

# GUTACHTEN

## TIEFGARAGE FRIEDRICHSPLATZ, KASSEL

Projekt:

### TIEFGARAGE FRIEDRICHSPLATZ



Auftraggeber:



documenta-Stadt

Parkhausgesellschaft der Stadt Kassel mbH  
Neue Fahrt 12, 34117 Kassel

Bearbeitung:



EFG Beratende Ingenieure GmbH  
Ederweg 4 – 6, 34277 Fuldabrück

**V E R T E I L E R**

Versanddatum	Bauteiluntersuchungen Seiten	Auftraggeber Parkhausgesellschaft der Stadt Kassel mbH	
09.02.2015	Seite 1 bis 81 Anlagen 1 bis 6	1 x PDF-Datei per Email 2 x Ausdruck	

**Das Gutachten darf ohne vorherige Genehmigung des Erstellers weder veröffentlicht, vervielfältigt oder geändert, noch für ein anderes Bauvorhaben genutzt werden als für das auf dem Deckblatt und in der Kopfzeile ausgewiesene.**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Veranlassung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>5</b>
1.1    Veranlassung .....	5
1.2    Aufgabenstellung .....	5
1.3    Zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	6
<b>2. Erster Bauabschnitt, Theatervorplatz .....</b>	<b>8</b>
2.1    Technische Beschreibung des Bestandes.....	8
2.2    Bauteiluntersuchungen.....	14
2.2.1    Untersuchungen am Bauwerk.....	14
2.2.2    Visuelle Begutachtung .....	17
2.2.3    Betondeckung.....	17
2.2.4    Betondruckfestigkeit .....	18
2.2.5    Beton- und stahlangreifende Stoffe – Chloride.....	19
2.2.6    Karbonatisierung .....	19
2.2.7    Abreißfestigkeit.....	20
2.2.8    Untersuchung des vorhandenen Oberflschenschutzsystems.....	20
2.2.9    Bestimmung des Korrosionsgrades der Tragbewehrung .....	21
2.2.10    Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse .....	21
2.3    Aufgetretene Schäden.....	25
2.4    Schadensursachen .....	37
2.5    Beurteilung der Schäden unter Berücksichtigung der  Bauteiluntersuchungen .....	39
2.6.    Erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen .....	43
2.7.    Zusammenfassung.....	46

<b>3. Zweiter Bauabschnitt Friedrichsplatz .....</b>	<b>47</b>
3.1 Technische Beschreibung des Bestandes.....	47
3.2 Bauteiluntersuchungen.....	53
3.2.1 Untersuchungen am Bauwerk.....	53
3.2.3 Untersuchungen analog zum ersten Bauabschnitt.....	56
3.2.4 Bestimmung des Korrosionsgrades der oberen Tragbewehrung .....	56
3.2.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse .....	56
3.3 Aufgetretene Schäden.....	60
3.4 Schadensursachen .....	73
3.5 Beurteilung der Schäden unter Berücksichtigung der Bauteiluntersuchungen.....	75
3.6 Erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen .....	77
3.7 Zusammenfassung.....	80
<b>Schlussblatt.....</b>	<b>81</b>

#### **Anlagen**

Anlage 1:	Bauteiluntersuchungen 1. Bauabschnitt	1 bis 112
Anlage 2:	Bauteiluntersuchungen 2. Bauabschnitt	1 bis 144
Anlage 3:	Berechnung Rissbreiten	1 bis 14
Anlage 4:	AMPA Bericht	1 bis 24
Anlage 5:	Prüfberichte Bauwerksprüfung	1 bis 102
Anlage 6:	Kostenschätzung	1 bis 3



## 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

### 1.1 Veranlassung

Das Ingenieurbüro EFG wurde von der Parkhausgesellschaft der Stadt Kassel mbH mit Datum vom 17.11.2014 mit der Erstellung eines Gutachtens einschließlich Instandsetzungskonzept für die Tiefgarage Friedrichsplatz beauftragt.

### 1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung umfasst sowohl den ersten als auch den zweiten Bauabschnitt des Tiefgaragenkomplexes unter dem Friedrichsplatz in Kassel. Die Feststellungen, Ergebnisse und Bewertungen sind für den ersten und zweiten Bauabschnitt jeweils getrennt voneinander auszuarbeiten.

Zur Beurteilung des Zustands der Bestandskonstruktion und der Einschätzung des Instandsetzungsbedarfs ist ein Untersuchungsprogramm zu erarbeiten. Dazu sind im Einzelnen folgende örtliche Untersuchungen durchzuführen:

- Tiefengestaffelte Feststellung der Chloridbelastung des Betons
- Ermittlung der Betondruckfestigkeit mittels digitalem Schmidt-Hammer
- Messung der Karbonatisierungtiefe
- Zerstörungsfreie Feststellung der Betonüberdeckung mittels Ferro-Scan
- Überprüfen der Haftzugwerte

Aufgrund der teilweise hohen Chloridbelastung der Geschossdecken wurde zusätzlich der Korrosionsgrad der oberen Bewehrung untersucht.

Auf der Grundlage der Bauwerksprüfberichte des Straßenverkehrs- und Tiefbauamtes der Stadt Kassel hat eine Feststellung der Schäden an der Betonkonstruktion zu erfolgen.

Dabei sind besonders die angetroffenen Risse auf ihre Ursache hin zu untersuchen und zu bewerten.

Ergänzend sind die vorhandenen Oberflächenschutzsysteme hinsichtlich ihres Aufbaus einschließlich der sich daraus ergebenden Klassifizierung und der Schichtdicke zu untersuchen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Bauteiluntersuchungen ist der erforderliche Instandsetzungsumfang zu benennen. Es ist prioritätenbezogen zwischen

der Notwendigkeit von kurz-, mittel- und langfristigen Instandsetzungsmaßnahmen zu unterscheiden.

Die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen sind prinzipiell auszuarbeiten und in einer Kostenschätzung zu bewerten.

### 1.3 Zur Verfügung gestellte Unterlagen

- Bauwerksprüfberichte der Stadt Kassel
  - 1. Bauabschnitt:  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 30.01.2014 bis 03.02.2014  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 29.01.2014 bis 11.03.2014
  - 2. Bauabschnitt:  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 27.02.2014 bis 11.03.2014 (Gebäude/Überdachung 1. UG)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 19.02.2014 bis 20.02.2014 (Gebäude/Überdachung 2. UG)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe, Achse A/2-3)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe, Achse A/16-17)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe, Achse A9-10)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe Karlsstraße)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe, Achse A/3)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe, Achse C/-3)  
Prüfbericht 2014 H  
Prüfung vom 11.03.2014 bis 11.03.2014 (Treppe Königsstraße)
- Bestandsunterlagen in Form von geprüften Statischen Berechnungen des Prüfsachverständigen Wolfgang Slomski
  - 1. Bauabschnitt:  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 1 vom 15.02.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 2 vom 13.03.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 3 vom 10.04.1991

Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 4 vom 24.04.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 5 vom 24.04.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 6 vom 23.05.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 7 vom 12.06.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 8 vom 25.06.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 9 vom 26.06.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 10 vom 15.07.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 11 vom 16.08.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 12 vom 09.09.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 13 vom 22.10.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 14 vom 22.10.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 15 vom 22.10.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 16 vom 21.11.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 17 vom 09.12.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 18 vom 18.12.1991  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 19 vom 20.01.1992  
Prüfbericht Nr. 91 039 Nr. 20 vom 17.08.1992

## 2. Bauabschnitt:

Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 1 vom 23.09.1994  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 2 vom 01.12.1994  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 3 vom 28.12.1994  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 4 vom 07.02.1995  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 5 vom 13.02.1995  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 6 vom 13.03.1995  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 7 vom 17.03.1995  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 8 vom 24.04.1995  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 9 vom 13.06.1995  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 10 vom 27.03.1996  
Prüfbericht Nr. 94 474 Nr. 11 vom 18.06.1996

Die in den Prüfberichten benannten Unterlagen sind jeweils vollständig vorhanden.

Die ursprünglichen Schalpläne sind größtenteils nicht Gegenstand der Prüfberichte und somit lagen diese auch nicht vor.

- Baugrundgutachterliche Stellungnahme der IBOG mbH Ingenieurtechnologie vom 28.05.1990

## 2. Erster Bauabschnitt, Theatervorplatz

### 2.1 Technische Beschreibung des Bestandes

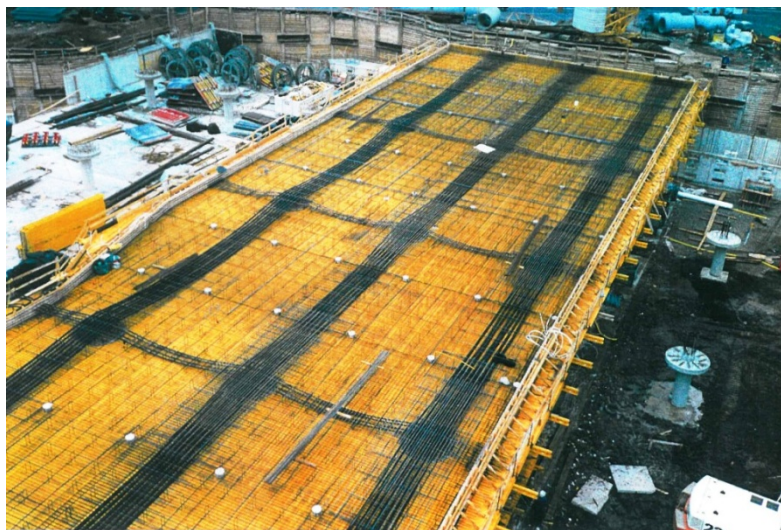
Der erste von zwei Tiefgaragenbauabschnitten wurde in den Jahren 1991 – 1992 gebaut und liegt unter dem Theatervorplatz südlich des Steinwegs. Die Zufahrt und Erschließung erfolgt von der Du-Ry-Straße zwischen dem Staatstheater und der Documenta-Halle.

Die zweigeschossige Tiefgarage weist im Grundriss Abmessungen von ca. 95 m Länge und ca. 70 m Breite auf.

Die Einbindetiefe beträgt ca. 9,0 m.

Die beiden Geschossdecken werden durch punktgestützte Flachdecken mit Pilzkopfverstärkungen über den Stützen gebildet. Die Deckenstärken betragen  $d = 65$  cm (erdüberschüttete Decke über 1.UG) und  $d = 40$  cm (Decke über 2.UG).

Bei einem Grundraster von 7,50 m x 15,40 m sind die Decken längs und quer mit Monolitzen der Firma SUSPA GmbH vorgespannt.



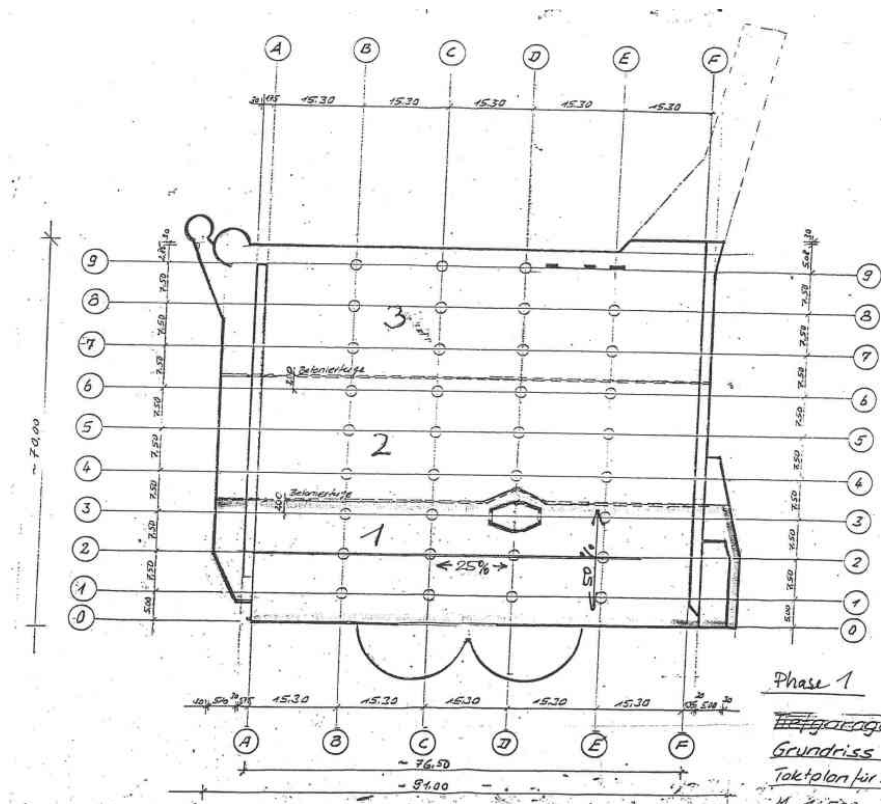
Aufsicht mittlerer Betonierabschnitt zwischen den Achsen 3 und 6



Detail Spanngliedführung über Stützenkopf

Die Herstellung der Deckenplatten erfolgte jeweils in drei Bauabschnitten, wobei die Betonierfugen in den Zahlenachsen ca. 2,0 m neben den Achsen 3 und 6 liegen.

Die Quervorspannung wurde mittels Koppelstellen jeweils über die Arbeitsfugen geführt.



Planunterlage Grundriss mit Betonierfugen



Entsprechend den Vorbemerkungen in der Statischen Berechnung wurde die Vorspannung planmäßig so gewählt, dass die Deckenkonstruktionen unter Dauerlasten aus Parken im Zustand I, also ungerissen bleiben.

Folgende Verkehrslasten wurden für die Geschossdecken angesetzt:

- Decke über dem 1. Untergeschoss:
  - 100 cm Erdauflast + 10 cm Schutzbeton
  - SLW 30 + 5,0 kN/m<sup>2</sup> Flächenlast
  - Alternativ 10,0 kN/m<sup>2</sup> Flächenlast
- Decke über 2. Untergeschoss
  - $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$
  - 0,5 kN/m<sup>2</sup> für Belag

Etwa zwei Drittel des Bauwerkes (Achse A-F / 0 - 6) sind flach gegründet, der Teil zum Theater hin, ab Achse 7, steht auf unbewehrten Großbohrpfählen.

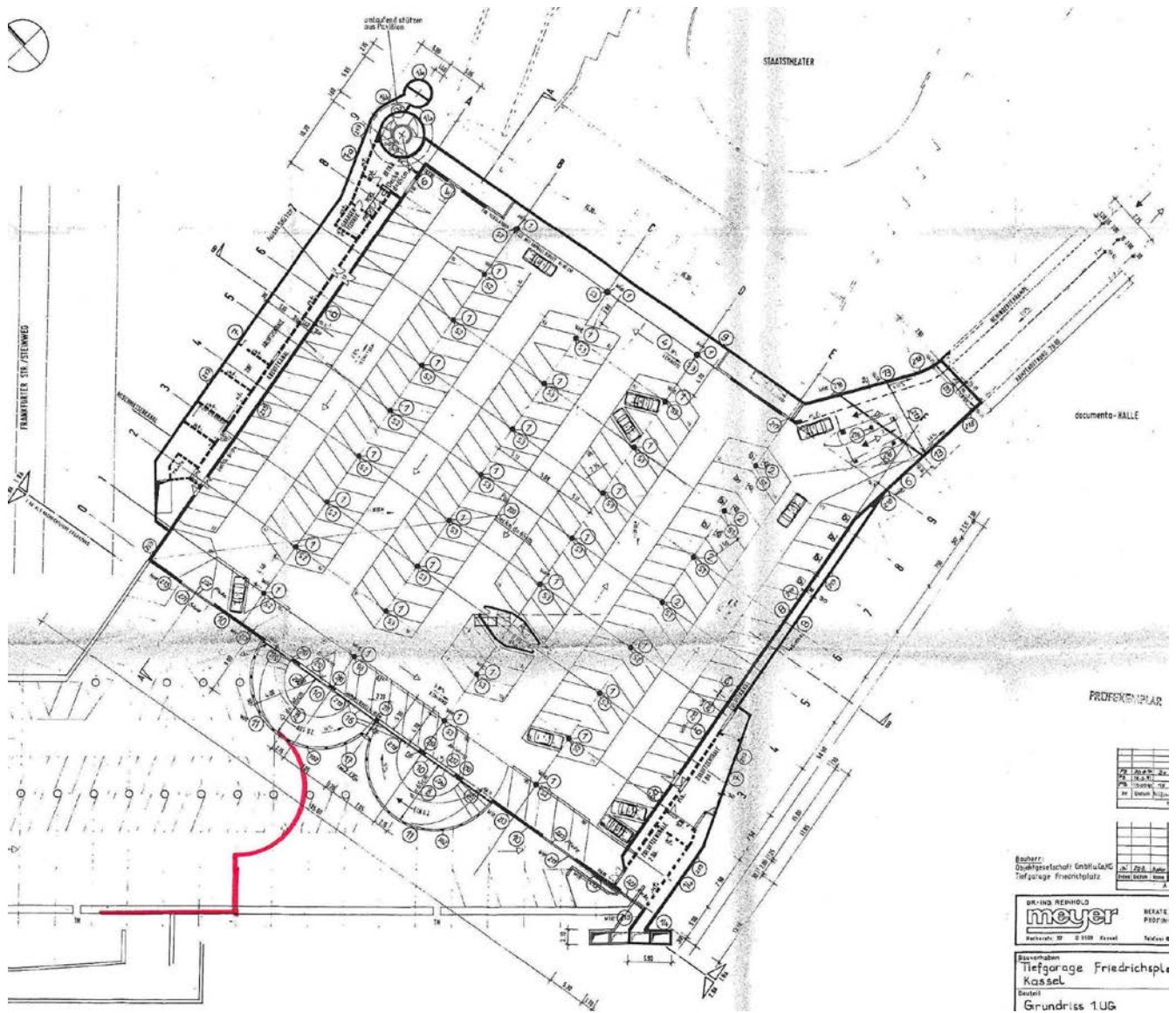
Aufgrund der Vorgaben des Baugrundgutachtens wurde die Tiefgaragenkonstruktion nicht gegen drückendes Wasser ausgelegt. Kurzzeitig aufstauende Sickerwässer sollen planmäßig über Flächendrainagen in Pumpensümpfe mit selbstschaltenden Pumpen abgeleitet werden.

Die Sohle wurde in der Fläche mit einer Stärke von  $d = 16 \text{ cm}$  ohne weitere Dichtungsmaßnahmen zwischen die aufgehenden Stützen und Wände betoniert.

