**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt

**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

**Band:** 109 (1991)

**Heft:** 22

**Artikel:** SIA-Norm 162 (Ausgabe 1989): Erfahrungen mit der neuen Norm beim Bau eines Tagbautunnels

**Autor:** Brugger, Martin / Brunner, Rolf

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-85953

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 07.08.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

Leicht überarbeitetes Referat gehalten anlässlich des ASIC-Seminars «Ingenieur und Umwelt» am 6./7. November 1990 in Bern.

Wissen. Sie verlangen Übung im interdisziplinären Denken und Verhandeln. Sie nötigen den Mut ab zum unbequemen Auftritt. Und der Schlüssel zu diesem Tun liegt im ungebrochenen Willen zur Weiterbildung, im unentwegten Erarbeiten einer breiten beruflichen Kompetenz. Der neu erworbene interdisziplinäre Überblick über die energetischen Zusammenhänge berechtigt den Ingenieur auch zu langfristig gedachten Ideen und Visionen und zu konsensfähigen Problemlösungen. Diese Visionen sind selten am konkreten Projekt zu verwirklichen; aber im Normenschaffen, im politischen und gesellschaftlichen Diskussionsfeld sind sie sehr gefragt. Der ASIC-Ingenieur muss seine Studier- und Planungsstube verlassen und hinaustreten in das öffentliche Leben in diesem Staat!

Adresse des Verfassers: *Dr. R. Walthert*, dipl. El.-Ing. ETH/SIA, ASIC, Amstein + Walthert AG, Leutschenbachstrasse 45, 8050 Zürich.

# SIA-Norm 162 (Ausgabe 1989)

## Erfahrungen mit der neuen Norm beim Bau eines Tagbautunnels

**Am Beispiel des Tagbautunnels Schinznacherfeld wird gezeigt, wie aus der Sicht der Bauunternehmung und der Bauleitung die vertraglich vereinbarte Qualität des Baustoffes Beton (B40/30, PC 325 kg/m³, hohe Frost-Tausalz-Beständigkeit) gemäss der neuen SIA-Norm 162 erreicht wurde.**

VON MARTIN BRUGGER, ENNETBADEN, UND ROLF BRUNNER, ZÜRICH

Das 1,5 km lange Teilstück der N3 zwischen der Aaretalbrücke und dem Südportal des Bözbergtunnels umfasst zwei offene Strecken und dazwischen den 450 m langen Tagbautunnel Schinznacherfeld.

Die Projektierung der offenen Abschnitte oblag dem Baudepartement des Kantons Aargau und diejenigen des Tunnels der Firma Gähler & Partner AG, Ennetbaden, die vom Kanton als Bauherr auch mit der örtlichen Bauleitung betraut wurde.

Mit der Ausführung der Arbeiten war die Arbeitsgemeinschaft Tunnel Schinznacherfeld (ARGE TSF) beauftragt. Sie bestand aus den Firmen Casimir Hunziker AG und Spaltenstein Hoch+Tiefbau AG für den Betonbau und den Firmen Umbricht AG und Gebr. Meier AG für den Erd- und Strassenbau. Die technische Leistung der Betonarbeiten oblag der Spaltenstein Hoch+Tiefbau AG.

Der Tunnel überdeckt mit einem 3stieligen, schlaff armierten Betonrahmen die Autobahn auf einer Länge von 450 m, siehe Bild 1.

Durch Materialaufschüttungen über und neben dem Bauwerk entstand eine neue Hangterrasse, welche die Trennwirkung der Autobahn aufhebt und als Kulturland genutzt werden kann.

Der Baugrund im Tunnelbereich besteht grösstenteils aus einer dicht gelagerten, kiesig-sandigen Bachschuttablagerung. Nur beim östlichsten Tunnelabschnitt (Richtung Aare) stiess man auf eine lehmige, setzungsempfindliche Bach- beziehungsweise Überschwemmungsablagerung, die bis auf den darunter liegenden Niederterrassen-Schotter abgebaut und durch tragfähiges Material mit einer Mächtigkeit von maximal 3 m ersetzt werden musste.

