

# Ertüchtigung von Konstruktionsbeton im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall

Dr.-Ing. Frank Langer, Hamburg

**IBBI** Ingenieurbüro für Baustoffanwendungen,  
Bauwerksuntersuchung, Instandsetzungsplanung

## Kurzfassung

Im Rahmen der Aufstockung eines Hotelneubaus in Hamburg stellte sich heraus, dass die Stützen des in den 60-er Jahren erbauten Stahlbetonbaus nicht die statisch erforderliche Druckfestigkeit aufweisen. Der Bauherr entschied sich mit Blick auf Kosten und Flächenverluste für ein nicht geregeltes Verfahren zur Betonertüchtigung und damit für eine Zustimmung im Einzelfall. Der Autor hatte Gelegenheit, den Prozess der bauaufsichtlichen Zustimmung bis zum Übereinstimmungsnachweis zu begleiten. Dafür stand am Ende der Baumaßnahme die Erfolgskontrolle, in welcher nachgewiesen werden konnte, dass das anfängliche Defizit der Druckfestigkeit gegenüber der Sollanforderung nicht nur ausgeglichen, sondern der Sollwert der Druckfestigkeit in situ statistisch gesichert um ca. 37% übertroffen wurde.

## 1 Einführung

Die Vitalisierung innerstädtischer Bebauung verlangte im referierten Objekt aus den 60-er Jahren eine Aufstockung und damit eine Ertüchtigung der 5 Geschosse im Bestand. Die konventionellen Methoden zur Ertüchtigung der Stützen des Stahlbetonbaus wurden vom Architekten verworfen, da sie in Form von Spritzbeton Flächenverluste und bei Anwendung von CFK-Lamellen zusätzlich besondere Aufwendungen für den Brandschutz bedeutet hätten. Priorität hatte die Ertüchtigung des Stahlbetons der Stützen, dessen Druckfestigkeit ca. 5-8 N/mm<sup>2</sup> unterhalb der statischen Erfordernisse lag unter Beibehaltung der ursprünglichen Abmessungen der Stützen und damit der ursprünglichen Raumgeometrie.

## 2 Zustimmung im Einzelfall

Das Genehmigungsverfahren der Zustimmung im Einzelfall liegt in der Zuständigkeit der lokalen zuständigen Baubehörde. Der Autor begleitete auftragsgemäß den Genehmigungsprozess. Im vorliegenden Fall war dies die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) der FHH Hamburg, speziell das Amt für Bauordnung und Hochbau. Zur Unterstützung der Antragstellung erschien im Juli 2010 das Merkblatt "Hinweise zur Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall", welches sich auf §20 der Hamburgischen Bauordnung abstützt. Praktisch gliederte sich das Vorgehen wie folgt:

1. Ausarbeitung der Antragsunterlagen mit Beschreibung der Bauaufgabe bzw. des Antragsgegenstands und dessen Abweichungen im Bezug zu existierenden Regelwerken (abZ, ETA usw.)

2. Für die Beurteilung der Antragsunterlagen durch die BSU: Einreichung von Ausführungsplänen mit Schwerpunkt eines Untersuchungsberichts zur experimentellen Erfahrung eines Pilotprojekts sowie den materialspezifischen Grundlagen
3. Zustimmung und Formulierung der Anwendungsbedingungen durch die BSU, Festlegung des Nachweisverfahrens zur Erfolgskontrolle der vollendeten Ertüchtigungsmaßnahme sowie zur Übereinstimmungserklärung
4. Einreichung des Abschlussberichts zur Erfolgskontrolle und der Übereinstimmungserklärung der Unternehmers, dass nach den Maßgaben der ZIE verfahren wurde

Angemerkt sei hier, dass die Finanzierung der ZIE und damit der Besitz derselben beim ausführenden Unternehmen liegt.

### **3 Betonertüchtigung durch Niederdruck-Infusion**

Die Ertüchtigung maroder Baustoffe mit Hilfe von Kieselsäureestern ist grundsätzlich nicht neu. Kieselsäureethylester unterscheiden sich signifikant von der immer noch aktuellen Wasserglastechnologie. Deren Unzulänglichkeit beginnt bereits in der Anwendung durch erhöhte Viskosität der Alkalisilikate, welche keine tiefe Imprägnierung gestatten und durch die Umsetzung zu Alkalikarbonaten sogar die Substanz schädigen können.

