

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

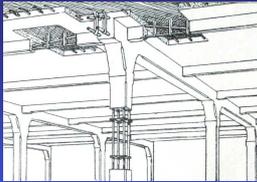
Dr.-Ing. Martin Günter

„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

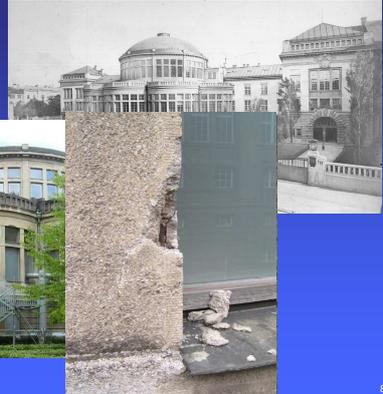


Reinhard Gieselmann, 1966/67



### 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

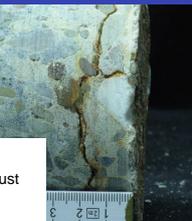


## Noris-Halle in Nürnberg

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:

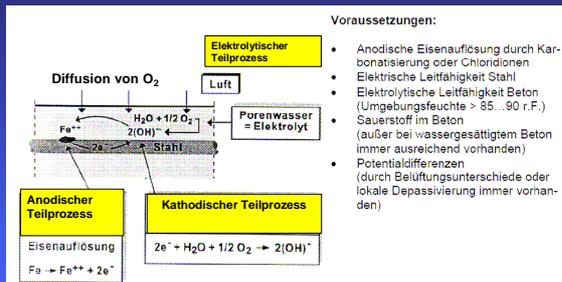
- R – Realkalisierung des Betons
- C – Beschichtung der Bewehrung
- W – Absenken des Wassergehalts
- K – Kathodischer Korrosionsschutz

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, Qualitätsüber- wachung 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

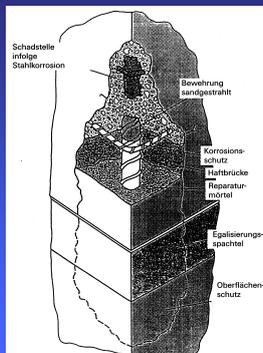
Teilprozess	Maßnahme	Prinzipien	
		DAfSiB	DIN EN 1504-9
Anodisch	1. Wiederherstellen bzw. Erhalten des alkalischen Milieus, Entfernen von Chloriden	R1, R2	7 [RP]
	2. Bewehrung in elektrischen Regelkreis zwingen	K	10 [CP]
	3. Trennung des Elektrolyten vom Stahl	C	11 [CA]
	4. Sonstige Verfahren	–	11 [CA]
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	7.2 Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton	R1
	7.3 Elektrochemische Realkalisierung von karbonatisiertem Beton	R1, R2
	7.4 Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion	R1
	7.5 Elektrochemische Chloridextraktion	–
	8.1 Hydrophobierung	–
8. Erhöhung des elektrischen Widerstandes	8.2 Versiegelung	W
	–	–
9. Kontrolle kathodischer Bereiche	–	–
10. Kathodischer Schutz	10.1 Anlegen eines elektrischen Potentials	K
11. Kontrolle anodischer Bereich	11.1 Anstrich der Bewehrung durch aktive pigmentierte Beschichtungen	C
	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



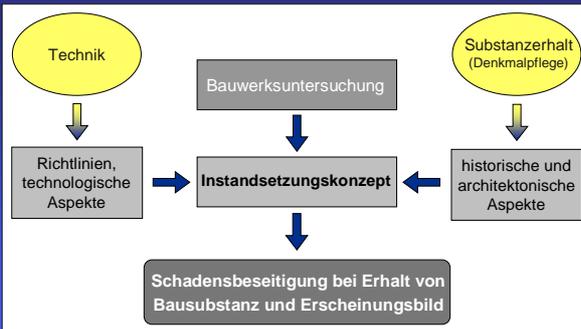
Goetheanum, Dornach



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

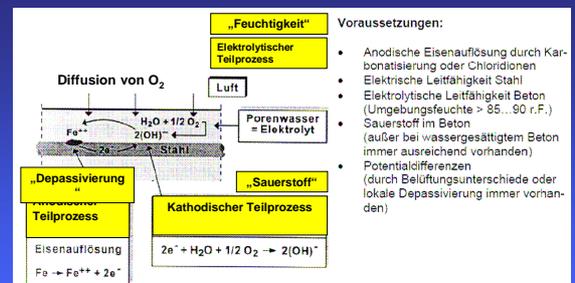
## Schadensprognose

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

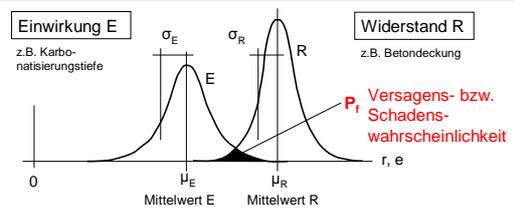
### Vorgehensweise:

- 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



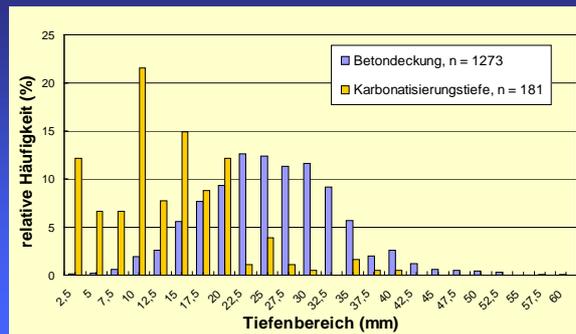
### Es kann berechnet werden

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

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

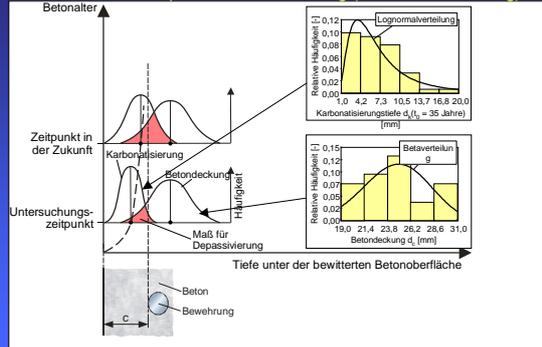
## Schadensprognose- Schritt 1a (vor Ort)

Ermitteln des Anteils depassivierter Bewehrung (derzeit)



## Schadensprognose - Schritt 1b (Büro)

Ermitteln des Anteils depassivierter Bewehrung (derzeit und zukünftig)



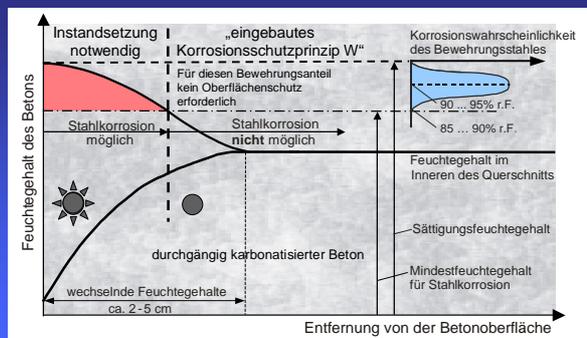
## Schadensprognose – Schritt 2

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

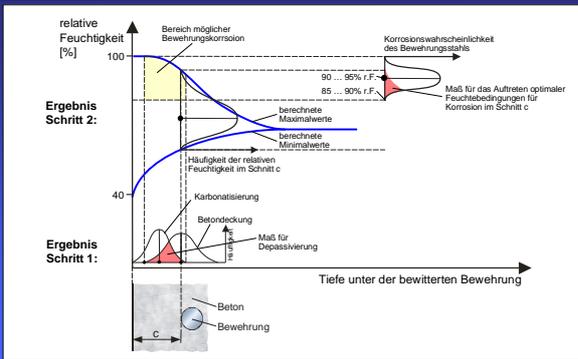
(Größe des Bereichs ist abhängig von Orientierung der Bauteiloberfläche, Mikroklima, Qualität des Betons)

- 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

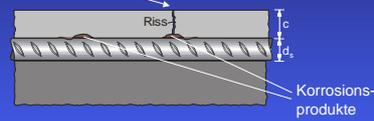


### Schadensprognose Schritt 3: Überlagerung der Bereiche mit Depassivierung und ausreichender Feuchte



### Schadensprognose – Schritt 4: Berücksichtigung mechanischer Aspekte bei der Schadensentstehung

#### Rissbildung an der Oberfläche



Erfahrungswerte:

keine Rissbildung,  
wenn  $c/d_s > 2$

Keine Rissbildung → keine Beschleunigung der Korrosion

### 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

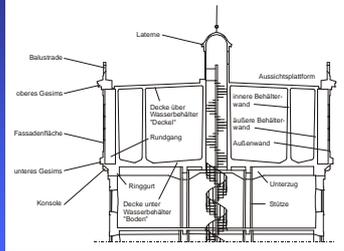
- Art, Umfang und Lage der Schäden
- Lage und Umfang oberflächlich schadensfreier Bauwerksbereiche
- Korrosion und Korrosionsschutz der Bewehrung in den oberflächlich nicht oder nur wenig geschädigten Bauwerksbereichen
- Mikroklimata



## Spezifische Voruntersuchungen



### Bauwerksgeschichte, Konstruktion



## Detaillierte Schadensaufnahme

Wasserturm 'Kavalier Dallwig', Ingolstadt



lokale Abplatzungen  
infolge Bewehrungskorrosion



Rissbildungen,  
Abwitterungen,  
Frostschäden

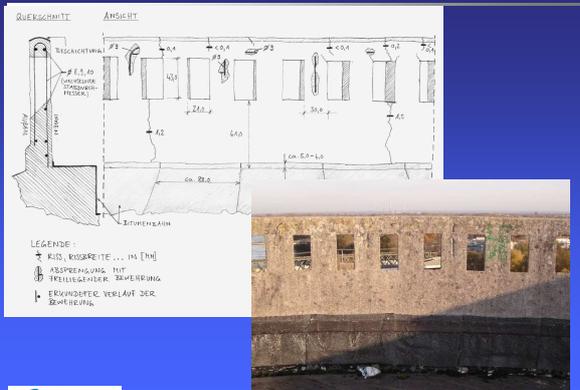
## Detaillierte Schadensaufnahme



## 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

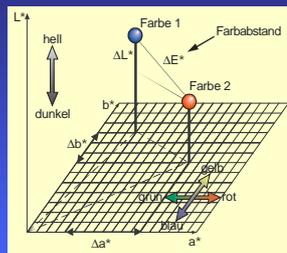
### Hilfsmittel: Methoden der Farbmeterik

