

PRÜFBERICHT 2022-045

Auftrag vom:	03. Mai 2022
Auftraggeber:	Stadt Laupheim Amt für Bautechnik Marktplatz 1 88471 Laupheim
Objekt:	Carl-Lämmle-Gymnasium Herrenmahd 9 88471 Laupheim
Bauteile:	Stahlbetonstützen
Aufgabenstellung:	Bestimmung Chloridgehalt Messung Karbonatisierungstiefe Bestimmung Korrosionsgrad an Bewehrung
Aufgestellt am:	27.06.2022
<u>Dieser Prüfbericht umfasst:</u>	Blatt 1-52 Anlagen 1-4

Der Prüfbericht darf nur für die o.g. Aufgabenstellung verwendet werden. Eine gekürzte oder auszugsweise Vervielfältigung bedarf der schriftlichen Genehmigung des Verfassers.

Inhaltsverzeichnis

1.0	Auftrag und Zweck der Untersuchungen	3
2.0	Aufgabenstellung	4
3.0	Baubeschreibung	6
4.0	Normen, Literatur und Unterlagen	8
4.1	Normen	8
4.2	Literatur	8
4.3	Unterlagen	9
5.0	Beschreibung der durchgeführten Prüfungen.....	10
5.1	Chloridgehalt	10
5.2	Betondeckung	10
5.3	Karbonatisierung der Betonteile	10
5.4	Stemmöffnungen.....	11
5.5	Lage der Prüfstellen	12
6.0	Auswertung und Beurteilung.....	13
6.1	Chloridgehalt der Betonbauteile	13
6.2	Messung Betondeckung	16
6.3	Karbonatisierung der Betonteile	18
6.4	Stemmöffnungen.....	20
7.0	Allgemein anerkannte Regeln der Technik (AaRT).....	23
7.1	DIN EN 206-1 Beton.....	23
7.2	DIN EN 1992-1-1.....	24
7.3	DIN 1045-3.....	27
7.4	Hefte 526 und 600 des DAfStb.....	27
7.5	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) -Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie).....	29
7.6	DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“	30
7.7	RI-EBW-PRÜF 2017	30
8.0	Feststellungen	31
9.0	Instandsetzung	33
9.1	Instandsetzungsprinzipien	34
9.2	Instandsetzungsprinzipien Technische Regel 2021	40
9.2.1	Instandsetzungsprinzipien gem. Tabellen 5 und 6 der TR Teil 1	40
9.2.2	Oberflächenschutzsysteme gem. Tabelle 12 der TR Teil 1	44
9.3	Instandsetzung Stützensockel und Fundamente Variante 1	44
10.0	Wartungsplan.....	47
11.0	Baulogistik und Bauausführung.....	48
12.0	Zusammenfassung	49
13.0	Anlagen	52

1.0 Auftrag und Zweck der Untersuchungen

Im Dezember 2021 wurden durch unser Büro erste sondierende betontechnologische Untersuchungen an den Stahlbetonbauteilen Carl- Lämmle Gymnasium in Laupheim durchgeführt. Insbesondere an den zwei Stützen am Eingang zum Hauptgebäude wurden bei diesen Untersuchungen Chloridgehalte von 3,8 Masse% Cl bei der Entnahmetiefe bis 20 mm und noch ca., 0,8 Masse% Cl bis 60 mm Entnahmetiefe vorgefunden.

Aufgrund der hohen Chloridgehalte wurden zur Instandsetzungsplanung weitere verifizierende Messungen erforderlich.

Diese weiteren Untersuchungen wurden unserem Büro mit Auftrag vom 3.05.2022 durch die Stadt Laupheim beauftragt, sodass die Bauwerksuntersuchungen am 09.06.2022 am Objekt durchgeführt wurden.

Die Untersuchungen beschränkten sich auf die Stützensockel wie sie in den Plänen unter Anlage 1 abgebildet sind.

Die Lage der Probeentnahmestellen sind aus der beigefügten Plänen zu entnehmen. Die Prüfergebnisse sollen Erkenntnisse über

- den Chloridgehalt
- die Betondeckung
- die Karbonatisierungstiefe
- Korrosionsgrad an der Bewehrung

erbringen.

Der Prüfumfang sowie die Prüfstellen ergaben sich aus dem Auftrag und wurden durch das Architekturbüro Ladel aus Laupheim festgelegt, so dass am 09.06.2022 die Prüfungen und Probeentnahmen am Objekt durch uns erfolgten.

2.0 Aufgabenstellung

Die beanstandeten Stahlbetonstützen der Gebäude Carl- Lämmle Gymnasium in Laupheim wurden gemeinsam im Zuge der Erstellung des Schul- und Aulagebäudes Herrenmahl 9 in Laupheim ca. Anfang der 1980er Jahre erstellt.



Bild 1: Eingang zum Hauptgebäude

Prüfungen

Es wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Messung Chloridgehalt Stützensockel
- Betondeckung im Bereich der Chloridentnahmestellen
- Messung Karbonatisierung
- Stemmöffnungen zur Bestimmung Korrosionsgrad der Bewehrung

Im Rahmen der ersten Bauwerkuntersuchung im Dezember 2021 wurden an den zwei Stützen am Eingang zum Hauptgebäude erhebliche Mengen an Chlorid analysiert.

Die hohen Chloridgehalte von ca. 3,8 Masse% Cl bezogen auf den Zementgehalt hat den Bauherrn veranlasst, weitere Proben an den statisch relevanten Stützen durchzuführen.

Von dem vom Auftraggeber eingeschalteten Statiker und dem Architekturbüro Ladel wurde die Lage der Probeentnahmestellen festgelegt, sodass die Bauwerksuntersuchungen am 09.06.2022 von unserem Büro durchgeführt werden konnten.



Bild 2: Beton und Stahlkorrosion am Stützenkopf an Stütze 2 bei Probestelle 11

Alle Stahlbetonstützen im Außenbereich sind mit Graffiti beschichtet. Die Innenstützen bei den Probestellen 5 bis 7 sind mit einem Putz belegt. Im Sockelbereich ist eine Sockelplatte aufgebracht, die unmittelbar anstehendes Wasser von den Stützen fern hält.

Zur Bohrmehlentnahme wurden die Sockelplatten entfernt, damit die Bohrmehlprobe knapp über der Oberkante Fußboden genommen werden konnte.

Zur Planung des Instandsetzungsbedarf wurden die vor genannten Prüfungen durchgeführt, die Ergebnisse im vorliegenden Prüfbericht dokumentiert.

3.0 Baubeschreibung

Das Bild 3 zeigt eine Übersichtsaufnahme des Objektes. Das Schulzentrum besteht aus dem Hauptgebäude, zwei Nebengebäuden und der Aula.

Quelle: google maps



Bild 3: Übersicht der Lage Carl-Lämmle Gymnasium in Laupheim

Die Schulgebäude wurden in massiver Bauweise erstellt. Die anfallenden Lasten werden über die Deckenplatten in die Unterzüge und weiter über die Wände und Stützen in die Fundamente abgeleitet.

Die Zufahrt zu den Schulgebäuden erfolgt von der Straße Herrenmahl über den Schulhof. Die Außenstützen sind mit Graffiti belegt.

Größere Betonschadstellen sind ausschließlich an der Stütze S3 am Stützenkopf optisch zu erkennen. Die Stahlbetonbauteile der Stützen der Schulgebäude sind allesamt mit einem

Farbanstrich bzw. verputzt ausgeführt worden. Schäden oder sonstige Unregelmäßigkeiten sind nicht bzw. nur in geringen Umfang zu erkennen.

Die Stützensockel der Schulgebäude, die direkt an die begehbaren Flächen angrenzen, und dadurch mit Tausalzen beaufschlagt wurden, zeigen trotz der Nutzung von ca. 24 Jahren bisher nur in geringem Umfang einen Chlorideintrag.

Für die Beurteilung und das Instandsetzungskonzept muss nach derzeitigem Kenntnisstand davon ausgegangen werden, dass alle Bauteile fachgerecht nach den geltenden Regelwerken instandgesetzt werden.

4.0 Normen, Literatur und Unterlagen

4.1 Normen

- N1** DIN EN 1992-1/2011-01: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken-Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau- Deutsche Fassung, Beuth Verlag GmbH, Berlin , Januar 2011
- N2** DIN EN 1992-1/NA: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken-Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau- NA Nationaler Anhang- National festgelegte Parameter- Deutsche Fassung, Beuth Verlag GmbH, Berlin , Änderung A1, Dezember 2015
- N3** DIN 1045-1: 2001-07 Tragwerke aus Beton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Deutsches Institut für Normung e.V. Technische Baubestimmungen, 2004, Beuth Verlag GmbH
- N4** DIN 1045; Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung, Beuth Verlag GmbH, Berlin Juli 1988
- N5** DIN 1045-2: 2001-07 Tragwerke aus Beton und Spannbeton, Teil 2: Betonfestlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Deutsches Institut für Normung e.V. Technische Baubestimmungen, 2004, Beuth Verlag GmbH
- N6** DIN EN 12504-2, Deutsche Norm, Prüfung von Beton in Bauwerken, Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung, Bestimmung der Rückprallzahl; Deutsche Fassung EN 12504-2:2001, Dezember 2001, Deutsches Institut für Normung e.V., Technische Baubestimmungen, 2004, Beuth Verlag GmbH
- N7** DIN 1048, Teil 2, deutsche Normung, Prüfverfahren für Beton, Festbeton in Bauwerken und Bauteilen, Juni 1991, Deutsches Institut für Normung e.V. Technische Baubestimmungen, 2004, Beuth Verlag GmbH
- N8** Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Burggrafenstraße 6, D- 10787 Berlin, Schutz und Instandsetzungsrichtlinie Oktober,2001, Sonderdruck mit Genehmigung DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH

4.2 Literatur

- L1** Tiefgaragen und andere Parkbauten, Korrosionsschutz von Stahlbetonbauteilen bei Chloridbelastung, Hinweise zur Instandsetzung, Heft 6, , Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-9033-4, Ausgabe 2015.

- L2** Erhaltung von Bauwerken, Baustoffe und ihre Eigenschaften, Raupach/ Orlowsky, Vieweg und Teubner/ GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Ausgabe 2008
- L3** Neufassung des Merkblattes „Parkhäuser und Tiefgaragen“ DBV, Dr. Wolff, Zusammenfassung.
- L4** Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; DAfStb; DAfStb-Instandsetzungs –Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 1 bis Teil 4, Ausgabe 2001 einschließlich Berichtigungsblätter.
- L5** Deutscher Beton- und Bautechnikverein e.V.: Heft 20 Parkhäuser und Tiefgaragen- das neue DBV- Merkblatt 2018, 3.te überarbeitete Fassung Januar 2018
- L6** Neuer Streit um Tiefgaragen, Ein Aufsatz von WRD Berlin, RA Hendrik Bach
- L7** Michael Raupach/ Jeanette Orlowsky, Erhaltung von Bauwerken, 1. Auflage 2008, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
- L8** Rolf P. Gieler/ Andrea Dimming- Osburg, Kunststoffe für den Bautenschutz und die Betoninstandsetzung, 2006 Birkhäuser Verlag, Postfach 133, Ch-4010 Basel, Schweiz
- L9** Manfred Schröder und 7 Mitautoren, Schutz und Instandsetzung von Stahlbeton, 7., überarbeiteten Auflage, Auflage 2015, expert Verlag, Wankelstraße 13, 71272 Renningen
- L10** Roland Benedix, Bauchemie, Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten, 5., überarbeitet und aktualisierte Auflage 2011, Vieweg+ Teubner Verlag, Wiesbaden 2011
- L11** Hans Schuhmann, Kunsthartzbeläge; Mängelfreie Ausführung und bauphysikalische Grundlagen Band 2, Fraunhofer Verlag, 2005
- L12** Horst Reul, Sanierung von Tiefgaragen und Parkhäusern; Schäden-Ursachen-Maßnahmen, Fraunhofer Verlag , 2011
- L13** Robert Engelfried, Helena Eisenkrein, Schäden an polymeren Beschichtungen, 2., überarbeitete Auflage 2012, Fraunhofer Verlag
- L14** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 RI-EBW-PRÜF, 2017

4.3 Unterlagen

Durch den Auftraggeber wurden uns folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:



CLG Laupheim
Stützen Unterschu



190308_CLG-Aula_B
estand_OG.pdf



190308_CLG-Aula_B
estand_EG.pdf

5.0 Beschreibung der durchgeführten Prüfungen

5.1 Chloridgehalt

Chloride beschleunigen die Korrosion der Bewehrung erheblich. Üblicherweise werden Chloride über Tausalze oder chemische Prozesse in den Beton eingetragen. Zur Ermittlung des Chloridgehalts wurden Bohrmehlproben in den Stützensockeln in den Tiefenstufen 0-20, 20-40 und 40-60 mm entnommen. Diese so, mit einem speziellen Bohrmehlentnahmegerät, gewonnenen Proben, wurden dann zur Analyse in das Labor CP Analytics, Fellbach, gebracht. Die Analyse wurde durch Photometrie und Kaltaufschluss mit verdünnter Salpetersäure durchgeführt.

Der angenommene, zugrunde gelegte Zementgehalt wurde mit 320 Kg/m^3 bei einer Betonrohddichte von 2250 Kg/m^3 umgerechnet. Auf dieser Grundlage ergibt sich für die Umrechnung des Chloridgehaltes von Beton auf den Zementgehalt der Faktor $f = 7$.

5.2 Betondeckung

Für eine Beurteilung des Korrosionsrisikos der Bewehrung sind, neben der Carbonatisierungstiefe, Erkenntnisse über die Betondeckung unabdingbar. Die Bestimmung der Betondeckung erfolgte zerstörungsfrei mit dem Profometer der Firma Proseq. Das Gerät arbeitet mit magnetischer Induktion nach dem Wechselfeldverfahren. Zur Ortung der Bewehrung wird der minimale Abstand zwischen einer auf der Betonoberfläche geführten Messsonde und dem magnetisierbaren Bewehrungsseisen bestimmt. Aufgrund der am Bauteil vor Ort vorliegenden Randbedingungen sollten im Rahmen der Messungen die Planungsunterlagen, wenn vorhanden, gesichtet werden.

5.3 Karbonatisierung der Betonteile

Bei der Hydratation der Calciumsilikate wird durch Hydrolyse Calciumhydroxid (Ca(OH)_2) abgespalten. Von diesem Ca(OH)_2 können nur geringe Mengen im Porenwasser des Betons gelöst werden, während der Rest in kristalliner Form vorliegt. Die Ca(OH)_2 Lösung erzeugt einen pH-Wert von 12,6. Aus der Umgebungsluft in den Beton eindringendes Kohlenstoffdioxid CO_2 wandelt die Alkalihydroxide KOH und NaOH sowie das Calciumhydroxid in Carbonate um.

Dabei geht das anfangs zum größten Teil kristallin vorliegende Ca(OH)_2 sukzessive in Lösung, so dass bei CO_2 Einwirkung reaktionsfähiges Ca(OH)_2 verbraucht wird, und die Alkalihydroxide in Alkalicarbonat umgewandelt werden, so dass der pH-Wert auf unter 9 absinkt. [1].

Durch die Absenkung des pH-Wertes wird die Passivierung des Bewehrungsstahls im Beton nicht mehr gewährleistet. Durch die Alkalitätsabnahme ist ein aktiver Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls nicht mehr vorhanden.

Ist der Beton nun Feuchtebeanspruchungen ausgesetzt, kommt es zur Stahlkorrosion und der damit verbundenen Treiberscheinung durch Volumenvergrößerung des Stahls bei der Rostbildung. Dies kann zu Abplatzungen des Betons mit freiliegender Bewehrung führen.

Da die Eindiffusion von Kohlendioxid in Beton den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt aller Karbonatisierungsreaktionen darstellt, nimmt die Karbonatisierungsgeschwindigkeit mit steigender Betonporosität und fallendem Wassergehalt zu.

Quelle: Tiefgaragen und andere Parkbauten [1]

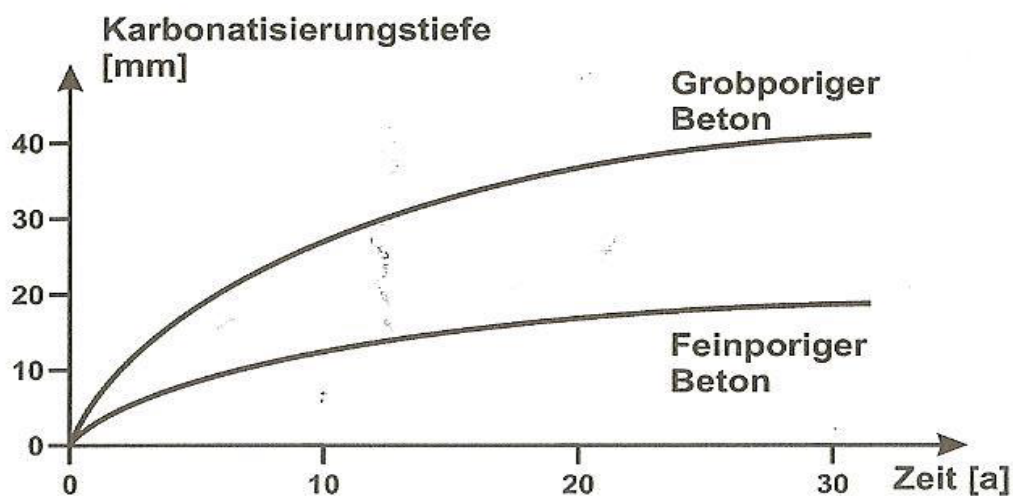


Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Karbonatisierungstiefe

Als Kennwert für die Karbonatisierungstiefe wird die Zone mit einem pH-Wert $> 8,5$ betrachtet. Diese Zone wird am einfachsten durch Besprühung mit dem Indikator Phenolphthalein auf frische Bruchflächen gekennzeichnet [2].

5.4 Stemmöffnungen

Es wurden an 3 Stellen Bauteilöffnungen bis zur Bewehrung vorgenommen. Anhand dieser Öffnungen konnte der Grad der Korrosion an der Bewehrung bestimmt werden.

Der Zustand der freigelegten Bewehrung wird gemäß den folgenden Kriterien bewertet:

Legende Korrosionsgrad

- 0 blank
- 1 wenig Rostpunkte

- 2 Rostflecken. Lokaler geringer Materialabtrag.
- 3 Vollständig rostig, geringer Materialabtrag (max. Rippung abkorrodiert)
- 4 Querschnittsminderung: Lochfrass mit Angabe des Querschnittsverlust

5.5 Lage der Prüfstellen

Plan Entnahmestellen Bohrmehl und Stemmstellen	Anlage 1
Analyse Chloridproben	Anlage 2
Prüfprotokolle Messung Betondeckung	Anlage 3
RI-EBW-PRÜF 2017	Anlage 4

6.0 Auswertung und Beurteilung

6.1 Chloridgehalt der Betonbauteile

Insbesondere im Winter werden Stahlbetonbauteile mit tausalzhaltiger Feuchtigkeit und Schneematsch über Streusalze durch Winterdienst beaufschlagt.

Je nach Betonqualität kann insbesondere in Rissbereichen chloridhaltige Feuchtigkeit bis zum Bewehrungsstahl eindringen. Haben die Chloride den Stahl erreicht, durchdringen sie örtlich die Passivschicht der Stahloberfläche. In Verbindung mit Sauerstoff und Wasser findet eine in der Tiefe fortschreitende Eisenauflösung statt. Diesen Vorgang bezeichnet man als Lochfraß- oder Muldenkorrosion. Besonders gefährdete Bereiche sind Bodenflächen, Sockelbereiche von aufgehenden Bauteilen, an denen sich Pfützen bilden können, sowie Fugenbereiche und Deckenkonstruktionen im Bereich der größten Durchbiegungen.

Der kritische, korrosionsauslösende Chloridgehalt ist keine feste Größe. Er hängt von zahlreichen objektspezifischen Eigenschaften ab. So ist der Korrosionsfortschritt unter anderem sehr stark abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt im Beton. . Zudem ist die chloridinduzierte Korrosion von der Betonqualität, insbesondere der Dichtheit abhängig. Bei sehr dichtem Beton ist die Sauerstoffdiffusion behindert und der Korrosionsgrad geringer. Allgemein wird jedoch nach den geltenden Richtlinien zur Beurteilung des korrosionsauslösenden Chloridgehaltes ein Maximalwert von 0,5 Masse% Cl bezogen auf den Zementgehalt zu Grunde gelegt.

Zur Ermittlung des Chloridgehalts wurden 12 Bohrmehlproben aus drei Tiefenstufenschritten entnommen. Die so, mit einem speziellen Bohrmehlentnahmegerät, gewonnenen 36 Einzelproben wurden dann zur Analyse in das Labor CP Analytics, Fellbach, gebracht. Die Analyse wurde durch Photometrie und Kaltaufschluss mit verdünnter Salpetersäure durchgeführt. Der angenommene, zugrunde gelegte Zementgehalt wurde mit 320 Kg/m^3 bei einer Betonrohichte von 2250 Kg/m^3 umgerechnet. Auf dieser Grundlage ergibt sich für die Umrechnung des Chloridgehaltes auf den Zementgehalt der Faktor $f = 7$.