#### **3.1 Wirkungsweise**

Schon in den 70-er Jahren wurde die Ertüchtigung von Sichtbetonoberflächen mit Kieselsäureethylestern (KSE) ausgeführt und die Dampfdiffusionsbeständigkeit, die große (kapillare) Imprägniertiefe und die Alkalibeständigkeit als vorteilhaft herausgestellt [1].

Man stellte aber auch fest, dass sich bei ungenügender Durchdringung, d.h. geringer Imprägniertiefe, eine Krusten- und Schalenbildung einstellen kann, die witterungsbedingt zu Abschieferungen führt [2]. Zielstellung war es in diesem Zusammenhang, so große Imprägniertiefen zu erreichen, dass die verwitterte „weiche“ Oberfläche soweit ertüchtigt wird, dass deren ertüchtigte Qualität möglichst übergangslos an die gesunde ursprüngliche Struktur anschließt. Hier kommt das Verfahren der Niederdruck-Infusion zum Tragen, welches die Tiefe des Betons durchtränkt und damit die Probleme der kapillaren Förderung durch Applikation über die Oberfläche ausräumt. In [3] werden einige Spezifika ausgeführt. Unterhalb von 5°C verzögert sich die Abscheidung des Kieselgels, die oberhalb dieser Temperatur in 2-4 Wochen abgeschlossen ist. Vereinfacht ausgedrückt, bestehen KSE im Prinzip aus in Alkoholen gelöster Kieselsäure. Unter katalytischer Anregung, z.B. durch Baustoff- und Luftfeuchte, und im Zuge der Verdunstung des Alkohols entsteht das Bindemittel Kieselgel, welches sich in der Folge zu amorpher fester Kieselsäure vernetzt [2]. Die Applikation auf feuchten und salzbelasteten Oberflächen ist zwar nach [3] nicht sinnvoll, aber in der Tiefe des Baustoffs steht der Wirkungsweise nichts im Wege.

Rissüberbrückende Eigenschaften können von den neuen silikatischen Strukturen nicht erwartet werden.

Zusätzlich zur Funktionsweise der Kieselgelbildung, deren interner Vernetzung und der Festigkeitsbildung durch ausgeschiedene feste amorphe Kieselsäure können KSE u.U. Reaktionspartner im nicht zu stark karbonatisierten Beton finden, mit denen nach puzzolanischer Reaktion festigkeitsbildende Kalzium-Silikat-Hydrat-Phasen entstehen können. Diese sind den Phasen aus der Zementhydratation ähnlich. In [4] wird auf die Oberflächenbehandlung von Stahlbeton Bezug genommen. Dabei werden die KSE zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-zutritts und damit als Karbonatisierungsbremse eingesetzt.

### 3.2 Niederdruck-Infusion

Anders als bei der klassischen Injektion, bei welcher das Füllgut über die Injektionskanäle in die Strukturdefekte oder Risse hineingepresst wird und damit aus einer ursprünglich kugelsymmetrischen Ausbreitung eine Kanalisierung in die nahezu zweidimensionalen Rissebenen erfolgt, breitet sich das KSE tatsächlich kugelsymmetrisch in der zu ertüchtigenden Betonstruktur aus. Voraussetzung ist allerdings, dass die Struktur porös genug ist, um das KSE aufzunehmen und damit die gewünschte Festigkeitsbildung stattfinden kann. Eine Voraussetzung für die Erfolgsprognose ist die Feststellung der Porosität des Betons, da diese festlegt, ob die Porenräume groß genug sind, um die notwendigen Kieselgelmengen in die Struktur einzubauen. Die geringen Drücke, die für die Infusion(Injektion) typisch sind, richten sich klassisch nach der Druckfestigkeit der ursprünglichen Beschaffenheit des Betons. So wäre für den im konkreten Objekt vorgefundenen C8/10 nur ein maximaler Infusionsdruck von 30 bar zulässig. Ggf. liefert aber auch die Oberflächenzugfestigkeit für die Applikation von Klebepackern den maximalen Fülldruck. Hier sollten 3bar nicht überschritten werden. 1bar Fülldruck gewährt eine ausreichende Sicherheit.

