

Spritzbetonforschung an der ETH Zürich – Resultate der letzten 3 Jahre

Research On Shotcrete Technology At The Zurich Technical University (ETH) – Results Covering The Research Work Of The Last Three Years

Professor Dipl.-Ing. Robert Fechtig, ETH Zürich

Im Verlaufe der drei Jahre 1983-86 wurden am Institut für Bauplanung und Baubetrieb (IBETH) in Zusammenarbeit mit der Praxis drei Forschungsprojekte im Bereich Spritzbeton bearbeitet und abgeschlossen. Sie sollen Lücken schließen und der Praxis für die tägliche Arbeit ergänzende, grundlegende Erkenntnisse liefern.

Als Projekte sind zum Thema "Spritzbeton und seine Eigenschaften" folgende Probleme abgehandelt und in einzelnen Forschungsberichten publiziert worden.

Ch. Ammon, Projekt 037/83 Wiederverwendung von Rückprall
Dipl. Ing. ETH Einfluß der Liegezeit des Trockengemisches auf die Qualität des Spritzbetons

Ch. Ammon, Projekt 042/84 Haften von Spritzbeton an Fels, Beton und Tunnelsteinen
Dipl. Ing. ETH Einfluß der Liegezeit des Trockengemisches auf die Qualität des Spritzbetons

N. Hodel, Projekt 046/85 Einfluß von tiefen Temperaturen auf die Qualität von Spritzbeton
Dipl. Ing. ETH

Die Feldarbeiten für alle drei Projekte wurden in einer Felskaverne unter idealen Bedingungen durchgeführt. Partner aus der Praxis war die Firma Laich SA/Avegno, Kt. Tessin, Schweiz, welche eine bewährte Spritzbetonequipe einsetzen konnte.

From 1983 to 1986 the IBETH Institute of the Zurich Technical University worked at and completed three research projects in the field of shotcrete in cooperation with a construction company. It is the purpose of these research projects to fill gaps and to supply additional basic knowledge for the practical work.

On the subject "Shotcrete and its Properties" the following problems were dealt with in research projects, the results of which were published in separate reports:

Ch. Ammon, Project 037/83 Re-use of the rebound
Dipl.Ing.ETH Influence of the storage time of the dry mix on the shotcrete quality

Ch. Ammon, Project 042/84 Adhesion of shotcrete on the rock surface, concrete and tunnel masonry.
Dipl.Ing.ETH Influence of the storage time of the dry mix on the shotcrete quality

N. Hodel, Project 046/85 Influence of low temperatures on the shotcrete quality
Dipl.Ing.ETH

The field work for all three projects was carried out in a rock cavern under perfect conditions, in cooperation with the company Laich SA/Avegno, canton Tessin, Switzerland, employing an experienced shotcreting crew.

1. EINLEITUNG

Neben der Aufgabe der Lehre enthält das Pflichtenheft eines Dozenten einer Technischen Hochschule auch den Hinweis auf eine gezielte Forschungstätigkeit. Je nach Umfang der Lehrverpflichtungen, der eigenen vorhandenen Mittel an Geist und Finanzen, kann die Forschungstätigkeit breiter oder schmaler ausfallen.

Sie mögen verstehen, daß ich nach einer fast 25 jährigen Unternehmertätigkeit mit der Übernahme des Lehrbetriebes für Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb an der Bauingenieur-Fakultät ETH im Jahre 1981 bestrebt war, eine Forschungstätigkeit einzuleiten, die auf die Praxis ausgerichtet ist. Wohl nicht nur in der Schweiz, sondern auch in anderen Ländern hört man oft den Vorwurf von zu wenig Praxiskontakt der Hochschulen.

