

## RNV-Betriebshof Käfertal, 3-schiffige Wagenhalle

### Bestandsaufnahme / Zustandsbewertung Tonnendächer



Zeichen: D/StF/ReJ

Tel.: (0621) / 419 49 - 821

Datum: 07.09.2022

BERATENDE INGENIEURE VBI  
PRÜFINGENIEURE FÜR  
BAUTECHNIK VPI

INGENIEURGRUPPE **BAUEN**

AXEL BIBWURM  
FRANK DEUCHLER  
DR. RALF EGNER  
ARNOLD HUMMEL  
DR. HALIM KHBEIS  
DR. DIETMAR H. MAIER  
JOSEF SEILER  
TIMO WINTER

BERATENDE INGENIEURE  
PartG mbB

AMTSGERICHT MANNHEIM  
PR 700485

UST-IDNR. DE143611588

SITZ DER GESELLSCHAFT:  
FRITZ-ERLER-STR. 25  
76133 KARLSRUHE

ZERTIFIZIERT NACH  
DIN EN ISO 9001:2015

BANKVERBINDUNG  
COMMERZBANK AG  
BIC: COBADEFFXXX  
IBAN:  
DE57 6604 0018 0222 6009 00

**BESSELSTR. 16  
68219 MANNHEIM**

TEL +49 (621) 419 49-0  
FAX +49 (621) 419 49-75

MANNHEIM@  
INGENIEURGRUPPE-BAUEN.DE

KARLSRUHE | **MANNHEIM**  
BERLIN | FREIBURG

Projekt: RNV-Betriebshof Käfertal, 3-schiffige Wagenhalle  
Bestandsaufnahme / Zustandsbewertung Tonnendächer

Projekt Nr.: 022/2031/000

Auftraggeber: Rhein-Neckar-Verkehr GmbH  
Infrastruktur (IS)  
Herr Sascha Blüm  
Abt. Planung (IS4),  
Möhlstraße 27, Mannheim

Zuständiger Partner: Dipl.-Ing. (FH) Frank Deuchler

Projektleiter: Dr.-Ing. Florian Stauder

Sachbearbeiter: Julian Rehberg M. Eng., Fabio Sutera M. Eng.

Diese Stellungnahme sowie die zugehörigen Anlagen und Zeichnungen sind unser geistiges Eigentum. Sie dürfen ohne unsere Genehmigung weder ganz noch teilweise vervielfältigt, Unbefugten überlassen oder zu anderen Zwecken benutzt werden, als sie dem Empfänger anvertraut sind. (§§ 106 bis 108a des Urheberrechtsschutzgesetzes)

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen .....	3
2	Vorliegende Unterlagen .....	3
3	Bauwerksbeschreibung .....	4
4	Bestandsaufnahme / Ist-Zustand .....	5
4.1	Aufnahme von augenscheinlich erkennbaren Schäden .....	5
4.2	Durchführung von baustofftechnologischen Untersuchungen .....	7
5	Bestandsbewertung .....	11
6	Weiters Vorgehen .....	13

## Anlagen

Anlage 1: Schadenskartierung inkl. Bilddokumentation

Anlage 2: Bilddokumentation Sondieröffnungen

## 1 Vorbemerkungen

Die Ingenieurgruppe Bauen wurde von Herrn Sascha Blüm (Rhein-Neckar-Verkehr GmbH) mit der Aufnahme von Schäden und statisch-konstruktiven Bewertung der Tonnendächer über der 3-schiffigen Wagenhalle auf dem RNV-Betriebshof in Mannheim-Käfertal einschließlich der Durchführung von baustoff-technologischen Untersuchungen beauftragt. Die Grundlage der Beauftragung stellt unser Honorarvorschlag vom 10.02.2022 dar.

Der Betriebshof Käfertal soll umfassend modernisiert werden. In diesem Rahmen wird eine neue Wagenhalle errichtet, die an die bestehende Wagenhalle angebaut werden soll. Vor dem Hintergrund der geplanten Nutzungsdauer von über 30 Jahren ist eine Neubewertung des bestehenden Dachtragwerkes in statisch-konstruktiver Hinsicht erforderlich.

Neben einer Bewertung des Erhaltungszustandes der Dachelemente aus Leichtbeton gehört hierzu insbesondere auch die Ermittlung von Materialkennwerten und ggf. die Durchführung von Traglastversuchen an den historischen Kassettenelementen und Bimsbeton-Stegdielen der Bestandskonstruktion.

Aufgrund von Schäden in Form von Rissen und Betonabplatzungen sowie erheblichen Verformungen erfolgte bereits in der Vergangenheit mehrfach eine Aufnahme und Bewertung von Schäden durch die Ingenieurgruppe Bauen, was bereichsweise bereits zu Unterstützungs- und Sicherungsmaßnahmen geführt hat.

Gemäß den damaligen Vorgaben der RNV erfolgten die Sicherungsmaßnahmen lediglich bis zur geplanten Schließung des Standortes für eine Restnutzungsdauer von unter 5 Jahren. Mit der Modernisierung des Standortes soll die Bestandskonstruktion langfristig erhalten und genutzt werden, was sich erheblich auf die Randbedingungen zur Bewertung der Konstruktion und ggf. erforderlichen Aufwand zur Erhaltung der Bauteile auswirkt.

## 2 Vorliegende Unterlagen

Zur Bewertung der Konstruktion wurden der Ingenieurgruppe Bauen die nachfolgend aufgeführten Bestands- und Planunterlagen (Grundrisse, Ansichten und Schnitte) zur Verfügung gestellt.

