

Landesgütegemeinschaft für Bauwerks- und
Betonerhaltung Rheinland-Pfalz / Saarland e.V.

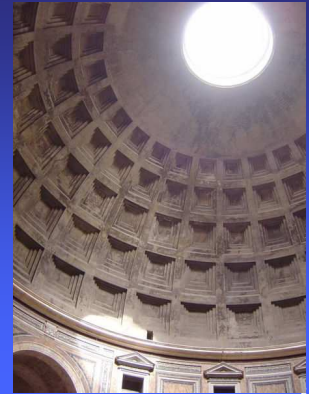
Vortragsveranstaltung am 11. März 2010
Qualitätssicherung bei der Bauwerksinstandsetzung

Instandsetzung von Sichtbetonfassaden unter
denkmalpflegerischen Aspekten

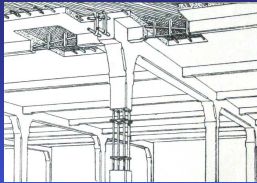
Dr.-Ing. Martin Günter

„Geschichte des Sichtbetons“

Pantheon, Rom



„Geschichte des Sichtbetons“



System Hennebique, Paris um 1880

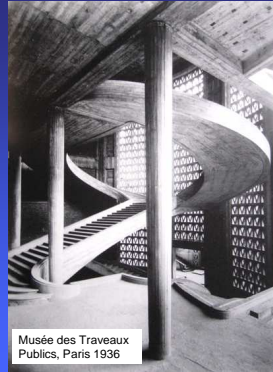


Lagerhaus in Straßburg während der Bauzeit;
um 1900



Lagerhalle in Osthofen, Baujahr 1899

„Geschichte des Sichtbetons“

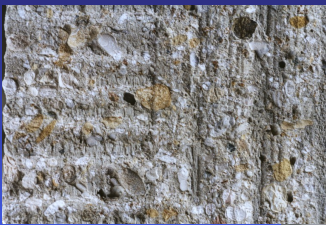


Musée des Travaux
Publics, Paris 1936



Kirche Notre-Dame-de-la-Consolation in
Le Raincy, während der Bauarbeiten 1923

„Geschichte des Sichtbetons“



Land- und Amtsgericht Frankfurt / Oder

Bumiller & Junkers, 2002



Land- und Amtsgericht Frankfurt / Oder
Architekt: Bumiller & Junkers
Tragwerksplanung: Pichtler Ingenieure

DRK Seniorenheim, Karlsruhe

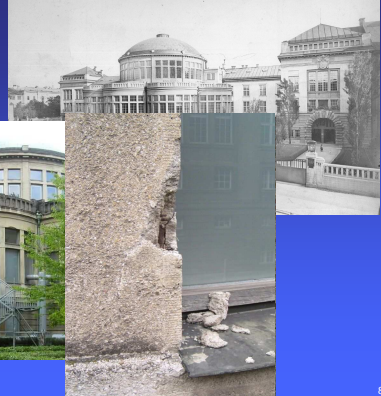


Reinhard Gieselmann, 1966/67



Anatomische Anstalt in München

Erbaut 1905 bis 1907
Architekten Heilmann und
Littmann



Wasserturm „Kavalier Dallwigk“

erbaut 1916-1917

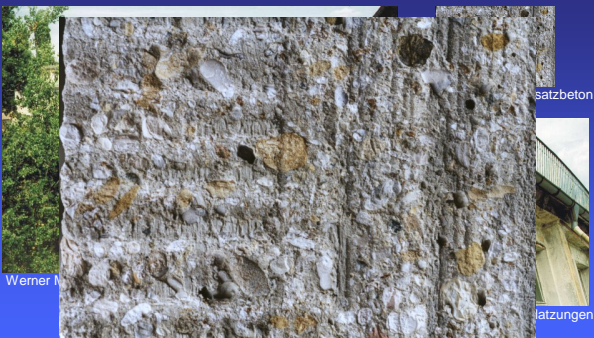


Goetheanum Dornach

Rudolf Steiner, 1928



Speisehaus der Nationen Berlin



satzbeton

Werner

platzungen

Liederhalle Stuttgart

Abel und Gutbrod, 1954



Mutter-Heimat-Statue Wolgograd



Denkmal-Anlage
'Mamayev Kurgan'

