewehrung notwendigen Randbedingungen (Sauerstoff und Feuchtigkeit) vorliegen. Hierauf wird in Abschnitt 9.2 ausführlich eingegangen.

Welches Schadensausmaß hieraus im ungünstigsten Fall entstehen könnte, wird in Abschnitt 9.3 abgeschätzt.

9.1 Schritt 1: Prognose der Depassivierung der Bewehrung

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Prognose der Fortentwicklung der Karbonatisierung des Betons bzw. der durch sie hervorgerufenen Depassivierung der Bewehrung, welche eine der drei Voraussetzungen für eine zukünftige Korrosion von Bewehrung und dadurch hervorgerufener Schäden darstellt.

9.1.1 Allgemeines

Die zeitliche Entwicklung der Karbonatisierung von Beton kann vereinfacht anhand der nachfolgend genannten mathematischen Beziehung dargestellt werden:

$$c = A \cdot \sqrt{t}$$

Darin bedeuten:

- c: Karbonatisierungstiefe
- A: Konstante, welche die spezifischen örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt. Maßgebend für diesen Wert sind insbesondere die Eigenschaften des Betons, die örtlichen klimatischen Randbedingungen, die Art und Intensität der Bewitterung der Bauteilflächen.
- t: Zeit

Anzumerken ist, dass bei Anwendung dieser Beziehung die zukünftige zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe eher als zu schnell abgeschätzt wird. Die nachfolgend genannten Ergebnisse der Prognose des Korrosionsschutzes der Bewehrung liegen daher auf der „sicheren Seite“.

Die Konstante A lässt sich aus der zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessenen Karbonatisierungstiefe und dem Alter des Bauwerks zum Messzeitpunkt ermitteln.

Eine grafische Darstellung der o. g. Beziehung ist jeweils im linken Teil der Abbildungen A4a bis A4f der Anlagenseiten 33 bis 38 wiedergegeben:

Zusätzlich ist in diesen Bildern die Summenhäufigkeit der in den zugehörigen Prüfbereichen ermittelten Betondeckung der Bewehrung aufgetragen (rechter Teil der Bilder).

Die zu einem bestimmten Zeitpunkt an Bauteilen festzustellende Karbonatisierungstiefe ist Streuungen unterworfen. Entsprechend decken auch die für die festgestellten Kleinst-, Größt- und Mittelwerte aufgetragenen Kurven der abgeschätzten zeitlichen Entwicklung der Karbonatisierungstiefe eine mehr oder weniger große Bandbreite an Werten ab.

Bei den im linken Teil der Bilder auf der gestrichelten Vertikalachse liegenden Kurvenpunkten handelt es sich jeweils um die bei den Ortsterminen im Februar 2018 ermittelten Werte der Karbonatisierungstiefe des Betons (Kleinstwert, Größtwert, Mittelwert).

9.1.2 Depassivierungswahrscheinlichkeit

Die anhand der genannten Grafiken geschilderten Zusammenhänge können mit Hilfe stochastischer Verfahren quantifiziert werden, indem sog. Depassivierungswahrscheinlichkeiten ermittelt werden.

Die für den aktuellen Zeitpunkt (2018) errechneten Depassivierungswahrscheinlichkeiten sind in Tabelle 4, Spalte 2 (Abschnitt 7.4) wiedergegeben.

Die für einen Zeitpunkt in 30 Jahren ermittelten Werte sind ebenfalls in Tabelle 4, jedoch in den Spalten 3 und 4 wiedergegeben.

9.1.3 Fazit

Die Analysen zeigen, dass an allen Betonfassaden bzw. Fassadenbereichen der Stadthalle in den nächsten 30 Jahren mit keiner großen Zunahme der Depassivierungswahrscheinlichkeiten zu rechnen ist. Die Zunahmen betragen zwischen von 0,3 % und 3,6 %.

Veranschaulicht werden diese Sachverhalte in den Abbildungen A4a bis A4f (Anlagenseiten 33 bis 38). Der relativ „flache“ Verlauf der Kurven der zeitlichen Entwicklung der Karbonatisierungstiefe (linker Teil der Bilder) zeigt, dass in den kommenden Jahren i. d. R. nur noch mit einer geringen Zunahme der Karbonatisierungstiefe zu rechnen ist. Der Mittelwert der Karbonatisierungstiefe wird sich in den kommenden 30 Jahren nur um wenige Millimeter erhöhen. Gleichzeitig liegt im Bereich der zu erwartenden Zunahme der Karbonatisierungstiefen in der Regel ein sehr „steiler“ Verlauf der Summenhäufigkeitskurven der ermittelten Betondeckungen (rechter Teil der Bilder) vor, was bedeutet, dass zukünftig nur ein geringer weiterer Teil der Bewehrung depassiviert werden wird.

9.2 Schritt 2: Bewerten des Vorliegens der weiteren für eine Korrosion der Bewehrung notwendigen Randbedingungen

Neben einem depassivierten Zustand bedarf es weiterer Randbedingungen, damit eine Korrosion der Bewehrung stattfindet. Die Randbedingungen sind

- ein ausreichend hoher Feuchtegehalt des an der Bewehrung anliegenden Betons
- ein ausreichendes Sauerstoffangebot am Bewehrungsstahl.

Feuchtigkeit

Bewehrungskorrosion setzt einen relativen Feuchtegehalt im Beton zwischen etwa 85 % und 99 % voraus. Dieser Feuchtegehalt wird häufig nicht erreicht. Grund hierfür ist, dass das Niederschlagswasser, das auf die Bauteiloberfläche trifft oder über sie abläuft, nicht grundsätzlich bis zur Bewehrung vorzudringen vermag. Dies wiederum ist darin begründet, dass der Beton in Abhängigkeit von seiner Gefüge- und Porenstruktur sowie der Dicke der Betondeckungsschicht dem Eindringen des Wassers einen entsprechend hohen Widerstand entgegensetzt. Die übliche Dauer von Schlagregenbeanspruchungen reicht daher häufig nicht aus, dass Wasser weit in den Bauteilquerschnitt hinein vordringen kann. Die Betonoberfläche trocknet nach einem Regen ab und das eingedrungene Wasser kann wieder entweichen. Die Betondeckungsschicht trocknet.

Sollten kritische Feuchtegehalte des Betons an der Bewehrung nicht ausgeschlossen werden können, so kann berücksichtigt werden, dass für die Korrosionsgeschwindigkeit die Dauer des Vorliegens kritischer Feuchtegehalte und die Temperatur des Bauteils maßgebende Faktoren darstellen.

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass die in unseren Breiten zu erwartenden relativen Luftfeuchtigkeiten (im Mittel um 80 % r. F.) alleine keine nennenswerte Korrosion der Bewehrung hervorrufen. Es bedarf der Anreicherung und des Vordringens von flüssigem Wasser im bzw. in den Bauteilquerschnitt, also einer Beanspruchung des Bauteils mit Niederschlag oder Kondensat, um eine nennenswerte Korrosion der Bewehrung zu bewirken.

Sauerstoff

Das Vordringen von Sauerstoff bis zur Bewehrung wird vom Wassergehalt des Betons beeinflusst. Wassergesättigter Beton lässt keinen Sauerstofftransport von der belüfteten Bauteiloberfläche zum Bewehrungsstahl zu. Demgegenüber weist trockener Beton eine große Durchlässigkeit für Sauerstoff auf. Auch an Fassaden ist daher nicht immer mit einem für Bewehrungskorrosion ausreichenden Sauerstoffangebot zu rechnen.

Bewehrungskorrosion kann daher nur bei hohen, nicht aber bei dauerhaft sehr hohen Wassergehalten erfolgen.

9.3 Schritt 3: Abschätzen der Fortentwicklung der Schäden (Ausmaß zukünftiger Schäden)

Die Karbonatisierungstiefe des Betons ist im vorliegenden Fall (Bauwerksalter nahezu 50 Jahre) mit fassadenbezogenen Mittelwerten bis ca. 13 mm gering. In großen Bereichen der Gesamtfläche liegt sie unter 10 mm.

Es muss andererseits davon ausgegangen werden, dass diese Bauteilrandschicht dort, wo grundsätzlich längere Zeit Schlagregen auftreffen oder längere Zeit Wasser abfließen kann, in der Vergangenheit durchfeuchtet wurde, wenn das Regenereignis tatsächlich lange anhielt. Anschließend konnte die relativ dünne Zone wieder rasch trocknen. In der Zeit bis zur ausreichenden Trocknung waren in der karbonatisierten Randschicht die neben dem Verlust des Korrosionsschutzes für eine Korrosion der Bewehrung erforderlichen Randbedingungen gegeben. Dieser Zustand liegt nun bereits seit geraumer Zeit vor. Korrosion bzw. Schäden in Form von Abspaltungen der Betondeckungsschicht sind somit mittlerweile zum großen Teil eingetreten bzw. erkennbar.

Nicht alle Fassadenbereiche der Stadthalle werden aber intensiv und häufig mit Regen beaufschlagt. Ein nur seltenes Auftreffen von Schlagregen oder Abfließen von Wasser ist an den zurück versetzten Teilen der künstlerisch gestalteten Fassade und an den Nord- und Ostfassaden zu erwarten. Entsprechend reduziert ist dort die Dauer einer nennenswerten Durchfeuchtung des Betons in der Tiefenlage der Bewehrung bzw. die Dauer einer möglichen nennenswerten Korrosion der Bewehrung. Dies erklärt das Ausbleiben von Schäden an den zurück versetzten Teilen der künstlerisch gestalteten Fassade und das i. d. R. sehr geringe Schadensausmaß an der Nord- und an der Ostfassade.

Dieser qualitativ beschriebene Sachverhalt manifestiert sich in den ermittelten Zahlen: Bei einer derzeitigen Depassivierungswahrscheinlichkeit (ermittelt wurden Werte unter 10 %) liegen nur an maximal 1 % der Betonflächen Schäden vor.

In den kommenden 30 Jahren wird die Depassivierungswahrscheinlichkeit nur um maximal etwa 3,5 %, in großen Fassadenbereichen weniger, zunehmen. Angesichts der vorstehenden Relation zwischen Depassivierungswahrscheinlichkeit und Schäden wird also insgesamt nur ein sehr geringer Schadensfortschritt zu verzeichnen sein (weniger als 1 %).

10 Grundsätze der Instandhaltung

Das vorliegende Kapitel 10 dient der Herleitung und Begründung der in Kapitel 11 für die Betonfassaden der Stadthalle Lahnstein vorgeschlagenen Art und Weise der Instandsetzung bzw. Instandhaltung.

10.1 Allgemeines

Bei der Entscheidung über den weiteren Umgang mit den Sichtbetonfassaden müssen neben technischen auch baugeschichtliche, architektonische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden.

Der vorliegende Bericht hatte die Aufgabe, zu diesem Entscheidungsprozess beizutragen, indem folgende grundlegende Fragen beantwortet werden:

- Welche Instandhaltungsmaßnahmen stehen grundsätzlich zur Verfügung?
- Welche dieser Instandhaltungsmaßnahmen sind aus technischer Sicht mit den vorliegenden Sichtbetonfassaden verträglich?
- Welche der technisch möglichen Instandhaltungsmaßnahmen sind mit den hier zu beachtenden architektonischen bzw. denkmalpflegerischen Aspekten verträglich?
- Welche Instandhaltungsmaßnahmen sind letztendlich zu empfehlen?

Nachfolgend werden diese Fragen auf der Basis der in den vorstehenden Kapiteln dargelegten Ergebnisse beantwortet.

Hierbei werden die einschlägigen technisch-wissenschaftlichen Kenntnisse zur Dauerhaftigkeit von Beton und zur Korrosion von Stahl in Beton berücksichtigt.

10.2 Einschlägige Richtlinien

Der für Standardfälle der Betoninstandsetzung aufbereitete Stand der Technik ist in der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen („Instandsetzungs-Richtlinie“) Ausgabe Oktober 2001 mit den zugehörigen Berichtigungen [3.1] (nachfolgend kurz: DAfStb RL-SIB), dokumentiert.

Der sachkundige Ingenieur ist jedoch gehalten, bereits absehbare Änderungen dieser Richtlinie zu berücksichtigen. So werden im Rahmen dieses Gutachtens auch Aspekte und Ausführungen berücksichtigt, die in der derzeit im „Gelbdruck“ veröffentlichten sog. „Instandhaltungs-

Richtlinie“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Fassung Juni 2016 [3.2] (nachfolgend kurz: DAfStb IH-RL ENTWURF) enthalten sind. Diese Richtlinie sollte zunächst im März 2017 in der endgültigen Fassung (sog. Weißdruck) erscheinen. Aufgrund eines nicht zustande gekommenen Konsenses der an der Erstellung dieser Nachfolge-Richtlinie beteiligten interessierten Kreise ist die Arbeit an der neuen Richtlinie allerdings ins Stocken geraten. Wann ein Weißdruck der Instandhaltungs-Richtlinie erscheint, ist derzeit nicht bekannt. Weitgehend Einverständnis unter den Beteiligten besteht in Bezug auf die in der Richtlinie aufgenommenen technischen Aspekte. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die nachfolgend aufgegriffenen technischen Aspekte und Ausführungen der DAfStb IH-RL ENTWURF in den wesentlichen Zügen in der zukünftigen Instandhaltungs-Richtlinie wiederzufinden sein werden.

Von besonderer Bedeutung ist, dass in der neuen Richtlinie, ergänzend zum Schutz und zur Instandsetzung, die Aspekte Wartung, Inspektion und Verbesserung, in Anlehnung an DIN 31051:2012-06 „Grundlagen der Instandhaltung“ [3.3] einbezogen sein werden, da diese wesentlich für den Erfolg einer Schutz- und Instandsetzungsmaßnahme über die geplante Nutzungsdauer eines Bauwerks hinweg sind.

10.2.1 Begriff der Instandhaltung

Die Instandhaltung soll sicherstellen, dass der funktionsfähige Zustand des Bauwerks über die geplante Nutzungsdauer erhalten bleibt oder bei Ausfall wiederhergestellt wird. Die DIN 31051 [3.3], an die sich die zukünftige Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton diesbezüglich anlehnt, gliedert die Instandhaltung in die vier Elemente (Komponenten):

- Wartung,
- Inspektion,
- Instandsetzung,
- Verbesserung.

In die DAfStb IH-RL ENTWURF [3.2] wurden diese Begriffe übernommen, wobei deren Definition etwas modifiziert wurde. Da die neue Richtlinie noch nicht in der endgültigen Form vorliegt, werden nachfolgend vorrangig die Definitionen gemäß DIN 31051 [3.3] berücksichtigt.

Als *Wartung* werden Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates des Bauwerks bzw. Bauteils bezeichnet. Unter Abnutzungsvorrat wird dabei – gemäß der Definition in der DIN 31051 – der Vorrat der möglichen Funktionserfüllung unter festgelegten Bedingungen verstanden, der einer Betrachtungseinheit (z. B. eines Bauwerks, Bauteils) aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt. Der vorhandene Abnutzungsvorrat ist der Abstand zwischen Ist-Zustand und Mindest-Sollzustand (Abnutzungsgrenze), den ein Bauteil hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit aufgrund der Herstellung, Wartung, Instandsetzung oder Verbesserung aufweist. Wartungsarbeiten dienen

lediglich der Aufrechterhaltung der Funktionalität eines Bauteils und beinhalten nach [3.2] keine Instandsetzungs- oder Verbesserungsmaßnahmen.

Unter *Inspektion* werden Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes einer Einheit (z. B. eines Bauwerks, Bauteils) einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung verstanden.

Unter *Instandsetzung* wird eine physikalische Maßnahme verstanden, die ausgeführt wird, um die Funktion einer fehlerhaften Einheit (z. B. eines Bauwerks, Bauteils) wieder herzustellen. Instandsetzung bedeutet somit das Wiederherstellen des Sollzustandes oder der vollen Gebrauchsfähigkeit eines Bauwerks oder Bauteils in einer Ausführung, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht, ohne verbessernden Charakter.

Unter *Verbesserung* werden die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit einer Einheit (z. B. eines Bauwerks, Bauteils) verstanden ohne ihre ursprüngliche Funktion zu ändern.

Letztendlich ist das Ziel der Instandhaltung also, den beim Neubau eines Gebäudes geschaffenen, durch Abnutzung sich aber mehr oder weniger rasch reduzierenden Abnutzungsvorrat eines Bauwerks/Bauteils durch eine sachgerechte Inspektion und Wartung sowie durch Instandsetzungen (ggf. mit zusätzlichen Verbesserungen) möglichst lange über der Abnutzungsgrenze (Mindest-Soll-Zustand) zu halten.

Der Eigentümer/Verfügungsberichtigte eines Gebäudes hat einen sog. Sachkundigen Planer damit zu beauftragen, für alle zu betrachtenden Bauteile einen sog. Instandhaltungsplan zu erstellen, in dem beschrieben wird, auf welche Weise die Einhaltung des Mindest-Soll-Zustandes des Gebäudes während der Restnutzungsdauer sichergestellt wird. Bei der Erstellung des Instandhaltungsplans sind die Aspekte Wartung, planmäßige Inspektion und, so weit erforderlich, ein- oder mehrfache Instandsetzung (gegebenenfalls einschließlich Verbesserung) zu berücksichtigen. Neben den zu überprüfenden Kenngrößen/Eigenschaften/Zuständen, sind die Intervalle und der Umfang für Wartung, Inspektion und planmäßig vorgesehene Instandsetzung festzulegen [3.2].

10.2.2 Instandsetzung

Die Instandsetzung umfasst alle Maßnahmen, die dazu führen, dass eine Unterschreitung des Mindest-Soll-Zustandes während der geplanten Restnutzungsdauer mit ausreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. In besonderen Fällen können zum Erreichen der geplanten Restnutzungsdauer mehrfache Instandsetzungen im Zeitablauf erforderlich sein; siehe DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2]. Dies bedeutet, dass Instandsetzungsmaßnahmen

dann erforderlich sind, wenn entweder der Instandhaltungsplan solche Maßnahmen vorsieht oder wenn die im Instandhaltungsplan vorgesehene Nutzungsdauer ansonsten nicht erreicht werden kann.

Bei depassivierter Bewehrung sind Instandsetzungsmaßnahmen nur dann erforderlich, wenn Korrosion vorhanden oder während der Restnutzungsdauer zu erwarten ist. Beispielsweise kann bei Innenbauteilen die Bewehrung depassiviert sein, ein Korrosionsschaden ist jedoch aufgrund der trockenen Umgebung nicht zu erwarten; siehe DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2].

Die Instandsetzung in Bezug auf die hier maßgebende Beseitigung bzw. Vermeidung einer Korrosion der Bewehrung kann, in Übereinstimmung mit DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2], entsprechend der nachfolgend genannten Prinzipien bzw. mit den den jeweiligen Prinzipien nachgeschalteten Verfahren erfolgen. Dabei wird in der Richtlinie darauf hingewiesen, dass, um mehrere Instandsetzungsziele zu erreichen, die Realisierung verschiedener Prinzipien erforderlich sein kann. Mindestens ein Verfahren muss durchgängig angewendet werden. Ferner wird darauf hingewiesen, dass durch die Instandsetzungsmaßnahme in den instandgesetzten Bauteilen keine bauphysikalisch oder chemisch ungünstigen Verhältnisse geschaffen werden dürfen, die Folgeschäden verursachen können.

Die in der nachfolgenden Tabelle 8 genannten Prinzipien und Verfahren sind in DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2] für den Schutz vor oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion beschrieben (siehe Tabelle 5.2 in DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2].

Tabelle 8: Prinzipien und Verfahren zum Schutz vor oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion gemäß DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2]

Prinzipien	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen
7. Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität der Bewehrung	7.1 Erhöhung der Betondeckung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton
	7.2 Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton
	7.4 Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion
	7.5 Elektrochemische Chloridextraktion
	7.6 Sicherstellen und Wiederherstellung des Korrosionsschutzes durch das Füllen von Rissen und Hohlstellen ^a
	7.7 Erhalt der Passivität durch Beschichtung ^a
	7.8 Örtliche Abdeckung von Rissen (Bandagen) ^a
8. Erhöhung des elektrolytischen Widerstandes	8.1 Hydrophobierung
	8.3 Beschichtung
10. Kathodischer Schutz	10.1 Anlegen eines elektrischen Potentials

^a gegenüber DIN EN 1504-9 ergänztes Verfahren; nur zum Erhalt der Passivität

Die Angaben in Tabelle 5.2 der DAfStb IH-RL (ENTWURF 2016) [3.2] bzw. obiger Tabelle 8 basieren auf Angaben in DIN EN 1504-9 Tabelle 5.2. DIN EN 1504-9 enthält jedoch weitere Prinzipien und Verfahren, was die nicht durchgängige Nummerierung erklärt. Vom DAfStb wurden andererseits nur Prinzipien und Verfahren übernommen, mit denen in Deutschland entsprechende Erfahrungen vorliegen. Andererseits wurden gegenüber DIN EN 1504-9 einige Verfahren ergänzt, siehe Fußnote a.

Die DIN EN 1504-9 ist nicht harmonisiert. Trotzdem erscheint es wichtig, an dieser Stelle festzuhalten, dass DIN EN 1504-9 darauf hinweist, dass, wenn ein bestimmtes Schutz- oder Instandsetzungsverfahren oder die Anwendung eines Verfahrens auf eine neuartige Situation in der Norm (DIN EN 1504-9) nicht aufgeführt wird, hieraus nicht gefolgert werden darf, dass ein derartiges Verfahren oder eine derartige Anwendung zwingend ungeeignet ist. Die Anwendung der in der Norm genannten Verfahren auf Situationen, die in der Norm nicht vorgesehen sind oder der Einsatz von Verfahren, für die noch keine langjährigen positiven Erfahrungen vorliegen und die in der Norm nicht festgelegt sind, kann unter den entsprechenden Umständen erfolgreich sein; siehe hierzu Abschnitt 6.2.4 in [3.4].

10.2.3 Inspektion und Wartung

Allgemeines

Die *Inspektion* beinhaltet alle Maßnahmen zur Erfassung des Ist-Zustandes und zur frühzeitigen Erkennung von Veränderungen bzw. Abweichungen zum erwarteten Zustand eines Bauwerkes bzw. Bauteils einschließlich der Ursachenfeststellung und der Beurteilung der Relevanz für die weitere Nutzungsdauer. Die Inspektionen sind im Auftrag des Eigentümers / Verfügungsberechtigten in Verantwortung eines Sachkundigen Planers (insbesondere bzgl. der Positionierung und Anzahl von Untersuchungsstellen) durchzuführen und zu bewerten. Inspektionen sind in den im Instandhaltungsplan definierten Intervallen durchzuführen. Diesbezügliche Festlegungen können z. B. in Anlehnung an Regelungen für Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen getroffen werden.

Die *Wartung* dient, als weitere Komponente der Instandhaltung, der Aufrechterhaltung der Funktionalität des Bauteils und ggf. des Instandsetzungssystems. Nach der Feststellung von Beschädigungen muss der Sachkundige Planer durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten eingeschaltet werden.

Die Wartung ist entsprechend des Instandhaltungsplans regelmäßig durchzuführen. Die Zustandserfassung im Rahmen der Wartung erfolgt vorwiegend visuell. Funktionseinschränkungen, die bei der Zustandserfassung festgestellt werden, werden unmittelbar behoben. Bauteile, für die eine regelmäßige Wartung zur Aufrechterhaltung ihrer Funktionalität erforderlich ist, sind so zu planen und auszuführen, dass sie während der Nutzung leicht zugänglich sind.

Alle durchgeführten Wartungsarbeiten sind zu dokumentieren.

Festlegungen zu Inspektions- und Wartungsintervallen bei allgemeinen Hochbauten existieren bislang nicht. Zur Orientierung kann jedoch angeführt werden, dass bei Beschichtungen, welche für den Erhalt der Dauerhaftigkeit unbedingt erforderlich sind (z. B. Beschichtungen von Parkdecks mit reduzierter Betondeckung und abgestufter Expositionsklasse) Wartungsabstände von 1 bis 2 Jahren vorzusehen sind. Ferner kann zur Orientierung auf DIN 1076:1999-11 („Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Brücken – Überwachung und Prüfung“) verwiesen werden, wo ebenfalls Inspektionsintervalle angegeben sind.

Gewonnene Zwischenergebnisse können es erlauben bzw. notwendig machen, die Inspektionsintervalle zu modifizieren.

Besonderheiten beim Einsatz von Oberflächenschutzmaßnahmen

In Bezug auf Oberflächenschutzmaßnahmen (Hydrophobierungen, Beschichtungen), die den Prinzipien „7. Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität“ sowie „8. Erhöhung des elektrischen Widerstandes“ dienen und in Standardfällen der Betoninstandsetzung häufig vorgenommen

werden, muss in Bezug auf die Komponenten „Inspektion“ und „Wartung“ auf Folgendes hingewiesen werden:

Der Wirksamkeitsgrad und die Wirksamkeitsdauer dieser Oberflächenschutzmaßnahmen hängt, neben der jeweils gewählten Zusammensetzung des Produktes, von weiteren Parametern ab. Bei Beschichtungen sind dies z. B. die Ausführungsqualität in Bezug auf die Vorbereitung des Untergrundes, die gleichmäßige Schichtdicke und die Fehlstellenfreiheit der Beschichtung. Bei Hydrophobierungen sind wesentliche Parameter die Konzentration und die erzielte Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels. Inwieweit und wie lange die planmäßige Funktion einer Schutzmaßnahme vorliegt, hängt somit wesentlich von der Wahl geeigneter Materialien, von der Ausführungsqualität der Arbeiten und von den Witterungsverhältnissen bei der Ausführung der Schutzmaßnahmen ab. Nicht immer können alle jeweils erforderlichen Randbedingungen in optimaler Weise kombiniert werden. Die Wirkung von Oberflächenschutzmaßnahmen kann daher unter ungünstigen Bedingungen bereits nach wenigen Jahren deutlich nachgelassen haben, bei optimalen Bedingungen aber auch noch nach 20 Jahren vorliegen.

Mängel der Schutzwirkung von Oberflächenschutzmaßnahmen können sich kontraproduktiv auswirken bzw. zu einer Beschleunigung des Alterungsprozesses des eigentlich zu schützenden Betons führen. Grund hierfür ist, dass es an Stellen mit stark reduzierter Schutzwirkung zu Feuchteanreicherungen des Bestandsbetons hinter der Beschichtung oder Hydrophobierung kommt. Dieser Effekt kann Frostschädigungen oder eine Beschleunigung der Korrosion der Bewehrung bewirken. Im Falle von Beschichtungen würden diese Alterungserscheinungen zunächst verdeckt bzw. im Verborgenen ablaufen und sich erst bei fortgeschrittener Schädigung an der Bauteiloberfläche bemerkbar machen.

Der Einsatz von Oberflächenschutzmaßnahmen bedeutet somit nicht, dass zukünftig keine Wartungsarbeiten und Instandsetzungen vorgenommen werden müssen oder dass auf regelmäßige Inspektionen verzichtet werden kann.

11 Objektspezifische Diskussion verschiedener Möglichkeiten der Instandhaltung

11.1 Mit den hier vorliegenden Fassadenbauteilen aus technischer Sicht verträgliche Instandsetzungsmaßnahmen

Die Untersuchung der Sichtbetonfassaden hat ergeben, dass ein gewisser Anteil der Bewehrung der Stahlbetonbauteile durch Karbonatisierung, d. h. durch eine Absenkung des pH-Wertes des Betons, in den depassivierten Zustand versetzt wurde. Von einer chloridinduzierten Depassivierung braucht im vorliegenden Fall nicht ausgegangen zu werden.

Betrachtet man die in der Instandsetzungs-Richtlinie vor diesem Hintergrund zur Verfügung stehenden Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen zum Erhalt bzw. zur Wiederherstellung der Passivität, siehe Tabelle 8, so ist Folgendes festzustellen:

Das Verschließen von Rissen und Hohlstellen oder das Abdecken von Rissen (Verfahren 7.6 und 7.8) stellen im vorliegenden Fall keine geeigneten Verfahren dar, um die Passivität zu erhalten oder wiederherzustellen. Dies ist darin begründet, dass der Verlust der Passivität ggf. großflächig und unabhängig von Rissen und Hohlstellen vorliegt.

Die Maßnahmen zur Wiederherstellung der Passivität (Verfahren 7.1 "Erhöhung der Betondeckung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton" und Verfahren 7.4 "Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion) aber auch das Verfahren 10.1 "Anlegen eines elektrischen Potentials" würden bedeuten, dass großflächig bzw. auf alle Fassadenoberflächen eine relativ dicke Beton- oder Mörtelschicht aufgetragen werden müsste. Aus technischer Sicht ist hierzu festzustellen, dass diese Verfahren vom Grundsatz her geeignet wären. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass durch den Auftrag von Beton oder Mörtel ein Verbundsystem geschaffen wird, das systeminhärenten Beanspruchungen – z. B. Zwangsspannungen als Folge des zu erwartenden Schwindens der Instandsetzungsbetone bzw. -mörtel oder als Folge von Temperaturwechseln – ausgesetzt ist. Deshalb und wegen nicht völlig auszuschließender Imperfektionen bei der Applikation birgt jedes Verbundsystem das Risiko des Verbundversagens in sich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass beim Aufbringen von Schichten, eine Inspektion und Wartung des eigentlichen Bestands- bzw. Konstruktionsbetons nicht mehr möglich ist. Die Schaffung von Verbundsystemen sollte daher so weit als möglich vermieden werden.

Damit verbleiben als technisch verträgliche Verfahren die Verfahren 7.2 "Ersatz von karbonatisiertem Beton" und 7.7 "Beschichten der Bauteilflächen", um die Passivität der Bewehrung wieder herzustellen bzw. zu erhalten, sowie das Prinzip 8 mit den Verfahren 8.1 "Hydrophobierung" und 8.3 "Beschichtung", um den elektrolytischen Widerstand des Betons zu erhöhen. Auch das Prinzip 10 "Kathodischer Korrosionsschutz" der Bewehrung wäre aus technischer Sicht für die Fassaden in Erwägung zu ziehen, wenn es ohne ganzflächigen Auftrag von Mörtel oder ande-

ren Beschichtungen ausgeführt wird, die das Risiko der Rissbildung und Ablösung in sich bergen; siehe vorstehenden Absatz.