Betongewicht:	2250 Kg/m^3
Zementgewicht:	320 Kg/m^3
Umrechnungsfaktor:	$2250/320 \text{ Kg/m}^3 = 7,03$

Chloride wirken korrosionsstimulierend, das heißt, sie sind dazu in der Lage, die Korrosion der Bewehrung stark zu beschleunigen. Die chloridinduzierte Korrosion ist unabhängig vom

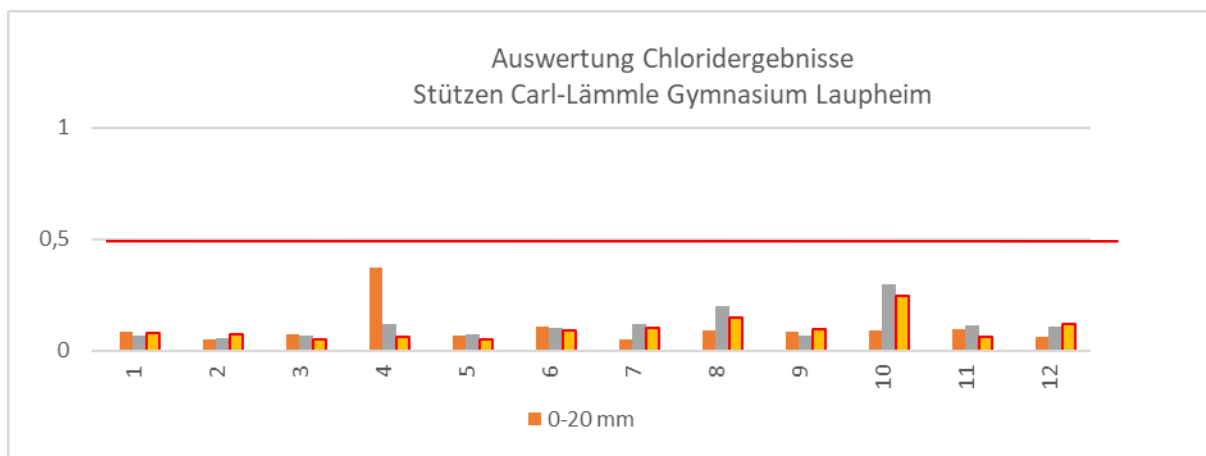
pH-Wert des Betons möglich, das heißt, sie kann auch im nicht karbonatisierten alkalischen Beton ablaufen. Bei der chloridinduzierten Korrosion verzehren sich die Chloridionen nicht. Erst wenn keine Eisenionen mehr zur Verfügung stehen, kommt die Reaktion zum Stillstand. An der Bewehrung kann es unter dem Einfluss von Chloriden zu lokal hohen Abtragsraten des Stahles kommen, das heißt zur Lochkorrosion, **ohne dass an den betroffenen Bauteilen zunächst sichtbare Schaden an der Betonoberfläche auftreten**. Die Lochkorrosion führt zu einer starken Verringerung des Bewehrungsquerschnittes. Dadurch kann es zum Bruch der Bewehrung und letztendlich zum Versagen der betroffenen Bauteile kommen. In den einschlägigen Regelwerken, wie DIN 1045-2 und DAfStb Richtlinie werden folgende kritischen Chloridgehalte, in Massen % Cl bezogen auf den Zementgehalt, genannt:

	<u>DIN 1045</u>	<u>Rili StB</u>
Vorgespannt bewehrt:	0,20	0,20
Schlaff bewehrt:	0,40	0,50

Wenn bei Stahlbetonbauteilen Chloridgehalte über 0,5 M% bezogen auf die Zementmasse und bei Spannbetonbauteilen Werte über 0,2 M% ermittelt werden, sind gemäß der Instandsetzungsrichtlinie des DAfStb Teil 1, Abschnitt 6.5, weitere Maßnahmen durch einen sachkundigen Planer festzulegen, da in der Regel diese Chloridmengen nicht mehr vom Zement chemisch gebunden werden.

Die Ergebnisse der Laboranalyse sind als Anlage 2 beigelegt. In nachfolgenden Grafiken und Tabellen werden die Werte, bauteilbezogen, dargestellt. Die Analyseergebnisse, die über dem festgelegten korrosionsauslösenden Chloridgehalt von 0,5 Masse% bezogen auf den Zementgehalt liegen, wurden in rot eingefärbt. Werte unter dem korrosionsauslösenden Chloridgehalt sind grün eingefärbt. Die Lage der Bohrmehlentnahmestellen können aus dem Plan der Anlage 1 entnommen werden.

Die Entnahme der Bohrmehlproben erfolgte aus Stützenfüßen und Fundamenten. Die Auswahl der Entnahmestellen durch das Architekturbüro Ladel im Juni 2022 erfolgte gezielt, um durch die zusätzlichen Proben einen ersten Überblick über den Zustand der Stützensockel und der Chloridfortschritt in die Fundamente zu erhalten.

**Grafik 1:** Grafische Darstellung der Auswertung Chloridanalyse

Nr.		0-20 mm	20-40 mm	40-60 mm
CI 1	Fußpunkt Stütze	0,082	0,068	0,076
CI 2	Fundament Stütze 2	0,052	0,053	0,071
CI 3	Fundament Stütze 3	0,071	0,065	0,049
CI 4	Fußpunkt Stütze 4	0,374	0,118	0,058
CI 5	Fußpunkt Stütze 5	0,069	0,070	0,052
CI 6	Fußpunkt Stütze 6	0,109	0,101	0,088
CI 7	Fußpunkt Stütze 7	0,052	0,118	0,101
CI 8	Fundament Stütze 8 Aula	0,091	0,198	0,148
CI 9	Fußpunkt Stütze 9 Aula	0,082	0,066	0,097
CI 10	Fußpunkt Stütze 10	0,091	0,299	0,245
CI 11	Stützenkopf Stütze 2	0,096	0,112	0,059
CI 12	bei Stütze 1 und Mauerwerkverblender	0,059	0,104	0,120

Tabelle 1: Zusammenstellung der Werte aus Chloridanalyse

Aus den Stützensockel und Fundamenten wurden an insgesamt an 12 Probestellen 36 Bohrmehlproben in den Tiefenstufen 0-20, 20-40 und 40-60 mm entnommen. Die Chloridwerte aus Untersuchung deuten darauf hin, dass die Flächen in nur geringen Mengen mit Chloriden beaufschlagt wurden.

Die analysierten Chloridgehalte entsprechend weitestgehend dem natürlichen Chloridgehalt von Beton. Ein erhöhter Chloridgehalt, der als kritisch zu betrachten ist, wurde an den 12 Probestellen nicht festgestellt. Der natürliche Chloridgehalt beträgt ca. 0,1 Masse% Cl daraus ergeben sich an den Probestellen CI4, CI6, CI7, CI8, CI10, CI11 und CI 12 minimal erhöhter Chloridgehalte, bezogen auf den natürlichen Chloridgehalt von Beton.

Bei den Messstellen, an denen ein erhöhter Chloridgehalt nachgewiesen wurden, handelt es sich um Stahlbetonbauteile die sich in unmittelbarer Nähe zu den begangenen Flächen befinden. Es kann gesichert davon ausgegangen werden, dass diese im Winter mit Tausalzen beaufschlagt werden, und dadurch ein erhöhter Chloridgehalt nachweisbar war.

Alle 36 Messwerte unterschreiten den in der Rili 2001 [N8] genannten und als korrosionsauslösend geltenden kritischen Chloridgehalt von 0,5 Masse %Cl bezogen auf den Zementgehalt deutlich und sind als unkritisch einzustufen.

6.2 Messung Betondeckung

Eine ausreichende Betondeckung stellt ein maßgebliches Kriterium für den Korrosionsschutz der Bewehrung und somit auch für die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen dar. Dabei ist es wichtig, dass die ausreichende Betondeckung an jeder Stelle eines Bauteils vorhanden ist. Wenn bei der Herstellung von Stahlbetonbauteilen zu niedrige Betondeckungen und/oder größere Lunker bzw. Fehlstellen oder Kiesnester auftreten, können selbst hochwertige Betone den Korrosionsschutz der Bewehrung nicht dauerhaft sicherstellen.

Für die Planung und Ausführung von Stahlbetonbauteilen sind dazu lastabhängige und lastunabhängige Einwirkungen zu berücksichtigen, um die Dauerhaftigkeit der Bauteile sicherzustellen.

Entsprechend den heutigen anerkannten Regeln der Technik werden dabei die lastunabhängigen Einwirkungen mittels so genannter Expositionsklassen in der DIN 1045 erfasst. Es stehen acht Expositions- und Feuchtigkeitsklassen zur Verfügung, jeweils mit Unterklassen. Es wird unterschieden in Einwirkungen auf die Bewehrung sowie auf den Beton als solchen. In jedem Fall ist eine Einstufung in eine der Feuchtigkeitsklassen WO, WF, WA oder WS vorzunehmen. Diese beziehen sich auf die Korrosion des Betons infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion.

Im Hinblick auf die Stützensockel ist der Aspekt der Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung und Chlorideinwirkung von Interesse. Sie können von Wasser, das Chloride enthält, beaufschlagt werden. Legt man die heute gültige DIN EN 1992-1-1 zu Grunde, so entspricht die hier auftretende Beanspruchung der Bewehrung an den Stützensockel der Expositions-klasse XD1.

Expositions-klasse

XD1 = Mäßige Feuchte

Mindestmaß c_{min} = 30 mm

Daraus folgen die Anforderungen an die Zusammensetzung des zu verwendeten Betons, sowie an die Betondeckung und die zulässige Rissbreite.

Tabelle 4.4N — Mindestbetondeckung, $c_{\min, \text{dur}}$ – Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Betonstahl nach EN 10080

Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)							
Anforderungsklasse	Expositions-kategorie nach Tabelle 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tabelle 2: Tabelle Mindestbetondeckung nach DIN EN 1992-1-1: 2004

In nachgestellter Tabelle sind die minimalen, maximalen sowie die mittlere Betondeckung, je Bauteil, zusammengefasst zu entnehmen. Die Bewehrungsdeckung wurde stichprobenhaft an den Messstellen in ca. 0,15 m breiten Streifen mit dem Profometer der Firma Proseq gemessen.

Anlage Nr.	Bauteil	Expositions-kategorie	gefordert C min	mind. BD in mm	max. BD in mm	mittl. BD in mm	Anforderungen erfüllt	
							ja	nein
1	Probestelle CI 1	XD 1	30	23	77	50	x	
2	Probestelle CI 2	XD 3	40	6	77	58		x
3	Probestelle CI 3	XD 3	40	77	77	77	x	
4	Probestelle CI 4	XD 1	30	26	29	27		x
5	Probestelle CL 5	XC 1	10	19	21	20	x	
6	Probestelle CL 6	XC 1	10	31	32	31	x	
7	Probestelle CL 7	XC 1	10	26	50	40	x	
8	Probestelle CL 8	XD 3	40	77	77	77	x	
9	Probestelle CL 9	XD 1	30	17	24	20	x	
10	Probestelle CL 10	XD 1	30	28	77	52	x	
11	Stützenkopf Stütze 2, K11	XC 4	25	15	38	32		x
12	Stützensockel S 2	XD 1	30	12	77	31		x
13	Stützensockel S 3	XD 1	30	31	35	34	x	
14	Stützensockel bei K 8	XC 4	25	15	18	16		x
15	Stützensockel bei K 9	XC 4	25	18	25	20		x
16	Stützensockel bei K 10	XC 4	25	20	52	36		x

Tabelle 3: Tabelle Messung Betondeckung

Aus Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass die mittlere Betondeckung an 13 von 16 Messstellen die Anforderung an die Mindestbetondeckung erfüllen. Jedoch absolut gesehen werden die Mindestbetondeckungen an 10 von 16 Messstellen unterschritten.

Am Fundament der Messstelle 2, kann die Betondeckung durch den Einbau eines Aufbetons auf die Fundamente mit einfachen Aufwand erhöht werden. Die Fundamente an den Messstellen 3 und 8 erfüllen die Anforderungen der Mindestbetondeckung aus ihrer Expositions-klasse nach XD 3 mit C_{min} 40 mm.

Die Stützensockel der Messstellen 5, 6, 7, 8, und 9 werden aufgrund ihrer jetzigen Lage (Überbauung mit Wintergarten) zukünftig nicht mehr mit Chloriden beaufschlagt. Sie sind daher der Expositions-klasse XC 1 zuzuordnen. Die Anforderungen an die Mindestbetondeckung nach XC 1 mit C_{min} 10 mm werden erfüllt.

Kritisch zu betrachten sind die Mindestbetondeckungen an den Messtellen 4, 9 und 10. Hier handelt es sich um Stützensockel, die im Winter mit Tausalzen beaufschlagt werden. Die Untersuchungen aus Dezember 2021 an den Stützen der Messtellen S2 und S3 mit Chlo-ridgehalten bis 3,8 Masse% Cl bestätigen die hohe Tausalzbelastung der Stahlbetonstützen. Das Ingenieurbüro Peter Grandel GmbH beurteilt die genannten Unterschreitungen der Mindestbetondeckung als Mangel im Abgleich mit der DIN EN 1992-1. Der Mangel ist nicht als geringfügig einzustufen, kann aber durch das Aufbringen einer Abdichtung in denjenigen Fällen „geheilt“ werden, in denen eine mittlere Betondeckung von $\bar{c} \geq 25$ mm vorliegt. In den Fällen, in denen die mittlere Betondeckung deutlich unter $\bar{c} = 25$ mm liegt, muss im Zuge der anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen die vorhandene Betondeckung entsprechend erhöht werden.

6.3 Karbonatisierung der Betonteile

Da die Eindiffusion von Kohlendioxid in Beton den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt aller Karbonatisierungsreaktionen darstellt, nimmt die Karbonatisierungsgeschwindigkeit mit steigender Betonporosität und fallendem Wassergehalt zu.

Als Kennwert für die Karbonatisierungstiefe wird die Zone mit einem pH-Wert $> 8,5$ betrachtet. Diese Zone wird am einfachsten durch Besprühung mit dem Indikator Phenolphthalein auf frische Bruchflächen gekennzeichnet [L4].

Die Karbonatisierung wurde gemessen und die Eindringtiefe festgestellt. Diese Ergebnisse der Untersuchung werden in nachfolgender Tabelle zusammengefasst und dargestellt:

Nr.	Lage	Karbonatisierung in mm	Betondeckung in mm	Handlungsbedarf	
				ja	nein
1	Wandscheibe über CI 1	15	23		x
2	Stütze bei CI 2	22	12	x	
3	Stütze bei CI 3	2-3	31		x
4	Stütze bei CI 4	2-3	26		x
5	Stütze bei CI 5	5	19		x
6	Stütze bei CI 6	7	31		x
7	Stütze bei CI 7	4	26		x
8	Stütze über CI 8	1-2	15		x
9	Stütze bei CI 9	2-3	18		x
10	Stütze bei CI 10	4	20		x
11	Stützenkopf bei Stütze S 2	27	12	x	

Tabelle 4: An Prüfstellen ermittelte Karbonatisierung Beton

An den frisch angelegten Bruchstellen wurden die Karbonatisierungstiefen durch Aufspritzen einer Indikatorlösung auf die frische Bruchstelle gemessen.

An den Bruchstellen wurde die Karbonatisierung an der tiefsten Stelle der Prüfstelle 11, mit ca. 27 mm bei einer Betondeckung von 12 mm gemessen. Das heißt, hier befinden sich die Bewehrungseisen im karbonatisierten Beton.

Die Abhängigkeit der Karbonatisierungstiefe „X“ von der Zeit „t“ lässt sich annähernd mit der Wurzelgleichung $X = K\sqrt{t}$ (k= Karbonatisierungskoeffizient)

Daher errechnet sich der Karbonatisierungskoeffizient „k“ an Prüfstelle z.B. Prüfstelle 1 aus dem Alter des Bauwerks

(ca. 24 Jahre: von 1998 bis 2022) annähernd bei K4 mit:

$$K = x/\sqrt{t} = 15\text{mm}/\sqrt{24} = 3,06 \text{ mm/a}^{1/2}$$

Der Wert 3,06 mm/a^{1/2} bedeutet, dass die Betonflächen der Wand bei Prüfstelle 1 im ersten Jahr eine Karbonatisierungstiefe von 3,06 mm erreicht haben.

Setzt man in die Wurzelgleichung für „X“ den Wert der Betondeckung von 23 mm ein, so errechnet sich der Zeitraum „tc“ von der Betonherstellung bis zur Depassivierung der Stahloberfläche, in der die Karbonatisierungsfrent die Stahloberfläche erreicht.

$$t_c = (x/K)^2 = (23/3,06)^2 = \text{ca. 57 Jahre}$$

Das bedeutet, nach ca. 57 Jahren vom Baujahr des Bauwerks bzw. nach 33 Jahren vom Jahr 2022 (57 Jahre – 24 Jahre) angerechnet, kann die Karbonatisierung die Stahloberfläche an Prüfstelle 1 theoretisch erreichen.

Tatsächlich weicht die Karbonatisierungstiefe mehr oder weniger in Richtung eines geringeren Wertes von diesem Funktionsverlauf ab und strebt einem Endwert zu.

Man kann daher nicht gesichert davon ausgehen, dass Schäden durch Karbonatisierung zumindest im Bereich der Prüfstelle K 1, K2 und K 11 aus praktischer Sicht nicht ausgeschlossen werden können. Somit ist in diesem Fall eine Beschichtung der Stützen als Schutz gegen Karbonatisierung, zumindest dort wo die Karbonatisierungsfront im Laufe der Restnutzungsdauer die Bewehrungseisen erreicht, notwendig.

6.4 Stemmöffnungen

Es wurde zur Beurteilung des Korrosionszustandes der Bewehrung an drei Sichtöffnungen der Beton bis zur ersten Bewehrungslage abgestemmt und der Korrosionsgrad der Bewehrung bestimmt. Anschließend wurden die Ausbruchstellen mit einem PCC- Mörtel M2 wieder verschlossen.

Legende Korrosionsgrad

- 0 blank
- 1 wenig Rostpunkte
- 2 Rostflecken. Lokaler geringer Materialabtrag.
- 3 Vollständig rostig, geringer Materialabtrag (max. Rippung abkorrodiert)
- 4 Querschnittsminderung: Lochfrass mit Angabe des Querschnittsverlust [%]

**Bild 5:** Stemmstelle 1 bei CI 2**Stemmstelle 1**

Hauptgebäude
Carl-Lämmle Gymnasium
Laupheim
Stütze bei CI 2

Bauteil Stütze S2

Betondeckung

Stab 18 mm

Bewehrung:

Stab DN 6 mm

Karbonatisierung ca. 22 mm

Korrosionsgrad 1

**Bild 6:** Stemmstelle 2 bei CI 8**Stemmstelle 2**

Hauptgebäude
Carl-Lämmle Gymnasium
Laupheim
Stütze bei CI 8

Bauteil Stütze S 8

Betondeckung

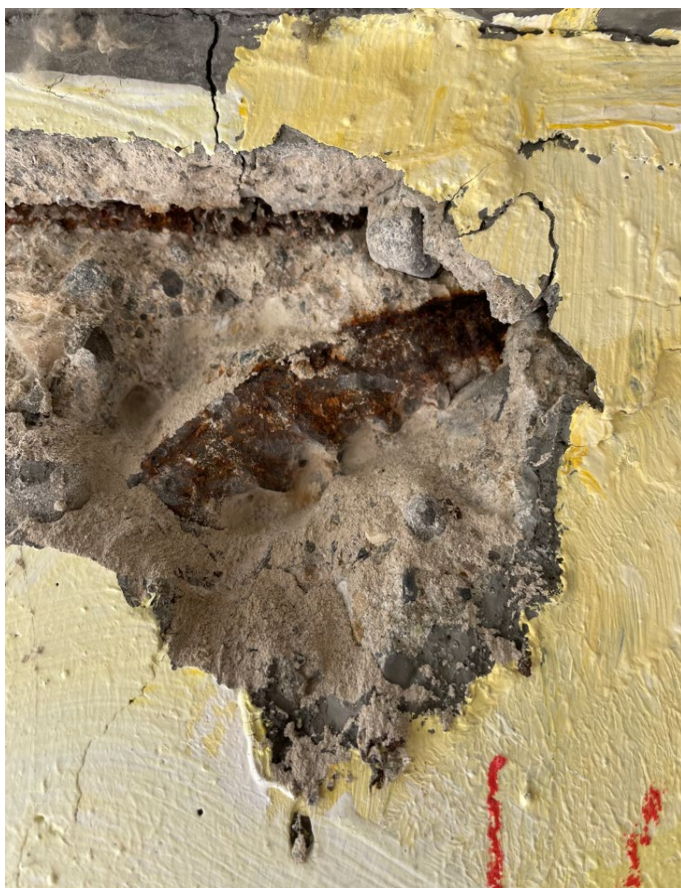
Stab 12 mm

Bewehrung:

Stab 6 mm

Karbonatisierung ca. 1-2 mm

Korrosionsgrad 0

**Stemmstelle 3**

Hauptgebäude
Carl-Lämmle Gymnasium
Laupheim
Stützenkopf bei CI 2

Bauteil Stütze S 2

Betondeckung

Stab 12 mm

Bewehrung: Durchmesser-

Stab 20 mm

Karbonatisierung ca. 27 mm

Korrosionsgrad 1

Bild 7: Stemmstelle 3 Stützenkopf bei Stütze S 2

Insgesamt wurden 3 Bauteilöffnungen angelegt. Vorhandene Schädigungen waren teilweise in Form von Farbablösungen, Flickstellen, freiliegender Bewehrung, Abplatzungen oder Rissen sichtbar. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

	Bauteil	Bemerkungen	Befund
BT 1	Stütze S2	Ablösungen Salzränder	Betondeckung 18mm, Bewehrungskorrosion gering bis keine Karbonatisierungstiefe ca. 22 mm
BT 2	Stütze S 8	Farbablösungen	Betondeckung 12 mm, Bewehrungskorrosion keine bis wenig Bewehrungskorrosion Karbonatisierungstiefe ca. 1-2 mm
BT 3	Stützenkopf S2	Betonabplatzungen	Betondeckung 12 mm, beginnende Bewehrungskorrosion Beton drückt sich über korrodierter Bewehrung ab Karbonatisierungstiefe ca. 27 mm

Tabelle 5: Zusammenstellung der Ergebnisse aus Sichtöffnungen

7.0 Allgemein anerkannte Regeln der Technik (AaRT)

Unter den anerkannten Regeln der Technik sind technische Regeln bzw. Technik Klauseln für den Entwurf und die Ausführung von baulichen Anlagen oder technischen Objekten zu verstehen. Es handelt sich dabei um Erkenntnisse und Erfahrungen, die als richtig und notwendig anerkannt sind (Bereich Theorie) und die sich nach Überzeugung der maßgeblichen Kreise bzw. der maßgeblichen Fachleute auch in der Praxis durchgesetzt haben (Bereich der Praxis). Es sind Regeln, die in der Wissenschaft als theoretisch richtig erkannt sind und feststehen, in der Praxis bei dem nach neuesten Erkenntnisstand vorgebildeten Techniker durchweg bekannt sind und sich aufgrund fortdauernder praktischer Erfahrung bewährt haben.