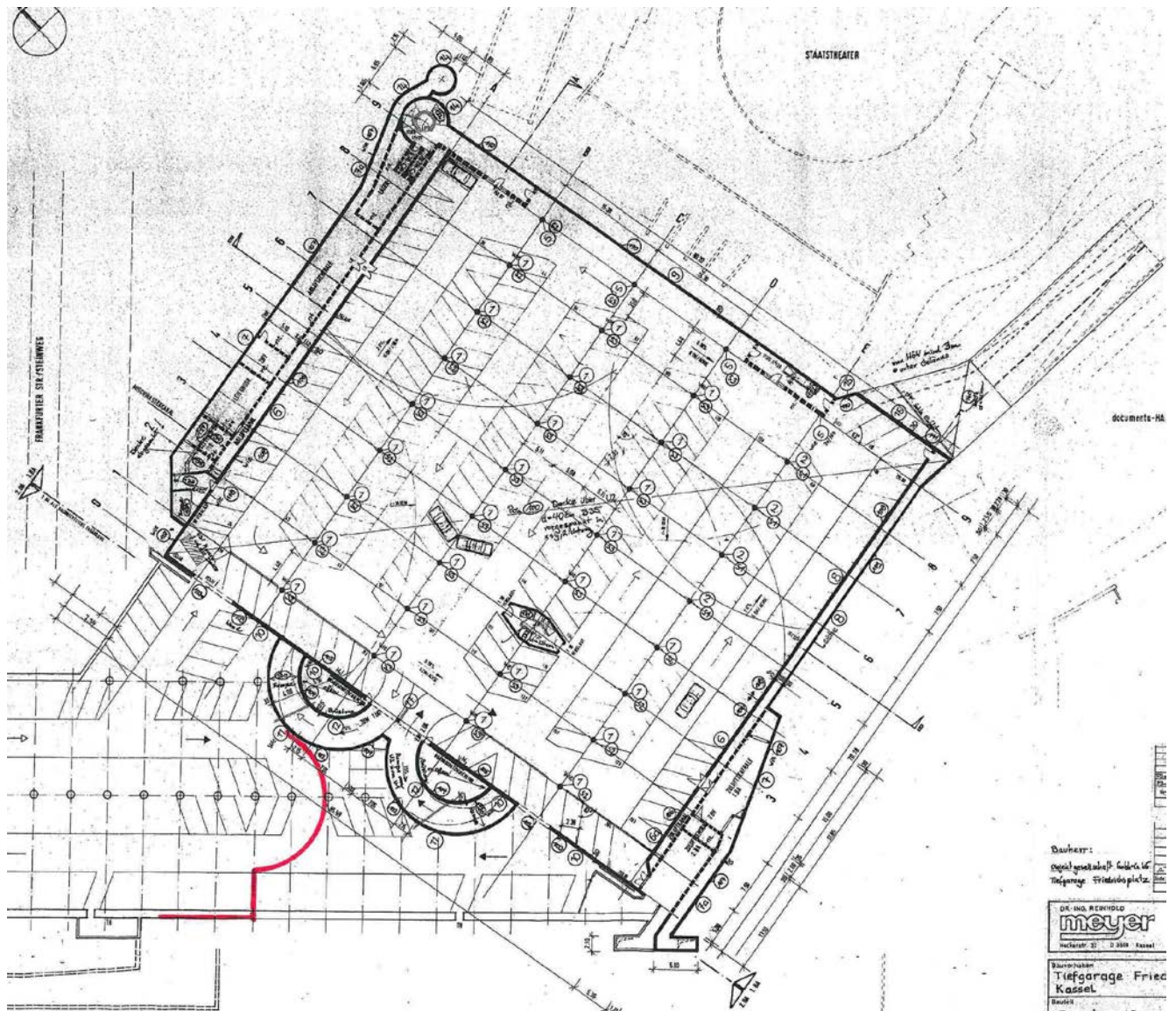
In den Arbeitsfugen der Außenwandkonstruktion wurden keinerlei Fugenbleche oder außenliegende Fugenbänder eingebaut.

Aus den Planunterlagen geht hervor, dass entsprechend der Empfehlung des Baugrundgutachters außenseitig an den Wänden und der überschütteten Garagendecke eine Dichtungsbahn angeordnet wurde. Im Bereich der Erdüberschüttung wurde auf diese Abdichtung ein Schutzbeton aufgebracht.

Die Grundrissgeometrie und weitere Einzelheiten der baulichen Durchbildung sind den folgenden Seiten mit Positionsplandarstellungen zu entnehmen.

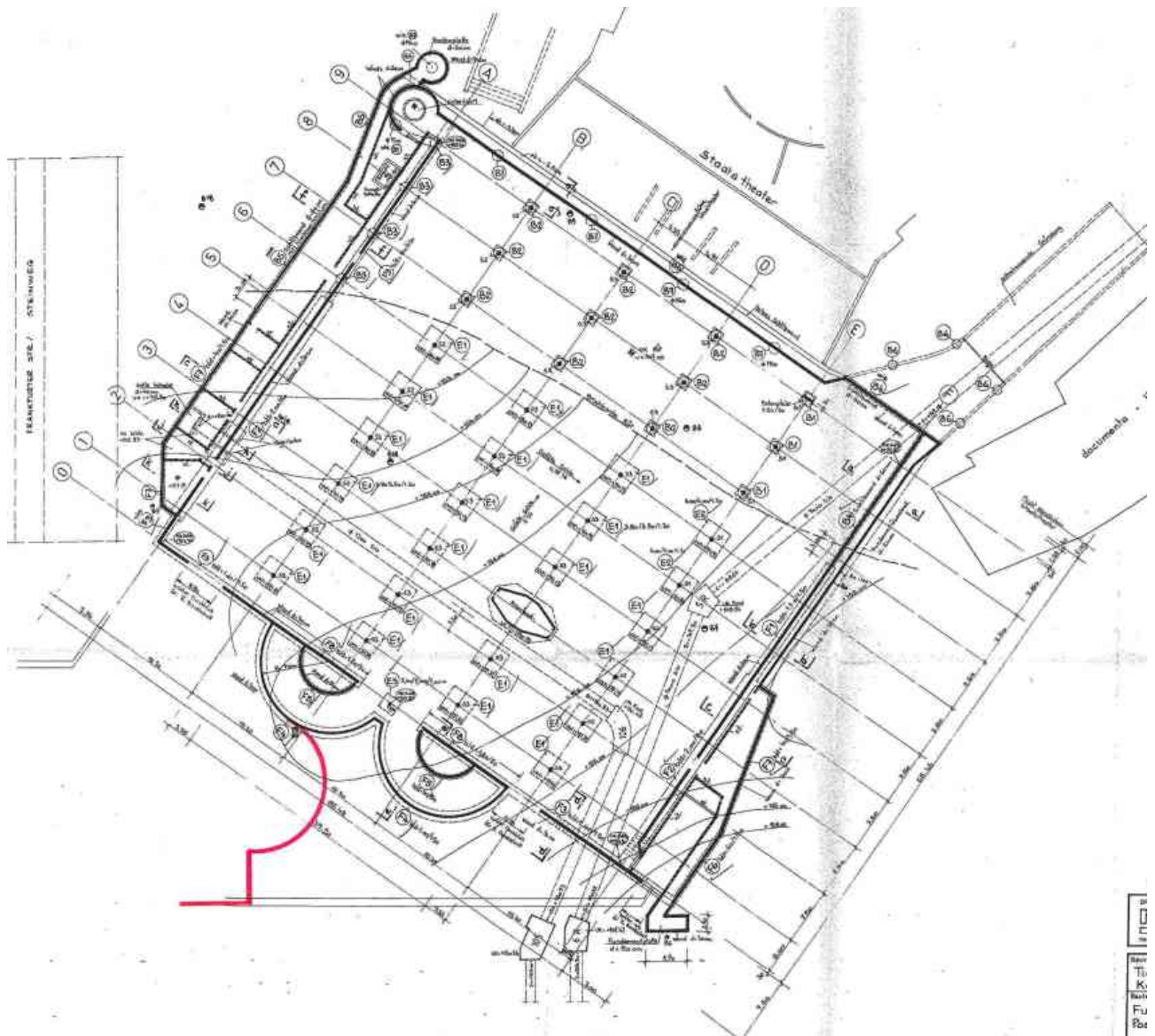


Grundriss 1. UG



Grundriss 2. UG





Grundriss Fundamente

## 2.2 Bauteiluntersuchungen

### 2.2.1 Untersuchungen am Bauwerk

Vor Ort wurden direkt am Bauwerk zerstörungsfreie Prüfungen und Probenentnahmen durchgeführt. Die Ergebnisse und Protokolle sind in Anlage 1 beigelegt.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung wurde der Untersuchungsumfang dabei wie folgt festgelegt:

#### 1. Untergeschoss

- Drei Untersuchungspunkte an Stützen, jeweils eine Stütze pro Deckenabschnitt
- Vier Untersuchungspunkte an Wänden, je Begrenzungswand ein Untersuchungspunkt
- Acht Untersuchungspunkte an der Oberseite der Decke über dem zweiten Untergeschoss (Fußboden erstes Untergeschoss), zwei im Bereich der Einfahrt, die restlichen sechs verteilt auf die drei Herstellungsabschnitte der Decke
- Eine Bohrkernentnahme zur Feststellung der Oberflächenbeschichtung

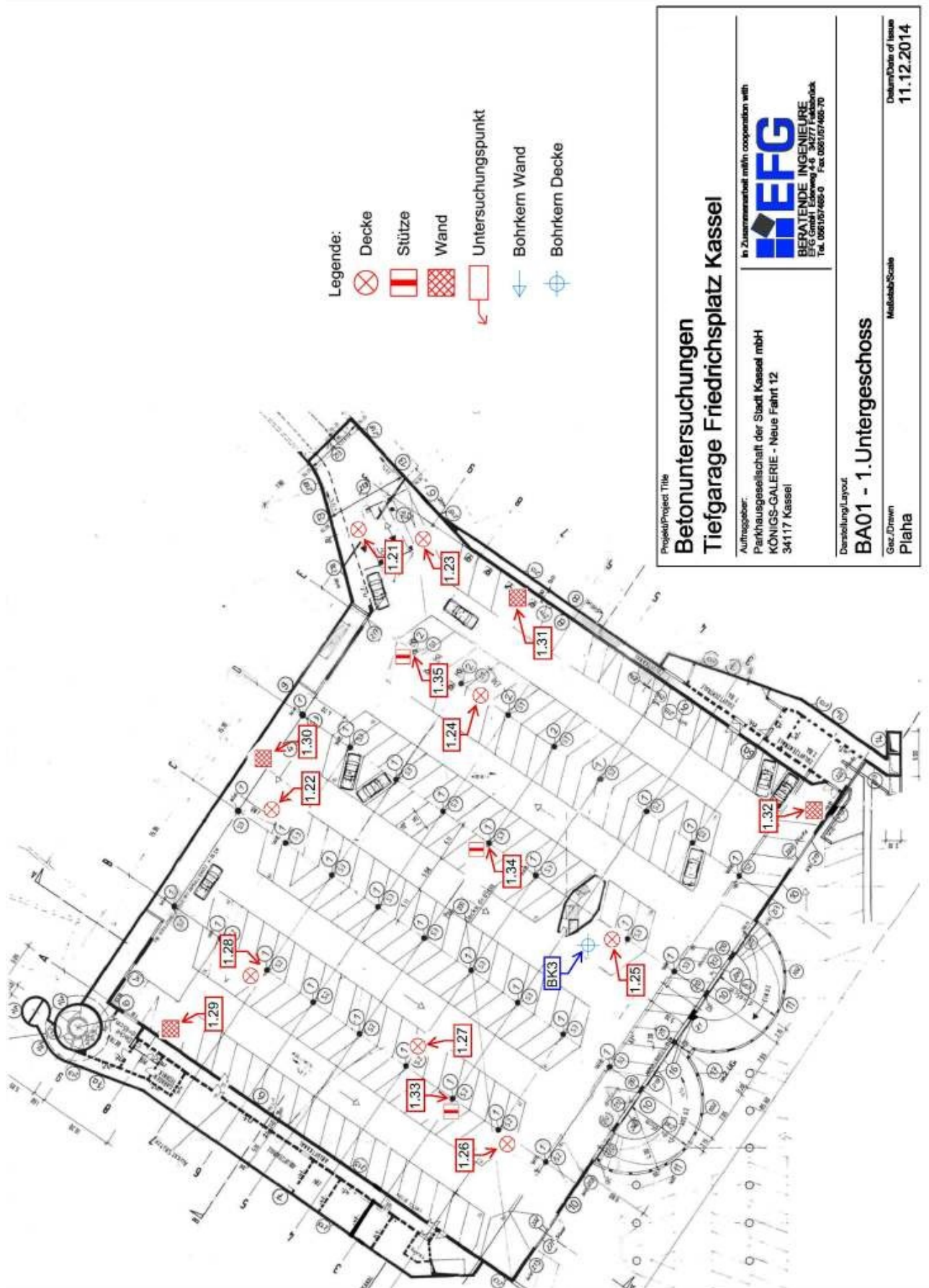
#### 2. Untergeschoss

- Drei Untersuchungspunkte an Stützen, jeweils eine Stütze pro Deckenabschnitt
- Vier Untersuchungspunkte an Wänden, je Begrenzungswand ein Untersuchungspunkt
- Zwei Untersuchungspunkte auf der Sohle
- Zwei Untersuchungspunkte auf den Verbindungsrampen

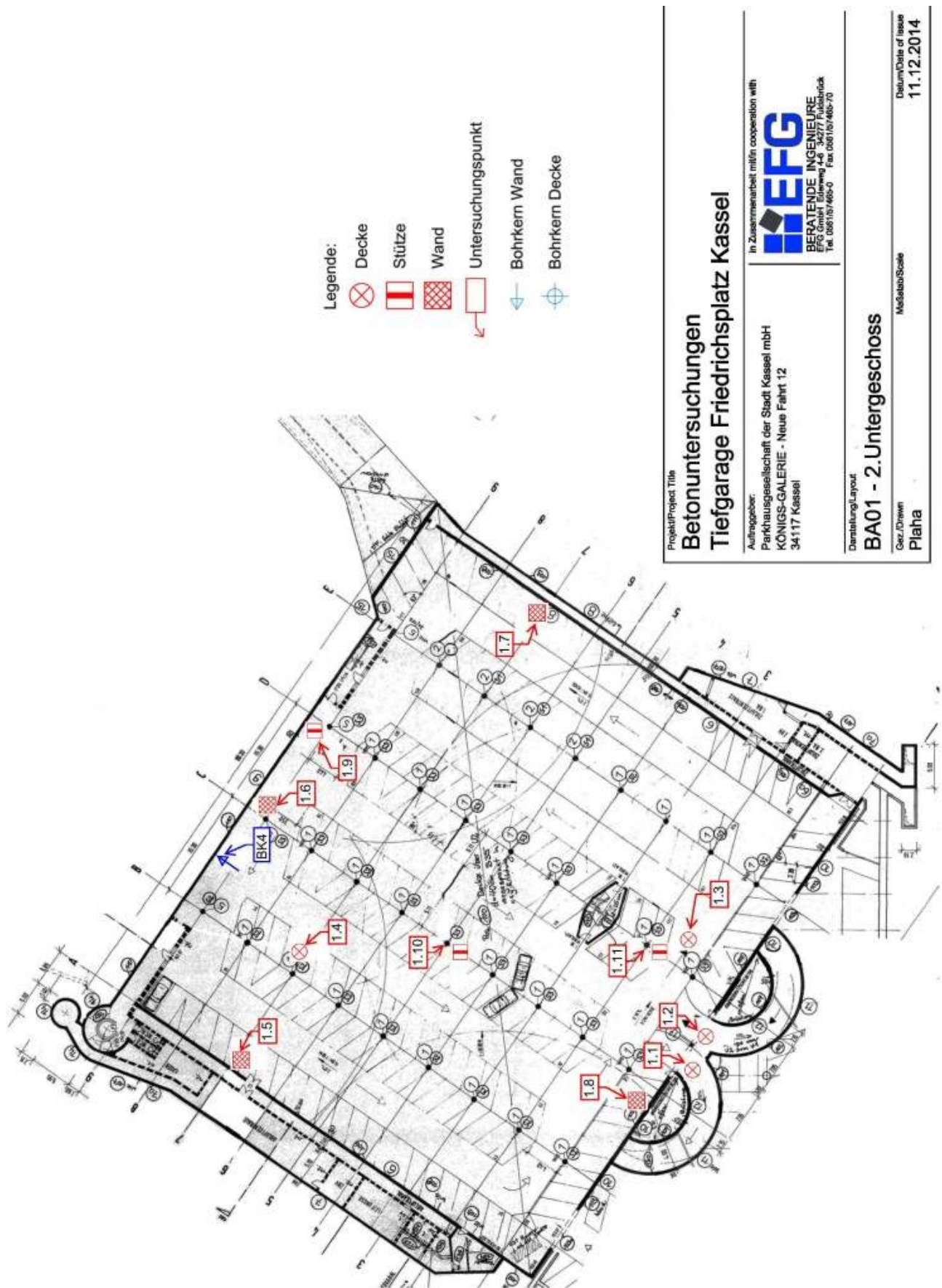
Die labortechnische Untersuchung der Chloridproben, der Beschichtung sowie des Korrosionsgrades der Bewehrung erfolgt durch die Amtliche Materialprüfanstalt der Universität Kassel (AMPA).

Der Prüfbericht der AMPA ist im Anhang beigelegt (Anlage 4).

Eine Übersicht über die Lage der Untersuchungspunkte ist auf den folgenden Seiten dargestellt.







### 2.2.2 Visuelle Begutachtung

Die gesamte Konstruktion wurde augenscheinlich auf Auffälligkeiten und Schäden untersucht.

Auf Grundlage der Bauwerksprüfberichte von dem Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel (01-03/14) wurden die dokumentierten Schäden (Risse, Betonabplatzungen, Aussinterungen, Ausblühungen, Bewehrung freiliegend, korrodiert, Feuchteschäden, Undichtigkeiten) überprüft und der Schadensgrad gegebenenfalls fortgeschrieben bzw. fehlende Schäden aufgenommen.

In Abhängigkeit von Untersuchungsergebnissen und den aufgetretenen Schäden werden unter Punkt 2.4 Rückschlüsse auf die Schadensursachen gezogen.

#### **Untersuchungsziel:**

Die Untersuchung und der Abgleich mit den Bauwerksprüfungen sollen einen Überblick über die maßgebende, vorhandene Schädigung des Bauwerks verschaffen.

### 2.2.3 Betondeckung

Die Betondeckung hat im Wesentlichen drei Funktionen; sie dient:

- dem Korrosionsschutz der Bewehrung
- der Lasteinleitung der Kräfte aus dem Beton in den Bewehrungsstahl
- und dem Brandschutz

Die Gewichtung der Untersuchung liegt auf dem Korrosionsschutz der Bewehrung, um eine Aussage über den Zustand und die noch mögliche Lebenserwartung zu machen.