Im Rohbau wurde der Tunnel in 15 Monaten vom November 1988 bis Januar 1990 erstellt. Am 2. August 1989 war der Rohbau der östlichen Hälfte des Tagbautunnels fertig (siehe Bild 2). 24 000 m³ Beton wurden eingebaut. Die Baukosten für Fundamentaushub, Betonbau, Abdichtung und innere Hinterfüllung belaufen sich auf rd. 12 Mio. Fr.

Die Betonarbeiten erfolgten gemäss Ausschreibung nach der neuen SIA-Norm 162/162.1 (Ausgabe 1989), das heisst mit den Kennwerten für das Endprodukt. Die mit der neuen Norm gesammelten Erfahrungen bei der Bauausführung sowie der Qualitätssiche-

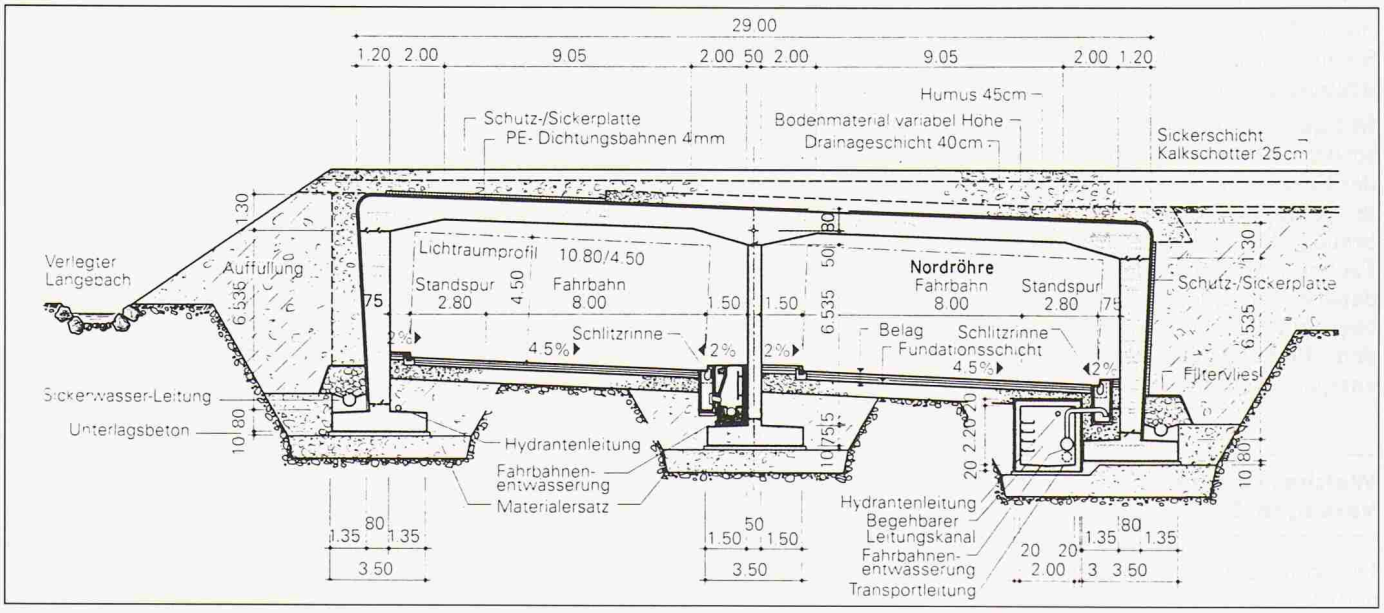
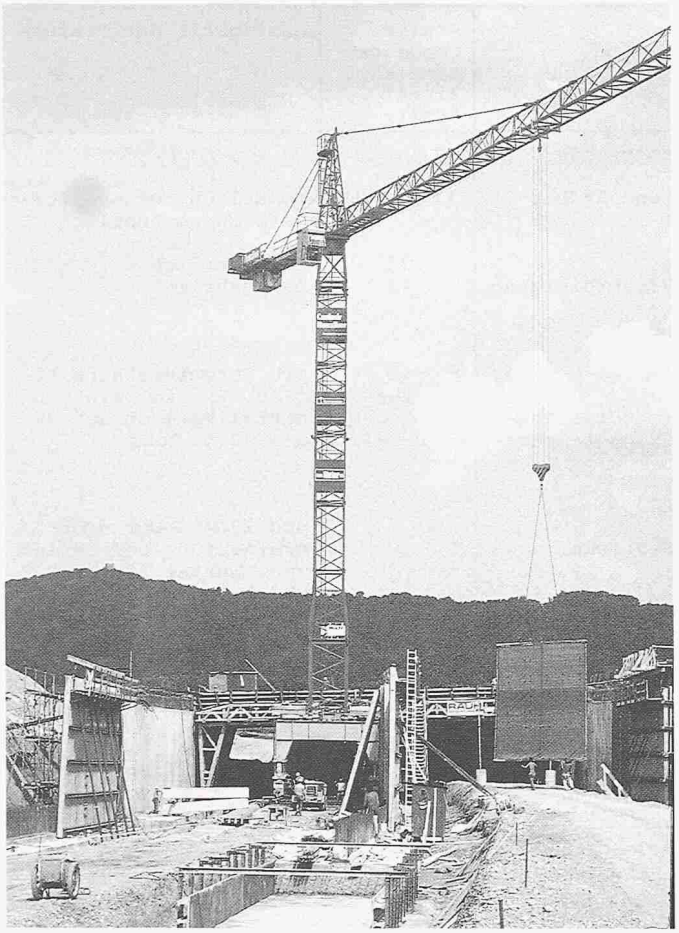