Eine schriftliche Niederlegung ist nicht erforderlich, anerkannte Regeln der Technik können sich auch in handwerklicher Überzeugung überliefern. Die anerkannten Regeln der Technik müssen nicht zwangsläufig identisch sein mit Normen (DIN). Vielmehr gehen die anerkannten Regeln der Technik über die allgemeinen technischen Vorschriften, wozu auch die DIN-Normen gehören, hinaus. Für gültige Normen besteht die Vermutung, dass sie den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Diese Vermutung ist jedoch auch widerlegbar, denn in den Normenausschüssen werden auch Interessenstandpunkte vertreten. Außerdem entsprechen Normen nicht immer dem aktuellen technischen Kenntnisstand und beinhalten nicht immer die Regeln, die sich langfristig bewährt haben.

Im Baubereich ist nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu bauen. Sie stellen nach Werkvertragsrecht für den Sollzustand eine Minimalforderung dar und bei Nichteinhaltung liegt ein Mangel vor, soweit die Abweichung nicht zuvor mit dem Auftraggeber vereinbart worden ist. In diesem Zusammenhang ist der Auftraggeber vollumfänglich über die geplante Abweichung zu informieren und auf die daraus resultierenden Folgen hinzuweisen.

In den folgenden Abschnitten stellen wir – bezogen auf unsere Aufgabenstellung – verschiedene Auszüge aus Normen, Regelwerken und Richtlinien dar, die die ART widerspiegeln. Wir weisen in diesem Zusammenhang ausdrücklich darauf hin, dass einige Normen, Regelwerke und Richtlinien zwischenzeitlich durch neuere Ausgaben ersetzt oder ergänzt wurden.

7.1 DIN EN 206-1 Beton

Die DIN EN 206-1 Beton regelt die Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität von Beton. Im Abschnitt 7 wird der Umgang und die Dokumentation für die Verarbeitung von Frischbeton festgelegt.

7.2 DIN EN 1992-1-1

Um die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen sicherzustellen, müssen diese gegenüber chemischen und physikalischen Einwirkungen aus ihrer Umgebung und Nutzung ausreichend widerstandsfähig sein. Dabei ist zu unterscheiden in Einwirkungen auf die im Beton vorhandene Bewehrung einschließlich metallischer Einbauteile („Bewehrungskorrosion“) und in Einwirkungen auf den Beton selbst. („Betonangriff“). Zudem ist eine Einstufung in eine Feuchtigkeitsklasse vorzunehmen. Es ergeben sich hieraus Anforderungen an die Zusammensetzung des zu verwendenden Betons, die Betondeckung und die zulässige Rissbreite.

Die notwendigen Eigenschaften und die Zusammensetzungen für Beton werden festgelegt in der DIN EN 1992-1-1, Ausgabe Januar 2011.

Die Betondeckung der Bewehrung bestimmt die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonteilen maßgeblich. Die Mindestbetondeckung C_{min} der Bewehrung muss laut Abschnitt 4.4. der DIN 1992-1-1 vorhanden sein, um Folgendes sicherzustellen:

- Schutz der Bewehrung vor Korrosion (C_{min} ist abhängig von der Expositionsklasse, s.u.)
- sichere Übertragung von Verbundkräften
- ggf. Sicherstellung eines ausreichenden Feuerwiderstandes

Die Mindestbetondeckung C_{min} darf zum Schutz gegen Korrosion nicht kleiner sein als der entsprechende Wert gemäß Tabelle 4.N der DIN 1992-1-1. Für Bauteiloberflächen mit mehreren zutreffenden Umgebungsbedingungen ist die Expositionsklasse mit den höchsten Anforderungen maßgebend.

Für die Stützensockel und Fundamente der Schulgebäudes Carl-Lämmle-Gymnasium in Laupheim muss man für die Festlegung der Expositionsklasse davon ausgehen, dass diese Bauteile einem Chloridangriff ausgesetzt sind.

In Stahlbetonbauteile, die sich in unmittelbarer Umgebung von Verkehrsflächen befinden, wird das Chlorid bzw. das Tausalz, aus dem das Chlorid stammt, oftmals direkt auf die Betonbauteile, in Form von Tausalzen im Winter, aufgebracht.

Für Stahlbetonbauteile, die einem Chloridangriff ausgesetzt sind, sind laut DIN 1992-1-1 hinsichtlich der Betondeckung die Anforderungen der Expositionsklassen XD1, XD2 bzw. XD3 zugrunde zu legen. Die Beanspruchung der Stützensockel in Verkehrsflächen entspricht der Expositionsklasse

XD1 = mäßige Feuchte

Laut Tabelle 4.5N der DIN 1992-1-1 ist bei dieser Expositionsklasse und Dauerhaftigkeitsanforderung S3 ein Wert für die Mindestbetondeckung von

$C_{min} = 30 \text{ mm}$ einzuhalten.

Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

Um die angestrebte Lebensdauer des Tragwerks zu erreichen, müssen angemessene Maßnahmen ergriffen werden, die jedes einzelne Bauteil vor den jeweiligen umgebungsbedingten Einwirkungen schützen. Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit müssen berücksichtigt werden bei:

- dem Tragwerksentwurf
- der Baustoffauswahl
- der Bauausführung
- der Qualitätskontrolle
- der Instandhaltung
- den Nachweisverfahren
- besonderen Maßnahmen (z.B. Verwendung von nichtrostendem Stahl, Beschichtungen)

Begrenzung der Rissbreiten

Die Rissbreite ist so zu begrenzen, dass die ordnungsgemäße Nutzung des Tragwerks, sein Erscheinungsbild und die Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt werden. Rissbildung tritt bei Stahlbetontragwerken auf, welche durch Biegung, Querkraft, Torsion oder Zugkräfte beansprucht werden, die aufgrund direkter Last oder durch behinderte bzw. aufgebrachte Verformungen auftreten. Risse im Beton können auch aus anderen Gründen, z.B. aus plastischem Schwinden oder chemischen Reaktionen mit Volumenänderung auftreten. Die Vermeidung und die Begrenzung der Breite solcher Risse sind in diesem Abschnitt nicht geregelt.

Die Rissbreite muss nicht begrenzt werden, wenn der ordnungsgemäße Gebrauch des Tragwerks nicht beeinträchtigt wird. Ein Grenzwert $w_{\max}$ für die rechnerische Rissbreite w_k ist in der Regel unter Berücksichtigung des geplanten Gebrauchs und der Art des Tragwerks sowie der Kosten der Rissbreitenbegrenzung festzulegen. ANMERKUNG: Der landesspezifische Wert $w_{\max}$ darf einem Nationalen Anhang entnommen werden. Die empfohlenen Werte für die maßgebenden Expositionsklassen sind in Tabelle 7.1N enthalten.

Tabelle 7.1N — Empfohlene Werte für $w_{\max}$ (mm)

Expositionsklasse	Stahlbetonbauteile bzw. Spannbetonbauteile mit Spanngliedern ohne Verbund	Spannbetonbauteile mit Spanngliedern im Verbund
	quasi-ständige Einwirkungskombination	häufige Einwirkungskombination
X0, XC1	0,4 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
AC XD1, XD2, XD3 XS1, XS2, XS3 AC		Dekompression

¹⁾ Bei den Expositionsklassen X0 und XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und dieser Grenzwert wird zur allgemeinen Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes festgelegt. Fehlen entsprechende Anforderungen an das Erscheinungsbild, darf dieser Grenzwert erhöht werden.

²⁾ Bei diesen Expositionsklassen ist in der Regel zusätzlich die Dekompression unter quasi-ständiger Einwirkungskombination zu prüfen.

Tabelle 6: Tabelle 7.1 N – Empfohlene Werte

Fehlen spezifische Anforderungen (z.B. Wasserundurchlässigkeit), darf davon ausgegangen werden, dass hinsichtlich des Erscheinungsbilds und der Dauerhaftigkeit die Begrenzung der zulässigen Rissbreiten für Stahlbetonbauteile im Hochbau unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination auf die Werte von $w_{\max}$ gemäß Tabelle 7.1 N im Allgemeinen ausreicht.

Bei Bauteilen der Expositionsklasse XD1 können besondere Maßnahmen erforderlich werden. Die Wahl der entsprechenden Maßnahmen hängt von der Art des Angriffsrisikos ab.

Indikative Mindestfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

Allgemeines

- (1) Die Wahl eines ausreichend dauerhaften Betons zum Schutz vor Bewehrungskorrosion und Betonangriff erfordert die Berücksichtigung der Betonzusammensetzung. Dies kann dazu führen, dass eine höhere Betonfestigkeitsklasse erforderlich wird als aus der Bemessung. Der Zusammenhang zwischen Betonfestigkeitsklassen und Expositionsklassen (siehe Tabelle 4.1) darf mittels indikativer Mindestfestigkeitsklassen beschrieben werden.
- (2) Wird eine höhere Betonfestigkeitsklasse als aus der Bemessung erforderlich, ist in der Regel der Wert von f_{ctm} für die Bestimmung der Mindestbewehrung nach 7.3.2 und 9.2.1.1 und für die Rissbreitenbegrenzung $^{\text{TM}}$ nach 7.3.3 und 7.3.4 an die höhere Festigkeitsklasse anzupassen.

ANMERKUNG:

Die landesspezifischen Werte der indikativen Mindestfestigkeitsklassen können im Nationalen Anhang eingesehen werden. Die empfohlenen Werte sind in Tabelle E.1N angegeben.

Tabelle E.1DE — Indikative Mindestfestigkeitsklassen

Expositionsklasse nach Tabelle 4.1										
Bewehrungskorrosion										
	ausgelöst durch Karbonatisierung				ausgelöst durch Chloride ausgenommen Meerwasser			ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Indikative Mindestfestigkeitsklasse	C16/20	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37 ^a	C35/45 ^a oder ^c	C35/45 ^a	C30/37 ^a	C35/45 ^a oder ^c	C35/45 ^a
Betonangriff										
	Kein Angriffs- risiko	durch Frost mit und ohne Taumittel				durch chemischen Angriff der Umgebung				
	X0	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
Indikative Mindestfestigkeitsklasse	C12/15	C25/30	C25/30 LP ^b C35/45 ^c	C25/30 LP ^b C35/45 ^c	C30/37 LP ^{b, d, e}	C25/30	C35/45 ^a oder ^c	C35/45 ^a		
^a	Bei Verwendung von Luftporenbeton, z. B. auf Grund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Betonfestigkeitsklasse niedriger; siehe auch Fußnote ^b .									
^b	Diese Mindestbetonfestigkeitsklassen gelten für Luftporenbeton mit Mindestanforderungen an den mittleren Luftgehalt im Frischbeton nach DIN 1045-2 unmittelbar vor dem Einbau.									
^c	Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$ nach DIN EN 206-1) eine Festigkeitsklasse im Alter von 28 Tagen niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.									
^d	Erdfeuchter Beton mit $w/z \leq 0,40$ auch ohne Luftporen									
^e	Bei Verwendung eines CEM III/B nach DIN 1045-2:2008-08, Tabelle F.3.3, Fußnote c) für Räumerlaufbahnen in Beton ohne Luftporen mindestens C40/50 (hierbei gilt: $w/z \leq 0,35$, $z \geq 360 \text{ kg/m}^2$).									

Tabelle 7: Tab. E.1N – Indikative Mindestfestigkeitsklassen

7.3 DIN 1045-3

Der Teil 3 der DIN 1045, Ausgabe Juli 2001, beschäftigt sich mit der Bauausführung bei der Herstellung von Tragwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Im Abschnitt 6.4 werden die Anforderungen beim Einbau der Bewehrung beschrieben. Unter Ziffer 5 heißt es hier unter Verweis auf das o.g. DBV-Merkblatt:

„Zur Sicherstellung der Mindestbetondeckung C_{min} (siehe z. B. DBV-Merkblatt Betondeckung und Bewehrung) nach DIN 1045-1:2001-07, 6.3, sind die in den Bewehrungszeichnungen vorgegebenen Nennmaße der Betondeckung C_{nom} der Ausführung zu Grunde zu legen. Die Nennmaße entsprechen den Verlegemaßen und ergeben sich aus der Mindestbetondeckung C_{min} und einem Vorhaltemaß Δc nach 10.3. Das vorgeschriebene Nennmaß der Betondeckung ist durch geeignete Abstandshalter (siehe z. B. DBV-Merkblatt Abstandhalter) und geeignete Unterstützungen zur Lagesicherung der oberen Bewehrung (siehe z. B. DBV-Merkblatt Unterstützungen) sicherzustellen, die an der Betonoberfläche nicht korrodieren dürfen“.

7.4 Hefte 526 und 600 des DAfStb

Die Hefte 526 und 600 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) enthalten Erläuterungen zu den Texten der Norm DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4, und DIN 12620 und Heft 600 zu DIN EN 1992-1-1 und 1992-1-1 N/A

Heft 526

Im Abschnitt 4 erfolgt die Klasseneinteilung des Betons in Expositionsklassen unter Berücksichtigung auf die Umgebungsbedingungen.

Tabelle H4-1 – Zusammenhang zwischen Feuchtigkeitsklassen und Expositionsklassen – beispielhafte Zuordnung nach Alkali-Richtlinie

	1 Expositions- klasse	2 Umgebungsbedingungen	3 Feuchtigkeits- klasse ^{1) 2) 3)}	4 Bemerkung
1	XC1	trocken, ständig nass	WO WF	massige trockene Bauteile mit b bzw. $h \geq 800$ mm in WF
2	XC3	mäßige Feuchte	WO oder WF	Beurteilung im Einzelfall
3	XC2, XC4, XF1, XF3	nass, selten trocken, wechselnd nass und trocken, mäßige bis hohe Wasser- sättigung, ohne Taumittel	WF	—
4	XF2, XF4, XD2, XD3, XS2, XS3	mäßige bis hohe Wasser- sättigung, mit Taumittel bzw. Salzwasser, nass, selten trocken, wechselnd nass und trocken,	WA oder WS ⁵⁾	Eintrag von Alkalien von außen (z. B. Chloride)
5	XD1, XS1, XA	mäßige Feuchte	WF ⁴⁾ oder WA (oder WS ⁵⁾)	Beurteilung im Einzelfall
¹⁾ Im Regelungsbereich der ZTV-ING [R21] sind alle Bauteile im Bereich von Bundesfernstraßen in die Feuchtigkeitsklasse WA einzustufen. ²⁾ Infolge der Bauteilabmessungen kann eine abweichende Einstufung erforderlich werden. ³⁾ Werden Bauteile ein- oder mehrseitig abgedichtet, ist dies bei der Wahl der Feuchtigkeitsklasse zu beachten. ⁴⁾ wenn die Alkalibelastung von außen gering ist. ⁵⁾ Feuchtigkeitsklasse WS gilt i. d. R. nur für Fahrbahndeckenbeton der Bauklassen SV, I, II und III gemäß TL Beton-StB 07 für Ober- und Unterbeton. Für Fahrbahndeckenbeton der Bauklassen IV, V und VI ist eine Einstufung in die Feuchtigkeitsklasse WA ausreichend.				

Tabelle 8: Tab.H4-1 Zusammenhang zwischen Feuchtigkeitsklassen und Expositionsklassen - beispielhafte Zuordnung nach Alkalirichtlinien

Die Expositionsklassen werden auf die Oberflächen angewandt, welche dem chemischen Angriff und den Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind. Die Feuchtigkeitsklassen der Alkali-Richtlinie (Ausgabe 2007-02) sind in die DIN EN 1992-1-1 und DIN 1045-2, 2008-08 übernommen worden. Ergänzt wird in DIN 1045-2, Tabelle 1, die Nr. 8: Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion. Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton vom Tragwerksplaner einer von vier Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen. In Abhängigkeit von der gewählten Feuchtigkeitsklasse ist bei der Betonherstellung eine geeignete Gesteinskörnung bzw. ein geeigneter Zement zu verwenden (s.a. Alkali-Richtlinie (Ausgabe 2007-02)). Die Feuchtigkeitsklassen sind in den Ausführungsunterlagen anzugeben, sie haben jedoch keinen direkten Auswirkungen auf die Bemessung.

Die in den Normen der Reihe DIN EN 1992-1-1, DIN 1045-2 und DIN EN 206-1 deskriptiv festgelegten Anforderungen an die Mindestbetondeckung sowie an die Betonzusammensetzung, hier insbesondere hinsichtlich das maximal zulässigen Wasserzementwertes, des Mindestzementgehaltes und der Mindestbetonfestigkeitsklasse, stellen bei einem unbeschichteten und ungerissenen Beton für die jeweilige Expositionsklasse unter Berücksichtigung einer üblichen Instandhaltung eine Nutzungsdauer von 50 Jahren sicher. Wenn Risse und Arbeitsfugen (möglichst vor dem ersten Chlorideintrag) dauerhaft geschlossen und geschützt sind, ist somit aus Dauerhaftigkeitsgründen kein Gefälle notwendig. Besonderes Augenmerk ist dann auf mögliche Auswirkungen im Spritzwasserbereich zu richten.

Heft 600:

Die in der DIN 1045-2, Anhang F. für Normalbetone angegebenen Mindestdruckfestigkeitsklassen, die sich aus einer Zuordnung der Druckfestigkeit zum Wasserzementwert ergeben, wurden in DIN EN 1992-1-1, Tabelle E.1:DE als Richtwerte für die zu erwartenden Betondruckfestigkeitsklassen übernommen.

Tabelle E.1N — [AC] Indikative Mindestfestigkeitsklassen [AC]

Expositionsklasse nach Tabelle 4.1										
Bewehrungskorrosion										
	ausgelöst durch Karbonatisierung				ausgelöst durch Chloride ausgenommen Meerwasser			ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Indikative ☐ AC ☐ Mindestfestigkeits- klasse ☐ AC ☐	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Betonangriff										
	kein Angriffs- risiko	durch Frost mit und ohne Taumittel				durch chemischen Angriff der Umgebung				
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3			
Indikative ☐ AC ☐ Mindestfestigkeits- klasse ☐ AC ☐	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37			C35/45		

Tabelle 9: E.1N Indikative Mindestfestigkeitsklassen

Werden die Umgebungsbedingungen des Betons durch besondere betontechnologische Maßnahmen berücksichtigt, können sich je nach Zusammensetzung des Betons Druckfestigkeiten ergeben, die von denen der Mindestdruckfestigkeitsklasse aus der Tabelle E.1N abweichen. In diesem Fall ist die tatsächlich vorhandene Druckfestigkeitsklasse und, sofern keine genaueren Werte bekannt sind, die entsprechend den Regeln des Abschnitts 3.1 der Norm abgeleiteten Betonkennwerte der Tragwerksplanung zugrunde zu legen.

Die in der DIN 1992-1-1 und den zugehörigen bauartspezifischen Bemessungs- und Bauproduktnormen enthaltenen Regelungen zur Gewährleistung und Dauerhaftigkeit sollen bei angemessenem und geplantem Instandhaltungsaufwand in der Regel während der vorgesehenen Nutzungsdauer von 50 Jahren für Hochbauten die geforderte Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentliche Beeinträchtigung der Nutzungseigenschaften sicherstellen.

Eine Wartungsplanung, die die wesentlichen Wartungsintervalle und Wartungsmaßnahmen, insbesondere von Baustoffen und Bauteilen mit kürzerer Lebensdauer, umfasst, gehört mit zum Umfang der Planung, falls besondere Bedingungen zu berücksichtigen sind.

7.5 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) -Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie)

Grundsätze für den Schutz und Instandsetzung des Betons sind das Ziel:

Die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Betonbauteilen gegen das Eindringen von betonangreifenden oder korrosionsfördernden Stoffen oder gegen mechanische Einwirkungen auf oberflächennahe Bereiche.

Die Richtlinie unterscheidet bei den Grundsatzlösungen bei Korrosion als Folge einer Karbonatisierung und/ oder Korrosion durch Chlorideinwirkung.

Bei Stahlbetonbauteilen, deren Betonbauteile mit chloridhaltigem Wasser beaufschlagt werden, ist die maßgebliche Expositionsklasse XD1 und XD3 (außer bei Meerwasserbelastung).

Daraus ergeben sich folgende Instandsetzungsprinzipien:

R1-Cl, R2-Cl, W-Cl und C-Cl

sowie

Instandsetzungsprinzip K

Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“

Bei Einwirkungen aus der Umgebung der Expositionsklasse XD3 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, ausgenommen Meerwasser, wird die Betondeckung nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 geregelt.