### 3.3 Ausführung

Die Anordnung der Einfüllstutzen, z.B. Bohr- oder Schlagpacker, richtet sich ganz nach dem zu infiltrierenden Querschnitt der Stützen von 40x40cm. Die Verdämmung der Oberfläche sollte großzügig ausgeführt werden. Das Material sollte möglichst die "Durchfeuchtung" der Bauteile erkennen lassen, denn die vollständige Durchdringung ist eine Voraussetzung für den Erfolg des Verfahrens. Nach der Infusion muss die Verdämmung entfernt werden, damit die Verdunstung des Alkohols, der bei der Kieselgelausscheidung entsteht, nicht behindert wird. Abb.1 zeigt exemplarisch eine verdämmte Stütze, die über Packer und Schlauchleitung im Niederdruckbereich infiltriert wird. Die Niederdruckinfusion wird vom Druck, aber auch von der Kapillarität des Betons getrieben und benötigt eine Behandlungsdauer, die bis zur Sichtbarwerdung der Durchträngung durchgeführt wird. Die niedrige Viskosität des KSE erweist sich als Vorteil gegenüber dem Versuch, niedrigviskose Epoxidharze einzuschleusen, zumal diese ein Problem im Brandschutz bedeuten können.

Besondere Bedeutung kam im konkreten Fall den Lastdurchleitungsbereichen zu, die gleichermaßen behandelt bzw. durchtränkt wurden.



Abb.1: Infusion einer Stütze

## 4 Ergebnisse im Zuge der ZiE

### 4.1 Voruntersuchung

Die experimentelle Erprobung des Verfahrens umfasste die vergleichende Bohrkernuntersuchung an einer Stütze des Objekts. Dabei wurden ein Bohrkern im Urzustand der Stütze und ein Kern nach erfolgter Infusion entnommen. Untersucht wurden die Entwicklung der Ultraschallgeschwindigkeit (US) am Bohrkern aus der behandelten Stütze sowie vergleichend Porosität und Druckfestigkeit nach 28 Tagen. Im Ergebnis war erkennbar, dass die US-Geschwindigkeit mit fortschreitender Gel-Ausscheidung von ca. 2900m/s innerhalb von 14 Tagen um 12% ansteigt, was auf die Aushärtung des KSE zurückgeführt werden kann. Die Porosität des Betons liegt nach 28 Tagen ca. 9% unter dem Wert der 0-Probe. Die Druckfestigkeit stieg um ca. 30% an. Das Ergebnis machte Mut und initiierte den weiteren Aufwand.

### 4.2 Nachweisführung im Bauvorhaben

Im nächsten Schritt der Entwicklung wurden 5 Stützen im 1. OG ausgewählt und im Sinne der Voruntersuchung begleitet. Dabei wurden 9 Kerne vor und nach der Ertüchtigung gewonnen. Die Datenlage kann wie folgt zusammengefasst werden:

Die US-Geschwindigkeit verzeichnete einen Zuwachs um ca. 11%. Die Dichte als Synonym für Porosität stieg um ca. 6% und die Druckfestigkeit als entscheidende Zielgröße legte im Mittel um 38% zu. Damit war auch die Voruntersuchung bestätigt. Erwartungsgemäß zeigte sich, wie Abb. 2 belegt, dass eine im Urzustand sehr schwache Struktur progressiv an Druckfestigkeit gewinnt, wobei ein kompaktes Betongefüge, welches bereits hinreichende Druckfestigkeiten aufweist, in geringerem Maße zu ertüchtigen ist.