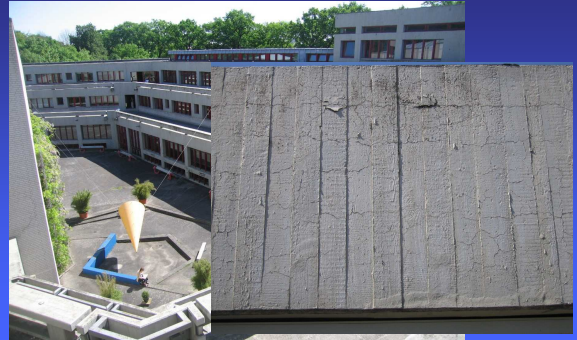
Entwurf: Yevgeni
Vuchetich
Erbaut: 1959 - 1967



- Körper aus Stahlbeton
- Höhe bis Schwertspitze: 82 m
- Gewicht: 8000 t

Hochschule für Musik und Theater Hannover

Architekt Ramke, 1963



Gymnasium Gammertingen

Rosenkranz, Wild, Schetter, 1965

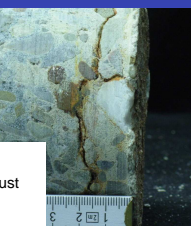
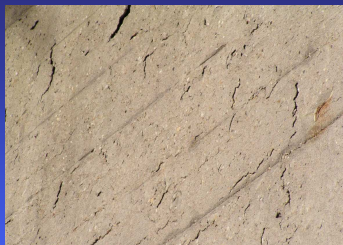


Noris-Halle in Nürnberg

Heinrich Graber, 1966



Entstehung von Schäden durch Bewehrungskorrosion



Voraussetzungen:

karbonatisierungs- und/oder chloridbedingter Verlust des Korrosionsschutzes
ausreichendes Feuchte- und Sauerstoffangebot

Derzeit maßgebende Regelwerke für Schutz und Instandsetzung

Europäische Normenreihe EN 1504; nur in Verbindung mit DAfStb

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton („DAfStb RL-SIB“)

Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teile 1 bis 4 (Instandsetzungsrichtlinie), Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln 2001

Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze

Teil 2: Bauprodukte und Anwendung

Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung

Teil 4: Prüfverfahren

Bundesanstalt für Straßenwesen („ZTV“) für Verkehrsbauwerke

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) Teil 3 Massivbau, Abschnitte 4 und 5

Abschnitt 4: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

Abschnitt 5: Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen

Betoninstandsetzung gemäß Richtlinien

- Statisch-konstruktive Ertüchtigung
→ DIN 1045
- Wiederherstellung der Dauerhaftigkeit
→ DAfStb-Richtlinie: "Instandsetzungsrichtlinie (RiLi-SiB)"

Prinzipien:

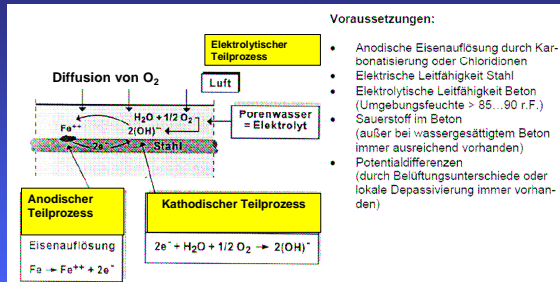
- R – Realkalisierung des Betons
- C – Beschichtung der Bewehrung
- W – Absenken des Wassergehalts
- K – Kathodischer Korrosionsschutz

meist ganzflächige
Maßnahmen
→
Verlust der originalen
Oberfläche

„Geschichtliche“ Entwicklung der Regelwerke

Jahr	Herausgeber	Name Regelwerk
1987	BMV (bast) *) *) Bundesanstalt für Straßenwesen	ZTV-SiB, ZTV-Riss, ZTV BEL-B etc. ZTV = Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien
1990 1992	DAfStb *) *) Deutscher Ausschuss für Stahlbeton	RL-SiB (4 Teile) Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen
2001	DAfStb	überarbeitete RL-SiB
2003	BMVBS *) (bast) *) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	überarbeitete ZTV's (zusammengefasst zur ZTV-ING)
ab 1998 bis dato	CEN (europäisches Normungsgremium)	Erarbeitung Normenreihe EN 1504 (10 Teile): „Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken. Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität“
Ende 2009	DAfStb	überarbeitete, auf EN 1504 abgestimmte RL-SiB

Bewehrungskorrosion im Beton



Zum „Abstellen“ von Korrosion genügt es, einen der genannten Teilprozesse zu unterbinden