11.2 Mit den Fassaden aus technischer sowie aus architektonischer und denkmalpflegerischer Sicht verträgliche Instandsetzungsmaßnahmen

Zunächst sei angeführt, dass die Anwendung der Verfahren 7.1, 7.4, 10.1 auch aus architektonischen Gründen für eine Anwendung an Sichtbetonfassaden ausscheiden. Der Sichtbeton ginge verloren. Die technischen Gründe, die gegen eine Anwendung dieser Verfahren an Fassaden sprechen (Schaffung von Schadensrisiken) wurden in Abschnitt 11.1 erläutert.

Nachfolgend wird der Frage nachgegangen, welche der in Abschnitt 11.1 zuletzt genannten, technisch verträglichen Instandsetzungsmaßnahmen auch aus architektonischer bzw. denkmalpflegerischer Sicht mit dem Gebäude verträglich sind.

Die als technisch verträglich bzw. zielführend bewerteten Betonaustauscharbeiten (Verfahren 7.2) können so gestaltet werden, dass sich die bearbeiteten Bereiche nicht nur technisch, sondern auch in Bezug auf das Erscheinungsbild gut und dauerhaft in den Bestand einfügen. Derartige Maßnahmen sind daher geeignet und mit dem Bauwerk in jeder Beziehung verträglich.

Auch eine Anwendung der Prinzipien 8. "Erhöhung des elektrolytischen Widerstandes" und 10. "Kathodischer Schutz" ist aus architektonischer bzw. denkmalpflegerischer Sicht möglich, wenn die darauf aufbauenden Verfahren bauwerksspezifisch ausgestaltet werden. Beim Prinzip 8. wäre das Verfahren 8.1 "Hydrophobierung" in Betracht zu ziehen. Beim Prinzip 10. wäre ggf. nicht das übliche Verfahren mit Fremdstrom einzusetzen, da es ebenfalls mit einer großflächigen Beschichtung verbunden wäre, sondern es müsste der Einsatz galvanischer Einzelanoden, sog. Opferanoden, in Erwägung gezogen werden, die in den Bestandsbeton eingebracht werden können und an der Oberfläche nicht sichtbar sind.

11.3 Zu empfehlende Instandsetzungsmaßnahmen

Wir empfehlen folgende Instandsetzungsarbeiten:

An bereits vorhandenen Schadstellen und an als potentiell erkannten Schadstellen wird die Alkalität um den Bewehrungsstahl wiederhergestellt, indem nach sachgerechtem Freilegen des Bewehrungsstahls ein neuer zementgebundener Beton unter Verwendung einer zementgebundener Haftbrücke eingebaut wird. Der Bewehrungsstahl wird ergänzend mit einer geeigneten zementgebundenen Korrosionsschutzbeschichtung versehen. Der Beton ist gemäß den Vorgaben in DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 zusammengesetzt. Seine technischen und seine das Erscheinungsbild prägenden Eigenschaften sind auf den Bestand abgestimmt.

Abseits vorhandener oder potentieller Schadstellen werden – abgesehen von einer substanzschonenden Reinigung – keine Maßnahmen ergriffen, da nach sachkundiger Bewertung davon ausgegangen werden kann, dass hier mittelfristig keine Schäden entstehen werden. Die sachkundige Bewertung erfolgt im Zuge der Instandsetzungsarbeiten auf der Basis der im Vorfeld vorgenommenen Schadensprognosen, siehe Kapitel 9,.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Schadensprognose, siehe Kapitel 9, kommen wir zu dem Schluss, dass die Verfahren 8.1 oder 8.3 zur Erhöhung des elektrischen Widerstandes im vorliegenden Fall nicht zur Anwendung kommen müssen, sofern das Verfahren 7.2 wie vorstehend beschrieben ausgeführt wird. Grund hierfür ist, dass depassivierte Bewehrung nur lokal begrenzt vorliegt, ihr Anteil zukünftig nur sehr wenig zunehmen wird und zudem nicht alle Bauwerksbereiche, in denen Anteile depassivierter Bewehrung vorliegen, ausreichend intensiv bzw. ausreichend lang durchfeuchtet werden. Aus denselben Gründen erübrigt sich im vorliegenden Fall auch der Einsatz galvanischer Anoden, als Verfahren zur Herstellung eines kathodischen Korrosionsschutzes (Verfahren 10.1).

Das Risiko für zukünftig auftretende Schäden ist insgesamt gering und liegt nur lokal vor. Es ist beherrschbar.

12 Bauwerksspezifische Ausgestaltung der Instandhaltung (Instandhaltungsplan)

12.1 Überblick

Im vorliegenden Fall – bereits gealtertes und geschädigtes Bauwerk – begann die Phase der kommenden Instandhaltung mit einer gründlichen Inspektion und Bewertung des Zustandes. Hierauf wird eine grundlegende Instandsetzung aufbauen; siehe Kapitel 1 bis 11.

Die nachfolgenden Ausführungen bilden den sog. Instandhaltungsplan, der gemäß [3.2] für Bauwerke zu erstellen ist.

Mit den nachfolgend im Einzelnen beschriebenen Instandsetzungsmaßnahmen (Abschnitt 12.2) werden die Fassaden in einen technisch besseren Zustand versetzt, bei dem zusätzlich aber auch die vom damaligen Architekten und vom damaligen Bauherrn gewünschte Art und Gestaltung der Fassaden erhalten bleibt. Durch die vorgeschlagene regelmäßige Inspektion und Wartung (Abschnitte 12.3 und 12.4) wird die zukünftige Alterung der Fassaden („Abnutzung“ im Sprachgebrauch gemäß [3.2]) minimiert. Die Kombination der beschriebenen Maßnahmen führt dazu, dass der sog. Ist-Zustand der Fassaden möglichst lange den sog. Mindest-Sollzustand der Fassaden nicht unterschreitet. Letzterer ergibt sich aus den Anforderungen an die Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Verkehrssicherheit und den Brandschutz; siehe Kapitel 10.

In [3.2] wird darauf hingewiesen, dass es in besonderen Fällen erforderlich sein kann, zur Erreichung geplanter Restnutzungsdauern mehrfache Instandsetzungen im Zeitablauf vorzunehmen.

Die Stadthalle Lahnstein stellt u. E. nicht zuletzt deswegen einen besonderen Fall dar, weil sie die im Hochbau üblicherweise geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren nahezu erreicht hat und architektonisch bedeutsam ist. Die Stadthalle steht unter Denkmalschutz. Die Notwendigkeit zukünftiger Instandsetzungen, stellt also ggf. keinen Widerspruch zu den anerkannten Regeln der Technik dar. Aus ihr darf ggf. nicht auf einen Mangel der grundlegenden Instandsetzung bzw. der ihr zugrunde liegenden Konzeption geschlossen werden.

12.2 Instandsetzung

Die Ziele der Instandsetzung müssen im vorliegenden Fall sein,

- die vorhandenen Schäden zu beseitigen,
- die Dauerhaftigkeit der Fassaden wiederherzustellen und zu sichern,
- eine wirtschaftliche Inspektion und Wartung der Fassaden zu ermöglichen,
- die ursprüngliche und vom Architekten beabsichtigte Materialität der Bauteile und Bauteiloberflächen zu erhalten.

Die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen stellen eine grundlegende Instandsetzung dar, die eine neue Ausgangsbasis schafft. Nachfolgende Instandsetzungen können auf gleiche Art und Weise wie die grundlegende Instandsetzung erfolgen, werden bei jeweils rechtzeitiger Vornahme aber einen deutlich geringeren Aufwand erfordern. Aufwändige Vorbereitungen sind nicht mehr notwendig. Die nunmehr vorliegenden Kenntnisse zu den Eigenschaften der Fassaden können genutzt werden und erleichtern zukünftige Prognosen des Zustandes der Fassaden bzw. der Restnutzungsdauern. Die Zeiträume zwischen den Instandsetzungen werden nicht geringer sein als jene, nach denen beschichtete Flächen aufgrund der Alterung der Beschichtungsstoffe erneut ganzflächig überarbeitet werden müssen, um deren Schutzwirkung zu erhalten (um 5 bis 15 Jahre oder auch mehr).

Die Kombination der in den Abschnitten 12.2.1 bis 12.2.3 vorgeschlagenen Maßnahmen stellt eine technisch und wirtschaftlich begründete Lösung dar, die auch den Anforderungen der Architektur und des Denkmalschutzes genügt.

12.2.1 Beseitigen der vorhandenen Schäden sowie Wiederherstellen und Sichern der Dauerhaftigkeit der Fassaden

Den Arbeiten wird das Prinzip "Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität der Bewehrung" mit dem Verfahren 7.2 "Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton", siehe Instandhaltungs-Richtlinie [3.2], zugrunde gelegt, wobei – einschränkend bzw. abweichend zur Richtlinie – karbonatisierter Beton nur so weit entfernt wird, wie zukünftig kritische Feuchtegehalte bzw. eine ausreichend hohe elektrische Leitfähigkeit des Betons vorliegen, die eine nennenswerte Korrosion der Bewehrung ermöglichen würde. Entsprechende Festlegungen erfolgen baubegleitend durch die Fachbauleitung bzw. den dabei tätigen Sachkundigen Planer auf der Basis der bei den vorstehend beschriebenen Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse. Das Verfahren 7.2 gemäß Instandhaltungs-Richtlinie [3.2] entspricht der Grundsatzlösung R2 in der Instandsetzungs-Richtlinie [3.1]. Diese Vorgehensweise wird mit den Ergebnissen der vorgenommenen betontechnischen und dauerhaftigkeitsbezogenen Voruntersuchungen und den Ergebnissen der darauf aufbauenden Prognosen begründet.

Die Arbeiten erfolgen an allen augenscheinlich erkennbaren Schadstellen und an allen Stellen, an denen nach fachkundiger Bewertung ein hohes Risiko für zukünftige Schäden vorliegt. Die zu bearbeitenden Stellen werden so gestaltet, dass sie sich nicht nur technisch, sondern auch in Bezug auf das Erscheinungsbild gut in den Bestand einfügen. Dies geschieht durch den Einsatz abgestimmter Instandsetzungsbetone und eine geeignete Ausführung der Betonaustauscharbeiten.

Zum Verschließen der nach Wegnahme des geschädigten Betons reprofilerungsgerecht auszubereitenden und vorzubereitenden Betonausbruchstellen wird ein zementgebundener Reparaturbeton inklusive zementgebundener Haftbrücke eingesetzt. Das System ist in seinen techni-

schen und in seinen das Erscheinungsbild prägenden Eigenschaften auf den lokal vorliegenden Bestandsbeton abgestimmt. Dies erfordert eine Rezeptentwicklung unter betontechnologischen und dauerhaftigkeitsbezogenen Gesichtspunkten. Sowohl zur Reproduktion der technischen als auch der das Erscheinungsbild prägenden Eigenschaften sind bei der Herstellung des Betons Gesteinskörnungen einzusetzen, wie sie im Bestand vorliegen. Beton und Haftbrücke sind spezifischen Eignungsprüfungen zu unterziehen. Die an den Reparaturbeton mit Haftbrücke zu stellenden Anforderungen müssen nachweislich erfüllt werden. Der Beton muss in seiner Zusammensetzung DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 entsprechen.

In Ergänzung zur realkalisierenden Wirkung der zementbetonbasierenden Reprofilierungen im Bereich der bearbeiteten Stellen, werden die im Zuge der Arbeiten freigelegten Bewehrungsstäbe zusätzlich mit einer zementgebundenen Korrosionsschutzbeschichtung versehen.

Der Beton und die Haftbrücke werden in vorgefertigten Gebinden (Trocken- und Flüssigkomponente) auf die Baustelle geliefert und dort nur noch angemischt. Die Produktion des Betons muss besonderen Qualitätsanforderungen genügen.

Ganzflächige Oberflächenschutzmaßnahmen werden nicht vorgenommen. Sie sind nicht notwendig.

Es kann davon ausgegangen werden, dass nach Durchführung dieser Maßnahmen das Risiko für zukünftige Schäden gering ist.

12.2.2 Sicherstellung einer wirtschaftlichen Inspektion und Wartung der Fassaden

Der Verzicht auf ganzflächige Oberflächenschutzmaßnahmen ermöglicht eine einfache und sichere Inspektion und Wartung der Fassaden.

Die Bestandsoberflächen bleiben sichtbar, so dass alterungsbedingte Veränderung ggf. gut und damit frühzeitig erkennbar werden bzw. Wartungsarbeiten rechtzeitig eingeleitet werden können. Die Sichtbetonfassaden bleiben in einem „pflegeleichten“ Zustand. Dies dient letztendlich auch der Wirtschaftlichkeit der Bauunterhaltung.

12.2.3 Beschreibung der Instandsetzungsmaßnahmen

Alle nachfolgend beschriebenen Arbeiten müssen sorgfältig und detailliert unter Beachtung der Standards der aktuellen Fassungen der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [3.1] bzw. [3.2] aber auch unter zusätzlicher Berücksichtigung der grundlegenden Kenntnisse und Möglichkeiten zur Sicherung der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton geplant und ausgeführt werden. Nur unter zusätzlicher Berücksichtigung technisch-wissenschaftlicher Zusammenhänge ist eine Instandsetzung möglich, die gewisse Abweichungen von den für den Regelfall doku-

mentierten Standards bzw. eine auf den Bestand (architektonisch wertvolle bzw. denkmalgeschützte Sichtbetonfassade) abgestimmte und mit diesem verträgliche Vorgehensweise zulässt. Eine spezifische Fachbauleitung sowie Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind unabdingbar für den Erfolg der Maßnahmen.

12.2.3.1 Reinigen der Oberflächen

Zur Vereinheitlichung und Vergleichmäßigung des Erscheinungsbildes werden die Sichtbetonflächen substanzschonend gereinigt.

Die Reinigungsarbeiten müssen äußerst behutsam vorgenommen werden („Reinigen auf Restpatina“). Es dürfen keine materialabtragenden Verfahren eingesetzt werden (kein Hochdruckwasser, kein Strahlgut). Durch eine zu intensive Reinigung würden die noch vorhandene Oberflächentextur zerstört und das Erscheinungsbild der Fassaden, aber auch deren zukünftige Alterung, negativ beeinflusst werden. Zu empfehlen ist ein händisches Bürsten und der Einsatz von drucklosem Wasser („Abwaschen“ der Oberflächen). Die Arbeiten dürfen nur unter Begleitung der Fachbauleitung vorgenommen werden. Zur Festlegung der geeigneten Reinigungsmethode sind Probearbeiten unerlässlich.

12.2.3.2 Betonaustauscharbeiten

Es gelten die grundsätzlichen Ausführungen in Abschnitt 12.2.1.

Im Detail ist Folgendes weiter auszuführen:

1. An den zu bearbeitenden Stellen wird geschädigter sowie nicht ausreichend tragfähiger Beton entfernt und die Bewehrung ausgehend von der Schadstelle über den von Korrosion betroffenen Bereich hinaus (inklusive eines Vorhaltemaß) weiter freigelegt. Bei der Festlegung des Umfangs der Freilegungen sind folgende Kriterien anzuwenden:

Kriterium I: Karbonatisierungstiefe

Die Freilegung erfolgt bis zu einem Betonüberdeckungsmaß der Bewehrung, das der in 30 Jahren zu erwartenden Gesamt-Karbonatisierungstiefe des Betons gleich ist. Diese Tiefe ist örtlich unterschiedlich und wird für jeden Einzelfall durch die Fachbauleitung ermittelt bzw. angegeben.

Kriterium II: Feuchtegehalt

Die Freilegung erfolgt bis zu einem Betonüberdeckungsmaß der Bewehrung, das der Tiefe gleich ist, bis zu der bewehrungskorrosionskritische Feuchtegehalte des Betons zu erwarten sind. Auch diese Tiefe ist örtlich unterschiedlich und wird daher in jedem Einzelfall durch die Fachbauleitung angegeben.

Maßgebend wird jenes Kriterium, das den kleineren Tiefenwert ergibt. In allen Fällen ist ein gewisses Vorhaltemaß einzuhalten. Festlegungen erfolgen von Fall zu Fall durch die Fachbauleitung bzw. den dabei tätigen sachkundigen Planer.

2. Der Ausbruch des Bestandsbetons wird an der Oberfläche mit geraden scharfen Rändern (5 mm bis max. 10 mm tiefe Einschnitte mit einer Trennscheibe) gestaltet und reprofiliierungsgerecht in die Tiefe fortgesetzt. Die eingeschnittenen Ränder dürfen sich an den Ecken nicht überschneiden. Die Flanken der Ausbrüche werden um ca. 60 ° bis 90 ° gegen die Bauteiloberfläche geneigt ausgeführt. Das Freilegen der Bewehrung erfolgt unabhängig von den obigen Kriterien in jedem Fall auch so, dass die Bewehrung anschließend sachgerecht durch Sandstrahlen gereinigt werden kann und dass sich später eine sachgerechte Einbettung der Bewehrung in den Instandsetzungsbeton herstellen lässt. Diesbezüglich liegen einschlägige handwerkliche Fachregeln vor. Hinweise finden sich auch in [3.1], [3.2]. Für die Arbeiten muss Steinmetz-Werkzeug verwendet werden.
3. Die so geschaffenen Betonausbruchstellen werden durch Sandstrahlen von losen bzw. niederfesten Teilen befreit. Durch die Sandstrahlarbeiten darf weder das unmittelbare noch das weitere Umfeld um die Reparaturstellen negativ beeinflusst werden.
4. Die freigelegte Bewehrung wird durch Sandstrahlen entrostet und gereinigt (Reinheitsgrad Sa 2 ½). Durch die Sandstrahlarbeiten darf weder das unmittelbare noch das weitere Umfeld um die Reparaturstellen negativ beeinflusst werden.
5. Ergänzend zur realkalisierenden Wirkung des später einzubringenden, auf das Bauwerk abgestimmten, alkalischen Ersatzbetons werden die freigelegten Bewehrungsstäbe mit einem zugelassenen zementgebundenen Korrosionsschutzsystem versehen.
6. Anschließend wird die Ausbruchstelle mit dem für die Fassaden der Stadthalle entwickelten Instandsetzungsbeton mit Haftbrücke unter Beachtung der hierzu erforderlichen handwerklichen Tätigkeiten reprofiliert. Die handwerklichen Regeln sind einschlägig bekannt und werden an dieser Stelle nicht im Einzelnen aufgeführt. Die Arbeiten werden durch die Fachbauleitung begleitet.

Die Textur der Oberflächen der Reprofilierungsstellen wird im noch frischen Zustand des Betons der unmittelbaren Umgebung der Stellen angepasst. Hierbei sind Verfahren unter Einsatz von Wasser zu unterlassen (z. B. kein Abreiben mit nassem Schwamm). Ergänzend oder alleine können auch steinmetztechnische Maßnahmen im erhärteten Zustand geeignet sein, um das Bild der Reparaturstelle an jenes der Umgebung anzupassen. Festlegungen erfolgen in jedem Einzelfall durch die Fachbauleitung.

7. Nachbehandeln der Reprofilierungsstellen und der unmittelbaren Umgebung entsprechend den betontechnologischen Anforderungen.

12.2.3.3 Behandlung von Rissen

Risse infolge Bewehrungskorrosion werden durch Betonaustausch instandgesetzt. Sonstige Risse werden – soweit erforderlich und zweckmäßig – mit kommerzieller Zementsuspension gefüllt. Es ist zu beachten, dass sich das Füllen bzw. Schließen von Rissen auch kontraproduktiv auswirken kann. In diesem Zusammenhang ist z. B. anzuführen, dass Risse, die den weiteren Aufbau von Zwang- und Eigenspannungen verhindern, nicht kraftschlüssig gefüllt werden dürfen. Ferner kann bei einer Entscheidung über die Rissfüllung berücksichtigt werden, dass sich Rissbewegungen nicht negativ auf die Dauerhaftigkeit auswirken werden, weil keine ganzflächigen Oberflächenschutzmaßnahmen vorgesehen sind und Wasser, das über die Risse kapillar eingedrungen ist, daher auch wieder rasch aus dem Beton entweichen kann.

Im vorliegenden Fall besteht keine Notwendigkeit für umfangreiche Maßnahmen der Rissebehandlung. Über die Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit einer Rissebehandlung und die jeweilige Vorgehensweise muss allerdings in jedem Einzelfall durch die Fachbauleitung entschieden werden.

12.2.4 Richtlinienkonformität der vorgeschlagenen Lösung

Aus den obigen Ausführungen wird deutlich, dass bei der vorgeschlagenen Instandsetzung von den in der Instandsetzungs-Richtlinie [3.2] bzw. der Instandhaltungs-Richtlinie [3.3] des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton beschriebenen Standardlösungen abgewichen wird. Die Abweichung besteht darin, dass, obwohl auf ein ganzflächiges Oberflächenschutzsystem (Grundsatzlösung W bzw. Verfahren 7.7 bzw. 8) verzichtet wird, bei der hier vorgeschlagenen Instandsetzung karbonatisierter Beton nicht überall entfernt wird, d. h. die Grundsatzlösung R2 gemäß [3.1] bzw. das Verfahren 7.2 gemäß [3.3] nicht durchgängig umgesetzt wird.

Hieraus darf jedoch nicht abgeleitet werden, dass von den anerkannten Regeln der Technik abgewichen wird. Dies ist darin begründet, dass in detaillierten Voruntersuchungen, siehe vorstehende Kapitel, nachgewiesen wurde, dass der vorgeschlagene Lösungsweg technisch begehbar ist und eine Gleichwertigkeit mit Standardlösungen gegeben ist. Es wurde bauwerks- und fassadenbezogen aufgezeigt, dass Depassivierung der Bewehrung nicht grundsätzlich mit einer nennenswerten Korrosion der Bewehrung verbunden ist und es wurde festgelegt, dass bei der Instandsetzung vorsorglich auch solche Stellen bearbeitet werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zukünftig schadhaft werden (potentielle Schadstellen), so dass das Ausmaß zukünftiger Schäden beherrschbar bleibt. Zukünftige Schäden können nicht ausgeschlossen werden. Sie können aber im Zuge üblicher Instandhaltungsmaßnahmen wirtschaftlich beseitigt werden. Notwendige Wartungs- und Instandsetzungszyklen sind nicht zwangsläufig geringer als bei Umsetzung von Standardlösungen.

In begründeten Fällen auf einen Austausch karbonatisierten Betons und auf Oberflächen-schutzmaßnahmen zu verzichten steht im Übrigen im Einklang mit den Richtlinien. Dort wird in Zusammenhang mit einer Depassivierung der Bewehrung darauf hingewiesen, dass Korrosionsschutz- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen nur so weit vorzunehmen sind, wie zukünftig Korrosion zu erwarten ist.

Gleichwohl soll, wie bereits im Vorfeld unserer Auftragsbearbeitung geschehen, auch an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass die vorgeschlagene Vorgehensweise von den in den Richtlinien genannten Standardlösungen abweicht.

12.3 Inspektion

Die Fassadenflächen werden zumindest jährlich einer groben Inaugenscheinnahme im Hinblick auf Auffälligkeiten unterzogen. Auffälligkeiten muss nachgegangen werden.

Zumindest alle 3 Jahre erfolgt eine sorgfältige Inaugenscheinnahme (vom Boden aus, ggf. mit Fernglas). Unregelmäßigkeiten, die auf unplanmäßige Veränderungen der Oberfläche hindeuten, werden vermerkt und sachkundig bewertet. Ggf. werden detaillierte Erkundungen vorgenommen und Maßnahmen ergriffen.

Alle 6 Jahre werden die Fassadenflächen einer detaillierten Inspektion mit einem Hubsteiger unterzogen. Hierbei werden Erkundungen zum Zustand ausgewählter Bauwerksbereiche durchgeführt und ggf. aufgetretene Veränderungen (z. B. Risse, Rostfahnen, Hohllagen) detailliert untersucht. Anhand einzelner lokaler Freilegungen wird der Korrosionszustand der Bewehrung überprüft.

Bei diesem Vorschlag von Inspektionsintervallen und Tätigkeiten orientieren wir uns an DIN 1076:1999-11 („Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Brücken – Überwachung und Prüfung“). Gewonnene Zwischenergebnisse können es erlauben bzw. notwendig machen, die Inspektionsintervalle zu modifizieren.

Zufällig entdeckten Unregelmäßigkeiten muss selbstverständlich unabhängig von den planmäßigen Inspektionen nachgegangen werden.

Die Ergebnisse der Inspektionen sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Die Ergebnisberichte müssen Empfehlungen zur Notwendigkeit, zum Zeitpunkt, zur Zweckmäßigkeit und zur Art von Wartungsarbeiten enthalten. Gleiches gilt in Bezug auf Instandsetzungsarbeiten.

12.4 Wartung

Wartungsarbeiten dienen der Aufrechterhaltung der Funktionalität des Bauteils und ggf. des Instandsetzungssystems. Die Zustandserfassung im Rahmen der Wartung erfolgt vorwiegend visuell. Nach Feststellung von Beschädigungen muss der Sachkundige Planer durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten eingeschaltet werden. Beide entscheiden zusammen über die weitere Vorgehensweise.

Folgende Wartungsmaßnahmen sind zu erwarten:

Tabelle 9: Wartungsmaßnahmen

Art der Maßnahmen	Intervall (mindestens)
Dach- und Attikabereich:	
Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Dachabdichtung bzw. Dachentwässerung	jährlich
Fassaden / Bauteile allgemein:	
Prüfung und Erneuerung von Fugenfüllstoffen	regelmäßig
Entfernen intensiven Moosbewuchses	bei erkennbar werden
Abschlagen sich lösender Teile (Betonschollen) *)	bei erkennbar werden

***) Anmerkung:**

Die in Abschnitt 12.2 beschriebene Instandsetzung stellt sicher, dass Schollenbildungen in größerem Umfang und in zeitlich enger Folge nicht auftreten. Wie bei jeder Fassade ist aber auch im vorliegenden Fall nicht auszuschließen, dass sich einzelne Schollen bilden. Es genügt zunächst, die Schollen abzunehmen, um eine mögliche Gefährdung von Passanten zu vermeiden bzw. eine ggf. reduzierte Verkehrssicherheit wieder herzustellen. Eine Instandsetzung des Schadens erfolgt im Zuge einer späteren Instandsetzung. Nicht jede Schollenbildung bedarf einer unmittelbaren Instandsetzung.

13 Kostenschätzung

Für die in Kapitel 12 beschriebenen Betoninstandsetzungsmaßnahmen ist mit Kosten (inklusive Mehrwertsteuer) in Höhe von

ca. 214.000,-- EUR (brutto)

zu rechnen.

Eine Aufschlüsselung der Kosten kann der Tabelle 10 entnommen werden.

Tabelle 10: Geschätzte Kosten der Instandsetzungsmaßnahmen

Leistungsposition	Einheitskosten	Massen	Kosten
Vorarbeiten - Schmutzkrustenablagerungen abarbeiten - Weiße Beschichtungen im Sockelbereich entfernen - Sichtbetonoberflächen reinigen			ca. 61.000,00 €
Betoninstandsetzung - Vierungen ausarbeiten - Korrosionsschutz Bewehrung - Haftbrücke - Reparaturbeton - Rekonstruktion Oberflächen - Nachbehandlung			ca. 69.000,00 €
Fugeninstandsetzung	80 €	ca. 600 m ²	aufgerundet 50.000,00 €
Gesamtkosten Betoninstandsetzung (netto)			180.000 €
Umsatzsteuer (19 %)			34.200 €
Gesamtkosten Betoninstandsetzung (brutto)			214.200 €

Die Schätzung der Kosten erfolgte mit jenen Schadflächenanteilen, die im Zuge der vorstehend beschriebenen Bauwerksuntersuchungen ermittelt wurden. Es wurden Kostensätze angesetzt, die auf Erfahrungswerten bei ähnlichen Instandsetzungsaufgaben beruhen.

Kosten für die Gerüststellung und die Instandsetzung der Fugen zwischen den Fenstern und dem Beton der Fassaden („Fensterfugen“) sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

Nicht enthalten sind ferner Kosten für die Entwicklung eines Reparaturbetons sowie Kosten für die Fachplanung und Fachbegleitung der Instandsetzungsmaßnahmen.

14 Entwicklung eines Instandsetzungsbetons mit Haftbrücke

Es ist ein Beton zu entwickeln, dessen Zusammensetzung und Ausgangsstoffe den Anforderungen der Normenreihe DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045 unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen des Instand zu setzenden Bauteils und der Art der äußeren Einwirkungen genügt. Der Beton muss in seinen technischen und in seinen das Erscheinungsbild prägenden Eigenschaften auf den Bestand abgestimmt sein. Es sind besondere Betoneigenschaften gefordert. Diese müssen anhand bauwerksspezifischer Eignungsprüfungen nachgewiesen werden.

Wie bereits im Vorfeld unserer Auftragsbearbeitung geschehen, wird auch an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass der bei Betoninstandsetzungen an Fassaden übliche Einsatz kommerziell verfügbarer Instandsetzungsmörtel in Form von kunststoffmodifizierten Mörteln (PCC, SPCC) im vorliegenden Fall nicht möglich ist. Wie beim Umfang des Freilegens von Bewehrung, siehe Abschnitt 12.2, liegt also auch bei der Materialwahl eine begründete Abweichung zur üblichen Instandsetzung lokaler Schäden im Bereich der Bauteilrandschicht im Sinne der Richtlinien [3.1] und [3.2] vor.

14.1 Anforderungen bzw. besondere Eigenschaften

Instandsetzungsbeton

Der Beton muss ein alkalisches Milieu um den Bewehrungsstahl erzeugen und in seinen Festigkeits- und Verformungseigenschaften auf den Bestand abgestimmt sein.

Zusätzlich sind Anforderungen an das Erscheinungsbild der Reparaturen zu stellen. Neben einer entsprechenden handwerklichen Ausführung der Arbeiten ist hierzu eine Abstimmung der Gefügeeigenschaften des Instandsetzungsbetons auf den Bestandsbeton notwendig.