7.6 DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“

In diesem DBV-Merkblatt in der Fassung Juli 2002 werden die gleichen Ausführungen bezüglich der Mindestbetondeckung wie in der DIN EN 206-1 und in der DIN 1045-1 gemacht. Im Abschnitt „Vorbemerkungen“ führt das DBV-Merkblatt unter Verweis auf diese beiden Normen aus, dass die Wahl der Expositionsklasse und die darauf abgestimmte Betonzusammensetzung sowie die Maßnahmen beim Betonieren entsprechend DIN 1045-3 sicherstellen sollen, dass die Betondeckung auch ausreichend dicht ist.

Im Abschnitt 1 „Begriffe“ des DBV-Merkblattes wird darauf hingewiesen, dass die Zuordnung eines Bauteils zu den Expositionsklassen in der Regel durch den Tragwerksplaner (ggf. durch den Auftraggeber) erfolgt und entscheidend für das durchgängige Konzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit ist.

Laut Tabelle 1 des Abschnitts „Forderungen bezüglich der Mindestbetondeckung und des Vorhaltemaßes“ gelten bei der Expositionsklasse folgende Anforderungen an die Mindestbetondeckung C_{min} und das Vorhaltemaß Δc :

XD3= wechselnd nass und trocken

$C_{min} = 40 \text{ mm}$

$\Delta X = 15 \text{ mm}$

Daraus ergibt sich das Normmaß der Betondeckung $C_{nom} = C_{min} + \Delta c$.

7.7 RI-EBW-PRÜF 2017

Auf Basis unseres Untersuchungsergebnisses beurteilen wir in diesem Gutachten auch die technische Dringlichkeit von Betoninstandsetzungsmaßnahmen. Für eine solche Beurteilung existieren verschiedene Möglichkeiten. Wir bewerten die Dringlichkeit in Anlehnung an die RI-EBW-PRÜF 2017 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Die Bewertung erfolgt durch eine Einstufung des Bauwerks bzw. Bauteils in sechs Notenbereiche, in ähnlicher Art und Weise wie bei Schulnoten. Die betreffende Tabelle der RI-EBW-PRÜF 2017 haben wir als Anlage 4 beigelegt.

8.0 Feststellungen

Stützen

Chloridgehalt

Bei der Prüfung des Chloridgehaltes an den Stützen 1 bis 10 und den Fundamenten der Stützen 2, 3 und 8 wurden Chloridgehalte von $\leq 0,5$ Masse% Cl bezogen auf den Zementgehalt gemessen. In der Entnahmetiefe bis 20 mm wurden Chloridgehalte von 0,052 bis 0,374 Masse% Cl und in der Entnahmetiefe bis 60 mm ein maximaler Chloridgehalt von 0,245 Masse% Cl analysiert. Die im Mai 2022 analysierten Chloridgehalte bewegen sich in ihrer absoluten Menge im ungefähren Bereich des natürlichen Chloridgehaltes von Beton.

Im Gegensatz zu den Messungen aus dem Dezember 2021 an denen an den Stützen bei S2 und S3 ein Chloridgehalt von 3,8 Masse% Cl in der Entnahmetiefe bis 20 mm und noch Chloride mit ca. 0,8 Masse%-Cl in der Tiefenstufe bis 60 mm vorgefunden wurden.

Betondeckung

Die Mindestbetondeckung an den Stützen S2 und S3 beträgt zwischen 14 mm und 31 mm. An der Stütze S 2 mit einem Chloridgehalt von 3,1 Masse% Cl in der Entnahmetiefe bis 40 mm kann gesichert davon ausgegangen werden, dass die Bewehrungsseisen im mit Chloriden induzierten Beton liegen. Weitere Maßnahmen müssen vom sachkundigen Planer veranlasst werden.

Aufgrund der vorhandenen Situation, muss nach DIN EN 1992-1-1 und der Instandsetzungsrichtlinie 2001 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton für die aktuelle Beurteilung der Stützensockel eine Mindestbetondeckung von $C_{min} = 30$ mm zugrunde gelegt werden (XD1). Die erforderliche Mindestbetondeckung von $C_{min} = 30$ mm nach DIN EN 1992-1-1 wird in Teilflächen deutlich unterschritten. Das Ingenieurbüro Peter Grandel GmbH beurteilt die genannten Unterschreitungen der Mindestbetondeckung als Mangel im Abgleich mit der DIN EN 1992-1. . Der Mangel ist nicht als geringfügig einzustufen, kann aber durch das Aufbringen einer Abdichtung in denjenigen Fällen „geheilt“ werden, in denen eine mittlere Betondeckung von $\bar{c} \geq 20$ mm vorliegt. In den Fällen, in denen die mittlere Betondeckung deutlich unter $\bar{c} = 20$ mm liegt, muss im Zuge der anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen die vorhandene Betondeckung entsprechend erhöht werden.

Karbonatisierung

Die Karbonatisierung ist bis zu einer Bauteiltiefe von 27 mm an den Stützen fortgeschritten. An zwei von 11 Messstellen liegen die Bewehrungsseisen aufgrund der geringen Betondeckung bereits im karbonatisierten Beton. Man kann daher nicht gesichert davon ausgehen,

dass Schäden durch Karbonatisierung zumindest im Bereich der Prüfstelle K 1, K2 und K 11 aus praktischer Sicht nicht ausgeschlossen werden können. Somit ist in diesem Fall eine Beschichtung der Stützen als Schutz gegen Karbonatisierung, zumindest dort wo die Karbonatisierungsfront im Laufe der Restnutzungsdauer die Bewehrungseisen erreicht, notwendig.

Korrosionszustand Bewehrung

Um eine gesicherte Aussage über den Korrosionszustand an der Bewehrung treffen zu können, wurde der Beton bis zur ersten Bewehrungslage an der Stütze 2 (S2), (S8) und an der Stütze (S2) im Bereich Stützenkopf abgestemmt. Die vorgefundenen Bewehrungen zeigen bei S2 und S 2 Stützenkopf über die gesamte freigelegte Länge erste Korrosionsansätze. Wir empfehlen, den Altbeton an Stütze 2 bis zum festen Kernbeton abzutragen, wenn erforderlich, die Bewehrung durch Zulage neuer Bewehrungseisen zu ergänzen, und die Ausbruchstelle mit einem alkalischen Beton wieder zu verschließen.

Fundamente

Die Betondeckung ist an den Stützenfundamenten durch das Aufbringen von Aufbeton zu erhöhen.

Anschließend sind die Fundamente Stützensockel bis auf eine Höhe von + 0,50m über fertigem Bodenbelag durch eine Abdichtung dauerhaft gegen Chlorideintrag zu schützen.

9.0 Instandsetzung

Vor der Instandsetzung wird der vorhandene Ist-Zustand des Bauwerks ermittelt. Vom Auftraggeber soll der gewünschte Soll-Zustand beschrieben werden. Dazu wurden durch das Ingenieurbüro Peter Grandel GmbH im Dezember 2021 und Mai 2022 betontechnologische Untersuchungen durchgeführt. In dem vorliegenden Bericht wurde der Ist-Zustand der Stahlbetonstützen Schul- und Aulagebäudes Carl-Lämmle Gymnasium in Laupheim anhand der Ergebnisse aus 2021 und 2022 beschrieben.

Die Feststellungen wurden im vorliegenden Prüfbericht P 2022-045 dokumentiert.

Grundlage für die Instandsetzungskonzeption ist zumindest auszugsweise noch die DAfStb-Richtlinie „Schutz- und Instandsetzung von Betonbauteilen“ vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton aus dem Jahre 2001. Unter Abschnitt 7 sind die Grundsätze für den Schutz und die Instandsetzung des Betons geregelt. Abschnitt 9 beschreibt die möglichen Grundsatzlösungen in Abhängigkeit der Schadensursachen. Gemäß der Richtlinie gibt es grundsätzlich Verfahren, die den Ausbau des chloridbelasteten Betons zur Folge haben (konventionelle Instandsetzung) bzw. nicht zur Folge haben (Kathodischer Korrosionsschutz). Allerdings ist der kathodische Korrosionsschutz nur dann wirtschaftlich realisierbar, wenn keine oder nur geringe Korrosionsschäden am Bewehrungsstahl festgestellt werden.

Im Januar 2021 wurde die Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“ eingeführt, die die Instandsetzungsrichtlinie von 2001 in Teilbereichen ersetzt. Hierzu gehört insbesondere auch die Überarbeitung der Instandsetzungsprinzipien. Aufgrund der derzeitigen Bedenken der Bauchemie gegen die rechtmäßige Einführung der Technischen Regel, werden nachfolgend die bisherigen Instandsetzungsprinzipien nach der Instandsetzungsrichtlinie von 2001 erläutert. Gleichzeitig werden zusätzlich die aktualisierten Instandsetzungsprinzipien nach der neuen technischen Regel dargestellt. Direkte Auswirkungen auf die Kosten der erläuterten Instandsetzungsmaßnahmen hat die Einführung der Technischen Regel nicht.

Die nachfolgenden Instandsetzungsvorschläge sind als Empfehlungen basierend auf technischen Gesichtspunkten zu verstehen. Diese Empfehlungen ersetzen keinesfalls eine umfassende Instandsetzungsplanung, bei der sämtliche Aspekte der Instandsetzung (Vorgaben der Eigentümer und Nutzer, technische Details, wirtschaftliche Kriterien, Randbedingungen aus dem Bestand etc.) bedacht und auf den konkreten Fall umgesetzte werden müssen.

Die Erstellung einer Instandsetzungsplanung durch einen sachkundigen Planer ist hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit des Bauwerks zwingend erforderlich.

9.1 Instandsetzungsprinzipien

Nach den Ergebnissen der vorbereitenden Untersuchungen ist es möglich, das Bauwerk mit sinnvollem Aufwand instand zu setzen. Nach den geltenden Vorschriften der Instandsetzungsrichtlinie 2001 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (**RL-SIB**) wird das Instandsetzungskonzept, für die Stützen der Schul- und Aulagebäude Carl-Lämmle Gymnasium in Laupheim entwickelt:

A) **Prinzip R-CL:** Repassivierung der Bewehrung durch Entfernen des chloridbelasteten Betons

Dieses Verfahren kommt dort zur Anwendung, wo durch Tausalzeintrag chloridbelasteter Beton abgetragen werden muss. Im vorliegenden Fall betrifft dies sämtliche chloridkontaminierten Bereiche an Stützensockeln. Beim Instandsetzungsprinzip R1-Cl handelt es sich um die Wiederherstellung des alkalischen Milieus in Verbindung mit Instandsetzungsprinzip W. Das Instandsetzungsprinzip W begrenzt vereinfacht gesagt den Wassergehalt im Beton durch entsprechende Schutz- bzw. Abdichtungsmaßnahmen.

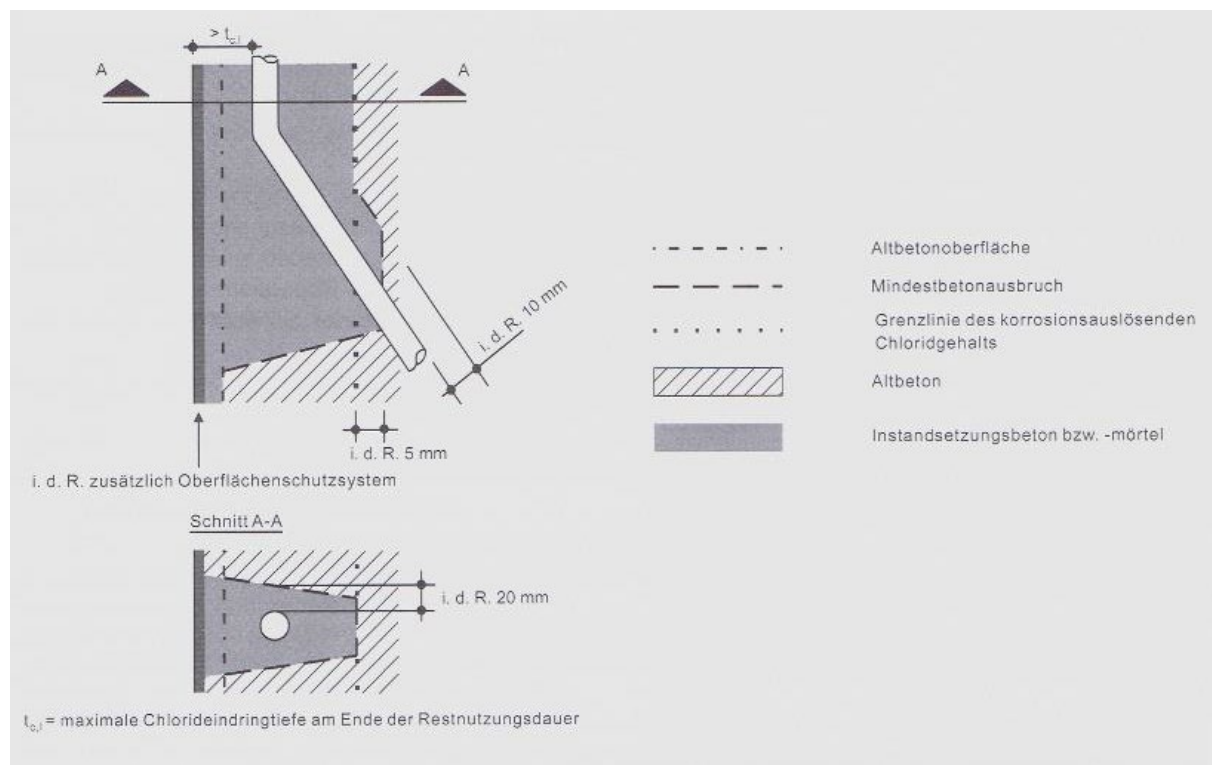


Bild 8: Instandsetzungsprinzip R1

Beim Instandsetzungsprinzip R1 werden die chloridbelasteten sowie schadhaften Bereiche an den Stützensockeln mechanisch oder mittels Höchstdruckwasserstrahlen abgetragen. Dabei ist sämtlicher chloridkontaminierter Beton unabhängig von den Korrosionserscheinungen an der Bewehrung bis zur Bewehrung bzw. um einen Sicherheitszuschlag darüber hinaus abzutragen. Die Reprofilierung erfolgt mit einem alkalischen Beton bzw. Mörtel.

Um die Schadensbereiche feststellen und eingrenzen zu können, wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Nach Eingrenzung der Schadensbereiche wird der chloridhaltige Beton mittels Höchstdruckwasserstrahlen abgetragen. Nach Aufbringen eines Korrosionsschutzes am Baustahl bzw. gegebenenfalls notwendigen Bewehrungsergänzungen werden die Schadensbereiche unter Berücksichtigung der erforderlichen Bewehrungsdeckung reprofiliert. Die vorhandenen Risse werden verschlossen und erhalten gegebenenfalls nach Bedarf zusätzliche Rissbandagen.

Dieses Instandsetzungsprinzip kann gegebenenfalls in Verbindung mit einem Tragwerksplaner für die Bemessung von temporären Notabstützmaßnahmen während der Bauzeit umgesetzt werden.

B) Prinzip W-CL: Absenkung des Wassergehaltes

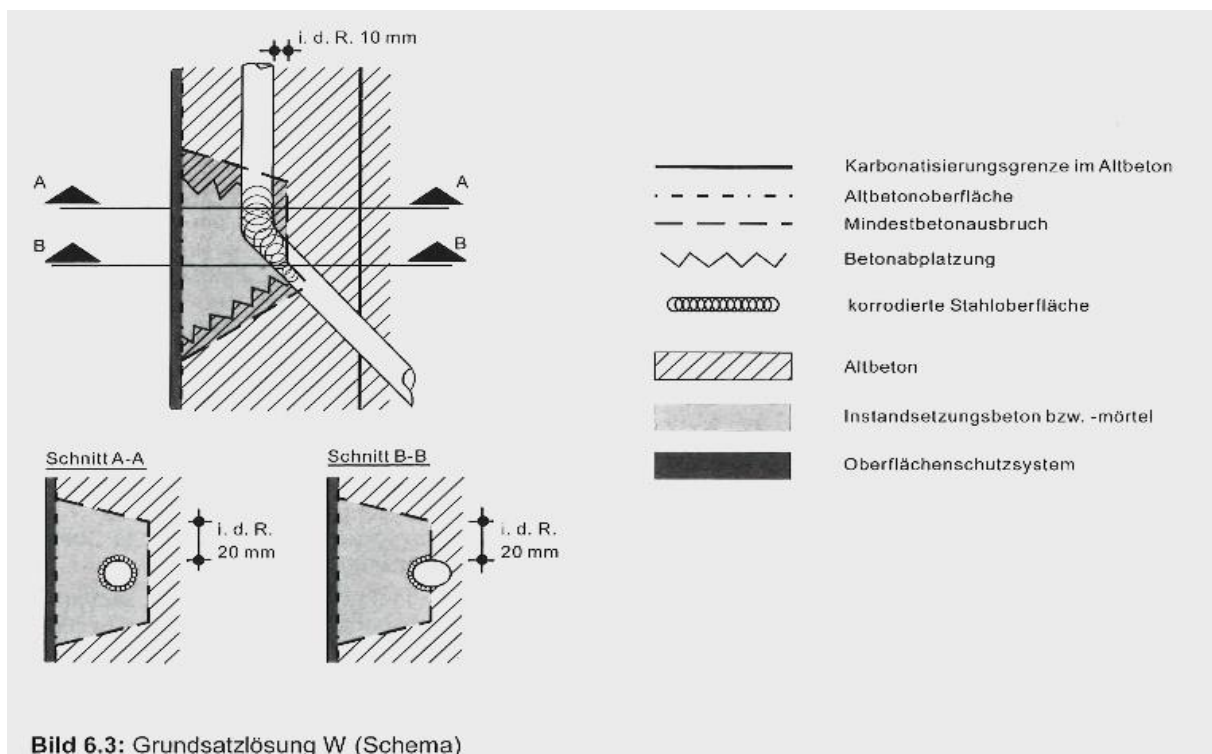


Bild 9: Instandsetzungsprinzip W an karbonatisierten Bauteilen

Beim Instandsetzungsprinzip W wird der Beton im Bereich von Fehlstellen und darüber hinaus bis zum korrosionsfreien Bereich des Bewehrungsstahles entfernt. Wenn Korrosion nur an der der Betonoberfläche zugewandten Umfangshälfte der Bewehrung aufgetreten ist, braucht der Altbeton nur seitlich in ausreichendem Umfang entfernt werden. Ist der Stahlstab weiter korrodiert, ist auch hinter ihm der Altbeton zu entfernen. Bei Betonstählen mit Durchmesser $d < 16$ mm reichen hierfür im Regelfall 10 mm, bei größeren Durchmessern ist dieser Sicherheitszuschlag auf 15 mm zu vergrößern, sofern dies für ein sicheres Einbringen des Instandsetzungsmörtels oder -betons erforderlich ist. Auswirkungen auf die Standsicherheit sind zu beachten. Die Reprofilierung erfolgt mit geeigneten Instandsetzungsmörteln oder -betonen gemäß der DAfStb-Richtlinie.

Der Erfolg des Verfahrens hängt von der Wirksamkeit der Oberflächenschutzmaßnahme ab. Es dürfen nur Beschichtungssysteme verwendet werden, die gemäß der DAfStb-Richtlinie dafür geeignet sind.

Das im Folgenden beschriebene Instandsetzungskonzept R-Cl in Verbindung mit W-Cl stellt eine mögliche Variante dar. Eine Instandsetzung nach diesen Prinzipien ist möglich und mit den im Kostenrahmen unter Punkt 9.3 ausgeworfenen Kosten behaftet.

Allerdings kann durch entsprechend weitere Untersuchungen und der Überprüfung von Randbedingungen eine Instandsetzung nach dem Verfahren möglich sein:

C) **Prinzip K:** Schutz der Bewehrung durch Anlegen eines elektrischen Potentials

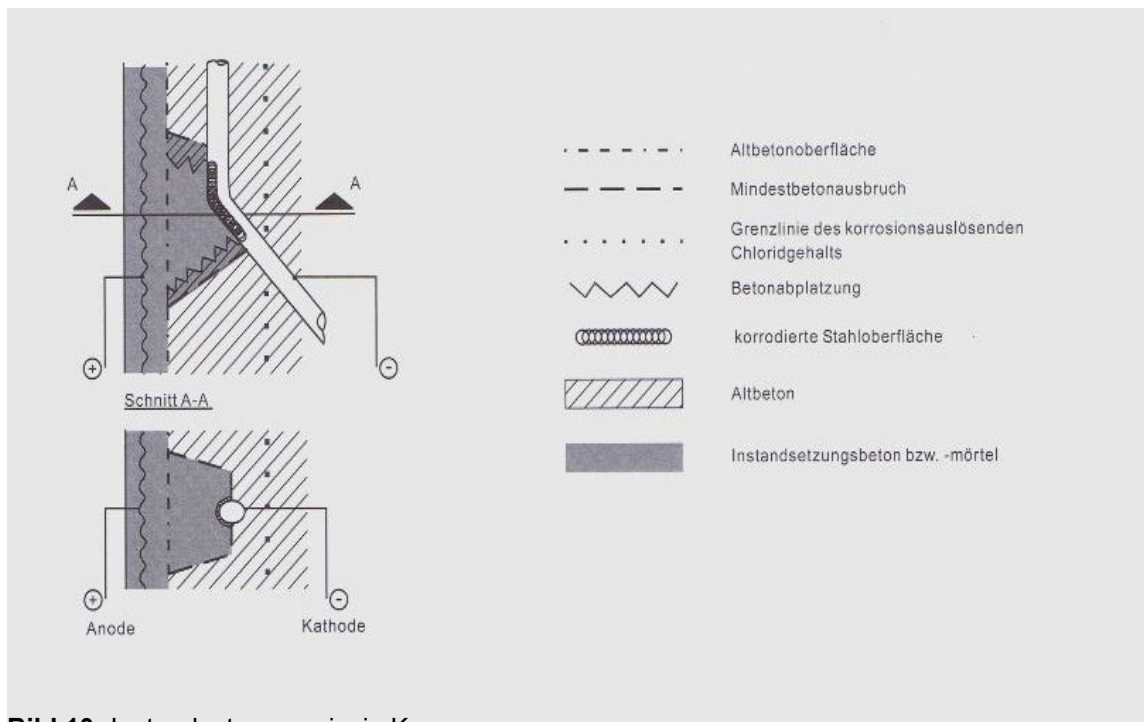


Bild 10: Instandsetzungsprinzip K

Die Zerstörung von Metallen durch die Anwesenheit von Wasser ist ein elektrochemischer Vorgang. Hierbei wirkt das Wasser als Elektrolyt und es entsteht eine galvanische Elementbildung. Bei diesem Korrosionsvorgang tritt ein Metallatom unter Zurücklassung einer oder mehrerer Elektronen aus dem festen Metallgitter als positives Ion in die Flüssigkeit. Die zurückgelassenen Elektronen wandern auf der metallischen Oberfläche zur Kathode und werden dort durch verschiedene Kathodenreaktionen verbraucht. Die Stellen, an welchem der Korrosionsablauf stattfindet, werden Elektroden genannt. Die Elektrode, an welcher die Metallatome das Gefüge verlassen, wird Anode, die Elektrode, an welcher die Elektronen verbraucht werden, Kathode genannt. Das Wasser schließt als Elektrolyt den Stromkreis, womit überhaupt erst eine Korrosion stattfinden kann.