Vermeiden der Teilprozesse der Korrosion

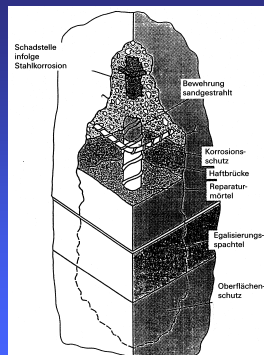
Teilprozess	Maßnahme	Prinzipien	
		DAfSiB	DIN EN 1504-9
Anodisch	1. Wiederherstellen bzw. Erhalten des alkalischen Milieus, Entfernen von Chloriden	R1, R2	7 [RP]
	2. Bewehrung in elektrischen Regelkreis zwingen	K	10 [CP]
	3. Trennung des Elektrolyten vom Stahl	C	11 [CA]
	4. Sonstige Verfahren	–	11 [CA]
Kathodisch	Vermeiden des Sauerstoffzutritts in den Beton	–	9 [CC]
Elektrolytisch	Absenkung des Wassergehaltes im Beton (Reduktion der Leitfähigkeit des Betons)	W	8 [IR]

Vermeiden der Teilprozesse der Korrosion

Auszug Tabelle 1 DIN EN 1504-9:2008-11

Prinzipien und Verfahren bei Korrosionsschäden der Bewehrung	Äquivalenz zu DAfStb
7. Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	R1 R1, R2
7.2 Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton	–
7.3 Elektrochemische Realkalisierung von karbonatisiertem Beton	R1
7.4 Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion	–
7.5 Elektrochemische Chloridextraktion	–
8. Erhöhung des elektrischen Widerstandes	W
8.1 Hydrophobierung	–
8.2 Versiegelung	–
9. Kontrolle kathodischer Bereiche	–
10. Kathodischer Schutz	K
10.1 Anlegen eines elektrischen Potentials	–
11. Kontrolle anodischer Bereich	C
11.1 Anstrich der Bewehrung durch aktive pigmentierte Beschichtungen	–
11.2 Anstrich der Bewehrung mit Beschichtungen nach dem Barriere-Prinzip	C
11.3 Anwendung von Korrosionsinhibitoren auf den oder zum Beton	–

Übliche Arbeitsschritte bei der Betoninstandsetzung



Quelle:
Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein,
SIVV-Handbuch

Historische Betonbauwerke – ganzflächige Maßnahmen



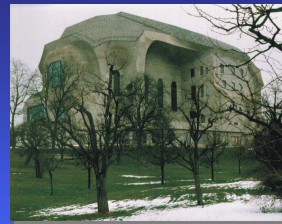
Goetheanum
Dornach, CH



Silchersaal
Stuttgart

Polymerbeschichtung

Historische Betonbauwerke - ganzflächige Maßnahmen



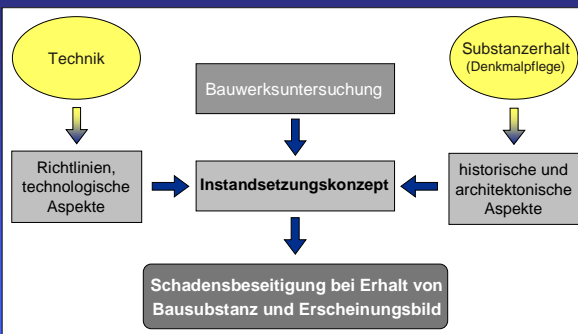
Goetheanum, Dornach



Antoniuskirche, Basel

Vorsatzbeton

Optimierungsaufgabe: Behutsame Betoninstandsetzung



Behutsame Instandsetzung von Sichtbeton

Ziel: Weitgehender Erhalt vorhandener Oberflächen

zu lösende Frage: Schadensentwicklung in bislang ungeschädigten Bereichen

Lösungsweg: Schadensprognose

Ergebnis: Anteil geschädigter Flächen an Gesamtfläche (zukünftig)

Auf dieser Basis Entscheidung:
Lokale Instandsetzung oder ganzflächige Schutzmaßnahmen

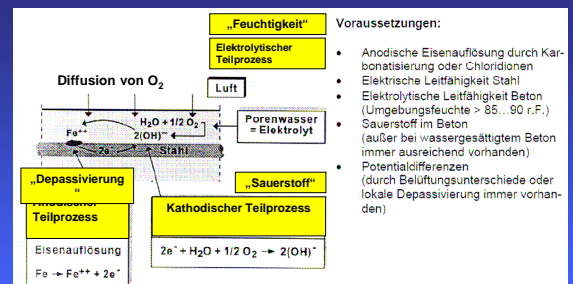
Schadensprognose

Grundgedanke:

Korrosion der Bewehrung erfordert (vereinfacht)

1. Depassivierung,
2. Feuchtigkeit,
3. Sauerstoff.

Bewehrungskorrosion im Beton



Zum „Abstellen“ von Korrosion genügt es, einen der genannten Teilprozesse zu unterbinden !