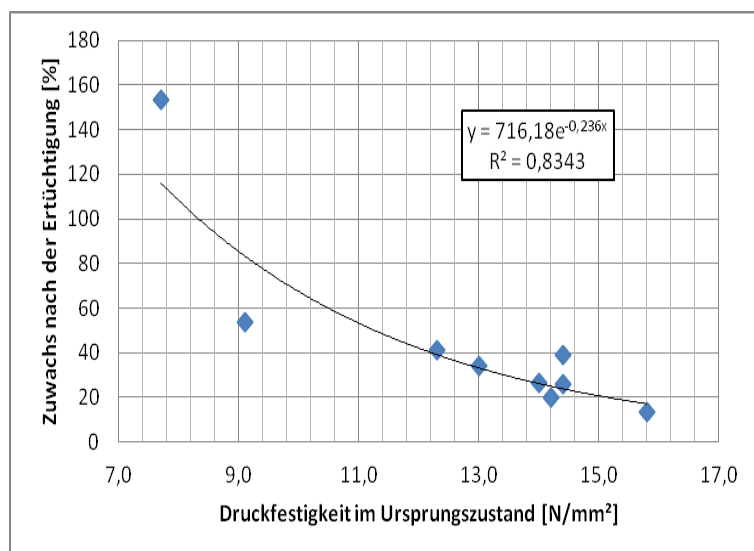


Abb. 2: Ertüchtigung

Damit wird auch eine Vergleichmäßigung der Struktur erzielt, wie sie sich auch in der Reduzierung der Standardabweichung der Druckfestigkeit um ca. 37% ausdrückt.

Hier sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich die Struktur bzw. Porosität nicht in einem Maße verdichtet, dass sich daraus eine Gefahr im Brandfall ableiten ließe.

Der Untersuchungsbericht wurde Bestandteil des Antrags auf eine ZiE und zusammen mit den theoretischen Darlegungen zur Wirkungsweise Grundlage der Zustimmung der Behörde für die skizzierte Vorgehensweise und die durch sie formulierten Auflagen, die im Zuge der Anwendung der ZiE einzuhalten waren, sowie die Maßgaben für die Erfolgskontrolle. Letztere verpflichtet im Kern dazu, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von nur 1% über alle in Frage stehenden 48 Stützen eine Betondruckfestigkeit  $> 16\text{N/mm}^2$  nachzuweisen.

### 4.3 Ausführung

Die Ausführung der Ertüchtigung war durch die vorgelegten Ergebnisse der Voruntersuchung und die ZiE weitgehend festgeschrieben und wurde vom ausführenden Unternehmen in Übereinstimmung mit der ZiE praktiziert. Außerdem wurde der Landesbauordnung genügt, indem eine Fremdüberwachung der Instandsetzungsmaßnahme installiert wurde und ein SIVV-Fachmann stets vor Ort war.

### 4.4 Erfolgskontrolle

Die ZiE legte die Maßgaben der Erfolgskontrolle fest, die sich insbesondere auf die Nachweisführung der erreichten Betondruckfestigkeit an zufällig entnommenen Bohrkernen bezog. Ein Vergleich mit dem Urzustand war nun nicht mehr vorgesehen. Abb. 3 zeigt das Histogramm der Bohrkernfestigkeiten.



Die Auswertung mit den Mitteln der beschreibenden Statistik ergab mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% eine untere Grenze des Konfidenzintervalls des Mittelwerts von 22 N/mm<sup>2</sup> und übertrifft damit die Forderung von mindestens 16N/mm<sup>2</sup> um ca. 37%.

Mit den Maßgaben der DIN EN 13791:05-2008 ergibt sich aus der Mittelwertbetrachtung nach Ansatz A:  $f_{ck, is} = 16,6\text{N/mm}^2$  und erfüllt ebenso die Anforderung der ZiE bzw. die statischen Erfordernisse.