- [B 1] Betontechnologische Untersuchungen der Deckenplatte, V. Knecht Betontechnologe VDB, 08.06.2012.
- [B 2] 477.3-01060.5-21, K3 Altbestand / O295 Gebäudesanierung Depot – Bauschadstoffuntersuchungen, RT Consult GmbH 27, 08.2021.
- [B 3] K3, Grundriss EG, Hans-Peter Wolf Architekt, 03.03.2022.
- [B 4] K3, Schnitt A-A, Teilschnitt B-B, Ansicht Süd, Ansicht Ost, Ansicht West, Hans-Peter Wolf Architekt, 03.03.2022.
- [B 5] K3, Grundriss UG, Heizungskeller Wartungsgruben, Hans-Peter Wolf Architekt, 03.03.2022.
- [B 5] K3, Grundriss OG, Montagebühnen, Hans-Peter Wolf Architekt, 03.03.2022.
- [B 6] 012/2042/000 Wagenhalle Mannheim-Käfertal, Hallenschiff mit Tonnengewölbedächern, Stellungnahme zu Schäden an den Kassettenplatten der Dacheindeckung, Ingenieurgruppe Bauen 22.03.2012.

- [B 7] 012/2042/000 Wagenhalle Mannheim-Käfertal, Hallenschiff mit Tonnengewölbedächern, Stellungnahme zu Schäden an den Kassettenplatten der Dacheindeckung Ergänzung 2, Ingenieurgruppe Bauen, 12.04.2012.
- [B 8] 012/2042/000 Wagenhalle Mannheim-Käfertal, Bewertung von Schäden und Nachrechnung, Ingenieurgruppe Bauen, 06.07.2012.
- [B 9] 012/2042/000 Wagenhalle Mannheim-Käfertal, Vor-Ort Termin 27.07.2012 Aufnahme Schäden, Ingenieurgruppe Bauen, 27.07.2012.
- [B 10] 012/2042/000 Wagenhalle Mannheim-Käfertal, Vor-Ort Termin 28.01.2013 Aufnahme Schäden, Ingenieurgruppe Bauen, 28.01.2013.
- [B 11] 012/2042/000 Wagenhalle Mannheim-Käfertal, Vor-Ort Termin 15.08.2013 Aufnahme Schäden, Ingenieurgruppe Bauen, 15.08.2013.

Darüber hinaus wurden zur Erstellung der Stellungnahme die nachfolgend aufgeführten Normen, Richtlinien und Merkblätter verwendet:

- [R1] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang und Änderungen.
- [R2] Deutsches Institut für Bautechnik: Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken, Teil 1 und 2, Ausgabe Mai 2020.

### 3 Bauteilbeschreibung

Bei der zu bewertenden Dachkonstruktion über der dreischiffigen Wagenhalle handelt es sich um drei ungespannte Tonnengewölbe mit einer Spannweite zwischen ca. 15 und 18 m, die heute unter Denkmalschutz stehen, vgl. Bild 1.



Bild 1: Draufsicht Wagenhalle Käfertal einschließlich Bauteilbezeichnung

Während es sich bei dem Tonnengewölbe über dem westlichen und mittleren Hallenschiff noch um die ursprüngliche Konstruktion aus dem Jahr 1914 handelt, wurde das Tonnengewölbe über dem östlichen Seitenschiff infolge von Kriegseinwirkungen bereits in der Vergangenheit erneuert.

Das Dachtragwerk besteht aus bogenförmigen Stahlprofilen mit Flächenelementen aus Leichtbeton unter einer mehrlagigen Bitumenabdichtung. Im Scheitel der Tonnen befindet sich ein durchgehendes Lichtband aus Plexiglas.

Ursprünglich wurden Kassettenelemente aus Bimsbeton zur Herstellung des Dachgewölbes verwendet. Die Betonkassetten wurden als Fertigteile mit den Abmessungen 0,5 x 2,5 m<sup>2</sup> und einer Elementhöhe von 9,5 cm mit einem 2,5 cm dicken Deckenspiegel entsprechend der damaligen Bauzeit mit einem sehr geringen Bewehrungsgehalt hergestellt und als Einfeldträger auf den Stahlbögen aufgelegt.

Im Bereich des östlichen Seitenschiffes wurden die Betonkassetten im Rahmen der Beseitigung von Kriegsschäden bereits durch Bimsbeton-Stegdielen ersetzt.

Während die Stegdielen augenscheinlich keine Auffälligkeiten aufweisen, sind an den Betonkassetten eine Vielzahl von Rissen und Betonabplatzungen sowie erhebliche Durchbiegungen zu erkennen, was ursächlich für die in der Vergangenheit durchgeführten Untersuchungen war. Darüber hinaus wurden stark verformte Betonkassetten bereits durch eine Unterkonstruktion unterstützt sowie Netze montiert, um Schäden durch herabfallende Betonbruchstücke zu vermeiden.

## 4 Bestandsaufnahme / Ist-Zustand

Die Bewertung des Bauwerkszustandes erfolgt auf der Grundlage der uns auftraggeberseitig zur Verfügung gestellten Unterlagen sowie der von uns vor Ort durchgeführten visuellen Bestandsaufnahme und Ergebnissen der baustofftechnologischen Untersuchungen.

Die visuelle Schadensaufnahme wurde am 06.04.2022 durch Herrn Rehberg (Ingenieurgruppe Bauen) durchgeführt. Die baustofftechnologischen Untersuchungen erfolgten am 25.05.2022 durch Herrn Sutera und Herrn Rehberg (Ingenieurgruppe Bauen).

Eine Übersicht über die aufgenommenen Flächen kann der Schadenskartierung in Anlage 1 entnommen werden.