Schadensprognose

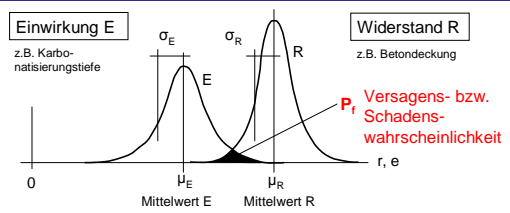
Vorgehensweise:

- Schritt 1: Ermitteln des Anteils depassivierter Bewehrung (derzeit und zukünftig)
- Schritt 2: Ermitteln der Größe des Bauteilrandbereichs, in dem ausreichende Randbedingungen für Korrosion vorliegen (Depassivierung wird vorausgesetzt)
- Schritt 3: Überlagerung der Bereiche mit Depassivierung und ausreichenden Randbedingungen (ausreichender Feuchtigkeit)
- Schritt 4: Berücksichtigung mechanischer Aspekte bei der Schadensentstehung

Ergebnis:

Tatsächlich zu erwartender Schadensanteil

Werkzeuge zur Schadensprognose: statistische Methoden



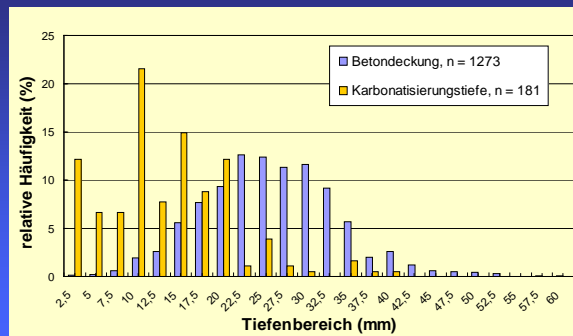
Es kann berechnet werden

$P_{f \text{ depass.}}$ = Wahrscheinlichkeit der Depassivierung

$P_{f \text{ korros.}}$ = Wahrscheinlichkeit der Bewehrungsstahlkorrosion u.s.w.

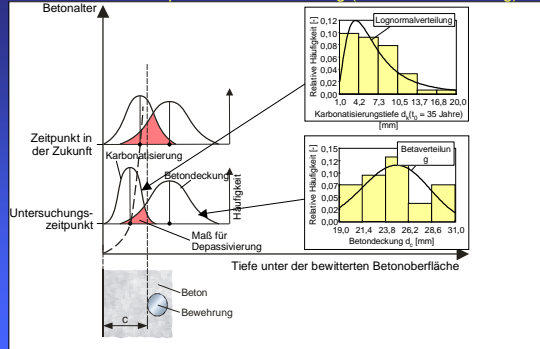
Schadensprognose- Schritt 1a (vor Ort)

Ermitteln des Anteils depassivierter Bewehrung (derzeit)



Schadensprognose - Schritt 1b (Büro)

Ermitteln des Anteils depassivierter Bewehrung (derzeit und zukünftig)



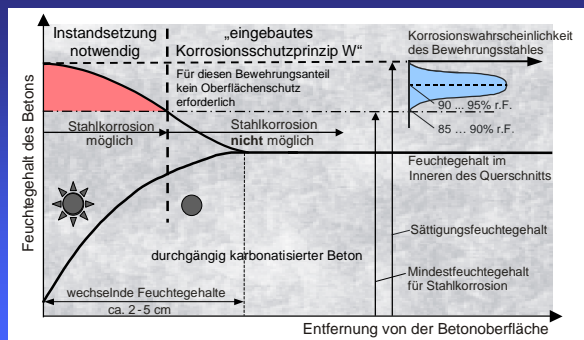
Schadensprognose – Schritt 2

Ermitteln der Größe des Bauteilrandbereichs, in dem ausreichende Randbedingungen für Korrosion vorliegen (Depassivierung wird vorausgesetzt)

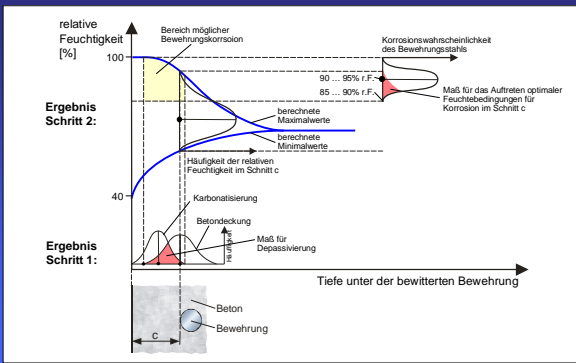
(Größe des Bereichs ist abhängig von Orientierung der Bauteiloberfläche, Mikroklima, Qualität des Betons)

