STÄDTISCHES
GEBÄUDEMANAGEMENT BONN (SGB)

STADT.
CITY.
VILLE.
BONN.

Städtisches Gebäudemanagement (SGB) – 53111 Bonn

Bundesstadt Bonn
Amt der Oberbürgermeisterin und für strategische Projekte
Verwaltungssteuerung
Berliner Platz 2
53111 Bonn

Städtisches Gebäudemanagement Bonn (SGB)

Berliner Platz 2, 53111 Bonn

Ansprechpartner/in Herr Leide (auch für barrierefreie Dokumente)
Telefon 0228.77 8500
Telefax 0228.77 2214
E-Mail lutz.leide@bonn.de
Aufzugsgruppe, Etage, Zimmer Etage 3D
Mein Zeichen
Datum 12.09.2021

Sehr geehrte Damen und Herren,

wie in der Sitzung des Hauptausschusses am 07.09.2021 zugesagt, erhalten Sie anbei das Gutachten der HIG Ingenieursgesellschaft mbH zur Stützensanierung des Stadthauses sowie die ergänzende Stellungnahme des Büros zu Ihrer vertraulichen Information.

Zur Bewertung des Gutachtens bzw. bisherigen zeitlichen Verlaufes erlaube ich mir noch nachfolgende Erläuterungen:

Das sich ausschließlich auf statische Fragen konzentrierende Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass insbesondere der Beton als auch die Bewehrung der Stützenfüße sowie die Dehnungsfugen der Decken der beiden Parkdecks P1 und P2 beschädigt sind und diesbezüglich Handlungsbedarf besteht. Zu den sich aus den Ergebnissen resultierenden Konsequenzen für den technischen Betrieb enthielt das Gutachten aber keine Aussage. Deshalb musste das SGB, zur Erstellung einer weitergehenden Vorlage, diese Konsequenzen auf den komplexen technischen Betrieb zunächst noch prüfen.

Ein wesentliches Ziel der Prüfungen war dabei, die Auswirkungen auf den technischen Betrieb des Gebäudes, die sich durch die erforderliche Betonsanierung ergeben, zu minimieren. Dies nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund, dass die Ergebnisse aus dem Projekt „Zukunft Stadthaus“ planmäßig erst vorliegen würden, wenn mit der Sanierung längst hätte begonnen werden müssen. Dadurch sollte vermieden werden, dass Sanierungsarbeiten durchgeführt werden, die bei einem Abriss des Gebäudes obsolet gewesen wären oder im Rahmen einer Kernsanierung hätten integriert werden müssen.

Nicht zuletzt mit Blick auf die Tragweite einer solchen Maßnahme wurde intensiv geprüft und erörtert, ob und falls ja welche „Überbrückungsmaßnahmen“ denkbar wären. Das Resultat der Prüfung und seine Auswirkungen auf die Beschäftigten bzw. die Nutzung konnte erst in den Sommerferien abgeschlossen werden.

Call-Center: (0228) 77-0
Internet: www.bonn.de

Virtuelle Poststelle
Kommunikationsregeln unter:
www.bonn.de/dialog

Öffnungszeiten
Mo, Do: 8.00 – 18.00 Uhr
Di, Mi, Fr: 8.00 -13.00 Uhr
Zusätzliche
telefonische Servicezeit
Di, Mi: 13.00 – 16.00 Uhr

Öffentliche Verkehrsmittel
Bahnen: 61, 62, 66, 67
Busse: 602, 604, 605

Sparkasse KölnBonn
BLZ: 370 501 98
Kto.-Nr.: 120 62
IBAN DE05 3705 0198 0000 0120 62
BIC COLSDE33

Leitung SGB:
Lutz Leide

Stellv. Leitung:
Christina Becker

Dieses Schreiben wurde auf
100 % Recyclingpapier gedruckt

Zwischenzeitlich ist nicht mehr auszuschließen, dass für die Abstützungsmaßnahmen in einigen Bauteilen auch wesentliche Teile der technischen Infrastruktur möglicherweise für einen längeren Zeitraum außer Betrieb genommen werden müssen. Eine diesbezüglich belastbare Aussage des Umfanges wird voraussichtlich erst im I. Quartal 2022 vorliegen, so dass der dann verbleibende Zeitraum für die Suche nach alternativen Unterbringungsmöglichkeiten zu kurz wäre.

Wie Sie den beigefügten ergänzenden Ausführungen entnehmen können, kann der Zeitraum des Sanierungsbeginns nach aktueller Einschätzung des Gutachters durch eine Abstützung an den am stärksten geschädigten Stützen bei begleitendem Monitoring hinausgezögert werden. Dieses Ergebnis eröffnet somit die Möglichkeit, die Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit einer Betonsanierung in die Entscheidung über die Zukunft des Stadthauses zu integrieren.

Mit freundlichen Grüßen

[redacted]

INGENIEURGESELLSCHAFT
TRAGWERKSPLANUNG • BAUWESEN • NEUBAUTEN
SICHERUNG UND SANIERUNG HISTORISCHER BAUTEN

HIG Ingenieurgesellschaft mbH - Konrad-Adenauer-Str. 13 - 50996 Köln

HIG Ingenieurgesellschaft mbH
Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
E-Mail: info@hig-ingenieure.de
Internet: www.hig-ingenieure.de

Geschäftsführende Gesellschafter:
Dipl.-Ing. (FH) Holger Neugebauer
Dipl.-Ing. (FH) Michael Persé

Sitz der Gesellschaft: Köln
Steuernummer: 219/5818/2780
Registergericht Köln - HRB 71602

Sparkasse KölnBonn
IBAN: DE13 3705 0198 0004 3521 83
BIC: COLSDE33XXX

Städtisches Gebäudemanagement Bonn (SGB)
Berliner Platz 2
53111 Bonn

Köln, den 06.09.2021

Sanierung der Stahlbetonstützen in den Parkdecks P1 und P2 im Stadthaus Bonn
Dringlichkeit der Maßnahme

Sehr geehrte Damen und Herren,

wie gewünscht halte ich meine Aussagen zur Dringlichkeit der Maßnahme fest.

Gemäß unserem Gutachten vom 02.02.2021 zeigt sich, dass ein **erheblicher und dringlicher Sanierungsbedarf** an den Stützenfüßen in beiden Parkgeschossen besteht. Auf Dauer wird der schon jetzt als kritisch zu bezeichnende Zustand zum Verlust der Tragfähigkeit führen. Der Fortschritt der Schädigungen wird ohne ein abstellen der Ursache stetig und beschleunigt zunehmen. Letztendlich wird sich das tatsächliche Schadensausmaß erst nach dem Freistrahlen der Bewehrung im Zuge der Sanierung zeigen.

Im Gutachten wurde eine Klassifizierung der Schadensintensität auf der sicheren Seite für jede Stütze angegeben.

Um eine geordnete Sanierung und Planung der Maßnahme durchführen zu können, hält der Aufsteller einen Sanierungsbeginn in spätestens zwei Jahren für erforderlich. Hierzu ist es erforderlich ein jährliches Monitoring der geschädigten Stützenfüße durchzuführen um die Schadenszunahme und Standsicherheit bewerten zu können.

Der Zeitraum des Sanierungsbeginns kann nach Einschätzung des Aufstellers durch die vorgezogene Abstützung (s. temporäre Abstützung im Sanierungsablauf) an den am stärksten geschädigten Stützen auf bis zu 6 Jahre hinausgezögert werden.

Dabei bildet dieser Zeitraum lediglich eine Abschätzung, die sich im Zuge des begleitenden Monitorings verändern kann.

Mit freundlichen Grüßen

[redacted]

Dipl.-Ing. Holger Neugebauer

HIG
INGENIEURGESELLSCHAFT
TRAGWERKSPLANUNG • BAUWESEN • NEUBAUTEN
SICHERUNG UND SANIERUNG HISTORISCHER BAUTEN

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Stadthaus Bonn

Sanierungskonzeption

Stahlbetonstützen in den Ebenen P1 und P2

Projekt: Sanierungskonzept Stahlbetonstützen
in den Ebenen P1 und P2
Stadthaus
Berliner Platz 2
53111 Bonn

Auftraggeber: Städtisches Gebäudemanagement Bonn (SGB)
Berliner Platz 2
53111 Bonn

Auftragnehmer: HIG Ingenieurgesellschaft mbH
Tragwerksplanung · Bauwesen · Neubauten
Sicherung und Sanierung historischer Bauten
Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen

Telefon: 0221 - 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 - 80 00 81 - 29
E-Mail: info@hig-ingenieure.de
Homepage: www.hig-ingenieure.de

Bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Holger Neugebauer
Martin Mathey, M.Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Alexa Kann
Raja Theus

Köln, 02.02.2021

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines, Veranlassung, Vorbemerkungen 4
Allgemeines, Veranlassung 4
1.1 Baubeschreibung 4
1.2 Bestandsunterlagen, Planlage 5
1.3 Durchgeführte Untersuchungen / Arbeiten 5
2. Bestandsaufnahme Tragwerk 6
2.1 Tragwerksbeschreibung 6
2.2 Statische Beurteilung Bestandskonstruktion (Stützen) 11
3. Untersuchungsergebnisse 14
3.1 Untersuchungsbericht der Fa. KIWA vom 28.10.2019 14
4. Untersuchungsergebnisse HIG 19
4.1 Wertung der festgestellten Schadensbilder 21
4.2 Untersuchungsergebnisse Bauteilöffnungen Ebene P2 (HIG) 26
4.2.1 Feststellung und Bewertung des Bodenaufbaus der Ebene 2 26
4.2.2 Fugenausbildung im Bestand Parkdeck Ebene 2 28
4.2.3 Chloriduntersuchungen an Stützenfüßen der Ebene 2 30
4.3 Untersuchungsergebnisse Bauteilöffnungen Ebene P1 (HIG) 32
4.3.1 Feststellung und Bewertung des Bodenaufbaus der Ebene 1 32
4.3.2 Bodenaufbau im Bestand: Parkdeck Ebene 1 32
4.3.3 Fugenausbildung im Bestand: Parkdeck Ebene 1 33
4.3.4 Bohrmehlprobenentnahme an den Stützenfüßen auf Höhe des Asphaltquerschnittes (Ebene P1) 34
4.4 Ermittelte Betongüte 36
5. Zusammenfassung und Fazit / Sanierungskonzeption 36
5.1 Schadensursache / Ergebniswertung 36
5.2 Normative Anwendungen und Regelwerke für die Sanierung von Bestandsbauten 38
5.3 Vorstellung und Bewertung der möglichen Instandsetzungsprinzipien nach Rili-SIB 38
5.4 Umsetzung des Instandsetzungsprinzips (Stützenfußsanierung) 42
5.5 Klassifizierung der Stützenfußsanierungen nach einer realistischen Abschätzung und nochmalige Begutachtung entsprechend den Erläuterungen im Kapitel 5.1 Schadensursache und Ergebniswertung 47
5.6 Decken und Deckenfugen 52
6. Zusammenfassung / Fazit 54

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

1. Allgemeines, Veranlassung, Vorbemerkungen

Allgemeines, Veranlassung

Die HIG Ingenieurgesellschaft mbH wurde beauftragt ein Sanierungskonzept zu den in den Tiefgaragenebenen P1 und P2 vorhandenen Stahlbetonstützen auszuarbeiten. Aufgrund der auftretenden Korrosionsschäden und Abplatzungen waren im Vorfeld Untersuchungen durch die Betontechnologen der Firma KIWA durchgeführt worden (166 Seiten, zzgl. ca.2000 Bilder). Hierzu existiert ein Kurzbericht der IBE-Ingenieure aus Hennef (5 Seiten).

1.1 Baubeschreibung

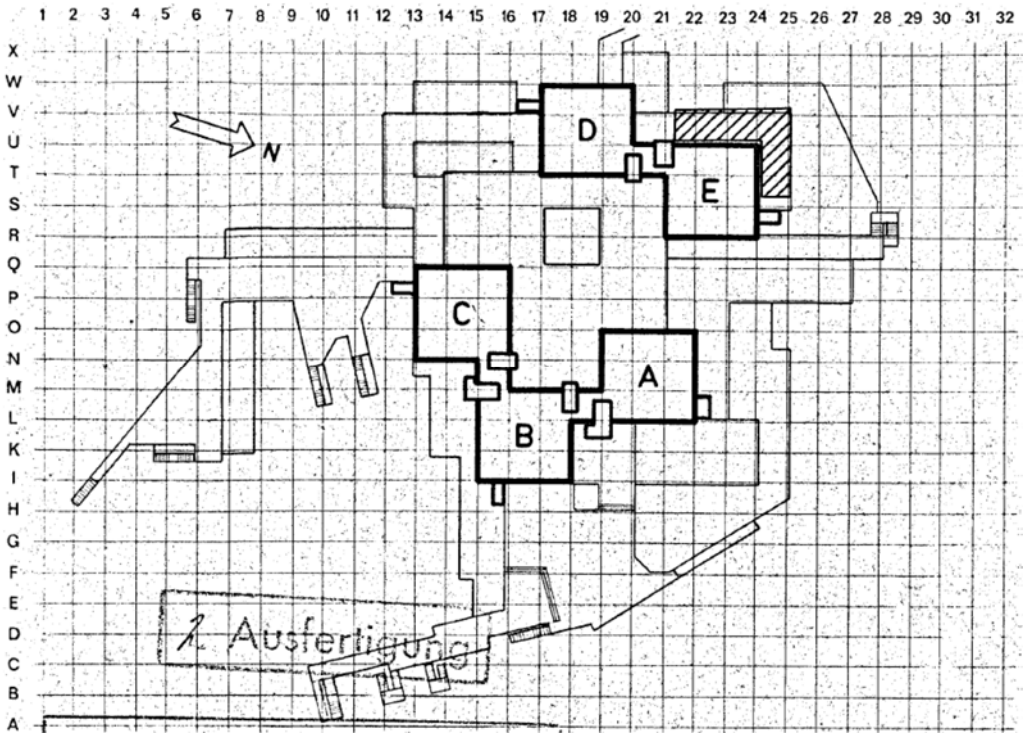
Das Stadthaus Bonn umfasst fünf mehrgeschossige Bürotürme unterschiedlicher Höhen. Die quadratischen Grundrisse der Türme sind gegeneinander versetzt und überragen den Sockelbau. Der Sockelbau wurde insgesamt, inklusive der Untergeschosse, sechsgeschossig ausgeführt. An den Verbindungsstellen der Bürotürme und dem Sockel wurden die aussteifenden Treppenhauskerne angeordnet. Weitere Fluchttreppenhäuser sind seitlich der Grundrisse vorhanden.

Inklusive der Untergeschosse weist der Turm A 22 Geschosse, der Turm B 17 Geschosse und der Turm C 13 Geschosse auf. Die Türme D und E besitzen 7 bzw. 12 Geschosse.

Der Gebäudesockel in Form der Parkgeschosse P1 und P2 ragt über die Grundrisse der aufgehenden Geschosse. Das Parkgeschoss P2 ist in Teilen durch eine dritte Ebene -3 unterkellert. Hier sind Lager und Techniknutzungen vorhanden. Zwischen den aufgehenden Türmen sind oberhalb der Parkgeschosse weitere zwei bis drei niedere Geschosse angeordnet.

Der Erstellungszeitraum kann auf 1973 bis 1977 datiert werden.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



1.2 Bestandsunterlagen, Planlage

Dem Aufsteller wurde die Statik inkl. diverser Ausführungspläne zur Verfügung gestellt. Die Statik liegt nahezu vollständig vor. Die Positionspläne sind nicht vollständig und leider fehlt auch der Positionsplan zur Ebene -2 (P2). Für die Ebene -1 (P1) liegt dieser vor. Schalpläne liegen leider nur in geringer Anzahl vor. Für die Ebene -2 (P2) liegen Schalpläne vor. Bewehrungspläne sind in großer Anzahl vorhanden. Die Zuordnung der Stützenbewehrungen war an einer Vielzahl der Stützen möglich. In der Ebene -2 wurden aufgrund der fehlenden Positionspläne in einigen Bereichen Annahmen zur Zuordnung der eingebauten Bewehrung getroffen.

1.3 Durchgeführte Untersuchungen / Arbeiten

Nach Sichtung, Sortierung und Digitalisierung der Bestandsunterlagen (Statik und Ausführungspläne) wurden im ersten Schritt Übersichtspläne erstellt, in die sämtliche vorhandenen Informationen und auch noch folgende Erkenntnisse eingetragen wurden. Hiernach wurde die erste Sichtung und Begutachtung jeder einzelnen der 358 Stützen durchgeführt.

Nachdem sich herausstellte, dass die bisher vorgenommene Klassifizierung alleine auf Grundlage der Ergebnisse der KIWA Betontechnologen nicht ausreichend ist, wurden je Parkdeck fünf weitere, jedoch tiefergreifende Bauteilöffnungen nach Anweisung HIG durchgeführt (KIWA-Nachuntersuchung) und ausgewertet. Nachdem der Sanierungsumfang insgesamt als erheblich einzustufen war, wurden zahlreiche Vergleichsberechnungen zur Stützenauslastung durch-geführt. Anschließend konnten Sanierungskonzeptionen festgelegt werden. Durch weitere abschließende Begehungen konnten den Stützen bestimmte Sanierungstypen zugeteilt werden. Ortsbegehungen und Begutachtungen bzw. Bauteilaufnahmen fanden am 15.06, 24.06, 25.06, 02.07, 20.07, 21.09, 24.09, 28.09, 17.12, 21.12.2020 und 04.01.2021 statt.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

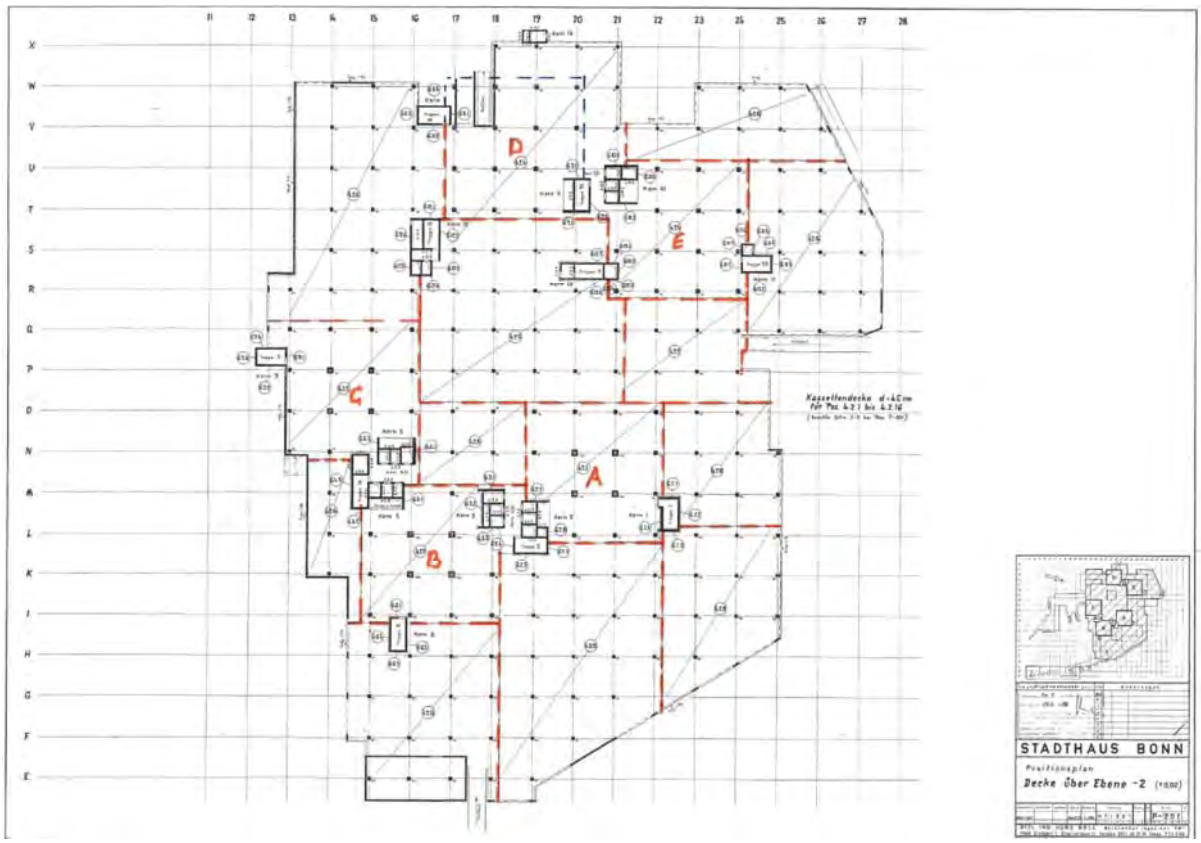
2. Bestandsaufnahme Tragwerk

2.1 Tragwerksbeschreibung

Die Beschreibung des Tragwerkes bezieht sich lediglich auf die betroffenen Bauteile der Ebene -1 (P1) und -2 (P2).

Um Schäden aus Differenzsetzungen zu vermeiden wurde ein Tragwerkskonzept mit zahlreichen Bewegungsfugen ausgeführt. Dabei wurden grundsätzlich die aufgehenden Hochhaustürme mit unterschiedlicher Geschossanzahl auch in den Flachbereichen von angrenzenden Decken durch Fugen getrennt. Gleichzeitig wurden Sie als Dehnfugen ausgeführt.