Die Betondeckung wird induktiv gemessen (Modell „Ferroskan“ der Firma Hilti).

Die erforderliche Mindestdicke der Betondeckung ist nach DIN EN 1992 abhängig von der maßgebenden Expositionsklasse für das Bauteil und von der Verwendung für Beton- und Spannstahl.

Bei der Beurteilung der Betondeckung wird zwischen dem aktuellen normativen Stand und den zur Zeitpunkt der Errichtung maßgebenden Vorschriften (DIN 1045, 07/88) unterschieden.

**Untersuchungsziel:**

Es ist zu ermitteln, ob der Bewehrungsstahl noch ausreichend durch den Beton gegen Korrosion geschützt ist. Der verwendete Spannstahl ist bauartbedingt durch die verwendeten Monolitzen unabhängig von der Betondeckung dauerhaft gegen Korrosion geschützt.

**2.2.4 Betondruckfestigkeit**

Die Messung und die Auswertung wurden nach DIN 1084 T 2 mit einem Rückprallhammer (DIGI-Schmidt – Modell ND) durchgeführt.

Aus den zehn gemessenen Rückprallstrecken  $R$  einer Messstelle (gegebenenfalls nach Winkelkorrektur bei nicht horizontaler Messung) wird der Messstellenmittelwert  $R_m$  errechnet. Aus den Werten  $R_m$  aller Messstellen wird der Mittelwert des Messbereiches  $R_{m,m}$  berechnet.

Die so erhaltenen Werte werden einer Betonfestigkeitsklasse zugeordnet. Dabei müssen sowohl die Anforderungen an  $R_m$  (Tab. 1, Spalte 2) als auch an  $R_{m,m}$  (Tab. 1, Spalte 3) eingehalten sein.

Dieses Vorgehen sichert indirekt die Einhaltung von Quantilwerten.

**Untersuchungsziel:**

Es ist zu ermitteln, welcher Betonfestigkeitsklasse der untersuchte Beton zuzuordnen ist und ob die Festigkeit des Betons ausreicht, um die vorhandenen Lasten abzutragen. Zudem sind Betone mit einer höheren Druckfestigkeit in der Regel dichter und somit weniger anfällig für Karbonatisierung und chemischen Angriff.

### 2.2.5 Beton- und stahlangreifende Stoffe – Chloride

Chloride können die Betonkonstruktion nachhaltig schädigen, was sich besonders in der Korrosion der Stahlbewehrung äußert. Durch Chlorid-Lochfraßkorrosion geschädigte Bewehrungsstähle versagen in der Regel ohne Vorankündigung.

In Kombination mit Frost können sie zu einer Gefügeschädigung des Zementsteins führen. Chloride können bei der Betonherstellung nie ganz ausgeschlossen werden.

Die Chlorideindringtiefe wird durch die Verdichtung der Porenstruktur im Beton beeinflusst.

Die entstandenen Chloride resultieren meist aus: -Tausalz, -Meerwasser, -Brandgase aus der Verbrennung von PVC.

Bei der Berechnung des Chloridgehaltes wird der Zementgehalt von 300 kg/m<sup>3</sup> angenommen. Gemäß der „Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ wird der Grenzwert für Chloride bei 0,4 Masse -% (bezogen auf den Zementanteil) festgelegt.

#### Untersuchungsziel:

Es ist zu ermitteln, ob Chloride in den Beton eingedrungen sind und eine sogenannte Lochfraßkorrosion des Bewehrungsstahles verursacht haben bzw. verursachen werden. Da Lochfraßkorrosion nur vereinzelt und punktuell auftritt, ist sie als deutlich gefährlicher für ein Stahlbetonteil einzustufen.

### 2.2.6 Karbonatisierung

Die Karbonatisierungstiefe wird an frisch hergestellten Oberflächen durch Aufsprühen einer Indikatorlösung ermittelt.

Ist die karbonatisierte Zone bis zum Stahl vorgedrungen, fängt dieser an zu korrodieren, womit eine Volumenvergrößerung verbunden ist. In fast allen Fällen führt dies zu Abplatzungen an der Betonoberfläche.

Die entstandene Karbonatisierung resultiert meist aus: -CO<sub>2</sub> –Konzentration, -Luftschadstoffe, -Feuchtigkeit, -Temperatur, -w/z-Wert der Ausgangsmischung, -Zementsorte, -Nachbehandlung, -Zuschläge, Zusatzmittel, Zusatzstoffe.

**Untersuchungsziel:**

Es ist festzustellen wie weit die Karbonatisierungsfront vorangeschritten ist. Das Gefährdungspotential für die Bewehrung ist zu bewerten.

**2.2.7 Abreißfestigkeit**

Die Prüfstempel zur Ermittlung der Abreißfestigkeit werden mit einem 2-Komponenten-Klebstoff auf die Stirnflächen der Bohrkern aufgeklebt.

Diese wurden vorher durch Schneiden einer Ringnut bis in eine Tiefe von 8-10 mm eingegrenzt.

Durch den Abreißversuch der Stempel mittels einer transportablen Zugvorrichtung mit Messeinheit (Fa. Freundl, Typ Easy M-LC) wird die Abreißfestigkeit bestimmt.

Die Belastungsgeschwindigkeit bzw. die Spannungszunahme wird dabei konstant mit 0,05 N/mm<sup>2</sup> je Sekunde gesteigert.

**Untersuchungsziel:**

Es ist festzustellen, ob die Betonoberfläche im Anschluss an eine Untergrundvorbehandlung für das spätere Aufbringen eines Beschichtungssystems oder Betonerersatzsystems ausreichend tragfähig ist. Die ZTV-ING fordert einen Mittelwert der Abreißfestigkeit von 1,5 N/mm<sup>2</sup> und den kleinsten Einzelwert mit 1,0 N/mm<sup>2</sup>.

**2.2.8 Untersuchung des vorhandenen Oberflächenschutzsystems**

An einer repräsentativen Stelle der Decke über 2.UG wurde ein Bohrkern entnommen.

Es erfolgt eine Bohrkernansprache durch die amtliche Materialprüfanstalt der Universität Kassel.

Durch eine mikroskopische Untersuchung im Labor werden Schichtdicken und Aufbau der vorhandenen Beschichtung festgestellt und analysiert.



**Untersuchungsziel:**

Es ist festzustellen welche Beschichtungsart vorliegt und anhand der Schichtdicken sind Rückschlüsse auf die Qualität bzw. den Verschleißzustand zu ziehen.

**2.2.9 Bestimmung des Korrosionsgrades der Tragbewehrung**

Auf eine Untersuchung mit zerstörender Probeentnahme wurde in der Decke über 2.UG verzichtet, da die verwendeten Monolitzen der Spannstahlbewehrung durch die werksseitige Kunststoffummantelung und die innerhalb der Ummantelung vorhandene Fettschicht bereits doppelt korrosionsgeschützt sind.

Darüber hinaus birgt eine Bohrkernentnahme im Bereich der Stützbewehrung der Decke ein großes Risiko, dass der Korrosionsschutz bzw. der Spannstahl selbst beschädigt wird.

Im Bereich des Wandsockels im 2.UG wurde ein Bohrkern entnommen.

Es erfolgt eine Bohrkernansprache durch die amtliche Materialprüfanstalt der Universität Kassel.

Durch eine mikroskopische Untersuchung im Labor werden die Korrosionsformen und –grade der Wandbewehrung im Sockelbereich analysiert.

**2.2.10 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse**

Die detaillierten Ergebnisse der Bauteiluntersuchungen sind in den Anlagen 1 und 4 beigelegt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse kurz zusammengefasst, Einzelheiten sind den Anlagen zu entnehmen.

**Betondeckung:**

Entsprechend der zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden Vorschrift (DIN 1045 07/88) war für Bauteile in geschlossenen Räumen mit oft auftretender sehr hoher Luftfeuchte ein Mindestmaß der Betondeckung von 25 mm (30 mm bei Bewehrungsdurchmesser 28 mm) und ein Nennmaß von 35 mm (40 mm bei Bewehrungsdurchmesser 28 mm) vorzusehen.

Im Sockelbereich (Spritzbereich mit besonders korrosionsfördernden Einflüssen, Tausalz) bzw. bei direkt befahrenen Decken war von einem Mindestmaß von 40 mm und einem Nennmaß von 50 mm auszugehen.

Gemäß dem derzeit anzuwendenden Eurocode DIN EN 1992-1-1:2011-01 und den sich für die Bauteile ergebenden Expositionsklassen ist ebenfalls von einer Mindestbetondeckung  $c_{\min} = 40$  mm auszugehen. Bei der Dimensionierung ist zusätzlich ein Vorhaltemaß von  $\Delta c_{\text{def}} = 15$  mm zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Bauteiluntersuchungen lassen sich bezüglich der Betondeckung wie folgt zusammenfassen:

Bauteil	Betondeckung IST	Betondeckung SOLL
[---]	[mm]	[mm]
Sohle / Rampe	12 – 46	40
Decke	45 – 63	40
Stützen Sockelbereich	17 - 53	40
Wände Sockelbereich	7 – 31	40

Trotz einer seinerzeitigen Planungsvorgabe von 2,5 cm erfüllt die Decke über 2.UG an jeder Untersuchungsstelle mit im Minimum 45 mm die Anforderungen an die Mindestbetondeckung.

Von den drei Messstellen an der Sohle bzw. Rampe ergab sich nur an einer Stelle eine ausreichende Betondeckung.

Die aufgehenden Bauteile (Stützen und Wände) weisen im Sockelbereich nahezu durchgehend zu geringe Betondeckungen auf.

Während bei den Stützen oberhalb des Sockelbereiches die erforderliche Deckung der Bewehrungseisen bis auf eine Ausnahme erreicht wird, ist die Betonüberdeckung der Wände auch für die Bereiche oberhalb des Sockels zu gering. An einem Untersuchungspunkt wurde mit lediglich 7 mm eine wesentlich zu geringe Betondeckung festgestellt.

### **Betondruckfestigkeit**

Als erforderliche Betongüte wurde in den statischen Berechnungen für die Decken bzw. Wände ein B35 und für die Stützen ein B45 zugrunde gelegt.

Die Sohle des 2.UG wurde mit einem B25 geplant.

Die Decke über dem 2.UG erfüllt durchgehend die geforderten Mindestfestigkeiten für die Druckfestigkeitsklasse C30/37, die mit einem B35 gemäß seinerzeitiger Planung gleichzusetzen ist. Sowohl die Einzelwerte, als auch das Mittel des jeweiligen Prüfbereiches erfüllen die Anforderungen.

Die gemessenen Betondruckfestigkeiten der Rampen liegen unter den geforderten Werten eines B25 (C 20/25). Die Unterschreitung des Mindestmedians je Prüfbereich beträgt ca. 7,5 % und ist somit noch im Toleranzbereich.

Die Untersuchungsstellen an der Sohle des 2.UG erfüllen die geforderten Druckfestigkeiten eines B25 (C20/25).

Die Ergebnisse der Stützen zeigen im Median des Prüfbereiches eine ausreichende Betondruckfestigkeit  $\geq$  B45 (C 35/45). An drei Einzelstellen wird der Mindestwert geringfügig unterschritten. Dies ist insofern unkritisch, als der Median des Prüfbereiches etwa zwei Festigkeitsklassen höher als gefordert liegt und durch die Untersuchungsmethode einzelne Ausreißer in der Messung nicht gänzlich auszuschließen sind.

### **Bestimmung des Chloridgehaltes**

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt, dass in den untersuchten Stützen in einer Höhe von 20 cm über der Parkfläche keine Chlorid-Gehalte gemessen wurden, die den kritischen Grenzwert erreichen.

Das heißt, dass für die Bewehrung in diesem Bereich derzeit nicht mit einer chloridinduzierten Korrosion zu rechnen ist.

Dagegen weisen sowohl die Decke über 2.UG (komplett) als auch die Wände (teilweise) in einer Höhe von 20 cm über der Parkfläche und die Sohle Chlorid Konzentrationen auf, die deutlich über dem vorgenannten Grenzwert liegen und bis in eine Tiefe von 4-6 cm reichen. Besonders die in der Decke festgestellten Werte übersteigen den kritischen Grenzwert zum Teil bis zum Zehnfachen (Untersuchungspunkt 1.28).

An diesen Stellen muss von einer Gefährdung der Bewehrung durch eine chloridinduzierte Korrosion ausgegangen werden.

### **Karbonatisierung**

An frischen Ausbruchstellen der Stahlbetonbauteile wurde eine Karbonatisierung im Bereich von 0 bis maximal 25 mm Tiefe gemessen. Für die Stützen und Wände wurde eine Karbonatisierungstiefe von 10 mm, für die Sohle im 2.UG von 5 bis 25 mm sowie für die Decken über 2.UG von 5 mm festgestellt.

Die geringe Karbonatisierungstiefe in Verbindung mit den gemessenen Betonüberdeckungen zeigt, dass die Karbonatisierungsfront bei den Stützen und der Decke über 2.UG nicht bis zu den Bewehrungsseisen vorgedrungen ist.

Hier ist die Passivierung des Bewehrungsstahles und damit der Korrosionsschutz voll gegeben.

Im Bereich der Wände muss das Untersuchungsergebnis dahingehend differenziert betrachtet werden, als in Teilbereichen eine sehr geringe Betondeckung von minimal 0,7 mm auf eine Karbonatisierungstiefe von bis zu 25 mm trifft. In diesen Bereichen hat die Karbonatisierungsfront den Bewehrungsstahl erreicht und es kann davon ausgegangen werden, dass sich bei Zutritt von Wasser und Sauerstoff entsprechende Korrosion des Bewehrungsstahls einstellt.

Gleiches gilt für die Sohle des 2.UG. Hier ist der passive Korrosionsschutz aufgrund der festgestellten Karbonatisierungstiefe in Verbindung mit der Betondeckung nicht mehr vollständig gegeben.

### **Abreißfestigkeit**

Die gemessenen Haftzugwerte zeigen einheitlich, dass der für Instandsetzungen erforderliche Mindestwert von 1,5 N/mm<sup>2</sup> auf den geschliffenen Betonoberflächen erreicht wird.

Die auf der Beschichtung gemessenen Werte liegen deutlich unter den erforderlichen Werten.

Daraus folgt, dass bei Instandsetzungsmaßnahmen die vorhandenen Beschichtungen vollständig zu entfernen sind.

### **Oberflächenschutzsystem**

Die Untersuchungen des Oberflächenschutzsystems kommen zu dem Ergebnis, dass eine starre Beschichtung (OS 8) vorhanden ist.

Die Gesamtschichtstärke des Beschichtungssystems einschließlich Grundierung beträgt an der gemessenen Stelle ca. 1,6 mm. Damit erfüllt die Beschichtung die erforderliche Mindestdicke im Sinne von DIN EN 13813 von 1,5 mm.

### **Korrosionsgrad der Wandbewehrung**

An der entnommenen Bewehrung des Wandsockels konnte eine geringe Oberflächenkorrosion in Verbindung mit bestehender Lochfraßkorrosion festgestellt werden.

Das Ergebnis bestätigt die Untersuchungsergebnisse bezüglich der kritischen Chloridbelastung und der Karbonatisierungstiefe.

Eine Schädigung der Tragbewehrung hat im Bereich der Wandfüße eingesetzt.

## **2.3 Aufgetretene Schäden**

Anfang des Jahres 2014 hat das Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel eine Bauwerksuntersuchung analog der für Brückenbauwerke gültigen DIN 1076 durchgeführt.

Die Prüfberichte vom März 2014 beinhalten neben einer beispielhaften Schadensdokumentation eine umfangreiche Rissaufnahme mit Rissbildern der Deckenober- bzw. -unterseiten.

Die seinerzeit getroffenen Feststellungen hinsichtlich der vorhandenen Mängel und Schäden konnten im Rahmen mehrerer Ortstermine im Wesentlichen bestätigt werden.

Hinsichtlich der Rissverteilung und –größe in den Decken wird auf die Risszeichnungen in den Prüfberichten verwiesen (Anlage 5).

Besonders auffällig sind die Schäden entlang der Betonierfugen in den Achsen 3' und 6' sowie im offenen Einfahrtsbereich.

Hier sind zum Teil wasserführende Trennrisse vorhanden, die zumindest im Bereich der Betonierfugen zu deutlichen Abplatzungen und Korrosionserscheinungen an der Bewehrung geführt haben.



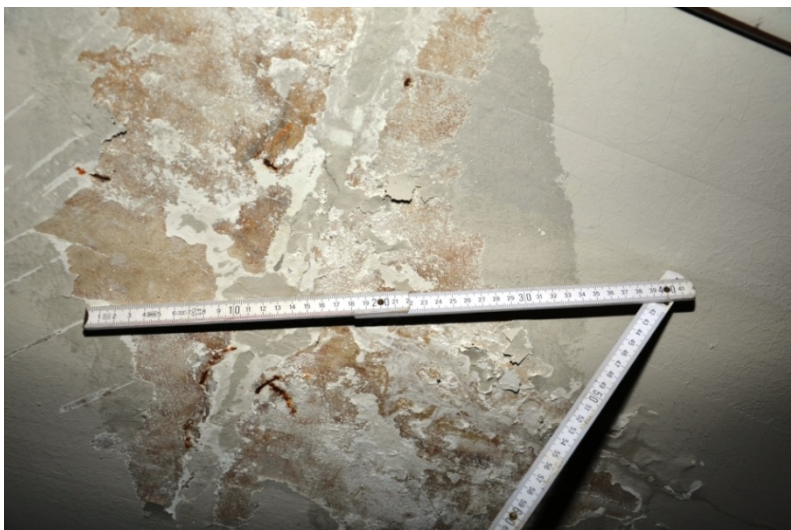
Betonabplatzungen mit freiliegender korrodierter Bewehrung an der Betonierfuge, Decke über 2.UG



Großflächige Aussinterungen und Feuchtestellen einschließlich korrodierter Bewehrung im Bereich der Betonierfuge, Decke über 2.UG

Auch in den übrigen Deckenbereichen sind mehrere Trennrisse mit unterseitigen Aussinterungen festzustellen.





Aussinterungen mit Feuchtestellen an Trennrissen, Deckenunterseite 2.UG



Sanierungsversuch eines Trennrisses, Deckenunterseite 2.UG



Große Anzahl von wasserführenden Trennrissen im Einfahrtsbereich, Deckenunterseite 2.UG

Darüber hinaus zeigen die Geschossdecken eine Vielzahl von Rissen bis zu einer Größe von maximal 0,40 mm.