### 4.1 Aufnahme von augenscheinlich erkennbaren Schäden

Im Zuge der Schadensaufnahme wurde die Deckenuntersicht (Betonbauteile) augenscheinlich auf das Vorhandensein von Schäden inspiziert. Ein Abklopfen der Bauteiloberflächen zur Lokalisierung von Hohlstellen erfolgte nicht, da die Begehung abstimmungsgemäß vom Boden aus erfolgte.

Nachfolgend werden die visuell erkennbaren Schäden exemplarisch dargestellt und beschrieben. Die dazugehörige Schadenskartierung einschließlich Fotodokumentation befindet sich in Anlage 1.

Im Bereich des westlichen und mittleren Hallendaches befinden sich die ursprünglichen Kassettenelemente aus der Bauzeit der Halle. Ein Fertigteilelement mit den Abmessungen 0,5 x 2,5 m<sup>2</sup> setzt sich aus 4 Kassetten zusammen und liegt auf unterspannten Stahlbögen auf. Dementsprechend befinden sich jeweils zwischen den Fertigteilelementen planmäßige Stoßfugen.

Die Elemente weisen lokal Ausblühungen und Verschmutzungen auf, was im Zusammenhang mit Wasserdurchtritten / Durchfeuchtungen zu sehen ist. Darüber hinaus befinden sich auch Risse und Betonabplatzungen an den Bauteilen.

Vereinzelt weisen Elemente eine erhebliche Durchbiegung auf. Inwieweit es sich hierbei um eine Überlastung von Bauteilen im eingebauten Zustand handelt, ist unklar, da offensichtlich auch bereits vorverformte Elemente verbaut wurden. Dies ist anhand einer Ausmauerung zweifelsfrei nachvollziehbar, vgl. Bild 4.

Nachfolgende Bilder zeigen exemplarisch den Zustand der Kassettenelemente vor Ort, vgl. auch Bilddokumentation in Anlage 1.



Bild 2: Feuchteschäden und Risse



Bild 3: Risse und Abplatzungen



Bild 4: bereits zum Zeitpunkt der Montage vorverformtes Kassetten-Element



Bild 5: nachträglich infolge Last verformte Kassetten-Elemente mit bereits eingebauter Bauteilsicherung



Bild 6: infolge von Last verformte Kassetten-Elemente mit ausgeprägter Rissbildung (Bild aus 2012)



Bild 7: Risse und Abplatzungen an einem Kassetten-Element (Bild aus 2012)



Bild 8: Schäden im Auflagerbereich der Kassetten-elemente, Betonabplatzungen über Stahlträger (Bild aus 2012)



Bild 9: Unterstützung im Auflagerbereich aufgrund von Schäden, Stahlkonsolen als Hilfskonstruktion (Bild aus 2013)

An der Untersicht des Tonnengewölbes über dem östlichen Seitenschiff befinden sich augenscheinlich keine Beeinträchtigungen an den Bimsbeton-Stegdielen.

#### 4.2 Durchführung von baustofftechnologischen Untersuchungen

Neben der augenscheinlichen Schadensaufnahme wurden zur Bewertung des baulichen Zustandes der Konstruktion auch baustofftechnologische Untersuchungen durchgeführt.

Bei den baustofftechnologischen Untersuchungen handelt es sich um stichprobenartige Untersuchungen, die zur Bewertung des Tragwerkszustandes erforderlich sind und im Rahmen der weiteren Instandsetzungsplanung / -ausführung ggf. ergänzt werden müssen. Um einen größtmöglichen Erkenntnisgewinn zu erlangen, wurden an einigen Probeentnahmestellen mehrere Parameter auf Grundlage unterschiedlicher Untersuchungsmethoden bestimmt.

Sowohl das Prüfprogramm als auch die Probeentnahmestellen wurden durch die Ingenieurgruppe Bauen auf der Grundlage der Ergebnisse der augenscheinlichen Schadensaufnahme festgelegt.

Jeweils vier Kassetten werden zu einem Fertigteil-Tragelement mit dem Abmessungen 0,5 x 2,5 m<sup>2</sup> zusammengefasst, vgl. Bild 10, das auf unterspannten Stahlbögen aufliegt.



Bild 10: Ansicht Kassetten-Fertigteilelement

Die statisch-konstruktiven Parameter der Kassetten-Elemente lauten wie folgt:

Abmessungen zwischen den Stahlträgern:	250 cm (+ 10 cm) --> Elementlänge gesamt
Gesamtbreite eines Elementes:	50 cm
Dicke Deckenspiegel innerhalb Kasette:	2,5 cm
Breite Längssteg in Spannrichtung:	5 cm oben 7 cm unten 7 cm tief
Breite Quersteg zwischen den Kasstten:	4 cm oben 7 cm unten 7 cm tief
Materialbeschaffenheit:	„Bimsbeton“ Rohdichte ca. 1.800 kg/m <sup>3</sup>
Bewehrungsgehalt:	Kassette in Spannrichtung: 3 x Ø 5 mm glatt mit c = 15 mm Kassette Verteiler: keine Steg in Spannrichtung: 1 x Ø 8 mm glatt mit c = 20 mm Steg Verteiler: 1 x Ø 6 mm glatt mit c = 30 mm

Im Rahmen der baustofftechnologischen Untersuchungen wurden in erster Linie Sondieröffnungen zur Ermittlung der Betondeckung und Karbonatisierungstiefe sowie zur Verifizierung des Bewehrungszustandes im Bereich der Stege der Fertigteile angelegt.

Zur Reduktion von Kosten wurden die Beprobungsstellen innerhalb eines Lagerraumes angeordnet, sodass auf den Einsatz von Arbeitsgerüsten bzw. einer Hebebühne verzichtet werden konnte.

Maßgebend für die Bewertung der Elemente ist der Bewehrungszustand sowie die zu erwartende Dauerhaftigkeit der Elemente.