In der folgenden Übersicht sind die Fugenverläufe in rot dargestellt (Positionsplan P-201).



Eine Dehnfuge verläuft ebenfalls zwischen Turm B und Kern B/C. Turm A und B wurden mittels Verdollung über Querkraftübertragung miteinander verbunden. Ebenfalls wurden alle außenliegenden Fluchttreppenhäuser abgefugt. Auch die erdberührten Außenwände wurden als Stützwände ausgeführt, um freie Dehnungen zuzulassen.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

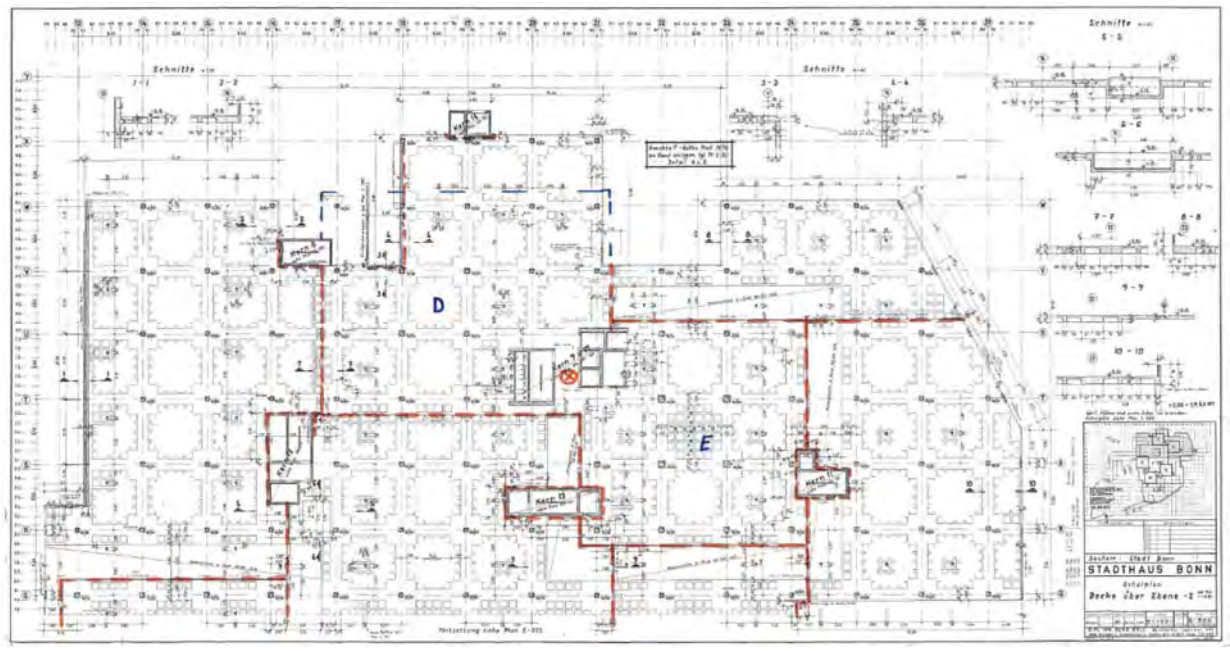
Das quadratische Achsraster beträgt 8,40 m x 8,40 m. Die Turmgrundrisse liegen durchgehend mit Abmessungen von 26,40 m x 26,40 m vor. Die Deckenkonstruktion wurde als Kassettendecke mit 45 cm Höhe ausgebildet. Zum Teil wurden die an die Turmfugen angrenzenden Deckenfelder mit Massivplatten in 25 cm Stärke angeordnet (Koppelplatten). Durch die zahlreichen Fugen wird zum Großteil eine zwängungsfreie Lagerung der Decken erreicht. Dies bedeutet, dass die Deckendehnungen aus Schwinden und Temperatur ohne Behinderung auftreten können und somit keine Spannungen in der Decke entstehen.

Dadurch, dass die Stützen jedoch starr an die Decke angeschlossen wurden, werden die Deckenbewegungen (Längungen in Deckenebene) infolge Schwinden und Temperaturbeanspruchung auf die Stützen unmittelbar übertragen.

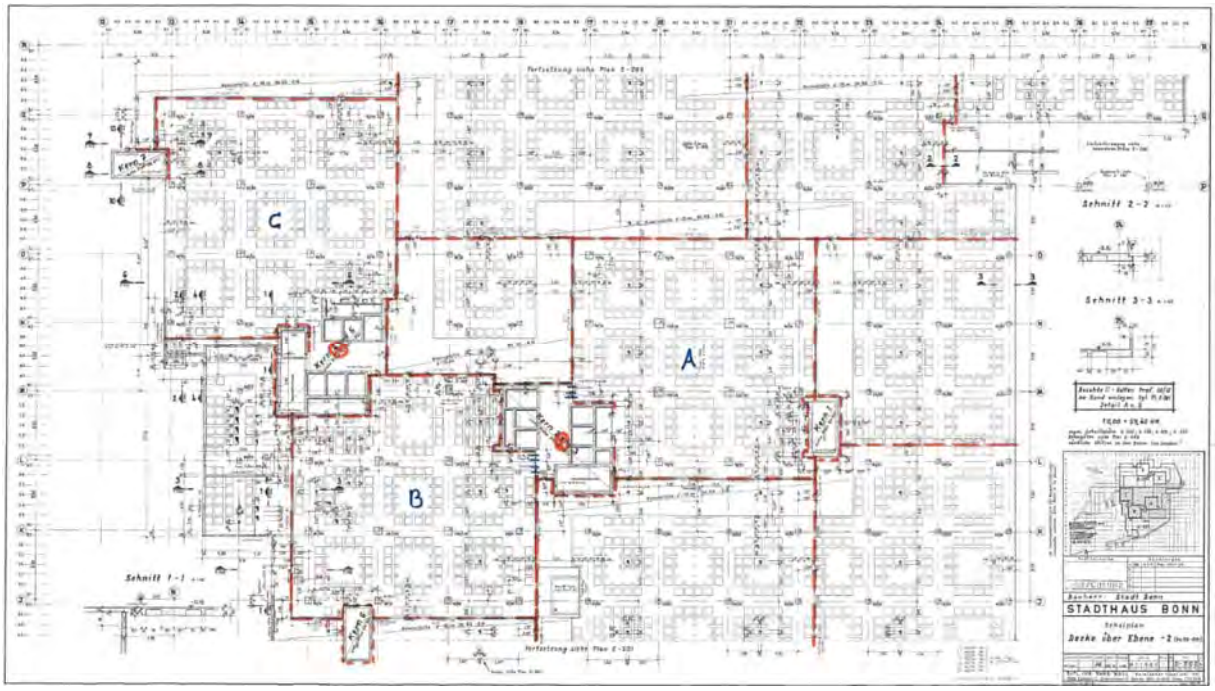
Aus den unterschiedlichen Deckenbewegungen, von den warm temperierten Innenbereichen der oberen Geschosse zu den kälteren Geschossen im Außenbereich, entstehenden Beanspruchungen auf die Stützen infolge der unterschiedlichen Temperaturausdehnung. Betroffen sind die Geschoss -3 bis 1.OG.

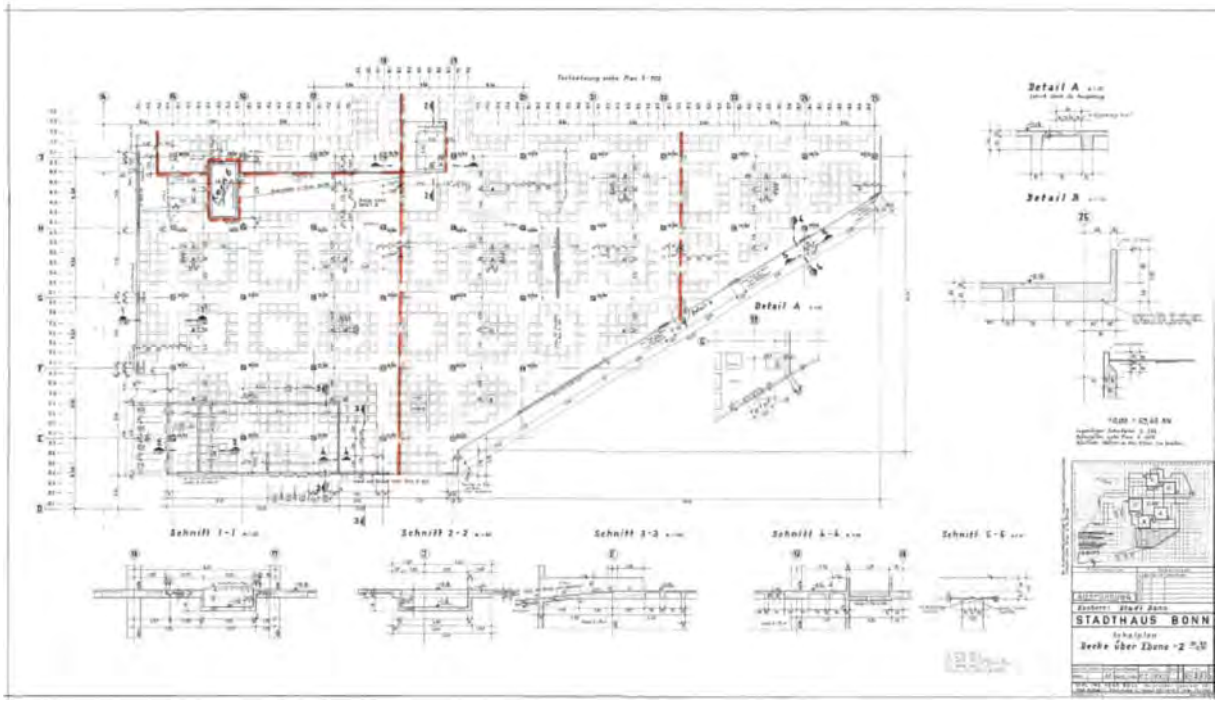
Der Einfluss der unterschiedlichen Deckenbewegungen auf die Stützenbemessung wird in einem separaten Kapitel näher erörtert. Die Stützendimensionen wurden mit mindestens 60 cm x 60 cm ausgeführt. Im Bereich des Turmes A befindet sich der größte Stützenquerschnitt mit 120 cm x 120 cm. Die Schrittweite zur Abstufungen der einzelnen Stützenquerschnitte betrug 10 cm.

In den einzig vorliegenden Schalplänen der Ebene P2 sind die Fugenverläufe inkl. der Stützenabmessungen und der Deckenkonstruktionen gut zu erkennen.



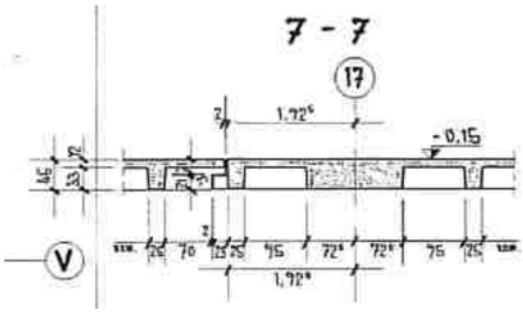
Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



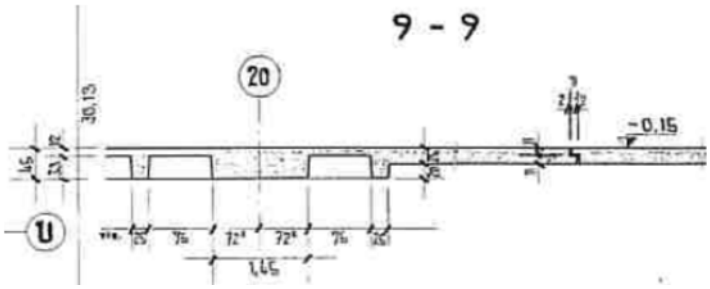


Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

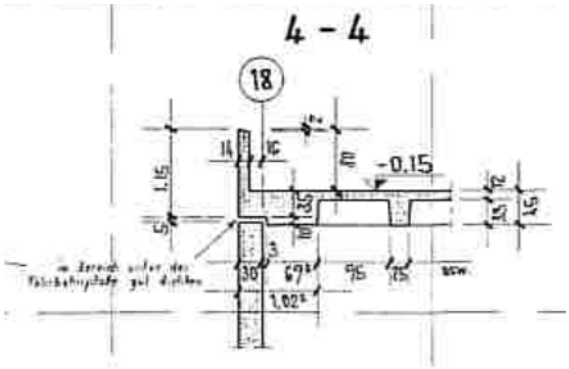
Die Fugenausbildung in den Decken ist exemplarisch in folgenden Abbildungen dargestellt:



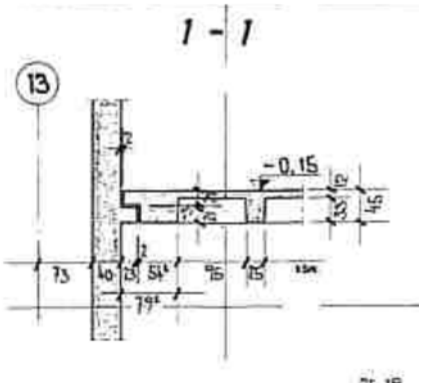
Fuge in Kassettendecke



Fuge in Koppelplatte



Fuge an Außenwänden



Fuge an Außenwänden

Die Gründung erfolgt in den festgelagerten Kiessanden durch Einzelfundamente, die unterhalb der Ebene -3 angeordnet sind. Zum Teil variieren die Gründungsebenen stark.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Ausschnitt Architektenplan Schnitt A-A

Ausschnitt Architektenplan Schnitt B-B

Treppenhauskerne und Fluchttreppenhäuser wurden in Kletterschalung hergestellt.

Die Gebäudeaussteifung geschieht ausschließlich über die Treppenhauskerne. Eine Ausnahme bildet der höchste Turm A, der aufgrund der Höhe, noch zusätzlich, jedoch nur in den oberen Geschossen, Horizontallasten an das Fluchttreppenhaus abgibt. Alle anderen Fluchttreppenhäuser werden durch die Decken gehalten und leisten keinen Beitrag zur Stabilisierung der Türme.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

2.2 Statische Beurteilung Bestandskonstruktion (Stützen)

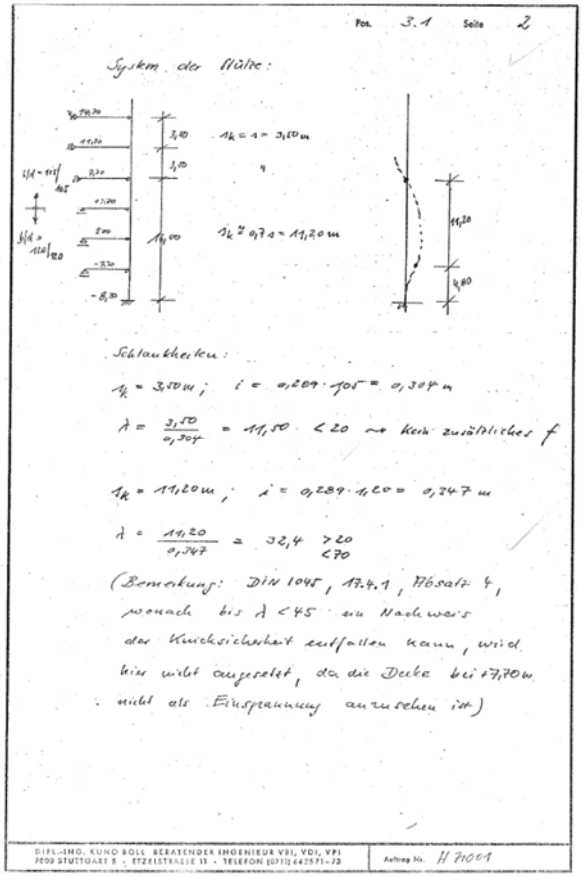
Bedingt durch die Ausbildung zahlreicher Dehnungsfugen ergibt sich ein untypisches statisches Tragsystem für die Bemessung der Stützen.

Im Normalfall wäre jede Decke ein horizontaler Halterungspunkt für die Stütze. Im vorliegenden Fall wurden jedoch die Decken (vor allem die der Flachbereiche) durch systematische Fugeneinteilung zwangsfrei ausgebildet, sodass in der Regel nur ein horizontaler Anschluss an die Treppenhauskerne vorhanden ist. Gleichzeitig sind die Ebenen P2, P1 und in der Regel auch die Eingangsgeschossdecken den Außentemperaturen ausgesetzt, während die weiteren Obergeschosse einer über das Jahr gesehenen, relativ gleichbleibenden Temperatur für Innenbereiche erfahren.

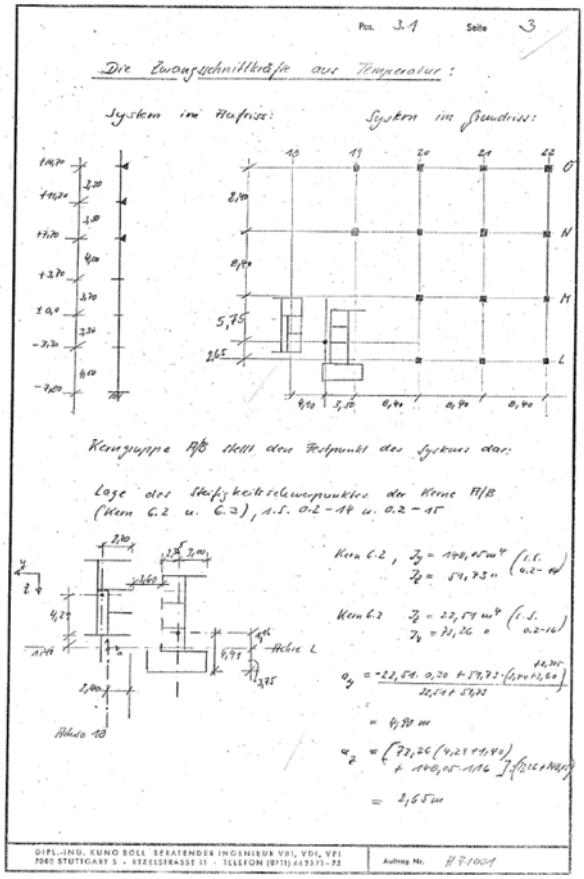
Bei warmen Temperaturen bzw. Erwärmung der Außenbauteile, dehnen sich die Decken in Abhängigkeit von der Temperaturdehnzahl und dem Abstand zum Festpunkt aus. Bei kalten Temperaturen bzw. durch Abkühlen, ziehen sie sich entsprechend zusammen. Aus diesem Umstand werden über die Deckenausdehnungen Beanspruchungen auf die Stützen ausgeübt, die größtenteils bemessungsmaßgebend sind.

Gleichzeitig wird entsprechend der Statik davon ausgegangen, dass die Decken über den Ebenen -3, -2 und -1 keine horizontale Halterung für die Stützen darstellt. Demnach ergeben sich für die Stützen teilweise Knicklängen von bis zu 16 m (als halterungsfreie Länge).

Exemplarisch wird der statische Ansatz entsprechend der Bestandsstatik an der Mittelstütze N/21 des Turmes A dargestellt.

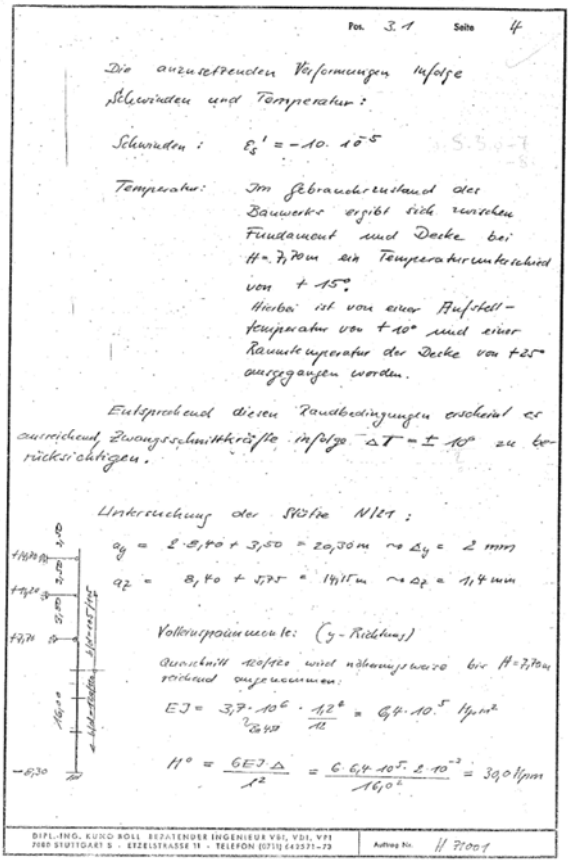


16m freie Stützenlänge ohne horizontaler Halterung



Festpunkt für Beanspruchungen aus Temperatur im Kernbereich

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



Pos. 3.1 Seite 4

Die auszusetzenden Verformungen infolge Schwinden und Temperatur:

Schwinden: $\varepsilon_s' = -10 \cdot 10^{-5}$

Temperatur: Im Gebrauchszustand der Bauwerks ergibt sich zwischen Fundament und Decke bei H = 7,70 m ein Temperaturunterschied von + 15°.
Hierbei ist von einer Aufstell-temperatur von + 10° und einer Raumtemperatur der Decke von + 25° ausgegangen worden.