Wasserführender Trennriss mit Betonabplatzungen und freiliegender korrodierter Bewehrung, Deckenunterseite 2.UG

An dem Rissbild der Deckenunterseite der Decke über 1. UG fällt auf, dass der mittlere Deckenbereich zwischen den Achse 3' und 6' nahezu rissfrei ist.

Die Deckenunterseiten der angrenzenden Betonierabschnitte zeigen Risse, die im Wesentlichen in Richtung der Buchstaben verlaufen und Rissbreiten von bis zu 0,4 mm aufweisen.

In den Endfeldern zwischen den Achsen A und B bzw. E und F zeigen sich zusätzlich noch einige Schrägrisse.

Feuchtestellen im Bereich der Betonierfugen und in der Anschlussfuge zum Einfahrtsbauwerk deuten auf oberseitige Undichtigkeiten hin.

Weiterhin sind Durchfeuchtungen im Bereich der Lüftungskanäle und an einzelnen Stellen der Außenwand zu beobachten.

Das Einfahrtsbauwerk weist im Fahrbahnbereich eine starke Rissbildung auf.

Beim Abklopfen wurden in der Fahrbahn Hohlstellen festgestellt. Vereinzelt ist es zu Betonausbrüchen gekommen.

Die Fugenkonstruktion im Anschluss an die Tiefgarage ist schadhaft und undicht.



Undichte Fugenkonstruktion im Anschluss an das Einfahrtsbauwerk, 1.UG

In der Decke über 2. UG korrespondieren die Rissbilder im Bereich der Deckenober- und -unterseite miteinander. Es ist augenscheinlich, dass ein Teil der Risse durchgehende wasserführende Trennrisse sind.

Analog zur Decke über 1. UG ist das Rissbild im mittleren Deckenabschnitt weniger stark ausgebildet. Allerdings sind in den Randfeldern deutlich mehr Risse vorhanden, die im Wesentlichen senkrecht auf die Begrenzungswände zulaufen.

Zwischen Achse A und B befinden sich durchgehende Trennrisse, an denen Aussinterungen darauf hindeuten, dass sie zumindest zeitweise durchfeuchtet bzw. wasserführend sind.

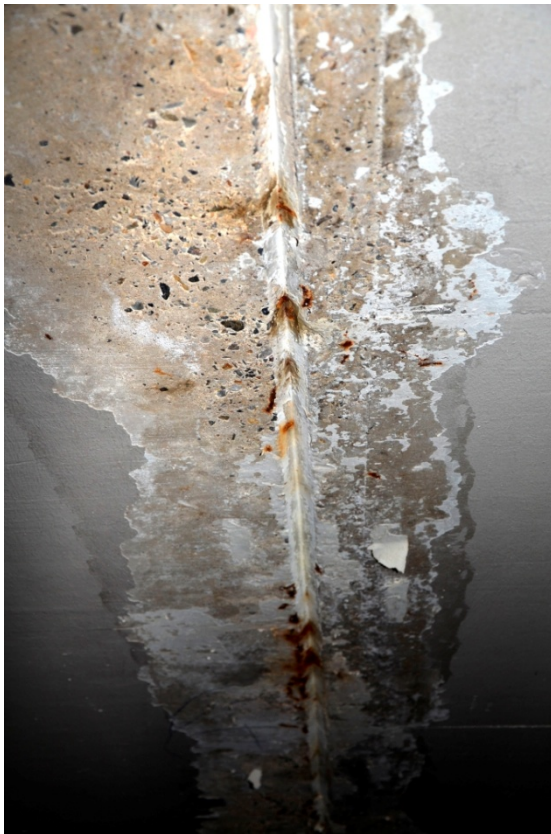
In den Randabschnitten sind vermehrt diagonal verlaufende Risse im Bereich der Gebäudeecken festzustellen.



Wasserführender schräger Trennriß im Bereich Achse F/1, Deckenunterseite 2.UG

Schadensschwerpunkte sind, wie eingangs beschrieben, die Betonierfugen an den Achsen 3 und 6 sowie der Deckenbereich zur offenen Einfahrt im Achsbereich E-F / 8-9.





Feuchtestellen an der Deckenunterseite 2.UG im Bereich der Betonierfuge



Ausgebrochene Betonierfuge oberseitig 1.UG mit abgeplatzter Beschichtung

Aussinterungen, Feuchtestellen und Betonabplatzungen auf einer Länge von bis zu zwei Metern und freiliegende korrodierte Bewehrung weisen im Bereich der Betonierfugen darauf hin, dass diese oberseitig nicht abgedichtet sind und sich nachträglich geöffnet haben.

Die Risskonzentration im Anschluss an das Einfahrtsbauwerk deutet auf Zwangsbeanspruchungen aus Temperatur hin.

Stellenweise kommt es im ersten Untergeschoss aufgrund fehlenden Gefälles zu einer Pfützenbildung.

Die Verbindungsrampen zwischen erstem und zweitem Untergeschoss weisen vereinzelt Risse auf.

An den Außenwänden im Bereich der Rampen sind Feuchtestellen festzustellen.

An den Außenwänden an Achse A/0 bzw. F/0 zeigen sich im 2.UG in geringem Umfang Setzungsrisse.



Setzungsriß an Achse F/0

Im Bereich der Achse A/0 und E/0 wurde die Stahlbetonwand in beiden Geschossen für einen späteren Anschluss an den folgenden zweiten Bauabschnitt ausgespart.

Diese Aussparungen wurden mit Mauerwerk geschlossen und die Fuge Mauerwerk/Stahlbeton gemäß Planung mit einem außenliegenden Dichtungsband abgedichtet.

Die Umsetzung des zweiten Bauabschnittes erfolgte jedoch in Achse E/0 ohne Anschluss an den ersten Bauabschnitt, so dass die erdberührte Stahlbetonaußenwand nach wie vor eine Mauerwerksausfachung an diesen Stellen besitzt.



Im zweiten Untergeschoss dringt im vertikalen Anschlussbereich Wasser durch die anscheinend undichte Fuge. Auch im ersten Untergeschoss zeigen diese Fugen vereinzelt Feuchtestellen.



Eindringendes Wasser im 2.UG, Außenwand Achse E/0

Das im zweiten Untergeschoss eindringende Wasser deutet auf außenseitig drückende Schichten- oder Grundwasserstände hin.

Bei den aufgehenden Bauteilen (Stützen und Wände), die an befahrene Flächen grenzen oder an Tiefpunkten ist zur Vermeidung des Eindringens von Chloriden ein Oberflächenschutz erforderlich. Die dazu notwendige Kehlenausbildung ist größtenteils schadhaft bzw. mangelhaft. An den aufgehenden Bauteilen ist kein Oberflächenschutzsystem vorhanden.

Das vorhandene Beschichtungssystem des ersten Untergeschosses ist in großen Teilen der Fahrbahnen, besonders im Einfahrts- und Kurvenbereich abgefahren. Zum Teil sind Abplatzungen bzw. Ausbrüche in der Oberfläche zu beobachten. Im zweiten Untergeschoss ist der Schadensumfang am Oberflächenschutzsystem aufgrund der geringeren Nutzung wesentlich geringer.



Abplatzungen des Oberflächenschutzsystems, abgenutzte bzw. abgefahrte Bereiche



Die Sohle des 2.UG weist ein sehr ausgeprägtes Rissbild mit Rissweiten von bis zu 10 mm auf.

Es ist zu beobachten, dass besonders im Bereich der Stützen und der Außenwände große und zum Teil klaffende Risse auftreten.

Auffällig ist, dass die Sohle in weiten Teilen aufgeschüsselt bzw. zwischen den Stützen nach oben gewölbt ist, so dass sich Unebenheiten von mehreren Zentimetern ergeben.

Im Sockelbereich der aufgehenden Wände zeigen sich teilweise Kalkablagerungen bzw. Aussinterungen, die auf aufsteigende Feuchtigkeit hindeuten.

In den Treppenhäusern sind vereinzelt Feuchteschäden in Form von Aussinterungen und Betonabplatzungen mit freiliegender Bewehrung zu beobachten.

Vereinzelt ziehen sich die Folgeschäden an den tieferliegenden Bauteilen bis in das 2.UG.

Im 2.UG sind an dem Sturz zur Einfahrt in den zweiten Bauabschnitt Betonausbrüche und freiliegende korrodierte Bewehrung festzustellen. Augenscheinlich wurde die Bügelbewehrung des Sturzes aufgrund fehlender Durchfahrtshöhe zum Teil abgetrennt.

In beiden Geschossen sind am Übergang zum zweiten Bauabschnitt Undichtigkeiten vorhanden.

Zum Zeitpunkt der Inaugenscheinnahmen liefen die Pumpen im zweiten Untergeschoss zur Rückführung des anfallenden Schichten- bzw. Grundwassers ständig.

Besonders dem ersten Besichtigungstermin Ende November war eine mehrwöchige niederschlagsarme Periode vorausgegangen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass es nahezu durchgängig erforderlich ist, anfallendes drainiertes Wasser im Bauwerksbereich abzupumpen.

Der Betreiber berichtete, dass bei Abschaltung der Pumpen das anfallende Wasser in das 2.UG steigt.



## 2.4 Schadensursachen

Die wesentliche Ursache für die aufgetretenen Risschäden in den Geschossdecken ist Zwang.

Besonders der zentrische Zwang durch die aufgebrachte Vorspannung in Verbindung mit dem Kriechen und Schwinden der vergleichsweise massigen Bauteile (Decke über 1. UG  $d = 65$  cm und Decke über 2. UG  $d = 40$  cm) hat zu dem ausgeprägten Rissbild der Decken geführt.

Die Hauptvorspannung der Decken erfolgte über den Stützen in Zahlenachsenrichtung. Durch die Betonierfuge, an der sich eine Sollrissstelle eingestellt hat, liegt der mittlere Deckenbereich zwischen den Achsen 3' und 6' in Zahlenachsenrichtung nahezu zwangsfrei. Die Außenwände in den Achsen A und F sind vergleichsweise weich und behindern die Verkürzung nur gering.

Aus diesem Grund weist der mittlere Betonierabschnitt kaum Trennrisse auf. Nur auf der Oberseite der Decke über 2.UG sind in den Endfeldern einige Risse senkrecht zu den Außenwänden zu beobachten.

Aufgrund der jeweiligen Außenwände parallel zur Hauptvorspannung zeigen die äußeren Betonierabschnitte ein wesentlich ausgeprägteres Rissbild. Besonders augenscheinlich sind die Diagonalrisse in den Gebäudeecken.

Die Deckenunterseite der Decke über 2.UG zeigt durch das Rissbild, dass die Hauptvorspannung in Buchstabenachsenrichtung dafür gesorgt hat, dass durchgehende Trennrisse im Wesentlichen nur parallel zu den Zahlenachsen laufen.

Im Bereich der Achsen 3' und 6' hat sich die Betonierfuge trotz gekoppelter Quervorspannung geöffnet.

Feuchtestellen an der Decke über dem ersten Untergeschoss zeigen, dass die oberseitige Abdichtung teilweise undicht ist.

Da die Fuge keinerlei Dichtungsprofil hat, sind die Schäden an der Decke über dem zweiten Untergeschoss besonders stark ausgeprägt.

Ein oberseitiges Dichtungsprofil hätte die Durchfeuchtung und einen großen Teil der aufgetretenen Schäden verhindert.

Der in der Planung zugrunde gelegte Ansatz, bei der vorliegenden Grundrissgeometrie so vorzuspannen, dass die Deckenkonstruktion im Zustand I, also nahezu rissfrei bleibt, konnte nicht umgesetzt werden.

Ein weiterer Schadensschwerpunkt an den Decken ist im Einfahrtbereich zu beobachten. Hier hat Zwang infolge Temperatur dazu geführt, dass sich eine große Anzahl an Trennrissen eingestellt hat, die sich vermutlich jahreszeitlich abhängig öffnet und schließt.

Der wesentliche Grund für die Verteilung und Größe der Risse ist eine zu gering bemessene rissbreitenbeschränkende Bewehrung.

Je nach Bewehrungsrichtung bzw. Lage wurden zwischen 5,24 cm<sup>2</sup>/m und 10,26 cm<sup>2</sup>/m eingelegt. Erforderlich sind in Abhängigkeit vom Durchmesser zwischen 16,0 und 19,80 cm<sup>2</sup>/m.

Damit liegt in Teilen nur etwa ein Drittel der erforderlichen Bewehrung zur Rissbreitenbeschränkung der auftretenden Zwangskräfte. Die genaue Gegenüberstellung der erforderlichen Bemessungswerte zu den vorhandenen Bewehrungsquerschnitten kann Anlage 3 entnommen werden.

Die relativ großen Rissbreiten bzw. die Trennrisse haben dazu geführt, dass Chloride in den Konstruktionsbeton bis zur Bewehrung vordringen konnten.

Der flächig vorhandene kritische Chloridgehalt in der Geschossdecke über 2.UG zeigt, dass das eingesetzte starre Oberflächenschutzsystem OS8 selbst zwischen den Rissen keine ausreichende Schutzfunktion besitzt.

Aufgrund der Eindringtiefe und der Konzentration des Chloridgehaltes muss davon ausgegangen werden, dass das bestehende Oberflächenschutzsystem schon seit einiger Zeit nicht mehr in der Lage ist den Chlorideintrag wirksam zu vermeiden.

Die Durchfeuchtungen im Bereich der Lüftungskanäle und der Außenwände liegen ursächlich im Wesentlichen in der Tatsache begründet, dass die Konstruktion nicht für drückendes Wasser ausgelegt wurde bzw. die außenseitige Abdichtung beschädigt ist.

Besonders augenfällig wird dies im Bereich der ursprünglich geplanten Verbindung zu dem zweiten Bauabschnitt im Bereich der Achse E/0. Aufgrund des großen Wassereintrages, der sich nach niederschlagreichen Perioden einstellt, ist festzustellen, dass zum einen die außenseitig eingebaute Abdichtung schadhaft ist und zum anderen, zumindest zeitweise, drückendes Wasser ansteht.

Insofern ist davon auszugehen, dass das als Planungsgrundlage dienende seinerzeitige Bodengutachten die anfallende Wassermenge unterschätzt hat.

Diese Vermutung wird durch die Beobachtungen der ständig laufenden Pumpen untermauert.

In diesem Zusammenhang sind auch die Risse und Aufschüsselungen der Sohle im 2.UG zu sehen. Offensichtlich führt eine unterseitige Belastung durch drückendes Wasser zu den beobachteten Verformungen und großen Risssschäden.

Inwiefern die Funktionalität der Flächendrainage bzw. des gesamten Drainsystems für die Schäden verantwortlich ist oder die anfallende Wassermenge schlicht zu groß ist, kann nicht abschließend beurteilt werden.

Die Risse und Schäden im Bereich der Zufahrt sind jahreszeitlichen Temperaturbeanspruchungen in Verbindung mit der stattfindenden Abnutzung bzw. dem zeitlichen Vergang zuzuschreiben.

Die in geringem Umfang festzustellenden Risse in den Außenwänden im Bereich der Achse A/0 bzw. F/0 sind aufgrund ihres Verlaufes auf Setzungen zurückzuführen.

Die Durchfahrtsöffnung zum zweiten Bauabschnitt ist im zweiten Untergeschoss in Teilen nachträglich eingeschnitten worden. Dadurch wurde die vorhandene Bewehrung zum Teil abgetrennt.

Eine entsprechende Reprofilierung mit Kantenschutz erfolgte nicht.

An den aufgehenden Bauteilen wurden im Fußbereich zum Teil erhöhte Chloridkonzentrationen festgestellt.

Es ist davon auszugehen, dass eine Korrosion der tragenden Bewehrung eingesetzt hat.

Dies ist auf die fehlende Oberflächenbeschichtung im Fußbereich der Bauteile und eine mangelhafte Ausführung der Hohlkehlen im Anschlussbereich zurückzuführen.

## **2.5 Beurteilung der Schäden unter Berücksichtigung der Bauteiluntersuchungen**

Der Zustand des ersten Bauabschnitts der Tiefgarage Friedrichsplatz wird in den Prüfberichten des Straßenverkehrs- und Tiefbauamtes zusammenfassend mit der Note 3,0 bewertet.

Gemäß der Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung der Bauwerksprüfung nach 1076 entspricht dies einem kritischen Bauzustand.

Bei dieser Einstufung ist die Standsicherheit des Bauwerks beeinträchtigt.

Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks ist nicht mehr gegeben.

Eine Schadensausbreitung und/oder Folgeschädigung kann kurzfristig bzw. mittelfristig dazu führen, dass die Standsicherheit der Tiefgarage nicht mehr gegeben ist.

Eine umgehende Instandsetzung und laufende Unterhaltung ist erforderlich.

Die Prüfungen der Zugangsbauwerke „Treppenhaus 1.BA Northwest Achse A/1“ und „Treppenhaus 1.BA Nordost“ kommen mit Zustandsnoten von 2,4 bzw. 2,3 zu einem befriedigendem Bauwerkszustand.

Das bedeutet entsprechend der Richtlinie, dass die Standsicherheit der Bauwerke gegeben ist. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann erheblich beeinträchtigt sein.

Eine Schadensausbreitung und/oder Folgeschädigung, die mittelfristig zu erheblichen Standsicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist zu erwarten.

Diese Einstufungen werden durch die Ergebnisse der eigenen Bauteiluntersuchungen bestätigt.