Grundsätzlich sind Bewehrungseinlagen innerhalb von Betonbauteilen aufgrund der Alkalität des Zementsteines vor Korrosion geschützt. Beginnend von der Bauteiloberfläche verliert der Zementstein im Lauf der Zeit durch den Zutritt von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) allerdings diese Eigenschaft, da sich das  $\text{CO}_2$  der Luft und das Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) des Zementsteins zu Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow$  Kalk) verbinden.

Dies wird als Karbonatisierung des Betons bezeichnet und geht mit dem Verlust der Alkalität des Zementsteins einher, wodurch der natürliche Korrosionsschutz der Bewehrungstahleinlagen verloren geht. Beim Zutritt von Feuchtigkeit kommt es dann zur Korrosion der sich im karbonatisierten Beton befindlichen Bewehrungsstähle, da der für die Oxidation erforderliche Sauerstoff im Bereich der Stahleinlagen immer in ausreichender Menge vorhanden ist.

Infolge der Korrosionsprodukte hat dieser kontinuierliche Prozess eine erhebliche Volumenvergrößerung des Bewehrungsstabes zur Folge, was zunächst zu Sprengdrücken im Betongefüge und weiterhin zu Betonabplatzungen und freiliegender Bewehrung führt. Ursächlich hierfür ist der ständige Ortswechsel von anodischen (Metall auflösenden) und kathodischen (Elektronen verbrauchenden) Teilbereichen innerhalb eines Korrosionselementes und die damit verbundene, flächige Anlagerung der Korrosionsprodukte (Blattrost).

Anhand der entstehenden Hohlstellen und Betonabplatzungen können korrodierte Bereiche verhältnismäßig gut lokalisiert und instandgesetzt werden, sodass gravierende Bauteilschäden erst bei entsprechend hohen Materialverlusten auftreten.

Mit der Zeit verlangsamt sich der Karbonatisierungsfortschritt im Beton, der stark von der Betongüte, Porosität, Dichte, dem w/z-Wert und dem Feuchtegehalt beeinflusst wird. Bei sämtlichen unbeschichteten Betonen sind karbonatisierte Randbereiche vorzufinden, deren Umfang von den genannten Faktoren abhängig ist.

Befinden sich keine Bewehrungsstähle im Beton oder liegt der Feuchtegehalt des Betonbauteils unter dem für die Korrosion kritischen Wert, kann der Karbonatisierungsfortschritt vernachlässigt werden. Dieser Sachverhalt trifft grundsätzlich auf alle Stahlbetonbauteile zu.

Bei der Erstellung von Neubauten wird über eine ausreichend hohe Betondeckung der Stahleinlagen sichergestellt, dass die Karbonatisierungsfront die Betonstähle innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer nicht erreicht.

In Anbetracht bestehender Tragwerke können die nach heutigen Regelungen erforderlichen Betondeckungen in der Regel nicht sichergestellt werden, was zur Folge hat, dass Bewehrungseinlagen oftmals ungeschützt innerhalb von karbonatisiertem Beton liegen. Fehlen oder sind Schutzmaßnahmen zur Begrenzung der Bauteilfeuchtigkeit unwirksam, führt dies zu den bekannten Schäden in Form von korrodierter Bewehrung und Betonabplatzungen.

Die Messung der Karbonatisierungstiefe erfolgt durch Ansprühen einer frischen Bruch- oder Stemmfläche des Betons mit Phenolphthalein-Lösung. Im Inneren eines Bauteils liegt der pH-Wert meist über der für die Stahlkorrosion unkritischen Grenze von etwa 9,5. Der Beton färbt sich deutlich violett. Bei den farblich nicht reagierenden, betongrau bleibenden Randbereichen des Bauteils ist der pH-Wert bereits unter 9 gesunken, d. h. der Beton ist karbonatisiert und hat seine Korrosionsschutzeigenschaften verloren.

Unter Karbonatisierungsfrost wird die Trennschicht bezeichnet, die den karbonatisierten (farblosen) vom nicht karbonatisierten (violetten) Bereich trennt. Bei der Karbonatisierungstiefe handelt es sich um den rechtwinklig gemessenen Abstand zwischen Bauteiloberfläche und Karbonatisierungsfrost. Nachfolgend wird die Messung der Karbonatisierungstiefe bildhaft dargestellt und erläutert.

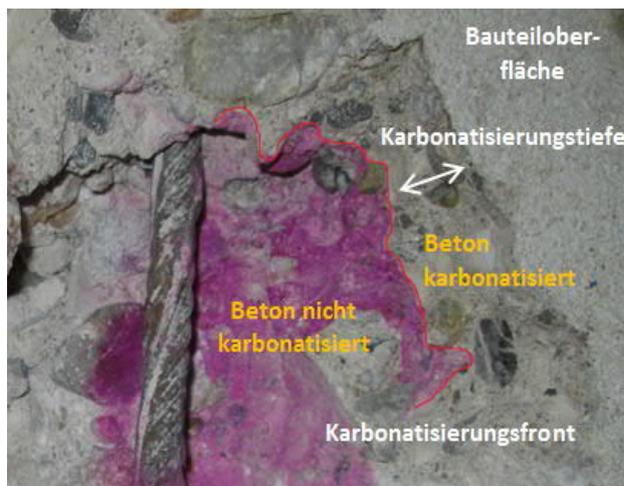


Bild 11: Sondierstelle zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe (exemplarische Darstellung einschließlich Erläuterung)

In Tabelle 1 werden die wichtigsten Informationen (Karbonatisierungstiefe, Betondeckung, Zustand der Bewehrung) zusammengefasst. Eine bildhafte Darstellung der Ergebnisse befindet sich in Anlage 2.