Entsprechend diesen Randbedingungen erscheint es ausreichend Zwangsschnittkräfte infolge $\Delta T = \pm 10°$ zu berücksichtigen.

Untersuchung der Stütze N/21:

$a_y = 2 \cdot 8{,}40 + 3{,}50 = 20{,}30\,m \rightarrow \Delta_y = 2\,mm$

$a_z = 8{,}40 + 5{,}75 = 14{,}15\,m \rightarrow \Delta_z = 1{,}4\,mm$

Vollrechteckquerschnitte: (y-Richtung)

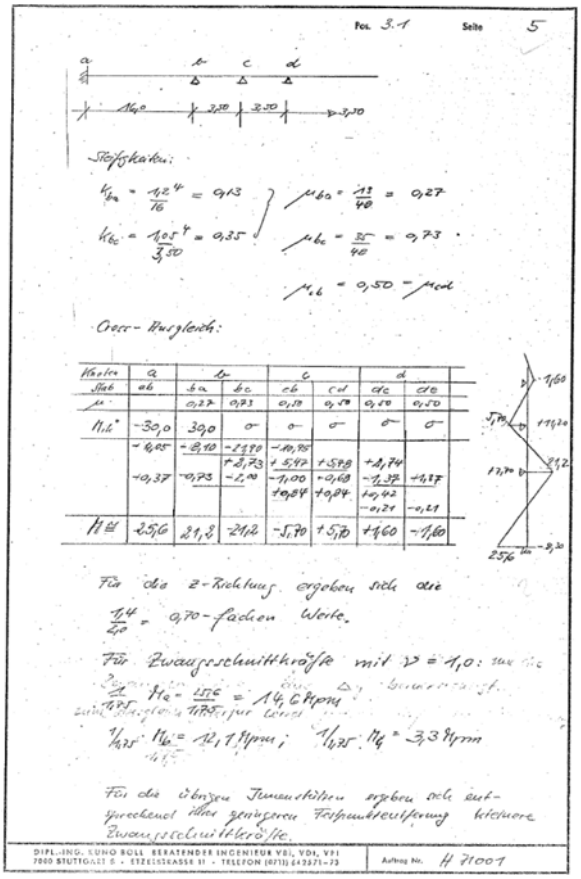
Querschnittswerte wird näherungsweise bei H = 7,70 m zeitlich angenommen:

$EJ = 3{,}7 \cdot 10^6 \cdot \frac{1{,}2^3}{12} = 6{,}4 \cdot 10^5\,kpm^2$

$H^0 = \frac{6EJ\Delta}{l^2} = \frac{6 \cdot 6{,}4 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{16{,}0^2} = 30{,}0\,kpm$

DIPL.-ING. KUNO BOLL BERATENDER INGENIEUR VBI, VDI, VPI
7000 STUTTGART 5 · ETZELSTRASSE 19 · TELEFON (0711) 443371-73
Auftrag Nr. H 71001

Ansatz Temperatur und Schwinden



Pos. 3.1 Seite 5

Steifigkeiten:

$k_{ba} = \frac{1{,}2^4}{16} = 0{,}13$ $\mu_{ba} = \frac{13}{48} = 0{,}27$

$k_{bc} = \frac{1{,}05^4}{3{,}50} = 0{,}35$ $\mu_{bc} = \frac{35}{48} = 0{,}73$

$\mu_{cb} = 0{,}50 = \mu_{cd}$

Cross-Ausgleich:

Knoten	a	b		c		d	
Stab	ab	ba	bc	cb	cd	dc	da
μ		0,27	0,73	0,50	0,50	0,50	0,50
M₀	-30,0	30,0	0	0	0	0	0
	-0,05	-8,10	-21,90	-10,95			
			+2,73	+5,47	+5,48	+2,74	
	+0,37	-0,73	-2,00	-1,00	+0,68	-1,37	+1,37
				+0,84	+0,84	+0,42	
						-0,21	-0,21
M ≅	25,6	21,3	-21,2	-5,70	+5,70	+1,60	-1,60

Für die z-Richtung ergeben sich die $\frac{1{,}4}{2{,}0} = 0{,}70$-fachen Werte.

Für Zwangsschnittkräfte mit $\nu = 1{,}0$: [illegible]

$\frac{1}{1{,}75} M_0 = \frac{25{,}6}{1{,}75} = 14{,}6\,kpm$

$\frac{1}{1{,}75} M_0 = 12{,}1\,kpm$; $\frac{1}{1{,}75} M_0 = 3{,}3\,kpm$

Für die übrigen Innenstützen ergeben sich entsprechend ihrer genaueren Feldmomentenverteilung kleinere Zwangsschnittkräfte.

DIPL.-ING. KUNO BOLL BERATENDER INGENIEUR VBI, VDI, VPI
7000 STUTTGART 5 · ETZELSTRASSE 11 · TELEFON (0711) 443371-73
Auftrag Nr. H 71001

Ermittlung der Zwangsschnittgrößen

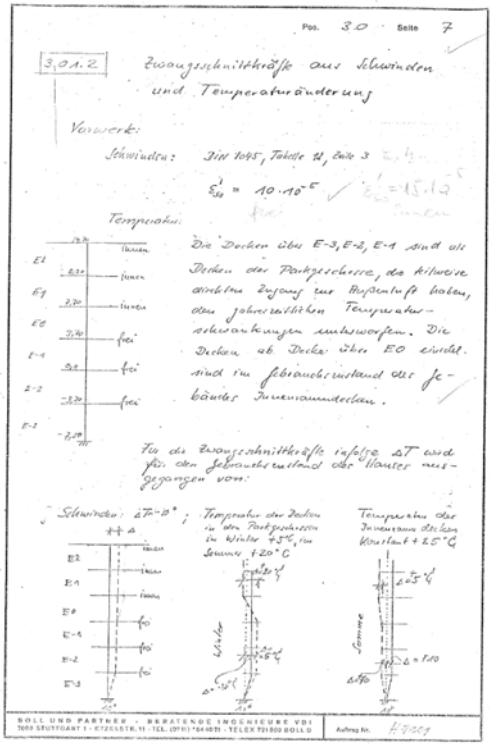
Aus den Bemessungsansätzen ergibt sich eine Diskrepanz aus einer zwangsfreien Lagerung ohne Horizontalhalterung, woraus sich die freie Stützenlänge von bis zu 16 m herleitet und dem Ansatz einer Deckenverformung in der Scheibenebene, die sich aus einer Anbindung an die Kerne ergibt.

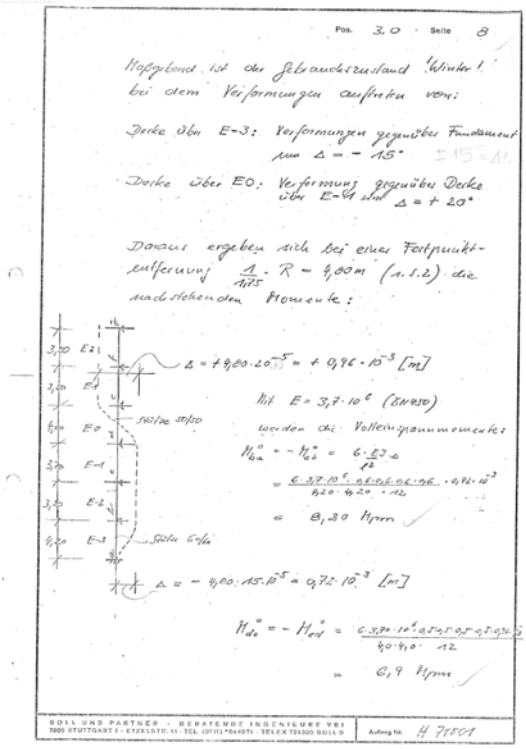
Durch die monolithische Ausbildung der Stützenanschlüsse an die Decke wurde örtlich eine starre Anbindung an die Geschossdecken ausgeführt. Es war jedoch nicht zu erkennen, ob die Anbindung an die Kerne örtlich ausreichend steif hergestellt wurde. Hierzu existieren lediglich die Schalpläne über der Ebene -2, die in den oberen Grafiken eingeblendet wurden (s. S. 8-9). In diesen Plänen haben wir durch einen roten ausgekreuzten Punkt dargestellt, wo rechnerisch die Festhaltung für die Temperaturbeanspruchung angenommen wurde.

Zu erkennen ist, dass die Kernwände von den Decken abgefugt wurden und lediglich (mit Ausnahme der Kerne 9 und 10) die Anbindung über den Flur bzw. Zugangsbereich erfolgt. Diese Detailausbildung liegt jedoch nicht vor.

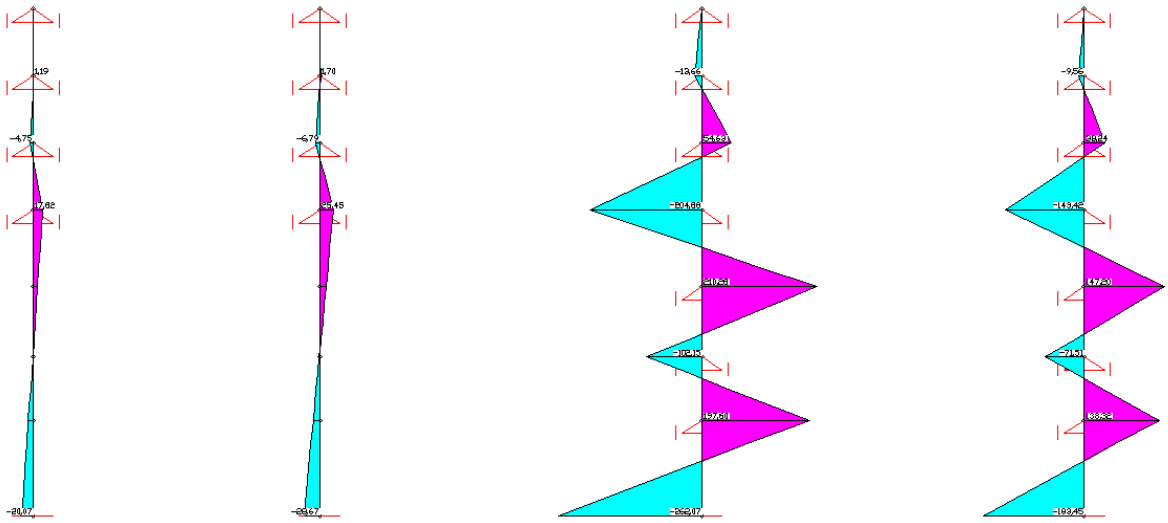
Nach eingehenden Untersuchungen und Vergleichsberechnungen zeigt sich, dass die große freie Stützenlänge von bis zu 16 m nicht den bemessungsmaßgebenden Fall abbildet. Bemessungsmaßgebend ist der Fall, der auch höchstwahrscheinlich dem ausgeführten Stand entspricht, nämlich der Anbindung an die Kerne inkl. der dadurch auftretenden Zwangsbeanspruchung aus Temperatur und Schwinden (aus unterschiedlichen Dehnungen der Decken).

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de





Verformungen aus Temperatur und Schwinden



Momentenbeanspruchungen auf die Stütze aus der erzwungenen Längenänderung der Decken:
links freie Lagerung Ebene ü.-1-3 **rechts mit Halterung der Decken**

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Aufgrund der Vielzahl der verschiedenen Beanspruchungen, die sich aus dem Abstand zum Haltepunkt (Abstand zum Kern bzw. Abstand zum Flächenschwerpunkt), den verschiedenen Gründungstiefen und ggfs. Geschosshöhen, verschieden hohen Normalkraftbeanspruchungen und Querschnitten ergeben, leiten sich zahlreiche unterschiedliche Berechnungspositionen ab. Bei Gruppennachweisen ist schwer zu entscheiden, welche die bemessungsmaßgebende Situation darstellt. Durch zahlreiche Vergleichsberechnungen konnten jedoch maßgebliche Stützen untersucht werden.

Infolge der betontechnologischen Untersuchungen, konnten für den Nachweis der Stützen zwei wesentliche Bemessungsreserven festgestellt werden, welche für die Sanierung der Stützen äußerst wichtig sind. Aus den Untersuchungsergebnissen der KIWA Betontechnologen konnte eine grundsätzlich höhere Betongüte ermittelt werden, als aus dem statischen Nachweisen hervorgeht. Des Weiteren bringt der Umstand, dass Betonsanierungen immer bei mindestens 5-8 Grad Außentemperatur durchzuführen sind, eine weitere Reduzierung der Beanspruchungen aus Temperatur um ca. 30%. Da die Bestandsstatik den maßgebenden Fall der Temperaturbeanspruchung im Winter zu berücksichtigen hat, wird somit diese Tragreserve aktiviert.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Untersuchungsbericht der Fa. KIWA vom 28.10.2019

Im Vorfeld zur Erstellung dieses Sanierungskonzeptes wurden umfassende Untersuchungen an allen Stützen des Parkdecks -2 und -1 erstellt.

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Zerstörungsfreie Messungen der Betondeckungen
- Ermittlung der Carbonatisierungstiefen
- Potenzialfeldmessungen
- Entnahme von Bohrmehlproben
- Bestimmung des Chloridgehaltes
- Erstellung von Sondierungsöffnungen

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Folgende Ergebnisse und Erkenntnisse können festgehalten werden:

1. Messung der Betondeckungen

Ebene P1: mittlere Betondeckung 25-40 mm, nur vereinzelt < 10 mm
Ebene P2: mittlere Betondeckung 37-43 mm, nur vereinzelt < 20 mm

Beispiel: Achse L/17

Die Betondeckung wurde an allen Stützen ermittelt und dargestellt. Planmäßig waren an den Stützen 3,5 cm vorgesehen.

2. Carbonatisierungstiefen

Die Carbonatisierungstiefen lagen im Mittel bei 5 bis 10 mm. Somit hat die Carbonatisierungsfront die Bewehrung noch nicht erreicht, sodass der Korrosionsschutz aufgrund des noch ausreichend schützenden alkalischen Milieus im Beton noch gegeben ist. Somit ist die carbonatisierungsinduzierte Korrosion als unkritisch einzustufen.

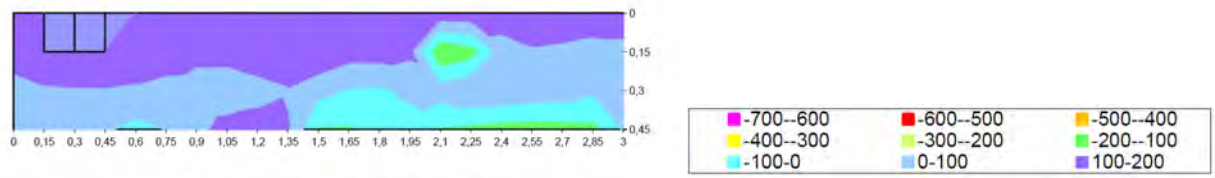
Die Carbonatisierungstiefen wurden an zahlreichen Bauteilöffnungen ermittelt.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

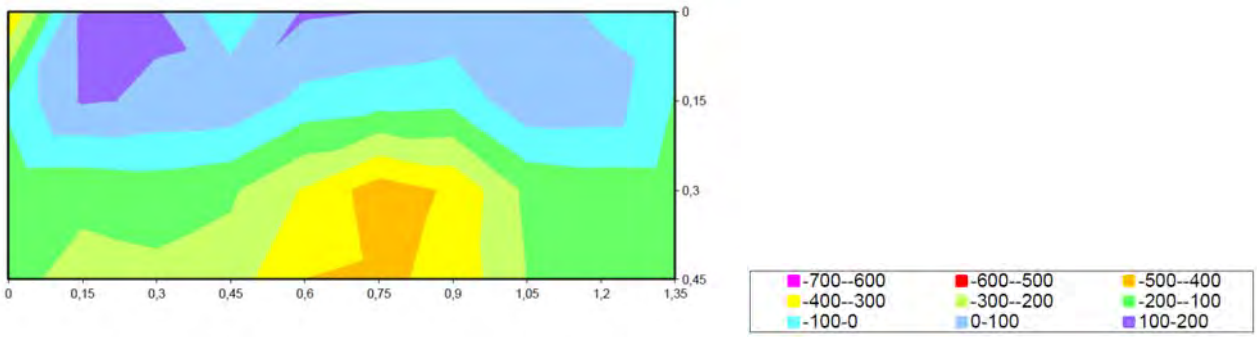
3. Potenzialfeldmessung

Die Potenzialfeldmessung ist eine Methode, die über Messung der elektrischen Spannung das elektrochemische Potenzial zwischen Stahl und Beton messen kann.

Negativere Potenziale deuten auf eine Korrosionsaktivität hin. Die Methode stellt dabei eine Momentaufnahme dar. Angezeigt wird lediglich die chloridinduzierte, nicht aber die karbonatisierungsinduzierte Korrosion. Negative Potenziale deuten auf größere Wahrscheinlichkeiten von Korrosionsaktivität hin.



Beispiel: Potenzialfeldanalyse an Stütze Achse L/17 Ebene -2 100x100 cm
Ergebnis: Durchgängig höhere Potenziale lassen auf eine niedrige Wahrscheinlichkeit der chloridinduzierten Korrosion schließen



Beispiel: Potenzialfeldanalyse an Stütze Achse L/23 Ebene -2 60x60 cm
Ergebnis: Potenziale im niedrigen Bereich bzw. mit starken Potenzialsprüngen zeigt eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine chloridinduzierte Korrosion (Achtung nur 2 Stützenseitenaufnahmen)

Es wurden lediglich sieben Potenzialfeldmessungen im P1 und 29 im P2 durchgeführt.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

4. Entnahme Bohrmehlproben zwecks Ermittlung des Chloridgehaltes

Die Chloridgehalte wurden an allen Stützen ermittelt.

Probe	Bauteil / Entnahmestelle	Chloridgehalt „zementbezogen" in M.-% Entnahmetiefe ausgehend von Betonoberfläche in mm		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
F19	Stütze	1,02	[illegible]	0,05
F20	Stütze	0,33	0,06	0,04
G15	Stütze	3,82	4,48	2,88
G16	Stütze	3,20	2,69	0,40
G17	Stütze	4,57	4,55	2,83
G18	Stütze	4,41	2,27	[illegible]
G19	Stütze	3,77	2,87	1,76
G20	Stütze	1,81	2,44	3,06
G21	Stütze	0,21	0,05	0,02
H16	Stütze	3,38	1,37	2,18
H17	Stütze	3,94	4,07	[illegible]
H18	Stütze	[illegible]	[illegible]	0,23

Chloridgehalt	Bewertung
kleiner 0,5 Masse-%	Keine oder sehr geringe Korrosionsgefahr (nach RiLi SIB)
0,5 bis 1,0 Masse-%	Korrosionsgefahr wahrscheinlich
größer 1,0 Masse-%	Hohe Korrosionsgefahr

Exemplarische Darstellung der Chloridauswertung KIWA

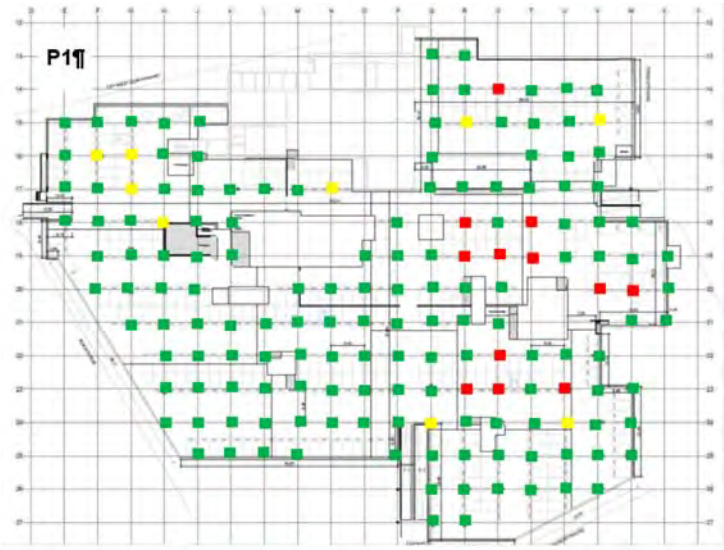
5. Erstellung von Sondierungsbohrungen

Sondierstelle	Stütze L17	Betondeckung (Mittelmaß) : längs/quer	38,5 / 41,0
max. Carbonatisierungstiefe	5 mm	Bewehrung	1 quer/bügel Bewehrungsstab mit Ø 10 mm, 1 längs Bewehrungsstab mit Ø 20 mm, gerippt, Korrosionsgrad 0-1, Betondeckung ca. 4,0 cm
Anzahl d. detektierten Stähle: längs/quer	4 / 9	Bemerkungen	Keine Korrosionsbildung und keine Querschnittsminderung.

Stemmproben wurden im P1 an 67 von 163 Stützen und in P2 an 39 von 171 Stützen durchgeführt.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Die folgende Darstellung der Chloridgehalte wurde durch die Firma KIWA erstellt.