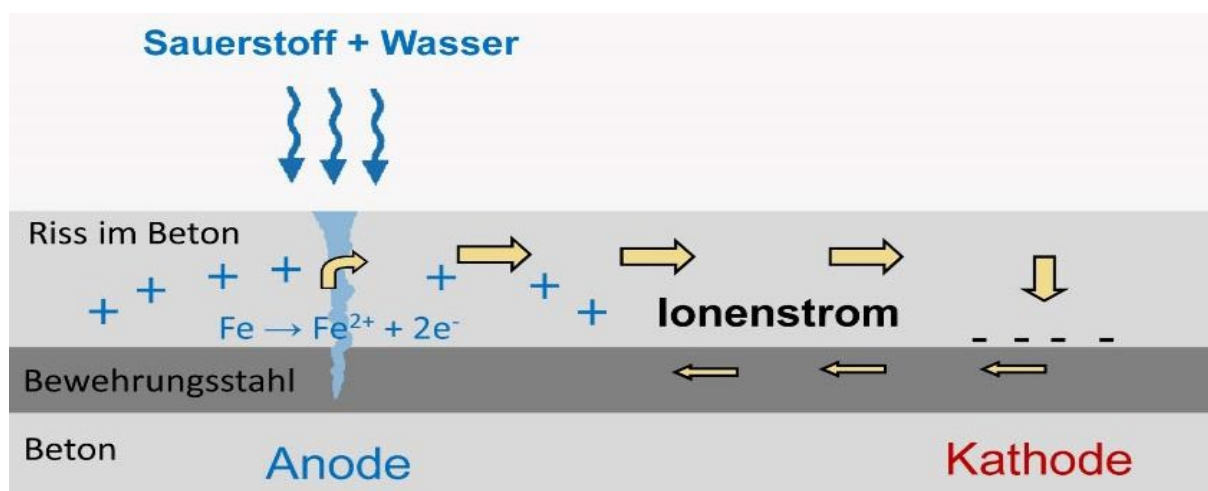


Bild 11: Korrosionsprinzip

Der Kathodische Korrosionsschutz macht sich die oben erwähnten Abläufe zu nutzen. Der Korrosionsstrom fließt von der Anode an die Kathode. Die Kathode wird dabei nicht abgebaut, an ihr treten nur die Elektronen aus, die mit den H^+ Ionen des Wassers reagieren. Die Anode hingegen geht in Lösung. Beim kathodischen Schutz wird auch die anodische Oberfläche des zu schützenden Objektes zur Abgabe von Elektronen gezwungen. Diese anodischen Bereiche werden polarisiert und somit zur Kathode. Dies ist möglich, weil man in das zu schützende Objekt eine Überzahl an Elektronen „drückt“, damit auf der gesamten Oberfläche eine Elektronen-Abgabe stattfindet.

Der Einsatz des Kathodischen Korrosionsschutzes ist dann wirtschaftlich, wenn Querschnittsverluste an der Bewehrung noch nicht vorhanden bzw. statisch noch ohne Bedenken sind. Der Vorteil liegt darin, dass chloridkontaminierter Beton nicht abgetragen und korrodierende Bewehrung nicht freigelegt werden muss. Somit sind auch keine Abstützungsmaß-

nahmen erforderlich. Die Nutzung der Gebäude kann weitgehend in Betrieb bleiben. Ein weiterer Nebeneffekt des kathodischen Korrosionsschutzes liegt darin, dass langfristig die Chloridionen von der Bewehrung wegtransportiert werden und gleichzeitig der Beton im Bereich der Bewehrung realkalisiert wird. Konventionelle Instandsetzung ist lediglich an den offensichtlichen Schadstellen und/oder an den Stellen, an denen Bewehrungsergänzungen erforderlich werden, notwendig. Diese Arbeiten sind vor Einbau des kathodischen Korrosionsschutzes durchzuführen. Vorteile der KKS-Systeme sind eine im Regelfall kürzere Bauzeit mit weniger Einschränkungen durch temporäre Notabstützungen, Lärm, Schmutz etc. während der Bauzeit, die hohe Funktionssicherheit durch langfristige Überwachung und der dauerhafte Schutz der Bewehrung bei erneut auftretenden Rissen.

Nachfolgend sind Beispiele der genannten Anodensysteme dargestellt:

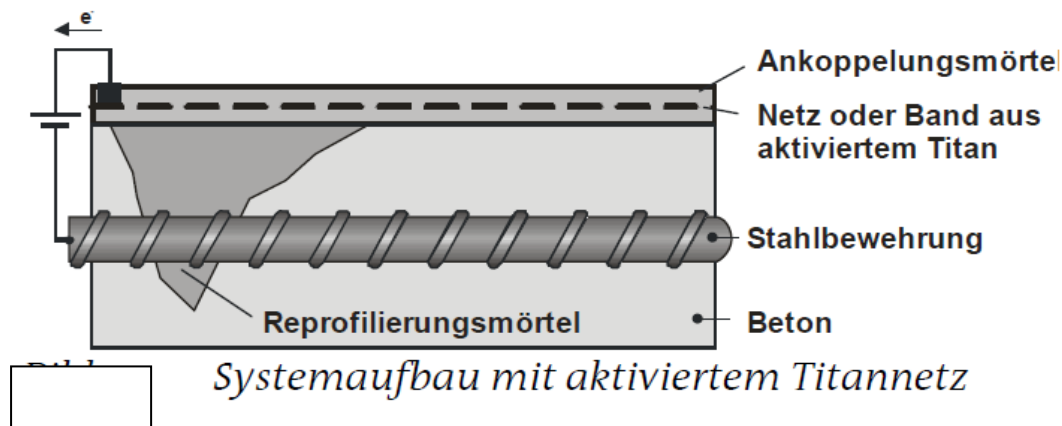


Bild 12: Titangitter-Anode

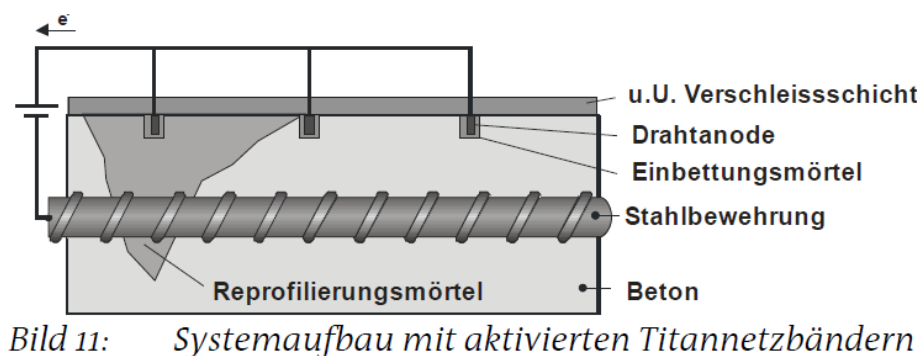


Bild 13: Titanband-Anode

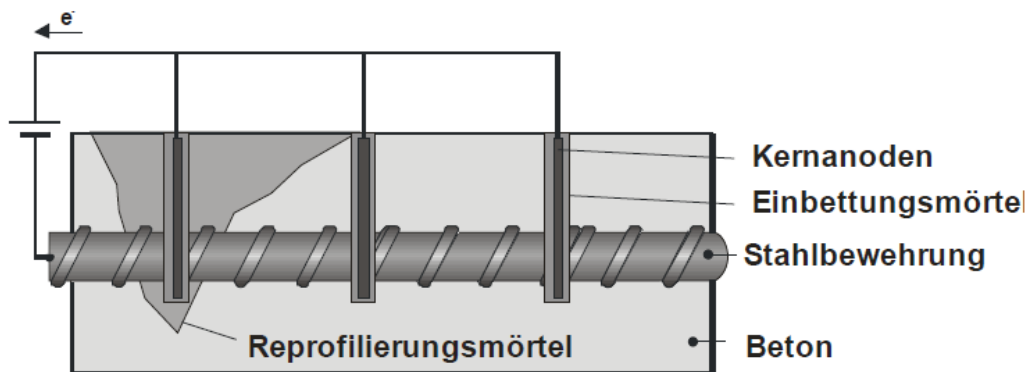
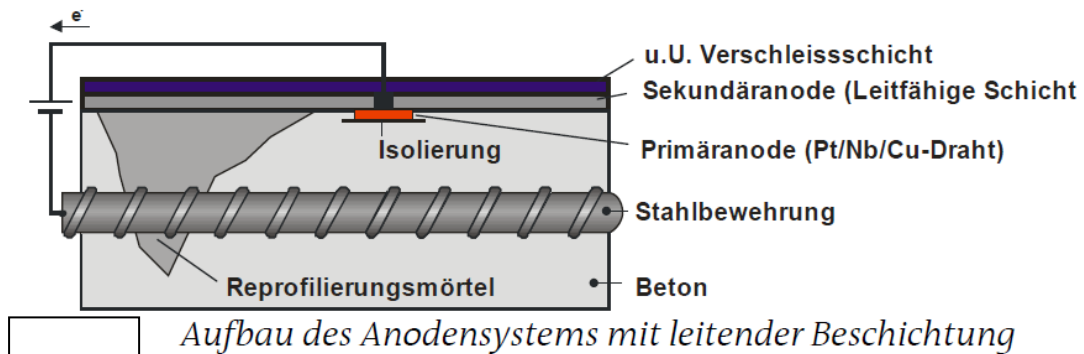


Bild 12: Systemaufbau mit Kernanoden

Bild 14: Diskretanode



Aufbau des Anodensystems mit leitender Beschichtung

Bild 15: Leitfähige Beschichtung

Um die Schadensbereiche feststellen und eingrenzen zu können, sind auch beim Instandsetzungsprinzip K umfangreiche Chloridbestimmungen in Verbindung mit einer vollflächigen Potentialfeldmessung durchzuführen. Hinzu kommen Messungen des Betonwiderstandes zur Auslegung des KKS-Systems. Da zwischen Anode und Bewehrung ein Mindestabstand eingehalten werden muss, sind vollflächige Betonüberdeckungsmessungen durchzuführen. Titangitter oder Titanbänder werden in leitfähigem Einbettmörtel verlegt.

Durch die zusätzlichen Untersuchungen entstehen Mehrkosten zwischen 3.000,00 und 5.000,00 Euro nur für die betontechnologischen Untersuchungen.

9.2 Instandsetzungsprinzipien Technische Regel 2021

9.2.1 Instandsetzungsprinzipien gem. Tabellen 5 und 6 der TR Teil 1

In der neuen Technischen Regel wird generell unterschieden zwischen „Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton“ gemäß Tabelle 5 sowie „Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion“ gemäß Tabelle 6.

Dabei werden die einzelnen Instandsetzungsprinzipien zusätzlich noch differenziert unterschieden. Derzeitig sind 9 Instandsetzungsprinzipien aufgelistet, die noch entsprechend untergliedert sind. Die Tabellen mit den Instandsetzungsprinzipien sind nachfolgend dargestellt:

Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“ – Teil 1

Tabelle 5: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton

Prinzip	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Anwendbarkeit	Anforderungen an die Produkte/Systeme bei Anwendung des Verfahrens
1	2	3	4
1. Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	1.1 Hydrophobierung ¹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 1 (OS A) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.3
	1.3 Beschichtung ²⁾		– OS 2 (OS B) ^{3), 6)} gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DI), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	1.4 Lokale Abdeckung von Rissen (Bandagen)		– OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	1.5 Füllen von Rissen oder Hohlräumen ^{4), 5)}	– Beachtung der Anforderungen nach Tabellen 13 und 14	– F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1, – F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2, – D-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.3
2. Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	2.1 Hydrophobierung ¹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 1 (OS A) gemäß Teil 2, Tabelle A.3
	2.3 Beschichtung ^{7), 8)}		– OS 2 (OS B) ^{3), 6)} gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DI), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	2.6 Füllen von Rissen oder Hohlräumen ⁹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabellen 13 und 14	– F-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1, – F-I (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2, – D-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.3
3. Reprofilierung oder Querschnittsergänzung	3.1 Kleinflächiger Handauftrag	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	– RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – PRM, PRC ¹⁰⁾ gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.4
	3.2 Betonieren oder Vergießen		– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL SIB, Berichtigung 3
	3.3 Spritzauftrag		– RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – PRM, PRC ¹¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.4
	3.4 Auswechseln von Bauteilen		– Spritzbeton nach DIN EN 14487 / DIN 18551 – Spritzmörtel mit Anforderungen nach DIN EN 14487 / DIN 18551 – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
4. Verstärkung des Betontragwerks ¹²⁾	4.1 Zufügen und Auswechseln von eingebetteten Bewehrungsstäben	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	– Nach DIN EN 1992-1-1
	4.3 Verstärkung durch geklebte Bewehrung		– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	4.4 Querschnittsergänzung durch Mörtel oder Beton	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	– Beachtung der DAfStb-Richtlinie "Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung"
	4.5 Füllen von Rissen ¹³⁾ oder Hohlräumen ^{5), 14)}	– Beachtung der Anforderungen nach Tabellen 13 und 14	– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
			– F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1, – F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2

Bild 16: Tabelle 5, Teil 1: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton

Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“ – Teil 1

Tabelle 5: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton (Fortsetzung und Schluss)

Prinzip	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Anwendbarkeit	Anforderungen an die Produkte/Systeme bei Anwendung des Verfahrens
1	2	3	4
5. Erhöhung des physikalischen Widerstandes	5.1 Beschichtung ¹⁵⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 8 gemäß Teil 2 Anhang A, Tabelle A.7, – OS 14 gemäß Teil 2 Anhang A, Tabelle A.9
	5.3 Mörtel- oder Betonaustrag ¹⁶⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15 – Es sind die Verfahren 3.1, 3.2 oder 3.3 anwendbar	– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551 ¹⁷⁾ , – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3 ¹⁷⁾
6. Erhöhung des Widerstands gegen chemischen Angriff	6.1 Beschichtung ¹⁸⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DI), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	6.3 Mörtel- oder Betonaustrag ¹⁹⁾	– Anwendung unter Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15 – Es sind die Verfahren 3.2 oder 3.3 anwendbar	– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3

- ¹⁾ Die Wirksamkeit, Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungen sind vom tiefenabhängigen Wirkstoffgehalt bezogen auf den Beton und der Eindringtiefe abhängig. Die Eindringtiefe von Hydrophobierungen wird wesentlich durch den Feuchtegehalt und die Porosität des Betons bestimmt.
- ²⁾ Beschichtungen zum Schutz gegen das Eindringen von Kohlenstoffdioxid und Chlorid sind in Verfahren 7.7 geregelt.
- ³⁾ Bei OS 2 ist die Wirksamkeit von der Menge und Größe von Poren an der Betonoberfläche abhängig. OS 2 ist nur bei geschlossenen Oberflächen geeignet als Beschichtungssystem. OS 2 ist nur bedingt gegen Chlorideindringen einsetzbar.
- ⁴⁾ Das Verfahren dient nicht dazu, die Bauteilsteifigkeit eines ungerissenen Bauteils zu erreichen. Dieses Ziel wird bei Verfahren 4.5 verfolgt.
- ⁵⁾ Abschnitt 6.6.1 des Teils 2 der DAfStb-RL SIB wird gestrichen. Anstelle der Tränkung wird die Füllart Vergießen (V) von Rissen geregelt.
- ⁶⁾ bei ungerissenen Bauteilen
- ⁷⁾ Beschichtungssysteme mit der Wasserdampf-Durchlässigkeit der Klasse II und III, gemäß Teil 2 Anhang A, dürfen nur verwendet werden, wenn der Beton bereits vor Auftrag der Beschichtung ausreichend ausgetrocknet ist.
- ⁸⁾ Für die Instandsetzung von Betonbauteilen, die durch eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion geschädigt wurden, müssen OS 5-Systeme mit einer wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke $s_D \leq 2,5$ m verwendet werden.
- ⁹⁾ Verfahren gegenüber DIN EN 1504-9 neu eingeführt
- ¹⁰⁾ PRM und PRC dürfen nur angewendet werden, wenn andere zementgebundene Betonersatzsysteme ausgeschlossen werden müssen (z. B. aus Zeitgründen und bei zu geringer Schichtdicke). Bei Anwendung von PRM/PRC ist die Auswirkung auf den Brandschutz zu beurteilen.
- ¹¹⁾ PRM/PRC sind nicht für den großflächigen Einsatz ($> 1 \text{ m}^2$) vorgesehen
- ¹²⁾ auch zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegenüber dem Ist-Zustand
- ¹³⁾ in der Regel zur Erhöhung der Bauteilsteifigkeit
- ¹⁴⁾ Beinhaltet Verfahren 4.6 gemäß DIN EN 1504-9
- ¹⁵⁾ Die erforderliche Schichtdicke des Oberflächenschutzsystems ist gemäß Teil 2, Anhang A.2 (6) den Angaben zur Ausführung zu entnehmen. Bei UV-Belastung ist die Beständigkeit nach DIN EN 1062-11 (Verfahren 4.2) nachzuweisen.
- ¹⁶⁾ Ein ausreichender Widerstand gegen mechanischen Angriff für die Einwirkung XM1 gilt durch Einhaltung der in DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 festgelegten Anforderungen als nachgewiesen. Bei einem Größtkorn $< 8 \text{ mm}$ muss der Verschleißwiderstand nach Böhme nach DIN EN 13892-3 mind. der Klasse A12 nach DIN EN 13813 entsprechen.
- ¹⁷⁾ Nicht anwendbar auf waagerechten und schwach geneigten Flächen, die von oben gespritzt werden müssen
- ¹⁸⁾ mit entsprechendem Nachweis des Widerstands gegen chemischen Angriff
- ¹⁹⁾ Ein ausreichender Widerstand gegen chemischen Angriff für die Einwirkungen XA1 und XA2 gilt durch Einhaltung der in DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 festgelegten Anforderungen als nachgewiesen. Alternativ kann ein ausreichender Widerstand gegen chemischen Angriff durch ein spezifisches Prüfverfahren nachgewiesen werden (vgl. DIN 19573).

Bild 17: Tabelle 5, Teil 2: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton

Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“ – Teil 1

6.2 Instandsetzungsverfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion

(1) In Tabelle 6 sind diejenigen Prinzipien und Verfahren zur vorbeugenden Abwehr von Korrosionsschäden bzw. zur Unterdrückung bereits ablaufender Korrosionsprozesse an der Bewehrung in Anlehnung an DIN EN 1504-9 aufgeführt, die nach dieser Technischen Regel angewendet werden dürfen. Alle weiteren in Tabelle 6 nicht aufgeführten Verfahren der DIN EN 1504-9 werden in dieser Technischen Regel nicht behandelt. Alle weiteren gegenüber DIN EN 1504-9 neu eingeführten Verfahren sind in Tabelle 6 durch Fußnoten gekennzeichnet.

Tabelle 6: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion

Prinzip	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Anwendbarkeit	Anforderungen an die Produkte/Systeme bei Anwendung des Verfahrens
1	2	3	4
7. Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	7.1 Erhöhung bzw. Teilerersatz der Betondeckung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton	– Anwendung unter Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15 – Es sind die Verfahren 3.1, 3.2 oder 3.3 anwendbar	– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL SIB, Berichtigung 3 – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	7.2 Ersatz von chloridhaltigem oder carbonatisiertem Beton		– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL SIB, Berichtigung 3 – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	7.4 Realkalisierung von carbonatisiertem Beton durch Diffusion		– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL SIB, Berichtigung 3 – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	7.6 Füllen von Rissen oder Hohlräumen ^{1), 2)}	– Beachtung der Anforderungen nach Tabellen 13 und 14	– F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1, – F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2, – D-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.3
	7.7 Beschichtung ¹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 2 (OS B) ³⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DI), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	7.8 Lokale Abdeckung von Rissen (Bandagen) ¹⁾		– OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
8. Erhöhung des elektrischen Widerstandes	8.1 Hydrophobierung ⁴⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 1 (OS A) ⁵⁾ gemäß Teil 2, Tabelle A.3
	8.3 Beschichtung ⁶⁾		– OS 2 (OS B) ³⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DI), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
10. Kathodischer Schutz	10.1 Anlegen eines elektrischen Potentials ⁷⁾	– Anwendung unter Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	– RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3

¹⁾ Verfahren gegenüber DIN EN 1504-9 neu eingeführt

²⁾ Abschnitt 6.6.1 des Teils 2 der DAfStb-RL SIB wird gestrichen. Anstelle der Tränkung wird die Füllart Vergießen (V) von Rissen geregelt.