Tabelle 1: Ergebnisübersicht Sondieröffnungen

Messstelle	Bauteil	Betondeckung [mm]	Karbonatisierungstiefe [mm]	Zustand der Bewehrung	
Bimsbeton-Kassettenelemente	1	Deckenspiegel Kassette	17	25	durchkarbonatisiert, 5 % Korrosionsverlust
	2	Längssteg	12	> 50	oberflächige Korrosion
	5	Deckenspiegel Kassette	9	> 20	fortgeschrittene Korrosion
	6	Längssteg	10	> 20	5 % Korrosionsabtrag
	7	Deckenspiegel Kassette	18	> 20	oberflächige Korrosion
	8	Längssteg	25	> 30	oberflächige Korrosion
	9	Querrippe	35	> 35	oberflächige Korrosion
Bimsbeton-Stegdielen	3	Unterseite	12	2	keine Korrosion
	4	Diele	12	> 20	keine Korrosion

Die im Rahmen der Sondieröffnungen festgestellten Bewehrungsgehalte und konstruktiven Details entsprechen im Wesentlichen den zuvor aufgeführten Angaben.

Aufgrund der geringen Bauteilabmessungen und des verhältnismäßig porösen Gefüges kann davon ausgegangen werden, dass die Bimsbeton-Querschnitte der Kassettenelemente vollständig durchkarbonatisiert sind. Dementsprechend liegen alle Bewehrungseinlagen bereits im karbonatisierten Beton und sind nicht mehr vor Korrosion geschützt.

Darüber hinaus weist der Großteil der freigelegten Bewehrungsstäbe bereits oberflächige Korrosionserscheinungen mit noch geringen Abrostungsgraden auf.

Bei zwei Probestellen im Bereich der Bimsbeton-Stegdielen wurden stark unterschiedliche Karbonisierungstiefen zwischen 2 bis > 20 mm bei einer Betondeckung von 12 mm festgestellt. Die vorhandene Bewehrung in Form eines verdrehten Stahles deutet auf eine Vorspannung der Elemente hin.

Obwohl die Bimsbeton-Stegdielen grundsätzlich unabhängig von den Kassettenelementen zu bewerten sind, ist bei beiden Bauteilen gleich, dass sich der Großteil der Bewehrung bereits im karbonatisierten Beton befindet, weshalb der natürliche Korrosionsschutz der Bewehrung nicht mehr gegeben ist.

In Bereichen mit einer Feuchtebeaufschlagung ist dementsprechend mit aktiven Korrosionsprozessen zu rechnen, sodass auch erhebliche Abrostungsgrade an den ohnehin gering bewehrten Biegebauteilen nicht ausgeschlossen werden können. Gleichwohl wurden im Rahmen der baustofftechnologischen Untersuchungen keine kritischen Abrostungsgrade vorgefunden.

## 5 Bestandsbewertung

Vor dem Hintergrund der geplanten Modernisierung des Betriebshofes Käfertal, was mit der Neuerrichtung einer Wagenhalle einhergeht, soll die bestehende, unter Denkmalschutz stehende, dreischiffige Wagenhalle langfristig weitergenutzt werden. Vor diesem Hintergrund sind sowohl die Standsicherheit als auch die Dauerhaftigkeit der bestehenden Konstruktion nachzuweisen. Inwieweit auch Brandschutzanforderungen zu berücksichtigen sind, ist zum jetzigen Zeitpunkt unklar.

Die Tonnengewölbe wurden ursprünglich aus Kassettenelementen aus Bimsbeton hergestellt. Aufgrund von Kriegsschäden befinden sich jedoch im Bereich des östlichen Seitenschiffes Bimsbeton-Stegdielen anstelle der Kassettenelemente.

Im Bereich der westlichen und mittleren Wagenhalle befinden sich eine Vielzahl von Verfärbungen und Ausblühungen, die auf eine Wasserbeaufschlagung zurückzuführen sind. Darüber hinaus weisen die Kassettenelemente auch Schadstellen in Form von Rissen und Betonabplatzungen und bereichsweise erhebliche Verformungen / Durchbiegungen auf.

Baustofftechnologische Untersuchungen zeigen, dass der Konstruktionsbeton durchkarbonatisiert ist, was aufgrund des Bauteilalters und porösen Materialgefüges zu erwarten war. Dementsprechend weisen auch die Bewehrungseinlagen bereits oberflächige Korrosionserscheinungen in geringem Umfang auf.

Die vorhandenen Beeinträchtigungen haben bereits zu Sicherungsmaßnahmen geführt. Um eine Gefährdung durch herabfallende Betonbruchstücke zu vermeiden, wurden in der Vergangenheit Netze gespannt. Darüber hinaus wurden Kassettenelemente mit einer erheblichen Durchbiegung mit einer Holzkonstruktion unterstützt.

Von Beeinträchtigungen betroffen sind große Abschnitte der beiden Tonnengewölbe, sodass vorsichtig geschätzt lediglich ein Drittel der Kassettenelemente in der Dachfläche keine Beeinträchtigungen aufweist.

Im Bereich des östlichen Seitenschiffes sind nur vereinzelt Beeinträchtigungen an der Deckenunterseite der Bimsbeton-Stegdielen erkennbar.

Zusammengefasst befinden sich die Tonnengewölbe über dem westlichen und mittleren Hallenteil in einem altersentsprechenden, mäßigen Zustand am Ende ihrer Lebensdauer, während die Bimsbeton-Stegdielen einen vergleichsweise guten Zustand aufweisen.

Vor dem Hintergrund von Denkmalschutzanforderungen, sind nach unserer Einschätzung jedoch insbesondere die Kassettenelemente der Dachkonstruktion von Interesse. Zum langfristigen Erhalt der Bauteile ist die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit der Elemente nachzuweisen.