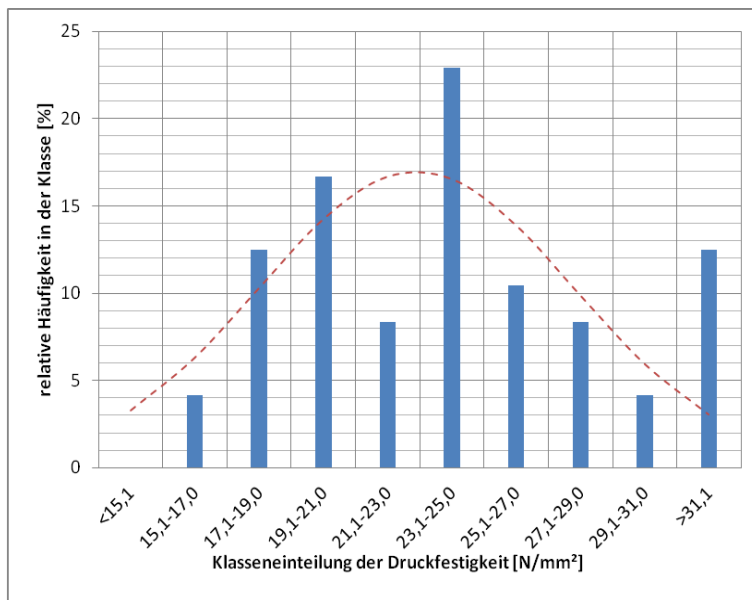


Abb. 3: Histogramm

Die Nachweisführung wurde durch die Betrachtung von Dichte und Porosität, geprüft an Mikrokernen, die über ausgewählte Stützenquerschnitte entnommen wurden, sowie die in situ gemessene US-Geschwindigkeit ergänzt. Dadurch konnte auch zu den Vorversuchen eine Brücke geschlagen und eine konsistente Beurteilung in der Gesamtheit der Prüfergebnisse ermöglicht werden.

## 5 Zusammenfassung

Mit einer Zustimmung im Einzelfall konnte die Vitalisierung eines innerstädtischen Stahlbetonbaus aus den frühen 60-er Jahren und seine Aufstockung auf Basis einer technischen Alternative ermöglicht werden.

Diese technische Alternative bestand in der Niederdruck-Infusion (Injektion) des porösen Konstruktionsbetons mit geringer Dichte und unzureichender Druckfestigkeit mittels Kieselsäureethylester (KSE). Dessen Wirkung führte zur signifikanten Erhöhung der Druckfestigkeit. Dabei vergleichmäßigte sich das Druckfestigkeitsniveau bei geringfügiger Erhöhung der Dichte und reduzierter Porosität.

Korrespondierend und erwartungsgemäß erhöhte sich die Ultraschallgeschwindigkeit als Indiz für eine Verfestigung der Betonstruktur.

Die Auflagen der ZiE wurden durch die Bauausführung eingehalten, so dass die Übereinstimmung mit der ZiE unter zusätzlicher Begleitung durch die Fremdüberwachung attestiert werden konnte.

Die BT-IS GmbH in Adendorf ist in Rechtsnachfolge Inhaberin der Zustimmung im Einzelfall und auf dem Wege, eine Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung beim DIBT für das Verfahren zu erwirken.

## 6 Ausblick

Der in Deutschland sehr enge Regelungsrahmen im Vertrags- und Bauordnungsrecht kann mit Engagement in der Sache für innovative Produkte und Bauweisen geöffnet werden. Voraussetzung ist immer der unternehmerische Wille, eine Bauaufgabe zweckentsprechend und wirtschaftlich zu lösen, die Bereitschaft der Bauausführung, diesen Weg konsequent zu beschreiten und die Kompetenz, dieses auch tun zu können.

Die Möglichkeiten reichen von Dichtschichten aus Hochleistungsstahlfaserbeton mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, über alternative Stoffe und Verfahren zur Bauwerksertüchtigung mittels Injektion bis zur Stahlbetonverstärkung mit Textilbewehrung (TUDALIT), einem seit Juni 2014 neuen zugelassen Verfahren.

Bei allen Maßnahmen und Verfahren, die Neuland beschreiten, kommt der zuständigen Baubehörde im Genehmigungsverfahren eine Schlüsselrolle zu. Sie ist so gut und kollegial im Thema abzuholen, dass eine konstruktive Mitarbeit und fachlichen Durchdringung der technischen Konzeption sichergestellt ist.

Das zur Ertüchtigung von Konstruktionsbeton verwendete Niederdruck-Infusionsverfahren zur Applikation von KSE der BT-IS GmbH wurde vom Schwesterunternehmen Mega Bond GmbH & Co.KG, Adendorf, für zahlreiche schwierige Instandsetzungsaufgaben, wie z.B. für die Revitalisierung von Gleistrassen unter Betrieb (s. Bild unten) weiterentwickelt.



## Literaturverzeichnis

- [1] H.Weber „Bautenschutz mit Siliconen“ In: Das Baugewerbe, Ausgabe 23/1974
- [2] H.Weber „Konservierung und Restaurierung von Natursteinen“ In: Der Maler und Lackiermeister, Heft 5+6, 1984
- [3] Wacker BS® Steinkonservierung mit Siliconen
- [4] H. Weber „ Stahlbeton- was ihn krank macht – wie man ihn heilt“ In: Bausubstanz Heft 1+2/1986