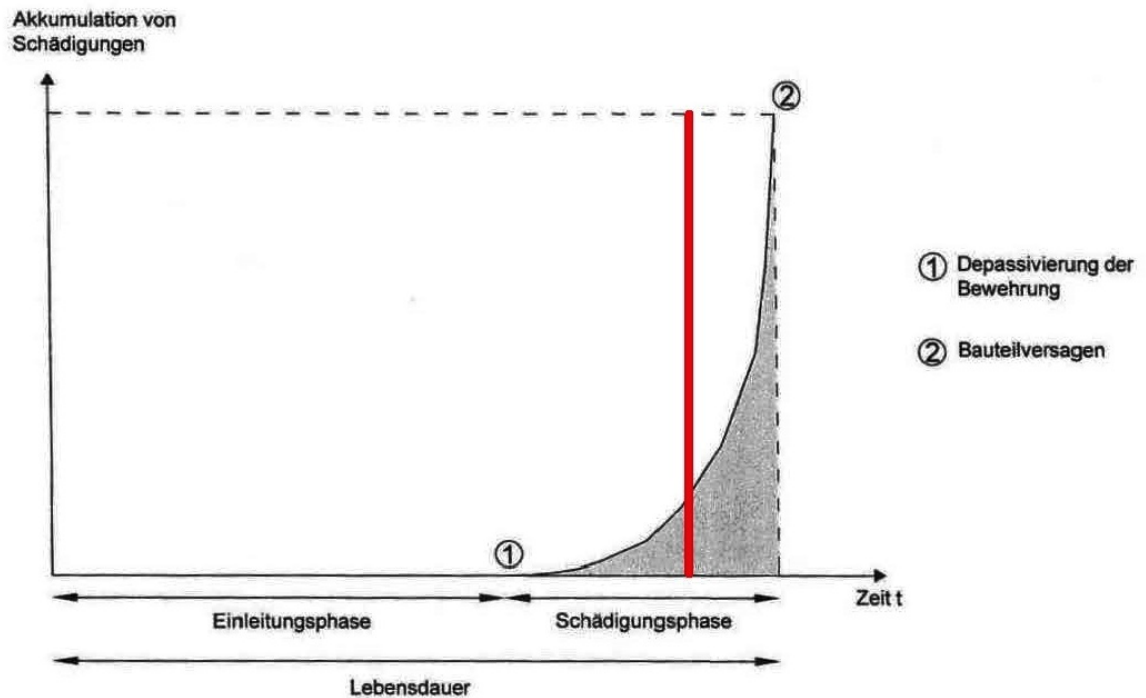
Die Chloridkonzentration in der Decke über 2.UG liegt flächig über dem kritischen Grenzwert von 0,4 M.-% bezogen auf den Zementgehalt.

Hinzu kommt, dass diese Decke ein ausgeprägtes Rissbild aufweist. Im Bereich der Risse kann chloridhaltiges Wasser eindringen und bis zur Bewehrung vordringen.

Im Bereich der vielen Trennrisse ist davon auszugehen, dass die Chloride zu einer beginnenden Korrosion der Tragbewehrung geführt haben.

Der ursprüngliche Entwurfsgrundsatz, alle auftretenden Zugspannungen durch eine ausreichende Vorspannung zu überdrücken, wurde bei weitem nicht eingehalten.

Hinsichtlich der Akkumulation der Schädigungen ist gemäß nachstehendem Bild die Einleitungsphase abgeschlossen und die Decke über dem 2.UG befindet sich in der Schädigungsphase. Die Lage des roten Balkens zeigt qualitativ den Bauwerkszustand im Hinblick auf den fortschreitenden Schädigungsprozess.



Zeitlicher Ablauf der Schädigungen mit Einschätzung des Bauwerkszustandes

Trotz ausreichender Betondeckung zeigen die Bauteiluntersuchungen, dass die Chloride auch im ungerissenen Bereich bis zur Tragbewehrung vorgedrungen sind.

Die auf den ersten Blick positiv zu bewertende ausreichende Betondeckung von ca. 50 mm erfordert andererseits eine entsprechende hohe Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten.

In der Anlage 3 ist die sich ergebende erforderliche Mindestbewehrung für die beiden Geschossdecken der tatsächlich gemäß Bewehrungsplänen angeordneten gegenübergestellt.

Es zeigt sich generell, dass für den maßgebenden Lastfall „zentrischer Zwang im späten Betonalter“ für Kriechen und Schwinden bzw. Temperatur wesentlich zu wenig Bewehrung in den Decken vorhanden ist.

Je nach Bewehrungsrichtung bzw. Lage (oben oder unten im Bauteil) wurden zwischen 5,24 cm<sup>2</sup>/m und 10,26 cm<sup>2</sup>/m eingelegt. Erforderlich sind in Abhängigkeit vom Durchmesser zwischen 16,0 und 19,80 cm<sup>2</sup>/m.

Damit liegt in Teilen nur etwa ein Drittel der erforderlichen Bewehrung zur Rissbreitenbeschränkung der auftretenden Zwangskräfte. In der Decke über 2.UG wurde oberseitig in großen Teilen mit 7,5 cm<sup>2</sup>/m bis 9,6 cm<sup>2</sup>/m nur etwa gut die Hälfte der erforderlichen rissbreitenbeschränkenden Bewehrung eingebaut.



Der auftretende Zwang baut sich durch die aufgetretene Rissbildung in der Decke ab.

Aufgrund der zu gering dimensionierten rissverteilenden Bewehrung stellen sich wenige große Risse ein.

Die vorhandene starre Oberflächenbeschichtung OS 8 besitzt keine Rissüberbrückungsfähigkeit. Sie ist für mechanisch stark belastete und befahrene Flächen sehr gut geeignet, sofern das Entstehen von Rissen vermieden wird.

Aufgrund der zu geringen Flächenbewehrung und den damit verbundenen großen Rissweiten von mehr als 0,30 mm hätte auch eine rissüberbrückende Beschichtung (z.B. OS 11) nicht ausgereicht, um den Chlorideintrag im Bereich der Risse zu verhindern.

Mit der Überschreitung des kritischen Chloridgehaltes geht die Passivschicht, die den im Beton eingebetteten Bewehrungsstahl schützt, verloren.

Die Folge ist eine beginnende Lochfraßkorrosion.

Bei der Decke über 2.UG wurde somit nicht nur der Entwurfsgrundsatz einer rissfreien Bauweise verfehlt, aufgrund der wesentlich zu gering dimensionierten Grundbewehrung, hätte auch eine rissüberbrückende Beschichtung nicht ausgereicht, um den erforderlichen Schutz zu gewährleisten.

Erschwerend kommt hinzu, dass das aufgebrachte starre Oberflächenschutzsystem zwischen den Rissen ebenfalls keinen ausreichenden Schutz liefert, so dass Chloride flächig bis zur Bewehrung vorgedrungen sind.

Inwiefern die zu geringe Oberflächenbewehrung bei der Decke über 1.UG oberseitig dazu geführt hat, dass die Abdichtung beschädigt wurde, kann nicht abschließend festgestellt werden. Aufgrund der Durchfeuchtungen im Bereich der Betonierfugen an Achse 3 und 6 muss zumindest hier davon ausgegangen werden, dass die außenseitige Abdichtung undicht geworden ist.

Bei aufgehenden Bauteilen wie Stützen, Wänden und Brüstungen, die an befahrene Flächen angrenzen, ist ein Oberflächenschutzsystem erforderlich. Damit soll vermieden werden, dass die durch die Fahrzeuge in die Tiefgarage eingetragenen Chloride in den Konstruktionsbeton eindringen und zur Chloridkorrosion der tragenden Bewehrung führen.

Dieser Schutz der aufgehenden Bauteile ist nicht vorhanden.

Zwar wurden die Stützenfüße mit einer Hohlkehle versehen und im Tiefpunkt an Achse 9 sind Gefällekeile angeordnet, ein aufgehendes Oberflächenschutzsystem ist jedoch nicht vorhanden. Darüber hinaus sind die Hohlkehlen an den Stützen häufig schadhaft.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass in diesen Bereichen teilweise Chloride im Beton vorhanden und bereits bis zur tragenden Wandbewehrung vorgedrungen sind.

## 2.6. Erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen

Aufgrund der flächig eingetragenen Chloride in die Decke über 2.UG und der damit verbundenen Beeinträchtigung der Standsicherheit, ist eine umgehende Instandsetzung des ersten Tiefgaragenbauabschnitts erforderlich.

Primäres Ziel dieser Instandsetzung ist hinsichtlich der Sicherstellung der Standsicherheit der Schutz der tragenden Deckenbewehrung der Decke über 2.UG.

Die Monolitzen der externen Vorspannung sind zwar durch die Kunststoffummantelung und die Fettschicht doppelt korrosionsgeschützt, die für die Bruchsicherheit erforderliche schlaaffe Betonstahlbewehrung hat aber durch den flächigen Chlorideintrag ihren Korrosionsschutz verloren.

Zur Instandsetzung ist sämtlicher Altbeton, dessen Chloridgehalt über dem kritischen Wert von 0,4 M.-% liegt, im Bereich der Stahlbewehrung zuzüglich eines Sicherheitszuschlags zu entfernen. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass während der gesamten Restnutzungsdauer der korrosionsauslösende Chloridgehalt auf der Stahloberfläche nicht mehr erreicht wird.

Nach einer Reprofilierung mit Beton ist ein Oberflächenschutzsystem aufzubringen.

Bei der Wahl des neuen Oberflächenschutzsystems ist die Nutzungsintensität zu berücksichtigen. In Anlehnung an den Modelcode JCSS, ist die Nutzungsintensität im vorliegenden Fall hoch bzw. sehr hoch, was den Nutzungsgruppen N3 und N4 entspricht.

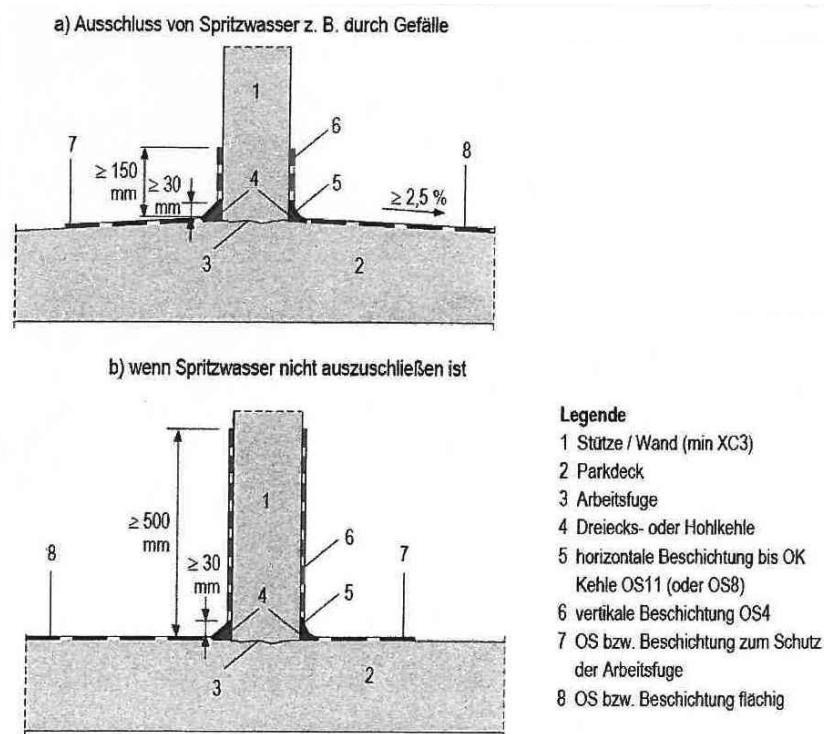
Im überwiegenden Bereich wird aufgrund der abgeschlossenen Rissbildung durch Kriechen und Schwinden ein starres Beschichtungssystem OS 8 mit begleitender besonderer Rissbehandlung und festgelegtem Wartungsplan empfohlen.

Die Gesamtschichtdicke für eine OS 8 einschließlich Grundierung und Deckversiegelung soll bei reinen Schutzmaßnahmen im Sinne von DIN EN 13813 mindestens 1,5 mm betragen. Aufgrund der großen Nutzungsintensität, sollte jedoch ein System mit einer Mindestschichtdicke von 2,5 – 3,0 mm eingesetzt werden.

Trotz der bereits abgeklungenen Kriech- und Schwindprozesse kann nicht ausgeschlossen werden, dass es auch nach der Instandsetzung vereinzelt zu Rissbildungen kommen kann. Grund hierfür ist die wesentlich zu gering dimensionierte Grundbewehrung. Der zu erstellende Wartungsplan ist daraufhin abzustimmen.

Im Bereich des Einfahrtsbauwerkes an der Du-Ry-Straße ist aufgrund des Temperatureinflusses damit zu rechnen, dass sich die vorhandenen Risse temperaturabhängig öffnen und schließen. Daher ist hier ein rissüberbrückendes Beschichtungssystem OS 11 vorzusehen.

Die aufgehenden Bauteile wie Stützen und Wände müssen im Fußbereich mit einem Oberflächenschutzsystem OS 4 als Sockelschutz gemäß folgender Skizze versehen werden.



Zuvor ist an den aufgehenden Bauteilen bzw. an den anschließenden Geschossdecken und Sohlen der chloridbelastete Beton zu entfernen. Erforderlichenfalls hat eine Ergänzung der statischen Bewehrung zu erfolgen.

Nach dem Reprofilieren mit Spritzbeton bzw. einem entsprechenden Betonersatzsystem ist der Anschluss an das aufgehende Bauteil abzukehlen.

In Abhängigkeit der Lage hat der Umfang der Oberflächenbeschichtung wie folgt zu erfolgen:

- Flächen mit ausreichendem Gefälle von  $\geq 2,5 \%$   
➔ Beschichtung des aufgehenden Bauteils auf eine Höhe von mindestens 150 mm
- Flächen ohne ausreichendes bzw. ohne Gefälle  
➔ Beschichtung des aufgehenden Bauteils auf eine Höhe von mindestens 500 mm

Die aufgetretenen Undichtigkeiten in den Außenwänden sind durch Rissinjektionen abzudichten. Ebenso sind die Setzungsrisse im 2.UG im Bereich der Achse A/0 bzw. F/0 kraftschlüssig zu verpressen.

Der Sturz im 2.UG über der Zufahrt zum zweiten Bauabschnitt ist dahingehend instandzusetzen, dass in Abhängigkeit von der erforderlichen Durchfahrtshöhe der vorhandene Beton soweit zurückgebaut wird, dass eine Sturzbewehrung mit ausreichender Betondeckung hergestellt werden kann. Erforderlichenfalls ist die Bügelbewehrung durch eingebohrte Bewehrungsseisen zu ersetzen.

Die Reprofilierung erfolgt mittels Spritzbeton.

Hinsichtlich einer umfassenden Instandsetzung der Sohle des 2.UG hat eine wirtschaftliche Abwägung zu erfolgen, ob das nichttragende Bauteil nach den gültigen Instandsetzungsrichtlinien zu behandeln ist oder ob man sich auf Maßnahmen beschränkt, die die Verkehrssicherheit gewährleisten.

Analog der Decke über 2.UG ist auch bei der Sohle der kritische Chloridgehalt flächig überschritten und somit ein Schutz der vorhandenen Bewehrung nicht mehr gegeben.

Eine umfassende Instandsetzung würde den Abtrag des chloridbelasteten Betons, eine entsprechende Reprofilierung und die Anordnung eines Oberflächenschutzsystems beinhalten.

Dafür würden sich Kosten in Höhe von netto etwa 855.000 € ergeben.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Sohle keinerlei statische Funktion erfüllt und letztendlich nur als Fahrbahnträger angesehen werden kann, empfehlen wir unter wirtschaftlichen Aspekten auf eine umfassende Instandsetzung zu verzichten.

Eine Schädigung der Sohlbewehrung infolge Chloridkorrosion ist aus statischer Sicht ohne Belang.

Eine Behandlung der aufgetretenen Risschäden ist nur insofern erforderlich, als die Verkehrssicherheit für die Fahrzeuge und Fußgänger gewährleistet sein muss.

## 2.7. Zusammenfassung

Der erste Bauabschnitt der Tiefgarage wurde nach dem Entwurfgrundsatz für Spannbetonbauteile mit druckbeanspruchter Oberfläche ausgelegt. Wesentlicher Bestandteil ist dabei, dass keine Rissgefahr besteht und daher keine Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Infolgedessen wurde ein starres Oberflächenschutzsystem OS 8 angeordnet.

Der Entwurfgrundsatz konnte hinsichtlich der Rissefreiheit der Geschossdecken nicht umgesetzt werden.

Aufgrund der wesentlich zu gering gewählten Flächenbewehrung hat sich eine Vielzahl an großen Rissen eingestellt, die zum Teil als Trennrisse durch das gesamte Bauteil gehen.

Das aufgebrachte starre Oberflächenschutzsystem stellt auch zwischen den Rissen keinen ausreichenden Schutz gegen das Eindringen der Chloride dar. Trotz ausreichender Betondeckung ist der kritische Chloridgehalt des Betons flächig deutlich überschritten.

Ein ausreichender Schutz des Sockels der aufgehenden Stützen und Wände fehlt.

Aufgrund der fortgeschrittenen Schäden ist eine umgehende umfassende Instandsetzung des ersten Bauabschnitts der Tiefgarage unter dem Friedrichsplatz erforderlich.

Neben der Instandsetzung ist ein Wartungsplan unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen zu erarbeiten. Besonders hinsichtlich der zu erwartenden wiederkehrenden Rissbildung in Verbindung mit der fehlenden Flächenbewehrung im Einfahrtbereich Du-Ry-Straße, sind zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit laufende Unterhaltungsarbeiten erforderlich.

Die Kosten für die umgehend erforderliche Instandsetzung werden mit netto 2.010.000 € abgeschätzt (siehe Anlage 6 Kostenschätzung).



### 3. Zweiter Bauabschnitt Friedrichsplatz

#### 3.1 Technische Beschreibung des Bestandes

Der zweite Tiefgaragenbauabschnitt wurde in den Jahren 1994 – 1996 gebaut und schließt an die südwestliche Außenwand des ersten Bauabschnittes an.

Er erstreckt sich unter dem Steinweg und dem Friedrichsplatz bis zur oberen Königsstraße. Am nordwestlichen Ende schließt er mit einem Verbindungsbauwerk an das Untergeschoss der Königs-Galerie an.

Neben einer Durchfahrtsöffnung zum ersten Bauabschnitt erfolgt die Erschließung und Zufahrt von dem Steinweg / Frankfurter Straße.

Die zweigeschossige Tiefgarage weist im Grundriss Abmessungen von ca. 200 m Länge und ca. 30 m Breite auf.

Die Einbindetiefe beträgt analog der des ersten Bauabschnitts ca. 9,0 m.

Das Tiefgaragenbauwerk sollte nach der vorliegenden Planung in Längsrichtung durch drei Dehnungsfugen in vier, etwa gleich große Abschnitte, unterteilt werden.

Tatsächlich wurden die Dehnungsfugen jedoch an den Achsen 5, 14 und 19 gebaut, so dass sich drei etwa 33 - 38 m lange Abschnitte und ein mittlerer Abschnitt mit einer Länge von etwa 69,0 m ergeben.

Weitere Dehnungsfugen befinden sich im Anschluss an den ersten Bauabschnitt, das Einfahrtsbauwerk und das Verbindungsbauwerk zur Königs- Galerie.

Die beiden Geschossdecken werden durch punktgestützte Flachdecken mit Pilzkopfverstärkungen über den Stützen gebildet. Die Deckenstärken betragen  $d = 65$  cm (erdüberschüttete Decke über 1.UG) und  $d = 40$  cm (Decke über 2.UG).

Bei einem Grundraster von 7,65 m x 15,00 m sind die Decken zweiachsig gespannt und im Gegensatz zum ersten Bauabschnitt schlaff bewehrt.