- 2a Lokal vor Ort durch Freilegen von Bewehrung:
 - Ermitteln der Betondeckung und der Karbonisierungstiefe,
 - Ermitteln des Korrosionszustandes,
 - Abschätzen der bisherige Dauer der Depassivierung.
- 2b Flächendeckend durch numerische Simulation des Feuchtehaushalts der Bauteilrandschicht:
 - kalibriert an Laborergebnissen und örtlichen Feststellungen

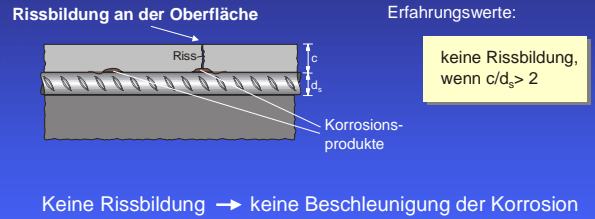
Schadensprognose – Schritt 3: verkürzte Darstellung



Schadensprognose Schritt 3: Überlagerung der Bereiche mit Depassivierung und ausreichender Feuchte



Schadensprognose – Schritt 4: Berücksichtigung mechanischer Aspekte bei der Schadensentstehung



Ganzflächige Maßnahmen (Beschichtungen)

Ergänzende Entscheidungskriterien bei fehlender technischer Notwendigkeit einer Beschichtung

„Pro Beschichtung“

üblich, Oberfläche „erstrahlt wie neu“
„auf sicherer Seite“

„Contra Beschichtung“

Sichtbeton irreversibel verloren
regelmäßige Wartung / Überarbeitung erforderlich

Abwägung kann zum Ergebnis führen:
Keine ganzflächigen Maßnahmen

Besonderheiten bei der Sichtbetoninstandsetzung

Voruntersuchungen

Vorgehensweise bei Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen gemäß DAfStb RL-SIB:2001

1	Einschalten eines sachkundigen Planers
2	Ermitteln des Ist-Zustandes
3	Festlegen des Soll-Zustandes
4	Auf Basis 2: Darlegen der Ursache von Mängeln und Schäden
5	aus Vergleich 2 mit 3: Entwickeln eines Instandsetzungskonzepts
6	Auf Basis 5: Erstellen eines Instandsetzungsplan mit Leistungsverzeichnis (Grundsätze der Instandsetzung, Anforderungen an Ausführung und Materialien, Qualitätssicherung)
7	Erforderlichenfalls: Berücksichtigung von Standsicherheitsfragen, Brandschutz
8	Ausführung der Arbeiten mit Fachbauleitung, Qualitätssicherung, Abnahme
9	Erstellen eines Instandhaltungsplans (Maßgaben für Bauunterhaltung)

Spezifische Voruntersuchungen am Bauwerk

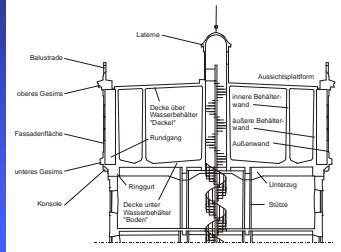
- Art, Umfang und Lage der Schäden
- Lage und Umfang oberflächlich schadensfreier Bauwerksbereiche
- Korrosion und Korrosionsschutz der Bewehrung in den oberflächlich nicht oder nur wenig geschädigten Bauwerksbereichen
- Mikroklimata