Zum rechnerischen Standsicherheitsnachweis ist die Kenntnis der Werkstoffeigenschaften der Bauteile erforderlich, die im Rahmen einer aufwendigen Bauteilbeprobung zu ermitteln sind. Hierzu sind mindestens 3 Kassettenelemente auszubauen und umfangreich hinsichtlich der Werkstoffparameter Betondruckfestigkeit und Stahlzugfestigkeit bzw. Streckgrenze zu beproben. Eine Beprobung der Elemente im eingebauten Zustand ist nicht möglich.

Für den Fall, dass die Standsicherheit rechnerisch nicht nachgewiesen werden kann, was anzunehmen ist, besteht die Möglichkeit, eines experimentellen Nachweises im Rahmen von Traglastversuchen, was wiederum den Ausbau von Deckenelementen erfordert.

Unabhängig von der Vorgehensweise kann die Standsicherheit im besten Fall jedoch nur unbeschädigten Elementen bestätigt werden, was zur Folge hat, dass nur ein Teil der Dachfläche erhalten werden kann.

Zur Weiternutzung der Halle im Rahmen der Modernisierung des Betriebshofes ist in jedem Fall die vorhandene Dachabdichtung zu erneuern, was nicht zu einer zusätzlichen Belastung der Dachkonstruktion führen darf.

Dies hat zur Folge, dass die vorhandene, mehrlagige, teerpechhaltige Dachabdichtung, von der angenommen wird, dass es sich um eine Verbundabdichtung handelt, vollständig entfernt werden muss. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit dies möglich ist, ohne die sehr dünnen Deckenspiegel der Kassettenelemente zu beschädigen.

Ist die Erneuerung der Dachabdichtung mit einer Zunahme von Eigengewichtslasten verbunden, ist eine Nachrechnung der Elemente erforderlich.

Unabhängig davon ist die fehlende Dauerhaftigkeit der Elemente aufgrund der fortgeschrittenen Karbonatisierung des Betons kritisch zu bewerten. Während sich im aktuellen Betriebszustand offensichtlich ein geringer Feuchtegehalt und damit langsamer Schadensfortschritt eingestellt hat, bestehen Bedenken, dass durch ein verändertes Nutzungsverhalten (Auftrag Dämmung, geringere Heizleistung etc.) möglicherweise der Feuchtehaushalt des Bimsbetons ungünstig verändert, was eine Beschleunigung des Schadensfortschrittes zur Folge haben kann.

Nach unserer Einschätzung führen die klassischen Instandsetzungsprinzipien gemäß TR-Instandhaltung des DIBt [R2] aufgrund der geringen Bauteilquerschnitte und des porösen Betongefüges nicht zu einer langfristigen Sicherstellung der Dauerhaftigkeit.

Ursächlich hierfür ist, dass der Ersatz von karbonatisiertem Beton (Instandsetzungsprinzip 7.2) den Austausch des kompletten Bauteilbetons erfordern würde und eine vollflächige Beschichtung der Bauteile (Instandsetzungsprinzip 7.7) im Stoßbereich der Elemente nicht ausführbar ist. Es ist davon auszugehen, dass bereits der Zutritt von Feuchtigkeit im Bereich der Stoßfugen ausreicht, um langfristig Korrosionsprozesse innerhalb der Elemente zu begünstigen.

Darüber hinaus kommen Instandsetzungsprinzipien, die zu einer Erhöhung des Eigengewichtes der Konstruktion führen (z. B. Instandsetzungsprinzip 7.1: Erhöhung der Betondeckung, Instandsetzungsprinzip 7.4: Realkalisierung durch Diffusion), aufgrund der fehlenden Lastreserven der Fertigteilelemente nicht in Frage.

## 6 Weiters Vorgehen

Vor dem Hintergrund des zuvor beschriebenen Sachverhaltes empfehlen wir im nächsten Schritt eine Kontaktaufnahme mit der zuständigen Behörde für Denkmalschutz, um die Problematik und den Umfang der zu erhaltenden Bauteile abzustimmen.

Aus statisch-konstruktiver Sicht ist es unwahrscheinlich, dass die Standsicherheit bereits schadhafter Kassettenelemente nachgewiesen und deren Dauerhaftigkeit langfristig sichergestellt werden kann. Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend, dass ohnehin nur ein Teil der vorhandenen Dachelemente unter wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erhalten und weitergenutzt werden kann.

Vorstellbar wäre zum Beispiel, intakte Elemente auszubauen und in einem begrenzten Hallenabschnitt einzubauen, in dem die klimatischen Randbedingungen (trocken, warm) so eingestellt werden, dass Korrosionsprozesse unwahrscheinlich sind.

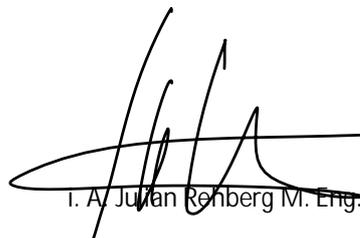
Zur Wiederherstellung der gesamten Dachfläche könnte dann ggf. auf neue Kassetten-Elemente zurückgegriffen werden, die in ihrem Aussehen den vorhandenen Elementen ähneln / gleichen.

Sollte solch eine Vorgehensweise in Erwägung gezogen werden, wäre im nächsten Schritt die rechnerische Überprüfung der Standsicherheit der vorhandenen Dachelemente erforderlich. Neben der Kenntnis der Werkstoffparameter, die im Rahmen einer kostenintensiven Bauteilbeprobung zu ermitteln sind, müssen hierzu auch die maßgebenden Einwirkungskennwerte bekannt sein. Dies setzt voraus, dass seitens der Objektplanung die geplanten Dachaufbauten bekanntgegeben werden.