Ansicht Tiefgaragenquerschnitt an der Dehnungsfuge bei Achse 19



Ansicht 1.UG im Bereich der Dehnungsfuge bei Achse 14

Folgende Verkehrslasten wurden für die Geschossdecken angesetzt:

- Decke über dem 1. Untergeschoss:
  - 60 -100 cm Erdauflast + 10 cm Schutzbeton
  - SLW 30 (Feuerwehrfahrzeug) + 5,0 kN/m<sup>2</sup> Flächenlast  
Alternativ 10,0 kN/m<sup>2</sup> Flächenlast
- Decke über 2. Untergeschoss
  - $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$
  - 0,5 kN/m<sup>2</sup> für Belag

Das gesamte Bauwerk ist flach auf Einzel- und Streifenfundamenten gegründet. Das Einfahrtsbauwerk am Steinweg und der Tunnel zur Königs-Galerie sind mit einer Plattengründung versehen.

Die Decke über dem 1. Untergeschoss ist konventionell mit Bitumenschweißbahnen abgedichtet. Zum Schutz der Klebung ist ein ca. 8 cm starker Schutzbeton aufgebracht worden.

In den Vorbemerkungen zur Statik bzw. der Baubeschreibung wird darauf hingewiesen, dass die Decke über dem 2. Untergeschoss mit einer zweikomponentigen rissüberbrückenden Beschichtung (OS 11) zu versehen ist.

In den Bauteiluntersuchungen wurde jedoch eine starre Beschichtung (OS 8) erkundet, siehe Punkt 3.2.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.

Nach den vorliegenden Unterlagen war zunächst eine zweilagige Heißbitumenabklebung der Außenwände vorgesehen. Ausgeführt wurden die Außenwände offenbar als „Weiße Wanne“ in WU-Beton.

Das Einfahrtsbauwerk Steinweg wurde im Anschluss an die Rampe als kastenförmiger Tunnelquerschnitt hergestellt.

Die Bauwerkssohle wurde als „wasserdruckfreie Sohle“ konzipiert.

Der Raum zwischen Bauwerkssohle und der unterlagernden nahezu wasserundurchlässigen Rötformation wurde vom angetroffenen Grundwasserprofil durch Dichtungswände unter den Bauwerkswänden abgeschottet.

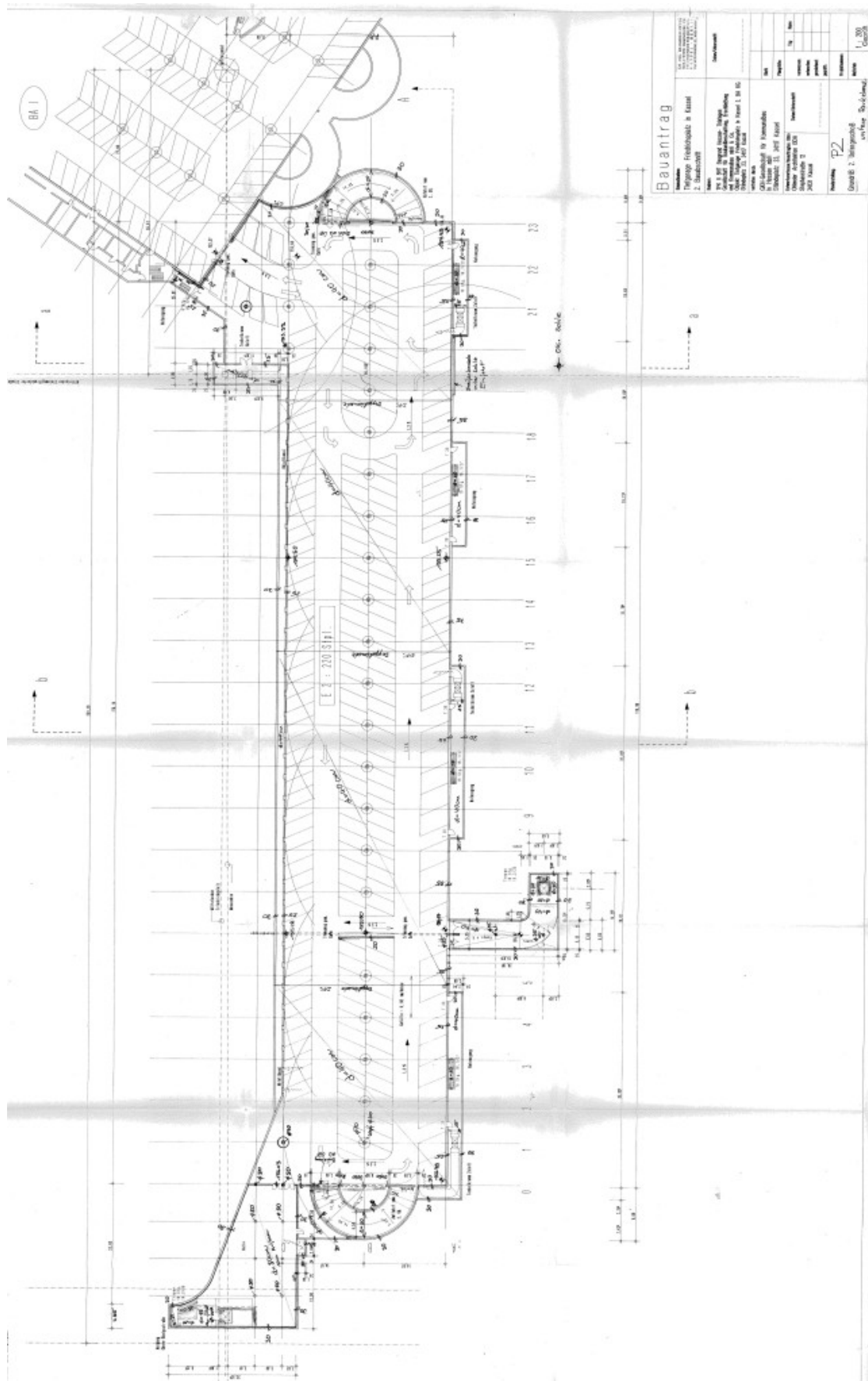


Die Grundrissgeometrie und weitere Einzelheiten der baulichen Durchbildung sind den folgenden Seiten mit Positionsplandarstellungen zu entnehmen.









## 3.2 Bauteiluntersuchungen

### 3.2.1 Untersuchungen am Bauwerk

Vor Ort wurden direkt am Bauwerk zerstörungsfreie Prüfungen und Probenentnahmen durchgeführt. Die Ergebnisse und Protokolle sind in Anlage 2 beigefügt.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung wurde der Untersuchungsumfang dabei wie folgt festgelegt:

#### 1. Untergeschoss

- Vier Untersuchungspunkte an Stützen, jeweils eine Stütze pro Gebäudeabschnitt
- Vier Untersuchungspunkte an Wänden, je Längswand ein Untersuchungspunkt
- Fünfzehn Untersuchungspunkte an der Oberseite der Decke über dem zweiten Untergeschoss (Fußboden erstes Untergeschoss), zwei im Bereich des Einfahrtsbauwerkes, die restlichen dreizehn verteilt auf die vier Gebäudeabschnitte
- Zwei Bohrkernentnahmen zur Feststellung der Oberflächenbeschichtung und des Korrosionsgrades der oberen Tragbewehrung

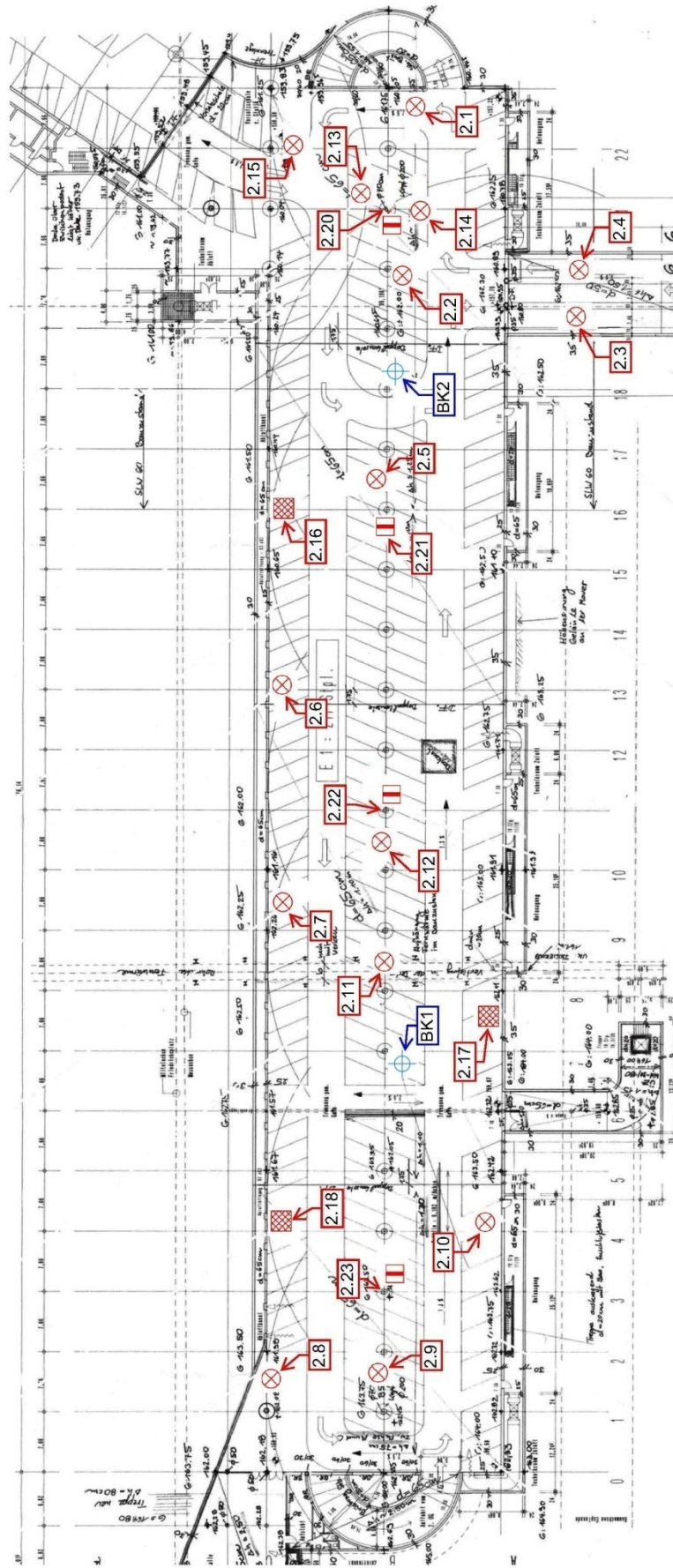
#### 2. Untergeschoss

- Vier Untersuchungspunkte an Stützen, jeweils eine Stütze pro Gebäudeabschnitt
- Zwei Untersuchungspunkte an Wänden, je Längswand ein Untersuchungspunkt
- Zwei Untersuchungspunkte auf der Sohle

Die labortechnische Untersuchung der Chloridproben, der Beschichtung sowie des Korrosionsgrades der Bewehrung erfolgt durch die Amtliche Materialprüfanstalt der Universität Kassel (AMPA).

Der Prüfbericht der AMPA ist im Anhang beigefügt (Anlage 4).

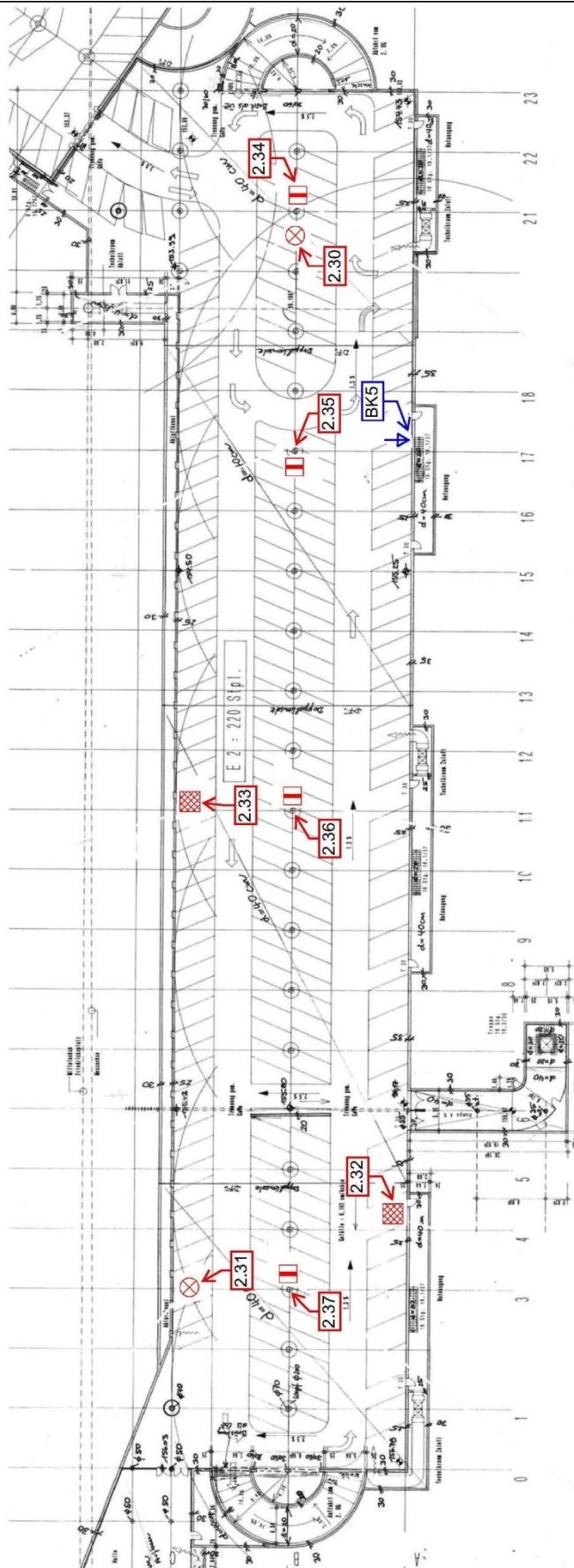
Eine Übersicht über die Lage der Untersuchungspunkte ist auf den folgenden Seiten dargestellt.



<b>Projekt/Project Title</b> <b>Betonuntersuchungen</b> <b>Tiefgarage Friedrichsplatz Kassel</b>		<b>EFG</b> BERATENDE INGENIEURE EFG GmbH Ederweg 4-8 34277 Fulda/Indk Tel. 0561/57465-0 Fax 0561/57465-70		Datum/Date of Issue <b>11.12.2014</b>
Auftraggeber: Parkhausgesellschaft der Stadt Kassel mbH KÖNIGS-GALERIE - Neue Fahrt 12 34117 Kassel		Maßstab/Scale <b>BA02 - 1. Untergeschoss</b>		
Darstellung/Layout <b>BA02 - 1. Untergeschoss</b>		Gez./Drawn <b>PlaHa</b>		

- Legende:
- Decke
  - Stütze
  - Wand
  - Untersuchungspunkt
  - Bohrkern Wand
  - Bohrkern Decke





Projekt/Project Title  
**Betonuntersuchungen**  
**Tiefgarage Friedrichsplatz Kassel**

Project/Project Title

in Zusammenarbeit mit/in Kooperation with

**Auftraggeber:**  
Parkhausgesellschaft der Stadt Kassel mbH  
KÖNIGS-GALERIE - Neue Fahrt 12  
34117 Kassel

**EFEG**  
BERATENDE INGENIEURE  
EFEG GmbH Ederweg 4-6 34277 Fulda  
Tel. 0561/57465-0 Fax 0561/57468-0

## Darstellung/Layout

## BA02 - 2. Untergeschoss

Gez./Drawn	Maßstab/Scale
------------	---------------

**Datum/Date of Issue**  
**11.12.2014**

Legende:

Decke

**Stütze**

Wand

Untersuchungspunkt ☐

Bohrkern Wand

Bohrkern Decke



### **3.2.3 Untersuchungen analog zum ersten Bauabschnitt**

Sowohl die visuelle Begutachtung, als auch die Untersuchung der Betondeckung, der Betondruckfestigkeit, des Chloridgehaltes im Beton, der Karbonatisierungstiefe und Abreißfestigkeit, als auch die Bestimmung des vorhandenen Oberflächenschutzsystems erfolgt analog zum ersten Bauabschnitt.

Vergleiche hierzu die Punkte 2.2.2 bis 2.2.8.

### **3.2.4 Bestimmung des Korrosionsgrades der oberen Tragbewehrung**

An repräsentativen Stellen der Decke über 2.UG Bohrkerne entnommen.

Es erfolgt eine Bohrkernansprache durch die amtliche Materialprüfanstalt der Universität Kassel.

Durch eine mikroskopische Untersuchung im Labor werden die Korrosionsformen und –grade der oberen Tragbewehrung analysiert.

#### **Untersuchungsziel:**

Es ist festzustellen, ob die obere Tragbewehrung durch Korrosion geschädigt ist, bzw. ob es Anzeichen für beginnende Korrosion gibt.

### **3.2.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse**

Die detaillierten Ergebnisse der Bauteiluntersuchungen sind in der Anlage 2 und 4 beigelegt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse kurz zusammengefasst, Einzelheiten sind den Anlagen zu entnehmen.

#### **Betondeckung:**

Entsprechend der zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden Vorschrift (DIN 1045 07/88) war für Bauteile in geschlossenen Räumen mit oft auftretender sehr hoher Luftfeuchte ein Mindestmaß der Betondeckung von 25 mm (30 mm bei Beweh-

rungsdurchmesser 28 mm) und ein Nennmaß von 35 mm (40 mm bei Bewehrungsdurchmesser 28 mm) vorzusehen.

Im Sockelbereich (Spritzbereich mit besonders korrosionsfördernden Einflüssen, Tausalz) bzw. bei direkt befahrenen Decken war von einem Mindestmaß von 40 mm und einem Nennmaß von 50 mm auszugehen.

Gemäß dem derzeit anzuwendenden Eurocode DIN EN 1992-1-1:2011-01 und den sich für die Bauteile ergebenden Expositionsklassen ist ebenfalls von einer maßgebenden Betonüberdeckung von  $c_{\min} = 40$  mm auszugehen. Bei der Dimensionierung ist zusätzlich ein Vorhaltemaß von  $\Delta c_{\text{def}} = 15$  mm zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Bauteiluntersuchungen lassen sich bezüglich der Betondeckung wie folgt zusammenfassen:

Bauteil	Betondeckung IST	Betondeckung SOLL
[---]	[mm]	[mm]
Sohle	24 - 27	40
Rampe	49 – 58	40
Decke	31 – 74	40
Stützen Sockelbereich	15 – 35	40
Wände Sockelbereich	26 – 40	40

Trotz einer planungsseitigen Vorgabe von 3,0 cm erfüllt die Decke über 2.UG im Wesentlichen die Anforderungen an die Betondeckung. An etwa einem Viertel der Untersuchungsstellen liegt die Betondeckung geringfügig unter dem geforderten Wert von 40 mm.