Trotz eines aus mittlerer und großer Entfernung einheitlich wirkenden Erscheinungsbildes der Fassaden der Stadthalle liegen an Teilflächen gewisse Unterschiede in Bezug auf Rauheit und Farbigkeit vor. Die nach Osten bzw. zur Adolfstraße orientierten Bauteiloberflächen der Ortbetonfassade weisen eine vergleichsweise glatte, wenig verwitterte Oberfläche mit einem hellen Farbton auf. Die stärker verwitterten Bauteiloberflächen der übrigen Ortbeton- und Fertigteilfassade sind rauer und dunkler. Das unter der Oberfläche liegende Betongefüge ist dagegen praktisch überall gleich. Es ist somit ein Grundtyp eines Instandsetzungsbetons zu entwickeln, der an der reprofilierten Oberfläche an die vorliegenden Gegebenheiten des Umgebungsbetons angepasst werden kann.

Haftbrücke

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Verbundes zwischen dem Instandsetzungsbeton und dem Untergrund müssen Haftbrücken eingesetzt werden, deren technische Eigenschaften auf

die Instandsetzungsmaterialien und den Untergrund abgestimmt sind. Gleiches gilt für die Färbung der Haftbrücke, da die Verwendung farblich stark abweichender Haftbrücken zur Entstehung optisch auffälliger Streifen entlang der Ränder der Reprofilierungsstellen führen würde.

Korrosionsschutzbeschichtung

Für den auf freigelegte und gereinigte Bewehrungsstähle aufzubringenden, alkalisch wirkenden Korrosionsschutz müssen geeignete und geprüfte zementgebundene Korrosionsschutzsysteme eingesetzt werden. Solche Materialien sind kommerziell verfügbar.

14.2 Vorgehensweise bei der Entwicklung

Die detaillierte Abstimmung aller Eigenschaften des Reparaturbetons auf den Bestand gelingt nur, wenn für den Reparaturbeton gleichartige Gesteinskörnungen wie im Bestand vorhanden eingesetzt werden.

Auf der Basis vorausgegangener Recherchen wurden Proben von Quarzsanden und gröberen Gesteinskörnungen aus der Region des Herstellerwerkes der Fertigteile der Stadthalle (Betonwerke W. Eufinger, Staffel/Lahn) beschafft. Es zeigte sich, dass diese Gesteinskörnungen jenen des Originalbetons mineralogisch und technologisch (Sieblinien) sehr ähnlich sind; siehe [2.2] sowie Anlagenseite 42 bis 49. Auch ihr gelblich-weißer Farbton entsprach weitestgehend jedem der Gesteinskörnungen im Bestandsbeton.

Als Zement wurde – wie für den Bestandsbeton – ein Dyckerhoff-Weißzement verwendet.

Zunächst wurden Ausgangsrezepturen entworfen. Diese wurden im Weiteren anhand von Mischserien im Labor (Probemischungen) sukzessive optimiert, bis sich die gewünschten Frisch- und Festbetoneigenschaften einstellten.

Muster, die mit der entwickelten Rezeptur hergestellt worden waren, wurden vor Ort hinsichtlich Gefüge und Farbe mit dem Bestand verglichen. Erforderlichenfalls erfolgte eine weitere Feinabstimmung der Rezeptur.

Nach Abschluss der Optimierung wurde der Instandsetzungsbeton in Kombination mit der zugehörigen Haftbrücke einer technologischen Eignungsprüfung an der MPA Karlsruhe unterzogen; siehe [2.3] sowie Anlagenseiten 50 ff. Hierzu wurden aus den Instandsetzungsmaterialien Probekörper hergestellt und Betonplatten beschichtet bzw. reprofiliert. Das Prüfprogramm umfasste die Bestimmung des dynamischen E-Moduls, der Biegezug- und Druckfestigkeit der Materialien sowie der Verbundfestigkeit zwischen den Materialien und einem Betonuntergrund. Die hierzu an Verbundprobekörpern durchgeführten Haftzugprüfungen erfolgten nach Normlagerung sowie nach einer im Labor simulierten Gewitterregenbeanspruchung der Probekörper. Prüfwerte wurden im Alter der Materialien von 7, 28 und 90 Tagen.

14.3 Zusammensetzung der entwickelten Instandsetzungsmaterialien

Der entwickelte Instandsetzungsbeton entspricht den Vorgaben der DIN EN 206:2017-01 bzw. DIN 1045-2:2008-08 für Beton, der für Ortbetonbauwerke und Fertigteile für Gebäude und Ingenieurbauwerke verwendet wird. Alle Betonausgangsstoffe entsprechend den einschlägigen Normen.

Die Konsistenz des Betons wurde auf die im vorliegenden Fall notwendige Verarbeitung durch Spachteln eingestellt (steif-plastische Konsistenz).

Folgenden Materialkomponenten wurden verwendet:

Tabelle 11: Materialkomponenten des Instandsetzungsbetons

Zement nach DIN 197-1	CEM I 42,5 R Dyckerhoff Weis Amöneburg
Natürliche Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 in Verbindung mit DIN 1045-2,	Lieferwerke: Quarzkieswerk Singhofen, HW Schmitz GmbH & Co. KG, Andernach Größtkorn 8 mm
Zusatzstoff nach DIN EN 13263-1	Silikastaub
Wasser	Trinkwasser
Zusatzmittel nach DIN EN 934-2	Fließmittel
	Luftporenbildner

Die Haftbrücke setzt sich aus Wasser und Substanzen zusammen, die auch für den Instandsetzungsbeton verwendet werden (Zement, Zusatzstoff, Fließmittel). Ihre Konsistenz ist auf eine Verarbeitung durch Pinselauftrag eingestellt.

14.4 Eigenschaften der entwickelten Instandsetzungsmaterialien

Die Prüfungen der Rohdichten des Betons ergaben im Alter von 7, 28 und 90 Tagen 2031 kg/m³, 2019 kg/m³ und 2012 kg/m³ (jeweils Mittelwerte).

Die Mittelwerte der Druckfestigkeiten des Betons im Alter von 7, 28 und 90 Tagen betragen 36,1 N/mm², 42,0 N/mm² und 45,4 N/mm².

Für die Biegezugfestigkeiten des Betons ergaben die Prüfungen im Alter des Betons von 7, 28 und 90 Tagen Werte von 5,4 N/mm², 6,2 N/mm² und 6,2 N/mm² (jeweils Mittelwerte).

Der dynamische E-Modul des Betons beträgt 29.400 N/mm², 29.200 N/mm² und 29.000 N/mm² (Mittelwerte im Betonalter von 7, 28 und 90 Tagen).

Mit Haftzugprüfungen wurde überprüft, ob das Instandsetzungsmaterial einen ausreichend hohen Verbund mit dem Betonuntergrund (Plattengrundkörper) eingeht bzw. ob die verwendete Haftbrücke geeignet ist, einen hohen Verbund herbeizuführen. Die Mittelwerte der Haftzugprüfungen betragen – auch nach Durchführung der Prüfungen der Gewitterregensimulation – zwischen 2,0 N/mm² und 2,4 N/mm². Bei nahezu allen Einzelprüfungen lag die Bruchfläche im Instandsetzungsbeton, d.h. das Versagen trat durch Überschreiten der Zugfestigkeit des Instandsetzungsbetons ein.

14.5 Eignungsbewertung

Die Festigkeits- und Verformungskennwerte des Instandsetzungsbetons müssen jenen des Bestandsbetons ähnlich sein. In jedem Fall ist zu vermeiden, dass der Instandsetzungsbeton einen Verformungsmodul aufweist, der wesentlich höher ist als jener des Bestandsbetons. Die Zugfestigkeit des Instandsetzungsbetons darf nicht zu hoch sein, damit im Verbundsystem als Folge des Schwindens des Instandsetzungsbetons oder als Folge einer schockartigen Abkühlung der Fassaden (Gewitterregen) unvermeidbar entstehende Zwangspannungen durch Rissbildungen abgebaut werden können.

Wie ein Vergleich der in der Tabelle 12 zusammengestellten Kennwerte des Bestandsbetons und des Instandsetzungsbeton zeigt, weist der Instandsetzungsbeton einen geringeren Elastizitätsmodul auf als der Bestandsbeton. Der Instandsetzungsbeton ist somit weniger steif als der Bestandsbeton. Der Instandsetzungsbeton weist zudem eine etwas geringere Zugfestigkeit als der Bestandsbeton auf. Bei einer trotzdem vorhandenen ausreichend hohen Verbundfestigkeit stellt dies sicher, dass sich die Reparaturstellen dauerhaft in den Bestand einfügen.

Die hohe Alkalität des Instandsetzungsbetons und der Haftbrücke (zementgebundene Materialien ohne Kunststoffzusatz) stellt den Korrosionsschutz der Bewehrung im bearbeiteten Bereich zuverlässig wieder her. Die im vorliegenden Fall ergänzend eingesetzte zementgebundene Korrosionsschutzbeschichtung unterstützt dies weiter.

Der Verzicht auf polymere Betonzusatzstoffe stellt sicher, dass es unter den Reprofilierungsstellen zu keinen Wasseranreicherungen und damit verbundenen negativen Folgen kommen kann. Der Einsatz von Bestandteilen des Instandsetzungsbetons wie sie im Bestandsbeton vorliegen und der Verzicht auf polymere Zusatzstoffe stellt zudem sicher, dass der thermische Ausdehnungskoeffizient des Instandsetzungsbetons jenem des Bestandsbetons entspricht.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der entwickelte Instandsetzungsbeton gut an den Bestand angepasst ist und materialbedingte Dauerhaftigkeitsprobleme nicht zu erwarten sind.

Tabelle 12: Rohdichte, Druckfestigkeit, Zug- und Haftzugfestigkeit sowie dynamischer Elastizitätsmodul des Bestandsbetons und des Instandsetzungsbetons

Materialkennwert	Bestandsbeton		Instandsetzungsbeton
	Prüfer	Mittelwert Ortbeton / Fertigteilbeton	Mittelwert im Alter des Betons von 90 Tagen
Rohdichte [kg/dm ³]	E+P (2015)	2,25 / 2,22	2,02
	SMP (2018)	2,29 / 2,36	
Druckfestigkeit [N/mm ²]	E+P (2015)	61,0 / 68,3 ¹⁾	45,4 ²⁾
	SMP (2018)	65,1 / 61,5 ¹⁾	
Zug- bzw. Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	E+P (2015)	3,3 / 2,9	2,4
	SMP (2018)	2,7 / -	
Dynamischer E-Modul [N/mm ²]	E+P (2015)	-	29.000 ²⁾
	SMP (2018)	36.500 / 36.900 ¹⁾	

- Erläuterungen:
- 1) Die Prüfung der Druckfestigkeit und des dynamischen E-Moduls des Bestandsbetons erfolgte an Bohrkernen (Durchmesser 100 mm und 75 mm)
 - 2) Die Prüfung der Druckfestigkeit und des dynamischen E-Moduls des Instandsetzungsbetons erfolgte an Prismen (Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm)

Einzelheiten können den Berichten [2.2] und [2.3] entnommen werden (siehe Anlagenseiten 42 bis 49 und 50 bis 58).

15 Zusammenfassung

Vorliegend wird über materialtechnologische und dauerhaftigkeitsbezogene Untersuchungen der Sichtbetonfassaden der Stadthalle Lahnstein und darauf aufbauende gutachterliche Bewertungen berichtet. Die Untersuchungen bilden die Basis einer behutsamen denkmalgerechten Instandsetzung der Sichtbetonfassaden.

Zusammenfassend ist Folgendes festzustellen:

Die Ortbeton- und Fertigteilfeassaden mit ebener und künstlerisch gestalteter Oberfläche weisen an den Sichtbetonflächen Alterungseffekte in Form von Verfärbungen bzw. Verschmutzungen auf. Die künstlerisch gestalteten Farbbeschichtungen sind mehr oder weniger stark ausgewaschen und blättern stellenweise ab. Alle genannten Unregelmäßigkeiten sind für das Alter des Bauwerks nicht ungewöhnlich.

Schäden liegen nur vereinzelt vor. Vorherrschend sind lokale Absprengungen der Betonrandzone über korrodierender Bewehrung. Die Schäden nehmen weniger als 1,2 % der mit Beton gestalteten Fassadenfläche ein. Das Schadensausmaß ist nur teilweise augenscheinlich erkennbar. Erst beim Abklopfen wurden auch sog. Hohllagen erkennbar.

Die Mittelwerte der Karbonatisierungstiefe des Betons schwanken fassadenbezogen zwischen ca. 7 und 13 mm. Die Einzelwerte der Karbonatisierungstiefe sind Streuungen unterworfen und betragen zwischen 2 mm und 28 mm. Die unter Verwendung statistischer bzw. probabilistischer Verfahren ermittelten Depassivierungswahrscheinlichkeiten der Bewehrung variieren fassadenbezogen zwischen ca. 0,9 % und 9,7 %.

Diese Ergebnisse zeigen, dass an allen Fassaden der Stadthalle derzeit nur ein vergleichsweise geringer Anteil der oberflächennahen Bewehrung depassiviert ist. In oberflächlich nicht geschädigten Bereichen der Ortbetonfassaden und der Fertigteilfeassaden mit ebener Oberfläche ist die Bewehrung weitestgehend vor Korrosion geschützt ist.

Bei den Fertigteilen mit künstlerischer bzw. reliefartiger Gestaltung der Oberflächen ist die Bewehrung in den reliefartig vorstehenden Querschnittsteilen vor Korrosion geschützt. In den zurückversetzt liegenden Querschnittsteile ist die Bewehrung nicht mehr vor Korrosion geschützt. Der Querschnitt ist dort vollständig karbonatisiert. Trotzdem liegen dort keine korrosionsbedingten Schäden vor.

Die Schädigungen der Fassaden beschränken sich grundsätzlich auf die Randzone der Bauteilquerschnitte im Bereich der Betondeckung der Bewehrung. Tiefgehende Zermürbungen der Bauteilquerschnitte liegen nicht vor.

Nennenswerte Korrosion der Bewehrung, die zu Abplatzungen geführt hat, liegt an einer Teilmenge jener Bewehrung vor, die im karbonatisierten Randzonenbereich der Bauteilquerschnitte liegt und weniger als 19 mm mit Beton überdeckt war. An Schadstellen reicht die Korrosion der Bewehrung bis zu einem Abtrag der Rippen. Der Kernquerschnitt ist intakt.

Die vor Ort gewonnenen Ergebnisse wurden einer detaillierten Analyse und Auswertung unterzogen.

Die Analysen zeigten, dass in den nächsten 30 Jahren nur eine geringe Zunahme der Depassivierungswahrscheinlichkeiten zu erwarten ist. Das Korrosionsrisiko ist insgesamt betrachtet gering.

Vor diesem Hintergrund war festzustellen, dass eine sog. Behutsame Instandsetzung der Sichtbetonfassaden technisch möglich ist. Das verbleibende geringe Schadensrisiko ist beherrschbar.

Die Konzeption der Instandsetzung besteht darin, die derzeit vorliegenden Schäden durch Betaustauschmaßnahmen zu beseitigen und in diese Arbeiten auch jene bislang noch schadensfreien Stellen einzubeziehen, an denen nach der vorgenommenen Schadensprognose mittel- bis langfristig Schäden zu erwarten sind. Die zu bearbeitenden Bereiche werden durch die Fachbauleitung festgelegt.

Die für die handwerkliche Instandsetzung der Sichtbetonfassaden der Stadthalle geschätzten Kosten betragen ca. 214.000,-- EUR (Inklusive Mehrwertsteuer). Darin sind die Kosten für die Gerüststellung sowie für die notwendigen Tätigkeiten der Fachplanung und Fachbauleitung sowie für die Entwicklung eines auf das Bauwerk abgestimmten Instandsetzungsbetons nicht enthalten.

Neben den Ergebnissen der Bauwerksuntersuchungen und Schadensprognosen wird im vorliegenden Schlussbericht über die Entwicklung eines Instandsetzungsbetons inklusive Haftbrücke berichtet.

Ziel der Entwicklung war ein dauerhafter Instandsetzungsbeton, dessen technische und dessen das Erscheinungsbild prägende Eigenschaften auf den Bestand abgestimmt sind.

Als Bindemittel für den Instandsetzungsbeton und der Haftbrücke wurde, wie beim Bestandsbeton, ein Dyckerhoff Weißzement verwendet. Als Gesteinskörnungen (Zuschlag) für den Instandsetzungsbeton wurden Quarzsand- und Quarzkies aus der Region des Herstellerwerkes der Fertigteile der Stadthalle eingesetzt.

Im Zuge der Entwicklungsarbeit wurden Ausgangsrezepturen entworfen und solange optimiert, bis sich die gewünschten Frisch- und Festmörteleigenschaften einstellten. Muster des Instandsetzungsbetons wurden vor Ort mit dem Bestand abgeglichen.

Nach Abschluss der Optimierung wurden die entwickelten Instandsetzungsmaterialien einer Eignungsprüfung unterzogen. Die Ergebnisse der Eignungsprüfungen belegen, dass der entwickelte Beton mit Haftbrücke für die Instandsetzung der Fassaden der Stadthalle Lahnstein gut geeignet sind.

Der Auftraggeber wurde über die vorstehend beschriebenen Ergebnisse anhand eines ausführlichen Zwischenberichtes (Datum: 24.04.2018) informiert. Die Ergebnisse wurden in Besprechungen erläutert.

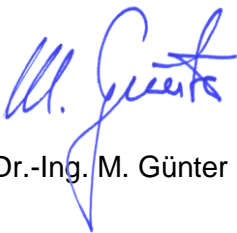
Die Vorlage dieses Schlussberichtes erfolgt nach der Fertigstellung der Instandsetzungsarbeiten. Daher kann abschließend das folgende Fazit in den Bericht aufgenommen werden:

Das Erscheinungsbild der Fassaden genügt den architektonischen und denkmalpflegerischen Anforderungen. Der Sichtbeton der Fassaden blieb erhalten.

Das im Rahmen der Instandsetzungsarbeiten vom Gerüst aus identifizierte Schadensausmaß (vorhandene Schäden und potentielle Schäden) entspricht weitgehend dem im Rahmen der Voruntersuchungen ermittelten Schadensausmaß.

Der für die Sichtbetoninstandsetzung vorab geschätzte Kostenrahmen wurde nicht überschritten.

Karlsruhe 17.04.2019



Dr.-Ing. M. Günter



Dr.-Ing. W. Hörenbaum

Anhang

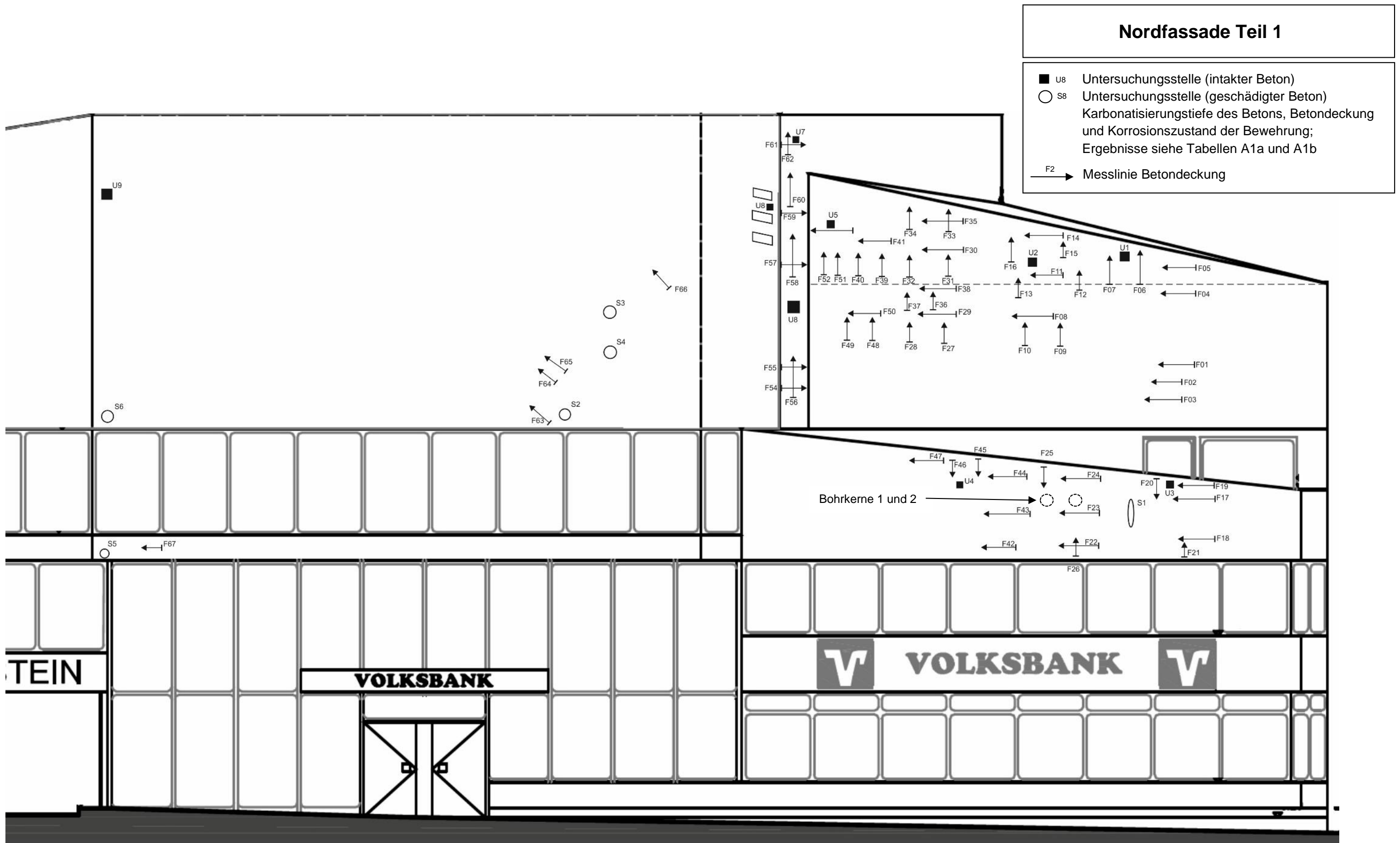


Abbildung A1a: Mess- und Untersuchungsstellen an der Nordfassade (Salhofplatz), Teil 1 (Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

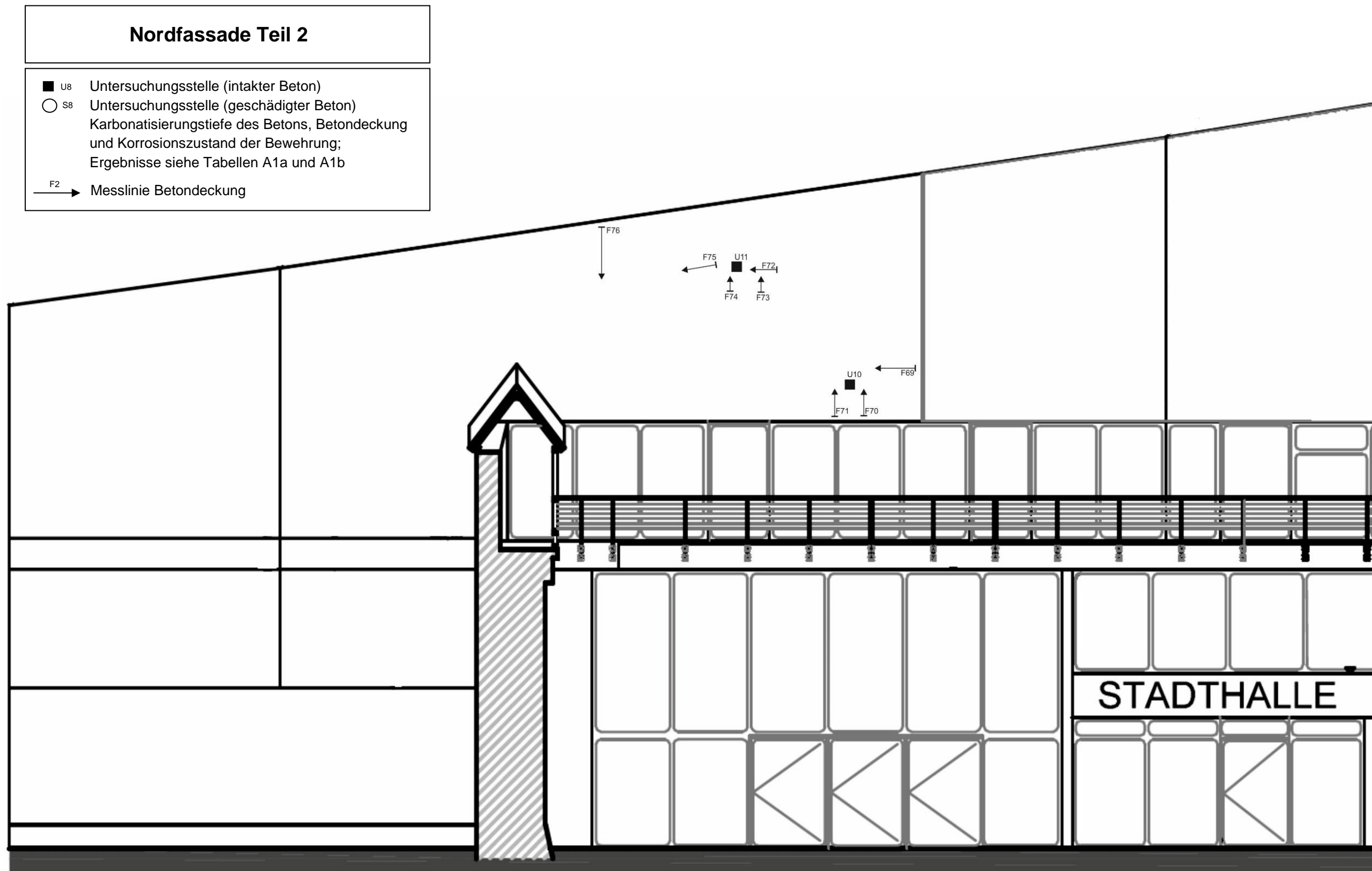


Abbildung A1b: Mess- und Untersuchungsstellen an der Nordfassade (Salhofplatz), Teil 2 (Zeichungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

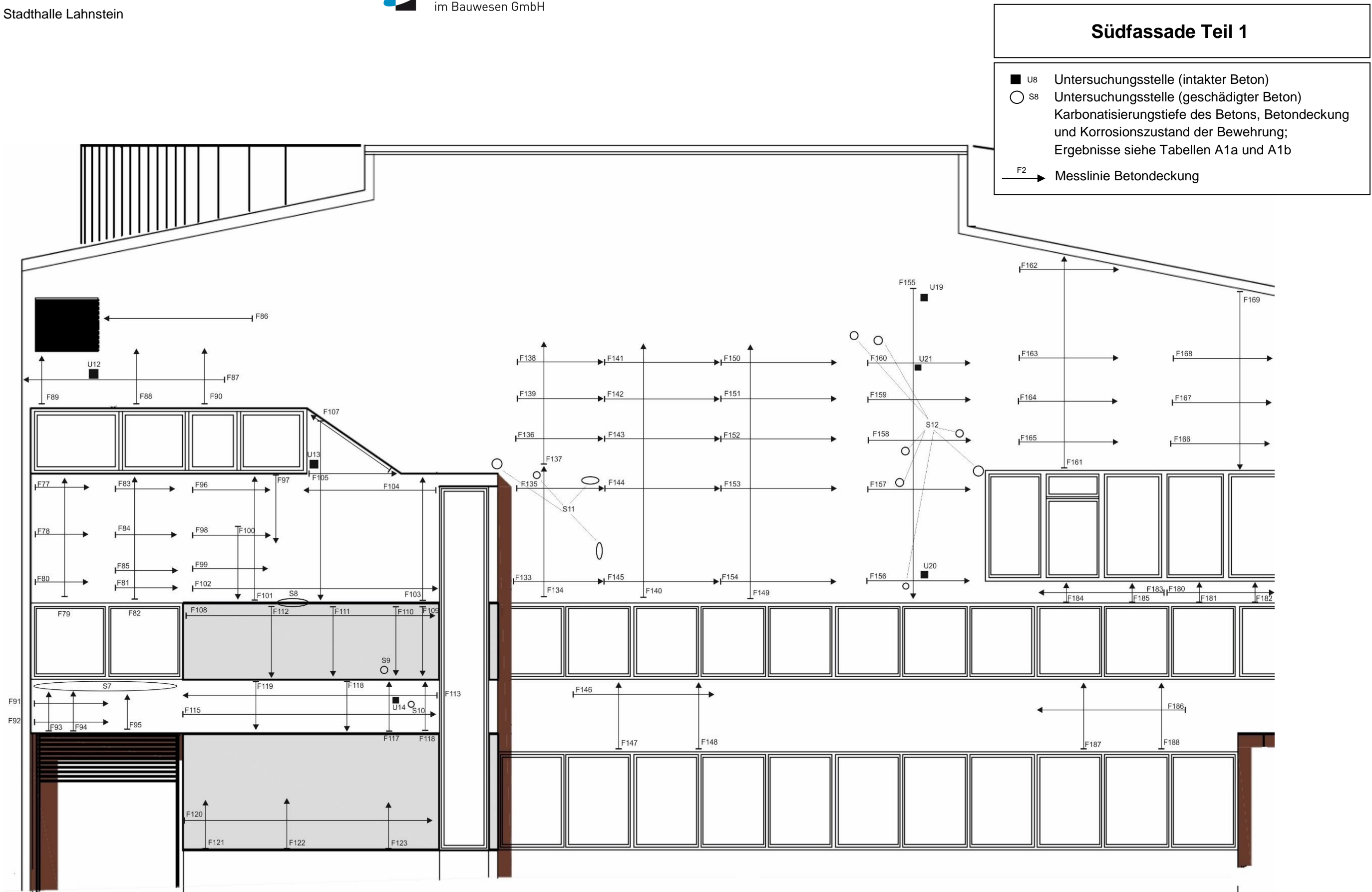


Abbildung A1c: Mess- und Untersuchungsstellen an der Südfassade (Blankenberg), Teil 1 (Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