Mannheim, 07.09.2022



i. A. Dr.-Ing. Florian Stauder



i. A. Julian Rehberg M. Eng.



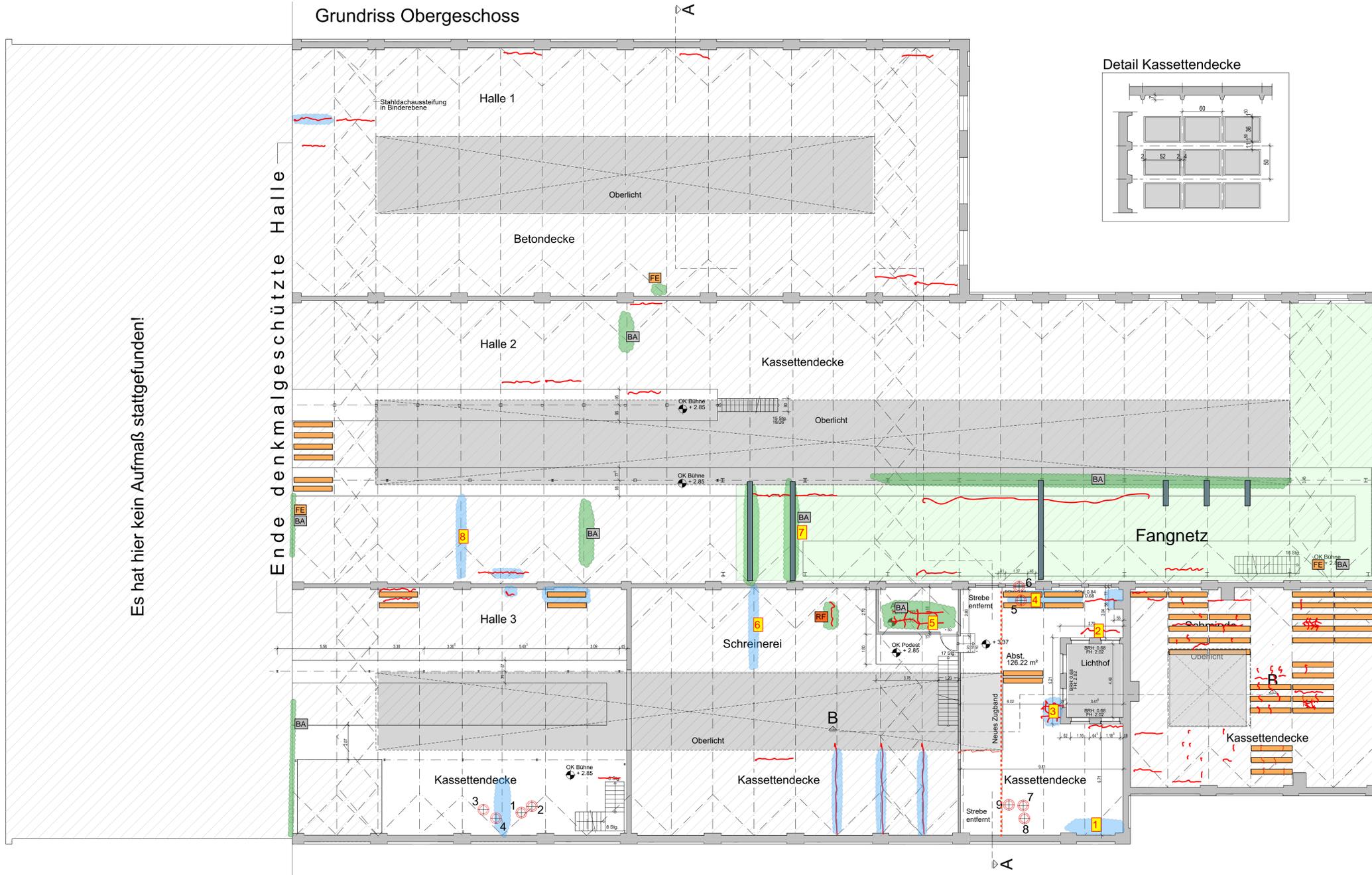
# **Anlage 1:**

## **Schadenskartierung inkl.**

### **Bilddokumentation**

Legende	
	Freiliegende Bewehrung
	Rostfahne
	Betonabplatzung
	Betonschadstelle
	Verschmutzungen
	Bildaufnahme Nr.
	Riss
	Verstärkungsmaßnahme
	Bauteiluntersuchung

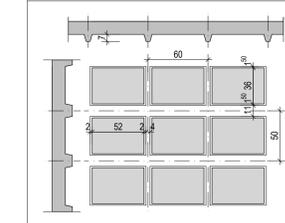
### Grundriss Obergeschoss



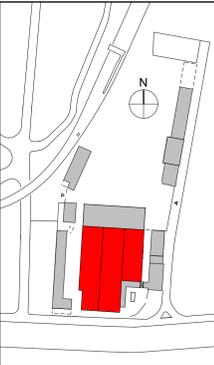
Es hat hier kein Aufmaß stattgefunden!