Ergebnisse Chlorid P1: Korrosionsgefahr
142 Stützen grün (gering)
9 Stützen gelb (wahrscheinlich)
12 Stützen rot (hoch)
Chlorid in 21 Stützen von 163 vermutet

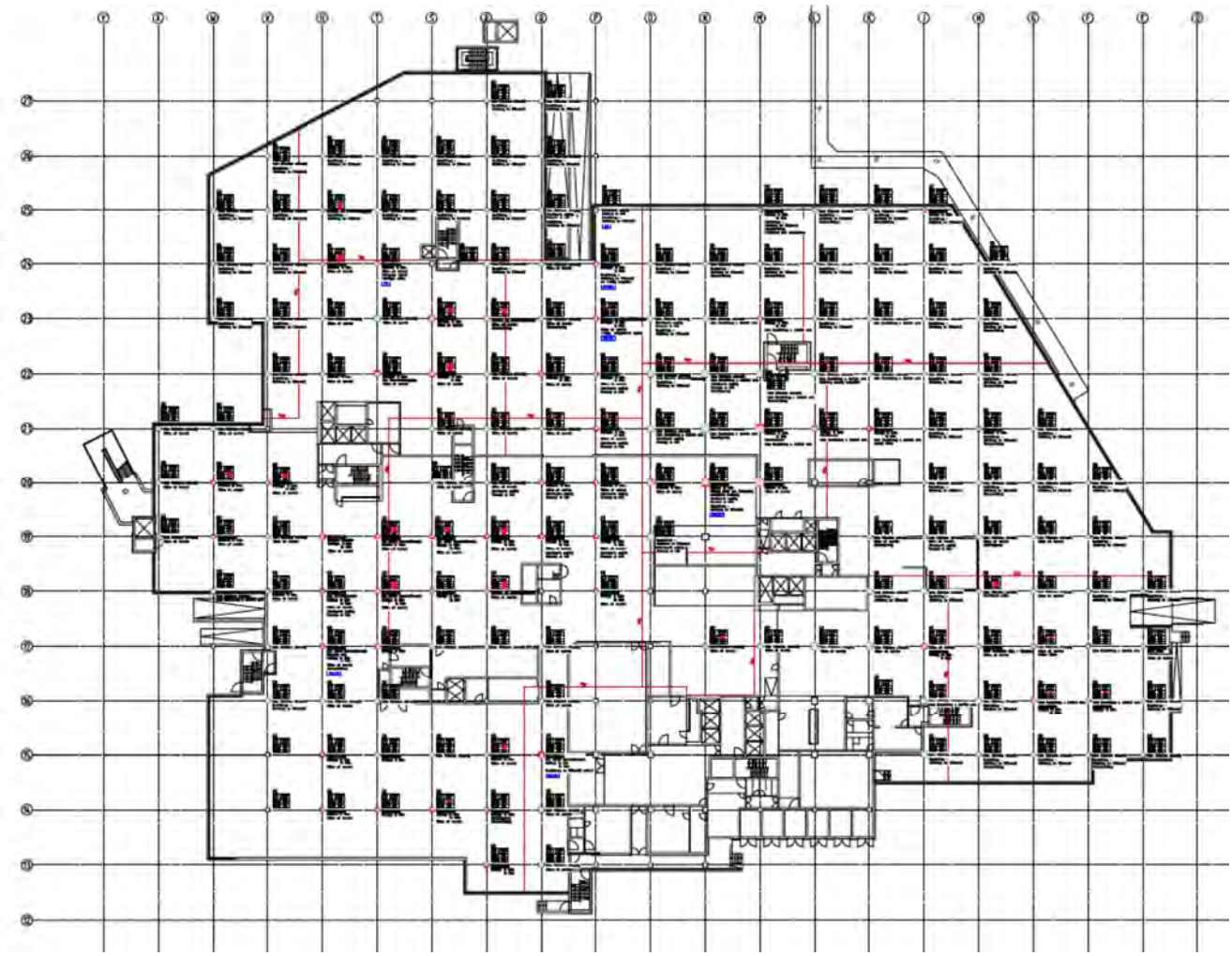
Ergebnisse Chlorid P2: Korrosionsgefahr
104 Stützen grün (gering)
10 Stützen gelb (wahrscheinlich)
57 Stützen rot (hoch)
Chlorid in 67 Stützen von 171 Stützen vermutet

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

4. Untersuchungsergebnisse HIG

Von HIG wurden sämtliche Erkenntnisse für jede Stütze gesammelt und zusammengetragen (4 schmale Aktenordner). Anschließend wurden die Befunde vor Ort für jede einzelne Stütze gewertet und analysiert. Hierzu wurden im Vorfeld die o.g. Bewertungen durch KIWA farblich übernommen und zur besseren Übersicht sämtliche Chloridergebnisse in den Grundriss an die jeweilige Stütze übertragen. Ebenfalls wurden die Erkenntnisse aus der Begutachtung durch HIG ergänzt.

Die Begutachtung fand unter Wertung der bisherigen Untersuchungen (KIWA), einer optischen Begutachtung und einem allseitig im Fußbereich durchgeführten Perkussionstest mittels Hammer statt.

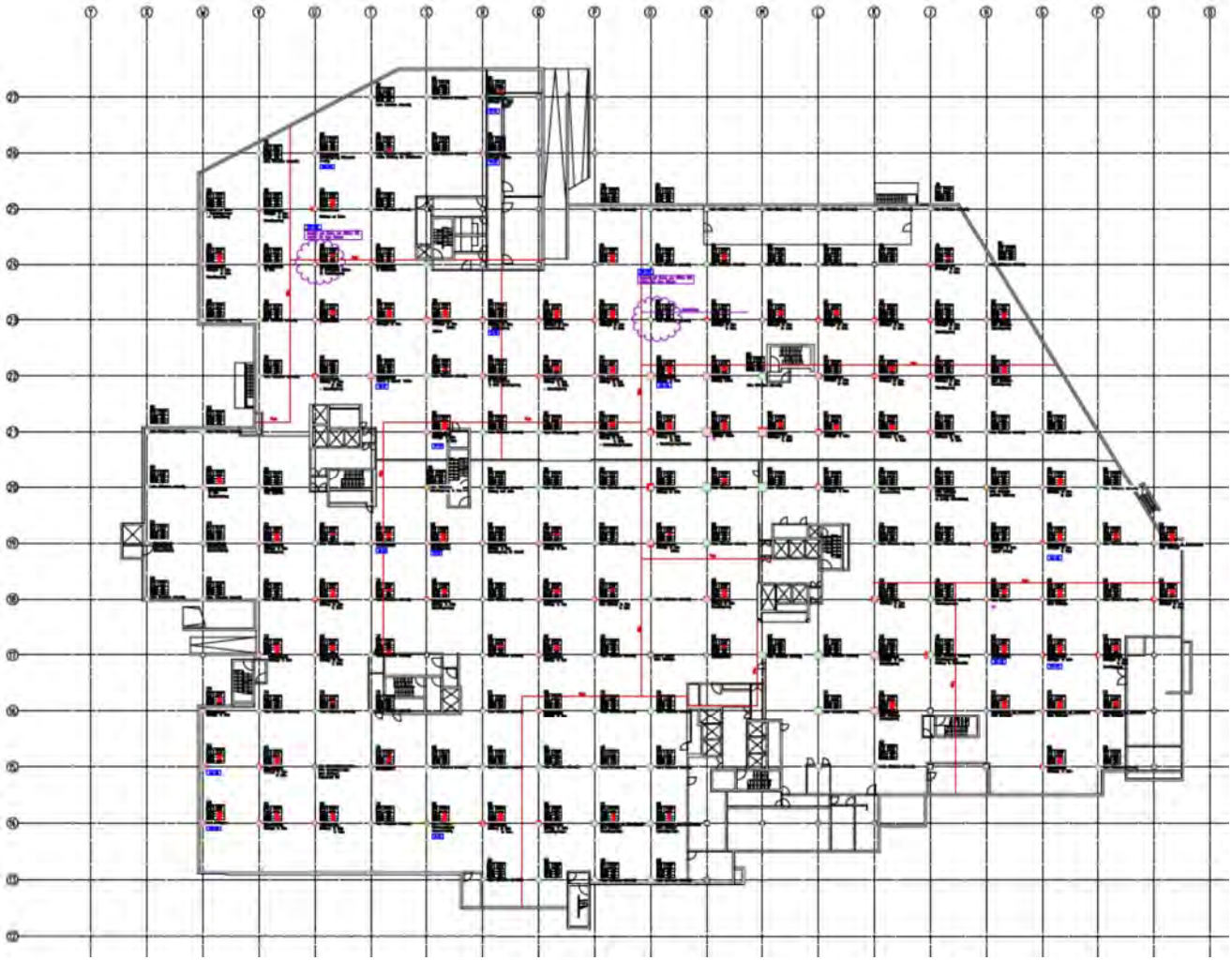


Ebene P1

<u>Zwischenergebnis der Stützenuntersuchung in Ebene P1</u>

Das Ergebnis einer ersten Bewertung der Stützen in P1 ergab, dass 58 Stützen von 175 Stützen (33%) so starke Indizien und offensichtliche Schäden aufwiesen, dass sie dringend zu sanieren sind. Dies entspricht dem ca. 2,8 fachen Wert der durch KIWA ermittelten Anzahl von 21 Stützen (Chloridkonzentration).

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



Zwischenergebnis der Stützenuntersuchung in Ebene P2

Das Ergebnis einer ersten Bewertung der Stützen in P2 ergab, dass 97 Stützen von 171 Stützen (57%) so starke Indizien und offensichtliche Schäden aufwiesen, dass sie dringend zu sanieren sind.

Dies entspricht dem ca.1,5-fachen Wert der durch KIWA ermittelten Anzahl von 67 Stützen (Chloridkonzentration).

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

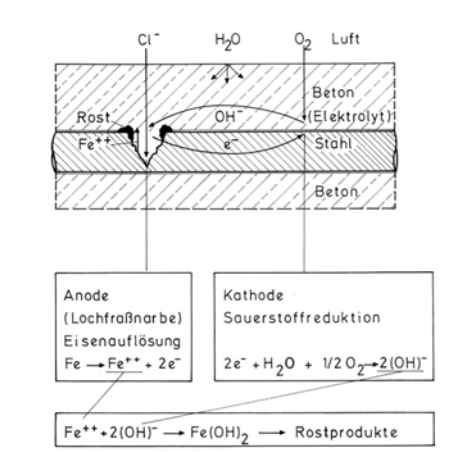
4.1 Wertung der festgestellten Schadensbilder

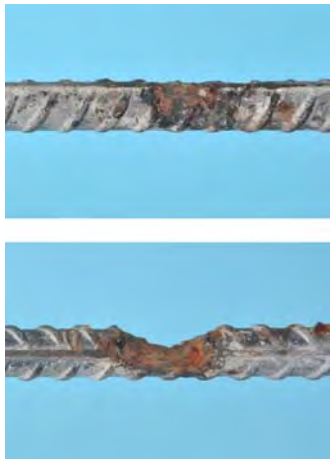
Bei der ersten Sichtung durch HIG wurden sämtliche Stützenfußbereiche mittels Perkussionstest auf Hohllagen überprüft.
In der Parkebene 1 wurden an insgesamt 51 Stützen Hohllagen tektiert. In der Parkebene 2 wurden an 76 Stützen Hohllagen festgestellt. An vielen Stützen lagen an mehreren Stützenseiten Hohllagen vor. Um diese dramatischen Ergebnisse werten zu können, werden einige Grundlagen zum Korrosionsvorgang erläutert.

Die chloridinduzierte Korrosion stellt sich in der Regel nicht durch Abplatzungen dar, sondern durch eine Querschnittsreduktion direkt am Bewehrungseisen. Mittels elektrochemischer Reaktion läuft der Vorgang **ohne** eine **Volumenzunahme** ab.
Bezeichnet wird diese Korrosionsart daher oft als Lochfraß, da sich die hohen Potenziale in der Regel in einem Punkt zeigen (Anode) und an dieser Stelle die Bewehrung schnell sehr stark reduziert wird (durch Abgabe von Elektronen an den umliegenden Bereich bzw. der Kathode).

Erst infolge dieser fortschreitenden Korrosion zeigen sich Hohllagen und Betonablösungen. Diese gehen natürlich mit einer Feuchtebeanspruchung und einer direkten Korrosion am Bewehrungseisen (freiliegender Stahl bzw. kein durchgehende Schutz durch alkalisches Milieu) einher.

Bei sehr hohen Chloridgehalten kann eine gleichmäßige Korrosion auftreten. In diesem Fall bilden sich sogenannte Mikrozellen, bei denen anodisch und kathodisch wirkende Oberflächenbereiche unmittelbar nebeneinander liegen.





Lehrbuchbeispiel für Lochfraß

Die chloridinduzierte Korrosion darf nicht mit der karbonatisierungsinduzierten Korrosion verwechselt werden (Verlust des alkalischen Schutzmilieus). Die karbonatisierungsinduzierte Korrosion kündigt sich im Gegensatz zur chloridinduzierten Korrosion durch Betonabplatzungen infolge von Volumenzunahme im Korrosionsvorgang an.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

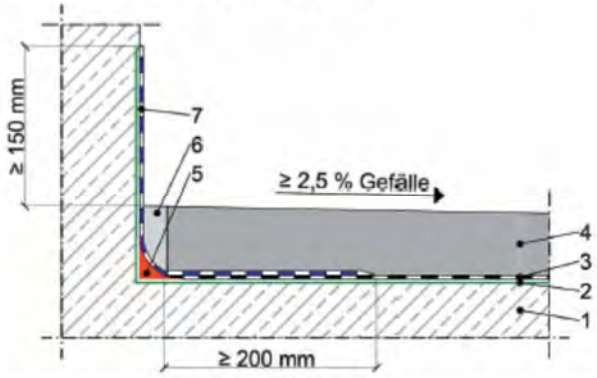
Durch die betontechnologischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Schadensursache eindeutig aus einer chloridinduzierten Korrosion herrührt. Nur in Einzelfällen hatte die Karbonatisierungsfront (nicht violetter Bereich beim Phenolphthalein Test) die Bewehrungslage erreicht.

Demnach muss von einer schon sehr langandauernden hohen Chloridbeanspruchung auf den ungeschützten Beton ausgegangen werden.

Entsprechend dem Stand der Technik wäre eine senkrechte Abdichtung der Stützenfüße erforderlich gewesen. Ebenfalls hätte eine Mindestbetondeckung von 40 mm erfüllt werden müssen.

6.1.7 Stütze/Wand mit hochgeführter flüssiger Abdichtung bei Variante C1

Prinzipskizze



© Foto: Frank Fingerloos

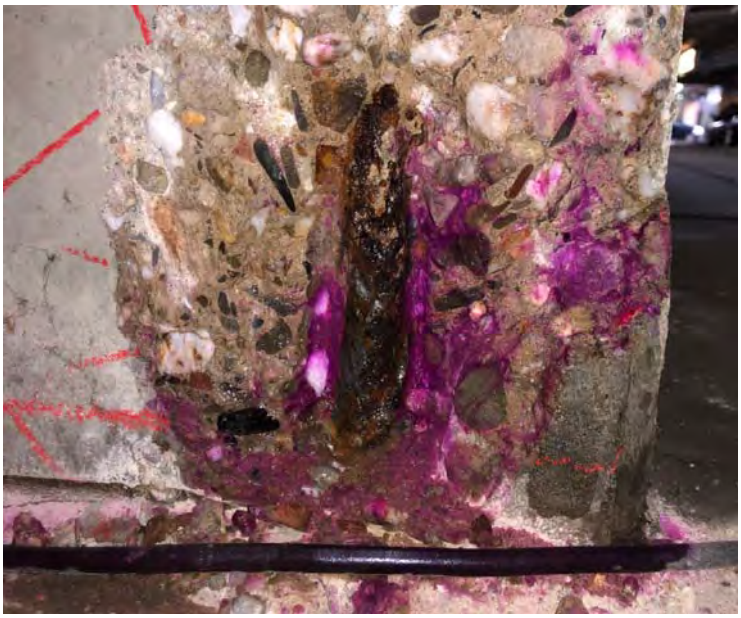
Legende zur Prinzipskizze

1 Stütze/Wand/Parkdeck mindestens in XC3 (aufgehende Außenbauteile in XC4, XF3)
2 Untergrundvorbereitung und Untergrundbehandlung gemäß Abschnitt 1.3.0.1 – Variante U1 (nach ZTV-ING, Teil 7)
3 einlagige Polymerbitumen-Schweißbahn nach DIN 18532-2 [R3] (untere Abdichtungslage)
4 Gussasphaltestrich (AS) zweilagig (siehe Beispiel 1.3.3) oder einlagig (siehe Beispiel 1.3.4)
5 Hohlkehle aus Epoxidharzmörtel oder Bitumenkeil
6 Randfuge mit elastischer Verfüllung bzw. Fugenverguss [R7]
7 Anschluss an aufgehendes Bauteil mit bitumen- und hitzebeständigem Flüssigkunststoff FLK nach TL-BEL-B3 [R17] vollflächig und hinterlaufsicher hochgeführt (mindestens 150 mm bei Gefälle weg vom aufgehenden Bauteil, mindestens 500 mm ohne Gefälle bzw. bei Gegengefälle)

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Nachfolgend werden einige von der Fa. KIWA freigelegten Hohllagen dargestellt:

P/23 Ebene 2



U/22 Ebene P2

R/14 Ebene 2

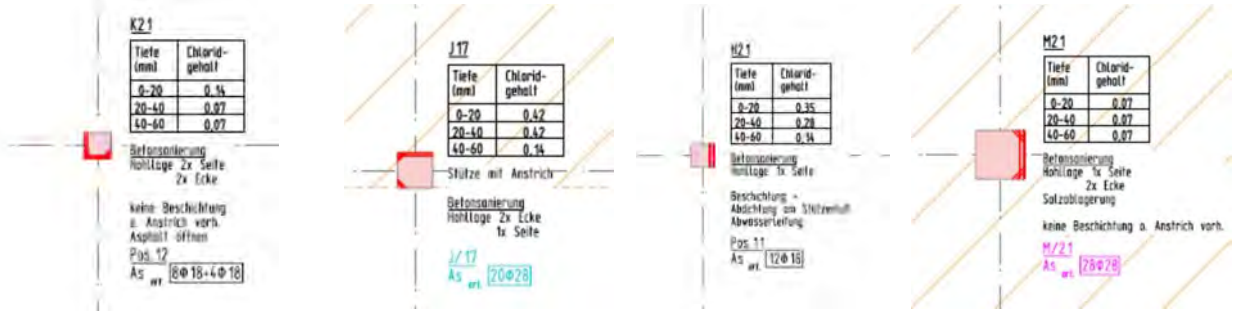
U/18 Ebene 1

In den Bildern ist eine zum Teil weit fortgeschrittene Korrosion zu erkennen. Vor allem die umschnürende Bügelbewehrung ist teilweise vollständig zersetzt.

Eine kurzfristige Sanierung ist in jedem Falle angezeigt. Eine Bewehrungsergänzung der Bügel wird erforderlich. Eine Ertüchtigung einer defekten Längsbewehrung wird problematisch und aufwendig. In den dargestellten Fällen würde man im Zuge der Sanierung nach dem Sandstrahlen erst die Restquerschnitte der Bewehrung (die noch statisch ansetzbar sind) erkennen. Erst dann ist eine realistische Bewertung der Resttragfähigkeit möglich.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Generell wird eine Chloridkonzentration von mindestens 0,5 Masse %, bezogen auf die Zementmasse hinsichtlich einer beginnenden Lochfraßkorrosion, als kritisch angesehen. Jedoch werden an einer Vielzahl von Stützen, trotz der angezeigten niedrigen Chloridgehalte, Hohllagen tektiert. Diese zeichnen sich nicht immer durch Rissbildung ab und sind daher nur durch abklopfen (Perkussionstest) festzustellen.



Beispiele für Stützen die vom Chloridgehalt als unkritisch eingestuft wurden Ebene 1

Um die Ursachen und den Schädigungsgrad besser bewerten zu können, wurden in der Folge je Geschoss fünf Stützen ausgewählt, an denen der Bodenaufbau (Asphalt) entfernt wurde. Am Stützenfuß wurde eine allseitige Chloriduntersuchung durchgeführt. Ebenfalls an den Deckenoberseiten und den angrenzenden Fugen.

Zu belegen war die Vermutung, dass die elastisch ausgeführten Fugen im Fußpunkt an die Stütze, über längere Zeiträume nicht ausreichend dicht waren und auf diese Weise chloridhaltiges Wasser in diese Fuge eingedrungen ist und somit direkt an der Stütze anstehen konnte.

Stützenfuß exemplarisch

Am Foto ist zu erkennen, dass sich im unteren Bereich eine leichte Verfärbung am Beton abzeichnet. Dies ist ein typisches Bild für einen häufig durch Feuchte beanspruchten Beton (Wechselbeanspruchung). Wenn das anstehende Wasser chloridhaltig ist, bildet eine solche Ausführung den Einfallspunkt für Chloride.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Der Chlorideintrag über Autos, in Abhängigkeit von der Besucherfrequenz, ist nicht zu verhindern. Jedes Auto kann im Winter über eingeschleppten Schnee (Radkästen etc.) mehrere Liter chloridhaltiges Wasser (aus Taumitteln, Streusalz etc.) einschleppen. Hieraus ergibt sich z.T. eine erhebliche Salzmenge.