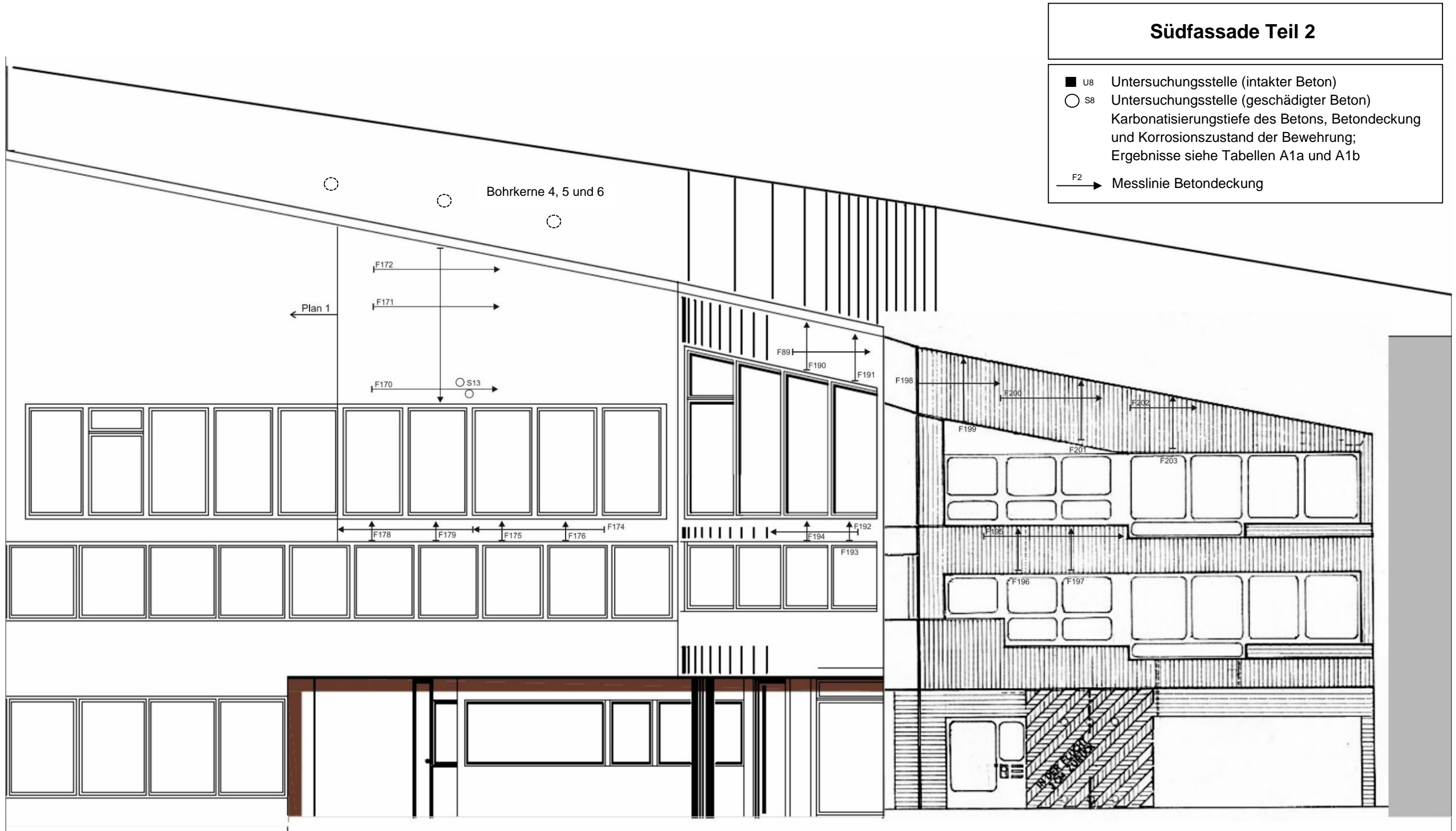


Abbildung A1d: Mess- und Untersuchungsstellen an der Südfassade (Blankenberg), Teil 2 (Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

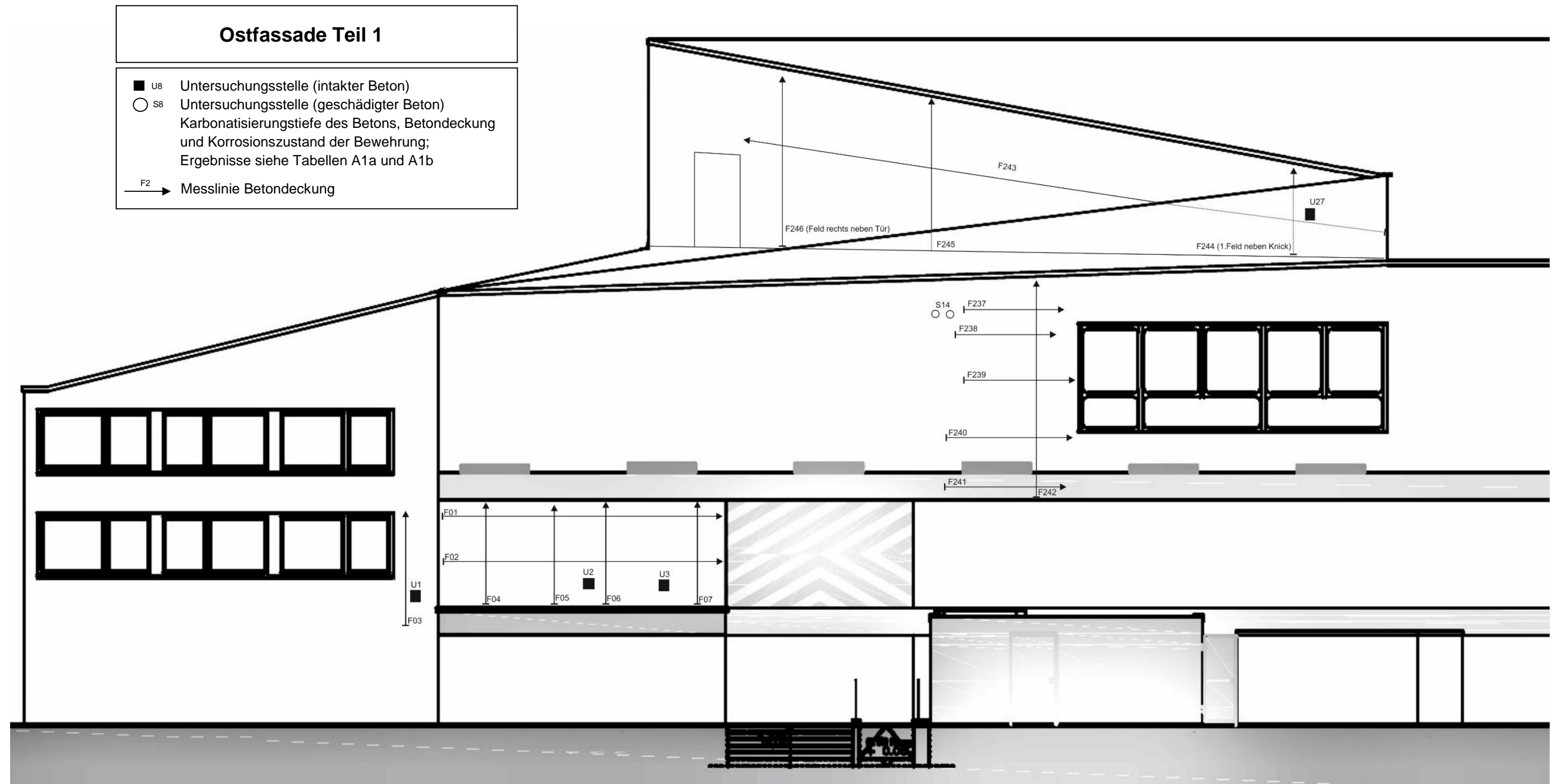


Abbildung A1e: Mess- und Untersuchungsstellen an der Ostfassade (Adolfstraße), Teil 1 (Zeichungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

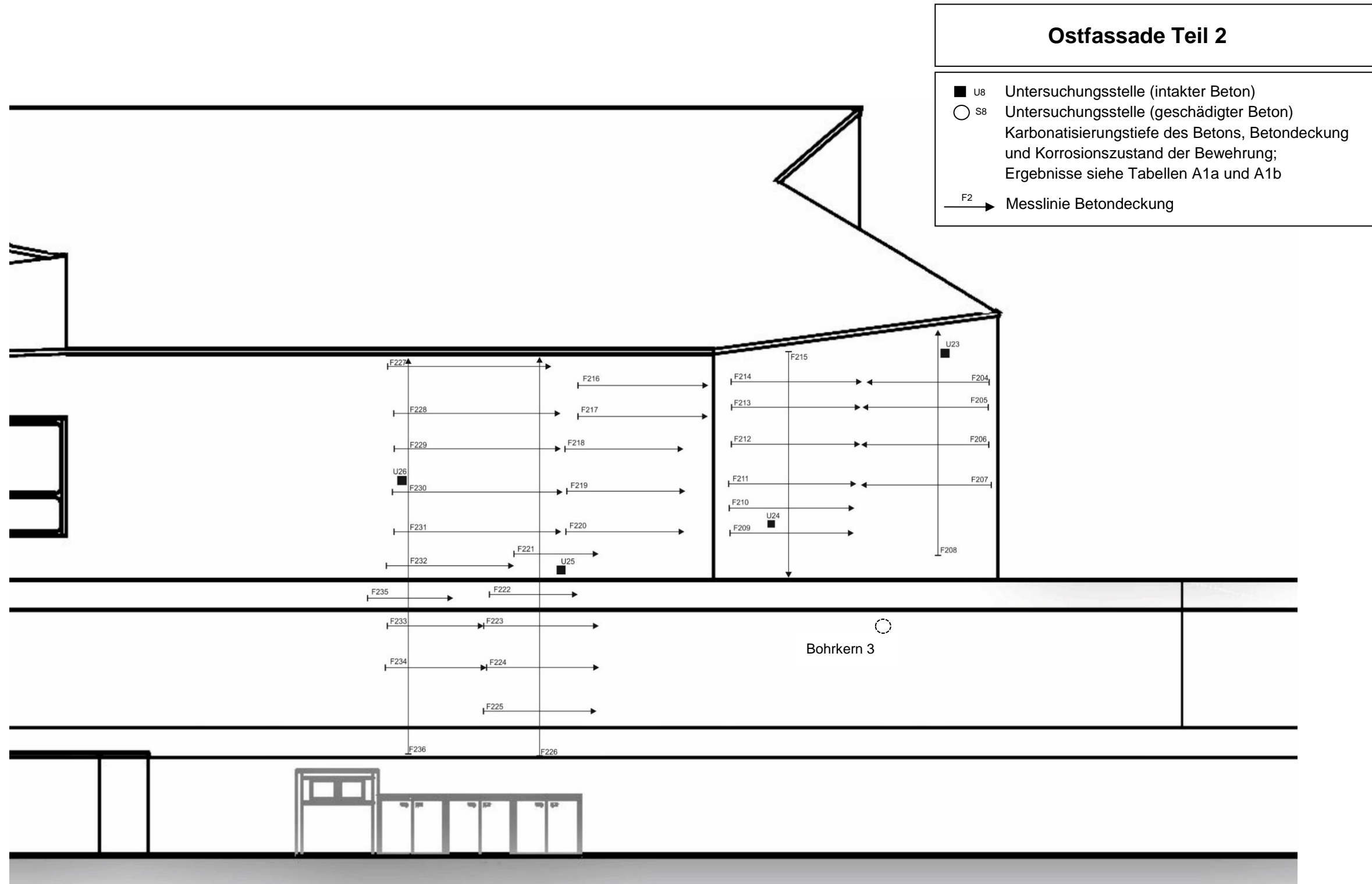


Abbildung A1f: Mess- und Untersuchungsstellen an der Ostfassade (Adolfstraße), Teil 2 (Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

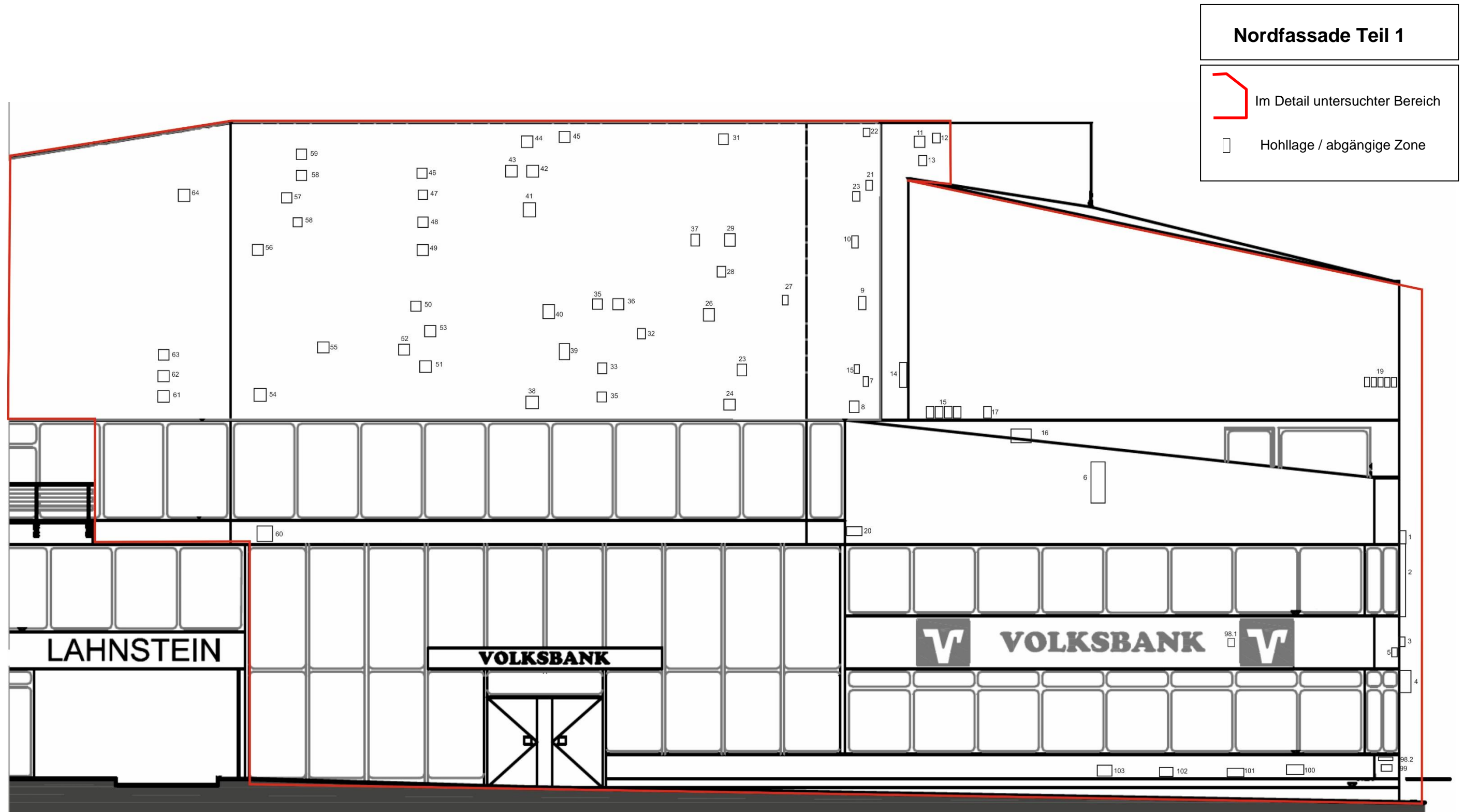


Abbildung A2a: Hohlräume oder bereits abgängige Querschnittsrandzonen über korrodierender Bewehrung an der Nordfassade (Salhofplatz), Teil 1
(Zeichungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

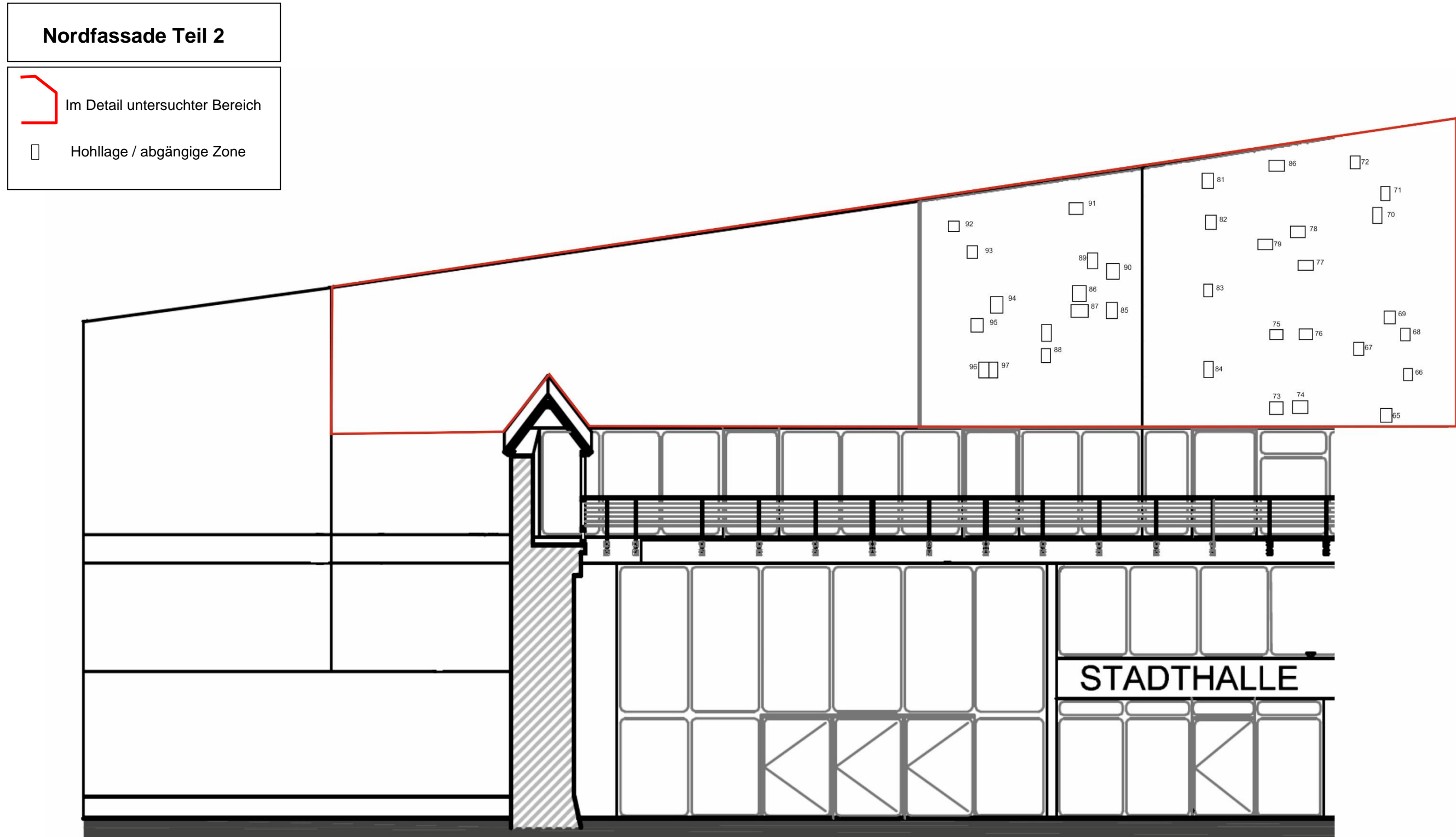


Abbildung A2b: Hohllagen oder bereits abgängige Querschnittsrandzonen über korrodierender Bewehrung an der Nordfassade (Salhofplatz), Teil 2
(Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

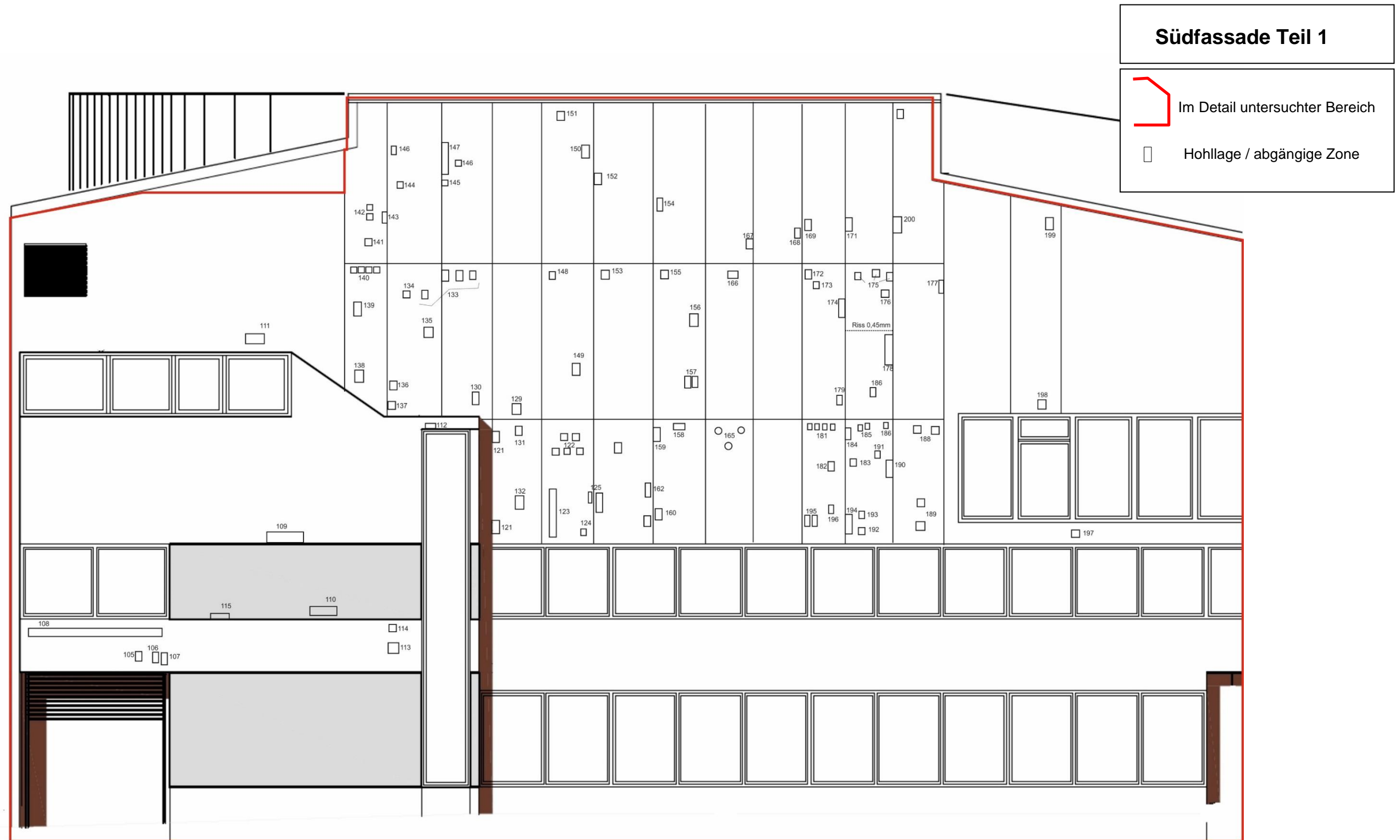




Abbildung A2c: Hohllagen oder bereits abgängige Querschnittsrandzonen über korrodierender Bewehrung an der Südfassade (Blankenberg), Teil 1
(Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

Südfassade Teil 2

-  Im Detail untersuchter Bereich
-  Hohllage / abgängige Zone

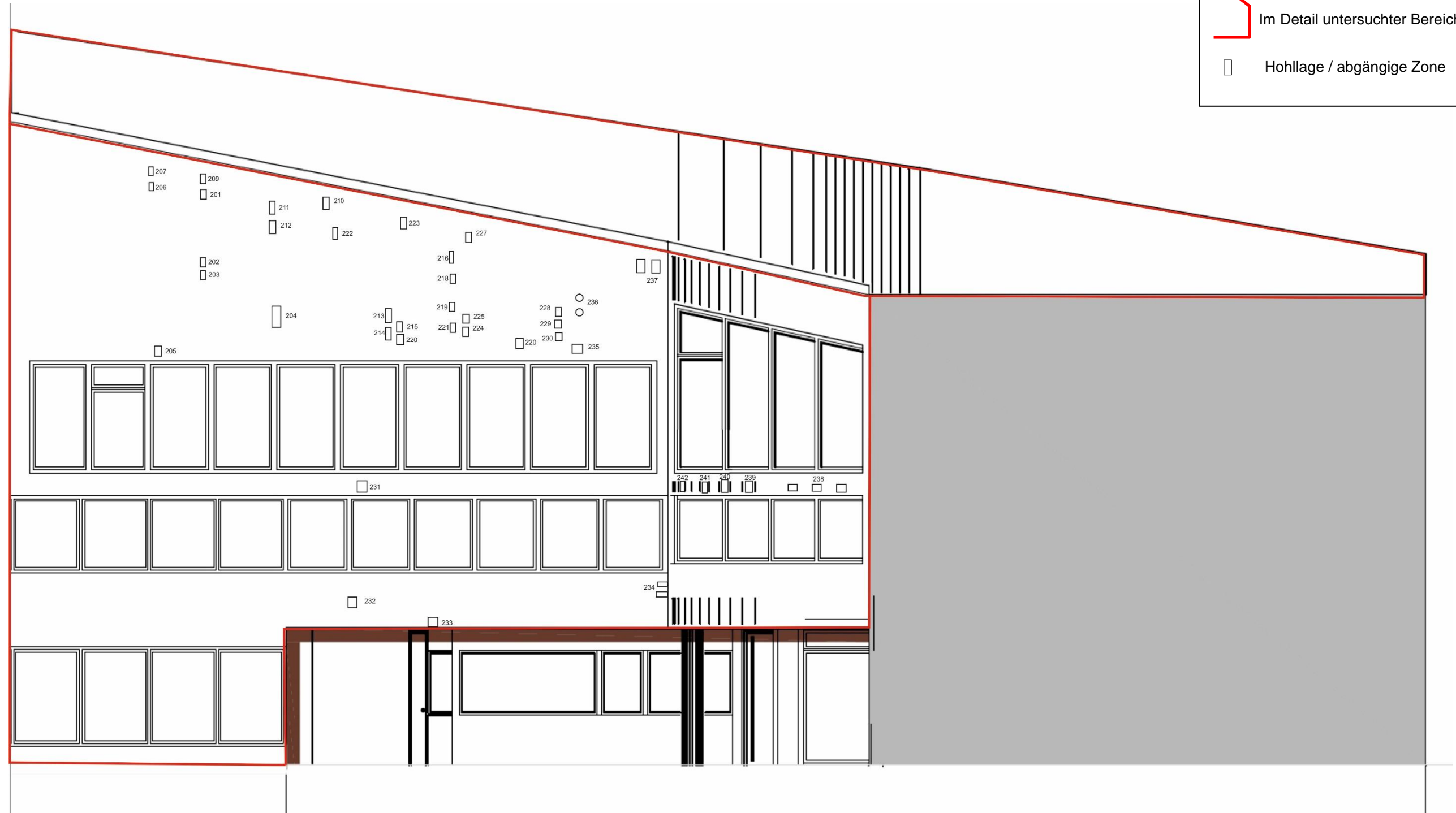


Abbildung A2d: Hohllagen oder bereits abgängige Querschnittsrandzonen über korrodierender Bewehrung an der Südfassade (Blankenberg), Teil 2
(Zeichungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

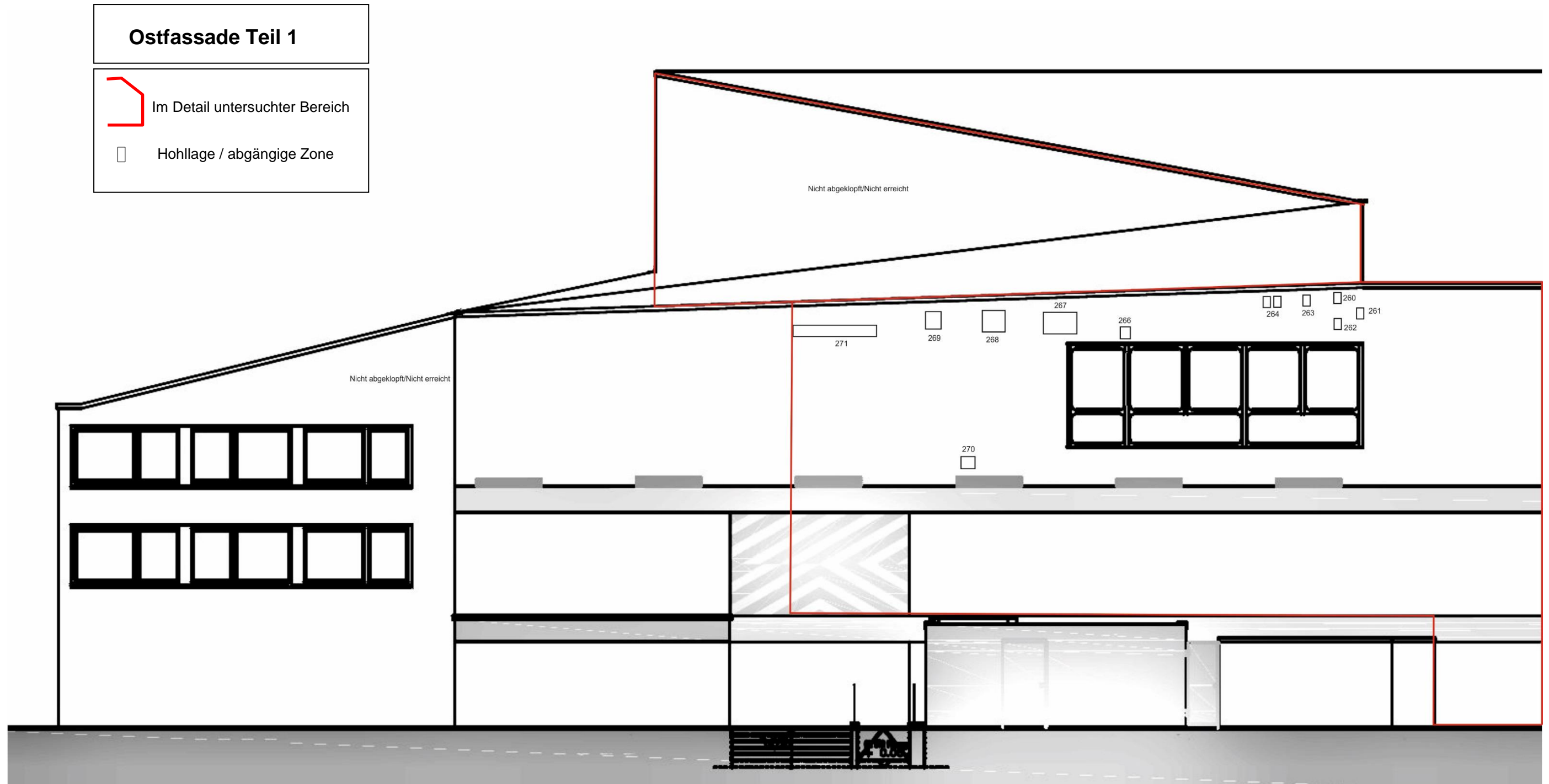


Abbildung A2e: Hohlräume oder bereits abgängige Querschnittsrandzonen über korrodierender Bewehrung an der Ostfassade (Adolfstraße), Teil 1
(Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