³⁾ Bei OS 2 ist die Wirksamkeit von der Menge und Größe von Poren an der Betonoberfläche abhängig. OS 2 ist nur bei geschlossenen Oberflächen geeignet als Beschichtungssystem. OS 2 ist nur bedingt gegen Chlorideindringen einsetzbar.

⁴⁾ Das Verfahren 8.1 darf nicht bei den Expositionsklassen XD, XS angewendet werden. Kontrollmessungen zur Wirksamkeit sind im Instandhaltungsplan zu berücksichtigen.

Bild 18: Tabelle 6: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion

Für den vorliegenden Fall würden im Wesentlichen folgende Instandsetzungsprinzipien zur Ausführung kommen:

Instandsetzungsprinzip 4.1: Zufügen und Auswechseln von eingebetteten Bewehrungsstäben

Instandsetzungsprinzip 7.2: Ersatz von chloridhaltigem oder karbonatisierten Beton

Bei ausreichendem Bewehrungsgrad wäre alternativ evtl. das Instandsetzungsprinzip 10, kathodischer Korrosionsschutz, anwendbar. Dies ist aber aufgrund des vorhandenen Schädigungsgrades auf die Stützen unwirtschaftlich. Die Maßnahmen entsprechen mit Ausnahme eines etwas höheren Betonabtrags beim Prinzip 7.2 weitgehend den Ausführungen beim Instandsetzungsprinzip R der Instandsetzungsrichtlinie.

9.2.2 Oberflächenschutzsysteme gem. Tabelle 12 der TR Teil 1

Sämtliche Maßnahmen setzen sowohl nach der Instandsetzungsrichtlinie als auch nach der Technischen Regel entsprechende Oberflächenschutzmaßnahmen voraus. Diese sind in der Tabelle 12 der Technischen Regel neu definiert. Sie definieren sich je nach Anforderungen und Bauteile nach OS 1 bis OS 14. Die Oberflächenschutzmaßnahmen für befahrbare Bodenflächen unterscheiden sich je nach Anforderungen zwischen OS 8, OS 11a und b sowie OS 14. Die bisher unter OS 10 geführten Systeme werden durch OS 14 ersetzt.

9.3 Instandsetzung Stützensockel und Fundamente Variante 1

Kosten für die Konventionelle Instandsetzung Stützen und Fundamente Carl- Lämmle Gymnasium in Laupheim

Variante 1 Instandsetzungsprinzip R-CI, Grobkostenschätzung

Pos	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP	GP
Titel 1	Baustelleneinrichtung				
1.1	Einrichten der Baustelle	1	psch	8.000,00	8.000,00
1.2	Vorhalten der Baustelleneinrichtung	1	Wochen	350,00	EP
1.3	Räumen der Baustelle	1	psch	1.500,00	1.500,00
1.4	Herstellen Stromanschluss	1	psch	850,00	850,00
1.5	Vorhalten Stromanschluss	1	Wochen	50,00	EP
1.6	Herstellen Wasseranschluss	1	psch	250,00	250,00
1.7	Vorhalten Wasseranschluss	1	Wochen	85,00	EP
1.8	Wassermanagement	1	psch	1.000,00	1.000,00
1.8	Fremdüberwachung	1	psch	1.200,00	1.200,00
Titel 2	Nebenarbeiten				
2.1	Auf-Abbau Abstützung 80 KN	6	Stck	75,00	450,00
2.2	Vorhaltung Abstützung	5	Wochen	45,00	EP

2.3	Druckverteiler Stützen	6	Stck	35,00	210,00
2.4	Gerüste/Einhausungen um Stützen	10	Stück	800,00	8.000,00
2.5	Schutzmaßnahmen Fenster etc.	100	m²	10,00	1.000,00
2.6	Schutz Bodenflächen	80	m²	5,00	400,00
3.3	Fahrbares Gerüst	1	psch	1.250,00	1.250,00
Titel 4	Instandsetzung Stützen- und Wandsockel				
4.1	Untergrundvorbereitung	30	m²	20,00	600,00
4.2	Betonabtrag	0,5	m³	3.500,00	1.750,00
4.3	Oberflächenvorbereitung Bewehrung	10	m	10,00	100,00
4.4	Korrosionsschutz Bewehrung	10	m	15,00	150,00
4.5	Einbau Vergußbeton	0,5	m³	2.500,00	1.250,00
4.7	PCC- Dünnputz	30	m²	40,00	1.200,00
4.8	Hohlkehle	10	m	10,00	100,00
4.9	Oberflächenschutzsystem OS 5b	15	m²	65,00	975,00
4.10	Abkleben der Beschichtungsgrenzen	15	m	5,00	75,00
Titel 5	Pflasterbau				
5.1	Ausbau Verbundpflaster	20	m²	15,00	300,00
5.2	Ausbau Kies	0,05	m³	5,00	0,25
5.3	Ausbau Tragschicht	1	m³	10,00	10,00
5.4	Ausbau Vlies	150	m²	12,00	1.800,00
5.5	Einbau Noppenbahn	20	m²	15,00	300,00
5.6	Einbau Tragschicht	1	m³	35,00	35,00
5.7	Einbau Kies	0,05	m³	15,00	0,75
5.8	Einbau Verbundpflaster	20	m²	55,00	1.100,00
Titel 6	Malerarbeiten				
6.1	Untergrundvorbereitung Stützen	30	m²	10,00	300,00
6.2	Dispersionsanstrich Wände	30	m²	20,00	600,00
Titel 7	Stundenlohn				
7.1	Vorarbeiter	5	h	50,00	250,00
7.2	Facharbeiter	10	h	45,00	450,00
7.3	Fachwerker	10	h	40,00	400,00
Titel 8	Unvorhergesehenes				
8.1	15% aus Instandsetzung	15	%	35.856,00	5.378,40
Summe netto					41.234,40
9	Baunebenkosten (Ing- Büro, Statiker etc.)	15	%	41.234,40	6.185,16
Herstellkosten netto					47.419,56
	gesetzliche Mehrwertsteuer	19	%	47.419,56	9.009,72
Herstellkosten brutto Variante 1					56.429,28

In den vorgenannten Kosten sind nicht enthalten:

- Fremdgewerke (Elektriker,)

Es sind folgende Arbeitsschritte zu empfehlen:

Auf dieser Basis kann die **Instandsetzungsplanung** erstellt werden.

- Einrichten der Baustelle und Aufbau der Verkehrsleitung innerhalb des Schulgeländes
- Aufbau der Abstützungsmaßnahmen
- Aufbau Schutzmaßnahmen
- Ausbau Pflasterbelag incl. Bettung und Tragschicht bis zu Fundament
- An den Wand- und Stützensockel ist nicht an allen Proben der Chloridgehalt $< 0,5$ Masse% überschritten. Ein Abtrag ist daher lokal ausreichend und im Zuge der Ausführung zu überprüfen und durch den sachkundigen Planer festzulegen.
- Die abgetragenen Betonflächen sind durch den Einbau eines /Vergußbetons C35/45, XD entsprechend Bestand wieder herzustellen. Bei Flächen mit zu geringer Betondeckung sind die Flächen mit Übermaß herzustellen.
- Das genannte Beschichtungssystem OS5b entspricht dem aktuellen Stand der Technik und wird für die Sanierung von Stahlbetonbauteilen die mit Tausalzen beaufschlagt werden eingesetzt.
- Abbau der Abstützungsmaßnahmen
- Einbau von Tragschicht, Bettung und Verbundpflaster
- Rückbau der Schutzmaßnahmen und der Baustelleneinrichtung

Die **Variante 1** sieht vor, den mit Tausalz kontaminierten Beton der statisch relevanten Bauteile (Stützensockel) zu entfernen und mit einem neuen alkalischen Ersatzbeton wieder zu reprofilieren. Als präventiver Schutz gegen erneute Tausalzbelastung werden die instandgesetzten Bauteile mit einem Oberflächenschutzsystem versehen.

Im Rahmen der jährlichen Inspektion und Wartung gemachte Feststellungen müssen im Jahr der Feststellung instandgesetzt werden.

Durch die zu erwartenden Instandsetzungsarbeiten über die Nutzungsdauer fallen zusätzliche, jährliche Kosten an.

10.0 Wartungsplan

Eine regelmäßige und fachgerechte Wartung von mit Tausalzen beaufschlagten Stahlbetonbauteilen sollte bei jedem Gebäude, unabhängig von der Art der Konstruktion oder möglicherweise vorgenommener Abminderungen der Dicke und Dichtheit der Betondeckung sowie vorhandener Oberflächenschutzsysteme, durchgeführt werden.

Bei der Ausführung der Varianten 2a und 2b gemäß dem DBV – Merkblatt werden an die Wartung von mit Tausalzen beaufschlagten Stahlbetonbauteilen jedoch höhere, über die übliche Wartung hinausgehende Anforderungen gestellt. Im Wartungsplan müssen die Überprüfungshäufigkeit der Oberflächenschutzmaßnahme, die ggf. erforderlichen Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen in Abhängigkeit vom Überprüfungsergebnis sowie die Verfahrensweisen und die Verantwortlichkeiten festgelegt werden.

	1	2	3	4	5	6	7
1	Variante	Variante A		Variante B		Variante C	
2	Beschreibung	ohne flächiges Oberflächenschutzsystem oder ohne Abdichtung (jedoch mit besonderer Maßnahme bei Rissen und Fugen)		mit flächigem Oberflächenschutzsystem ^{d)}		mit flächiger, rissüberbrückender Abdichtung und Schutzschicht ^{d)}	
3	Untervariante	A1	A2	B1	B2	C1	C2
		rissvermeidende Bauweise	lokaler Schutz der Risse und Fugen ^{b)} (z. B. rissüberbrückende Bandage)	vollflächig starr beschichtet: OS 8 mit begleitender Rissbehandlung ^{b)} (z. B. rissüberbrückende Bandage)	vollflächig rissüberbrückend beschichtet: OS 10 mit Nuttschicht oder OS 11	OS 10 oder unterlaufsichere ^{c)} bahnenförmige Abdichtung, jeweils mit Dichtungs- und Schutzschicht aus Gussasphalt	unterlaufsichere ^{c)} zweilagige bahnenförmige Abdichtung mit Schutzschicht
4	Entwurfsgrundsatz	a	c	c	b	a, b	a, b
5	Expositions- und Feuchtigkeitsklasse	XD3, XC4, WA (ggf. XF2 oder XF4)		XD1, XC3, WF (ggf. XF1)		XC3, WF (ggf. XF1)	
6	Mindestbetondeckung ^{cmin}	Betonstahl 40 mm Spannstahl 50 mm		Betonstahl 40 mm Spannstahl 50 mm		Betonstahl 20 mm Spannstahl 30 mm	
7	Inspektion ^{a)}	jährlich in den ersten 5 Jahren, danach mindestens:					
		alle 2 Jahre	jährlich	jährlich	jährlich	alle 2 Jahre	alle 2 Jahre

a) Für alle Varianten ist ein Instandhaltungsplan im Sinne der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [R1] erforderlich.

b) Planung und Ausführung des dauerhaften lokalen Schutzes von Rissen und Fugen nach DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [R1].

c) Voraussetzung für die Unterlaufsicherheit einer direkt auf dem Betonuntergrund aufgetragenen Abdichtungsschicht ist eine vollflächige, dauerhaft kraftschlüssige Verbindung zur Betonunterlage. Der Betonuntergrund ist dazu vor Aufbringen der Abdichtungsbahn durch Kugelstrahlen vorzubereiten und mit Epoxidharz zu behandeln (Verfahren und Stoffe nach ZTV ING [R60], Teil 7, Abschnitt 1:2003-01, Abschnitt 2:2010-04, Abschnitt 3:2003-01).

d) Alternative Produkte oder Bauarten sind möglich, wenn deren Gleichwertigkeit mit den Oberflächenschutzsystemen oder Abdichtungen nachgewiesen wird.

Anmerkung: Sobald die in Vorbereitung befindliche DAfStb-Instandhaltungs-Richtlinie bauaufsichtlich eingeführt ist, ist diese als Grundlage der Planung, Ausschreibung und Ausführung von Oberflächenschutzsystemen zu verwenden.

Bild 19: Wartungsintervalle mit empfohlenen Inspektionen nach DBV Merkblatt [4]

11.0 Baulogistik und Bauausführung

Für die anstehende Sanierung der Stützen und Fundamente an den Gebäuden Carl-Lämmle Gymnasium in Laupheim ist die Ausführung als Gesamtbaumaßnahme zu empfehlen (Vollsperrung). Kleinteiligere Bauabschnitte sind nicht zu empfehlen und generell mit einer Verlängerung der Bauzeit und mit einer Erhöhung der Baukosten verbunden. Jedes Gewerk müsste mehrfach durchgeführt werden.

Die Instandsetzungsmaßnahmen sind nach der bauaufsichtlich eingeführten Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen RiliSIB 2001 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton durchzuführen. Die genaue Vorgehensweise ist im Vorfeld der eigentlichen Instandsetzungsmaßnahme zu organisieren und sowohl zeitlich wie auch logistisch zu berücksichtigen.

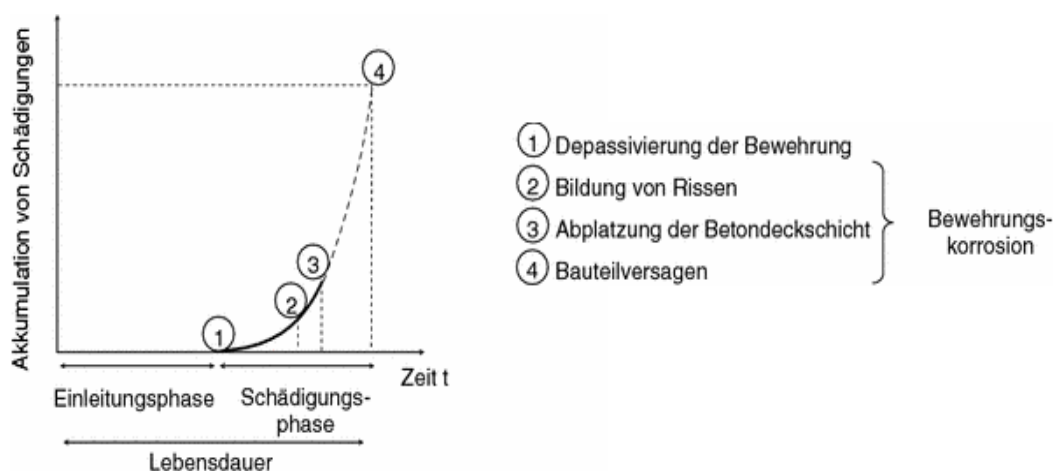


Bild 20: Verlauf der Schädigungsphasen nach Tuuti

Um den Beton der tragenden Stützen abtragen zu können, sind temporäre Abstützungsmaßnahmen oder Pilgerschrittverfahren zu ergreifen, die durch einen Tragwerksplaner im Vorfeld der Instandsetzung zu planen und auszulegen sind.

Aus Sicht des Ingenieurbüros Peter Grandel GmbH sollte die Maßnahme mittelfristig umgesetzt werden. Die Empfehlung einer mittelfristigen Umsetzung beruht auf den Tatsachen, dass sich bisher die Schäden aus Chlorideintrag und Karbonatisierung an den Stützen mit beginnendem Schädigungsgrad der Bewehrung abzeichnen.

Ein Großteil der Stützensockel ist nur sehr lokal geschädigt und daher befindet sich die Schadenentstehung noch im Anfangsstadium. Bei einem exponentiellen Schadensverlauf durch Chlorideintrag steigen der Schadensgrad und damit verbunden die Instandsetzungskosten sehr schnell an.

Die Dauer der Ausführung wird auf ca. 3-4 Wochen geschätzt.

12.0 Zusammenfassung

Die Instandsetzungsmaßnahmen sind nach der bauaufsichtlich eingeführten Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen Rili-SIB 2001 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton durchzuführen. Die genaue Vorgehensweise ist im Vorfeld der eigentlichen Instandsetzungsmaßnahme zu organisieren und sowohl zeitlich wie auch logistisch zu berücksichtigen.

Im Zuge der Bauwerksuntersuchungen wurde festgestellt, dass zum derzeitigen Zeitpunkt in der Hauptsache an den Stützensockel am Eingang zum Hauptgebäude bauteilbezogene Schäden entstanden sind.

Um den Zustand des Bauwerks nachhaltig zu erhalten, wird empfohlen, die Bauteile instand zu setzen und nach den heutigen Regelwerken zu schützen.

Stützensockel

Die aus dem Stützensockel Stütze S2 und S3 entnommenen Bohrmehlproben aus dem Dezember 2021 weisen erhöhte Mengen an Chloriden $\geq 0,5$ Masse% Cl bezogen auf den Zementgehalt auf.

Die Karbonatisierungsfront an Stütze S2 ist mit 22 mm schon tief in den Beton vorgedrungen. Bei einer Mindestbetondeckung von 18 mm liegen die Bewehrungsseisen zum Teil im karbonatisierten Beton und befinden sich somit im ungeschützten Bereich.

An den freigelegten Bewehrungsseisen der Stützen S2 (ST1 und St 3) konnten geringe Korrosionsspuren an der Bewehrung bereits festgestellt werden.

Allgemeines bei Chloridkorrosion

Der Schädigungsgrad, insbesondere durch die chloridinduzierte Lochfraßkorrosion, verhält sich progressiv, wenn Korrosionsaktivität erst mal eingetreten ist.

Dies wird durch eine Rissbildung deutlich begünstigt. Die Schadensentwicklung beschleunigt sich ebenso wie die Kostenentwicklung, da mit dem Anstieg des Schädigungsgrades an der Bewehrung die Kosten für Bewehrungszulagen, Betonabtrag und temporäre Baubehelfe wie beispielsweise Notabstützmaßnahmen überproportional ansteigen. Schäden, die Auswirkungen auf die Standsicherheit des Gebäudes haben können, sind derzeit nicht vorhanden. Die fehlende Oberflächenschutzsysteme begünstigen den Schadensverlauf und lassen mittelfristig weitere Schädigungen erwarten.

Um den Beton der tragenden Bauteile abtragen zu können, sind temporäre Abstützungsmaßnahmen oder Pilgerschrittverfahren zu ergreifen, die durch einen Tragwerksplaner im Vorfeld der Instandsetzung zu planen und auszulegen sind.

Aus Sicht des Ingenieurbüros Peter Grandel GmbH sollte die Maßnahme aus Gründen der vorgefunden Schäden mittelfristig umgesetzt werden.

Die Empfehlung einer mittelfristigen Umsetzung beruht auf Basis unserer Untersuchungsergebnisse. Wir beurteilen in diesem Gutachten auch die technische Dringlichkeit von Betoninstandsetzungsmaßnahmen. Für eine solche Beurteilung existieren verschiedene Möglichkeiten. Wir bewerten die Dringlichkeit in Anlehnung an die RI-EBW-PRÜF 2017 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Die Bewertung erfolgt durch eine Einstufung des Bauwerks bzw. Bauteiles in sechs Notenbereiche, in ähnlicher Art und Weise wie bei Schulnoten. Die betreffende Tabelle der RI-EBW-PRÜF 2017 haben wir in der Anlage 4 eingefügt.

Nach den anerkannten Regeln der Technik müssen beim Auftreten chloridhaltiger wässriger Lösungen entweder geeignete Oberflächenschutzsysteme oder andere Bauweisen zum Einsatz kommen (z. B. Gussasphaltbelag plus Abdichtung, rissfreie Bauteile mit ausreichender Betondeckung), die dazu in der Lage sind, das Eindringen von chloridhaltigem Wasser zu verhindern bzw. die Bewehrung vor Korrosion über die gesamte Nutzungsdauer zu schützen. Ein geeignetes Oberflächenschutzsystem muss dazu nicht nur in der Bodenfläche wirksam sein, sondern es muss auch die aufgehenden Bauteile schützen und daher an den Stützen ausreichend weit über die Oberkante der Bodenbeläge hochgezogen werden. An den Stützen der Gebäude Carl-Lämmle Gymnasium ist kein wirksames Oberflächenschutzsystem auf den Aussenstützen vorhanden. Die aufgehenden Aussenbauteile sind dadurch nicht geschützt.

Diesbezüglich möchten wir anmerken, dass es im Grundsatz zwar zulässig ist, den Schutz von Stahlbetonbauteilen der vorliegenden Art ohne Oberflächenschutzsystem und ohne Abdichtung sicherzustellen. Diese Ausführungsvariante setzt aber voraus, dass die Stahlbetonbauteile rissfrei gehalten werden und dass das für die vorliegende Expositionsklasse geforderte Mindestmaß der Betondeckung (hier: $c_{\min} = 30 \text{ mm}$) auch tatsächlich vorhanden ist. Beide Voraussetzungen sind an den Stützensockel der Gebäude Carl-Lämmle Gymnasium in Laupheim aber nicht gegeben. Vielmehr zeigte sich, dass das geforderte Mindestmaß der Betondeckung nicht an jeder Stelle vorhanden war. Deshalb ist der Schutz der vorliegenden Stützen vor dem Eindringen von Chloriden unzureichend.