So war es mir von Anfang an ein Anliegen, die aufgegriffenen Forschungsthemen in enger Zusammenarbeit mit der Praxis und mit derer Unterstützung durchführen zu können. Eine glückliche Fügung verband mich von Anfang an mit Herrn Pietro Teichert (dem nachfolgenden Sprecher), der unserem Vorhaben offen gegenüberstand, und dieses mit eigenen Leistungen großzügig unterstützen half. Ich möchte ihm an dieser Stelle für die angenehme, kollegiale Zusammenarbeit der vergangenen Jahre hindurch recht herzlich danken.

Gestatten Sie mir nun, daß ich auf die durchgeführten Arbeiten und deren Resultate einzeln eingehe.

Alle drei Arbeiten stehen unter folgendem Themenkreis:

- Spritzbeton und seine Eigenschaften
- Vertiefte Untersuchungen von speziellen Eigenschaften.

2. WIEDERVERWENDUNG VON RÜCKPRALL

Forschungsprojekt 037/83, ausgeführt von Dipl. Ing. Christian Ammon von März 1983 bis März 1984.

Diese Forschungsarbeit basiert auf folgendem Hintergrund. Praktisch in allen Ausschreibungsunterlagen von Spritzbetonarbeiten steht der Satz: "Rückprall darf nicht wiederverwendet werden". Dies mag im Blick auf jene Arbeiten, wo Rückprall vom Schmutz und Schlamm durchsetzt wird, seine Berechtigung haben. Wie sieht die Verwendung von Rückprall aus, wenn dieser an der Arbeitsstelle aufgefangen werden kann, also nicht verschmutzt ist?

Bedenkt man außerdem, daß heute je nach Ort und Güte der Arbeit von jedem verarbeiteten Kubikmeter Kies/Sand 20 - 40 % infolge Rückprall verloren geht und als "Abfall" weggeführt werden muß, so ist dies landesweit ein erheblicher volkswirtschaftlicher Verlust.

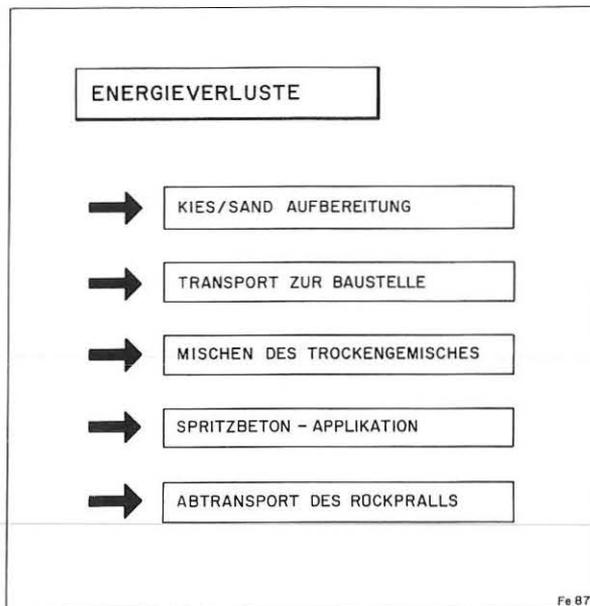


Abb. 1: Energieverluste

Hinzu kommt die Energiefrage. Energie wird gebraucht für die Kiesaufbereitung, den Transport zur Baustelle, das Mischen des Trockengemisches, die Applikation des Spritzbetons und den Wegtransport des Rückpralls.

So schien es uns gerechtfertigt, die aufgeworfene Frage einmal eingehend zu untersuchen.