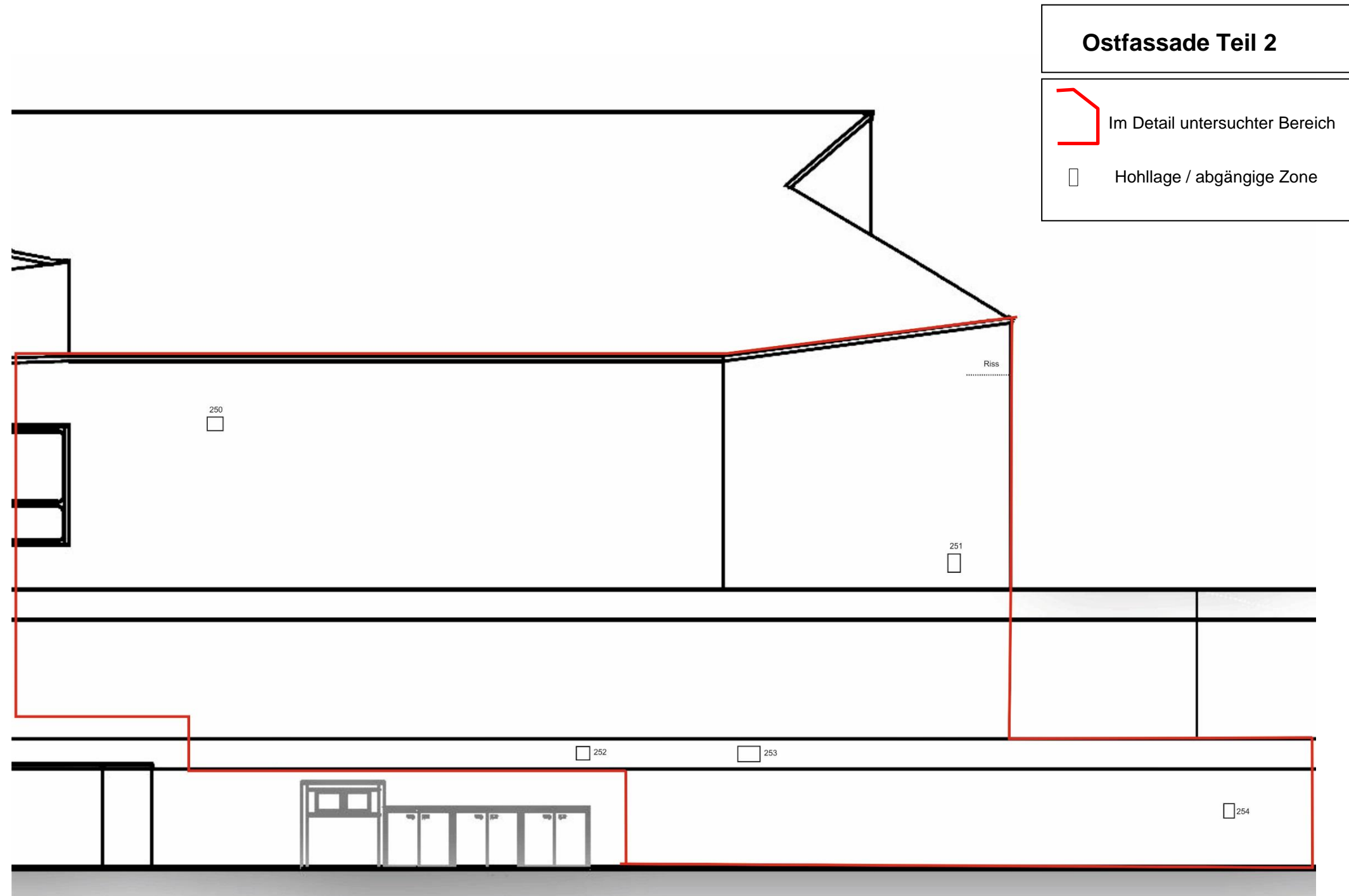


Abbildung A2f: Hohllagen oder bereits abgängige Querschnittsrandzonen über korrodierender Bewehrung an der Ostfassade (Adolfstraße), Teil 2
(Zeichnungsgrundlage: Zeichnung übergeben vom Architekturbüro Maier-Körner [1.3])

Tabelle A1a: Untersuchungsstellen und daraus gewonnene Erkenntnisse in **nicht geschädigten** Bereichen der Fassaden der Stadthalle

Untersuchungsstelle (gem. Abb. A1a bis A1f)	Orientierung bzw. Himmelsrichtung der Fassade bzw. Oberflächen- beschaffenheit	Karbonisierungstiefe [mm]	Freigelegte Bewehrung Stabdurchmesser d_s [mm] Betondeckung c [mm]	Korrosionszustand der Bewehrung
U1	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 4 bis 10	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 10$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U2	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 9 bis 12	1 Horizontalstab, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 21$ mm	Der Horizontalstab liegt in nicht depassiviertem Beton und ist vor Korrosion geschützt (leichte Oberflächenkorrosion).
U3	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 3 bis 8	1 Vertikalstab, gerippt d_s ca. 9 mm, $c = 17$ mm	Der Vertikalstab liegt in nicht depassiviertem Beton und ist vor Korrosion geschützt (leichte Oberflächenkorrosion).
U4	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 2 bis 5	1 Vertikalstab, gerippt d_s ca. 8 mm, $c = 13$ mm	Der Vertikalstab liegt in nicht depassiviertem Beton und ist vor Korrosion geschützt (leichte Oberflächenkorrosion).
U5	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 3 bis 6	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 6$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U6	Nordfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 9 bis 14	1 Vertikalstab, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 12$ mm	Der Vertikalstab liegt teilweise in nicht depassiviertem Beton und ist dort vor Korrosion geschützt. Der Stab weist auch in nicht mehr geschützten Bereichen keine signifikante Korrosion auf.
U7	Nordfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 3 bis 5	1 Vertikalstab, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 12$ mm	Der Vertikalstab liegt in nicht depassiviertem Beton und ist vor Korrosion geschützt (leichte Oberflächenkorrosion).
U8	Nordfassade, künstlerisch gestaltetes Fertigteil, Oberfläche der Grundplatte	größer als 15 mm	Keine Bewehrung freigelegt Zerstörungsfreie Messungen ergaben $c \approx 15$ mm	Die Grundplatte des Fertigteils mit einer Dicke von ca. 30 mm ist durchkarbonatisiert. Die Bewehrung in der Grundplatte ist nicht mehr vor Korrosion geschützt. Schäden (Abplatzungen) infolge korrodierender Bewehrung liegen nicht vor.
U9	Nordfassade, künstlerisch gestaltetes Fertigteil, Oberfläche der Grundplatte	größer als 15 mm	Keine Bewehrung freigelegt Zerstörungsfreie Messungen ergaben $c \approx 15$ mm	Die Grundplatte des Fertigteils mit einer Dicke von ca. 30 mm ist durchkarbonatisiert. Die Bewehrung in der Grundplatte ist nicht mehr vor Korrosion geschützt. Schäden (Abplatzungen) infolge korrodierender Bewehrung liegen nicht vor.
U10	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 13 bis 17	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 17$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U11	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 5 bis 8	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 8$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U12	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 5 bis 14	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 14$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U13	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 7 bis 15	Mit der Oberfläche bündig abschließendes Stabende.	Das Stabende liegt in einem Kiesnest. Es wurden keine Messwerte aufgenommen.
U14	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 9 bis 17	2 Vertikalstäbe, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 13$ mm (beide Stäbe)	Die Vertikalstäbe liegen teilweise in nicht depassiviertem Beton und sind dort vor Korrosion geschützt. Auch in den nicht mehr geschützten Bereichen weisen die Stäbe keine signifikante Korrosion auf.
U15	Südfassade (bzw. Ostfassade), Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 14 bis 22	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 22$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U16	Südfassade (bzw. Ostfassade), Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 5 bis 12	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 12$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.

Tabelle A1a (Fortsetzung): Untersuchungsstellen und daraus gewonnene Erkenntnisse in **nicht geschädigten** Bereichen der Fassaden der Stadthalle

Untersuchungsstelle (gem. Abb. A1a bis A1f)	Orientierung bzw. Himmelsrichtung der Fassade bzw. Oberflächen- beschaffenheit	Karbonatisierungstiefe [mm]	Freigelegte Bewehrung Stabdurchmesser d_s [mm] Betondeckung c [mm]	Korrosionszustand der Bewehrung
U17	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 12 bis 17	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 17$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U18	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 13 bis 14	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 14$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U19	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 10 bis 13	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 13$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U20	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 15 bis 28	Keine Bewehrung freigelegt ($c > 28$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U21	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 9 bis 11	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 11$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U22	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 3 bis 10	1 Vertikalstab, gerippt d_s ca. 5 mm, $c = 14$ mm	Der Vertikalstab liegt in nicht depassiviertem Beton und ist vor Korrosion geschützt (leichte Oberflächenkorrosion).
U23	Ostfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 12 bis 18	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 18$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U24	Ostfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 18 bis 21	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 21$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U25	Ostfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 19 bis 22	1 Vertikalstab, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 17$ mm	Der Vertikalstab liegt vollständig in depassiviertem Beton. Es liegt leichte Oberflä- chenkorrosion ohne Querschnittsabtrag vor.
U26	Ostfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 12 bis 18	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 18$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.
U28	Südostfassade (Dachbereich), ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 6 bis 12	Keine Bewehrung freigelegt ($c \gg 12$)	Bewehrung ist vor Korrosion geschützt.

Tabelle A1b: Untersuchungsstellen und daraus gewonnene Erkenntnisse in **geschädigten** Bereichen der Fassaden der Stadthalle

Untersuchungsstelle (gem. Abb. A1a bis A1f)	Orientierung bzw. Himmelsrichtung der Fassade bzw. Oberflächen- beschaffenheit	Karbonatisierungstiefe [mm]	Freigelegte Bewehrung Stabdurchmesser d_s [mm] Betondeckung c [mm]	Korrosionszustand der Bewehrung
S1	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 2 bis 6 im intakten Beton	1 Vertikalstab, gerippt $d_s = 7$ mm, $c = 3$ bis 7 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 7 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 7 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen.
S2	Nordfassade, Relieffertigteil, Oberfläche im Reliefbereich	ca. 4 bis 9 im intakten Beton	1 Stabende, gerippt $c = 2$ bis 10 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 10 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 10 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen.
S3	Nordfassade, künstlerisch gestaltetes Fertigteil, Oberfläche im Reliefbereich	nicht ermittelt	1 Stabende, gerippt	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit sehr geringen Betondeckungen. Aufgrund nicht gegebener Zugänglichkeit konnten keine Messungen der Betondeckung und der Karbonatisierungstiefe durchgeführt werden.
S4	Nordfassade, künstlerisch gestaltetes Fertigteil, Oberfläche im Reliefbereich	ca. 17 im intakten Beton	1 Stabende, gerippt $c = 2$ bis 6 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 6 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 6 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. Der Bewehrungsstab ist nicht mehr vor Korrosion geschützt.
S5	Nordfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 6 bis 13 im intakten Beton	1 Stabende, Vertikalstab, gerippt d_s ca. 20 mm, $c = 4$ bis 6 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 5 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 5 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen.
S6	Nordfassade, künstlerisch gestaltetes Fertigteil, Oberfläche im Reliefbereich	ca. 7 bis 10 im intakten Beton	1 Diagonalstab, gerippt $c < 6$ mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 6 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 6 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen.
Schadstelle neben U12	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 5 bis 14 im intakten Beton	1 Stabende, Vertikalstab, gerippt $d_s = 8$ mm, $c = 1$ bis 3 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 4 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 3 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. In Bereichen mit Betondeckungen größer als 7 mm liegt keine Korrosion mehr vor.
S7	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 10 bis 14 im intakten Beton	4 Vertikalstäbe, gerippt $c = 6$ bis 12 mm im Schadbereich	4 dicht beieinanderliegende Schadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 12 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 12 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen.
S8	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 3 bis 15 im intakten Beton	2 Vertikalstäbe, gerippt $c = 0$ bis 16 mm im Schadbereich	2 dicht beieinanderliegende Schadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 16 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 16 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. In Bereichen mit Betondeckungen größer als 17 mm liegt keine Korrosion mehr vor.
S9	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 4 bis 11 im intakten Beton	1 Horizontalstab, gerippt d_s ca. 9 mm, c bis 7 mm im Schadbereich	2 dicht beieinanderliegende Schadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 7 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 7 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. In Bereichen mit Betondeckungen größer als 9 mm liegt keine Korrosion mehr vor.
S10	Südfassade, Ortbetonoberfläche mit Schalbretttextur	ca. 2 bis 8 im intakten Beton	1 Horizontalstab, gerippt c bis 9 mm im Schadbereich	Schadstellen: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 9 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 9 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. In Bereichen mit Betondeckungen größer als 10 mm liegt keine Korrosion mehr vor.

Tabelle A1b (Fortsetzung): Untersuchungsstellen und daraus gewonnene Erkenntnisse in **geschädigten** Bereichen der Fassaden der Stadthalle

Untersuchungsstelle (gem. Abb. A1a bis A1f)	Orientierung bzw. Himmelsrichtung der Fassade bzw. Oberflächen- beschaffenheit	Karbonatisierungstiefe [mm]	Freigelegte Bewehrung Stabdurchmesser d_s [mm] Betondeckung c [mm]	Korrosionszustand der Bewehrung
S11 (mehrere Einzel- schadstellen)	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	nicht ermittelt	Mehrere Bewehrungsstäbe, nicht im Einzelnen aufgenommen, c bis 15 mm	Mehrere Einzelschadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 16 mm. Bei Überlagerungen von Ab- platzungen an dicht nebeneinander verlegten Bewehrungsstäben lagen Abplatzun- gen in Bereichen mit Betondeckungen bis 19 mm vor.
S12 (mehrere Einzel- schadstellen)	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	nicht ermittelt	Mehrere Bewehrungsstäbe, nicht im Einzelnen aufgenommen, $c = 3$ bis 16 mm	Mehrere Einzelschadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 17 mm.
S13	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 15 bis 22 im intakten Beton	2 Diagonalstäbe, gerippt $c = 0$ bis 14 mm im Schadbereich	2 dicht beieinanderliegende Schadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Be- wehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen kleiner als 15 mm (Abtrag der Rippen, Kernquerschnitt intakt). In Bereichen mit Betondeckungen größer als 15 mm keine Abplatzungen und keine signifikante Korrosion.
S14 (links)	Südfassade, ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	ca. 5 bis 8 im intakten Beton	1 Stabende, Vertikalstab, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 3$ bis 4 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen bis 5 mm (beginnender Abtrag der Rippen). In Bereichen mit Be- tondeckungen größer als 4 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. In Bereichen mit Betondeckungen größer als 8 mm liegt keine Korrosion mehr vor.
S14 (rechts)		ca. 3 bis 11 im intakten Beton	1 Stabende, Vertikalstab, gerippt d_s ca. 7 mm, $c = 0$ bis 7 mm im Schadbereich	Schadstelle: Abplatzung über korrodierendem Bewehrungsstab in Bereichen mit Betondeckungen bis 7 mm (beginnender Abtrag der Rippen). In Bereichen mit Be- tondeckungen größer als 7 mm Oberflächenkorrosion, jedoch keine Abplatzungen. In Bereichen mit Betondeckungen größer als 8 mm liegt keine Korrosion mehr vor.
S15 (mehrere Einzel- schadstellen)	Südostfassade (Dachbereich), ebene Fertigteiloberfläche mit Holztexturimitation	nicht ermittelt	Mehrere Bewehrungsstäbe, nicht im Einzelnen aufgenommen, c bis 12 mm	Mehrere Einzelschadstellen: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben in Bereichen mit Betondeckungen bis 12 mm.

Tabelle A2a: Messwerte der Betonüberdeckung der oberflächennahen Bewehrung.
 Hier: Ortbetonoberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größt-wert	Stand.-abw.	Mittelwert
	Einzelwerte (mm)																	
F01	V	57	53	53	52	52	51	49	45	37	35	33	32	29	21	57	12,2	40,6
		26	24	21														
F02	V	20	30	39	40	48	51	54	64	53	52	41	41	41	20	64	10,4	41,5
		44	37	37	34	30	33											
F03	V	16	33	42	48	52	56	61	55	48	46	41	38	33	16	61	12,0	43,8
F04	V	37	37	37	37	37	37	37	36	23	23	21	21	18	14	37	9,5	28,0
		17	16	14														
F05	V	29	33	39	30	35	32	31	33	30	27	33	32	32	21	39	4,3	30,6
		34	33	27	21	22	28											
F06	H	30	33	34	43	40	37	35							30	43	4,4	36,0
F07	H	26	26	26	36	26	32	38	34	44	42				26	44	6,9	33,0
F08	V	20	19	19	32	34	19	34	31	32	16	28	30	30	16	35	6,2	28,4
		26	33	31	33	35	31	34										
F09	H	36	35	28	30	29	29	29	25	22	41	20	17	21	17	41	6,7	27,6
		24																
F10	H	42	40	44	37	38	39	39	39	37	37	37			37	44	2,3	39,0
F11	V	18	19	32	31	32	35	26	33	25	34	26	34	25	18	35	4,6	27,7
		27	25	25	29	26	26	26	28									
F12	H	18	21	23	21	22	23	22	23	23	42	38			18	42	7,6	25,1
F13	H	36	36	36	36	35	34	36	35	34	32	37			32	37	1,4	35,2
F14	V	34	37	36	29	28	32	34	29	32	23	24	23	22	19	37	5,6	26,6
		24	21	24	19	24	21	21	22									
F15	H	21	21	36	32	26	26	30	33	26	34	36	36		21	36	5,6	29,8
F16	H	36	32	30	42	41	38	43	35	33	34	29	25		25	43	5,5	34,8
F17	V	14	25	28	24	24	24	26	33	30	29	24	24		14	33	4,7	25,4
F18	V	20	20	18	19	18	51	23	25	22	26	25	22	21	18	51	8,6	23,8
F19	V	16	20	14	21	22	13	19	23	21	22	20			13	23	3,4	19,2
F20	H	50	31	31	36	37	40	45	46	47	47	42	40	40	31	50	5,8	40,4
		37	37															
F21	H	32	35	37	42	43	43	41	40	40	40	40	37		32	43	3,3	39,2
F22	V	21	24	26	57	26	49	22	27	23	27	27	28	27	20	57	10,6	28,9
		20																
F23	V	24	24	22	27	28	27	22	27	28	27	15			15	28	3,9	24,6
F24	V	7	10	7	14	17	14	19	19	20	24				7	24	5,7	15,1
F25	H	30	37	26	23	31	30	34	34	35	37	39	48	45	23	48	7,4	37,4
		48	44	46	44	40	40											
F26	H	39	37	40	39	41	42	41	40	37	35	33	38	31	25	42	5,1	35,8
		33	29	25	28													
F27	H	41	40	38	32	36	36	36	34	32	33				32	41	3,2	35,8
F28	H	24	24	23	22	23	24	27	26	19	24	25	28		19	28	2,4	24,1
F29	V	26	24	25	27	28	28	30	30	30	30	31	33	28	24	33	2,6	29,1
		28	33	32	31													
F30	V	32	32	33	32	33	34	37	39	40	32	33	36	36	32	40	2,8	34,5
F31	H	36	37	36	36	31	42	40	38	36	37	32			31	42	3,1	36,5
F32	H	24	28	29	28	45	44	41	38	33	30				24	45	7,5	34,0
F33	H	34	32	30	29	29	30								29	34	2,0	30,7
F34	H	49	48	46	43	40	38	35	34	35	39	41			34	49	5,3	40,7
F35	V	17	17	25	15	14	25	19	19	18	18	24	17	20	14	27	3,9	20,2
		21	24	14	27	23	21	26	18	23								
F36	H	21	22	22	18	24	26								18	26	2,7	22,2
F37	H	35	35	22	32	33	33	34	31	31	33	33			22	35	3,6	32,0
F38	V	29	33	33	31	30	32	33	37	38	29	31	31	30	24	38	3,9	30,4
		26	25	25	24													
F39	H	26	27	29	57	47	45	44	41	38	37	36			26	57	9,4	38,8
F40	H	34	34	33	60	51	48	43	45	43	41	38			33	60	8,2	42,7

Tabelle A2a (Fortsetzung): Messwerte der Betonberdeckung der oberflächennahen Bewehrung. Hier: Ortbetonoberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)															Kleinstwert	Größt- wert	Stand.- abw.	Mittelwert
	Einzelwerte (mm)																		
F41	V	31	34	33	32	34	35	22	31	31	35	32	34	45	22	45	4,5	33,7	
		31	37	36	36	38													
F42	V	20	28	29	30	31	32	36	37	40	41	39			20	41	6,3	33,0	
F43	V	45	21	25	30	32	31	30	31	31	31	30	29		21	45	5,5	30,5	
F44	V	16	14	23	14	16	14	12	12	8	6	13			6	23	4,4	13,5	
F45	H	37	29	27	31	40	36	45	40	42	45	51	54	59	27	59	9,7	43,6	
		56	55	44	50														
F46	H	33	26	28	23	24	29	14	35	40	42	46	51	45	14	57	12,7	40,0	
		57	49	52	53	57	51	44											
F47	V	12	10	14	16	11	19	21	20	17					10	21	4,0	15,6	
F48	H	32	33	33	29	32	29	30	29	31	30	29			29	33	1,6	30,6	
F49	H	39	34	30	15	19	28	32	38	51	35	42	43	41	15	59	11,5	36,1	
		59																	
F50	V	32	29	30	29	31	26	25	27	28	29	31	32	38	25	40	4,5	31,0	
		38	40																
F51	H	43	40	38	35	35	31	26	22	26	28	28	38	34	22	43	6,3	32,6	
F52	H	54	49	42	44	43	39	37	32	38	44	65			32	65	9,1	44,3	
F53	V	17	19	25	23	21	18	16	34	29	31	32	31	31	16	34	6,4	26,7	
		31	34	33	29														
F67	V	32	26	25	30										11	51	10,4	30,4	
		15	38	33	24	40	40	38	51	38	35	11	19	22					
F68	V	35	11	10	38	7									7	39	10,3	30,7	
		33	39	39	39	36	37	35	36	32	33	31	35	27					
F69	V	32	24	30	29										24	32	3,4	28,8	
F70	H	49	48	48	51	51	49	26	12	26	25	53	54		12	54	14,4	41,0	
F71	H	55	59	57	58	71	60	69	58	33	61				33	71	10,2	58,1	
F72	V	33	29	29	30	40	42	43	44	42	34	30	41	35	29	44	5,6	36,4	
		37																	
F73	H	45	32	43	57	49	48	48	29	32					29	57	9,5	42,6	
F74	H	54	38	51	49	85	54	54	34						34	85	15,3	52,4	
F75	V	42	34	30	41	35	39	52	32	34	46	39	34	44	27	52	5,9	37,2	
		33	39	41	33	36	39	32	27										
F76	H	38	36	45	55	52	53	53	50	52	49	52	27	48	27	55	8,3	46,9	
U2	H	21													-	-	-	-	
U3	V	17													-	-	-	-	
U4	V	13													-	-	-	-	

Tabelle A2b: Messwerte der Betonüberdeckung der oberflächennahen Bewehrung.
 Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)																Kleinstwert	Größt-wert	Stand.-abw.	Mittelwert
		Einzelwerte (mm)																		
F54	V	15	16	15	14	13	13	38	14	14	12					12	38	7,7	16,4	
F55	V	16	15	13	11	12	26	8	11	26	12	13	38	15		8	38	8,4	16,4	
F56	H	20	22	39	20	40	15	15	12	12	11	14	14	13		11	40	9,1	17,8	
F57	V	13	16	14	24	13	13	13	29	13	32	13	34	13		13	34	7,7	19,0	
F58	H	17	18	19	23	20	20	19	17	27	17	29	17	30		17	30	4,7	21,0	
F59	V	15	13	13	13	12	36	12	14	15	15	17				12	36	6,8	15,9	
F60	H	18	18	18	18	17	16	15	15	16						15	18	1,3	16,8	
F61	V	13	12	12	12	10	11	12	12	15						10	15	1,4	12,1	
F62	H	20	18	17	16	15	18	19	18	19	19	19	20			15	20	1,5	18,2	
U6	V	12														-	-	-	-	
U7	V	12														-	-	-	-	

Tabelle A2c: Messwerte der Betonüberdeckung der oberflächennahen Bewehrung.
 Hier: Künstlerisch gestaltete Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)																Kleinstwert	Größt-wert	Stand.-abw.	Mittelwert
		Einzelwerte (mm)																		
F63	D	43	59	22	68	69										22	69	19,8	52,2	
F64	D	33	29	56	37	25	36									25	56	10,8	36,0	
F65	D	25	33	29	46	34	30									25	46	7,2	32,8	
F66	D	34	50	36	43											34	50	7,3	40,8	

Tabelle A2d: Messwerte der Betonüberdeckung der oberflächennahen Bewehrung.
 Hier: Ortbetonoberflächen der Südfassade (Blankenberg)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größt- wert	Stand.- abw.	Mittelwert	
	Einzelwerte (mm)																		
F77	V	26 27	29 28													19	35	4,1	26,1
F78	V	27	27	29	25	26	27	27	26	23						23	47	6,6	32,5
F79	H	37 28	33 32	37 38	38 32	30 37	42 32	37 38	47 34	37 36	31 31	31 43	35			28	38	3,4	33,8
F80	V	23	27	26	30	26	24	30	35	31	36	26	31			23	36	4	29
F81	V	31	37	36	35	35	34	32								31	37	2	34
F82	H	20 37	39 42	40 47	41 51	42 70	43 46	43 61	45 51	38 62	33 63	31 60	35 52	36 47		20	70	11,3	45,2
F83	V	40 35	47 34	47 36	44 30	54 39	46	50	43	28	35	26	34	34		26	54	7,9	39,0
F84	V	19	28	27	27	27	28	30	31	21	21	22	22			19	31	4	25
F85	V	29	31	37	35	36	34	46	34	33	31					29	46	5	35
F86	V	32 40	22 34	31 39	30 38	37 38	27 39	10 36	30 36	32 35	48 40	39 42	37 48	40 46	17 44	10	48	7,9	35,8
F87	V	37 14 54 48	35 31 54 42	33 23 53 40	38 33 66 34	39 32 61 22	24 27 67 61	25 35 61 55	26 43 53 53	29 68 51 51	30 50 51 49	20 51 49 47	31 64 44			14	68	14,1	41,5
F88	H	28	31	30	30	38	37	32	28	29	32	33	35			28	38	3	32
F89	H	41	46	50	52	54	51	49	45	41	36	25				25	54	8	45
F90	H	40	45	48	49	49	45	43	37	40	41	42	42			37	49	4	43
F91	V	14 33	25 28	19 20	17 27	22	22	24	34	24	24	22	32	40		14	40	6,7	25,1
F92	V	47	16	27	29	29	32	31	34	36						16	47	8	31
F93	H	35	36	40	36	35	21	28	8							8	40	11	30
F94	H	38	61	42	38	44	41	35	28	26						26	61	10	39
F95	H	47	43	43	43	36	29	15								15	47	11	37
F96	V	27 39	31 39	38 28	31 33	36 32	33 27	30 34	35 33	46 39	38	44	37	33		27	46	5,0	34,7
F97	H	58 23	55 29	65	47	41	38	33	29	28	22	23	23	27		22	65	14,1	36,1
F98	V	23	23	23	23	24	25	25	23	22	22	38				22	38	5	25
F99	V	21	23	25	26	28	28	27	28	27	28	27				21	28	2	26
F100	H	35 31	35 32	28	29	31	34	34	35	33	34	30	29	30		28	35	2,4	32,0
F101	H	22 41 28	30 38 29	21 39 30	31 35 32	25 32 37	33 28 42	39 30 43	33 18 50	38 26 62	39 18 42	37 27 42	44 20 42	40 27		18	62	9,2	33,5
F102	V	41 16 18 31	18 16 17 31	21 17 20 9	23 17 33	24 20 28	28 23 28	28 26 28	31 26 27	30 26 30	30 27 24	27 27 24	24 25 24	21 22 27	39	9	41	6,2	24,9
F103	H	35 27	20 18	34 34	18 33	30 22	19 32	21 20	22 22	32 14	20 26	31 25	18 37	18 24		14	37	6,7	25,1
F104	V	16 32	36 23	31 27	26 33	17 17	22 21	18 26	20 34	22 34	21 37	22 39	22 15	25		15	39	7,2	25,4
F105	V	57 49	31 39	46 54	34 44	38	41	31	44	34	36	35	30	40		30	57	8,0	40,2
F106	V	52	34	62	39	48	51	15	28	46	6	15				6	62	18	36
F107	H	36 39 29	24 57 34	32 52 37	44 47 37	37 43 33	50 38 35	38 35 34	51 38 31	37 35 29	37 35 31	45 30 28	28 33 28	45		24	57	7,8	36,8