Das Fehlen eines Oberflächenschutzsystems auf den Stützen führt zusätzlich zu einer Chloridbelastung der Stahlbetonbauteile. Dies spiegelte sich bei unseren Untersuchungen wider. Es zeigten sich nämlich, dass in den direkt an begehbare Flächen angrenzenden Stützensockel S2 und S3 erhöhte Chloridgehalte, die deutlich über dem gemäß Instandsetzungs-Richtlinie kritischen Grenzwert von 0,5 Masse-% Cl- liegen, gemessen wurden.

Der Prozess der Betonschädigung befindet sich im Anfangsstadium. Der Verlauf einer durch Chloride verursachten Stahlkorrosion verläuft exponentiell.

Würde man allein den augenscheinlichen Zustand als Beurteilungskriterium heranziehen, so käme man zu dem falschen Schluss, dass nur die Stütze S2 und S3 der Gebäude Carl-Lämmle Gymnasium, einen schlechten Zustand aufweisen.

Aus den gemessenen Chloridgehalten, dem Fortschreiten der Karbonatisierungsfront bis zur eine Eindringtiefe von 27 mm und der Unterschreitung der Mindestbetondeckung, schließen wir jedoch, dass sich die Bewehrung der vorliegenden Stahlbetonbauteile „in Korrosionsbereitschaft“ befindet und Korrosion auch schon eingetreten ist. Diesbezüglich muss man sich vor Augen halten, dass chloridinduzierte Korrosion im Innern der Bauteile auch ablaufen kann, ohne dass es dabei zunächst zu sichtbaren Schäden an der Betonoberfläche kommt. Aufgrund unserer Untersuchungsergebnisse ordnen wir daher die Stützen in Anlehnung an das vor beschriebene Bewertungssystem der Note

2,0 – 2,4 = befriedigender Zustand

zu.

Die Beschreibung des Notenbereichs 2,0 – 2,4 der RI-EBW-PRUF 2017 mit dem Begriff „befriedigender Zustand“ im Sinne der Anlage 4 dieses Gutachtens trifft den Zustand der Stützen im Allgemeinen gut, wobei die Stützen S2 und S3 einen deutlich schlechteren Zustand aufzeigen wie die restlichen beprobten Stützen. Die Standsicherheit der vorliegenden Stahlbetonbauteile ist noch gegeben, ist mit aber beeinträchtigt.

Wir empfehlen daher, mittelfristig, das heißt etwa innerhalb der nächsten zwei Jahre, Instandsetzungsmaßnahmen zu ergreifen. Ansonsten besteht die Gefahr, dass an den Stützen gravierendere Schäden an der Bewehrung und am Beton entstehen, die die Standsicherheit gefährden und sehr aufwändige Instandsetzungsmaßnahmen erfordern.

Ludwigsburg, den 27.06.2022

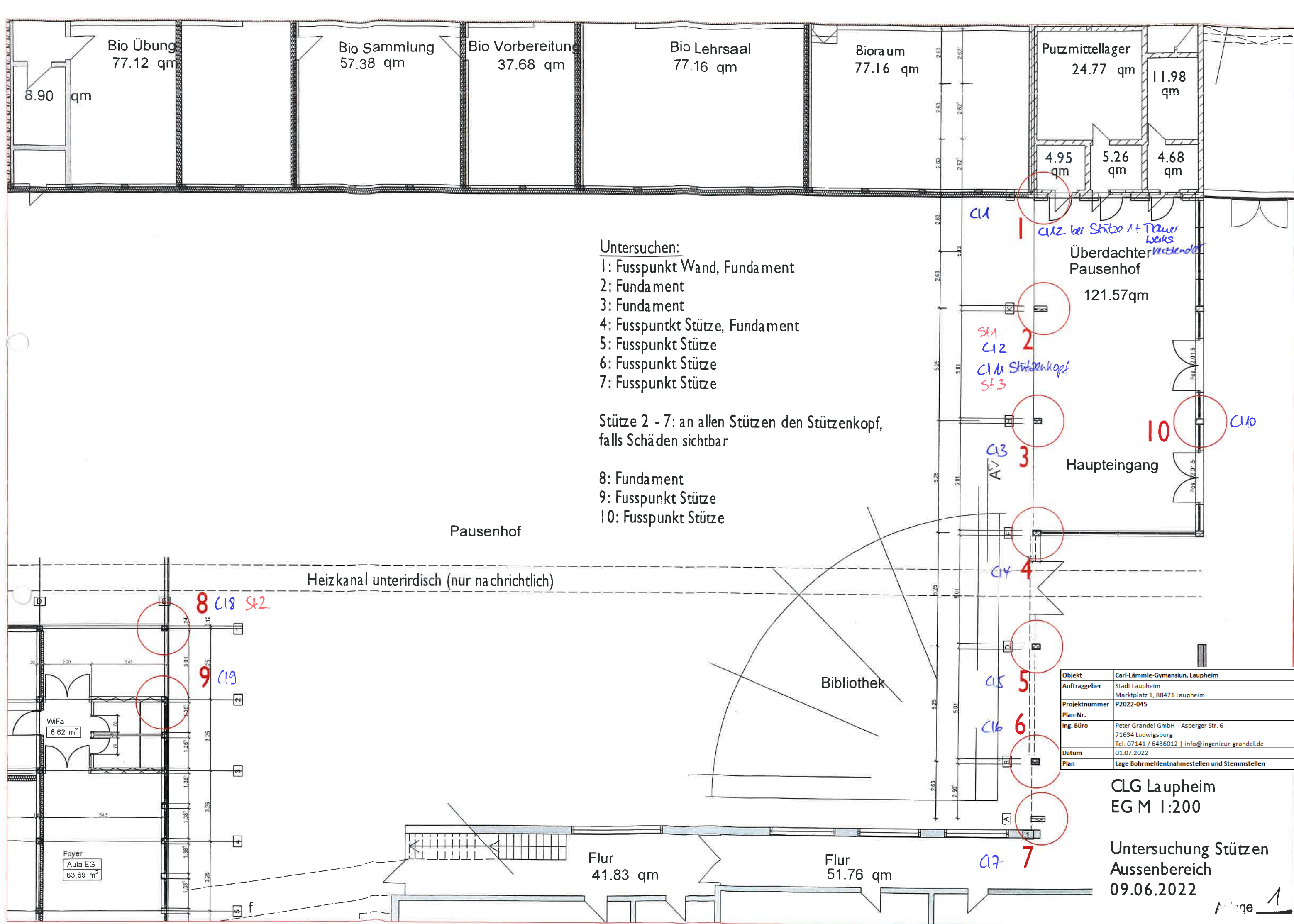


.....
Peter Grandel

Master of Engineering

13.0 Anlagen

Plan Entnahmestellen Bohrmehl und Stemmstellen	Anlage 1
Analyse Chloridproben	Anlage 2
Prüfprotokolle Messung Betondeckung	Anlage 3
RI-EBW-PRÜF 2017	Anlage 4



Erstellung von
chemischen
und
umwelttechnischen
Laboranalysen

Professionelle,
kompetente,
fachkundige
Beratung

CP Analytics

Christina Poulidou

info@cpanalytics.de



Tel.: + 49 (0) 163 - 1977715
Aubertstraße 13
70736 Fellbach-Schmiden

Prüfbericht: CPA-2206007_Laupheim_Chlorid

Analytik im Feststoff

Auftraggeber: Ingenieurbüro Peter Grandel GmbH, Asperger Straße 6, 71634 Ludwigsburg
Projekt: Laupheim, Carl-Linné-Gymnasium
Projektbearbeiter: Herr Grandel
Probenahme: durch Auftraggeber
Bearbeitungszeitraum: 09.06.-22.06.2022

Untersuchungsbefund:

Ermittlung des Chlorigehalts an Bohrmehlproben

gem. Heft 401 DAfStb (4.5 durch Photometrie und Kaltaufschluß mit verd. Salpetersäure)

Auftrags-Datum	Labor-nummer	Proben-menge im PE-Becher	Entnahme-stelle	Probenbe-zeichnung	Meßwert Chlorid [mg/l]	Chlorigehalt M % bezogen auf Beton	Chlorigehalt M % bezogen auf Zement*
09.06.2022	2206007-1	5-10g	CL1	0-2 cm	9,33	0,012	0,082
09.06.2022	2206007-2	5-10g		2-4 cm	7,70	0,010	0,068
09.06.2022	2206007-3	5-10g		4-6 cm	8,62	0,011	0,076
09.06.2022	2206007-4	5-10g	CL2	0-2 cm	5,93	0,007	0,052
09.06.2022	2206007-5	5-10g		2-4 cm	6,03	0,008	0,053
09.06.2022	2206007-6	5-10g		4-6 cm	8,08	0,010	0,071
09.06.2022	2206007-7	5-10g	CL3	0-2 cm	8,10	0,010	0,071
09.06.2022	2206007-8	5-10g		2-4 cm	7,41	0,009	0,065
09.06.2022	2206007-9	5-10g		4-6 cm	5,61	0,007	0,049
09.06.2022	2206007-10	5-10g	CL4	0-2 cm	42,5	0,053	0,374
09.06.2022	2206007-11	5-10g		2-4 cm	13,4	0,017	0,118
09.06.2022	2206007-12	5-10g		4-6 cm	6,60	0,008	0,058
09.06.2022	2206007-13	5-10g	CL5	0-2 cm	7,90	0,010	0,069
09.06.2022	2206007-14	5-10g		2-4 cm	7,92	0,010	0,070
09.06.2022	2206007-15	5-10g		4-6 cm	5,89	0,007	0,052
09.06.2022	2206007-16	5-10g	CL6	0-2 cm	12,4	0,016	0,109
09.06.2022	2206007-17	5-10g		2-4 cm	11,5	0,014	0,101
09.06.2022	2206007-18	5-10g		4-6 cm	9,97	0,012	0,088
09.06.2022	2206007-19	5-10g	CL7	0-2 cm	5,93	0,007	0,052
09.06.2022	2206007-20	5-10g		2-4 cm	13,4	0,017	0,118
09.06.2022	2206007-21	5-10g		4-6 cm	11,5	0,014	0,101
09.06.2022	2206007-22	5-10g	CL8	0-2 cm	10,3	0,013	0,091
09.06.2022	2206007-23	5-10g		2-4 cm	22,5	0,028	0,198
09.06.2022	2206007-24	5-10g		4-6 cm	16,8	0,021	0,148
09.06.2022	2206007-25	5-10g	CL9	0-2 cm	9,36	0,012	0,082
09.06.2022	2206007-26	5-10g		2-4 cm	7,55	0,009	0,066
09.06.2022	2206007-27	5-10g		4-6 cm	11,0	0,014	0,097
09.06.2022	2206007-28	5-10g	CL10	0-2 cm	10,3	0,013	0,091
09.06.2022	2206007-29	5-10g		2-4 cm	34,0	0,043	0,299
09.06.2022	2206007-30	5-10g		4-6 cm	27,9	0,035	0,245
09.06.2022	2206007-31	5-10g	CL11	0-2 cm	10,9	0,014	0,096
09.06.2022	2206007-32	5-10g		2-4 cm	12,7	0,016	0,112
09.06.2022	2206007-33	5-10g		4-6 cm	6,75	0,008	0,059
09.06.2022	2206007-34	5-10g	CL12	0-2 cm	6,76	0,008	0,059
09.06.2022	2206007-35	5-10g		2-4 cm	11,8	0,015	0,104
09.06.2022	2206007-36	5-10g		4-6 cm	13,7	0,017	0,120

* Die angegebenen %-Werte beziehen sich auf ein angenommenes Zementgewicht v45,5on 320 kg/m³ und eine Betontrockenrohdichte von 2250 kg/m³.

Anmerkung: Die im Prüfbericht aufgeführten Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung, ohne unsere schriftliche Genehmigung, ist nicht zulässig.

Fellbach, den 22. Juni 2022

CP Analytics

Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.

Christina Poulidou
(Laborleiterin)

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Cl1	09-06-2022 11:31 AM	Linie	2	1	0.310 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie

Kurve: Deckung

1x

1x

Schnappschüsse

(mm mm mm)

[Distanz(m) Deckung(mm)]

L: 1

[-0.198 77.2]

[-0.024 23.3]

Deckungsstatistik [Normal]

Anzahl Messwerte

Median (mm)

Mittel (mm)

Standardabweichung (mm)

Tiefste (mm)

Höchste (mm)

2

50.3

50.3

27.0

23

77

Statistik der Stababstände

Anzahl Messwerte

Median (mm)

Mittel (mm)

Standardabweichung (mm)

Tiefste (mm)

Höchste (mm)

1

0

174

0

174

174

Kommentar

[Hinzufügen]

Geräteinfo

Einstellungen

Auswahl Messbereich

Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)

Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)

Artificial Intelligence / Nachbarstabskorrektur (NRC)

Stababstand a1 Scan-X (cm)

Stababstand a2 Scan-Y (cm)

Überdeckungskalibrierung

Mindestdeckung

Mindestbetondeckungswert (mm)

Höchstbetondeckung

Höchstbetondeckungswert (mm)

Korrekturwert für Deckung

Korrekturwert für Deckung (mm)

Überdeckungsberechnung

Stabposition ausrichten

Linienhöhe (cm)

Rasterbreite (cm)

Sondenposition

Sondenwagen

Standard (AI)

10

10

☒

5

5

☐

☒

30

☐

-

-

-

Konservativ (Unterschätzung)

-

-

-

◇

Ruggedized

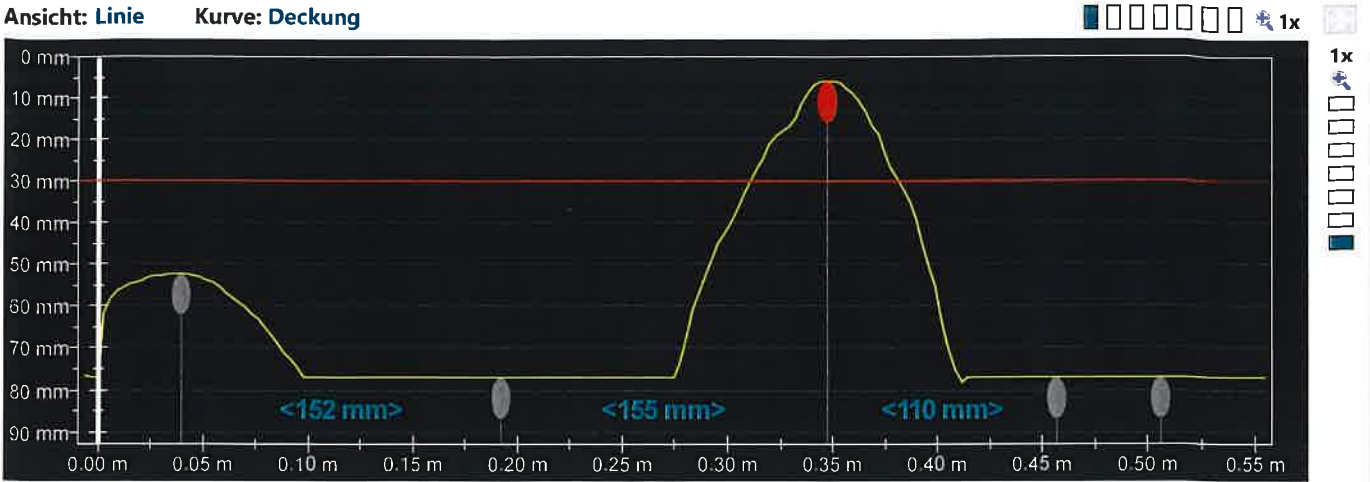
Anlage 3

Seite 12 von 12

Messung 1 nur 09-06 verwenden.pqm

27-06-2022 7:34 AM

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Fundament vorne Cl 2	09-06-2022 10:57 AM	Linie	5	1	0.560 m	0	Metrisch



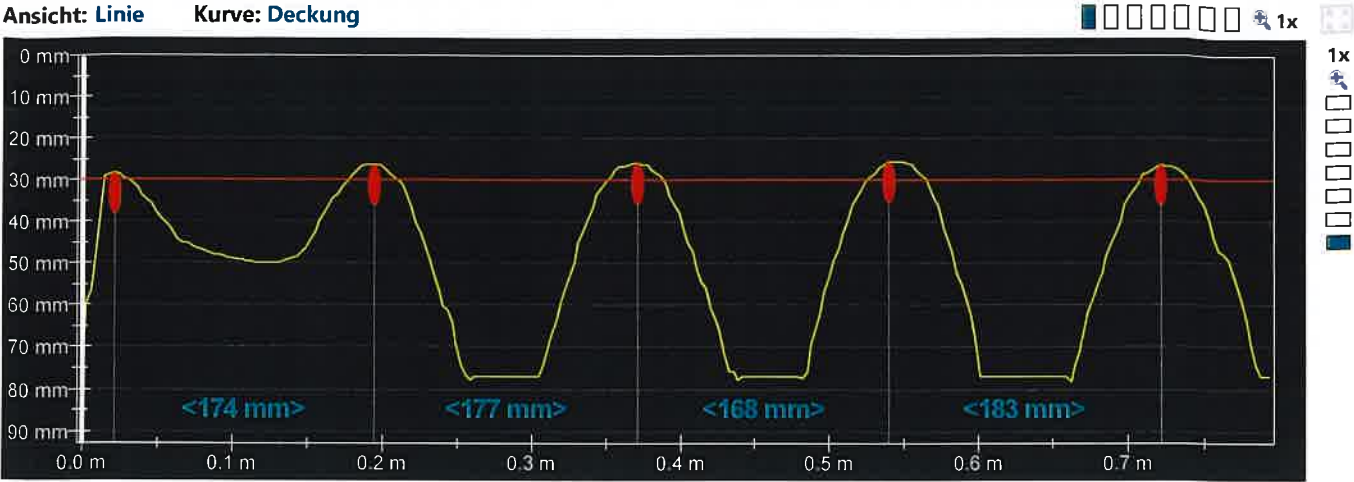
Schnappschüsse	[Distanz(m) Deckung(mm)]	Deckungsstatistik [Normal]	Statistik der Stababstände
(mm mm mm)	1	Anzahl Messwerte 5	Anzahl Messwerte 4
	[0.040 52.2]	Median (mm) 77.2	Median (mm) 131
	[0.192 77.2]	Mittel (mm) 57.9	Mittel (mm) 117
	[0.347 5.8]	Standardabweichung (mm) 27.8	Standardabweichung (mm) 43
	[0.457 77.2]	Tiefste (mm) 6	Tiefste (mm) 49
	[0.506 77.2]	Höchste (mm) 77	Höchste (mm) 155

Kommentar	Geräteinfo	Einstellungen
[Hinzufügen]	Auswahl Messbereich	Standard (AI)
	Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)	10
	Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)	10
	Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)	☒
	Stababstand a1 Scan-X (cm)	5
	Stababstand a2 Scan-Y (cm)	5
	Überdeckungskalibrierung	☐
	Mindestdeckung	☒
	Mindestbetondeckungswert (mm)	30
	Höchstbetondeckung	☐
	Höchstbetondeckungswert (mm)	-
	Korrekturwert für Deckung	☐
	Korrekturwert für Deckung (mm)	-
	Überdeckungsrechnung	Konservativ (Unterschätzung)
	Stabposition ausrichten	-
	Linienhöhe (cm)	-
	Rasterbreite (cm)	-
	Sondenposition	◇
	Sondenwagen	Ruggedized

	Standard (AI)
Auswahl Messbereich	
Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)	10
Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)	10
Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)	☒
Stababstand a1 Scan-X (cm)	5
Stababstand a2 Scan-Y (cm)	5
Überdeckungskalibrierung	☐
Mindestdeckung	☒
Mindestbetondeckungswert (mm)	30
Höchstbetondeckung	☐
Höchstbetondeckungswert (mm)	-
Korrekturwert für Deckung	☐
Korrekturwert für Deckung (mm)	-
Überdeckungsberechnung	Konservativ (Unterschätzung)
Stabposition ausrichten	-
Linienhöhe (cm)	-
Rasterbreite (cm)	-
Sondenposition	-
Sondenwagen	Ruggedized

27-06-2022 7:34 AM

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Karbo 4(01)	09-06-2022 10:45 AM	Linie	5	1	0.792 m	0	Metrisch



Schnappschüsse (mm mm mm)	[Distanz(m) Deckung(mm)]	Deckungsstatistik [Normal]	Statistik der Stababstände
	L: 1 [0.021 28.5] [0.195 26.2] [0.372 26.0] [0.539 25.7] [0.722 26.5]	Anzahl Messwerte: 5 Median (mm): 26.2 Mittel (mm): 26.6 Standardabweichung (mm): 1.0 Tiefste (mm): 26 Höchste (mm): 29	Anzahl Messwerte: 4 Median (mm): 175 Mittel (mm): 175 Standardabweichung (mm): 5 Tiefste (mm): 168 Höchste (mm): 183
Kommentar [Hinzufügen]	Geräteinfo	Einstellungen	
		Auswahl Messbereich	
		Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)	
		Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)	
		Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)	
		Stababstand a1 Scan-X (cm)	
		Stababstand a2 Scan-Y (cm)	
		Überdeckungskalibrierung	
		Mindestdeckung	
		Mindestbetondeckungswert (mm)	
		Höchstbetondeckung	
		Höchstbetondeckungswert (mm)	
		Korrekturwert für Deckung	
		Korrekturwert für Deckung (mm)	
		Überdeckungsberechnung	
		Stabposition ausrichten	
		Linienhöhe (cm)	
		Rasterbreite (cm)	
		Sondenposition	
		Sondenwagen	