Spezifische Voruntersuchungen



Bauwerksgeschichte, Konstruktion

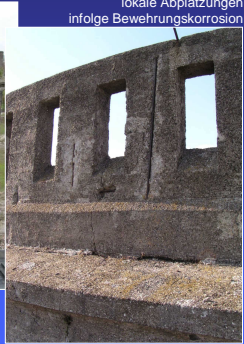


Detaillierte Schadensaufnahme

Wasserturm 'Kavalier Dallwig', Ingolstadt

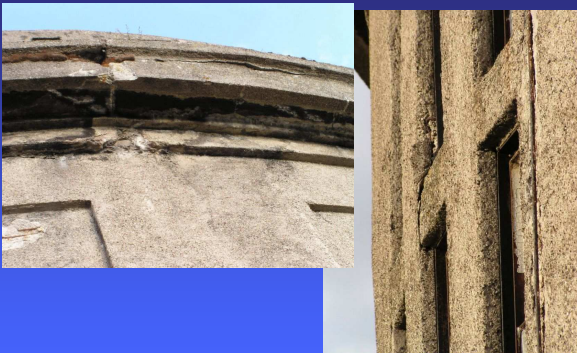


lokale Abplatzungen
infolge Bewehrungskorrosion



Rissbildungen,
Abwitterungen,
Frostschäden

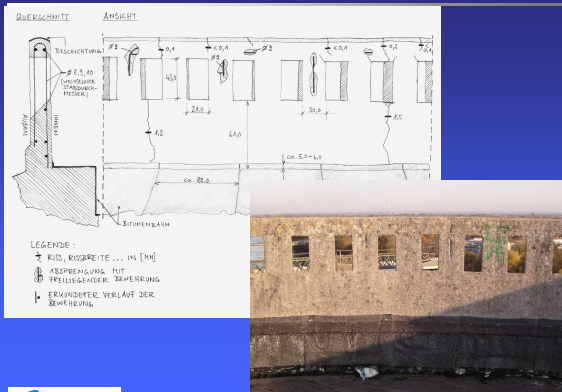
Detaillierte Schadensaufnahme



Detaillierte Schadensaufnahme



Detaillierte Schadensaufnahme



Ergebnis Schadensaufnahme

Bauteil	Anteil der instand zu setzenden Fläche an der Gesamtbaufläche [%]
Laterne	10
Balustrade (inkl. der Fuge zum oberen Gesims)	9 (17)
oberes Gesims	8
Fassadenfläche (inkl. der Fensterlaibungen)	5 (21)
unteres Gesims	3

Spezifische Voruntersuchungen am Bauwerksbeton (1)

Technologische Eigenschaften:

- Druck- und Zugfestigkeit
- E-Modul
- Gefüge und Mikrostruktur
- Kapillares Saug- und Trocknungsverhalten
- Art des Bindemittels
- Mischungsverhältnis



Spezifische Voruntersuchungen am Bauwerksbeton (2)

Erscheinungsbild der Betonoberfläche:



- Textur
- Abwitterungszustand
- Farbe und Helligkeit der Betonoberfläche:
 - Farbe der Mörtelmatrix
 - Art, Farbe und Sieblinie der Zuschlagstoffe

Quantifizierung der Farbe und Helligkeit der Betonoberfläche

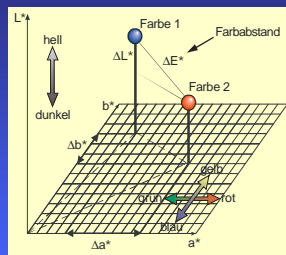
Hilfsmittel: Methoden der Farbmeterik

Schritt 1:

- Erfassung von Farbe und Helligkeit mittels digitaler Kamera oder Scanner

Schritt 2:

- Quantifizierung der Farbe, z.B. im CIELAB-Farbraum:
 - a* = rot-grün-Achse
 - b* = gelb-blau-Achse
 - L* = Helligkeitsachse

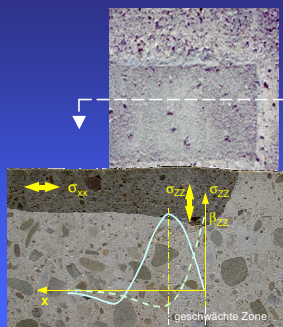


Besonderheiten bei der Sichtbetoninstandsetzung

Entwicklung der Instandsetzungsmörtel / -betone

Anforderungsprofil des Instandsetzungsmörtels / -betons

Mechanische Eigenschaften



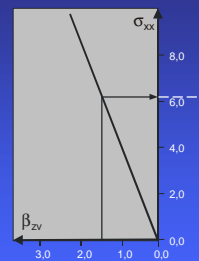
Problematik:

An Rissen sowie abgelösten oder freien Rändern einer Reparaturstelle entstehen Ablösespannungen!