Tabelle A2d (Fortsetzung): Messwerte der Betonberdeckung der oberflächennahen Bewehrung. Hier: Ortbetonoberflächen der Südfassade (Blankenberg)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größt- wert	Stand.- abw.	Mittelwert
	Einzelwerte (mm)																	
F108	V	34	44	43	43	39	41	39	39	38	38	40	31	45	30	47	5,0	37,4
		41	30	45	33	31	31	32	33	33	32	33	39	46				
		42	38	41	37	37	32	30	40	33	34	38	34	37				
F109	H	28	28	30	38	31	28	32	38	40	38	39	29	28	25	40	5,2	31,9
		25	27															
F110	H	31	30	28	30	29	29	31	32	29	24	22			22	32	3	29
F111	H	37	38	38	38	38	37	35	29	25	20	15			15	38	8	32
F112	H	39	28	36	33	35	34	35	34	35	35	36	35	31	15	39	7,2	29,2
		26	22	23	19	18	15	21	24									
F113	V	21	24	18	15	12	8	7	8	10	12				7	24	6	14
F114	V	15	18	25	16	15	14	12	9	7	8	10	9	10	7	33	6,0	16,4
		12	14	22	11	25	13	28	15	33	17	15	17	17				
		17	16	15	16	19	21	21	27									
F115	V	22	23	23	22	17	16	17	19	19	19	18	21	36	16	42	5,7	22,8
		20	32	19	31	18	29	21	20	20	20	18	16	18				
		22	24	25	26	33	26	24	21	19	20	22	19	18				
F116	H	34	32	27	32	23	18	16	10	26	19				10	34	8	24
		35	33	29	25	22	20	20	21	37								
F117	H	35	33	29	25	22	20	20	21	37					20	37	7	27
F118	H	23	21	25	25	26	30	33	35	28					21	35	5	27
F119	H	25	24	22	22	23	22	26	28	34					22	34	4	25
F120	V	35	43	47	49	46	44	45	44	44	41	39	46	47	33	60	5,4	43,2
		45	40	47	40	38	37	36	35	33	33	39	41	41				
		42	60	50	50	49	48	47	45	45	46	41	45	41				
F121	H	38	38	46	51	49	44	30	14	32	40	51	55	55	14	55	11,2	42,9
		52	48															
F122	H	48	49	57	59	54	51	44	34	16	25	33	40	45	16	59	11,6	43,6
		47	48	48														
F123	H	37	41	60	61	58	46	52	33	46	54	64	63	60	33	64	9,6	52,1
		55	51															
F124	V	26	26	24	23	23	21	24	24	23	25	32	31	29	21	32	3,2	25,6
		27																
F125	V	17	17	18	17	16	17	16	17	16	16	24	23	22	16	24	2,8	18,5
		21	21															
F126	H	30	34	27	26	27	36	25	27	26	25	24	22	22	7	46	7,8	28,3
		22	22	24	27	31	31	32	31	30	29	19	14	17				
		20	23	20	22	23	24	24	24	25	26	7	13	22				
		31	40	40	41	40	39	38	27	35	35	34	33	33				
F127	V	32	32	31	16	28	25	25	26	26	28	25	25	24	13	32	4,8	24,8
		13	22	24	23	25	21											
F128	V	36	35	34	34	33	27	23	27	27	26	27	22	31	22	36	4,5	29,4
		30																
F129	V	16	16	17	19	19	18	16	16	24	13	22	11	22	11	24	3,5	17,0
		12	18	14	16													
F130	V	19	19	21	22	22	20	37	21	21	21	19	30	29	19	37	5,5	23,9
		28	30															
F131	V	19	20	19	37	17	34	17	34	17	34	17	34	18	17	37	7,7	26,4
		34	19	32	29	29	28	37	29									
F132	V	29	28	28	26	27	25	24	24	34	34	34	32	32	24	34	3,7	29,1
		31																
F146	V	27	11	20	22	16	18	18	21	30	29	30	27	23	11	32	6,2	23,1
		32																
F147	H	88	61	52	52	33	46	34	35	25					25	88	19	47
F148	H	88	72	66	72	56	42	35	32	38					32	88	20	56

Tabelle A2d (Fortsetzung): Messwerte der Betonberdeckung der oberflächennahen Bewehrung. Hier: Ortbetonoberflächen der Südfassade (Blankenberg)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größtwert	Stand-abw.	Mittelwert
	Einzelwerte (mm)																	
F174	V	49	49	56	52	54	47	50	56	48	48	52	52	50	35	56	5,9	48,0
		43	37	44	35	42												
F175	H	29	46	66											29	66	19	47
F176	H	27	49	55	40										27	55	12	43
F177	V	45	43	33	37	42	41	38	40	39	35	41	30	41	30	50	5,0	40,5
		39	39	40	47	49	50											
F178	H	53	69	60											53	69	8	61
F179	H	36	59	54											36	59	12	50
F180	V	26	27	25	27	27	29	26	29	28	30	31	30	29	25	42	5,6	32,0
		33	36	28	42	35	39	39	42	39	40							
F181	H	40	38	44	42	26									26	44	7	38
F182	H	46	62	63	52										46	63	8	56
F183	V	21	24	24	19	26	19	25	24	25	23	25	26	26	19	30	2,7	25,3
		26	25	28	28	25	25	27	29	25	29	28	27	30				
F184	H	49	44	39	40	22									22	49	10	39
F185	H	39	39	35	34	32									32	39	3	36
F186	V	21	16	21	14	22	23	28	34	37	28	35	42	24	14	42	8,0	25,9
		23	21															
F187	H	47	59	50	50	46	44	49							44	59	5	49
F188	H	53	41	53	36	30	38	38	40	41					30	53	8	41
F189	V	32	35	34	34	34	34	33	28	28	29	29	27	31	27	35	3	31
F190	H	36	42	40	42	39	33	31	22	25					22	42	7	34
F191	H	40	55	51	48	45	44	45	31						31	55	7	45
F192	V	26	23	44	47	38	30	32	29	26	11	38	24	23	11	53	11,8	30,4
		17	19	20	48	53												
F193	H	39	41	53	51										39	53	7	46
F194	H	31	42	34	38										31	42	5	36
F195	V	18	22	22	20	23	10	17	12	14	15	19	15	14	10	23	3,9	16,8
		11	16	17	22	15												
F196	H	20	19	20	38	25	26	22							19	38	7	24
F197	H	27	16	20	26	74	20								16	74	22	31
F198	V	41	35	29	47	34	32	30	27	22	20	31	32	36	20	47	6,8	31,5
		27	29															
F199	H	19	42	45	47	50	31								19	50	12	39
F200	V	24	25	17	20	21	19	22	23	23	33	44	31	57	17	57	11	28
F201	H	44	20	41	34	47	42	28	40						20	47	9	37
F202	V	37	37	30	32	36	32	25	31	28	30	31	29		25	37	4	32
F203	H	49	19	47	63	66	54	24	39						19	66	17	45
U14	V	13													-	-	-	-
U22	V	14													-	-	-	-

Tabelle A2e (Fortsetzung): Messwerte der Betonberdeckung der oberflächennahen Bewehrung. Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Südfassade (Blankenberg)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größt-wert	Stand.-abw.	Mittelwert
	Einzelwerte (mm)																	
F161	H	33	23	32	33	31	30	60	30	29	32	28	24	25	16	60	8,9	26,8
		24	20	40	20	17	27	19	16	32	20	16	29	39				
		22	19	31	21	16	23	20	24	21	22	18	41	38				
F162	V	24	29	26	20	18	21	25	19	26	17	23	13	19	11	29	5,0	20,9
		28	17	11	27	19	23	16	17									
F163	V	22	28	27	31	14	17	18	29	16	26	15	25	14	11	31	5,5	20,1
		23	22	23	19	20	18	20	14	17	11	13						
F164	V	23	25	35	15	20	21	24	32	20	30	17	28	30	12	35	6,2	22,7
		26	27	24	25	24	14	17	12	15	17							
F165	V	22	19	25	30	14	22	25	30	36	26	29	37	28	14	37	6,4	25,3
		21	34	25	23	16	19											
F166	V	20	21	16	16	18	19	29	18	21	36	26	35	26	15	36	6,5	21,9
		32	16	15	19	17	19	19										
F167	V	14	15	14	12	22	20	26	23	22	28	22	28	17	12	28	4,9	21,0
		25	25	17	22	23	24											
F168	V	17	19	20	19	21	23	29	24	23	30	20	25	15	15	30	4,1	21,9
		17	21	29	20	23	22											
F169	H	27	25	26	26	27	27	29	31	35	30	43	39	29	23	44	5,6	30,4
		37	31	42	29	27	26	39	27	33	30	32	27	27				
		44	25	23	24	26	28	29	28	31	36	37	23					
F170	V	16	17	17	16	23	18	31	25	10	10	10	11	15	10	39	9,3	20,8
		14	39	37	34	28	24											
F171	V	14	13	15	16	12	30	23	19	11	13	14	14	19	11	30	6,4	18,8
		18	24	27	28	29												
F172	V	19	19	19	18	14	30	16	14	22	12	15	15	11	9	45	8,7	19,7
		9	22	45	29	14	17	33										
F173	H	47	23	24	22	20	17	22	19	17	64	17	57	22	17	64	14,5	28,4
		25	29	29														
F243	V	34	31	28	26	27	32	44	31	31	32	27	24	20	9	62	10,7	27,7
		28	28	24	39	44	39	34	31	54	48	44	40	27				
		31	32	33	28	33	36	31	17	18	20	21	22	24				
		26	33	35	14	16	14	14	12	14	58	57	56	36				
		21	21	11	15	19	29	32	27	15	12	16	11	22				
		9	12	28	42	27	27	29	14	17	30	37	43	17				
		23	24	24	25	28	31	37	62	18	16	12	14	26				
		34	44	22	17	18	20	24	27	38	44	49	20	38				
		30	23	27	17	29	35	12	19	28	17	27	33	37				
		40	37	37	40	22	30	25	25	25	27	31	34	50				
F244	H	36	36	36	35	35	33	29	72	24				24	72	13,6	37,3	
		15	16	23	27	32	40	17	26									
F245	H	43	23	38	24	51	23	41	23	42	23	40	20	39	19	51	10,8	32,1
		19																
F246	H	35	38	68	36	39	42	42						35	68	11,4	42,9	
U22	V	14												-	-	-	-	

Tabelle A2f: Messwerte der Betonüberdeckung der oberflächennahen Bewehrung.
 Hier: Ortbetonoberflächen der Ostfassade (Adolfstraße)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größt- wert	Stand- abw.	Mittel- wert
	Einzelwerte (mm)																	
F1	V	15	19	23	23	23	21	19	16	37	35	36	27	26	15	46	7,1	30,1
		27	28	21	32	30	29	28	26	27	25	24	25	20				
		36	37	32	46	36	34	35	34	33	31	33	33	32				
		32	34	34	36	38	39	43	30	44								
F2	V	7	11	13	10	8	6	6	8	48	55	37	32	25	6	55	12,7	34,6
		31	29	30	39	39	40	40	39	38	37	40	38	40				
		42	47	45	33	40	39	36	38	39	40	40	43	44				
		42	40	41	41	43	43	41	44	47	43							
F3	H	35	21	16	11	12	9	12	13	15	19	27	24	9	35	7,7	17,8	
F4	H	33	22	27	28	29	29	29	28	28	26	25	25	24	22	33	2,8	26,9
F5	H	21	25	28	29	29	28	26	23	20	18	18	18	18	29	4,5	23,6	
F6	H	26	29	31	32	33	33	33	33	32	31	29	28	28	26	33	2,4	30,6
F7	H	21	25	28	31	32	32	31	31	29	28	27	26	25	21	32	3,3	27,9
F204	V	27	30	31	27	22	28	32	27	22	21	31	21	24	21	32	3,8	25,8
		21	22	23	26	28	27	30	21									
F205	V	21	20	23	25	20	21	25	27	24	26	27	28	31	20	34	4,2	26,0
		32	34	29	29													
F206	V	50	52	53	47	46	50	50	46	48	49	50	50	53	46	55	2,6	50,2
		55	53	51														
F207	V	36	37	37	37	27	26	29	31	30	32	37	39	42	26	49	6,5	35,8
		46	49	37														
F208	H	28	28	28	29	30	28	28	35	37	38	39	41	57	28	57	7,8	35,2
		55	45	44	39	36	34	32	31	30	37	31	32	30				
		29																
F209	V	20	20	20	19	18	17	18	18	18	19	21	18	18	17	25	2,4	19,5
		18	25	25														
F210	V	27	25	25	25	24	24	23	24	23	23	24	24	21	9	27	4,1	22,6
		21	19	9														
F211	V	29	28	28	29	27	26	26	26	25	24	26	27	25	24	32	2,4	27,1
		25	25	32	32													
F212	V	46	48	45	42	38	44	44	42	39	38	38	40	42	38	48	3,3	41,4
		40	38	38														
F213	V	19	21	26	24	26	26	26	28	26	23	21	22	20	15	28	3,9	22,2
		20	17	17	15													
F214	V	21	13	26	20	25	20	28	35	29	31	28	25	25	13	35	4,9	23,8
		26	25	23	23	23	26	22	25	20	15	18						
F215	H	45	44	47	41	37	37	35	36	38	41	39	41	44	10	51	9,5	32,9
		46	49	51	36	32	28	32	32	19	34	35	35	10				
		31	31	26	23	22	25	22	27	24	23	22	22	23				
F216	V	25	27	29	31	29	35	39	29	31	38	25	33	24	17	39	5,7	28,2
		27	23	17	23	22												
F217	V	29	27	26	30	29	28	38	16	30	28	28	27	25	16	38	4,3	27,8
		26	27	31														
F218	V	38	33	31	31	23	21	19	16	17	20	28	25	24	16	38	6,5	25,0
		24																
F219	V	25	26	32	31	31	29	33	33	32	32	28	26	25	25	33	3,1	29,5
F220	V	23	26	25	25	24	31	30	29	30	32	32	32	32	23	32	3,2	28,3
		28	26															
F221	V	16	12	14	15	18	14	32	14	27	15	36	35	34	12	44	11,1	26,0
		35	29	35	43	44												
F222	V	22	23	21	23	23	23	24	23	24	24	26	26	28	21	54	9,1	28,2
		54	38	21	31	47	34											
F223	V	29	30	30	31	25	29	29	29	27	28	31	31	31	25	55	8,5	34,7
		55	45	47	37	36	48	45										

Tabelle A2f (Fortsetzung): Messwerte der Betonberdeckung der oberflächennahen Bewehrung. Hier: Ortbetonoberflächen der Ostfassade (Adolfstraße)

Lage des Prüfbereichs	Betondeckung der Bewehrung (mm) (V=Vertikalstäbe, H=Horizontalstäbe)														Kleinstwert	Größt-wert	Stand.-abw.	Mittelwert
	Einzelwerte (mm)																	
F224	V	45	46	45	46	43	44	43	42	41	40	39	37	38	35	54	4,6	41,7
		38	37	54	41	45	35	35										
F225	V	65	63	61	61	56	56	54	51	52	50	45	37	42	15	65	16,3	44,1
		41	15	17	23	27	21											
F226	H	63	66	75	50	31	61	57	58	60	60	57	53	53	14	75	13,0	40,8
		51	50	51	45	43	47	48	43	41	42	40	39	30				
		20	19	14	27	15	21	26	30	32	33	34	33	32				
		33	34	36	35	38	37	39	57	44	35	36	44	32				
		33	35	39	38	37	35											
F227	V	26	22	22	18	24	19	19	19	13	24	24	22	22	13	32	4,3	22,8
		20	32	26	23	25	30	26										
F228	V	24	24	22	23	22	23	20	32	32	33	33	33	34	20	34	5,1	28,4
		32	33	31	32													
F229	V	32	31	34	34	32	34	44	23	39	39	37	34	33	23	44	4,7	33,8
		34	30	30														
F230	V	22	22	20	22	22	19	18	28	28	38	27	25	24	18	38	4,6	24,2
		24	26	22	24													
F231	V	22	23	24	24	24	23	24	23	20	21	29	28	27	20	29	2,4	23,9
		26	22	23	24													
F232	V	61	62	65	79	80	81	80	82	75	77	79	73	73	61	82	6,7	74,1
		68	79	75	71													
F233	V	41	43	42	44	39	40	44	51	51	53	46	49	43	37	53	4,4	44,1
		43	38	44	37	44	46											
F234	V	54	54	57	54	56	56	57	55	51	59	62	53	56	44	62	4,9	52,3
		55	55	51	52	44	49	45	48	50	46	44	45					
F235	V	47	49	52	60	61	62	63	59	61	60	57	53	53	47	63	5,3	56,7
F236	H	53	51	48	64	39	81	76	75	25	71	73	70	86	21	86	16,9	45,9
		41	42	41	42	41	40	46	49	56	59	65	73	69				
		75	55	50	46	40	36	32	29	27	29	29	29	29				
		31	34	34	36	55	47	43	39	36	44	40	41	31				
		27	21	23	26	27												
F237	V	41	27	43	20	29	5	22	46	46	40	33	23	33	5	46	12,2	28,8
		18	13	22														
F238	V	36	39	38	43	39	37	36	36	36	34	31	35	33	31	43	2,8	36,1
		34	35	35														
F239	V	29	34	34	40	41	42	40	40	42	39	35	40	38	18	42	6,6	35,9
		36	26	18														
F240	V	23	23	22	36	21	36	21	21	27	40	25	28	25	19	40	6,1	25,8
		26	25	20	19													
F241	V	41	39	39	35	34	35	34	32	33	38	37	36	34	32	41	2,5	35,6
		34	34	34	36													
F242	H	29	30	30	29	43	27	20	22	22	17	24	36	37	17	50	7,4	32,4
		37	36	36	37	36	34	33	31	30	30	30	30	30				
		33	45	50	33	46												
U01	V	10													-	-	-	-
U25	V	17													-	-	-	-

Tabelle A3a: Messwerte der Karbonatisierungstiefe des Betons an den Erkundungsstellen. Hier: Ortbetonoberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Karbonatisierungstiefe (mm)															
	Einzelwerte (mm)											Kleinstwert	Größt- wert	Stand.- abw.	Mittel- wert	
U1	9	4	10	9	5	9	9	6					4	10	2,3	7,6
U2	11	12	12	10	10	10	10	9					9	12	1,1	10,5
U3	7	5	8	5	7	6	6	8	5	3			3	8	1,5	6,0
	6															
U4	4	5	3	3	5	2	4	3					2	5	1,1	3,6
U5	6	3	4	5	4	5	6	3	6	6			3	6	1,1	4,7
	4	4	5													
U10	17	18	13	15	17								13	18	2,0	16,0
U11	5	5	8	5	5	7	8	5	5				5	8	1,4	5,9
S1	3	3	3	2	2	6	3						2	6	1,3	3,1
S5	12	9	10	13	12	6	12						6	13	2,4	10,6

Tabelle A3b: Messwerte der Karbonatisierungstiefe des Betons an den Erkundungsstellen. Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Karbonatisierungstiefe (mm)															
	Einzelwerte (mm)											Kleinstwert	Größt- wert	Stand.- abw.	Mittel- wert	
U6	14	9	12	14	10	13							9	14	2,1	12,0
U7	5	3	5	3	5	5	5	3	3	4			3	5	1,0	4,1

Tabelle A3c: Messwerte der Karbonatisierungstiefe des Betons an den Erkundungsstellen. Hier: Künstlerisch gestaltete Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

Lage des Prüfbereichs	Karbonatisierungstiefe (mm)															
	Einzelwerte (mm)											Kleinstwert	Größt- wert	Stand.- abw.	Mittel- wert	
S2	7	6	9	7	4	7							4	9	1,6	6,7
S6	8	10	7	8	7								7	10	1,2	8,0

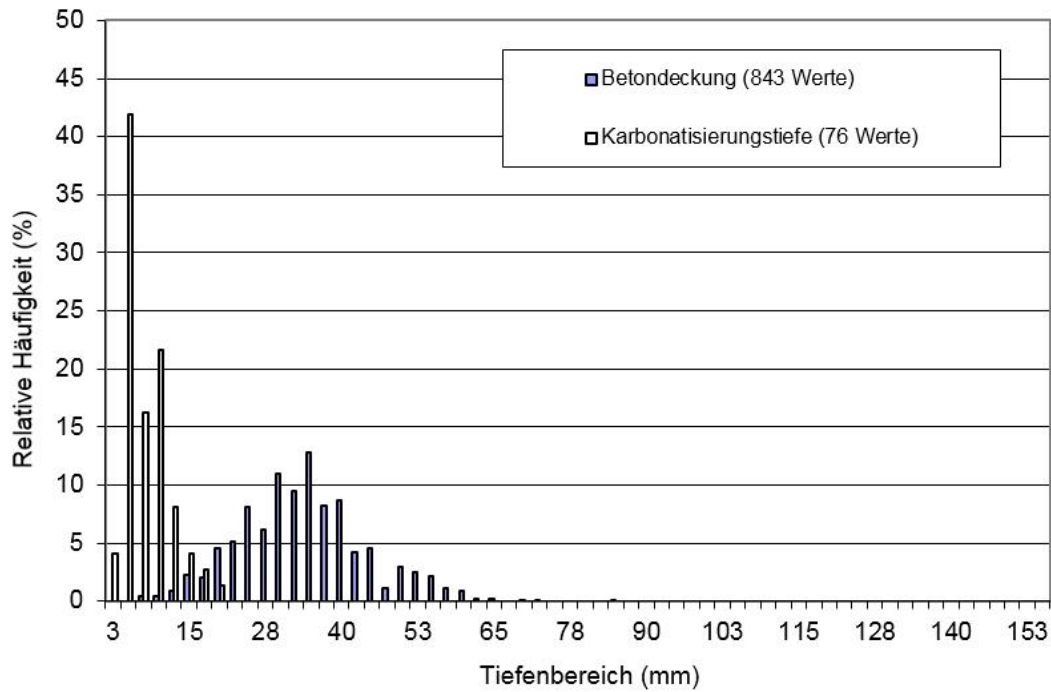


Abbildung A3a: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Daten zur Betondeckung der Bewehrung und zur Karbonatisierungstiefe des Betons
 Hier: Ortbetonoberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

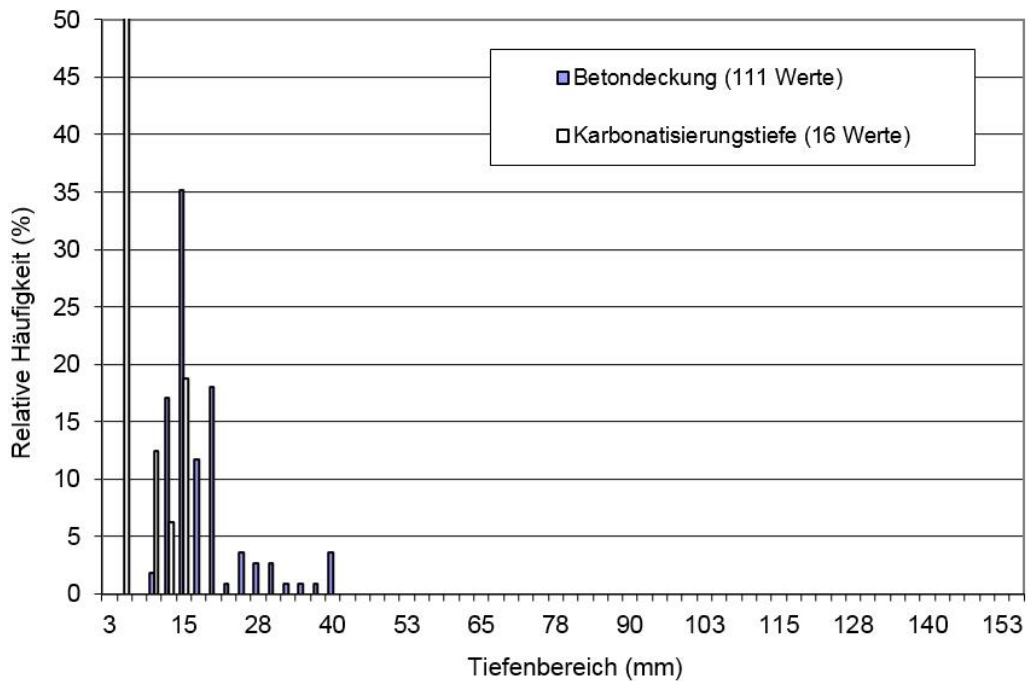


Abbildung A3b: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Daten zur Betondeckung der Bewehrung und zur Karbonatisierungstiefe des Betons
 Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

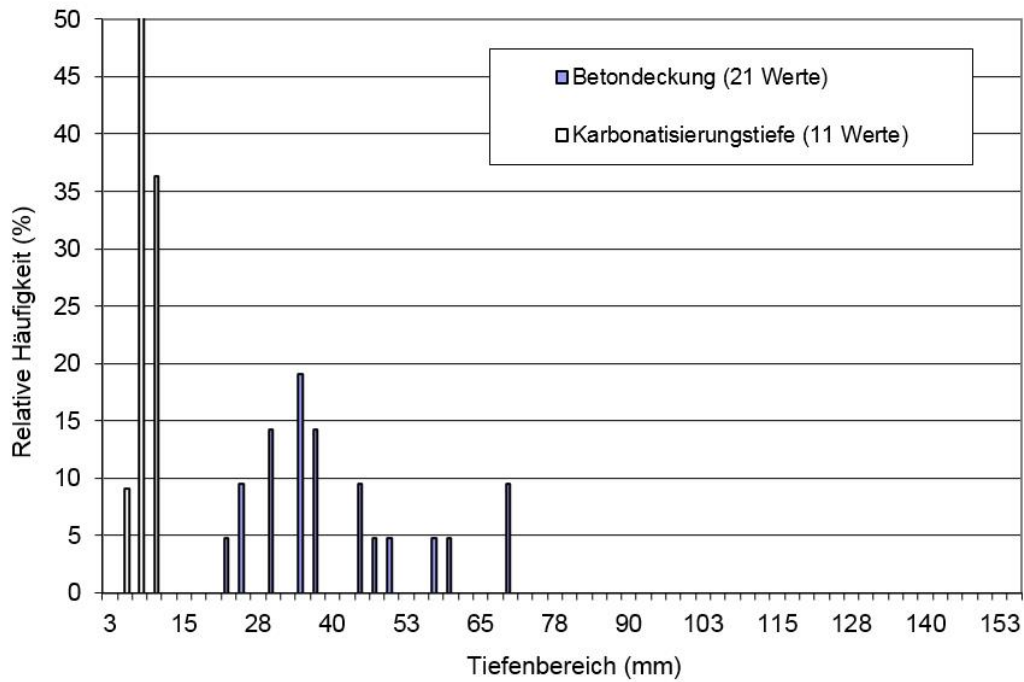


Abbildung A3c: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Daten zur Betondeckung der Bewehrung und zur Karbonatisierungstiefe des Betons
 Hier: Künstlerisch gestaltete Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

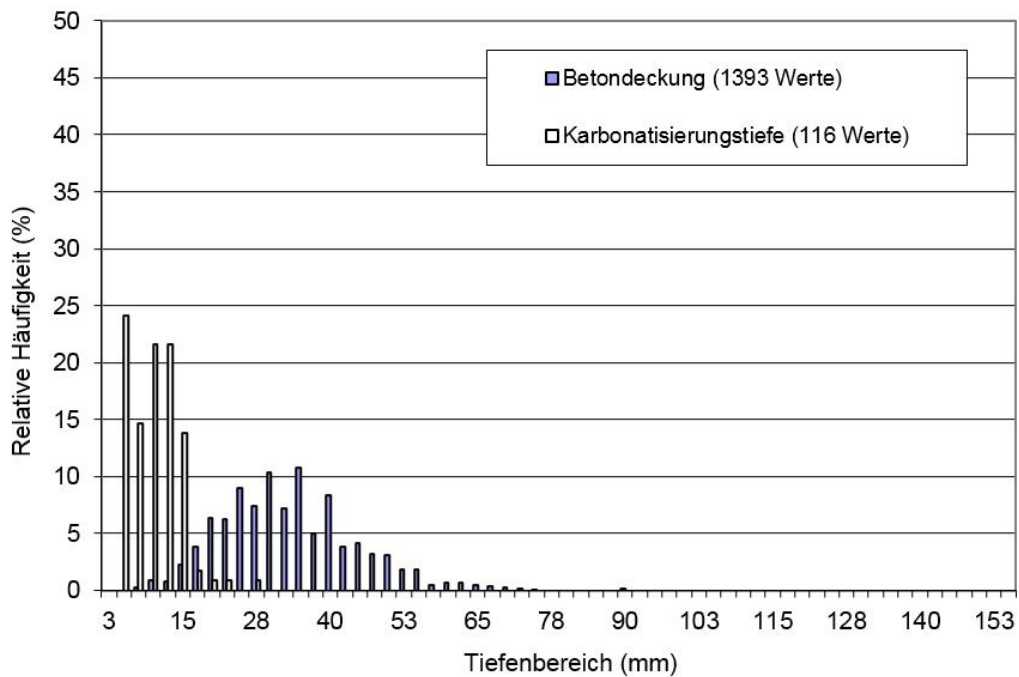


Abbildung A3d: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Daten zur Betondeckung der Bewehrung und zur Karbonatisierungstiefe des Betons
 Hier: Ortbetonoberflächen der Südfassade (Blankenberg)

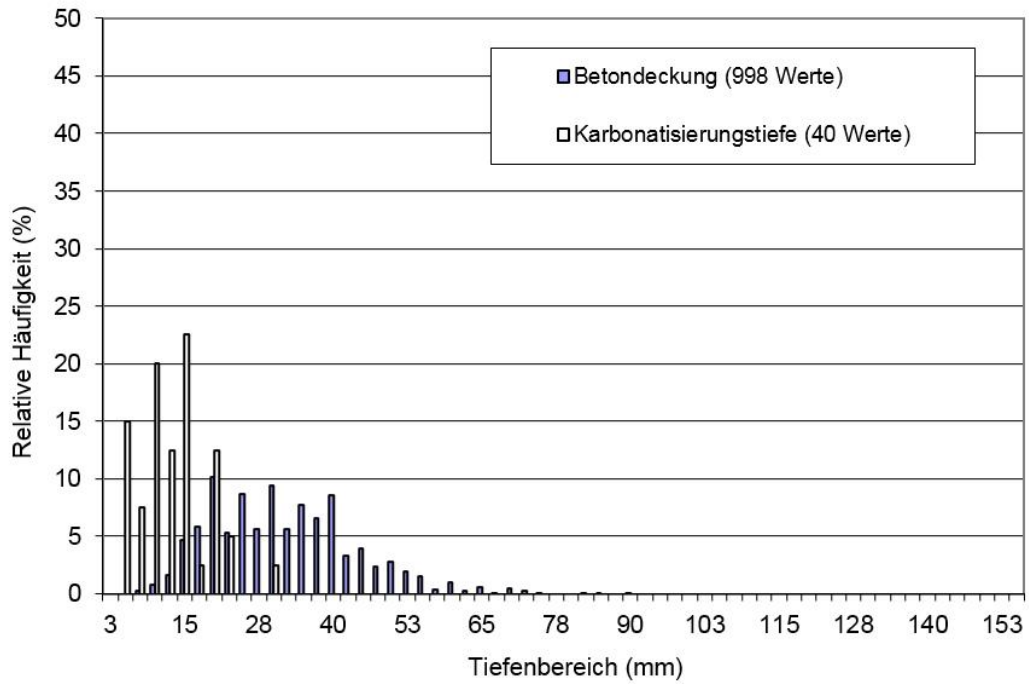


Abbildung A3e: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Daten zur Betondeckung der Bewehrung und zur Karbonatisierungstiefe des Betons
Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Südfassade (Blankenberg)