Ende denkmalgeschützte Halle

### Detail Kassettendecke



### Lageplanübersicht (unmaßstäblich)



Plan-Status:  
V = Vorabzug; P = Prüflauf; F = Freigabestand

Index	Datum	Änderung	Gezeichnet	Geprüft
-	25.03.2022	Erstellung auf Grundlage Bestandsplanung Architekturbüro Wolf vom 03.03.2022	WeT	Rei

Freigabe Architekt      Freigabe Prüfingenieur      Maßstab 1:100

Planverfasser: **INGENIEURGRUPPE BAUEN**  
BEREITUNG: 10 6910 MANNHEIM TEL.: 49 (0)611 419 40-0 KARLSRUHE | MANNHEIM | BERLIN | FREISING

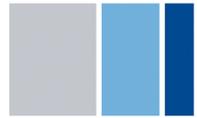
Bauherr: Rhein-Neckar Verkehr GmbH  
 Infrastruktur (IS), Abt. Planung (IS4)  
 Möhlstraße 27  
 68165 Mannheim

Bauvorhaben: RNV Betriebshof Käfertal, 3-schiffige Wagenhalle  
 Bestandsaufnahme und Zustandsbewertung der Tonnendächer

Planinhalt: Schadenskartierung  
 Grundriss Obergeschoss

Projektnummer	Planner	Bauab.	Ebene	Plannummer	Index	Status
022/2031	T	-	-	E 0 0 3	-	F

Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor. Ohne unsere vorherige Zustimmung darf diese Zeichnung weder ververvielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht noch in anderer Weise modifiziert oder veröffentlicht werden.



**Bilddokumentation der Schäden:**

Betriebshof RNV Wagenhalle



Bild Nr. 1 / Feuchteschäden

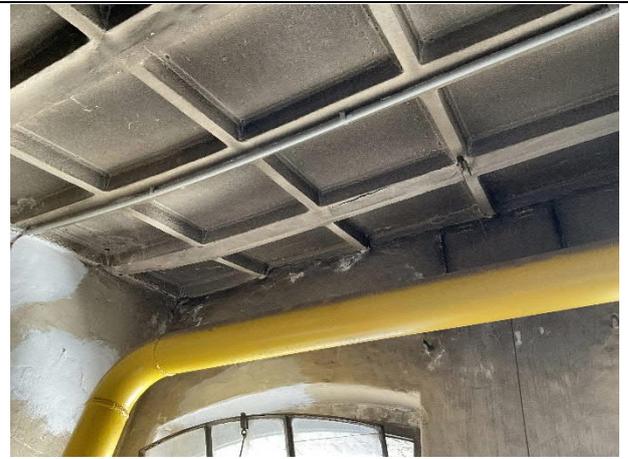


Bild Nr. 2 / deformiert, Längsrisse



Bild Nr. 3 / Feuchteschäden, Risse



Bild Nr. 4 / Feuchteschäden, Betonaustausch



Bild Nr. 5 / Risse, Abplatzungen

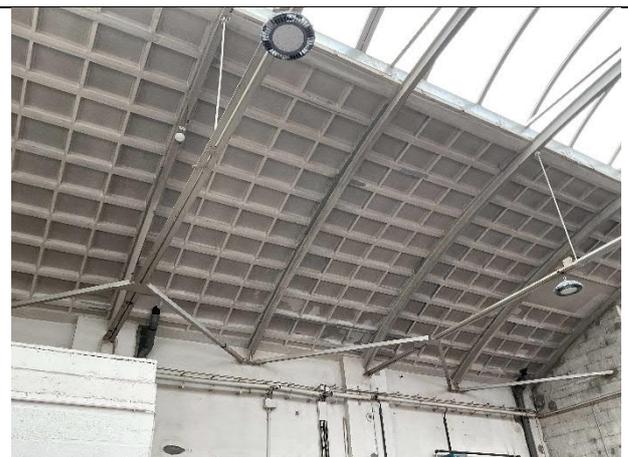


Bild Nr. 6 / Verschmutzung am Auflager



**Bilddokumentation der Schäden:**



Bild Nr. 7 / Abplatzungen im Auflagerbereich



Bild Nr. 8 / Verschmutzungen am Auflager



# **Anlage 2:**

## **Bilddokumentation Sondieröffnungen**



**Bilddokumentation der Sondieröffnungen:**

Betriebshof RNV Wagenhalle



Nr. 1 | Bimsbetonkassettenelemente – Spiegel | Betondeckung 17 mm | Karbonatisierung 25 mm | Rundstahl Ø 5,5 mm | Oberflächige Korrosion



Nr. 2 | Bimsbetonkassettenelemente - Steg | Betondeckung 12 mm | Karbonatisierung >50 mm | Rundstahl Ø 9 mm | Oberflächige Korrosion



Nr. 3 | Bimsbetonstegdielen | Betondeckung 12 mm | Karbonatisierung 2 mm | Stahldraht Ø 2,5 mm verdreht – vermutlich vorgespannt | Keine Korrosion



Nr. 4 | Bimsbetonstegdielen - Verschmutzt | Betondeckung 12 mm | Karbonatisierung >20 mm | Stahldraht Ø 2,5 mm verdreht – vermutlich vorgespannt | Keine Korrosion



Nr. 5 | Bimsbetonkassettenelemente - Spiegel | Betondeckung 9 mm | Karbonatisierung >20 mm | Rundstahl Ø 9 mm | Oberflächige vorangeschrittene Korrosion



**Bilddokumentation der Sondieröffnungen:**



Nr. 6 | Bimsbetonkassettenelemente - Steg | Betondeckung 10 mm | Karbonatisierung >20 mm | Rundstahl  $\varnothing$  9 mm | 5% Korrosionsabtrag



Nr. 7 | Bimsbetonkassettenelemente - Spiegel | Betondeckung 18 mm | Karbonatisierung >20 mm | Rundstahl  $\varnothing$  9 mm | Oberflächige Korrosion



Nr. 8 | Bimsbetonkassettenelemente - Steg | Betondeckung 25 mm | Karbonatisierung >30 mm | Rundstahl  $\varnothing$  9 mm | Oberflächige Korrosion



Nr. 9 | Bimsbetonkassettenelemente - Rippe | Betondeckung 35 mm | Karbonatisierung >35 mm | Rundstahl  $\varnothing$  6 mm | Oberflächige Korrosion