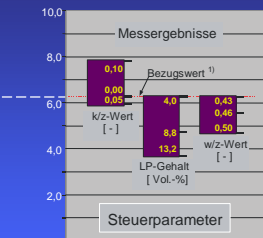
Anpassung der Zugfestigkeit – Bemessungsansatz

maximale Zug-Normalspannung im Mörtel / Beton [N/mm²]

einaxiale Zugfestigkeit des Mörtels / Betons [N/mm²]

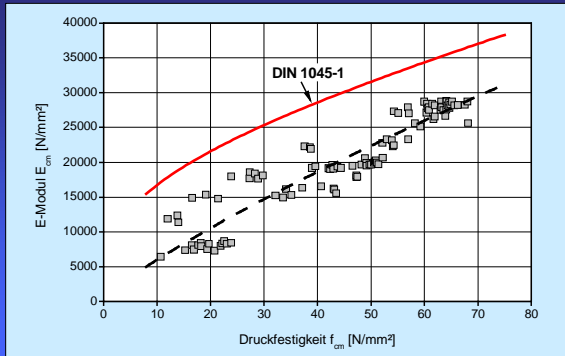


Zugfestigkeit Verbundzone [N/mm²]



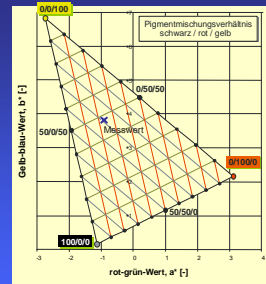
¹⁾ Zugfestigkeit eines zementgebundenen Mörtels mit k/z = 0, LP-Gehalt = 4,0 Vol.-%, w/z = 0,43

Steuerung des Elastizitätsmoduls



Farbgebung des Mörtels / Betons

Steuerparameter: insbesondere Zementfarbe, Sandfarbe, Pigmente



Einfluss des Mischungsverhältnisses
von Eisenoxidpigmenten



Einfluss der
Oberflächenbearbeitung

Abschluss der Beton- bzw. Mörtelentwicklung

Prüfungen anhand der einschlägigen Prüfverfahren:

- Konsistenz, Luftgehalt, Rohdichten, Festigkeiten, E-Modul,
- hygrisches Verhalten,
- Behindertes Schwinden (Schwindrinne),
- Haftzugfestigkeit nach Klimalagerung,
- Frost-Tau-Beanspruchung,
- ggf. Frost-Tausalzbeanspruchung,
- Temperaturwechselbeanspruchung (Gewitterregen)
- etc.

Lösungsmöglichkeit Problematik Brandschutz

Die Instandsetzungsmörtel / -betone (Größtkorn i.d.R. 8 mm)

- enthalten keine Kunststoffe (reine Zementmörtel/ -betone),
- entsprechen in ihrer Zusammensetzung DIN 1045

Damit:

Erhöhung Brandschutz ggf. durch Erhöhung der
Betondeckung möglich

Weitere Besonderheiten bei der Vorbereitung der Instandsetzung

- Fachkundige Ausschreibung, Fachbauleitung
- Sensibilisierung der Firmen
- Exakte Vorgaben im Hinblick auf
 - Mörtel
 - Arbeitsweise
 - Qualitätssicherung
- Musterherstellung
- Probeflächen

Besonderheiten bei der Sichtbetoninstandsetzung

Ausführung

Mangelbeseitigung ?
Schadensbeseitigung!

Gealterte Bausubstanz – Schaden oder Mangel?



Behutsame Betoninstandsetzung

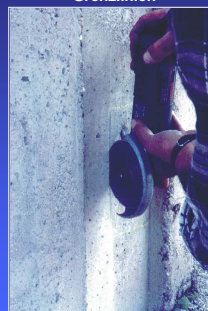
Arbeitsschritte

- Herstellen der Ausbruchstelle
- Beschichtung der Bewehrung
- Ausbruchstelle vornässen
- Haftbrücke auftragen
- Mörtel bzw. Beton einbringen
- Modellieren
- Nachbehandeln
- ggf. Nachbearbeitung (steinmetztechnisch)

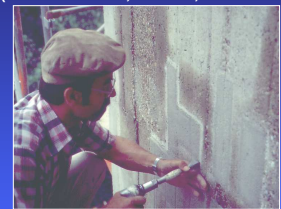


Besonderheiten bei den Instandsetzungsarbeiten

**Einschneiden entlang
Grenzlinien**



**steinmetzmäßige Oberflächenbearbeitung
(z. B. Modellieren, Stocken, Scharrieren)**



Beispiel: Wasserturm Kavalier Dallwigk, Ingolstadt



Beispiel: Speisehaus der Nationen, Berlin

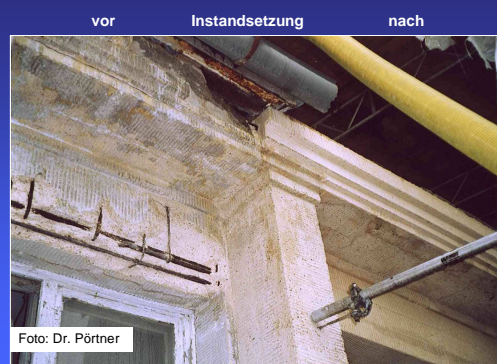


Foto: Dr. Pörtner

Wohnhauskamin – vor und nach der Instandsetzung



Fassadenbereiche – während und nach der Instandsetzung



Instandgesetzter Betonsteinsims (Betonwerkstein)