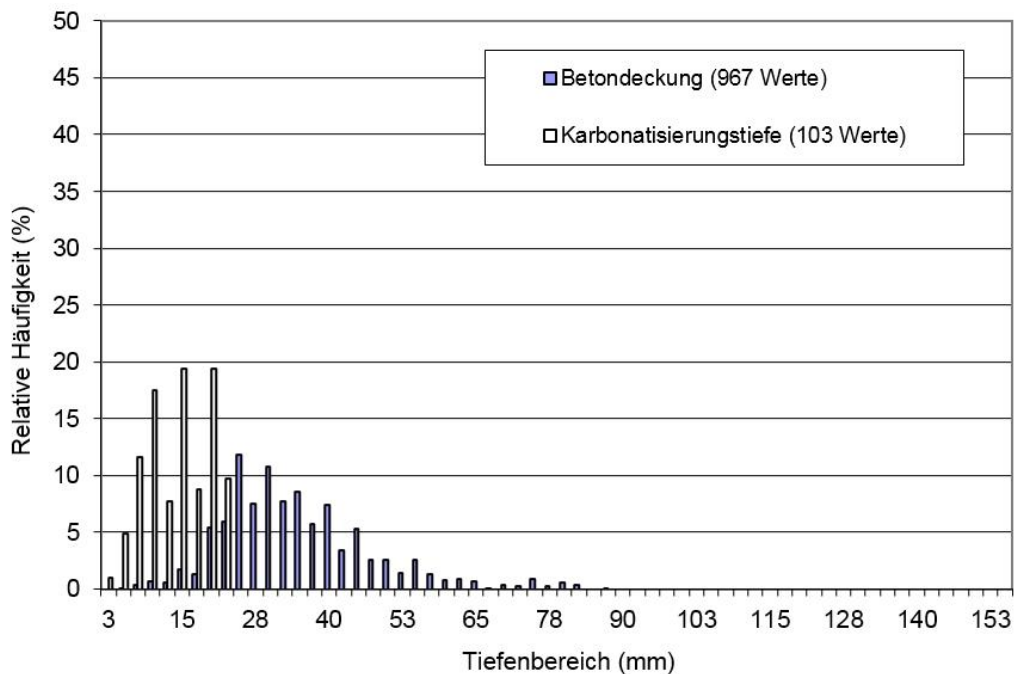


Abbildung A3f: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Daten zur Betondeckung der Bewehrung und zur Karbonatisierungstiefe des Betons
Hier: Ortbetonoberflächen der Ostfassade (Adolfstraße)

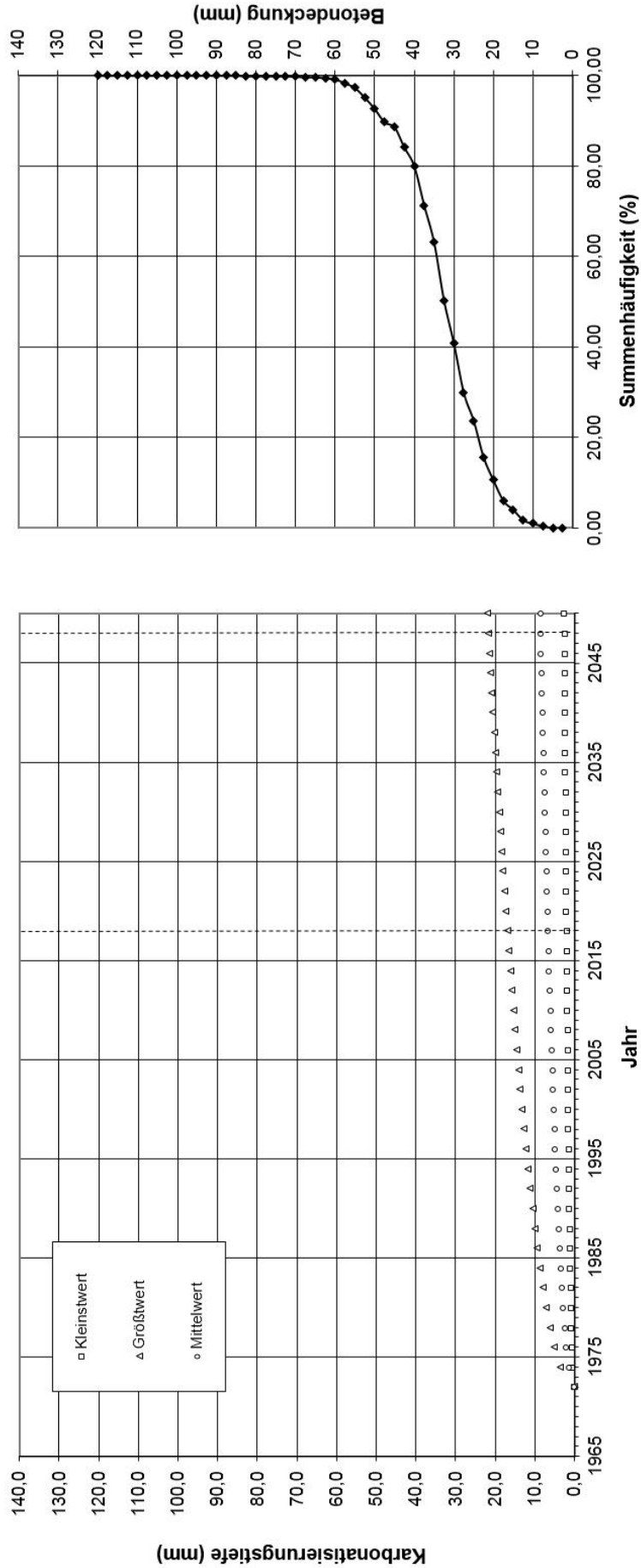


Abbildung A4a: Abgeschätzte zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe des Betons (links) und Summenhäufigkeit der Betondeckung der Bewehrung
 Hier: Ortbetonoberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

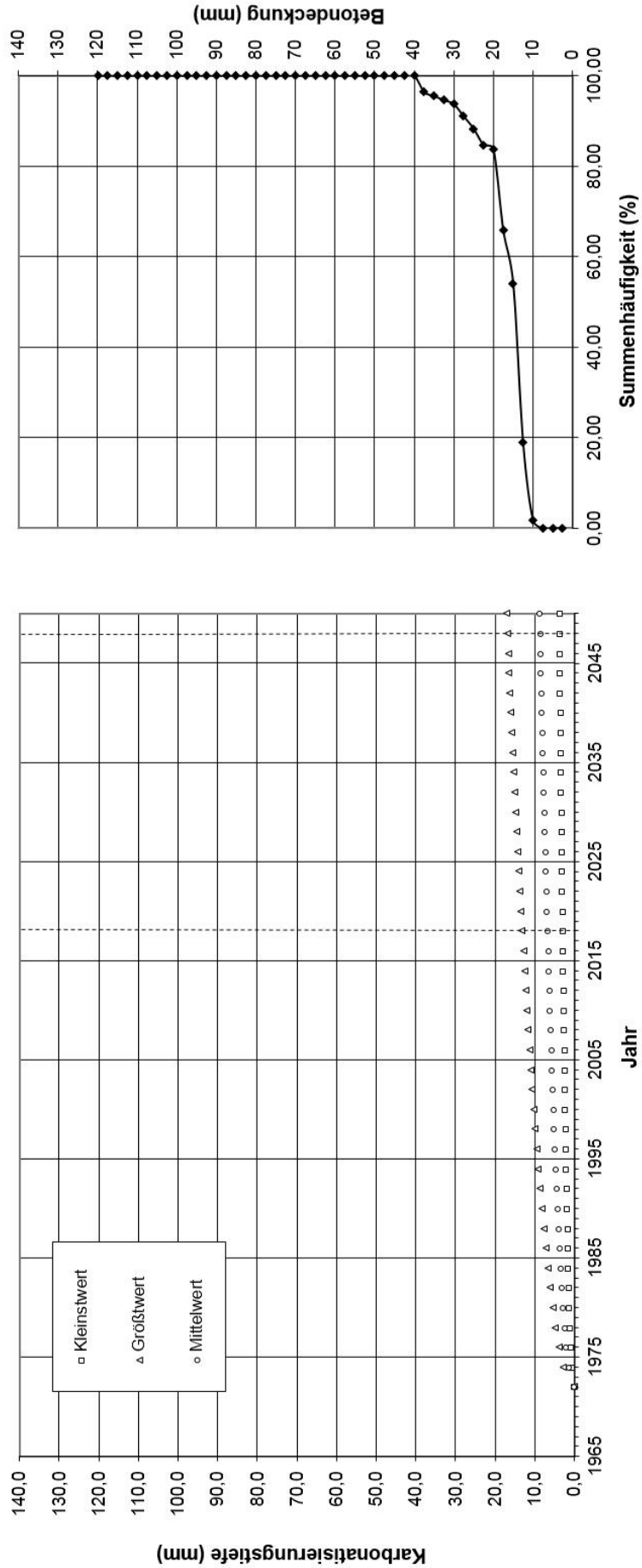


Abbildung A4b: Abgeschätzte zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe des Betons (links) und Summenhäufigkeit der Betonbedeckung der Bewehrung
 Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

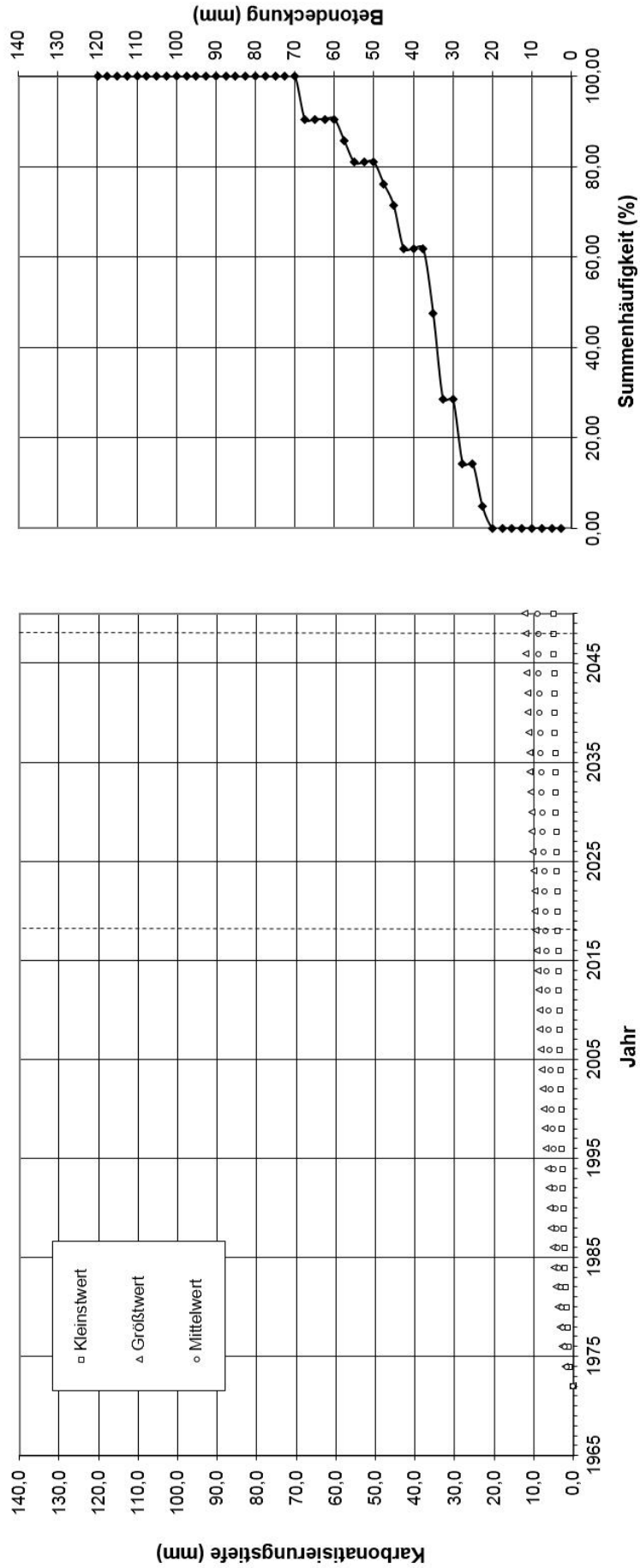


Abbildung A4c: Abgeschätzte zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe des Betons (links) und Summenhäufigkeit der Betondeckung der Bewehrung
 Hier: Künstlersich gestaltete Fertigteilerflächen der Nordfassade (Salhofplatz)

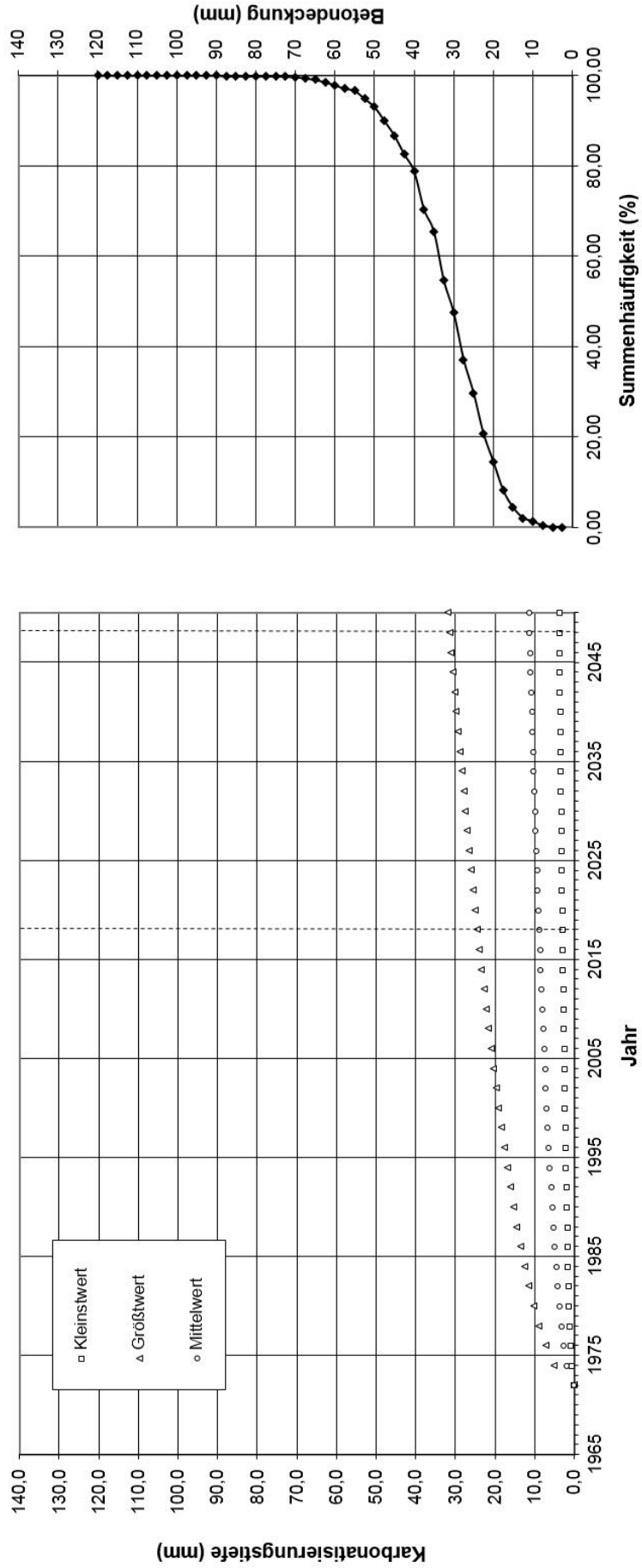


Abbildung A4d: Abgeschätzte zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe des Betons (links) und Summenhäufigkeit der Betondeckung der Bewehrung (rechts).
 Hier: Ortbetonoberflächen der Südfassade (Blankenberg)

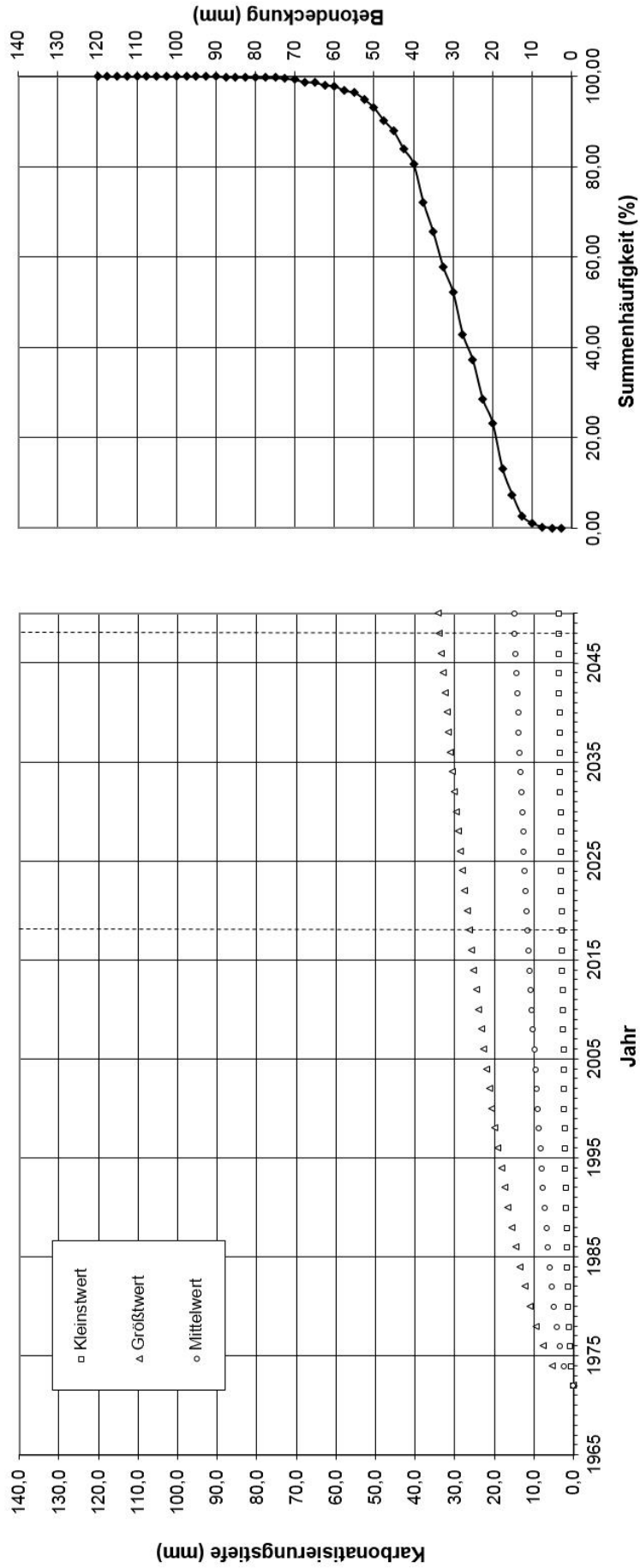


Abbildung A4e: Abgeschätzte zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe des Betons (links) und Summenhäufigkeit der Betondeckung der Bewehrung (rechts)
 Hier: Ebene Fertigteiloberflächen der Südfassade (Blankenberg)

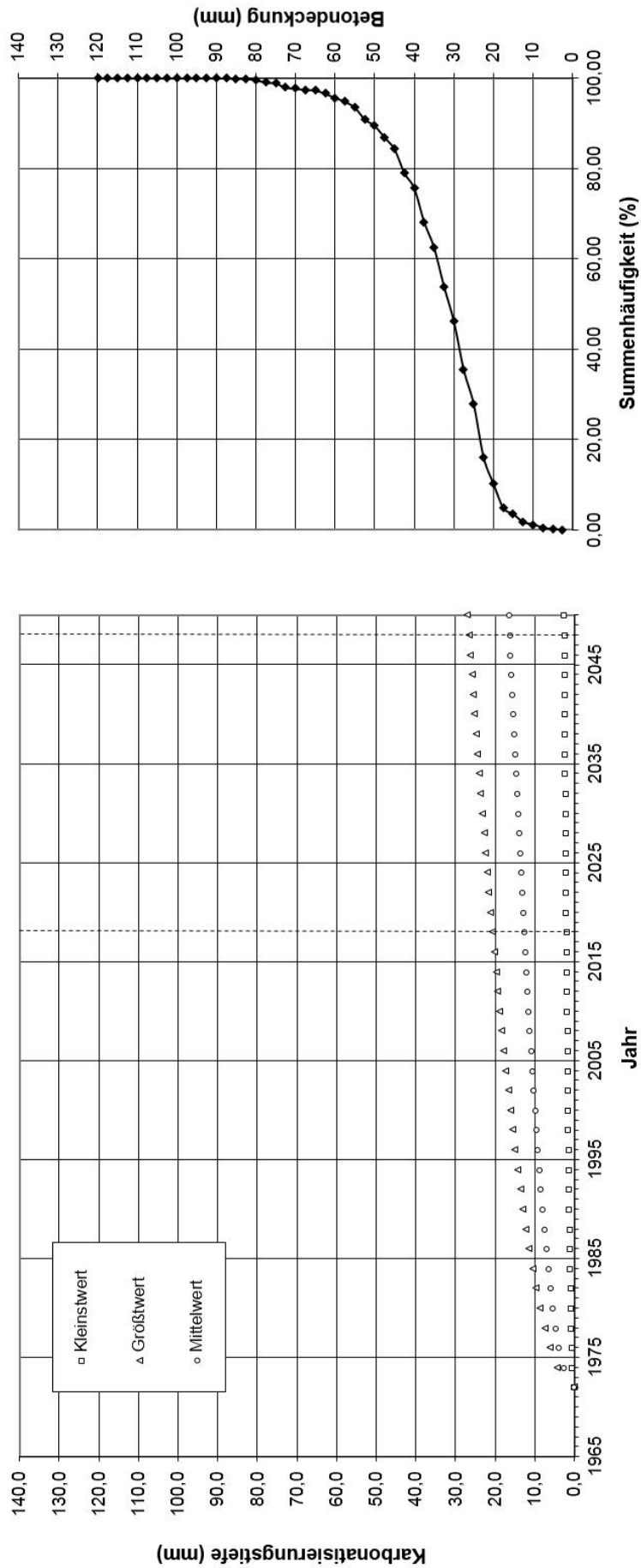


Abbildung A4f: Abgeschätzte zeitliche Entwicklung der Karbonatisierungstiefe des Betons (links) und Summenhäufigkeit der Betonbedeckung der Bewehrung
 Hier: Ortbetonoberflächen der Ostfassade (Adolfstraße)

Tabelle A4: Zusammenstellung bislang durchgeführter Materialprüfungen
(Untersuchungen E + P aus dem Jahr 2015 [1.2] und SMP aus dem Jahr 2018 [2.2])

Art und Orientierung der Fassade	Ingenieurbüro (Datum)	Rohdichte [kg/dm ³]	Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm ²]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Dynamischer E-Modul [MN/mm ²]
Nordfassade (Salhofplatz) Ortbetonfassadenflächen	E + P (2015)	2,26	3,5	-	66,4	-
	SMP (2018)	2,30 / 2,27	-	2,6	65,1	37,6 / 36,0
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit ebener Oberfläche	E + P (2015)	-	-	-	-	-
	SMP (2018)	-	-	-	-	-
Nordfassade (Salhofplatz) Fertigteile mit künstlerisch gestalteter Oberfläche	E + P (2015)	2,21	2,2	-	60,4	-
	SMP (2018)	-	-	-	-	-
Südfassade (Blankenberg) Ortbetonfassadenflächen	E + P (2015)	2,24	3,1	-	55,5	-
	SMP (2018)	-	-	-	-	-
Südfassade (Blankenberg) Fertigteile mit ebener Oberfläche	E + P (2015)	2,21 / 2,24	2,7 / 3,7	-	65,7 / 78,8	-
	SMP (2018)	2,36 / 2,31 / 2,40	-	-	60,9 / 56,7 / 67,0	36,4 / 36,9 / 37,4
Ostfassade (Adolfstraße) Ortbetonfassadenflächen	E + P (2015)	-	-	-	-	-
	SMP (2018)	2,30	-	2,7	-	36,0

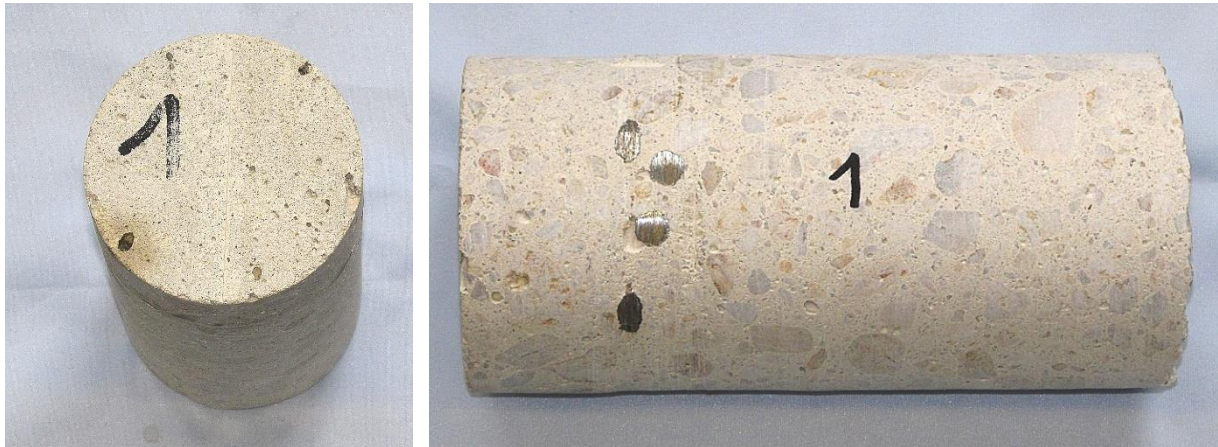


Abbildung A5: Bohrkern 1, entnommen aus einer Ortbetonwand der Nordfassade, Stirn- und Seitensicht (außenseitige Wandoberfläche links)



Abbildung A6: Bohrkern 2, entnommen aus einer Ortbetonwand der Nordfassade, Stirn- und Seitensicht (außenseitige Wandoberfläche links)



Abbildung A7: Bohrkern 3, entnommen aus einer Ortbetonwand der Ostfassade, Stirn- und Seitensicht (außenseitige Wandoberfläche links)

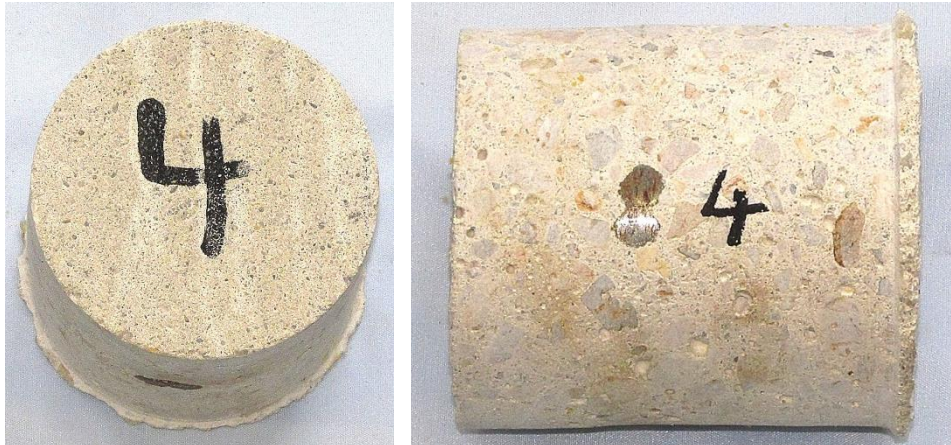


Abbildung A8: Bohrkern 4, entnommen aus einer Fertigteilwand der Südfassade, Stirn- und Seitensicht (außenseitige Wandoberfläche links)

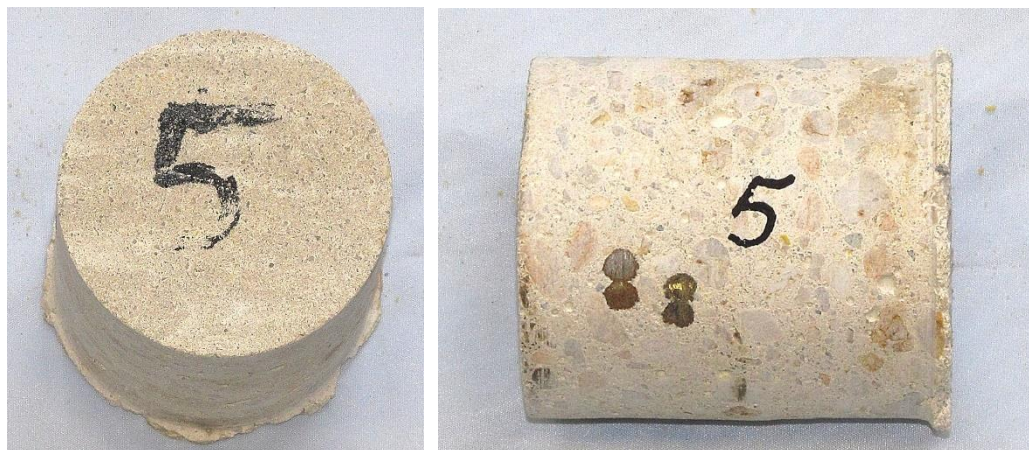


Abbildung A9: Bohrkern 5, entnommen aus einer Fertigteilwand der Südfassade, Stirn- und Seitensicht (außenseitige Wandoberfläche links)



Abbildung A10: Bohrkern 6, entnommen aus einer Fertigteilwand der Südfassade, Stirn- und Seitensicht (außenseitige Wandoberfläche links)



Prüfbericht

Gegenstand:	Materialprüfungen an Bohrkernen aus Beton		
Projekt:	A17 0121, Stadthalle Lahnstein, Untersuchung der Betonfassaden		
Auftraggeber:	SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH Stephanienstraße 102 76133 Karlsruhe		
Auftragsdatum:	30.08.2018		
Ansprechpartner:	Dipl.-Ing. (FH) Jochen Weis		
Telefon:	+49 721 608-42267		
E-Mail:	jochen.weis@mpa-karlsruhe.de		
Berichtsnummer:	18 20 64 0590	Berichtsdatum:	18.12.2018
		Textseiten:	8
		Anlagen:	---
Ausfertigungen:	2fach: Auftraggeber 1fach: MPA Karlsruhe		

Notifizierte Stelle 0754 nach EU-BauPVO
Anerkannte Stelle BWU01 nach LBO
Die Akkreditierung gilt für die im Bericht mit * gekennzeichneten Prüfverfahren.