*Bild 1. Tunnelquerschnitt*



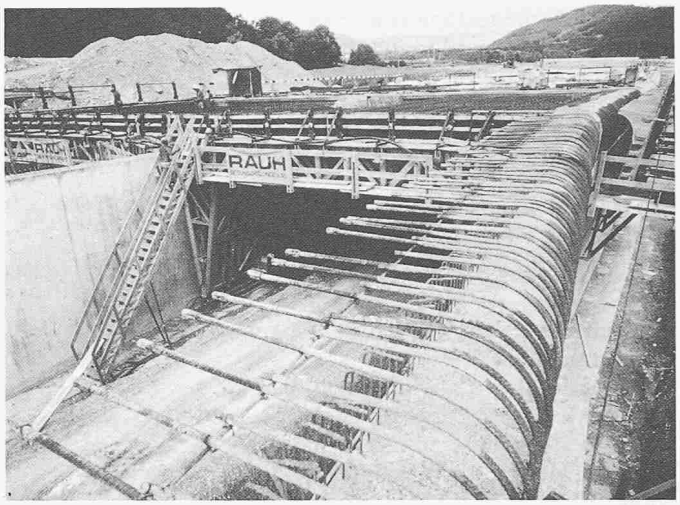



*Bild 3. Deckenschalung, im Vordergrund Deckenanschliessarmierung der Aussenwände*

*Bild 2. Bauzustand am 2. August 1989*

rung (Beton) sind nachfolgend erläutert.

Ein Beschrieb des angewendeten, übergeordneten Konzeptes für die Qualitätssicherung findet sich im «Schweizer Ingenieur und Architekt» Jahrgang 1989, Heft 35, Seiten 911–913.

## Vertragliche Qualitätsanforderungen

Für die Seiten- und Mittelwände und Decke des Tunnels kam folgende Betonsorte zur Anwendung:

B40/30, PC 325 kg/m$^3$, hohe Frost-Tausalz-Beständigkeit. Wasserzementwert <0,45. Eisenüberdeckung: 5 cm (Betonmenge 19 500 m$^3$).

Vor Baubeginn war die Eignung der Betonzusammensetzung in bezug auf Einbau, Verdichtung und Erreichung der geforderten Festbeton-Kennwerte anhand der in Tabelle 1 aufgeführten Prüfungen zu bestimmen. Das in dieser Tabelle enthaltene Prüfprogramm galt auch für die Qualitätskontrolle während der Bauausführung. Die Vorversuche und Qualitätskontrollen während des Baues oblagen der Unternehmung.

Aufgrund der Vertragssituation bezüglich Betoneinkauf war der Betonlieferant, Samuel Amsler AG in Schinznach Dorf, zusammen mit dem Zusatzmittel-Lieferanten Euco in Kirchberg, für die Einhaltung der Betonqualität und deren laufende Prüfung verantwortlich.