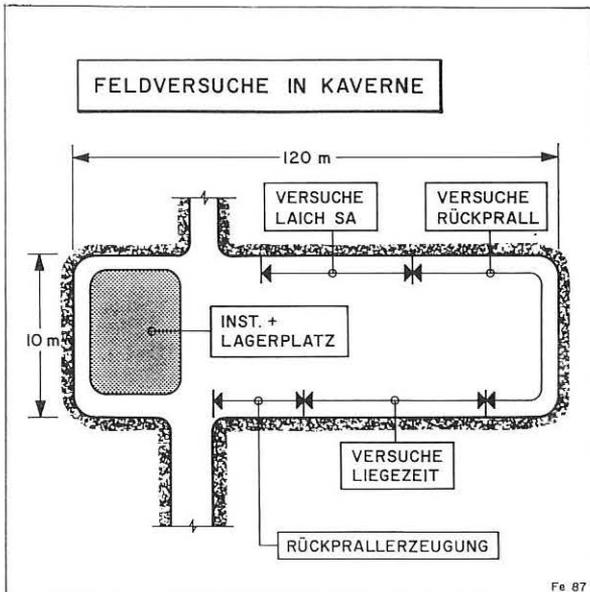


Abb. 2: Feldversuche in Kaverne

Die Feldversuche werden unter idealen Bedingungen in einer Felskaverne bei gleichbleibender Temperatur (+ 14^o C) und Feuchtigkeit (100 %) durchgeführt. Als Düsenführer arbeitete ein Vorarbeiter der Firma Laich, ein Mann mit 20 Jahren Spritz-Erfahrung.

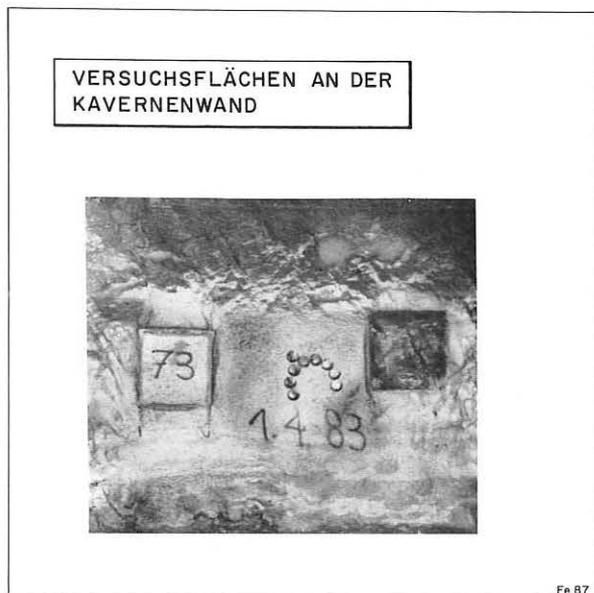


Abb. 4: Versuchsflächen an der Kavernenwand

Als Spritzbetonmuster wurden einerseits Holzrahmen ausgespritzt, sowie die danebenliegenden Wandflächen. Damit hatte man die Möglichkeit, die Holzrahmenmuster für Langzeitversuche im Werkhof zu prüfen. Gelagert werden sie jedoch in der Kaverne.