Die Sohle des 2.UG weist unzureichende Betondeckungen auf.

Das Ergebnis der beiden Untersuchungspunkte an den Rampen zeigte eine ausreichende Betondeckung.

Die aufgehenden Bauteile (Stützen und Wände) weisen im Sockelbereich nahezu durchgehend zu geringe Betondeckungen auf.

Während bei den Stützen oberhalb des Sockelbereiches die erforderliche Deckung der Bewehrungseisen nur an zwei Stellen erreicht wird, ist die Betonüberdeckung der Wände bis auf einen Messwert ausreichend.

### **Betondruckfestigkeit**

Als erforderliche Betongüte wurde in den statischen Berechnungen für die Decken bzw. Wände ein B35 und für die Stützen ein B55 zugrunde gelegt.

Die Sohle des 2.UG wurde mit einem B25 geplant.

Die Decke über dem 2.UG erfüllt bis auf einen Einzelwert durchgehend die geforderten Mindestfestigkeiten für die Druckfestigkeitsklasse C30/37, die mit einem B35 gemäß seinerzeitiger Planung gleichzusetzen ist.

Die gemessenen Betondruckfestigkeiten der Rampen entsprechen mit einer festgestellten Betongüte von C 30/37 den planungseitigen Vorgaben eines B 35.

Die Untersuchungsstellen an der Sohle des 2.UG erfüllen die geforderten Druckfestigkeiten eines B25 (C20/25).

Die Ergebnisse der Stützen zeigen im Median des Prüfbereiches eine ausreichende Betondruckfestigkeit  $\geq$  B55 (C 45/55). An drei Einzelstellen wird der Mindestwert geringfügig unterschritten. Dies ist insofern unkritisch, als der Median des Prüfbereiches etwa zwei Festigkeitsklassen höher als gefordert liegt und durch die Untersuchungsmethode einzelne Ausreißer in der Messung nicht gänzlich auszuschließen sind.

### **Bestimmung des Chloridgehaltes**

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt, dass in allen untersuchten Bauteilen außerhalb der Risse so gut wie keine Chlorid Gehalte gemessen wurden, die den kritischen Grenzwert erreichen.

Die Untersuchungspunkte 2.15 und 2.33 zeigen geringfügige Überschreitungen des kritischen Chloridgehaltes. Aufgrund der relativ hohen Betondeckung ist dies im Bereich der Wände als unkritisch anzusehen.

Im Bereich der Decke sind im Zuge einer Instandsetzung ergänzende Untersuchungen zur Eingrenzung des chloridbelasteten Bereichs durchzuführen.

Es ist davon auszugehen, dass für den Bereich zwischen den Rissen in der Decke im Wesentlichen für die Bewehrung derzeit nicht mit einer chloridinduzierten Korrosion zu rechnen ist.

Dies wird durch die vorgenommene Beprobung des Korrosionsgrades der Deckenbewehrung bestätigt.

### **Karbonatisierung**

An frischen Ausbruchstellen der Stahlbetonbauteile wurde eine Karbonatisierung im Bereich von 0 bis maximal 25 mm Tiefe gemessen. Für die Stützen und die Rampe bzw. Sohle wurde eine Karbonatisierungstiefe von 5 - 10 mm, für die Wände von 15 - 25 mm, sowie für die Decken über 2.UG von 5 mm festgestellt.

Die geringe Karbonatisierungstiefe in Verbindung mit den gemessenen Betonüberdeckungen zeigt, dass für alle untersuchten Bauteile die Karbonatisierungsfront nicht bis zu den Bewehrungseisen vorgedrungen ist.

Die Passivierung des Bewehrungsstahles und damit der Korrosionsschutz ist voll gegeben.

### **Abreißfestigkeit**

Die gemessenen Haftzugwerte zeigen einheitlich, dass der für Instandsetzungen erforderliche Mindestwert von 1,5 N/mm<sup>2</sup> sowohl auf den geschliffenen Betonoberflächen, als auch auf der Beschichtung erreicht wird.

### **Oberflächenschutzsystem**

Die Untersuchungen des Oberflächenschutzsystems kommen zu dem Ergebnis, dass eine starre Beschichtung (OS 8) vorhanden ist.

Die Schichtstärke des Beschichtungssystems einschließlich Grundierung betragen an den gemessenen Stellen zwischen ca. 3,8 mm und 5,3 mm und liegt somit wesentlich über den im Sinne der DIN EN 13813 geforderten Minstdicken von 1,5 mm.

Dieses Ergebnis korrespondiert dahingehend mit gemessenen Chloridbelastungen der Decke, als die relativ dicke Beschichtung in der Fläche augenscheinlich eine ausreichende Schutzwirkung gegen den Chlorideintrag darstellt.

### **Korrosionsgrad der oberen Tragbewehrung**

An der entnommenen Bewehrung des Wandsockels konnte keine bzw. an einer Probe eine leicht beginnende Oberflächenkorrosion in Verbindung mit leicht beginnender Lochfraßkorrosion festgestellt werden.

Das Ergebnis bestätigt die Untersuchungsergebnisse bezüglich der kritischen Chloridbelastung, der Karbonatisierungstiefe und der Qualität bzw. der Schichtdicke des Oberflächenschutzsystems.

Zwischen den Rissen in der Geschossdecke kann davon ausgegangen werden, dass keine Schädigung der Tragbewehrung vorliegt.

### 3.3 Aufgetretene Schäden

Anfang des Jahres 2014 hat das Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel eine Bauwerksuntersuchung analog der für Brückenbauwerke gültigen DIN 1076 durchgeführt.

Die Prüfberichte vom März 2014 beinhalten neben einer beispielhaften Schadensdokumentation eine umfangreiche Rissaufnahme mit Rissbildern der Deckenober- bzw. -unterseiten.

Die seinerzeit getroffenen Feststellungen hinsichtlich der vorhandenen Mängel und Schäden konnten im Rahmen mehrerer Ortstermine im Wesentlichen bestätigt werden.

Hinsichtlich der Rissverteilung und –größe in den Decken wird auf die Risszeichnungen in den Prüfberichten verwiesen (Anlage 5).

Bei den örtlichen Inaugenscheinnahmen wurde festgestellt, dass sich die Lage einer Dehnungsfuge in der Örtlichkeit anders darstellt, als in der ursprünglichen Entwurfsplanung vorgesehen war. Die Gründe für die Änderung konnten nicht nachvollzogen werden.

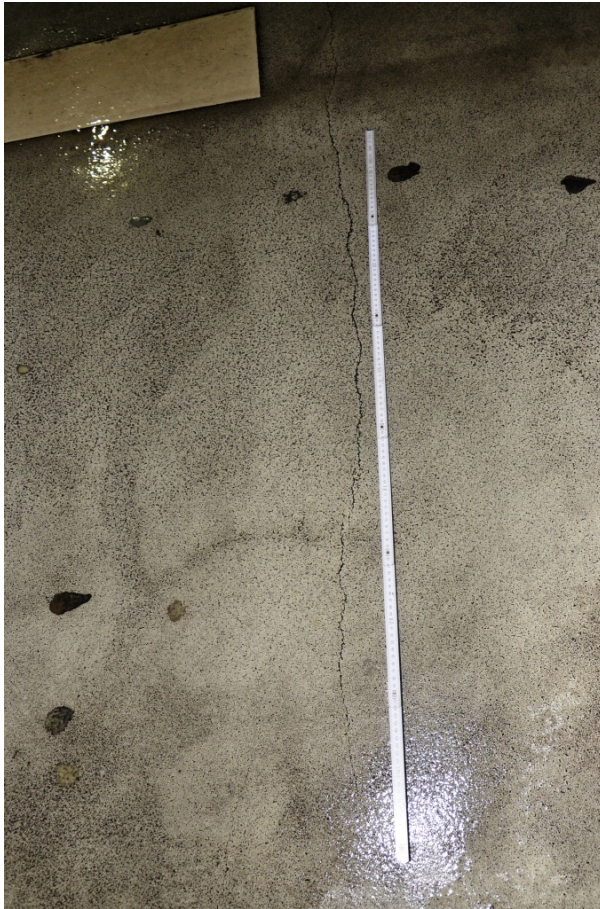
Aus dieser Änderung resultiert eine sehr ungleichmäßige Länge der einzelnen Bauwerksabschnitte.

Der sich zwischen den Dehnungsfugen an den Achsen 5 und 14 ergebende etwa 70 m Bauwerksteil ist annähernd doppelt so lang, wie die übrigen Abschnitte.

Dieser Umstand hat einen großen Einfluss auf die Häufigkeit und die Verteilung der Risse in den Decken.

Die Risse in der Decke über 1. UG verlaufen im Wesentlichen senkrecht bzw. leicht schräg zu den äußeren Längswänden.





Risse Fussboden 1.UG



Risse Fussboden 1.UG

Vereinzelt sind an den Rissen Aussinterungen bzw. aktuell feuchte Stellen zu erkennen.



Trennrisse Deckenunterseite 2.UG mit Aussinterungen



Trennrisse Deckenunterseite 2.UG mit Aussinterungen

Die Rissweiten erreichen Größen von bis zu 0,7 mm.

Ein deutlicher Anstieg der Rissanzahl ist in dem langen Bauabschnitt zwischen den Achsen 5 und 14 festzustellen.

An Achse 10, etwa in der Mitte des langen Bauabschnittes, hat sich ein durchgehender Riss von Außenwand zu Außenwand eingestellt.



Durchgehender Trennriss an Achse 10 mit Aussinterungen

Im Anschlussbereich an den ersten Bauabschnitt (Achse 19 bis 23) verlaufen die Risse sowohl in Längs- als auch in Querrichtung.

Im Bereich der Bauwerksfugen tritt teilweise Feuchtigkeit durch die Decke. Aufgrund der Durchbiegung in Feldmitte mit Tiefpunkt über den Fahrbahngassen, sammelt sich hier das Wasser. Um ein Heruntertropfen zu vermeiden, wurden an den Tiefpunkten Bleche unter der Decke angeordnet.



Bleche an den Tiefpunkten über der Fahrbahn an den Dehnungsfugen





Bleche an den Tiefpunkten über der Fahrbahn an den Dehnungsfugen

Unter der Dehnungsfuge an der Achse 5 ist eine durchgehende Blechrinne zum Auffangen des eindringenden Wassers angeordnet.



Rinne und Blech unter der Dehnungsfuge Achse 5

Die Bauwerksfugen zwischen den einzelnen Bauabschnitten und zur Einfahrtsrampe Steinweg haben sich, unabhängig vom Geschoss, 2-3 cm geöffnet.



Öffnung der Dehnungsfugen um 2-3 cm



Öffnung der Dehnungsfugen um 2-3 cm



An der Bauwerksfuge neben Achse 19 ist zwischen den beiden Abschnitten ein deutlicher Unterschied im Durchhang der Decke über U1 in Feldmitte festzustellen.

Da die deckengleiche Linienkonsole keine erkennbaren Schäden aufweist, ist davon auszugehen, dass der größere Durchhang bereits im Zuge der Herstellung (z. B. abgängige Schalung) aufgetreten ist.

Die Decke über 2.UG weist ein stark ausgeprägtes Rissbild auf. Besonders auffällig ist die Konzentration der Risse senkrecht zur Längswand im langen Bauwerksabschnitt zwischen den Achsen 5 und 14. Hier ist eine große Anzahl von durchgehenden Trennrissen festzustellen. Etwa in der Mitte des Bauwerksabschnittes bei Achse 10 geht analog der Decke über 1.UG ein Trennriss durch die gesamte Geschossdecke.

Eine weitere Risskonzentration ist am Übergangsbauwerk zur Königs-Galerie festzustellen. Auch hier befindet sich zwischen den Achsen 0 und 2 eine Großzahl von durchgehenden Rissen mit Rissweiten von bis zu 0,7 mm.

Analog der Decke über 1. UG zeigt das Rissbild im Bereich der Achsen 19 – 23 eine Vielzahl von Längs- und Querrissen.

Sämtliche Bauwerksfugen in der Decke über 2.UG sind undicht.

Auf der Oberseite sind vereinzelt Abrisse am Fugenprofil zu erkennen.



Undichtetes und umläufiges Fugenprofil in der Dehnungsfuge, Oberseite Decke über 2.UG



Undichtes und umläufiges Fugenprofil in der Dehnungsfuge, Oberseite Decke über 2.UG

Feuchtestellen und in den Feldmitten am Tiefpunkt angeordnete Bleche deuten darauf hin, dass die Fugenprofile umläufig sind und Wasser durchdringt.

Bei den aufgehenden Bauteilen (Stützen und Wände), die an befahrene Flächen grenzen oder an Tiefpunkten ist zur Vermeidung des Eindringens von Chloriden ein Oberflächenschutz erforderlich. Die dazu notwendige Kehlenausbildung ist nicht vorhanden.

An den aufgehenden Bauteilen ist das Oberflächenschutzsystem nicht vorhanden.

Am Tiefpunkt an der Achse C wurde im 2.UG vor der Wand eine Metallschiene zur Ableitung des anfallenden Wassers angebracht.



Metallschiene im Tiefpunkt vor der Wand im 2.UG, Achse C



Metallschiene im Tiefpunkt vor der Wand im 2.UG, Achse C

Die Nebenräume und Lüftungsgänge weisen zum Teil Durchfeuchtungen mit Betonabplatzungen und freiliegender Bewehrung auf.

Bei sämtlichen, nicht überdachten Treppenhäusern sind die Einläufe auf den Zwischenpodesten undicht.



Undichte Einläufe und Anschlussfugen an den nicht überdachten Treppenzugängen





Undichte Einläufe und Anschlussfugen an den nicht überdachten Treppenzugängen



Undichte Einläufe und Anschlussfugen an den nicht überdachten Treppenzugängen

Dadurch kommt es zu Durchfeuchtungen, Aussinterungen und Betonabplatzungen mit freiliegender korrodierter Bewehrung.

In den meisten Treppenhäusern ziehen sich die Folgeschäden an den tieferliegenden Bauteilen bis in das 2.UG.

Die Sohle des 2.UG weist analog dem ersten Bauabschnitt ein ausgeprägtes Rissbild mit Rissweiten von bis zu 14 mm auf.





Risse in der Sohle 2.UG



Risse in der Sohle 2.UG

Auffällig ist, dass die Sohle in weiten Teilen aufgeschüsselt bzw. zwischen den Stützen nach oben gewölbt ist, so dass sich Unebenheiten von mehreren Zentimetern ergeben.

Besonders augenscheinlich ist dies am Brandschutztor an der Achse 6 zu beobachten.

Hier wurde die Sohle um 2-3 cm eingeschnitten, um die Funktionalität des verfahrbaren Brandschutztores zu gewährleisten.

An dem Tiefenverlauf des Einschnittes lässt sich ablesen, dass die größte Verformung der Sohle nach oben etwa in Feldmitte im Bereich der Fahrbahn liegt und zur Außenwand bzw. zur mittleren Stahlbetonwand auf null ausläuft.



Eingefräste Nut in die Sohle 2.UG im Bereich des Brandschutztores Achse 6



Das vorhandene Beschichtungssystem weist in beiden Geschossen Verschleißerscheinungen auf.



Abgefahrene Oberflächenschutzsysteme

Zum Zeitpunkt der Inaugenscheinnahmen liefen die Pumpen im zweiten Untergeschoss zur Rückführung des anfallenden Schichten- bzw. Grundwassers ständig.

Ob die planungsseitige Annahme von abzupumpenden Wassermengen von ca. 2-3 m<sup>3</sup> pro Stunde zutreffend sind, konnte im Rahmen der Inaugenscheinnahmen nicht abschließend beurteilt werden.

### 3.4 Schadensursachen

Die wesentliche Ursache für die aufgetretenen Risschäden in den Geschossdecken ist analog zum ersten Bauabschnitt zentrischer Zwang.

Besonders der zentrische Zwang infolge Kriechen und Schwinden der vergleichsweise massigen Bauteile (Decke über 1. UG  $d = 65$  cm und Decke über 1.UG) hat zu dem ausgeprägten Rissbild der Decken geführt.

Eine Risskonzentration stellt sich notwendiger Weise in dem besonders langen Gebäudeabschnitt zwischen den Dehnfugen Achse 5 und 14 ein.

In diesem Bereich ist der Zwang aus Schwinden aufgrund der großen Bauwerkslänge besonders groß.

Ermittelt man ausgehend von einem CEM 32,5 N und einem vergleichbaren Beton der Güte C 30/37 bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 50% überschlägig das Gesamtschwindmaß aus Grundswinddehnung und Trocknungsswinddehnung, so erhält man für die Decke über 1.UG mit  $d = 65$  cm etwa den Wert 0,4 mm/m.

Für die 45 cm dicke Decke über 2.UG beträgt der Wert ca. 0,48 mm/m.

Bei einem ca. 70 m langen Abschnitt zwischen zwei Dehnungsfugen ergibt das eine absolute Verkürzung von etwa 2,8 cm für die Decke über 1.UG und ca. 3,4 cm für die Decke über 2.UG.

Dass sich Bewegungen in diesen Größenordnungen eingestellt haben, lässt sich an den Bauwerksfugen ablesen. Die Dehnungsfugen haben sich im cm-Bereich geöffnet.

Dem Zwang der Decke sich zu verkürzen steht die starre Halterung durch die Längswände in den Achsen A und C entgegen.

Aus Verträglichkeitsgründen muss sich das am Bauwerk angetroffene Rissbild einstellen.

Die Anzahl und Rissverteilung hängt von der Abschnittslänge der jeweiligen Deckenfelder ab. Je länger das Deckenfeld, desto größer ist die durch Risse auszugleichende Verkürzung.

Dies wird besonders an dem langen Gebäudeabschnitt zwischen den Achse 5 und 14 deutlich, hier hat sich etwa in Bauteilmitte, bei Achse 10 ein kompletter Durchriss der Deckenplatte eingestellt.

Grundsätzlich sind diese Verkürzungen nur durch eine ausgewogene Auslegung der Länge der Bauwerksabschnitte in Verbindung mit einer entsprechenden rissbreitenbeschränkenden Bewehrung aufzufangen.

Die Bewehrungsmenge dient zur Beschränkung der notwendigerweise auftretenden Risse. Im vorliegenden Fall ist die eingelegte Oberflächenbewehrung wesentlich zu gering dimensioniert.