Die Bauleitung überwachte die Vorversuche und stellte die Prüfungsergebnisse zusammen. Wurden diese von der Bauleitung, dem Projektverfasser und dem Bauherrn positiv beurteilt, galten die Vorversuche als abgeschlossen.

Sämtliche Material-, Personal- und Prüfungskosten für die Vorversuche wurden nicht separat vergütet, sondern waren in den Beton-Einheitspreisen inbegriffen. Für die Überwachung der laufenden Qualitätskontrollen während der Bauausführung war die Bauleitung zuständig. Sie erstellte periodisch, im vorliegenden Fall monatlich, Zwischenberichte über sämtliche Prüfungen.

Die Kosten der Prüfungen der Ausgangsstoffe und des Frischbetons sowie der Erstellung der Prüfkörper für die Festbetonprüfung (inbegriffen Lagerung und Transport in die Prüfanstalt) waren ebenfalls in den Beton-Einheitspreisen inbegriffen, während die Prüfkosten beim Festbeton zu Lasten des Bauherrn gingen.

Nach Abschluss der Bauarbeiten verfasste die Bauleitung einen zusammenfassenden Bericht über die Betonvorversuche und die Qualitätskontrolle während der Bauausführung.

## Bauausführung

Auf Grund von Erfahrungen mit ähnlichen Objekten vergrösserte die Unternehmung die vorgegebene Etappenlänge von 10 auf 15 m. Als Vorteile resultierten eine qualitative Verbesserung durch Reduktion der Anzahl Fugen sowie eine massive Verkürzung der Bauzeit. Hätte die Arbeit ursprünglich bei 45 Etappen rd. 22 Monate mit 2 Winterpausen gedauert, so konnte nun das Bauwerk mit nur 30 Etappen in 15 Monaten und 1 Winterpause erstellt werden. Die Leistungssteigerung infolge Optimierung der Schal- und Betonieretappen erbrachte zusätzlich eine erhebliche Kosteneinsparung.

Die Ausführung erfolgte nach einer Anlaufphase im Herbst 1988 (2 Bauetappen) ab Frühjahr 1989 in strengem Wochentakt. Im Vorlauftakt wurden wöchentlich jeweils 3×15 m Streifenfundamente, eine Aussenwand und die Mittelwand von je 15 m Länge erstellt.

Eingesetzt war dafür eine Arbeitsgruppe von 10 Mann unter Leitung eines Poliers. Die Wandarmierung wurde durch eine Akkordantengruppe (4–5 Mann) teilweise auf Lehren vorkonfektioniert und korbweise verlegt.

Der Haupttakt umfasste die wöchentliche Erstellung der zweiten Aussenwand

und der Deckenetappe von 15 m Länge mit 400 m³ Beton. Verantwortlich dafür war eine Arbeitsgruppe von 8 Mann unter Leitung des Chefpoliers. Die Dekkenarmierung wurde an Ort und Stelle verlegt.

Im Nachlauftakt wurden später der Leitungskanal, Portalbauwerke mit Flügelmauern und die Betriebszentrale erstellt.

Bedient wurden Vorlauftakt und Haupttakt durch je einen Turmdrehkran. Diese mit höhenverstellbaren Fahrwerken ausgerüsteten Hebezeuge bewegten sich auf einem gemeinsamen Krantrassee (Nordröhre, mittlere Steigung 3,5%) und wurden wöchentlich um 15 m vorgezogen. Zugleich wanderten auch die Betoninstallation und die Umschlaggeräte. Die leistungsfähigen Krane ermöglichten einerseits das problemlose Umsetzen der Grossflächenwandschalungen wie auch das rasche Einbringen des Deckenbetons in einem Arbeitstag.

Die Erschliessung der Baustelle erfolgte durch eine Transportpiste im Querschnitt der Südröhre. Strom- und Wasserzuleitungen wurden ausserhalb des Profils mit Abgabestellen in Abständen von 150 m eingerichtet.