Fassadenabschnitt mit lokalen Reparaturen



Fassadenabschnitt mit lokalen Reparaturen



Statisch-konstruktive Ertüchtigung



Besonderheiten der Sichtbetoninstandsetzung („behutsame“ Instandsetzung)

- Minimierung der Eingriffe** ⇒ Lokale Ausbesserung/Verstärkung – Prinzip R2 und/oder C nach DAfStb-Richtlinie
- Voruntersuchungen** ⇒ Informationen zu Baugeschichte, Bauwerkszustand, Baumaterialien, Oberflächentextur, Farbe und Helligkeit des Altbetons etc.
- Beurteilung der Dauerhaftigkeit und Lebensdauerprognose** ⇒ Schadensfortschritt in der Betonrandzone geschädigter und ungeschädigter Bereiche
- Entwicklung von Instandsetzungsmörteln/-betonen** ⇒ Anpassung an die mechanischen und optischen Eigenschaften des Altbetons
- Instandsetzungsarbeiten** ⇒ Angleichung an den Altbeton durch steinmetzmäßige Bearbeitung des Mörtels

Erfahrungen Wirtschaftlichkeit

Vergleich konventionell - behutsam

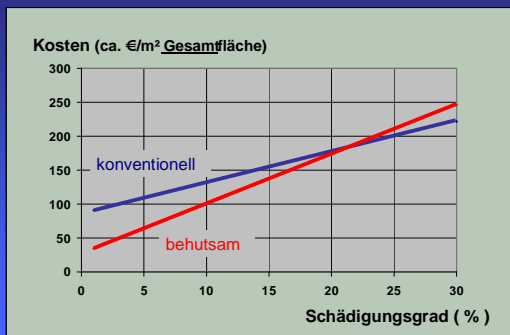
Leistungspositionen Erst-Instandsetzung

Position	Konzeption	
	konventionell	behutsam
Gerüst	x	x
Bauwerksspezifischer Mörtel / Beton		x
Steinmetzmäßige Bearbeitung der Reparaturstellen		x
Feinspachtelüberzug	x	
Schutzanstrich (Oberflächenschutzsystem)	x	

Leistungspositionen Bauunterhaltung

Position	Konzeption	
	konventionell	behutsam
Gerüst	x	
Hubsteiger		x
Bauwerksspezifischer Mörtel / Beton		x
Steinmetzmäßige Bearbeitung der Reparaturstellen		x
Ganzflächiges Entfernen oder Überarbeiten des Schutzanstrichs und des Feinspachtelüberzugs	x	

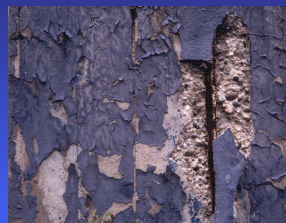
Kosten der Instandsetzung und Unterhaltung von Stahlbetonfassaden (über ca. 30 Jahre)



Erfahrungen Dauerhaftigkeit

Flächig (konventionell)

Lokal (behutsam)



10 bis 15 Jahre

> 15 Jahre

Erfahrungswerte

Schlussbemerkungen

- Die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für denkmalgerechte (behutsame) Instandsetzungen stehen zur Verfügung
- Eine enge Zusammenarbeit von Bauherr, Architekt, Ingenieur, Denkmalpfleger und ausführender Firma ist unverzichtbar
- Die behutsame Instandsetzung kann längerfristig kostengünstiger und nachhaltiger sein als eine konventionelle Instandsetzung
- Hohe Kosten für ganzflächige Beschichtungsmaßnahmen entfallen, keine Kosten für Wartung, Erneuerung und Entsorgung der Beschichtung erforderlich

Grenzen der behutsamen Instandsetzung

- Standsicherheitsaspekte erfordern andere Instandsetzungsmethoden
- Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sind nicht erfüllbar (Makroelementkorrosion, hohe Chloridkontamination etc.)
- Hohe Bauteilbeanspruchungen (Tausalze, Abgase, Abwässer etc.)
- Sehr hohe Anzahl an Schadstellen



Danke !