- **Chloride sind in Schneematsch gelöst**
- **Schneematsch wird in Radkästen der PKW eingeschleppt**
- **jeder PKW kann bis zu 7 l Wasser als Schneematsch je Einfahrt mitschleppen**
- **bei Chloridgehalt von Schneematsch von 2 M.% Cl- ergibt sich rechnerisch eine Chloridmenge von 42 g je PKW-Einfahrt**

Quelle: Albrecht

Fußpunkt mit offensichtlich höherer Chloridbeanspruchung

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

4.2 Untersuchungsergebnisse Bauteilöffnungen Ebene P2 (HIG)

4.2.1 Feststellung und Bewertung des Bodenaufbaus der Ebene 2

- Oberkante Betonrohdecke
- 2 bis 3 cm Mörtelschicht (meist hohlliegend bzw. kein starker Verbund)
- 5 bis 6 cm Asphaltschicht

Gesamtaufbau Höhe 8 cm

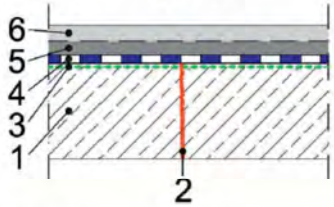
<u>Zwischenresümee zum bestehenden Bodenaufbau des Parkdecks der Ebene 2</u>

Die Funktion des Mörtelauftrages von 2 bis 3 cm entzieht sich dem Aufsteller. Dieser lag in der Fläche hohl und besaß keinen maßgeblichen Haftverbund zur Rohdecke. Der Asphaltaufbau wurde mit 6 cm Stärke ohne eine darunter liegende Abdichtung ausgeführt. Dies entspricht nach heutigen Normen nicht dem Stand der Technik, war zum Erstellungszeitpunkt jedoch gängig.

Nachfolgend werden einige Bodenaufbauten nach DBV Merkblatt 42 und DIN 18532 entsprechend heutigem Stand der Technik dargestellt.

1.3.1 Variante C1 – Abdichtung mit OS 10 und zweilagigem Gussasphalt als Dichtungs- und Nutzschicht

Prinzipskizze



© Foto: Frank Fingerloos

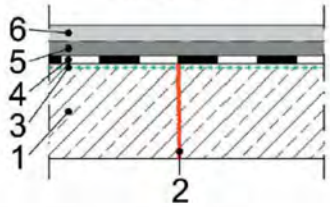
Legende zur Prinzipskizze

1 tragende Stahlbeton- oder Spannbetonplatte
2 Biegeriss (oben) oder Trennriss
3 Untergrundvorbereitung und Untergrundbehandlung (systemgebunden gemäß DIN 18532-6 [R3])
4 OS 10 nach [R8] und DBV-Merkblatt, Anhang A [R1] bzw. Flüssigkunststoff FLK nach DIN 18532-6 (untere Abdichtungslage)
5 Gussasphaltestrich (AS) nach DIN 18532-6 (obere Abdichtungslage)
6 Gussasphaltestrich (AS) nach DIN 18532-6 ≥ 30 mm dick als Nutzschicht

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

2.3.2 Variante C1 – unterlaufsichere einlagige Polymerbitumen-Schweißbahn mit zweilagigem Gussasphalt als Dichtungs- und Nutzschicht

Prinzipskizze



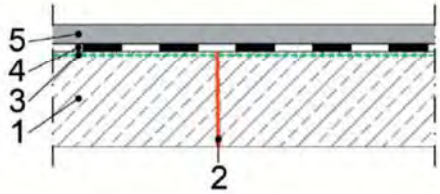
© Foto: Lars Wolff

Legende zur Prinzipskizze

1 tragende Stahlbeton- oder Spannbetonplatte
2 Biegeriss (oben) oder Trennriss
3 Untergrundvorbereitung und Untergrundbehandlung gemäß Abschnitt 1.3.0.1 – Variante U1 (nach ZTV-ING, Teil 7)
4 einlagige Polymerbitumen-Schweißbahn nach DIN 18532-2 [R3] (untere Abdichtungslage)
5 Gussasphaltestrich (AS) nach DIN 18532-2 (obere Abdichtungslage)
6 Gussasphaltestrich (AS) als Nutzschicht nach DIN 18532-2 ≥ 30 mm dick

1.3.2 Variante C1 – Abdichtung mit OS 10 und einlagigem Gussasphalt als kombinierte Dichtungs- und Nutzschicht

Prinzipskizze



© Foto: Frank Fingerloos

Legende zur Prinzipskizze

1 tragende Stahlbeton- oder Spannbetonplatte
2 Biegeriss (oben) oder Trennriss
3 Untergrundvorbereitung und Untergrundbehandlung (systemgebunden gemäß DIN 18532-6 [R3])
4 OS 10 nach [R8] und DBV-Merkblatt, Anhang A [R1] bzw. Flüssigkunststoff FLK nach DIN 18532-6 (untere Abdichtungslage)
5 Gussasphaltestrich (AS) nach DIN 18532-6 ≥ 35 mm dick (obere Abdichtungslage und zugleich Nutzschicht)

Bohrmehlprobenentnahme an der Deckenoberseite

In 3 Tiefenlagen wurden Chloridproben untersucht: 0-20mm, 21-40mm und 41-60mm.

Die Beprobung der Rohdeckenoberseiten ergab an 8 von 15 Proben erhöhte Chloridwerte im Tiefenbereich von 0-20 mm (0,52-1,17 M.-%/Z).

Im Tiefenbereich von 21-40 mm ergaben sich 5 Überschreitungen (0,55-0,92 M.-%/Z). Im Bereich von 41-60mm waren keine Überschreitungen mehr festzustellen. Die Überschreitungen lagen an 3 von 5 Deckenbereichen (in Stützennähe) vor.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Festzuhalten ist, dass die Randfugen im Anschluss des Asphaltes an die Betonstütze in der Regel nicht ausreichend dicht waren und sich das chloridhaltige Wasser über die vorhandene Unterläufigkeit des Bodenaufbaus oberhalb der Decke ausbreiten konnte.

Das Ausmaß der Chloridbelastung ist alleine durch partielle Öffnungserstellung nur ungenügend feststellbar. Optisch war der Zustand der Deckenoberfläche als gut zu bezeichnen. Hohllagen waren nicht vorhanden. Bewehrung wurde nicht freigelegt.

Jedoch ist festzuhalten, dass die Bauteilöffnungen nur zum Zweck der Aussage der notwendigen Stützenfußsanierung erstellt wurden. Aus diesem Grunde wurden überwiegend Stützen ausgewählt, die nach den Vorbegutachtungen kein Sanierungserfordernis aufwiesen (5 Stützen grün und 1 Stütze rot).

Aufgrund der festgestellten Chloridwerte ist auch von einer erforderlichen Sanierung der Decken auszugehen. Der Sanierungsumfang kann jedoch erst durch weitere Untersuchungen festgestellt werden.

4.2.2 Fugenausbildung im Bestand Parkdeck Ebene 2

Oberhalb der Deckenplattenfuge, wurde ein elastisches Arbeitsfugenband eingebaut. Dieses liegt mit der glatten Seite auf der ca. 2-3 cm starken Mörtelschicht auf. Im Zuge der Montage wurde dieses dann mit der Asphalt eingegossen, wobei die Verankerungslamellen des Dehnfugenbandes nach oben standen. Eine oberseitige Abdichtung der Deckenplatte mittels Bitumenschweißbahn, wie sie nach heutiger Norm gefordert wird, wurde nicht vorgefunden.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

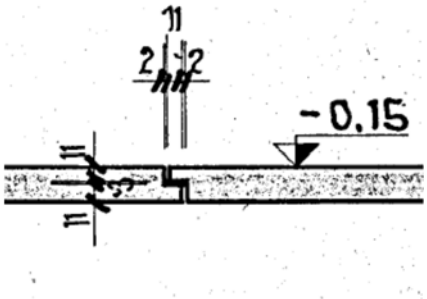
Das oben dargestellte Fugendetail entspricht keinem Stand der Technik und funktioniert auch örtlich nicht. Vor Ort sind unterseitig Salzablagerungen (Ebene -2 und -3) festzustellen.

In der Ebene -3 ist die Decke durch eine Abhangdecke verkleidet. Da diese asbesthaltig ist wurde nur eine Öffnung erstellt. Eine Beprobung des Chloridgehaltes oberseitig an der Konsole zeigt nur an einer von insgesamt 5 Probestellen mit je 2 Beprobungen einen erhöhten Wert von 0,54 M.-%/Z an. Dieser tritt auch nur in 20 mm Tiefe auf. Alle weiteren Werte ab einer Tiefe von >20mm lagen unterhalb des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehaltes von 0,5 M%.

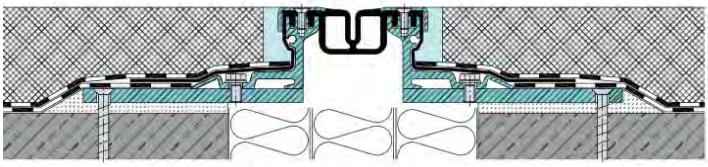
Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Entnahme an der kritischeren unteren Konsole nicht durchgeführt wurde, da diese nur schwierig zu erreichen ist. Die reine Betrachtung der Chloridwerte gibt keinen Anlass zur Notwendigkeit von Maßnahmen.

Die Beprobungen der Konsolen von unten mit Durchbohrung und Beprobung bis zur Oberkante der unteren Konsole sieht der Aufsteller, trotz des hohen Aufwandes, jedoch als sinnvoll an (Asbestdecke Ebene -3, Bohraufwand ohne Schädigung der Bestandsbewehrung).

Die Fugenabdichtungen sind generell zu erneuern z.B. MIGUA o.ä.



Konsolausbildung Koppeldecke



Sanierungsvorschlag: z.B. MIGUA Profil

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Decke über Ebene P2

Decke über Ebene -3 nach Freilegung asbesthaltiger Abhangdecke

4.2.3 Chloriduntersuchungen an Stützenfüßen der Ebene 2

Bohrmehlprobenentnahme an den Stützenfüßen auf Höhe des Asphaltquerschnittes (Ebene P2)

Ziel der Untersuchungen war es, den Chloridgehalt hauptsächlich an Stützen, die nach vorheriger Begutachtung als nicht sanierungsbedürftig eingeschätzt wurden, zu überprüfen. Des Weiteren war die These zu prüfen, ob der Chloridgehalt aufgrund undichter Anschlussfugen auf Asphalthöhe noch größer ist, als die Ergebnisse aus der Beprobung oberhalb der Asphaltschicht es zeigen.

Stützenfuß Achse J/18

Die Stütze weist einen Chloridgehalt an einer Seite von 1,43 M.% (0-20 mm) 1,15 M% (21-40 mm) und 0,76 M% (41-60 mm) auf. Die Stütze war entsprechend der ersten Begutachtung zuvor mit sehr niedrigen Chloridbelastungen ausgewiesen. Demnach ist diese Stütze als Sanierungsfall zu betrachten. Der kritische Chloridgehalt liegt selbst in Tiefen bis 60mm noch über dem Wert der chloridauslösenden Korrosion von 0,5 M%. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 18 mm wies keine Korrosion auf.

Stützenfuß Achse O/23

Die Stütze weist einen Chloridgehalt an zwei Seiten von 0,62 und 0,58 M% in Tiefen von 0-20mm auf. Alle weiteren Proben liegen unter der kritischen Grenze.

Aufgrund der Chloridbelastung von 0,48 M% in Tiefen von 21-40 mm wird auch diese Stütze als Sanierungsfall betrachtet. Auch diese Stütze wies zuvor sehr niedrige Chloridbelastungen aus der ersten Begutachtung auf. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 18 mm wies oberflächliche Korrosion auf.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Stützenfuß Achse P/16

Die Stütze weist in allen Proben keine Überschreitungen des kritischen Chloridgehaltes auf. Diese Stütze war zuvor mit sehr niedrige Chloridbelastungen aus der ersten Begutachtung benannt. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 28 mm wies keine Korrosionserscheinungen auf.

Stützenfuß Achse T/18

Die Stütze weist leicht erhöhte Chloridgehalte, teilweise auch in der Tiefen von 21-40 mm 0,46 M.%, auf. Alle Proben liegen unter der kritischen Grenze. Im Bodenbereich traten erhöhte Werte auf (s.o).

Aufgrund der uneinheitlichen Chloridbelastung wird die Stütze als Sanierungsfall betrachtet. In der ersten Begutachtung (KIWA) trat nur ein Wert von 0,40 M% in Tiefen von 0-20 mm auf. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 28 mm wies keine Korrosionserscheinungen auf.

Stützenfuß Achse U/24

Die Stütze weist in allen Tiefe teilweise sehr hohe Chloridwerte auf 1,56-0,76 M.%. Eine Sanierung ist unumgänglich. In der ersten Begutachtung war lediglich ein Wert von 0,46 M% in einer Tiefe von 0-20 festgestellt worden. Bei der Erstbegutachtung durch HIG wurden zudem zwei Hohllagen festgestellt.

Die Diskrepanz der ersten Probenergebnisse zu den Ergebnissen nach Asphaltentfernung liegt in der höheren Probenentnahme oberhalb des Asphaltes (leicht oberhalb der Wasserwechselzone). Bewehrung konnte nicht geortet werden, jedoch lagen Korrosionsflecken vor.

Resümee Stützenfüße Ebene P2

Die Untersuchungen zeigen, dass alleine auf die Chloridproben der ersten Untersuchungsreihe (KIWA) kein Verlass bezüglich einer kritischen Chloridbeanspruchung ist. Es ist davon auszugehen, dass Chloridansammlungen im Fugenbereich zu höheren Chloridbelastungen im Beton geführt haben.

Indiz für diese Feststellung liefern die o.g. Erkundungen, die sehr häufig festgestellten Abplatzungen und die festgestellten Chloridbelastungen im Boden (OK Rohdecke).

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

4.3 Untersuchungsergebnisse Bauteilöffnungen Ebene P1 (HIG)

4.3.1 Feststellung und Bewertung des Bodenaufbaus der Ebene 1

In der Ebene P1 wurden zwei verschiedene Bodenaufbauten festgestellt:

Achse G/18, K/22 und O/21
- Betonrohdecke
- 6-11 cm Asphalt
- keine Abdichtung

Achse T/19+24
- Betonrohdecke
- 2-3 cm Mörtel (überwiegend hohl liegend)
- 5-6 cm Asphalt

G/18

T/24

4.3.2 Bodenaufbau im Bestand: Parkdeck Ebene 1

Die Funktion des Mörtelauftrages von 2-3 cm in Teilbereichen entzieht sich dem Aufsteller. Dieser lag in der Fläche hohl, ohne einen maßgeblichen Haftverbund zur Rohdecke. Der Asphaltaufbau wurde mit 6 cm Stärke bzw. bei Ausführung ohne die Mörtelschicht in 6-11 cm Stärke ohne eine darunter liegende Abdichtung ausgeführt. Dies entspricht nach heutigen Normen nicht dem Stand der Technik, war zum Erstellungszeitpunkt jedoch gängig. Die heute gängigen Aufbauten wurden im vorherigen Kapitel 4.2.1 der Ebene -2 dargestellt.

Die Beprobung der Rohdeckenoberseiten auf Chlorid ergab an einer Stelle von 15 Proben erhöhte Werte im Tiefenbereich 0-20 mm von 0,78 M.% an Stütze O21. Im Tiefenbereich 21-40 mm ergaben sich keine erhöhten Werte. Eine Beurteilung von erforderlichen Sanierungsmaßnahmen in den Deckenflächen sollte eingehender überprüft werden.

Aufgrund der festgestellten Chloridbeanspruchung, jedoch überwiegend unterhalb des korrosionsauslösenden Wertes, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um den Sanierungsumfang bzw. die Notwendigkeit einer Deckensanierung zu belegen. Aufgrund der kleinen Probenzahl kann hierzu keine verlässliche Aussage gemacht werden.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

4.3.3 Fugenausbildung im Bestand: Parkdeck Ebene 1

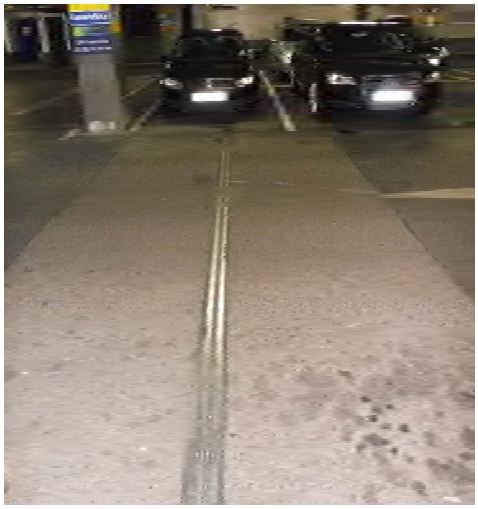
Sämtliche Bauteilfugen im Parkdeck 1 wurden mittels Einbau eines MIGAU Dehnfugenprofils erneuert. Daher erfolgte keine Freilegung an den Fugen.

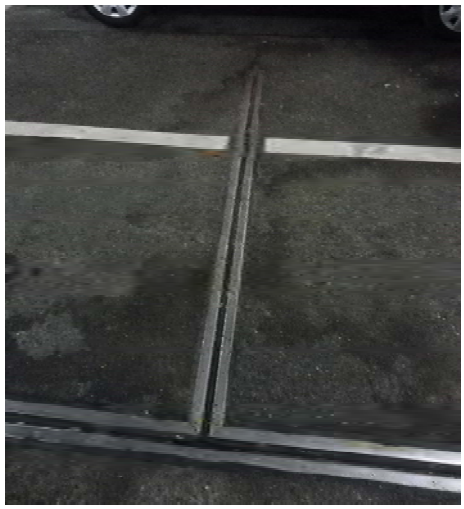
T/19

Abdichtung nur im Bereich der Fugenerneuerung

Da nahezu sämtliche Deckenfugen in der Parkebene 1 schon mittels Einbau eines Dehnfugenprofils abgedichtet waren, wurden keine Freilegungen und Untersuchungen an den Fugen durchgeführt. Um die Fugenprofile einzubauen, wurden 2-3 m breite Streifen mit neuem Asphalt inkl. einer darunter verlaufenden Abdichtung ausgeführt. Eine Dokumentation dieser Sanierung liegt nicht vor.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de





Decke über Ebene P1

4.3.4 Bohrmehlprobenentnahme an den Stützenfüßen auf Höhe des Asphaltquerschnittes (Ebene P1)

Ziel der Untersuchungen war es, den Chloridgehalt hauptsächlich an Stützen, die nach vorheriger Begutachtung als nicht sanierungsbedürftig eingeschätzt wurden, zu überprüfen. Des Weiteren war die These zu prüfen, ob der Chloridgehalt aufgrund undichter Anschlussfugen auf Höhe des Asphaltes noch größer sind, als es die Ergebnisse aus der Beprobung oberhalb der Asphaltschicht zeigen.

Stützenfuß Achse G/18

Die Stütze weist an einer Seite einen Chloridgehalt von 0,52 M.% (0-20 mm) auf. An einer zweiten Stützenseite wurde in Tiefe 21-40mm ein Wert von 0,63 M.% ermittelt. Aus der ersten Untersuchung waren zuvor keine Chloridbelastungen festgestellt worden. Demnach ist diese Stütze als Sanierungsfall zu betrachten. Der kritische Chloridgehalt liegt an einer Stützenseite in Tiefen bis 40mm noch über dem Wert der chloridauslösenden Korrosion von 0,5 M%. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 18 mm wies keine Korrosion auf.

Stützenfuß Achse K/22

An der Stütze wurde der Maximalwert mit 0,44 m.% in Tiefen 21-40mm festgestellt. An allen anderen Stützenseiten lagen die Werte noch darunter. Die Stütze wurde aus der ersten Begutachtung ohne Chloridkontamination festgehalten. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 18 mm wies keine Korrosion auf.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Stützenfuß Achse O/21

Am Stützenfuß wurde an 3 von 4 Seiten eine erhöhte Chloridkonzentration im Bereich von 0,68 bis 0,75 in einer Tiefe von 0-20 mm festgestellt. Zudem konnte an einem Bewehrungseisen eine beginnende Korrosion festgestellt werden. Diese Stütze wies zuvor sehr niedrige Chloridbelastungen aus der ersten Begutachtung auf. Das freigelegt Bewehrungseisen Ø 28 mm zeigte einen Querschnittsverlust von 1-2 mm infolge Korrosion auf. Die Stütze ist als Sanierungsfall mit leichten bis mittleren Schäden einzustufen.

Stützenfuß Achse T/19

Die Stütze weist keine erhöhten Chloridgehalte auf. Der höchste festgestellte Wert lag bei 0,42 und 0,38 M.-%/Z in Tiefenlagen von 0-20mm. Alle Proben lagen somit unter der kritischen Grenze. Aus den Untersuchungsergebnissen der Fa. KIWA ging jedoch eine sehr hohe Chloridbeanspruchung von 1,61 M.-%/z bei 0-20mm und 1,4 M.-%/Z in Tiefen 21mm bis 40mm auf. Ein freigelegtes Bewehrungseisen Ø 25 mm wies Korrosionserscheinungen in Form eines Querschnittverlustes von ca. 2-3 mm auf. Ebenfalls wurden Hohllagen an zwei Stützenseiten tektiert. Aufgrund dieser Tatsache muss die Stütze als Sanierungsfall klassifiziert werden.