Je nach Bewehrungsrichtung bzw. Lage wurden zwischen 4,36 cm<sup>2</sup>/m und 10,26 cm<sup>2</sup>/m als flächige Mindestbewehrung eingelegt. Erforderlich sind in Abhängigkeit vom Durchmesser zwischen 14,2 und 19,80 cm<sup>2</sup>/m.

Damit liegt in Teilen nur etwa ein Drittel der erforderlichen Bewehrung zur Rissbreitenbeschränkung der auftretenden Zwangskräfte. Die genaue Gegenüberstellung der erforderlichen Bemessungswerte zu den vorhandenen Bewehrungsquerschnitten kann aus Anlage 3 entnommen werden.

Der wesentliche Grund für die Verteilung und Größe der Risse ist eine zu gering bemessene rissbreitenbeschränkende Bewehrung.

Die relativ großen Rissbreiten bzw. die Trennrisse haben dazu geführt, dass Chloride in den Konstruktionsbeton bis zur Bewehrung vordringen konnten.

Im Bereich der Risse ist die eingelegte Bewehrung nicht ausreichend vor dem Angriff durch Chloride geschützt.

Die eingebauten Fugenprofile in der Decke über 2.UG sind undicht. Grund hierfür wird ebenfalls der nicht aufnehmbare vorhandene Schwindweg zwischen den jeweiligen Geschossdeckenabschnitten sein.

Die Undichtigkeiten in der Decke über 1.UG deuten darauf hin, dass die außenseitige Abdichtung starr ausgebildet wurde bzw. den erforderlichen Schwindweg nicht schadensfrei aufnehmen konnte.

Die Schäden im Bereich der Sohle des 2.UG sind offensichtlich auf einen unterseitig wirkenden Wasserdruck zurückzuführen.

Besonders im Bereich des Brandwandtores in Achse 6 lässt die Aufschüsselung der Sohle gut ablesen.

Inwiefern die Funktionalität der Flächendrainage bzw. des gesamten Drainsystems für die Schäden verantwortlich ist oder die anfallende Wassermenge schlicht zu groß ist, kann nicht abschließend beurteilt werden.



Die Risse und Schäden im Bereich der Zufahrt Steinweg sind auf jahreszeitliche Temperaturbeanspruchungen in Verbindung mit der stattfindenden Abnutzung bzw. dem zeitlichen Vergang zurückzuführen.

An den aufgehenden Wänden wurde im Fußbereich in einem Fall eine leicht erhöhte Chloridkonzentration festgestellt.

Die ist auf die fehlende Oberflächenbeschichtung mit Hohlkehlenausbildung im Fußbereich der Bauteile zurückzuführen.

### 3.5 Beurteilung der Schäden unter Berücksichtigung der Bauteiluntersuchungen

Der Zustand des zweiten Bauabschnitts der Tiefgarage Friedrichsplatz wird in den Prüfberichten des Straßenverkehrs- und Tiefbauamtes mit der Note 2,8 bewertet.

Gemäß der Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung der Bauwerksprüfung nach 1076 entspricht dies einem noch ausreichenden Bauzustand.

Bei dieser Einstufung ist die Standsicherheit des Bauwerks gegeben.

Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann erheblich beeinträchtigt sein.

Eine Schadensausbreitung und/oder Folgeschädigung, die mittelfristig zu erheblichen Standsicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist zu erwarten.

Eine kurzfristige Instandsetzung und laufende Unterhaltung ist erforderlich.

Die Prüfungen der Zugangsbauwerke „Treppenhaus 2.BA Achse A/16-17“, „Treppenhaus 2.BA Achse A/9-10“ und „Treppenhaus 2.BA Königsstraße“ kommen mit einer Zustandsnote von 2,4 zu einem befriedigenden Bauwerkszustand.

Gemäß der Einstufung der Richtlinie ist in diesen Bereichen die Standsicherheit gegeben.

Die Dauerhaftigkeit kann auf längere Sicht beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung kann langfristig zu erheblichen Standsicherheitsbeeinträchtigungen führen. Eine mittelfristige Instandsetzung ist erforderlich.

Die Prüfungen der Zugangsbauwerke „Treppenhaus 2.BA AOK Achse A/2-3“, „Treppenhaus 2.BA Achse A/3“ und „Treppenhaus 2.BA Achse C/3“ ergaben eine Zustandsnote von 2,7.

Dieser Bauwerkszustand wird definitionsgemäß als noch ausreichend angesehen.

Das bedeutet, dass die Standsicherheit des Bauwerks noch gegeben und die Dauerhaftigkeit erheblich beeinträchtigt sein kann.

Schadensausbreitungen und Folgeschäden können mittelfristig zu erheblichen Standsicherheitsbeeinträchtigungen führen.

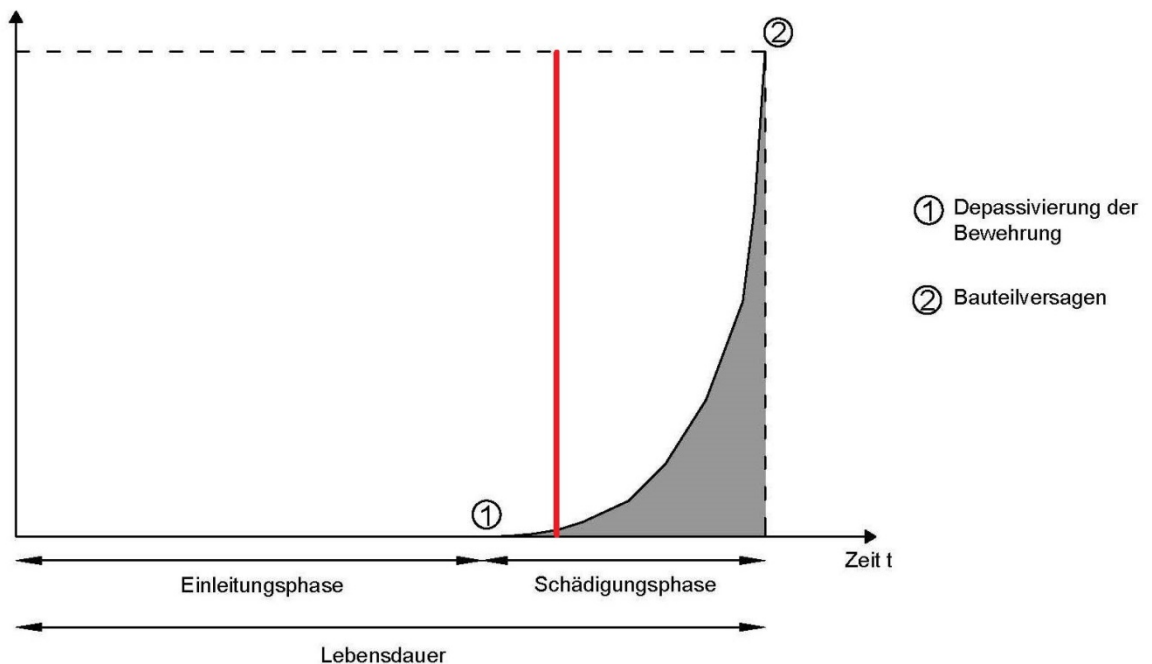
Eine Instandsetzung ist kurzfristig erforderlich.

Bei der Prüfung des „Treppenhauses 2.BA Karlstraße“ hat sich die Zustandsnote 1,9 ergeben, was einem guten Bauwerkszustand entspricht.

Die Ergebnisse der Bauwerksuntersuchungen bestätigen die Einstufungen der Prüfberichte.

Hinsichtlich der Akkumulation der Schädigungen ist gemäß untenstehendem Bild die Einleitungsphase abgeschlossen und die Decke über dem 2.UG befindet sich im Beginn der Schädigungsphase. Die Lage des roten Balkens zeigt qualitativ den Bauwerkszustand, im Hinblick auf den fortschreitenden Schädigungsprozess.

Akkumulation von  
Schädigungen



Die Bauteiluntersuchungen haben gezeigt, dass das vorhandene starre Oberflächenschutzsystem OS8 zwischen den Rissen bisher im Wesentlichen eine ausreichende Schutzfunktion für den Chlorideintrag darstellt. Grund hierfür ist die im Gegensatz zum ersten Bauabschnitt vergleichsweise große Schichtdicke des Beschichtungssystems mit 3,6 – 5,2 mm.

In nahezu allen Bereichen zwischen den Rissen kann davon ausgegangen werden, dass der kritische Chloridgehalt im Beton im Bereich der Bewehrung noch nicht erreicht ist.

Das bestätigt ebenfalls die Untersuchung des Korrosionsgrades an der oberen Tragbewehrung der Decke über 2.UG.

Im Bereich der vielen Trennrisse ist davon auszugehen, dass die eingedrungenen Chloride zu einer beginnenden Korrosion der Bauteilbewehrung geführt haben. Hier ist aufgrund der möglichen Beeinträchtigung der Standsicherheit eine kurzfristige Instandsetzung erforderlich.

Die Undichtigkeiten in der Decke über 1.UG gefährden die Dauerhaftigkeit und können mit zunehmendem Maße auch die Standsicherheit beeinträchtigen.

Bei aufgehenden Bauteilen wie Stützen, Wänden und Brüstungen, die an befahrene Flächen angrenzen, ist ein Oberflächenschutzsystem erforderlich. Damit soll vermieden werden, dass die durch die Fahrzeuge in die Tiefgarage eingetragenen Chloride in den Konstruktionsbeton eindringen und zur Chloridkorrosion der tragenden Bewehrung führen.

Dieser Schutz der aufgehenden Bauteile ist nicht vorhanden.

### 3.6 Erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen

Aufgrund der Ergebnisse der Bauwerksuntersuchungen ist eine kurz- bzw. mittelfristige Instandsetzung des zweiten Tiefgaragenbauabschnitts in den nächsten drei bis fünf Jahren erforderlich.

Besonders, die im Bereich der Risse in die Decke über 2.UG eingedrungenen Chloride können mittelfristig die Standsicherheit beeinträchtigen.

Aktuell konnte an den Probestellen noch keine Korrosion der tragenden Bewehrung festgestellt werden.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass im Bereich der Trennrisse die passivierende Schutzwirkung des Betons nicht mehr vorhanden ist und die Korrosion der Bewehrung begonnen hat. Hier ist der Beton auf eine Tiefe von ca. 20 cm und einer Breite von ca. 20 cm mittels Hochdruckwasserstrahlen (HDW) zu entfernen. Erforderlichenfalls ist die Bewehrung zu ergänzen.

Die Reprofilierung hat mit einem schwindkompensierten Beton der Festigkeitsklasse C 30/37 zu erfolgen.

Nach dem Entfernen der vorhandenen Beschichtung und einer entsprechenden Vorbehandlung des Untergrundes ist auf die Decke über 1.UG ein neues Oberflächenschutzsystem aufzubringen.

Analog zum ersten Bauabschnitt ist bei der Wahl des neuen Oberflächenschutzsystems die Nutzungsintensität zu berücksichtigen. In Anlehnung an den Modelcode JCSS, ist die Nutzungsintensität im vorliegenden Fall hoch bzw. sehr hoch, was den Nutzungsgruppen N3 und N4 entspricht.

Im überwiegenden Bereich wird aufgrund der abgeschlossenen Rissbildung durch Kriechen und Schwinden ein starres Beschichtungssystem OS 8 mit begleitender besonderer Rissbehandlung und festgelegtem Wartungsplan empfohlen.

Die Gesamtschichtdicke für eine OS 8 einschließlich Grundierung und Deckversiegelung soll bei reinen Schutzmaßnahmen im Sinne von DIN EN 13813 mindestens 1,5 mm betragen. Aufgrund der großen Nutzungsintensität sollte jedoch ein System mit einer Mindestschichtdicke von 2,5 – 3,0 mm eingesetzt werden.

Da an einer Untersuchungsstelle in der Decke über 2.UG der kritische Chloridgehalt im Beton überschritten ist, muss davon ausgegangen werden, dass es in einem Teilbereich erforderlich wird, den chloridbelasteten Beton zu entfernen und eine entsprechende Reprofilierung vorzunehmen. Die Eingrenzung dieses Bereiches hat im Zuge der Instandsetzung durch weitere ergänzende Untersuchungen zu erfolgen.

Trotz der bereits abgeklungenen Kriech- und Schwindprozesse kann analog zum ersten Bauabschnitt nicht ausgeschlossen werden, dass es auch nach der Instandsetzung vereinzelt zu Rissbildungen kommen kann. Darauf ist der zu erstellende Wartungsplan abzustimmen.

Darüber hinaus sind die Risse an der Deckenunterseiten der Decke über 1.UG und 2.UG zu verfüllen. Ziel ist es neben der kraftschlüssigen Verbindung von Riss- und Hohlraumflanken, die Deckenkonstruktion abzudichten und das Eindringen korrosionsfördernder Stoffe in das Bauteil zu verhindern.

Im Bereich der Dehnungsfugen sind in der Decke über 1.UG neue Fahrbahnübergänge einzubauen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ursache des aufgetretenen Zwangs, im wesentlichen Kriechen und Schwinden, durch die Rissbildung abschließend abgeklungen ist.

In der Decke über 1.UG sind die Dehnungsfugen durch Gelinjektionen abzudichten.

Die aufgehenden Bauteile wie Stützen und Wände müssen im Fußbereich mit einem Oberflächenschutzsystem OS 4 als Sockelschutz gemäß Skizze Seite 44 versehen werden.

Zuvor ist an den aufgehenden Bauteilen bzw. an den anschließenden Geschossdecken und Sohlen der chloridbelastete Beton zu entfernen. Erforderlichenfalls hat eine Ergänzung der statischen Bewehrung zu erfolgen.

Nach dem Reprofilieren mit einem entsprechenden Betonersatzsystem ist der Anschluss an das aufgehende Bauteil abzukehlen.

In Abhängigkeit der Lage hat der Umfang der Oberflächenbeschichtung wie folgt zu erfolgen:

- Flächen mit ausreichendem Gefälle von  $\geq 2,5 \%$   
➔ Beschichtung des aufgehenden Bauteils auf eine Höhe von mindestens 150 mm
- Flächen ohne ausreichendes bzw. ohne Gefälle  
➔ Beschichtung des aufgehenden Bauteils auf eine Höhe von mindestens 500 mm

Die aufgetretenen Undichtigkeiten in den Außenwänden sind durch Rissinjektionen abzudichten.

Die Einläufe im Podestbereich der nicht überdachten Treppenhäuser sind neu einzudichten. Im Bereich der Beton- und Korrosionsschäden hat eine konventionelle Betoninstandsetzung zu erfolgen.

Sofern dies genehmigungsrechtlich möglich ist, wird hinsichtlich der Dauerhaftigkeit empfohlen die Eingangsbereiche zu überdachen.

Bezüglich einer umfassenden Instandsetzung der Sohle des 2.UG hat eine wirtschaftliche Abwägung dahingehend zu erfolgen, ob das nichttragende Bauteil nach den gültigen Instandsetzungsrichtlinien zu behandeln ist, oder ob man sich auf Maßnahmen beschränkt, die die Verkehrssicherheit bzw. die Funktionalität des Brandschutztores in Achse 6 gewährleisten.

Analog der Decke über 2.UG ist auch bei der Sohle der kritische Chloridgehalt flächig überschritten und somit ein Schutz der vorhandenen Bewehrung nicht mehr gegeben.

Eine umfassende Instandsetzung würde den Abtrag des chloridbelasteten Betons, eine entsprechende Reprofilierung und die Anordnung eines Oberflächenschutzsystems beinhalten.

Dafür würden sich Kosten in Höhe von netto etwa 910.000 € ergeben.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Sohle keinerlei statische Funktion erfüllt und letztendlich nur als Fahrbahnträger angesehen werden kann, empfehlen wir unter wirtschaftlichen Aspekten auf eine umfassende Instandsetzung zu verzichten.



Eine Schädigung der Sohlbewehrung infolge Chloridkorrosion ist aus statischer Sicht ohne Belang.

Eine Behandlung der aufgetretenen Risschäden ist nur insofern erforderlich, als die Verkehrssicherheit für die Fahrzeuge und Fußgänger gewährleistet sein muss.

### 3.7. Zusammenfassung

Der zweite Bauabschnitt der Tiefgarage wurde nach dem Entwurfsgrundsatz einer Rissbreitenbegrenzung mit vollflächigem Schutzsystem ausgelegt. Wesentlicher Bestandteil ist dabei eine für die vorhandenen Randbedingungen ausreichende rissbegrenzende Mindestbewehrung in Verbindung mit einem rissüberbrückendem Oberflächenschutzsystem.

Planungsgrundlage war seinerzeit ein rissüberbrückendes Oberflächenschutzsystem OS 11.

Der Entwurfsgrundsatz wurde weder hinsichtlich der Rissbreitenbeschränkung, noch bezüglich des Oberflächenschutzsystems umgesetzt.

Aufgrund der wesentlich zu gering gewählten Flächenbewehrung hat sich eine Vielzahl an großen Rissen eingestellt, die zum Teil als Trennrisse durch das gesamte Bauteil gehen.

Aufgrund der Größe der aufgetretenen Risse (bis 0,70 mm) wäre auch ein Oberflächenschutzsystem OS 11 mit einer rissüberbrückenden Wirkung bis etwa 0,30 mm wirkungslos. Da das aufgebrachte Oberflächenschutzsystem OS 8 eine vergleichsweise große Schichtdicke aufweist, hat es trotz relativ großer mechanischer Beanspruchung zwischen den Rissen ein Eindringen der Chloride im Wesentlichen verhindert.

Ein ausreichender Schutz des Sockels der aufgehenden Stützen und Wände fehlt.

Aufgrund der beginnenden Schädigung ist eine kurzfristige Instandsetzung des zweiten Bauabschnitts der Tiefgarage unter dem Friedrichsplatz erforderlich.

Neben der Instandsetzung ist ein Wartungsplan unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen zu erarbeiten.

Die Kosten für die umgehend erforderliche Instandsetzung werden mit 1.910.000 € abgeschätzt (siehe Anlage 6 Kostenschätzung).


## Schlussblatt

Gutachten Seite 1 – 81

Anlage 1:	Bauteiluntersuchungen 1. Bauabschnitt	1 bis 112
Anlage 2:	Bauteiluntersuchungen 2. Bauabschnitt	1 bis 144
Anlage 3:	Berechnung Rissbreiten	1 bis 14
Anlage 4:	AMPA Bericht	1 bis 24
Anlage 5:	Prüfberichte Bauwerksprüfung	1 bis 102
Anlage 6:	Kostenschätzung	1 bis 3

aufgestellt:

Fuldabrück, 06. Februar 2015

 **EFG** Beratende Ingenieure GmbH

Dipl.-Ing. Andreas Geselle