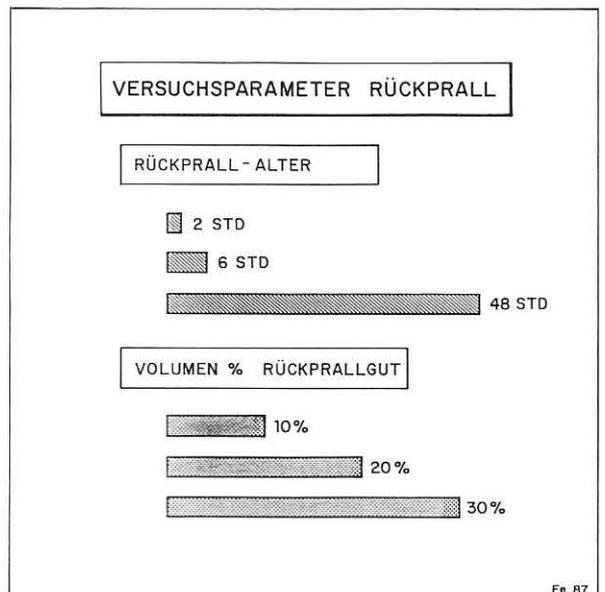


Abb. 5: Versuchs-Parameter Rückprall

Der Versuch wurde so angelegt, daß man einerseits Rückprall verschiedenen Alters zum Trockengemisch wieder beimischte, 2/6/48 Stunden alter Rückprall und, daß man unterschiedliche Volumensanteile (10/20/30 %) des Rückprallgutes dem Trockengemisch zusetzte, respektive Trockengemisch durch diesen Rückprall-Anteil ersetzte. Total wurden 5 Schichten zu je 2,5 cm aufgetragen und aus der Totalstärke von 12,5cm die Probezylinder von 50 mm Ø für die Druckfestigkeitsprüfung von 28 Tagen und 90 Tagen entnommen. Für alle Rückprallversuche wurde eine Standard-Mischung von 350 kg Zement und 1000 l Kiessand verwendet. Sämtliche Versuche wurden ohne Schnellbinder durchgeführt.

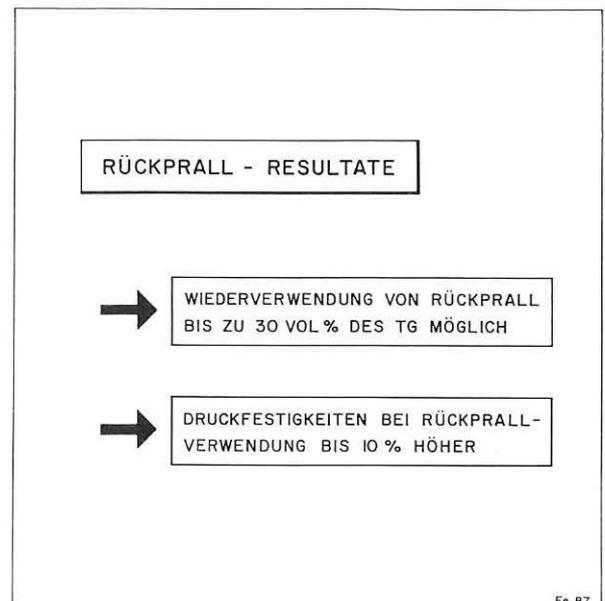


Abb. 6: Rückprall-Resultate

Als Resultat kann festgehalten werden, daß eine Rückprall-Beigabe von bis 30 Vol-% Anteil am Trockengemisch möglich ist, und daß bis zu 10 % höhere Druckfestigkeiten gegenüber dem normalen Spritzbeton erwartet werden können.

Neben diesen Versuchen ist aus den Rückprall-Proben auch die Wasserleitfähigkeit q_w (g/m^2) sowie die Permeabilität nach Darcy k (10^{-10} m/sec) ermittelt werden (vgl. dazu die graphischen Darstellungen im Forschungsbericht).

3. EINFLUSS DER LIEGEZEIT DES TROCKENGEMISCHES AUF DIE QUALITÄT DES SPRITZBETONS

Forschungsprojekt Nr. 037/83, 1. Teil

Forschungsprojekt Nr. 042/84, 2. Teil

beide Arbeiten durchgeführt von Herrn Dipl. Ing. Christian Ammon.

Warum die Behandlung dieses Themas?

Bei gewissen Spritzbetonarbeiten, ich denke im speziellen an solche des Untertagebaues mit langen Transportdistanzen, ist die Fragestellung recht aktuell. Wie lange kann man das Trockengemisch liegenlassen, ohne daß es bei der Applikation Qualitätseinbußen erleidet?