Stützenfuß Achse T/24

Die Stütze weist keine erhöhten Chloridgehalte auf. Der höchst festgestellte Wert lag bei 0,47 M.% in einer Tiefenlage von 0-20mm. Alle Proben liegen somit unter der kritischen Grenze. Aus den Untersuchungsergebnissen der Fa. KIWA ging keine Chloridbeanspruchung hervor. Ein freigelegtes Bewehrungseisen Ø 25 mm wies Korrosionserscheinungen in Form eines Querschnittverlustes von ca. 2-3 mm auf. Es wurden Hohllagen an einer Stützenecke festgestellt. Die Stütze wird als Sanierungsfall klassifiziert.

Resümee Stützenfüße Ebene P1

Die Untersuchungen zeigen, dass alleine auf die Chloridproben der ersten Untersuchungsreihe (KIWA) kein Verlass bezüglich einer kritischen Chloridbeanspruchung ist. Es ist davon auszugehen, dass Chloridansammlungen im Fugenbereich im Regelfall zu höheren Chloridbelastungen im Asphaltbereich geführt haben.

Generell muss festgestellt werden, dass die Untersuchungsergebnisse uneinheitlich sind. Die sehr hohen Chloridbeanspruchungen im Bereich oberhalb des Asphaltes an Stütze T/19 bestätigten sich im Fußpunkt nicht. An Stütze O/21 lag keine Chloridindikation im Bereich oberhalb des Asphaltes aber höhere Werte im Fußbereich vor. An Stütze T/24 wurde oberhalb des Betons kein Chlorid festgestellt. Ebenfalls lagen geringe Beanspruchungen im Fußbereich vor. Festgestellt wurde jedoch eine Hohllage mit einer Korrosion mit Querschnittsabtrag.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

4.4 Ermittelte Betongüte

Im Zuge der Erstellung der Bauteilöffnungen wurde an allen 10 Stützen (P1+P2) eine Betongüte eines C 40 / 50 ermittelt. Die planmäßige Betongüte der Stützen lag nach Angaben der Statik bei einem Bn 350 und Bn 450 entsprechend einem C30/37 bzw. C 35/45 nach heutiger Norm. Der Mindestwert nach Norm für eine durch Spritzwasser beanspruchte Stütze liegt bei einem C35 / 45. Allerdings immer mit einhergehenden Abdichtungs- oder Schutzmaßnahmen (Beschichtung).

5. Zusammenfassung und Fazit / Sanierungskonzeption

5.1 Schadensursache / Ergebniswertung

Die Schadensursache ist eindeutig auf eine sehr lang andauernde Chloridbeanspruchung (seit dem Erstellungszeitpunkt 1978) der Stützenfüße zurückzuführen.
Dabei waren diese aufgrund des nicht vorhandenen Schutzes durch eine Abdichtung oder einer Beschichtung, der direkten Beanspruchung durch Chlorid über eingeschlepptes Tauwasser, ausgesetzt. Ein zusätzlicher Schutz der Stützenfüße der spätestens seit Ende der neunziger Jahre Stand der Technik war, ist nicht vorhanden.

Ebenfalls ist die nach heutigem Stand der Technik eine erforderliche Mindestbetondeckung von 40 mm selten erfüllt. Zudem beschleunigte sich die Chloridaufnahme durch die nicht intakte Anschlussfuge zum Asphalt. Die Carbonatisierungsinduzierte Korrosion kommt nur in Einzelfällen sowie an Schadstellen (lange vorliegende Abplatzungen und Hohllagen) in Frage.

Durch die Untersuchungen zeigt sich, dass ein **erheblicher und dringlicher Sanierungsbedarf** an den Stützenfüßen in beiden Parkgeschossen besteht. Auf Dauer wird der schon jetzt als kritisch zu bezeichnende Zustand zum Verlust der Tragfähigkeit führen. Eine exakte Festlegung der zu sanierenden Stützen konnte nicht erreicht werden.

Fest steht, dass im Parkgeschoss der Ebene 1 36% aller Stützen und 57% aller Stützen in der Parkebene 2 derart stark geschädigt sind, das eine Sanierung kurzfristig durchzuführen ist. Am überwiegenden Teil dieser Stützen lagen schon partielle Hohllagen vor.

In P1 betraf dies 87 % in P2 76 % der vorgenannten Stützen. An den verbleibenden Stützen führten hohe Chloridwerte, Salzablagerungen bzw. strukturelle Veränderungen am Stützenfuß und negative Ergebnisse der Potenzialfeldmessungen zur Wertung der Sanierungsbedürftigkeit.

Die zusätzlichen Untersuchungen durch Freilegung von einigen Stützen bzw. einer genaueren Untersuchung nach dem Entfernen des Asphaltaufbaus zeigt, dass die im ersten Schritt durch die Fa. KIWA entnommenen Chloridproben oft nicht die tatsächliche Chloridbelastung darstellen.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Folgende Umstände bilden die Schadensquote zu günstig ab, bzw. sind als Argument zu verstehen, dass ein noch größerer Sanierungsbedarf an Stützen mit einer bisher nicht erkannten bzw. verdeckten Chloridbelastung besteht.

1. Durch den undichten Anschluss des Stützenfußes an den Asphalt konnte chloridhaltiges Wasser direkt am Beton anstehen, sodass im unteren Bereich der Wasserwechselzone (in oder direkt oberhalb der Asphaltschicht) höhere Chloridwerte auftreten konnten. Hierfür lagen die Entnahmebohrungen für Chlorid der Fa. KIWA entsprechend zu hoch.

2. Vor allem in den Eckbereichen ist der Chloridzutritt von zwei Seiten sehr gut möglich und führt dort zu noch höheren Belastungen. Eine Probennahme in den Ecken scheidet aus technischen Gründen aus. Die Probennahme erfolgte immer an den Seitenflächen.

3. Generell bilden die Probennahmen nur eine lokale Situation ab.

4. Der Mechanismus der chloridinduzierten Korrosion wird in der Regel erst im fortgeschrittenen Stadium durch Abplatzungen sichtbar (Lochfraß, kein Quellverhalten). Er ist nicht zu verwechseln mit der carbonatisierungsinduzierten Korrosion (Expansion, Abplatzungen). Von daher muss auch an Stützen, die bisher noch nicht als sanierungsbedürftig galten, mit einer zu hohen Chloridbelastung gerechnet werden (verdeckte Schädigung).

5. Generell muss chloridhaltiger Beton oberhalb der kritischen Marke entfernt werden, auch wenn die Stütze durch Ausführung einer Betonsanierung abgedichtet werden würde. Chloridhaltiger Beton wirkt hygroskopisch, sodass davon auszugehen ist, dass er immer ausreichend Feuchte erhält, um den Korrosionsprozess fortzuführen (Ausnahme KKS-Sanierung).

6. Die örtliche Exposition (Fahrgassen, Lage neben stark geschädigten Stützen bei gleichen Randbedingungen) sollte einbezogen werden. Ebenfalls Indizien wie Salzablagerungen und Verfärbungen mit einhergehender struktureller Veränderung am Beton.

Um eine Abschätzung der real zu sanierenden Stützen zu erhalten, wurden vorgenannte Punkte inkl. sämtlicher Informationen aus den Voruntersuchungen und den Untersuchungsergebnissen durch eine nochmalige Einzelbegutachtung und Klassifizierung einer jeden Stütze durchgeführt (Ergebnisse siehe Kapitel 5.5).

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

5.2 Normative Anwendungen und Regelwerke für die Sanierung von Bestandsbauten

Aufgrund der derzeit unklaren Regelungen und Normungen für die Planung und Sanierung von Bestandsbauten werden im Folgenden die grundlegenden Normen dieses Sanierungskonzeptes kurz vorgestellt:

Grundsätzlich ist die nationale „Richtlinie für den Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Rili-SIB) des DAfStb gemäß VV TB NRW, Stand Juni2019 und das DBV-Merkblatt für Parkhäuser und Tiefgaragen anzuwenden. Der aktuelle Entwurf der „Instandhaltungsrichtlinie“ ist baurechtlich noch nicht eingeführt, entspricht aber dem aktuellen Stand der Technik.

Der Teil 1 für den „Anwendungsbereich und Planung der Instandhaltung“ und der Teil 2 mit den „Merkmalen von Produkten oder Systemen für die Instandsetzung und Regelungen für deren Verwendung“ sind über die „Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken“ des Deutschen Instituts für Bautechnik im Januar 2021 eingeführt worden.

Durch die Anlehnung des Gelbdrucks der Instandhaltungsrichtlinie wird auch auf die europäische Norm der DIN EN 1504 verwiesen. Das Instandsetzungskonzept basiert daher auf der aktuell gültigen Rili-SIB, wobei an maßgeblichen Stellen auch auf den Entwurf der aktuellen Instandhaltungsrichtlinie eingegangen wird.

5.3 Vorstellung und Bewertung der möglichen Instandsetzungsprinzipien nach Rili-SIB

Prinzipiell orientieren sich die Instandsetzungsprinzipien der Instandhaltungsrichtlinie an denen der Rili-SIB. Bei den Prinzipien unterscheiden beide Richtlinien zwischen dem Instandsetzen des Betons bei Schäden, sowie dem Schutz und der Instandsetzung der Bewehrung bei Korrosion.

Für die Instandsetzung der korrodierten Bewehrung wird zwischen der chloridinduzierten und der karbonatisierungsinduzierten Korrosion unterschieden.

Das Instandsetzungsprinzip R ist eine Standardvariante zur Instandsetzung bei Korrosionen infolge Karbonatisierung. Es beinhaltet die Applizierung eines zementgebundenen Instandsetzungsmörtels, oder -Betons, wodurch die Realkalisierung des Betons und die Passivierung des Betonstahls erreicht werden. Bei Abplatzungen und Rissbildungen des Betons muss dieser bis hinter die verbleibende Bewehrung entfernt und reprofiliert werden. Das Prinzip kann sowohl flächig, als Grundsatzlösung (R1) als auch lokal, durch partielle Ausbesserungen (R2) angewendet werden.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Eine Repassivierung des Betonstahls ist bei chloridinduzierter Korrosion nicht möglich:

Daher müssen Altbetone mit kritischem Chloridgehalt, unter Berücksichtigung eines ausreichenden Sicherheitszuschlages, bis hinter die Bewehrung freigelegt und durch einen alkalischen Mörtel, bzw. Beton ersetzt werden. Eine Rückdiffusion der Chloride aus dem umgebenden Altbeton muss hierdurch ausgeschlossen werden.

Die Instandsetzungsprinzipien sind im Falle der Chloridbeanspruchung analog den oben genannten Bezeichnungen als R1-CL und R2-CL aufgeführt. Abschließend muss jedoch nach dem Austausch des chloridbelasteten Betons sichergestellt werden, dass kein weiterer Chlorideintrag stattfindet. Dies ist durch Auftrag eines Oberflächenschutzsystems oder eines Abdichtungs-systems zu gewährleisten.

Das Instandsetzungsprinzip W beruht auf der Begrenzung des Wassergehaltes im Beton, wodurch die elektrolytische Leitfähigkeit (galvanisches Element zwischen feuchtem Beton und Betonstahl) so weit reduziert wird, dass die Korrosionsaktivität auf vernachlässigbare Werte abgesenkt wird. Dies wird im Allgemeinen durch die Oberflächenschutzsysteme erreicht und gilt als Standardlösung für die karbonatisierungsinduzierte Korrosion (Deckenunterseite). Fehlstellen im Beton durch Hohllagen oder Abplatzungen sind auch hier im Vorfeld durch Freilegen und ersetzen mittels Instandsetzungsmaterialien zu reprofilieren.

Für den Einsatz im chloridhaltigen Beton muss jedoch folgendes beachtet werden:

Damit das Prinzip auch für den chloridhaltigen Beton (Deckenoberseite) angewendet werden darf, müssen im Vorfeld Probeinstandsetzungen an Referenzflächen vorgesehen werden und mittels Korrosionsstrommessvorrichtungen überprüft werden.
Aufgrund der hygroskopischen Wirkung von chloridhaltigen Betonen kann der Zutritt von Wasser bzw. Wasserdampf im vorliegenden Fall nicht ausreichend verhindert werden und wird daher als Variante nicht weiter verfolgt.

Das Instandsetzungsprinzip C stellt eine Sonderlösung dar, bei der der Betonstahl wie im Stahlbau durch das Auftragen einer Beschichtung geschützt werden kann. Dies wird vor allem in Bereichen mit sehr kleine Betondeckungen unter 10mm erforderlich. Die Praxis zeigt jedoch, dass der Korrosionsschutz vor allem im Kreuzungsbereichen der Bewehrung nicht zuverlässig aufgebracht werden kann und dieses Prinzip damit sehr anfällig für Korrosionen ist.

Eine weitere, nicht zu empfehlende Instandsetzungsmethode stellt ebenfalls eine Sonderlösung dar: Die Chloridextraktion. Durch Aufbringen eines Spannungsfeldes sollen die negativen Chloridionen aus dem Beton gezogen werden. Das Spannungsfeld ist jedoch nur an der Oberfläche voll wirksam und verliert mit der Tiefe an Wirkung. Liegen bereits kritische Chloridwerte wie in diesem Fall an der Bewehrung an ist eine Extraktion schwierig bis unmöglich.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Als letztes Prinzip wird der kathodische Korrosionsschutz (KKS) vorgestellt. Mit diesem Prinzip wird eine „Opferanode“ eingesetzt um die Korrosionsaktivität der Bewehrung zu unterbinden. Es ist ein Metall das unedler ist als das des Betonstahls, so dass der Betonstahl nicht mehr als Anode, sondern als Kathode dient. Im Zuge dessen gibt der Betonstahl nun bei der chloridinduzierten Korrosion keine Ionen mehr an den feuchten Beton ab und korrodiert somit nicht mehr weiter.

Diese „Aufgabe“ wird nun durch das unedlere Metall der „Opferanode“ übernommen, sodass sich diese langsam auflöst und bei vollständiger Auflösung erneuert werden muss. Für einen flächigen Schutz der Bewehrung muss ein flächiger Kontakt des Bewehrungsstahls untereinander gewährleistet sein. Auf die Ausbildung an Fugen muss im Allgemeinen besonderen Wert gelegt werden.

Der große Vorteil einer KKS-Lösung ist, dass der chloridinduzierte Beton im Bauteil verbleiben kann. Es existieren zahlreiche Systeme und Ausführungsarten zu KKS Systemen. Eine Bewertung dieser Sanierungsart kann nur durch ausgewiesene Fachleute mit Erfahrung im Einsatz solcher Systeme vorgenommen werden. Es muss eine Vielzahl von Bedingungen durch das zu verwendende System erbracht werden.

Zu nennen ist die Fähigkeit, einen ausreichenden elektrischen Stromdurchgang zum Bewehrungsstahl zu erreichen (spezifische elektrische Widerstand des Betons) und somit die Eignung des gewählten KKS zu belegen. Gleichzeitig muss das System auch bezüglich der carbonatisierungsinduzierten Korrosion wirksam sein (realkalisierend). Bei chlorididuzierter Korrosion bleibt der Beton erhalten und der Zustand durch das KKS System eingefroren. Eine Kontrolle des tatsächlichen Zustandes der Bewehrungseisen ist nicht möglich.

Resümee: Instandsetzungsprinzip

Aus genannten Gründen scheiden folgende Instandsetzungsprinzipien von vornherein aus:

- R- Realkalisierung
- W- Begrenzung Wasserhaushalt
- C- Stahlbauschutz
- Chloridextraktion

Demnach verbleibt das Instandsetzungsprinzip R1-CL und R2-CL indem der chloridhaltige Beton bis hinter die Bewehrung zu entfernen ist und die Ausführung eines KKS-Systems. Da in der Vielzahl der Fälle schon strukturelle Schäden sowohl am Beton als auch an den Bewehrungseisen vorliegen, ist in jedem Fall das Sanierungskonzept R1-CL und R2-CL zu bevorzugen. Ein weiterer wichtiger Vorteil ergibt sich aus der tatsächlichen Zustandskontrolle der Bewehrungseisen nach dem freistrahlen. KKS-Systeme sollten nach Ansicht des Aufstellers dann gewählt werden, wenn die Abstützung im Bauzustand im Zuge der Sanierung (aufgrund zu starker Querschnitts-reduzierung) zu komplex wird oder nicht mehr möglich ist.

Auch die Einrichtung eines KKS-Systems ist aufwändig und bedarf des anschließenden Monitorings inkl. einer evtl. Feinjustierung über die weiteren Nutzungsjahre.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Sanierungskonzept R1-CL und R2-CL

Liegen kritische Chlorid-Werte bis auf Höhe der Bewehrung an, bedeutet dies, dass der chloridhaltige Beton bis hinter die Bewehrungseisen entfernt und nach RiLi-SIB ausgetauscht werden muss.

Hinsichtlich der Tragfähigkeit ist für die Betondeckung der Verbund der Bewehrung mit dem umliegenden Beton entscheidend. Dieser entspricht dem gewählten Stabdurchmesser und beträgt im vorliegenden Fall in der Regel 10mm. Die verbleibende Betondeckung oberhalb der Bewehrung muss folglich nach einem Abtrag des Betons, zur Sicherstellung des Verbundkriteriums, noch mindestens 10mm betragen.

Der chloridhaltige Beton kann, bei Aufbringung einer Oberflächenschutzbeschichtung, im Beton verbleiben, wenn folgende Grenzwerte eingehalten sind (Vgl. Instandhaltungsrichtlinie Entwurf 2018, Seite T1-74):

Der Abstand zum Beton mit einem Chloridgehalt größer 0,5 M.-%, bezogen auf den Zementgehalt, beträgt mindestens 10mm.

Der maximale Chloridgehalt der verbleibenden Altbetonschicht darf 1,5 M.-%, bezogen auf den Zementgehalt, nicht überschreiten.

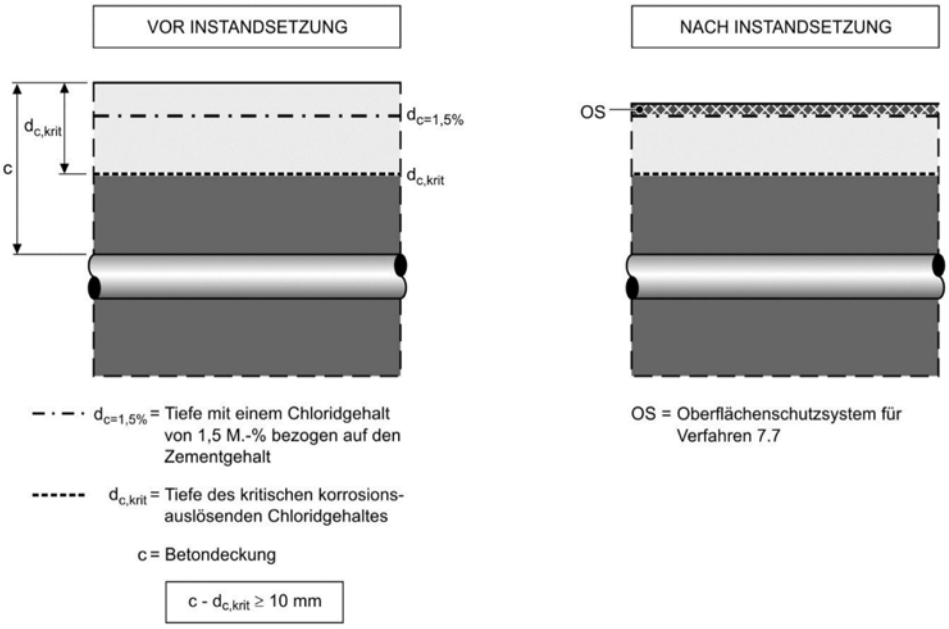


Bild 5.7 – Schematische Darstellung der Bedingungen für das Verfahren 7.7 (bei Chloridbeaufschlagung) , siehe Legende in Bild 5.1

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Bei Tiefen des korrosionsauslösenden Chloridgehaltes, die über die vorgenannten 10 mm Abstand bis an die Bewehrung oder darüber hinaus auftreten, muss der Beton mit 30mm bis hinter die Bewehrung ausgetauscht werden (s. Bild 5.4 a).