Postanschrift: Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe
KIT-Campus Süd, 76128 Karlsruhe

Lieferanschrift: Gotthard-Franz-Straße 2, 76131 Karlsruhe, Gebäude 50.32

Telefon: +49 721 608-46504
Telefax: +49 721 608-47796

Internet: www.mpa-karlsruhe.de

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Genehmigung der MPA



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 2 von 8
zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
vom 18.12.2018

1 Vorgang

Die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wurde beauftragt, aus angelieferten Bohrkernen Prüfkörper herauszuarbeiten und diese hinsichtlich den Vorgaben des Auftraggebers zu prüfen.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] DIN EN 12504-1:2009-07; Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 1: Bohrkernproben - Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit
- [2] DIN EN 12504-4:2004-12; Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit
- [3] DIN EN 12390-3:2009-07; Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [4] DIN EN 12390-3 Berichtigung 1:2011-11; Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [5] DIN EN 13791:2008-05; Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen
- [6] DIN EN 13791/A20:2017-02; Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Änderung A20
- [7] DAfStb-Heft 422:1991; Prüfung von Beton, Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048
- [8] DIN EN 932-3:2003-12; Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 3: Durchführung und Terminologie einer vereinfachten petrographischen Beschreibung
- [9] DAfStb Alkalirichtlinie:2013-10; Vorbeugende Maßnahme gegen schädigende Alkalireaktion im Beton

3 Prüfmaterial, Prüfungsfumfang, Prüfkörpervorbereitung und Prüfkörperlagerung

Am 30.08.2018 wurden vom Auftraggeber sechs Bohrkern zur Prüfung bei der MPA Karlsruhe angeliefert. In Tabelle 1 sind die angelieferten Bohrkern, die herausgearbeiteten Prüfkörper und der Prüfungsfumfang aufgeführt.

Auf Grundlage von [1] wurden die Bohrkern vermessen, visuell untersucht sowie Lage und Durchmesser der Betonstahlbewehrung bei Anlieferung ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 2 und 3 dargestellt.

Aus den Bohrkern wurden zylinderförmige Prüfkörper mit einem bevorzugten Verhältnis von Länge zu Durchmesser $l/d = 1$ durch Nasssägen, mit anschließendem Nassschleifen der Belastungsflächen, herausgearbeitet.



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
 MPA Karlsruhe

Seite 3 von 8
 zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
 vom 18.12.2018

Einige Prüfkörper konnten nicht ohne Bewehrungseinschluss herausgearbeitet werden. Lage und Durchmesser der Bewehrungsstäbe nach der Prüfkörpervorbereitung sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Nach der Vorbereitung lagerten die Prüfkörper vom 04.09.2018 bis zur Prüfung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte.

Tabelle 1 Übersicht der angelieferten Bohrkern, der herausgearbeiteten Prüfkörper und des Prüfumfangs

Bohrkerne		Prüfkörper	Prüfumfang
Probe Nr. Auftraggeber	Probe Nr. MPA KA	Probe Nr. MPA KA	
1	18_0590_1	18_0590_1.1	Reststück, keine weitere Prüfung
		18_0590_1.2	Ultraschallgeschwindigkeit, Zugfestigkeit
		18_0590_1.3	Reststück, keine weitere Prüfung
2	18_0590_2	18_0590_2.1	vereinfachte petrographische Beschreibung der Gesteinskörnung
		18_0590_2.2	vereinfachte petrographische Beschreibung der Gesteinskörnung, Ultraschallgeschwindigkeit, Druckfestigkeit
		18_0590_2.3	vereinfachte petrographische Beschreibung der Gesteinskörnung
3	18_0590_3	18_0590_3.1	Reststück, keine weitere Prüfung
		18_0590_3.2	Ultraschallgeschwindigkeit, Zugfestigkeit
		18_0590_3.3	Reststück, keine weitere Prüfung
4	18_0590_4	18_0590_4.1	Reststück, keine weitere Prüfung
		18_0590_4.2	Ultraschallgeschwindigkeit, Druckfestigkeit
		18_0590_4.3	Reststück, keine weitere Prüfung
5	18_0590_5	18_0590_5.1	Reststück, keine weitere Prüfung
		18_0590_5.2	Ultraschallgeschwindigkeit, Druckfestigkeit
		18_0590_5.3	Reststück, keine weitere Prüfung
6	18_0590_6	18_0590_6.1	Reststück, keine weitere Prüfung
		18_0590_6.2	Ultraschallgeschwindigkeit, Druckfestigkeit
		18_0590_6.3	Reststück, keine weitere Prüfung



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
 MPA Karlsruhe

Seite 4 von 8
 zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
 vom 18.12.2018

Tabelle 2 Abmessungen und visuelle Untersuchung der Bohrkerne

Probe Nr. MPA KA	d [mm]	l_{max} [mm]	l_{min} [mm]	$D_{Größtkorn}$ [mm]	Visuelle Untersuchung
					Feststellungen
18_0590_1	94	199	188	16	mit Bewehrungseinschluss
18_0590_2	94	202	187	16	mit Bewehrungseinschluss
18_0590_3	94	202	198	16	mit Bewehrungseinschluss
18_0590_4	74	85	85	16	mit Bewehrungseinschluss
18_0590_5	74	86	86	16	mit Bewehrungseinschluss
18_0590_6	74	86	85	16	mit Bewehrungseinschluss

Mit
 d Durchmesser
 l_{max} Maximale Länge
 l_{min} Minimale Länge
 $D_{Größtkorn}$ Geschätztes Größtkorn der Gesteinskörnung

Tabelle 3 Lage der Betonstahlbewehrung bei Anlieferung der Bohrkerne

Probe Nr. MPA KA	Abstand der Bewehrungslage von der Oberfläche des Bohrkerens (Beginn der Bohrung) bis zur Mitte des Bewehrungsstabes in mm											
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
	Durchmesser des Bewehrungsstabes in mm											
	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_4	\varnothing_5	\varnothing_6	\varnothing_7	\varnothing_8	\varnothing_9	\varnothing_{10}	\varnothing_{11}	\varnothing_{12}
18_0590_1	45	45	52	57	52	57	---	---	---	---	---	---
	6	6	8	8	8	8	---	---	---	---	---	---
18_0590_2	30	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	8	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18_0590_3	46	45	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	8	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18_0590_4	34	35	34	35	---	---	---	---	---	---	---	---
	6	6	6	6	---	---	---	---	---	---	---	---
18_0590_5	21	21	21	21	33	33	33	33	---	---	---	---
	6	6	6	6	6	6	6	6	---	---	---	---
18_0590_6	25	26	30	30	30	30	35	35	35	35	40	38
	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 5 von 8
zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
vom 18.12.2018

Tabelle 4 Lage der Betonstahlbewehrung nach der Prüfkörpervorbereitung

Probe Nr. MPA KA	Abstand der Bewehrungslage von der Oberfläche des Prüfkörpers bis zur Mitte des Bewehrungsstabes in mm											
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
	Durchmesser des Bewehrungsstabes in mm											
	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_4	\varnothing_5	\varnothing_6	\varnothing_7	\varnothing_8	\varnothing_9	\varnothing_{10}	\varnothing_{11}	\varnothing_{12}
18_0590_4.2	33	33	33	33	---	---	---	---	---	---	---	---
	6	6	6	6	---	---	---	---	---	---	---	---
18_0590_5.2	18	18	18	18	30	30	31	31	---	---	---	---
	6	6	6	6	6	6	6	6	---	---	---	---
18_0590_6.2	22	25	28	28	30	30	32	32	34	34	40	37
	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

4 Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit

Die Laufzeit des Schallimpulses wurde mit dem Gerät Pundit PL-200 der Firma Proceq mit P-Wellen-Schallköpfe \varnothing 50 mm \times 46 mm und einer Sendeschwingfrequenz von 54 kHz gemessen. Die Prüfungen wurden am 06.09.2018 auf Grundlage von [2] in den Prüflaboratorien der MPA Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Abmessungen, Masse, Laufzeit des Schallimpulses, Rohdichte und Schallgeschwindigkeit

Probe Nr. MPA KA	d [mm]	L [mm]	m_r [g]	T [μ s]	D_r [kg/m ³]	v [km/s]
18_0590_1.2	94,1	98,4	1 574	23,1	2 300	4,26
18_0590_2.2	94,1	93,2	1 474	22,2	2 270	4,20
18_0590_3.2	94,2	101,4	1 625	24,3	2 300	4,17
18_0590_4.2	73,7	74,1	746	17,9	2 360	4,14
18_0590_5.2	73,7	75,8	747	18,0	2 310	4,21
18_0590_6.2	73,8	74,5	764	17,9	2 400	4,16
Mittelwerte					2 320	4,19

Mit
 d Durchmesser
 L Weglänge
 m_r Masse
 D_r Rohdichte
 T Laufzeit des Schallimpulses
 v Schallgeschwindigkeit $v = L/T$



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 6 von 8
zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
vom 18.12.2018

5 Bestimmung der Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeitsprüfungen wurden am 15.10.2018 entsprechend [3]/[4]* mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,6 MPa/s in den Prüflaboratorien der MPA Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Abmessungen, Masse, Höchstlast, Rohdichte und Druckfestigkeit

Probe Nr. MPA KA	d [mm]	l [mm]	l/d [---]	m_r [g]	F [kN]	D_r [kg/m ³]	$f_{c,ls,Bk}$ [MPa]
18_0590_2.2	94,1	93,2	1,0	1 474	453,0	2 270	65,1
18_0590_4.2	73,7	74,1	1,0	743	260,0	2 350	60,9
18_0590_5.2	73,7	75,8	1,0	743	241,9	2 300	56,7
18_0590_6.2	73,8	74,5	1,0	760	286,7	2 380	67,0
Mittelwerte						2 330	62,4

Mit
 d Durchmesser
 l Länge
 l/d Prüfkörperschlankheit
 m_r Masse
 F Höchstlast
 D_r Rohdichte
 $f_{c,ls,Bk}$ Druckfestigkeit

Bei allen geprüften Proben wurde ein zufriedenstellendes Bruchbild gemäß [3]/[4], Abschnitt 8 festgestellt.

Entsprechend NA.4.2 aus [5]/[6] darf die Druckfestigkeit eines luftgelagerten Bohrkerns mit dem Nenn-durchmesser 50 mm, 100 mm bzw. 150 mm der Druckfestigkeit eines bis zur Prüfung wassergelagerten Würfels mit 150 mm Kantenlänge gleichgesetzt werden. Die Probekörperhöhe einschließlich der gegebenenfalls aufgetragenen Abgleichschichten sollte oder muss gleich dem Durchmesser des Probekörpers sein. Grenzabweichungen im Einzelnen von $\pm 10\%$ sind zulässig.

6 Bestimmung der Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeitsprüfungen wurden am 09.10.2018 in Anlehnung an Abschnitt 3.3 aus [7] mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,05 MPa/s in den Prüflaboratorien der MPA Karlsruhe durchgeführt. Die in Abschnitt 3.3 aus [7] vorgeschriebene Prüfkörperschlankheit von $l/d = 2$ wurde bei keinem Prüfkörper eingehalten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt.



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
 MPA Karlsruhe

Seite 7 von 8
 zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
 vom 18.12.2018

Tabelle 7 Abmessungen, Masse, Höchstlast, Rohdichte und Zugfestigkeit

Probe Nr. MPA KA	<i>d</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	<i>l/d</i> [---]	<i>m_r</i> [g]	<i>F</i> [kN]	<i>a</i> [mm]	<i>D_r</i> [kg/m ³]	<i>f_{ct, is, Bk.}</i> [MPa]
18_0590_1.2	94,1	98,4	1,0	1574	18,1	5	2 300	2,6
18_0590_3.2	94,2	101,4	1,1	1623	18,7	15	2 300	2,7
Mittelwerte							2 300	2,7

Mit
d Durchmesser
l Länge
l/d Prüfkörperschlankheit
m_r Masse
F Höchstlast
a kleinster Abstand des Bruchs von den Endflächen
D_r Rohdichte
f_{ct, is, Bk.} Zugfestigkeit

7 Vereinfachte petrographische Beschreibung der Gesteinskörnung

Die vereinfachte petrographische Beschreibung wurde an drei Prüfkörpern mit den Probennummern 18_0590_2.1, 18_0590_2.2 und 18_0590_2.3, die aus dem repräsentativen Bohrkern mit der Probe Nr. 18_0590_2 herausgearbeitet wurden, für die Gesteinskörnung mit einem Durchmesser ≥ 2 mm in Anlehnung an [8] durchgeführt.

Zur Ermittlung der Volumenanteile der einzelnen Gesteinsarten wurden auf den Mantelflächen der Prüfkörper jeweils 16 Linien parallel zu der Längsachse des Bohrkerns im Winkelabstand von ca. 22,5° angezeichnet. Wo möglich wurden im Abstand von 1,5 cm weitere parallele Linien auf gesägten Stirnflächen der Prüfkörper markiert. Anschließend wurden auf den angezeichneten Linien in Abständen von 10 mm Punkte markiert. Jeder markierte Punkt, der auf oder direkt neben einem Gesteinskorn lag, wurde einer Gesteinsart zugeordnet. Lag der markierte Punkt im Bereich der Zementsteinmatrix, so wurde der Punkt nicht erfasst. Insgesamt wurden so 344 Punkte zugeordnet. Auf Grundlage dieser Auszählung kann auf die Volumenanteile der verschiedenen Gesteinsarten rückgeschlossen werden.

Sämtliche auf der Gesteinskörnung markierten Punkte lagen auf monomineralischen Quarzkörnern bzw. auf Quarzit. An 13 % der gezählten Körner sind Kluffüllungen aus Mineralen, wie Calciumcarbonate, Tone, Eisenoxide und Eisenhydroxide zu beobachten. Diese Minerale machen nur einen sehr geringen prozentualen Anteil an der Gesteinskörnung aus. Die Gesteinskörnung besteht damit fast ausschließlich aus Quarz, der überwiegend weiß, untergeordnet hellgrau, gelblich bis bräunlich erscheint.

Insgesamt betrachtet handelt es sich bei der Gesteinskörnung um einen schlecht sortierten Kies, wobei die einzelnen Körner eckig bis gerundet sind. Rundliche, gedrungene Kornanschnitte sind etwas häufiger zu erkennen als längliche bis plattige. Über die Rauheit der Kornoberflächen liefert die Betrachtung des Bohrkerns keine Aussage.

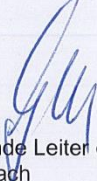
Eine Einstufung der Gesteinskörnung ≥ 2 mm nach Abschnitt 4.2 der DAfStb Alkalirichtlinie [9] in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E1 darf nicht erfolgen, da keine Informationen zum Herkunftsort vorliegen.



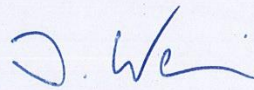
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 8 von 8
zum Prüfbericht Nr. 18 20 64 0590
vom 18.12.2018

Die Prüfergebnisse in diesem Bericht beziehen sich ausschließlich auf die angelieferten Proben bzw. Prüfgegenstände.


Der stellvertretende Leiter des Prüflaboratoriums
Dipl.-Ing. L. Gerlach




Der Bearbeiter
Dipl.-Ing. (FH) J. Weis



Prüfbericht

Gegenstand: Durchführung von Materialprüfungen
an Betonplatten und Prismen

Projekt: A18 0078,
Betonentwicklung Stadthalle Lahnstein

Auftraggeber: SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH
Stephanienstraße 102
76133 Karlsruhe

Auftragsdatum: 21.06.2018

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. (FH) Jochen Weis
Telefon: +49 721 608-42267
E-Mail: jochen.weis@mpa-karlsruhe.de

Berichtsnummer: 18 25 64 0384 **Berichtsdatum:** 24.01.2019
Textseiten: 9
Anlagen: ---

Ausfertigungen: 2fach: Auftraggeber
1fach: MPA Karlsruhe

Notifizierte Stelle 0754 nach EU-BauPVO
Anerkannte Stelle BWU01 nach LBO
Die Akkreditierung gilt für die im Bericht mit * gekennzeichneten Prüfverfahren.

Postanschrift: Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe
KIT-Campus Süd, 76128 Karlsruhe

Lieferanschrift: Gotthard-Franz-Straße 2, 76131 Karlsruhe, Gebäude 50.32

Telefon: +49 721 608-46504
Telefax: +49 721 608-47796
Internet: www.mpa-karlsruhe.de

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Genehmigung der MPA.



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 2 von 9
zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
vom 24.01.2019

1 Vorgang

Die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wurde beauftragt, Prüfungen an angelieferten Verbundkörpern (Beschichtungsdicke 35 mm) und Prismen (40 mm × 40 mm × 160 mm) hinsichtlich den Vorgaben des Auftraggebers durchzuführen.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), Teil 4: Prüfverfahren, Ausgabe Mai 2001
- [2] DAfStb-Heft 422:1991; Prüfung von Beton, Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048
- [3] DIN EN 196-1:2016-11; Prüfverfahren für Zement – Teil 1: Bestimmung der Festigkeit

3 Prüfmaterial und Prüfumfang

Am 21.06.2018 wurden vom Auftraggeber sechs Verbundkörper, zwölf Prismen und eine Schwindrinne zur Prüfung bei der MPA Karlsruhe angeliefert.

Die Prüfkörper wurden nach Angabe des Auftraggebers am 20.06.2018 hergestellt.

Die MPA Karlsruhe ist nicht für die Herstellung der Prüfkörper verantwortlich.

In Tabelle 1 sind die angelieferten Prüfkörper und der Prüfumfang dargestellt.

Tabelle 1 Angelieferte Prüfkörper und Prüfumfang

Probe Nr. Auftraggeber	Probe Nr. MPA KA	Art der Prüfung
Verbundprobekörper (Beschichtungsdicke 35 mm)		
Platte 1	18_0384_1_1	Haftzugfestigkeit im Alter von 7 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Platte 2	18_0384_1_2	Haftzugfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Platte 3	18_0384_1_3	Haftzugfestigkeit im Alter von 90 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Platte 4	18_0384_2_1	Haftzugfestigkeit nach Temperaturwechselbeanspruchung
Platte 5	18_0384_2_2	Haftzugfestigkeit nach Temperaturwechselbeanspruchung
Platte 6	18_0384_2_3	Lagerung für 1 Jahr bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte zur Beobachtung (Rissaufnahme)



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
 MPA Karlsruhe

Seite 3 von 9
 zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
 vom 24.01.2019

Tabelle 1 Angelieferte Prüfkörper und Prüfumfang - Fortgesetzt

Probe Nr. Auftraggeber	Probe Nr. MPA KA	Art der Prüfung
Prismen (40 mm × 40 mm × 160 mm)		
Prisma 1	18_0384_3_1	Dynamischer E-Modul, Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeit im Alter von 7 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Prisma 2	18_0384_3_2	
Prisma 3	18_0384_3_3	
Prisma 4	18_0384_3_4	Dynamischer E-Modul, Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Prisma 5	18_0384_3_5	
Prisma 6	18_0384_3_6	
Prisma 7	18_0384_3_7	Dynamischer E-Modul, Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeit im Alter von 90 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Prisma 8	18_0384_3_8	
Prisma 9	18_0384_3_9	
Prisma 10	18_0384_3_10	Rückstellproben, Lagerung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte
Prisma 11	18_0384_3_11	
Prisma 12	18_0384_3_12	
Schwindrinne		
---	18_0384_4_1	Lagerung für 1 Jahr bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte zur Beobachtung (Rissaufnahme)



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
 MPA Karlsruhe

Seite 4 von 9
 zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
 vom 24.01.2019

4 Prüfkörperlagerung

Die Angaben zur Prüfkörperlagerung sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2 Angaben zur Prüfkörperlagerung

Probe Nr.	Lagerungsdauer	Lagerungsbedingungen
Verbundprobekörper (Beschichtungsdicke 35 mm)		
18_0384_1_1	21.06.2018 - 27.06.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
18_0384_1_2	21.06.2018 - 18.07.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
18_0384_1_3	21.06.2018 - 18.09.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
18_0384_2_1, 18_0384_2_2	21.06.2018 - 18.07.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
	18.07.2018 - 31.07.2018	Temperaturwechselbeanspruchung gemäß Abschnitt 2.7.7 aus [1]
18_0384_2_3	seit dem 21.06.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
Prismen (40 mm × 40 mm × 160 mm)		
18_0384_3_1, 18_0384_3_2, 18_0384_3_3	21.06.2018 - 27.06.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
18_0384_3_4, 18_0384_3_5, 18_0384_3_6	21.06.2018 - 18.07.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
18_0384_3_7, 18_0384_3_8, 18_0384_3_9	21.06.2018 - 18.09.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
18_0384_3_10, 18_0384_3_11, 18_0384_3_12	seit dem 21.06.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie
Schwindrinne		
18_0384_4_1	seit dem 21.06.2018	bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte, bis zum 25.06.2018 unter Folie



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 5 von 9
zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
vom 24.01.2019

5 Prüfungen und Ergebnisse

Die Prüfungen wurden im Zeitraum vom 27.06.2018 bis zum 18.09.2018 in den Prüflaboratorien der MPA Karlsruhe ausgeführt.

5.1 Haftzugfestigkeit

Die Haftzugversuche wurden gemäß Abschnitt 2.7.13 aus [1] durchgeführt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in den Tabellen 3 bis 7 dargestellt.

Tabelle 3 Haftzugfestigkeit im Alter von 7 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	Stempel Nr.	F [N]	β_{HZ} [N/mm ²]	Versagensart [% der Bruchfläche]				
				A	B	A/B	B/Y	Y/Z
18_0384_1_1	1	4 630	2,4	---	100	---	---	---
	2	4 012	2,0	---	100	---	---	---
	3	4 332	2,2	---	100	---	---	---
	4	4 592	2,3	---	100	---	---	---
	5	3 476	1,8	---	100	---	---	---
Mittelwert			2,1	---				

Tabelle 4 Haftzugfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	Stempel Nr.	F [N]	β_{HZ} [N/mm ²]	Versagensart [% der Bruchfläche]				
				A	B	A/B	B/Y	Y/Z
18_0384_1_2	1	4 026	2,1	---	---	100	---	---
	2	3 842	2,0	---	100	---	---	---
	3	3 360	1,7	---	100	---	---	---
	4	4 850	2,5	---	---	100	---	---
	5	4 688	2,4	---	100	---	---	---
Mittelwert			2,1	---				



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 6 von 9
zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
vom 24.01.2019

Tabelle 5 Haftzugfestigkeit im Alter von 90 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	Stempel Nr.	F [N]	β_{HZ} [N/mm ²]	Versagensart [% der Bruchfläche]				
				A	B	A/B	B/Y	Y/Z
18_0384_1_3	1	5 048	2,6	---	40	60	---	---
	2	6 000	3,1	100	---	---	---	---
	3	4 667	2,4	60	40	---	---	---
	4	4 803	2,4	---	100	---	---	---
	5	3 144	1,6	---	---	100	---	---
Mittelwert			2,4	---				

Tabelle 6 Haftzugfestigkeit im Alter von 42 Tagen nach Temperaturwechselbeanspruchung

Probe Nr.	Stempel Nr.	F [N]	β_{HZ} [N/mm ²]	Versagensart [% der Bruchfläche]				
				A	B	A/B	B/Y	Y/Z
18_0384_2_1	1	3 712	1,9	---	100	---	---	---
	2	5 376	2,7	---	100	---	---	---
	3	2 884	1,5	---	100	---	---	---
	4	4 192	2,1	---	100	---	---	---
	5	3 876	2,0	---	100	---	---	---
Mittelwert			2,0	---				

Tabelle 7 Haftzugfestigkeit im Alter von 42 Tagen nach Temperaturwechselbeanspruchung

Probe Nr.	Stempel Nr.	F [N]	β_{HZ} [N/mm ²]	Versagensart [% der Bruchfläche]				
				A	B	A/B	B/Y	Y/Z
18_0384_2_2	1	4 746	2,4	---	100	---	---	---
	2	3 542	1,8	---	100	---	---	---
	3	4 316	2,2	---	100	---	---	---
	4	4 014	2,0	---	100	---	---	---
	5	4 978	2,5	---	100	---	---	---
Mittelwert			2,2	---				

Mit

F Höchstkraft

β_{HZ} Haftzugfestigkeit

A Kohäsionsversagen innerhalb des Betonuntergrundes

B Kohäsionsversagen innerhalb des Instandsetzungsmörtels

A/B Adhäsionsversagen zwischen Betonuntergrund und Instandsetzungsmörtel

B/Y Adhäsionsversagen zwischen Instandsetzungsmörtel und Klebeschicht

Y/Z Adhäsionsversagen zwischen Klebeschicht und Prüfstempel



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 7 von 9
zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
vom 24.01.2019

5.2 Dynamischer Elastizitätsmodul

Der dynamische E-Modul wurde auf Grundlage von Abschnitt 3.5 aus [2] mit dem Messgerät Geotron-Elektronik USG 40 bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 8 bis 10 dargestellt.

Tabelle 8 Dyn. E-Modul im Alter von 7 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	l [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	t [µs]	ρ _R [kg/m ³]	dyn E _L [N/mm ²]
18_0384_3_1	159,5	42,3	39,5	538,2	39,4	2 020	29 800
18_0384_3_2	159,5	42,3	39,5	539,3	40,3	2 024	28 500
18_0384_3_3	159,5	40,8	39,9	532,3	39,7	2 050	29 800
Mittelwerte						2 031	29 400

Tabelle 9 Dyn. E-Modul im Alter von 28 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	l [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	t [µs]	ρ _R [kg/m ³]	dyn E _L [N/mm ²]
18_0384_3_4	160,0	42,3	40,0	544,9	40,7	2 013	28 000
18_0384_3_5	159,8	42,4	40,0	546,2	39,3	2 015	30 000
18_0384_3_6	159,9	42,2	40,1	548,8	39,8	2 028	29 500
Mittelwerte						2 019	29 200

Tabelle 10 Dyn. E-Modul im Alter von 90 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	l [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	t [µs]	ρ _R [kg/m ³]	dyn E _L [N/mm ²]
18_0384_3_7	159,2	41,2	40,0	532,8	40,0	2 031	29 000
18_0384_3_8	159,4	43,2	40,0	548,0	39,7	1 990	28 900
18_0384_3_9	159,2	41,5	40,0	532,3	39,8	2 014	29 000
Mittelwerte						2 012	29 000

Mit
 l Länge
 b Breite (Höhe in Einfüllrichtung)
 h Höhe
 m Masse
 t Laufzeit des Schallimpulses
 ρ_R Rohdichte
 dyn E_L dynamischer Elastizitätsmodul ($\text{dyn } E_L = l^2 \times \rho_R \times C_L / t^2$)
 C_L Korrekturfaktor = 0,9



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 8 von 9
zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
vom 24.01.2019

5.3 Biegezug- und Druckfestigkeit

Die Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfungen wurden entsprechend [3]* durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 11 bis 13 dargestellt.

Tabelle 11 Festigkeiten im Alter von 7 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	F _f [N]	F _{c, Teilprobe 1} [kN]	F _{c, Teilprobe 2} [kN]	R _f [N/mm ²]	R _{c, Teilprobe 1} [N/mm ²]	R _{c, Teilprobe 2} [N/mm ²]
18_0384_3_1	2 460	58,6	57,0	5,8	36,6	35,6
18_0384_3_2	2 232	56,7	59,5	5,2	35,4	37,2
18_0384_3_3	2 164	55,7	58,8	5,1	34,8	36,8
Mittelwerte				5,4	36,1	

Tabelle 12 Festigkeiten im Alter von 28 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	F _f [N]	F _{c, Teilprobe 1} [kN]	F _{c, Teilprobe 2} [kN]	R _f [N/mm ²]	R _{c, Teilprobe 1} [N/mm ²]	R _{c, Teilprobe 2} [N/mm ²]
18_0384_3_4	2 768	64,5	68,9	6,5	40,3	43,1
18_0384_3_5	2 440	57,7	67,6	5,7	36,1	42,3
18_0384_3_6	2 673	66,4	68,4	6,3	41,5	42,8
Mittelwerte				6,2	42,0 ^{a)}	

^{a)} Berechnung ohne Probe Nr. 18_0384_3_5, Teilprobe 1, da Abweichung zum Mittelwert > 10 %.

Tabelle 13 Festigkeiten im Alter von 90 Tagen nach Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.

Probe Nr.	F _f [N]	F _{c, Teilprobe 1} [kN]	F _{c, Teilprobe 2} [kN]	R _f [N/mm ²]	R _{c, Teilprobe 1} [N/mm ²]	R _{c, Teilprobe 2} [N/mm ²]
18_0384_3_7	2 768	71,7	74,7	6,5	44,8	46,7
18_0384_3_8	2 440	72,9	73,3	5,7	45,6	45,8
18_0384_3_9	2 673	70,9	72,1	6,3	44,3	45,1
Mittelwerte				6,2	45,4	

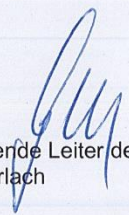
Mit
F_f Bruchlast bei der Biegezugfestigkeitsprüfung
F_c Bruchlast bei der Druckfestigkeitsprüfung
R_f Biegezugfestigkeit
R_c Druckfestigkeit



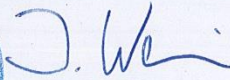
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 9 von 9
zum Prüfbericht Nr. 18 25 64 0384
vom 24.01.2019

Alle Prüfergebnisse wurden ausschließlich an den angelieferten Proben bestimmt.


Der stellvertretende Leiter des Prüflaboratoriums
Dipl.-Ing. L. Gerlach




Der Bearbeiter
Dipl.-Ing. (FH) J. Weis