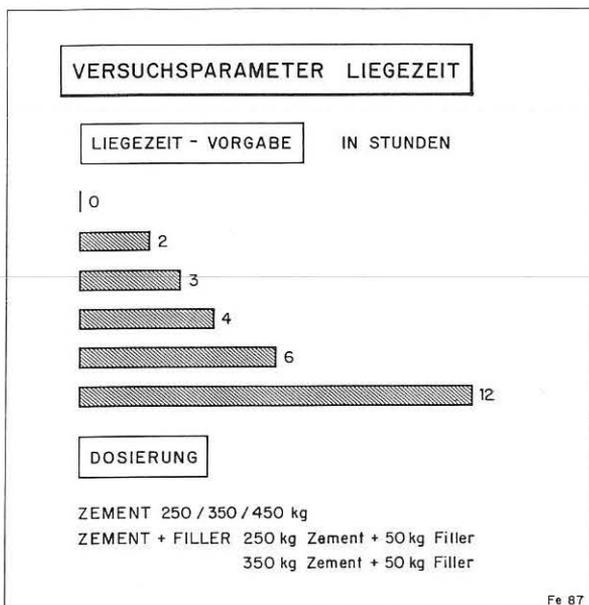


Abb. 6: Versuchsparameter Liegezeit

Die Versuche wurden ebenfalls in der Kaverne durchgeführt, teilweise parallel zu jenen der Spritzbeton-Rückprall-Untersuchung.

Die Liegezeitvorgaben wurden zwischen 0 und 12 Stunden variiert; die Zementdosierung wählte man mit 250/350/450 kg pro 1000 l Kiessand, in die Nullserie hatte man auch eine Dosierung mit 50 kg Filler (bei 250 kg resp. 350 kg Zement) einbezogen.

Wie sehen die Resultate aus?

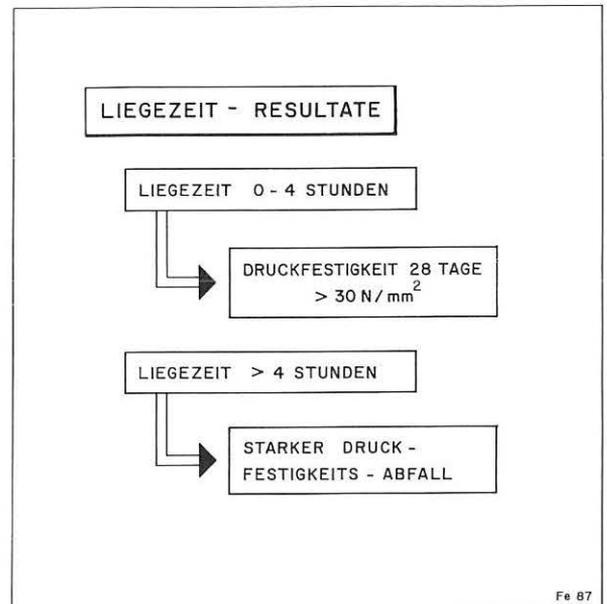


Abb. 7: Liegezeit-Resultate

Die Versuchsreihen zeigten eine klare Verschlechterung der Druckfestigkeiten mit zunehmender Liegezeitdauer.

Bis zu 4 Stunden Liegezeitdauer liegt die Qualitätseinbuße noch in tragbaren Grenzen (Bsp 28 größer 30 N/mm^2).

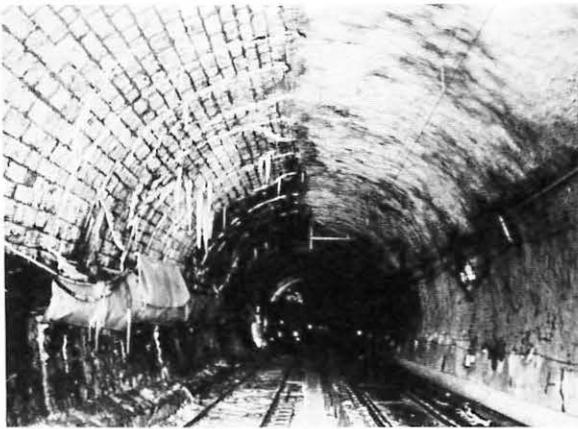
Demgegenüber zeigte ein Versuch mit 350 kg Zement auf 1000 l Kiessand (0 - 8 mm) bei sofortiger Verarbeitung (Liegezeit 0 Stunden) eine vierwöchige Druckfestigkeit von 35 N/mm^2 .