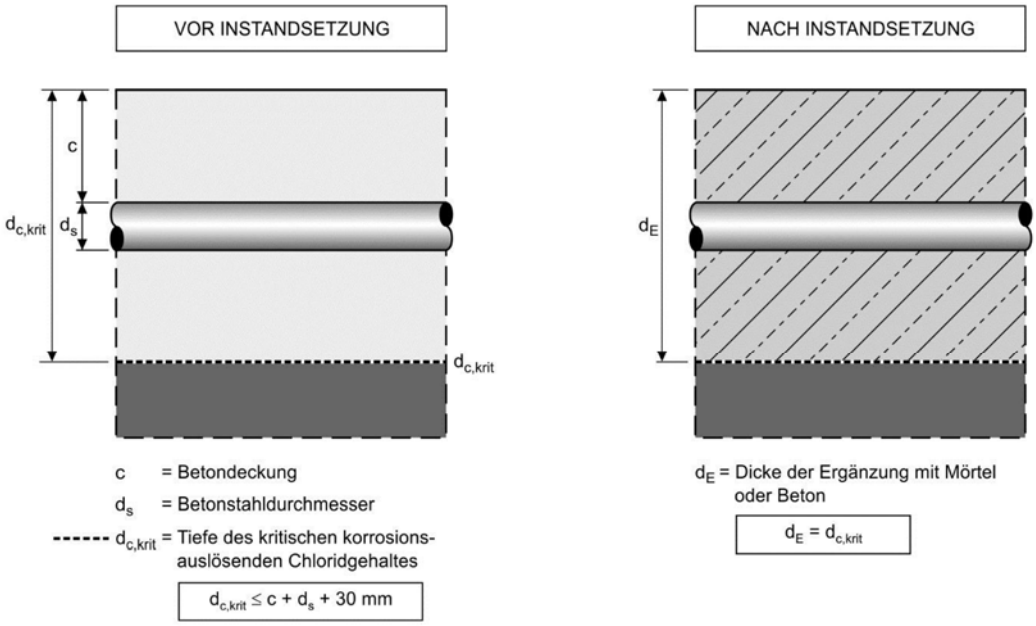


Bild 5.4a – Schematische Darstellung der Bedingungen für das Verfahren 7.2 (Tiefe des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts ≤ 30 mm hinter der Bewehrung) , siehe Legende in Bild 5.1

5.4 Umsetzung des Instandsetzungsprinzips (Stützenfußsanierung)

Sofern der Bewehrungsstahl freigelegt wird, um den chloridhaltigen Beton zu entfernen, entsteht ein Bauzustand, in dem die Stütze temporär nicht in der Lage ist, die maximal möglichen Beanspruchungen abzutragen.

Aufgrund der Ergebnisse aus den Vergleichsberechnungen und den bisher begutachteten Schäden, ist der Aufsteller jedoch der Meinung, an der überwiegenden Anzahl der Stützen ohne eine Abstützung im Bauzustand auszukommen. Maßgeblich hierfür sind hauptsächlich zwei Punkte.

1. Durch die Beprobung der 10 Stützen aus der Untersuchung HIG ergibt sich eine höhere Betongüte als in der Statik angenommen.

2. Zudem bildete der Lastfall aus Temperatur und Schwindbeanspruchung den bemessungsmaßgebenden Lastfall ab. Diese Beanspruchungen treten im Maximum dann auf, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den Parkdecks (Außenbereich) und der Innenraumnutzung ab dem EG bzw.1.OG maximal sind. Dies ist im Winter der Fall. Wenn festgelegt wird, dass die Stahlbetonsanierung aufgrund der Temperaturen sowieso ab mindestens durchgehend 8°C durchgeführt wird, dann verringert sich die Beanspruchung auf die Stützen aus Temperatur um ca. 30%.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Folgende Vorgehensweise zur Stützenfußsanierung wird vorgegeben:

1. Der Asphaltaufbau inkl. der darunter befindlichen Mörtelschicht ist zu entfernen.

2. Der Stützenfuß wird auf einer Höhe von ca. 30-40 cm rundum bis auf die Trageisen freigestrahlt (Höchstdruckwasserstrahlen) Der Zustand der Bewehrungseisen wird begutachtet. Im Falle zu starker Schädigung der Bewehrung oder zu tiefer Betonausbrüche wird eine Abstützung bis in die Fundamentebene durchgeführt (siehe separate Erläuterung).

3. Anschließend wird auf der ersten Stützenseite der Beton bis 30 mm hinter die Längseisen entfernt.

4. Geschädigte Bügelbewehrung wird ersetzt.

5. Extrem stark geschädigte Längsbewehrung wird mittels Anschlussmuffen ersetzt. In diesem Fall ist die Stütze abgestützt (s. Punkt 3.). Da sich aufgrund der höher anzusetzenden Betongüte (die zwingend an weiteren Stützen zu belegen ist) Systemreserven ergeben, sind gewisse Querschnittreduktionen zu verkraften. Der vollständige Querschnittsersatz der Längsbewehrung wird der absolute Ausnahmefall sein.

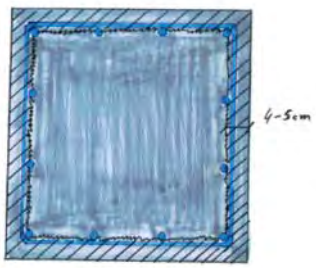
6. Die bearbeitet Stützenseite wird mittels Spritzbetonauftrag geschlossen (ggfs. werden großformatige Stützen in 2 Arbeitsschritte je Stütze unterteilt)

7. Die nächste Stützenseite wird bearbeitet, sobald der Spritzbeton eine Festigkeit von 80% erreicht hat (Pilgerschrittverfahren).

8. Fortgang bis alle 4 Stützenseiten mit Spritzbeton saniert wurden.

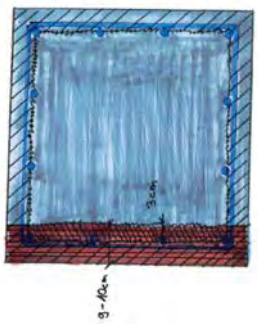
9. Auftrag eines Feinmörtels rundum die Stütze als Grundlage für die Ausführung der hochzuführenden Abdichtung. (Hohlkehle Verwahrung etc.).

10. Abdichtung und Ausführung Asphaltierung der Deckenfläche.



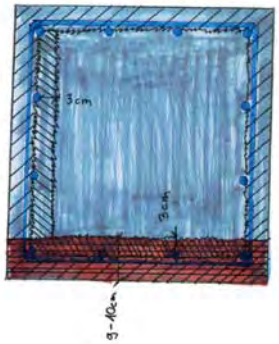
Freistrahlen der Bew. rundum

1. Stützenseite
Abtrag bis 3 cm hinter Bew.

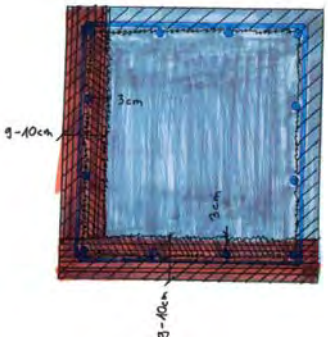


Spritzbeton 1. Stützenseite

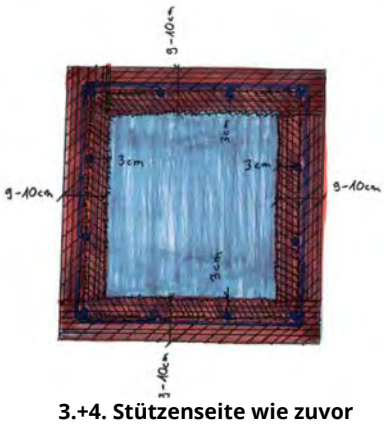
Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



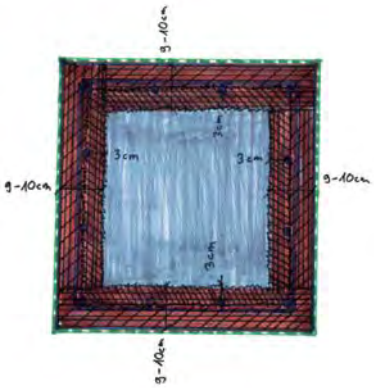
2.Stützenseite
Abtrag bis 3 cm hinter Bew.



Spritzbeton 2. Stützenseite



3.+4. Stützenseite wie zuvor



sanierter Stützenfuss mit Feinspachtel glätten und durch Abdichtung schützen

Schraubmuffenanschluss (Bew.stabaustausch)

z.B. VBT-Kapselpressen zur Aufbringung der Vorspannkraft

Abstützung im Bauzustand

Neben den zahlreichen Vergleichsberechnungen zur maßgeblichen Systemfindung wurde anschließend der oben geschilderte Sanierungsfall mit reduzierten Querschnitten an maßgeblichen Stützen statisch nachgewiesen. Daher muss eine Abstützung nur durchgeführt werden, wenn erhebliche Schäden an mehreren Stützenseiten vorhanden sind. Aus diesem Grund ist die Bewehrung an jeder Stütze, durch einen ersten, rundum durchgeführten Strahlgang sichtbar zu machen, zu begutachten und zu bewerten, ob eine Abstützung im Bauzustand erforderlich wird. Hierzu ist nach Begutachtung der statische Nachweise dieser Situation zumindest im Falle von maßgeblichen Schäden erforderlich.

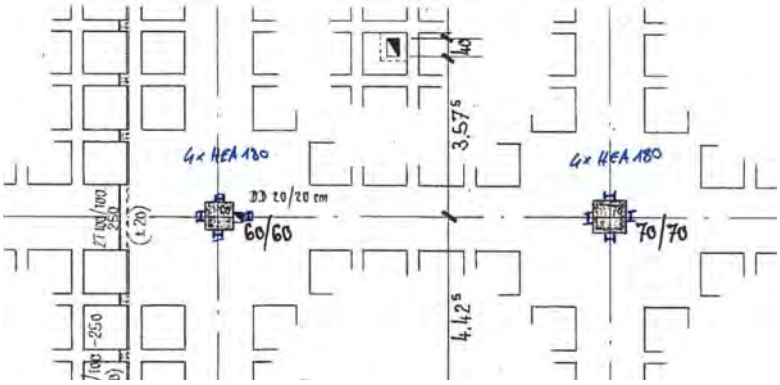
Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Betroffen sind vor allem Stützen mit kleineren Abmessungen (60x60 cm und 70x70cm), da die vorgenannten Tragreserven bei größeren Abmessungen einen noch größeren Effekt haben.

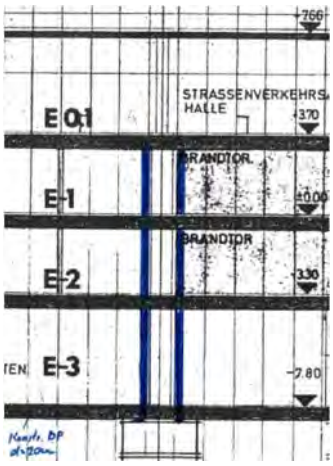
Die Abstützung ist immer in dem betroffenen Geschoss und in den darunterliegenden Geschossen bis auf die Gründung durchzuführen. Ggfs. wird es durch Vergleichsberechnung zumindest stellenweise möglich, die Durchstützung unter dem betroffenen Geschoss zu vermeiden. Da dieses Geschoss während der Arbeiten nicht in Nutzung ist, kann ggfs. die Lasteinleitung in die darunterliegende Stütze über die Decke (Deckenbewehrung) möglich werden.

In Ebene -3 entsteht ein erhöhter Aufwand, die asbesthaltige Abhangdecke zu entfernen, um die Durchstützung möglich zu machen. Die Abstützung erfolgt mittels vier um die Stützen herum aufzubauenden Stahlstützen, die inkl. Untermörtelung und Kopf und Fußplatten auszuführen sind.

Um eine reale Entlastung zu erreichen, müssen diese vorgespannt werden.

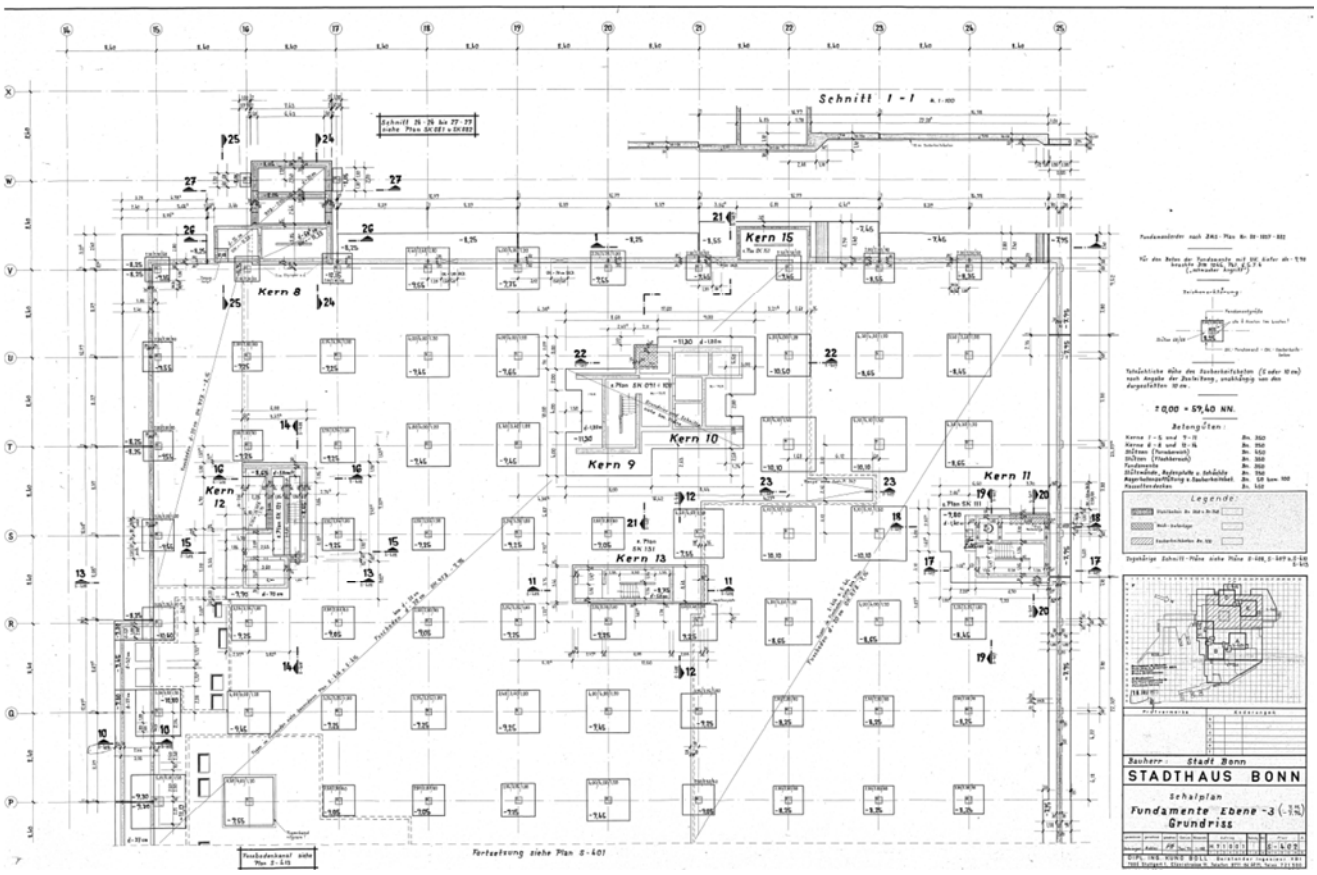


Abstützung mittels je 4 Stahlstützen

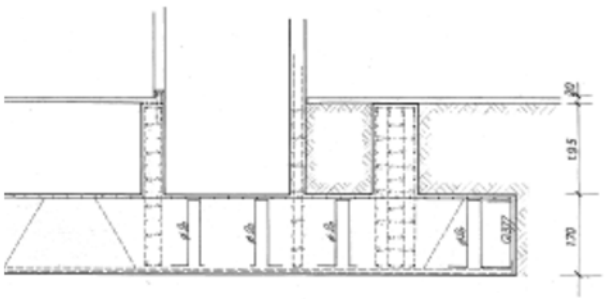


Schnittskizze

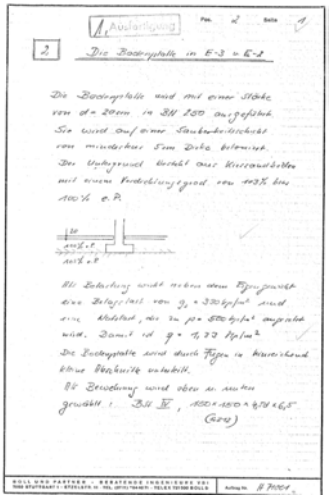
Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



Schalplan Fundamente Ebene -3



Schnittdarstellung Ausführung Fundamentierung Bewehrungsplan Kern 2+3 (A/B)



Ausführungsbeschreibung zur konstr.Bodenplatte

Aus den wenigen Ausführungsunterlagen der vorherigen Abbildungen ist zu entnehmen, dass sowohl in Ebene -2 als auch in Ebene -3 eine konstruktive Bodenplatte d= 20cm ausgeführt wurde. Diese liegt in der Regel auf einer Sauberkeitsschicht oder auf einem Splittbett ca. 5-10 cm über dem eigentlichen Fundament. In Kernbereichen ist jedoch eine größere Stärke unterhalb der Bodenplatte dargestellt.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Da ein Nachgeben einer evtl. nicht ordnungsgemäß auf verdichtetem Erdaufbau liegenden Bodenplatte inakzeptabel ist, wird eine Durchstützung bis auf das unter der konstruktiven Bodenplatte liegende Einzelfundament vorgeschlagen. Hierzu muss die konstruktive Bodenplatte partiell durchörtert werden.

Auch eine Lastverteilung über Traversen in Stahl wäre als Lösung denkbar. Jedoch kann auch hier eine Nachgiebigkeit nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Im Zuge der Erstellung der Ausführungsplanung sollte eine exemplarische Schürfung durchgeführt werden.

Entwässerung (Abflussleitungen), Anprallschutz etc.

An einer Vielzahl der Stützen verlaufen Entwässungsleitungen. Ebenfalls sind zahlreiche Stahlkonstruktionen als Anprallschutz an den Stützenfüßen angebracht.

Aufgrund der Zugänglichkeit zur Sanierung müssen diese in den meisten Fällen zuvor entfernt werden. Da der Zustand der Rohre teilweise äußerlich nicht mehr als gut zu bezeichnen ist, wird eine Erneuerung vorgeschlagen.

5.5 Klassifizierung der Stützenfußsanierungen nach einer realistischen Abschätzung und nochmalige Begutachtung entsprechend den Erläuterungen im Kapitel 5.1 Schadensursache und Ergebniswertung

Nachfolgend wurden die Stützen entsprechend Schadensintensität und Sanierungsumfang klassifiziert:

- Keine Maßnahmen erforderlich. Abdichtung wurde schon erneuert.
- Keine Betonsanierung erforderlich. Abdichtung neu
- Betonsanierung erforderlich. Schäden gering bis mittel. Keine Abstützung erforderlich
- Betonsanierung erforderlich. Schadensintensität groß. Keine Abstützung erforderlich
- Betonsanierung erforderlich. Schadensintensität groß. Abstützung ggfs. erforderlich

Zusätzlich wurden die Informationen nach der Einstufung der ersten Begutachtung durch HIG ebenfalls dargestellt. Weitere Erkenntnisse sind angeschrieben.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Die gewonnenen Informationen aus den Bauteilöffnungen an jeweils 5 Stützen/Geschoss wurden in separaten Textfeldern dargestellt.

Die Klassifizierung der Stützen soll dabei einen Umfang abbilden, der näher an der Realität liegt als es die Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen der Fa. KIWA suggerieren. Ebenfalls sollen noch verdeckte, aber wahrscheinliche Schäden abgeschätzt werden.

Letztendlich wird sich das tatsächliche Schadensausmaß erst nach dem Freistrahlen der Bewehrung zeigen. An Stützen, die keine offensichtliche Schädigung zeigen, müssen dann nach Freilegung des Stützenfußes bzw. nach Entfernen des Asphaltes an allen Stützenseiten Chloridproben genommen werden, um zu bescheinigen, dass keine Betonsanierung durchgeführt werden muss.

Wie erläutert, bilden folgende Umstände die Schadensintensität zu günstig ab, bzw. sind als Argument zu verstehen, dass ein noch größerer Sanierungsbedarf an Stützen mit einer bisher nicht erkannten bzw. verdeckten Chloridbelastung besteht.

1. Durch den undichten Anschluss des Stützenfußes an den Asphalt konnte chloridhaltiges Wasser direkt am Beton anstehen, sodass im unteren Bereich der Wasserwechselzone (in oder direkt oberhalb der Asphaltschicht) höhere Chloridwerte auftreten konnten. Hierfür lagen die Entnahmebohrungen für Chlorid der Fa. KIWA entsprechend zu hoch.

2. Vor allem in den Eckbereichen ist der Chloridzutritt von zwei Seiten sehr gut möglich und führt dort zu noch höheren Beanspruchungen. Eine Probennahme in den Ecken scheidet aus technischen Gründen aus. Die Probennahme erfolgte immer an den Seitenflächen.