#### 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

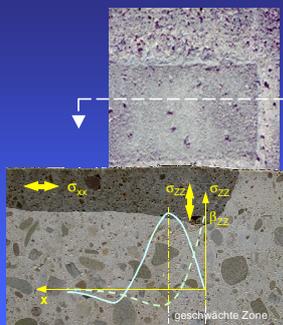


## Besonderheiten bei der Sichtbetoninstandsetzung

# Entwicklung der Instandsetzungsmörtel / -betone

## Anforderungsprofil des Instandsetzungsmörtels / -betons

### Mechanische Eigenschaften



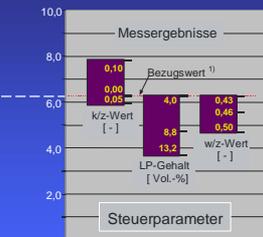
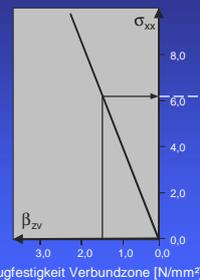
### Problematik:

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

## Anpassung der Zugfestigkeit – Bemessungsansatz

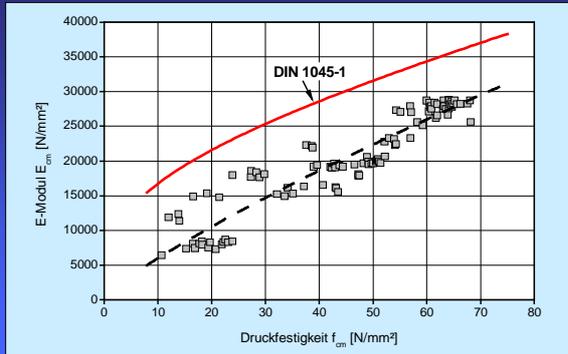
maximale Zug-Normalspannung im Mörtel / Beton [N/mm<sup>2</sup>]

einaxiale Zugfestigkeit des Mörtels / Betons [N/mm<sup>2</sup>]



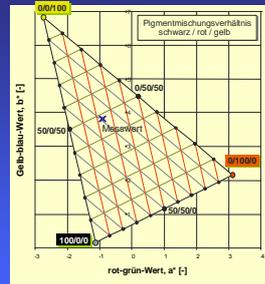
<sup>1)</sup> Zugfestigkeit eines zementgebundenen Mörtels mit k/z = 0, LP-Gehalt = 4,0 Vol.-%, w/z = 0,43

## 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,
- hygri-sches 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**

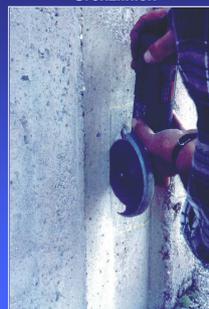
**Arbeitsschritte**

- 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

SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH 73

### Erfahrungen Wirtschaftlichkeit

# Vergleich konventionell - behutsam

SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH 74

### Leistungspositionen Erst-Instandsetzung

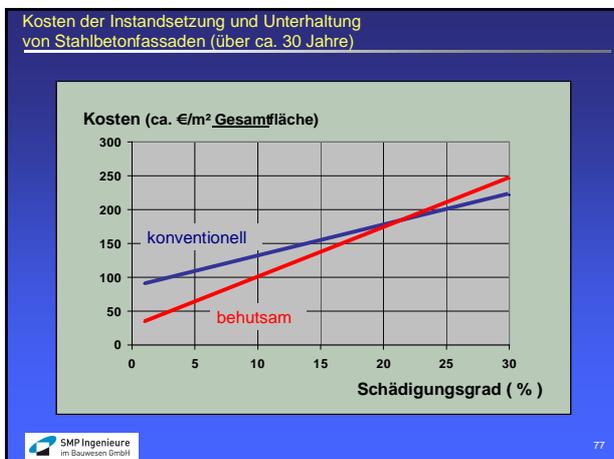
Position	Konzeption	
	konventionell	behutsam
Gerüst	x	x
Bauwerksspezifischer Mörtel / Beton		x
Steinmetzmäßige Bearbeitung der Reparaturstellen		x
Feinspachtelüberzug	x	
Schutzanstrich (Oberflächenschutzsystem)	x	

SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH 75

### 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	

SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH 76



### Erfahrungen Dauerhaftigkeit

Flächig (konventionell)

10 bis 15 Jahre

Lokal (behutsam)

> 15 Jahre

Erfahrungswerte

SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH 78

## 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 !**