4. HAFTEN VON SPRITZBETON AN FELS, BETON UND TUNNELSTEINEN

Forschungsprojekt Nr. 042/84, 1. Teil bearbeitet von Herrn Dipl. Ing. Christian Ammon.

Seit über 70 Jahren wird Spritzbeton verarbeitet. Über das Haften von Spritzbeton liegen praktisch keine Resultate vor, es sei denn, diese seien im geschlossenen Firmenkreis ermittelt worden.

SANIERUNG HAUENSTEIN BASISTUNNEL



Fe 87

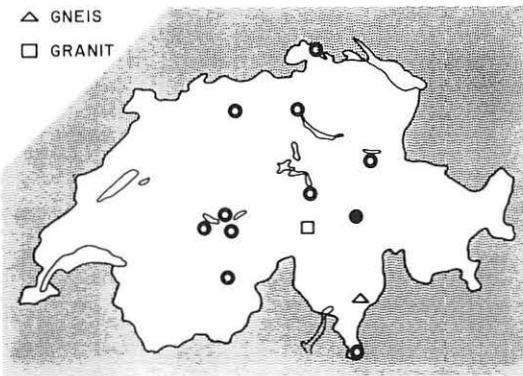
Abb. 8: Sanierung Hauenstein-Basistunnel

Eine große Zahl von Sanierungsarbeiten über und unter Tage wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten auf uns zukommen. Erste größere Tunnelanierungen, vorwiegend von Eisenbahntunneln, sind in den letzten Jahren gemacht worden.

Das Forschungsvorhaben hatte zum Ziel, dem projektierenden und ausführenden Ingenieur Richtgrößen des Haftens von Spritzbeton auf verschiedenen Felsarten, Beton und Tunnelsteinen in die Hand zu geben.

GRUNDLAGEMATERIAL (FELS) FÜR HAFTVERSUCHE

- VERSCHIEDENE KALKE
- SERIZITSCHIEFER
- △ GNEIS
- GRANIT



Fe 87

Abb. 9: Grundlagemat. (Fels) für Haftversuche

Aus der ganzen Schweiz wurden 14 verschiedene Felsarten zusammengetragen, Felsarten, die in Tunnelprojekten immer wieder vorkommen.

FELSVERSUCHS-PLATTE IN KAVERNE



Fe 87

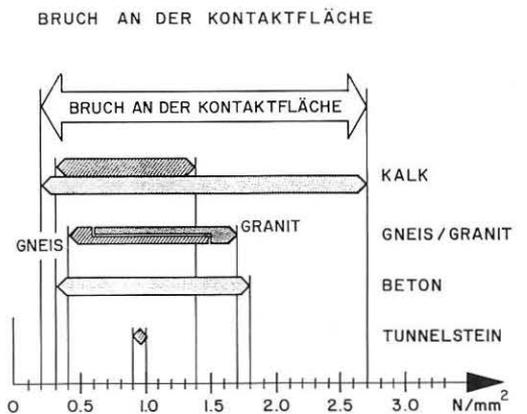
Abb. 10: Felsversuche-Platte in Kaverne

Die Felsmuster wurden in Holz-Rahmen bildmässig eingegossen und an die Kavernenwand zur Applikation des Spritzbetons aufgehängt. Die Kontaktflächen wurden entweder gewaschen oder sandgestrahlt.

Probekörper wurden im Alter von 26 - 36 Tagen, respektive 190 - 200 Tagen entnommen und die Haft-Zugfestigkeit bestimmt.

Was für Resultate haben sich ergeben?