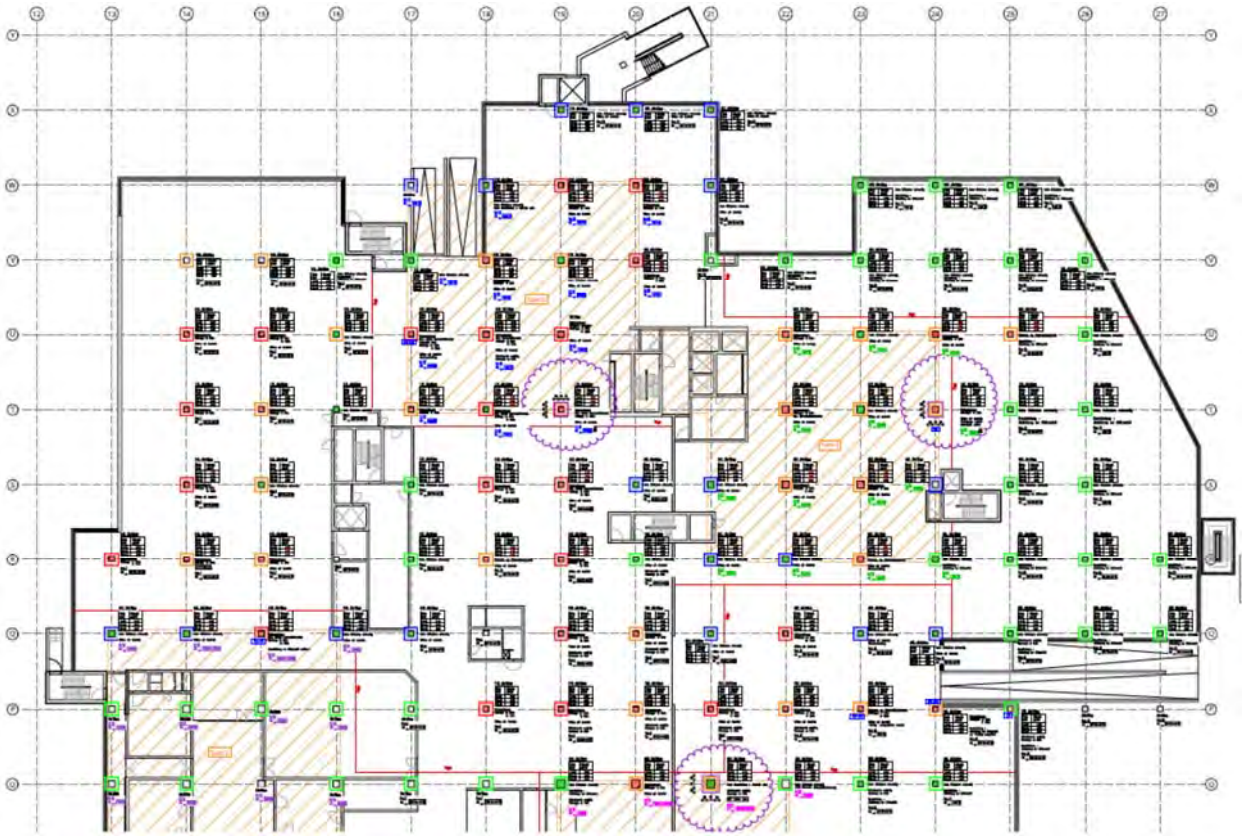
3. Generell bilden die Probennahmen nur eine lokale Situation ab.

4. Der Mechanismus der chloridinduzierten Korrosion wird in der Regel erst im fortgeschrittenen Stadium durch Abplatzungen sichtbar (Lochfraß, kein Quellverhalten). Er ist nicht zu verwechseln mit der carbonatisierungsinduzierten Korrosion (Expansion, Abplatzungen). Von daher muss auch an Stützen, die bisher noch nicht als sanierungsbedürftig galten, mit einer zu hohen Chloridbelastung gerechnet werden (verdeckt).

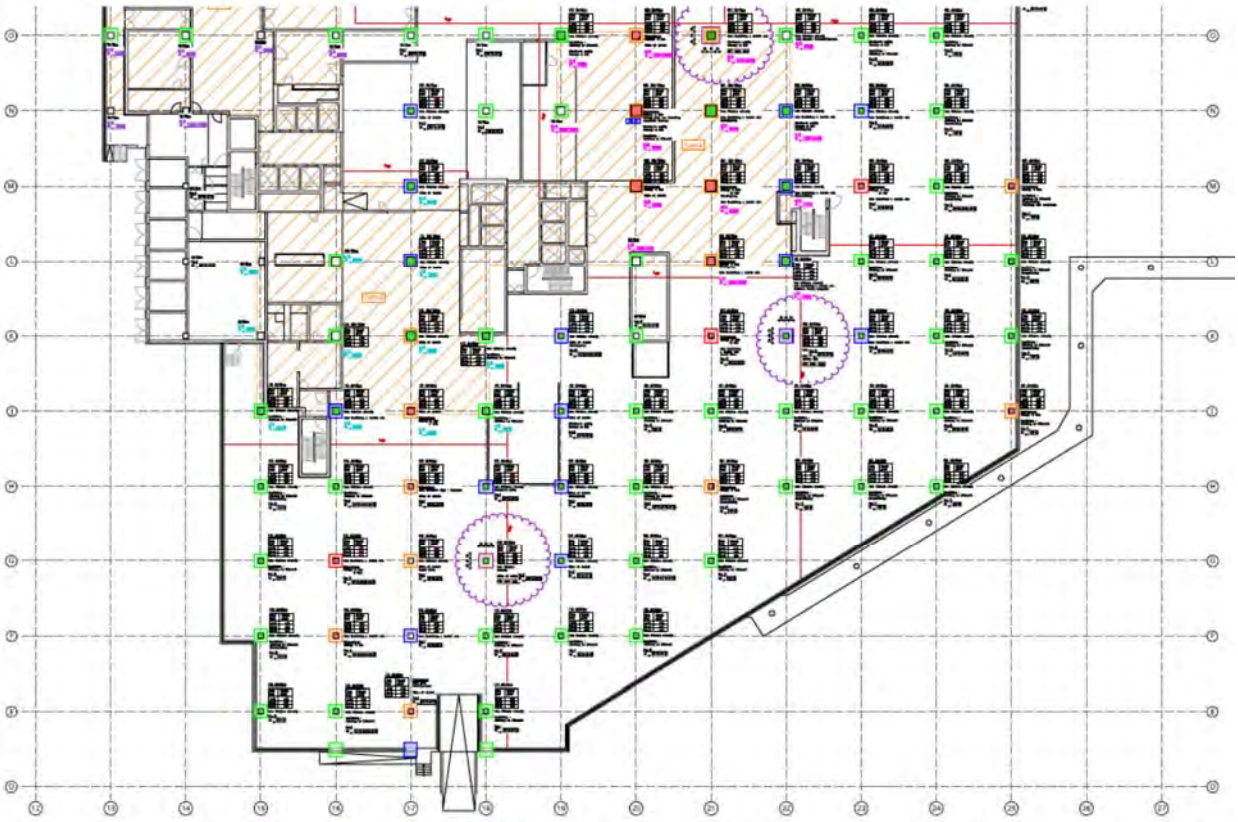
5. Generell muss chloridhaltiger Beton oberhalb der kritischen Marke entfernt werden, auch wenn die Stütze durch die Sanierung abgedichtet würde. Chloridhaltiger Beton wirkt hygroskopisch, sodass davon auszugehen ist, dass er immer ausreichend Feuchte erhält, um den Korrosionsprozess fortzuführen (Ausnahme KKS-Sanierung).

6. Die örtliche Exposition (Fahrgassen, Lage neben stark geschädigten Stützen bei gleichen Randbedingungen) sollte einbezogen werden , ebenfalls Indizien wie Salzablagerungen und Verfärbungen mit einhergehender struktureller Veränderung am Beton.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de



Ebene 1 Achsbereich O-Y



Ebene 1 Achsbereich D-O

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Stützenfußsanierung Auswertung Ebene 1:

Der Fall „grün“ keine Maßnahmen erforderlich, da eine Abdichtung schon aufgebracht war tritt 71mal auf. Dabei gehen wir davon aus, dass die Stützen vor den damals ausgeführten Abdichtungsarbeiten zuvor begutachtet und als schadensfrei bewertet wurden. Ansonsten müssten die Abdichtungen entfernt werden um die Stützen ebenfalls zu untersuchen.

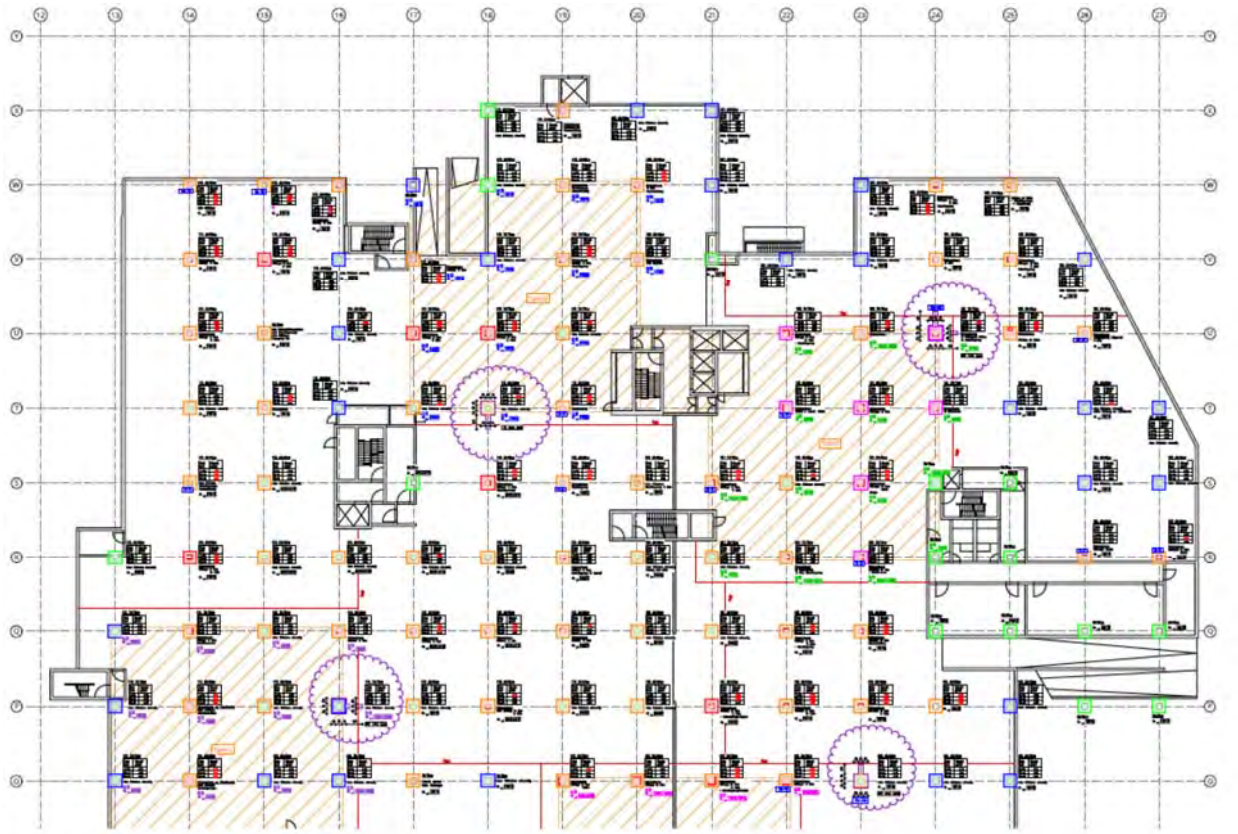
Der Fall „blau“ keine Betonsanierung erforderlich, jedoch Abdichtung neu zu erstellen, tritt an 36 Stützen auf. Diese Stützen müssen auf jeden Fall nach dem Entfernen des Asphaltes nachuntersucht werden um sicherzustellen, dass tatsächlich keine erhöhte Chloridbelastung vorliegt (4 seitig auf Asphalthöhe).

Der Fall „orange“ wurde 43mal festgestellt. Hier wird eine Betonsanierung erforderlich, jedoch mit geringem bis mittlerem Schadenspotenzial.

Der Fall „violett“ wurde in diesem Geschoss nicht festgestellt (Schadensintensität groß jedoch keine Abstützung im Bauzustand erforderlich).

Der Fall „rot“ mit großer Schadensintensität und einer sehr wahrscheinlichen Abstützung im Bauzustand wurde an 25 Stützen festgestellt.

Insgesamt ergibt sich eine Sanierungsquote von ca. 39%. Vorausgesetzt wurde, dass die sanierten Stützen vor dem Aufbringen der neuen Abdichtung geprüft wurden oder eine Betonsanierung schon durchgeführt wurde. Hierzu liegen keine Erkenntnisse vor.



Ebene 2 Achsbereich O-Y

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

Ebene 2 Achsbereich D-O

Stützenfußsanierung Auswertung Ebene 2:

Der Fall „grün“ keine Maßnahmen erforderlich, da eine Abdichtung schon aufgebracht war tritt 7mal auf. Dabei gehen wir davon aus, dass die Stützen vor den damals ausgeführten Abdichtungsmaßnahmen begutachtet und als schadensfrei bewertet wurden. Ansonsten müssten die Abdichtungen entfernt werden um die Stützen zu untersuchen.

Der Fall „blau“ keine Betonsanierung erforderlich jedoch Abdichtung neu zu erstellen tritt an 56 Stützen auf. Diese Stützen müssen auf jeden Fall nach dem Entfernen des Asphaltes nachuntersucht werden um sicherzustellen, dass tatsächlich keine erhöhte Chloridbelastung vorliegt (vierseitig auf Asphalthöhe).

Der Fall „orange“ wurde 97mal festgestellt. Hier wird eine Betonsanierung erforderlich, jedoch mit geringem bis mittlerem Schadenspotenzial.

Der Fall „violett“ wurde 7mal ermittelt. Hier war die Schadensintensität groß jedoch wird aufgrund der großen Stützendimension keine Abstützung im Bauzustand erforderlich.

Der Fall „rot“ mit großer Schadensintensität und einer sehr wahrscheinlichen Abstützung im Bauzustand wurde an 16 Stützen festgestellt.

Insgesamt ergibt sich eine Sanierungsquote von ca. 66%.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

5.6 Decken und Deckenfugen

Decken und Deckenfugen in Parkebene 1

In der Parkebene 1 wurde an 5 Stützen der Rohboden freigelegt und Chloridproben entnommen. Aufgrund des unterläufigen Bodenaufbaus konnte durch undichte Anschlussfugen an Stützenfüßen, durch ehemals undichte Fugenausbildungen im Bodenbelag (bei angenommener Ausführung wie in Parkebene 2) oder durch generelle Undichtigkeiten im Bodenaufbau der keine Abdichtung unterhalb des Asphaltes aufweist, Chlorid bis an die Rohdeckenoberseite gelangen und in den Beton eindringen. Jedoch zeigen die Probennahme überwiegen Werte unterhalb dem Anhaltswert für korrosionsauslösende Chloridkonzentrationen von 0,5.M%.

Im Tiefenbereich 0-20 mm liegt nur ein Wert bei 0,78 M.% und ein weiterer bei 0,49 M.%. Im Tiefenbereich 21-40 mm wurde ein Wert mit 0,91 M.% ermittelt. Zu berücksichtigen ist, dass die Untersuchungen nur eine kleine Stichprobe darstellen. Die Bauteilfugen wurden zu einem früheren Zeitpunkt saniert und daher nicht weiter begutachtet. Salzablagerungen an der Unterseite sind jedoch erkennbar.

Eine Sanierungsnotwendigkeit kann aus den Untersuchungsergebnissen nicht hergeleitet werden. Um Sicherheit über den Zustand der Decken im Parkgeschoss 1 zu erlangen, müssten weitere Untersuchungen oder großflächigere Freilegungen erfolgen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass der Bodenaufbau nur im Bereich der ausgebesserten Fugen mit einer unterseitigen Abdichtung ausgeführt wurde. Somit können Undichtigkeiten im Bereich des noch bestehenden Altbestandes (ohne einer unter dem Asphalt ausgeführten Abdichtung) vorhanden sein oder noch entstehen. Dies könnte langfristig zu höheren Chloridbelastungen in der Decke führen.

Decken und Deckenfugen in Parkebene 2

Die Beprobung der Rohdeckenoberseiten auf Chlorid ergab an 8 von 15 Proben erhöhte Werte im Tiefenbereich 0-20 mm (0,52-1,17). Im Tiefenbereich 21-40 mm ergaben sich fünf Überschreitungen (0,55-0,92). Im Bereich 41-60mm waren keine Überschreitungen mehr festzustellen.

Die erhöhten Werte waren an 3 von 5 untersuchten Bodenbereichen in Stützennähe festzustellen. Aufgrund der Ergebnisse ist auf eine Sanierungsnotwendigkeit auch der Decken zu schließen.

Um diese Notwendigkeit abzusichern, sollten weiter Untersuchungen durchgeführt werden. Zu befürworten wären ebenfalls großflächige Untersuchungsmöglichkeiten, um den Sanierungsumfang besser einschätzen zu können.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

An den Fugen hingegen konnten zumindest oberseitig nur in einem Fall. und da auch nur in geringer Tiefe (0-20 mm), leicht erhöhte Chloridwerte (0,54 M.%) festgestellt werden.

Unterseitig konnte nur an einer Stelle eine Fugenbegutachtung durchgeführt werden, die klare Salzablagerungen zeigt. Hausintern ist bekannt, dass die Fugen an vielen Stellen undicht sind. Wassereintritte in die teilweise als Lager genutzten Flächen sind bekannt.

Die ausgeführte Fugenabdichtung entspricht keinem Stand der Technik und sollte in jedem Fall erneuert werden.

Der bestehende Bodenaufbau weist keine Abdichtungslage auf. Zudem ist die Konstruktion nicht unterlaufsicher, sodass kein sicherer Schutz vor eindringendem Chlorid gegeben ist.

Aufgrund der Tatsache, dass die Fugen und die Stützenfüße in jedem Fall zu sanieren sind und dadurch viele kleinteilige Asphalterneuerungen erforderlich werden, kann nur empfohlen werden, den gesamten Asphaltaufbau zu entfernen und Normenkonform zu erneuern.

Genereller Hinweis:

Um die Dauerhaftigkeit und Nutzungsdauer der Tiefgarage von 50 Jahren zu gewährleisten, wird sowohl nach DIN EN 206-1, als auch nach DIN 1045-2 ein Instandhaltungsplan gefordert. (siehe auch DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“, 3. Überarbeitete Fassung, Seite 80ff.)

Hierin werden die erforderlichen Wartungs- und Inspektionsintervalle der Oberflächenschutzsysteme und -bauteile, die einzelnen Verfahrensweisen, sowie deren Verantwortlichkeiten festgehalten. Der Instandhaltungsplan sollte von einem Planer inklusive der Ausführungsunterlagen spätestens zur Abnahme der Parkflächen vorliegen.

Die Wartung der entsprechenden Bauteile sollte in einem Bauwerksbuch protokolliert werden. Sie geben eine Übersicht über den Zustand der Fugen, der Fahrbahnbeläge, der Entwässerungseinrichtungen, Stützenbeschädigungen etc.

Es wird empfohlen, die geforderten Intervalle durch den Bauherrn und mit dem Betreiber vertraglich festzuhalten, abzustimmen und zu dokumentieren.

Das Produkt des gewählten Oberflächenschutzsystems sollte die Anforderungen gemäß RL-SIB des DAfStb sowie der DIN EN 1504-2 und der DIN V 18026 erfüllen.

Konrad-Adenauer-Straße 13
50996 Köln - Rodenkirchen
Telefon: 0221 80 00 81 - 0
Telefax: 0221 80 00 81 - 29
info@hig-ingenieure.de

6. Zusammenfassung / Fazit

Aufgrund der jahrzehntelangen Beaufschlagung der Tiefgaragenflächen durch eingetragene Feuchte und Tauwasser sind zahlreiche substantielle Schäden an den Stützenfüßen der Ebene P1 und P2 festgestellt worden. Dabei waren die Stützenfüße der direkten Beanspruchung durch Chlorid ausgesetzt. Ein Schutz der Stützenfüße, durch eine Abdichtung oder Beschichtung, war nicht vorhanden. Zudem beschleunigte sich die Chloridaufnahme durch undichte Anschlussfugen zwischen Stützenfuß und Asphaltaufbau.

Auch der Asphaltaufbau entspricht nicht den heutigen Normungen, da ebenfalls keine Abdichtung ausgeführt wurde. Der Aufbau ist zudem aufgrund einer in großen Teilen hohlliegenden Mörtelschicht hinterläufig.

Durch die Untersuchungen zeigt sich, dass ein **erheblicher und dringlicher Sanierungsbedarf** an den Stützenfüßen in beiden Parkgeschossen besteht. Auf Dauer wird der schon jetzt als kritisch zu bezeichnende Zustand zum Verlust der Tragfähigkeit führen.

Eine exakte Festlegung der zu sanierenden Stützen konnte nicht erreicht werden. Voraussichtlich ist mit der Betonsanierung von mindestens 68 Stützenfüßen im Parkgeschoss 1 und 120 Stützenfüßen im Parkgeschoss 2 zu rechnen.

Zudem wurden auch Chloridbeanspruchungen unterhalb des Asphaltes auf der Deckenoberseite und unterseitig an Deckenfugen festgestellt. Dabei zeigt sich mindestens in der Decke über dem Parkgeschoss 2 ebenfalls Handlungsbedarf. Hierzu werden jedoch weitere Erkundungen erforderlich, um den Aufwand und die Schadensintensität bewerten zu können.

Köln, 02.02.2021

[redacted]

Dipl.-Ing. (FH) Holger Neugebauer Martin Mathey, M.Eng.

Anlagen

Anlage 1: Untersuchungsbericht der Fa. KIWA vom 02.11.2020
Anlage 2: Anamnesepläne HIG Ebene -1 und -2 (jeweils 2 Pläne)
Anlage 3: Diverse Vergleichsberechnungen