Infolge gedrängtem Bauprogramm kamen grundsätzlich nur Grossflächenschalungen zum Einsatz. Die Wände wurden mit Elementen von 5,20× 6,50 m, ausgerüstet mit Abstützspindeln und Bindestellen auf 5 Ebenen, geschalt. Eingesetzt waren 18 derartige Elemente, welche sich alle problemlos über 30 Einsätze bewährten.

Die Deckenschalung bestand pro Tunnelröhre aus einer verschiebbaren Nagelbinderrahmen-Konstruktion mit integrierter Absenkvorrichtung. Die Schalfläche betrug 13,10×16 m, belegt mit einer Mehrschicht-Schalplatte. Erfahrungen beim Betonieren der ersten paar Etappen zeigten, dass solche Platten nicht zu hart sein dürfen, da sich sonst Dellen von Vibriernadeln bilden, welche dann aufquellen und aufsplittern.

Für das Absenken, Vorschieben, Reinigen und Einrichten einer Schalung benötigten 4 eingeübte Leute einen halben Arbeitstag.

Der Betonverarbeitung wurde höchste Bedeutung zugemessen. Die Wände (Höhe 6,5 m) wurden in einem Guss betoniert, wobei dem Überstand der Dekkenanschlussarmierung Rechnung zu tragen war (siehe Bild 3). Mittels speziellen Schüttrohren ∅25 cm mit Trichtern, Abstand 2 m und entsprechender Armierungseinteilung konnte die Schütthöhe auf max. 2 m beschränkt und eine Entmischung des Betons verhindert werden. Die Dicke der Aussenwände erlaubte den Mitarbeitern das Vibrieren des Betons unmittelbar an der Einbringstelle, das heisst vom Innern der Schalung aus.

| Art der Prüfungen | Prüfmethode gemäss Kap. 3 SIA 162/1 | Häufigkeit der Prüfungen |
|---|---|---|
| 1. Zuschlagsstoffe | | |
| 1.1 Siebanalyse und Sauberkeit | 11 und 12 | monatlich, wenn erforderlich wöchentlich |
| 1.2 Petrographie | 14 | halbjährlich |
| 1.3 Organische Verunreinigung | 15 | halbjährlich |
| 2. Frischbeton | | |
| 2.1 Konsistenz (Walz) | 20 | pro Betonierabschnitt mind. 2x. im Durchschnitt 1 Versuch auf 30 bis 40 m³ Beton. |
| 2.2 Luftporengehalt | 21 | |
| 2.3 Temperatur von Frischbeton und Umgebungstemperatur | -- | |
| 3. Festbeton | | |
| 3.1 Würfeldruckfestigkeit | 1 | pro 250m³ Beton eine Prüfserie alternierend zu 6 Würfel (3 für Bw7 und 3 für Bw28) und 3 Würfel (3 für Bw28) * |
| 3.2 Bestimmung der Frost-Tausalz-Beständigkeit (an Dünnschliffen) | D-R (LPM) | Total ca. 8 Prüfungen |
| 3.3 Elastizitätsmodul | 3 | Total ca. 1 Prüfung |
| 3.4 Kriech- und Schwindwert | 4 | Total ca. 1 Prüfung |

* Bei der Herstellung jeder Prüfserie sind gleichzeitig die Frischbetoneigenschaften (2.1 bis 2.3) zu messen. Ferner ist bei jeder dritten Prüfserie die Bestimmung des Wasserzementwertes (SIA 162/1, Prüfung Nr. 19) erforderlich.

*Tabelle 1. Qualitätskontrollprogramm während der Bauausführung*

Die Deckenetappe von rd. 400 m³ Beton wurde in der Regel in 11–12 Stunden durchgehend eingebracht. Massgebend war die Mischer-Leistungsfähigkeit, welche bei vorgegebener Mindestmischzeit von 90 Sek. bei 30–35 m³ pro Stunde lag. Für jede Deckenetappe wurde ein der Jahreszeit und Witterung entsprechendes Betonierprogramm erstellt, das auch den Einsatz, die Ablösung und die Organisation über Znüni- und Mittagszeit der beiden Betonierequipen regelte.