HAFTEN / RESULTATE



Fe 87

Abb. 11: Haften/Resultate

Im Überblick kann festgestellt werden, daß sich Richtgrößen des Haftens für die Kontaktfläche von 0,3 - 2,7 N/mm² (3 - 37 kg/cm²) ergeben.

Liegt die Bruchfläche im Spritzbeton, so haben sich Werte von 0,5 - 2,7 N/mm² (5 - 27 kg/cm²) ergeben. In diesen Fällen können beim guten Verkrallen des Spritzbetons am Gestein Haftzugfestigkeiten von mehr als 2,7 N/mm² auftreten. Die Bruchfläche kann natürlich auch im Untergrund liegen. Die ermittelten Werte gehen dabei von 0,2 - 3,3 N/mm².

In allen drei Fällen zeigt sich, daß die Kalkgesteine die besten Werte erbringen.

5. EINFLUSS VON TIEFEN TEMPERATUREN AUF DIE QUALITÄT VON SPRITZBETON

Forschungsprojekt Nr. 046/85 bearbeitet von Herrn Niklaus Hodel, Dipl. Ing. ETH

Für zahlreiche mitteleuropäische Länder dürfen plötzlich Temperaturstürze bei der Durchführung von Sanierungsarbeiten mit Spritzbeton in der Zeitspanne Nov. bis März qualitätsmindernde Auswirkungen haben.

In dem von Herrn Hodel bearbeiteten Forschungsprojekt ging es darum, derartige Temperaturstürze von unterschiedlicher Dauer während der Durchführung von Spritzbetonarbeiten zu simulieren und die Auswirkungen dieser Temperaturschocks auf das Produkt Spritzbeton zu eruieren.

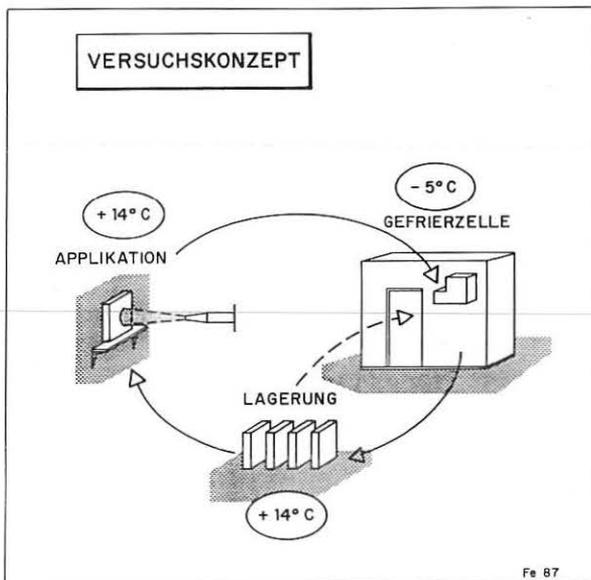


Abb. 12: Versuchskonzept

Auf Zementplatten von 40 x 40 x 5 cm wurden drei Schichten Spritzbeton aufgetragen; die mittlere Schicht erhielt einen Temperaturfühler eingespritzt. Aus der Fülle von möglichen Varianten wurden die Versuchsparameter bestimmt:

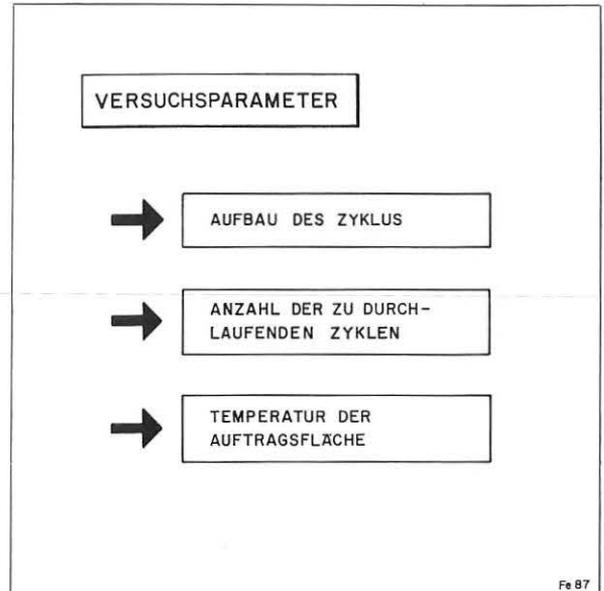


Abb. 13: Versuchs-Parameter

- Aufbau des Zyklus
- Anzahl der zu durchlaufenden Zyklen
- Temperatur der Auftragsfläche.

