

Diss. ETH Nr. 8550

**Untersuchung des Betongefüges hinsichtlich der Beständigkeit  
unter besonderer Berücksichtigung des kapillaren  
Wassertransports und der Chloridpenetration**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der technischen Wissenschaften  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

Qiwei YANG  
Dipl. Baustoffing. Universität TONG-JI Shanghai  
geboren am 25. Februar 1950  
von CHINA

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. A. Rösli, Referent  
Prof. Dr. F.H. Wittmann, Dr. W. Schräml, Korreferenten

A. Rösli

1988

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Forschungsarbeit hatte zum Ziel, den kapillaren Wassertransport und die Chloridpenetration hinsichtlich der Beständigkeit von Stahlbeton zu untersuchen.

Ausser den gebräuchlichen betontechnologischen Analysen wurden auch verschiedene naturwissenschaftliche Versuchsmethoden, wie Aufsaugversuche mit elektrischer Leitfähigkeitsdetektion, Gefügeuntersuchungen anhand des Rasterelektronenmikroskops und der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse und Messungen mit vollautomatischer Bildanalyse angewendet. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden unserer Fragestellung entsprechend interpretiert.

Für diese Arbeit wurden 16 Betonstellwände untersucht. Mit dem Ziel, dass sie den gleichen Zementsteingehalt besitzen, wurden sie betoniert. Bei ihrer Herstellung wurden die folgenden 4 Parameter variiert:

- Wasserzementfaktor,
- Luftporenzusatzmittel,
- C<sub>3</sub>A-Gehalt des Portlandzements,
- Erhärtungstemperatur.

Um den kapillaren Wassertransport zu ermitteln, wurde eine neue Einrichtung mit einer elektrischen Leitfähigkeits-, sowie einer Gammastrahlen-Detektion zum Aufsaugen der Flüssigkeiten gebaut. Damit wurde es möglich, eine statistisch definierte Wasserfront direkt und kontinuierlich zu messen. Mit den Messungen wurde ein Koeffizient der kapillaren Wasserleitung (KWL) ermittelt. Zur Auswertung wurden die Versuchsergebnisse nach dem  $\sqrt{t}$ -Gesetz berechnet, das in der Anfangsphase der Aufsaugversuche gilt. Mit Wasser und 4%-iger Salzlösung (NaCl) wurden die Aufsaugversuche bei 20°C respektive 5°C durchgeführt.

Die KWL-Werte bei der Untersuchungstemperatur von 20°C waren durchschnittlich grösser als jene bei 5°C, weil die Viskosität mit zunehmender Temperatur abnimmt. Der Einfluss der von der Salzlösung geänderten Oberflächenspannungen auf die KWL-Werte ist nicht sehr gross.

Der Koeffizient der kapillaren Wasserleitung charakterisiert den kapillaren Wasser- und Salzlösungstransport der Anfangsphase im Beton und gibt weiter Auskunft über die Art des Eindringens von Schadstoffen in wässriger Form in poröse Baustoffe.

Die Chlorideinwirkungen auf den Zementstein und auf den Beton wurden sowohl mittels dem Rasterelektronenmikroskop und der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse als auch mittels chemischen Untersuchungen zur Bestimmung des Chloridgehalts untersucht. Die Ergebnisse belegten, dass das relative Chloridbindevermögen im Laufe der Zeit zunimmt. Für die Praxis heisst das, dass Beton mit der Zeit vermehrt Chloridionen zu binden vermag.

## VIII

Dass Chlorid sich in den oberflächennahen Schichten des Betons durch eine mehrfache nasse/trockene Chlorideinwirkung stark anreichern kann, wird in dieser Arbeit festgestellt.

Obschon der Luftporenbeton eine höhere Gesamtporosität besitzt, ist der Zugang für Chloridionen in wässrigen Lösungen erschwert, da der kapillare Wassertransport durch die Luftporen verzögert wird.

## ABSTRACT

### Investigation of Concrete Structure with regard to Durability giving special consideration of the Capillary Water Transport and the Chloride Penetration

This research work was aimed at investigating the capillary water transport and the chloride penetration with regard to the durability of reinforced concrete.

Besides the common analyses of concrete technology, different experimental methods used in the sciences were employed, such as capillary absorption tests with the help of electrical conductivity measurement, the investigation for concrete structure with the scanning electron microscope (SEM) and the energy dispersive X-ray microanalysis (EDXRA), and the measurement with the help of a computer-aided image analyser. The results were interpreted in relation to the questions posed in Chapter 1.

For this research 16 vertical concrete walls which was aimed at possessing the same content of cement paste were investigated. During their manufacture the following 4 parameters were varied:

- water cement ratio,
- air-entraining agent,
- C<sub>3</sub>A content of Portland cement,
- hardening temperature.

In order to measure the capillary water transport, new equipment was constructed with the detection of electrical conductivity and gamma absorption to observe the capillary rise. It was thus possible to measure a statistically defined water front both directly and continuously. The coefficient of capillary water transport (KWL) was determined. The results of experiments were evaluated according to the  $\sqrt{t}$ -law, which is valid in the beginning of the capillary absorption tests. The absorption tests were carried out with water and a 4 % NaCl solution under two different climatic conditions, i.e. 20°C and 5°C.

The KWL values at the investigated temperature of 20°C were on average higher than those at 5°C, because the viscosity decreases with increasing temperature. The effect of the surface tension of NaCl solution on the KWL values was not great.

The coefficient of capillary water transport characterizes the capillary water and NaCl solution transport in concrete and gives information about the nature of penetration of the damaging substances in a solute state into the porous building materials.

The influences of chloride on the cement paste and on the concrete were studied with SEM + EDXRA and with the chemical analysis of the chloride content. The studies showed that the related binding capacity of chloride increases with time. This means in practice that concrete could bind more chloride ions over longer time periods.

It is confirmed in this work that chloride can enrich in the layer near of the concrete surface with a repeated wet/dry chloride treatment.

Although concrete with an air-entraining agent has a higher total porosity, it is more difficult for the chloride ions in a solute state to penetrate concrete, because the capillary water transport is hindered by air voids.