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Cl 5	09-06-2022 9:56 AM	Linie	5	1	0.716 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie

Kurve: Deckung

0 mm

10 mm

20 mm

30 mm

40 mm

50 mm

60 mm

70 mm

80 mm

90 mm

-0.7 m

-0.6 m

-0.5 m

-0.4 m

-0.3 m

-0.2 m

-0.1 m

-0.0 m

<171 mm>

<186 mm>

<134 mm>

<101 mm>

<91 mm>

1x

1x

Schnappschüsse

[Distanz(m) Deckung(mm)]

(mm mm mm)

L: 1

[-0.667 21.2]

[-0.497 20.8]

[-0.311 18.9]

[-0.177 18.8]

[-0.076 20.1]

Deckungsstatistik [Normal]

Anzahl Messwerte

5

Median (mm)

20.1

Mittel (mm)

20.0

Standardabweichung (mm)

1.0

Tiefste (mm)

19

Höchste (mm)

21

Statistik der Stababstände

Anzahl Messwerte

4

Median (mm)

152

Mittel (mm)

148

Standardabweichung (mm)

33

Tiefste (mm)

101

Höchste (mm)

186

Kommentar

[Hinzufügen]

Geräteinfo

Auswahl Messbereich

Standard (AI)

Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)

10

Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)

10

Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)

☒

Stababstand a1 Scan-X (cm)

5

Stababstand a2 Scan-Y (cm)

5

Überdeckungskalibrierung

☐

Mindestdeckung

☒

Mindestbetondeckungswert (mm)

30

Höchstbetondeckung

☐

Höchstbetondeckungswert (mm)

-

Korrekturwert für Deckung

☐

Korrekturwert für Deckung (mm)

-

Überdeckungsberechnung

Konservativ (Unterschätzung)

Stabposition ausrichten

-

Linienhöhe (cm)

-

Rasterbreite (cm)

-

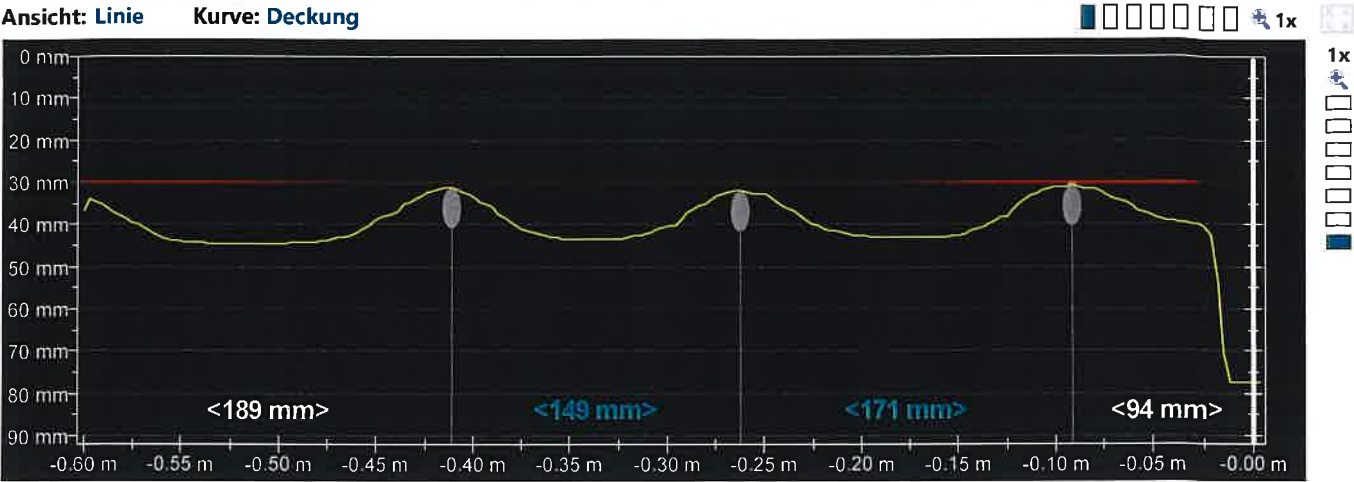
Sondenposition

◇

Sondenwagen

Ruggedized

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Cl 6	09-06-2022 9:56 AM	Linie	3	1	0.603 m	0	Metrisch



Schnappschüsse (mm mm mm)	[Distanz(m) Deckung(mm)]	Deckungsstatistik [Normal]	Statistik der Stababstände
L: 1		Anzahl Messwerte 3	Anzahl Messwerte 2
	[-0.411 31.3]	Median (mm) 31.3	Median (mm) 160
	[-0.262 32.0]	Mittel (mm) 31.4	Mittel (mm) 160
	[-0.091 30.8]	Standardabweichung (mm) 0.5	Standardabweichung (mm) 11
		Tiefste (mm) 31	Tiefste (mm) 149
		Höchste (mm) 32	Höchste (mm) 171

Kommentar	Geräteinfo
[Hinzufügen]	Einstellungen
	Auswahl Messbereich Standard (AI)
	Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm) 10
	Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm) 10
	Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC) ☒
	Stababstand a1 Scan-X (cm) 5
	Stababstand a2 Scan-Y (cm) 5
	Überdeckungskalibrierung ☐
	Mindestdeckung ☒
	Mindestbetondeckungswert (mm) 30
	Höchstbetondeckung ☐
	Höchstbetondeckungswert (mm) -
	Korrekturwert für Deckung ☐
	Korrekturwert für Deckung (mm) -
	Überdeckungsberechnung Konservativ (Unterschätzung)
	Stabposition ausrichten -
	Linienhöhe (cm) -
	Rasterbreite (cm) -
	Sondenposition ☐
	Sondenwagen Ruggedized

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Cl 7	09-06-2022 9:57 AM	Linie	5	1	0,780 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie Kurve: Deckung

0 mm

10 mm

20 mm

30 mm

40 mm

50 mm

60 mm

70 mm

80 mm

90 mm

1x

1x

Schnappschüsse

(mm mm mm)

[Distanz(m) Deckung(mm)]

L: 1

[-0.637 25.5]

[-0.570 48.8]

[-0.390 49.7]

[-0.216 47.0]

[-0.104 26.3]

Deckungsstatistik [Normal]

Anzahl Messwerte

Median (mm)

Mittel (mm)

Standardabweichung (mm)

Tiefste (mm)

Höchste (mm)

5

47.0

39.5

11.1

26

50

Statistik der Stababstände

Anzahl Messwerte

Median (mm)

Mittel (mm)

Standardabweichung (mm)

Tiefste (mm)

Höchste (mm)

4

143

133

46

67

180

Kommentar

[Hinzufügen]

Geräteinfo

Auswahl Messbereich

Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)

Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)

Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)

Stababstand a1 Scan-X (cm)

Stababstand a2 Scan-Y (cm)

Überdeckungskalibrierung

Mindestdeckung

Mindestbetondeckungswert (mm)

Höchstbetondeckung

Höchstbetondeckungswert (mm)

Korrekturwert für Deckung

Korrekturwert für Deckung (mm)

Überdeckungsberechnung

Stabposition ausrichten

Linienhöhe (cm)

Rasterbreite (cm)

Sondenposition

Sondenwagen

Standard (AI)

10

10

☒

5

5

☐

☒

30

☐

-

☐

-

Konservativ (Unterschätzung)

-

-

-

◇

Ruggedized

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Cl 8(02)	09-06-2022 9:10 AM	Linie	1	1	0,237 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie Kurve: Deckung

0 mm

10 mm

20 mm

30 mm

40 mm

50 mm

60 mm

70 mm

80 mm

90 mm

<131 mm>

-0.24 m

-0.22 m

-0.20 m

-0.18 m

-0.16 m

-0.14 m

-0.12 m

-0.10 m

-0.08 m

-0.06 m

-0.04 m

-0.02 m

-0.00 m

1x

1x

Schnappschüsse

(mm mm mm)

[Distanz(m) Deckung(mm)]

L: 1

[-0.107 77.2]

Deckungsstatistik [Normal]

Anzahl Messwerte

Median (mm)

Mittel (mm)

Standardabweichung (mm)

Tiefste (mm)

Höchste (mm)

1

77.2

77.2

0.0

77

77

Statistik der Stababstände

Anzahl Messwerte

Median (mm)

Mittel (mm)

Standardabweichung (mm)

Tiefste (mm)

Höchste (mm)

0

0

0

0

0

0

Kommentar

[Hinzufügen]

Geräteinfo

Einstellungen

Auswahl Messbereich

Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)

Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)

Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)

Stababstand a1 Scan-X (cm)

Stababstand a2 Scan-Y (cm)

Überdeckungskalibrierung

Mindestdeckung

Mindestbetondeckungswert (mm)

Höchstbetondeckung

Höchstbetondeckungswert (mm)

Korrekturwert für Deckung

Korrekturwert für Deckung (mm)

Überdeckungsberechnung

Stabposition ausrichten

Linienhöhe (cm)

Rasterbreite (cm)

Sondenposition

Sondenwagen

Standard (AI)

10

10

☒

5

5

☐

☒

40

☐

-

☐

-

Konservativ (Unterschätzung)

-

-

-

-

Ruggedized

	Standard (AI)
Auswahl Messbereich	
Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)	10
Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)	10
Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)	☒
Stababstand a1 Scan-X (cm)	5
Stababstand a2 Scan-Y (cm)	5
Überdeckungskalibrierung	☐
Mindestdeckung	☒
Mindestbetondeckungswert (mm)	30
Höchstbetondeckung	☐
Höchstbetondeckungswert (mm)	-
Korrekturwert für Deckung	☐
Korrekturwert für Deckung (mm)	-
Überdeckungsberechnung	Konservativ (Unterschätzung)
Stabposition ausrichten	-
Linienhöhe (cm)	-
Rasterbreite (cm)	-
Sondenposition	◇
Sondenwagen	Ruggedized

27-06-2022 7:33 AM

Anlage 3

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Karbo 11	09-06-2022 11:30 AM	Linie	4	1	0.444 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie

Kurve: Deckung

0 mm

10 mm

20 mm

30 mm

40 mm

50 mm

60 mm

70 mm

80 mm

90 mm

<61 mm>

<232 mm>

<79 mm>

-0.40 m

-0.35 m

-0.30 m

-0.25 m

-0.20 m

-0.15 m

-0.10 m

-0.05 m

-0.00 m

Schnappschüsse

[Distanz(m) Deckung(mm)]

(mm mm mm)

L: 1

[-0.344 14.6]

[-0.113 37.8]

[-0.073 38.0]

[-0.040 38.1]

Deckungsstatistik [Normal]

Anzahl Messwerte 4

Median (mm) 37.9

Mittel (mm) 32.1

Standardabweichung (mm) 10.1

Tiefste (mm) 15

Höchste (mm) 38

Statistik der Stababstände

Anzahl Messwerte 3

Median (mm) 40

Mittel (mm) 102

Standardabweichung (mm) 92

Tiefste (mm) 34

Höchste (mm) 232

Kommentar

[Hinzufügen]

Geräteinfo

Einstellungen

Auswahl Messbereich

Standard (AI)

Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)

10

Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)

10

Artificial Intelligence / Nachbarstabskorrektur (NRC)

☒

Stababstand a1 Scan-X (cm)

5

Stababstand a2 Scan-Y (cm)

5

Überdeckungskalibrierung

☐

Mindestdeckung

☒

Mindestbetondeckungswert (mm)

30

Höchstbetondeckung

☐

Höchstbetondeckungswert (mm)

-

Korrekturwert für Deckung

☐

Korrekturwert für Deckung (mm)

-

Überdeckungsberechnung

Konservativ (Unterschätzung)

Stabposition ausrichten

☐

Linienhöhe (cm)

-

Rasterbreite (cm)

-

Sondenposition

☒

Sondenwagen

Ruggedized

Anlage 3

Seite 11 von 12

Messung 1 nur 09-06 verwenden.pqm

27-06-2022 7:34 AM

27-06-2022 7:34 AM

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Stuetze CI 3	09-06-2022 10:52 AM	Linie	3	1	0.758 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie

Kurve: Deckung

0 mm

10 mm

20 mm

30 mm

40 mm

50 mm

60 mm

70 mm

<177 mm>

<207 mm>

<195 mm>

<180 mm>

-0.7 m

-0.6 m

-0.5 m

-0.4 m

-0.3 m

-0.2 m

-0.1 m

-0.0 m

1x

Schnappschüsse

[Distanz(m) Deckung(mm)]

(mm mm mm)

L: 1

[-0.582 34.9]

[-0.375 30.8]

[-0.180 35.1]

Deckungsstatistik [Normal]

Anzahl Messwerte3

Median (mm)34.9

Mittel (mm)33.6

Standardabweichung (mm)2.0

Tiefste (mm)31

Höchste (mm)35

Statistik der Stababstände

Anzahl Messwerte2

Median (mm)201

Mittel (mm)201

Standardabweichung (mm)6

Tiefste (mm)195

Höchste (mm)207

Kommentar

[Hinzufügen]

Geräteinfo

Einstellungen

Auswahl MessbereichStandard (AI)

Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)10

Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)10

Artificial Intelligence / Nachbarstabkorrektur (NRC)☒

Stababstand a1 Scan-X (cm)5

Stababstand a2 Scan-Y (cm)5

Überdeckungskalibrierung☐

Mindestdeckung☒

Mindestbetondeckungswert (mm)30

Höchstbetondeckung☐

Höchstbetondeckungswert (mm)-

Korrekturwert für Deckung☐

Korrekturwert für Deckung (mm)-

ÜberdeckungsberechnungKonservativ (Unterschätzung)

Stabposition ausrichten-

Linienhöhe (cm)-

Rasterbreite (cm)-

Sondenposition◇

SondenwagenRuggedized

Anlage 3

Seite 6 von 12

Messung 1 nur 09-06 verwenden.pqm

27-06-2022 7:34 AM

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Karbo 8	09-06-2022 9:31 AM	Linie	4	1	0.524 m	0	Metrisch

Ansicht: Linie

Kurve: Deckung

1x

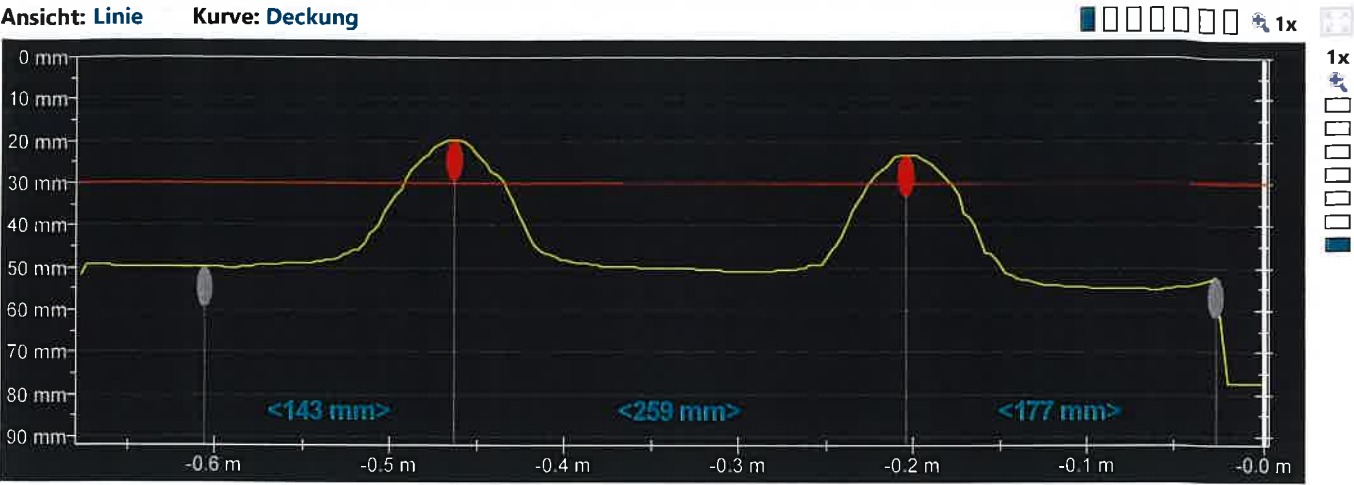


Schnappschüsse	[Distanz(m) Deckung(mm)]	Deckungsstatistik [Normal]	Statistik der Stababstände
(mm mm mm)	L: 1	Anzahl Messwerte 4	Anzahl Messwerte 3
	[-0.469 15.2]	Median (mm) 16.2	Median (mm) 149
	[-0.323 15.7]	Mittel (mm) 16.3	Mittel (mm) 151
	[-0.165 16.7]	Standardabweichung (mm) 0.9	Standardabweichung (mm) 5
	[-0.015 17.5]	Tiefste (mm) 15	Tiefste (mm) 146
		Höchste (mm) 18	Höchste (mm) 158

Kommentar	Geräteinfo	Einstellungen
[Hinzufügen]		Auswahl Messbereich Standard (AI)
		Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm) 10
		Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm) 10
		Artificial Intelligence / Nachbarstabskorrektur (NRC) ☒
		Stababstand a1 Scan-X (cm) 5
		Stababstand a2 Scan-Y (cm) 5
		Überdeckungskalibrierung ☐
		Mindestdeckung ☒
		Mindestbetondeckungswert (mm) 30
		Höchstbetondeckung ☐
		Höchstbetondeckungswert (mm) -
		Korrekturwert für Deckung ☐
		Korrekturwert für Deckung (mm) -
		Überdeckungsberechnung Konservativ (Unterschätzung)
		Stabposition ausrichten -
		Linienhöhe (cm) -
		Rasterbreite (cm) -
		Sondenposition ☐
		Sondenwagen Ruggedized

Anlage 3

Name	Datum & Zeit	Modus	Bewehrungs...	Linien	Distanz	Schnappsch...	Einheit
Karbo 10	09-06-2022 10:40 AM	Linie	4	1	0.676 m	0	Metrisch



Schnappschüsse	[Distanz(m) Deckung(mm)]	Deckungsstatistik [Normal]	Statistik der Stababstände
(mm mm mm)	L: 1	Anzahl Messwerte 4	Anzahl Messwerte 3
	[-0.606 49.6]	Median (mm) 36.4	Median (mm) 177
	[-0.463 19.8]	Mittel (mm) 36.1	Mittel (mm) 193
	[-0.204 23.1]	Standardabweichung (mm) 14.7	Standardabweichung (mm) 49
	[-0.027 52.0]	Tiefste (mm) 20	Tiefste (mm) 143
		Höchste (mm) 52	Höchste (mm) 259

Kommentar [Hinzufügen]	Geräteinfo	Einstellungen	
		Auswahl Messbereich	Standard (AI)
		Stabdurchmesser Ø1 Scan-X (mm)	10
		Stabdurchmesser Ø2 Scan-Y (mm)	10
		Artificial Intelligence / Nachbarstabskorrektur (NRC)	☒
		Stababstand a1 Scan-X (cm)	5
		Stababstand a2 Scan-Y (cm)	5
		Überdeckungskalibrierung	☐
		Mindestdeckung	☒
		Mindestbetondeckungswert (mm)	30
		Höchstbetondeckung	☐
		Höchstbetondeckungswert (mm)	-
		Korrekturwert für Deckung	☐
		Korrekturwert für Deckung (mm)	-
		Überdeckungsberechnung	Konservativ (Unterschätzung)

Anlage 3

7 Zustandsnote

Die Zustandsnoten für Ingenieurbauwerke nach DIN 1076 (Teilbauwerke) und für Bauteilgruppen nach ASB-ING werden unter Berücksichtigung der Schadensauswirkung auf die „Standicherheit“, „Verkehrssicherheit“ und „Dauerhaftigkeit“ der Konstruktion berechnet und sechs Zustandsnotenbereichen zugeordnet. Diese sind wie folgt definiert:

Notenbereich	Beschreibung
1,0-1,4	sehr guter Zustand
	Die Standicherheit , Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks sind gegeben . Laufende Unterhaltung erforderlich.
1,5-1,9	guter Zustand
	Die Standicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben . Die Dauerhaftigkeit mindestens einer Bauteilgruppe kann beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann langfristig geringfügig beeinträchtigt werden. Laufende Unterhaltung erforderlich.
2,0-2,4	befriedigender Zustand
	Die Standicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben . Die Standicherheit und/oder Dauerhaftigkeit mindestens einer Bauteilgruppe können beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann langfristig beeinträchtigt werden. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung des Bauwerks , die langfristig zu erheblichen Standicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist möglich . Laufende Unterhaltung erforderlich. Mittelfristig Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich werden.
2,5 - 2,9	ausreichender Zustand
	Die Standicherheit des Bauwerks ist gegeben . Die Verkehrssicherheit des Bauwerks kann beeinträchtigt sein. Die Standicherheit und/oder Dauerhaftigkeit mindestens einer Bauteilgruppe können beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung des Bauwerks , die mittelfristig zu erheblichen Standicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist dann zu erwarten . Laufende Unterhaltung erforderlich. Kurzfristig bis mittelfristig Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich sein.

Notenbereich	Beschreibung
3,0-3,4	nicht ausreichender Zustand Die Standssicherheit und/oder Verkehrssicherheit des Bauwerks sind beeinträchtigt. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann nicht mehr gegeben sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standssicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehende Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit oder Nutzungseinschränkungen sind umgehend erforderlich.
3,5-4,0	ungenügender Zustand Die Standssicherheit und/oder Verkehrssicherheit des Bauwerks sind erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann nicht mehr gegeben sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standssicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind oder dass sich ein irreparabler Bauwerksverfall einstellt. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehende Instandsetzung bzw. Erneuerung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit oder Nutzungseinschränkungen sind sofort erforderlich.