Es wurden vier Versuchsserien mit unterschiedlicher Lagerungsdauer in der Kühlboxe resp. der Kaverne getestet.

Die gesamten Versuche führten zu folgenden Resultaten.

- Bei einmaligem Gefrieren des frisch applizierten Spritzbetons wird die Druckfestigkeit um bleibend 20 - 50 % abgemindert (im Vergleich zur Nullprobe).
- Die Festigkeiten nehmen generell mit der Zunahme der Zyklenzahl zusätzlich um 5-10 % ab.
- Je länger die Frostdauer pro Zyklus, desto schlechter die Betonqualität.
- Je länger die totale Frostdauer in den ersten drei Tagen, desto kleiner die Druckfestigkeiten.
- Erholung resp. Nacherhärten des frostgeschädigten Spritzbetons zwischen dem 28. und 90. Tag macht rund 33 % Festigkeitszunahme aus (Nullbeton nur 17 %).

6. KOSTEN UND FINANZIERUNG

Die Kosten der drei Arbeiten mag aus nachstehender Übersicht hervorgehen:

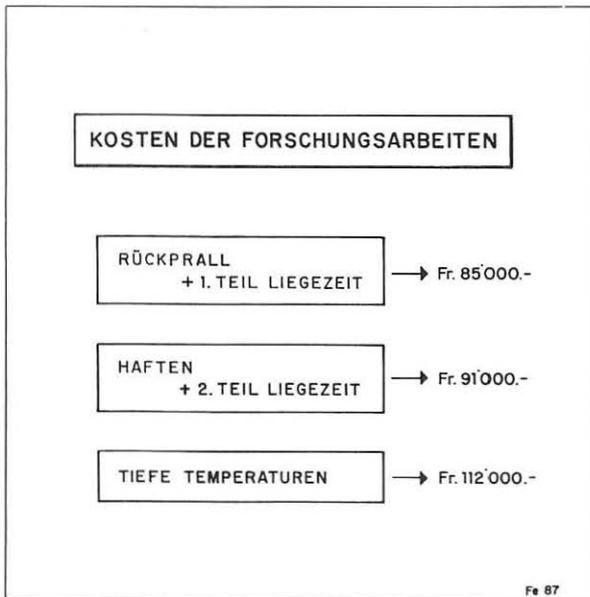


Abb. 14: Kosten der Forschungsarbeiten

Wer hat diese Arbeiten finanziert?

Gestatten Sie mir, daß ich Herrn Teichert resp. der Firma Laich ein Kränzchen winde. Sie hat die Arbeiten zu mehr als einem Drittel mitgetragen. Ein weiteres Drittel wurde aus einem ETH-Fond zur Förderung des Bauwesens beigesteuert und den Rest teilten sich die Stiftung des Vereins Schweizerischer Zement, Kalk- und Gipsfabrikaten, die Fachgruppe Untertagebau des SIA (FGU) sowie unser Institut.

Mit dieser kurzen Präsentation von drei Forschungsprojekten möchte ich Sie aufmuntern und anregen, in der Bauforschung ein Mehreres zu tun. Mein Appell geht an die Bauherrschaften, Projektierende und Unternehmer gleichermaßen. Viele offene Probleme für eine zielgerichtete, praxisorientierte Bauforschung stehen an.

Helfen Sie mit, diese zu lösen.