Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton-bauten bei Karbonatisierung und wechselnder Nass/Trocken Exposition (Projekt 202004)

Projektteam Prof. Dr. Ueli Angst, Dr. Zhidong Zhang, Thilo Schmid

Projektdauer 18 Monate

Ausgangslage

Wissenschaftliche Erkenntnisse sowie Praxiserfahrungen zeigen, dass die Korrosion der Bewehrung im karbonatisierten Beton mit vernachlässigbarer Geschwindigkeit abläuft, solange die Feuchtigkeit im Beton nicht erhöht ist. In den aktuellen Europäischen und Schweizer Normen wird die Lebensdauer von Stahlbetonbauten grundsätzlich dadurch sichergestellt, dass die Karbonatisierungsfront den Bewehrungsstahl während der Lebensdauer möglichst nicht erreichen soll. Die Korrosion des Bewehrungsstahls im karbonatisierten Beton, hingegen, wird kaum oder nicht berücksichtigt. Dieser Ansatz ist konservativ und führt zu einer Ungleichbehandlung der verschiedenen Zemente; tendenziell werden dabei die klinkerreduzierten Zemente benachteiligt, weil sie rascher karbonatisieren. Im Sinne der Nachhaltigkeit ist es daher zentral, die Korrosion in der Lebensdauerbemessung mit quantitativen Ansätzen zu berücksichtigen.

Zielsetzung des Projektes

Ziel dieses Projekts ist es, das Verständnis und die Modellierung der Bewehrungskorrosion im karbonatisierten Beton bei wechselnder Nass/Trocken Exposition zu verbessern.

Methodik und Vorgehen

Die aufgeworfene Fragestellung wurde für eine klimatische Exposition, wie sie in der Stadt Zürich zu erwarten ist, anhand von einem kombinierten experimentellen und numerischen Ansatz angepackt. Karbonatisierte Stahlbetonprüfkörper (4 verschiedene Zemente) wurden temporären Benetzungsereignissen ausgesetzt und die im Innern ablaufenden Feuchtetransport- und Korrosionsprozesse mittels verschiedener Messverfahren zeitlich und örtlich aufgelöst mitverfolgt. Ein numerischer Modellansatz mit Fokus auf den Feuchtetransport wurde entwickelt und anhand der Experimente validiert.

Ergebnisse

In den Experimenten wurde festgestellt, dass die Überdeckung eine wichtige Rolle bei der Kontrolle der Korrosion von Stahl in karbonatisiertem Beton spielt. Signifikante Unterschiede im Korrosionszustand der Stahlelektroden wurden vor allem bei Stahlstäben in Überdeckungstiefen von bis zu 20 mm beobachtet. In allen untersuchten Systemen blieb der Stahl in einer Tiefe von 30 mm während 3-stündiger Befeuchtungszeit weitgehend unbeeinflusst. Unterschiede zwischen den Mörteln waren deutlich erkennbar. Karbonatisierte CEM III/B-Mörtel zeigten die höchste Wasserdurchlässigkeit und dementsprechend die ausgeprägtesten Reaktionen in Bezug auf die Korrosionsraten während der Befeuchtung. Karbonatisierte CEM I-Mörtel zeigten die geringste Wasserdurchlässigkeit und

dementsprechend waren die Reaktionen der eingebetteten Stahlstäbe auf die Benetzung am wenigsten ausgeprägt. Karbonatisierte CEM II/B-LL und CEM II B-M (T-LL) Mörtel zeigten ein mittleres Verhalten. Bei einem w/b-Verhältnis von 0.5 reagierte der Stahl deutlich weniger ausgeprägt auf die Befeuchtung/Trocknung, verglichen mit einem w/b-Verhältnis von 0.6 für alle Bindemitteltypen. In Übereinstimmung damit zeigten karbonatisierte Mörtel mit w/b=0.6 höhere Wasserdurchlässigkeitsergebnisse als w/b=0.5. Bei allen Systemen wiesen die Stahlstäbe bei einer Überdeckung von 30 mm Korrosionsraten von weniger als 7 µA/cm2 auf (bei langer Benetzung). Bei Benetzungsphasen mit einer Dauer von 3 Stunden stieg die Korrosionsrate bei einer Überdeckung von 30 mm in allen untersuchten Systemen kaum an. Numerische Simulationen des Feuchtetransports bestätigten die Ergebnisse der Experimente. Die wichtigste Schlussfolgerung ist, dass der Feuchtezustand auf der Stahloberfläche einer der entscheidenden Faktoren für die Stahlkorrosion ist, und dass dieser wesentlich von den Feuchtetransporteigenschaften des karbonatisierten Betons und der Überdeckung beeinflusst ist. Wenn der Feuchtigkeitszustand gut bestimmt werden kann, lässt sich das Risiko der Stahlkorrosion einschätzen und durch Methoden zur Feuchtigkeitsregulierung weiter eindämmen.

Abgrenzung und weiterer Forschungsbedarf

Dieses Projekt beleuchtete das Verhalten von 4 verschiedenen Zementen und zwei w/b Werten, sowie einer für die Stadt Zürich repräsentativen Expositionsbedingung. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Bedingungen ist nicht direkt möglich. Ausserdem konnte der tatsächliche Schädigungsprozess (Betonreissen, Abplatzungen infolge Korrosion) im Rahmen dieser Arbeiten nicht beleuchtet werden.

Die Ergebnisse zeigen dennoch auf, dass weitere Forschungsarbeiten in dieser Stossrichtung notwendig sind, um die Ziele der Nachhaltigkeit (CO2-arme Zemente) und Dauerhaftigkeit (Korrosionsbeständigkeit) unter einen Hut zu bringen. Weitere Arbeiten sollten ein grundlegendes Verständnis für alle beteiligten Prozesse (elektrochemische, chemische, physikalische wie Stofftransport und Bruchmechanik) ermöglichen, sowie die Grundlagen für ein normatives Umdenken (Testverfahren, Dauerhaftigkeitsbemessung) legen.