Neben den Qualitätsanforderungen für den fertigen Beton resultierten aus der Verarbeitung des Betons und dem Taktprogramm zusätzliche Anforderungen, welche als weitere Bedingungen in das Vorversuchsprogramm aufzunehmen waren. Die massive Armierung und die hohe Einbringleistung verlangten eine gute Verarbeitbarkeit des Betons. Diese erforderte neben einer plastischen Konsistenz auch ein geringes Ansteifverhalten bis zur Verarbeitung. Der Bautakt verlangte für die Decke eine Frühfestigkeit nach drei Tagen (Donnerstagabend bis Montagmorgen) von Bw3 >20 N/mm², damit der Absenk- bzw. Ausschalvorgang taktgemäss erfolgen konnte.

Die Betonrezeptur sollte wenig Zusatzmittel enthalten, damit Kosten gespart und Störungsfehler verringert werden konnten.

Besonderes Augenmerk war der Betonnachbehandlung zu schenken. Die Wände wurden systematisch, sofort nach dem Ausschalen, mit Isoliermatten während sieben Tagen abgedeckt. Damit konnte ein rasches Austrocknen weitgehend verhindert und das Schwinden günstig beeinflusst werden. Die Deckenetappen wurden, sobald begehbar, für 14 Tage mit Isoliermatten belegt. Die Deckenuntersicht wurde jeweils mit Curing compund (Wachsbasis) besprüht.

## Ausgangsstoffe

Als solche wurden verwendet:

*Zement*

Portland Cement (PC) von der Jura-Cementfabrik in Wildegg. Unternehmung

und Bauleitung erhielten die Ergebnisse der werkinternen Normenprüfung nach SIA 215 monatlich zugestellt. Die mittlere Mahlfeinheit (Blainewert) betrug 3100 $cm^2/g$ und die mittlere Mörteldruckfestigkeit nach 2 Tagen 41 $N/mm^2$ und nach 28 Tagen 63 $N/mm^2$.

*Zuschlagsstoffe*

Kies und Sand wurden in Schinznach Dorf aus Nieder- und Hochterrassenschotter gewonnen und in die folgenden 6 Fraktionen aufbereitet:

| | |
|---|---|
| Brechsand 0-3 mm | Kies 4- 8 mm |
| Brechsand 0-4 mm | Kies 8-16 mm |
| Natursand 0-4 mm | Kies 16-32 mm |

Die petrographische Beschaffenheit des Kies-Sand-Gemisches betrug in Gewichtsprozenten: Kalksteine 77%, Quarze 11%, verschiedene Gneise 9%, Grüngesteine 1%, Sandsteine 2%.

Der Gehalt an frostanfälligen, weichen Mineralien und Gesteinen lag bei 3 Gewichtsprozenten und die mittlere Dichte der Zuschlagsstoffe bei 2,66 $kg/dm^3$.

Organische Verunreinigungen konnten nicht festgestellt werden.

*Betonanmachwasser*

Verwendet wurde Grundwasser mit Trinkwasserqualität.

*Chemische Zusatzmittel*

Luftporenbildner: Eucopor S60. Hochleistungsverflüssiger: Eucoplast 200 VZ (während der kühlen Jahreszeit Eucoplast 200, d.h. ohne Grundverzögerer).

| Parameter | Rezeptur Nr. 2 | | Rezeptur Nr. 7 | | Rezeptur Nr. 8 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Zement PC $kg/m^3$ | 325 | | 325 | | 325 | |
| 2. Wasserzementwert | 0,43 | | 0,43 | | 0,42 | |
| 3. Gesamtwassermenge $kg/m^3$ | 140 | | 140 | | 137 | |
| 4. Zusatzmittel | | | | | | |
| - Luftporenbildner % des Zementgew. | 0,6 | | 0,6 | | 0,6 | |
| - Verflüssiger % des Zementgew. | 0,8 | | 0,8 | | 0,8 | |
| 5. Zuschlagsstoffe (trocken) | % | $kg/m^3$ | % | $kg/m^3$ | % | $kg/m^3$ |
| - Brechsand 0-3mm | 5,4 | 101 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 |
| - Brechsand 0-4mm | 9,0 | 168 | 10,0 | 188 | 9,5 | 177 |
| - Natursand 0-4mm | 21,6 | 403 | 18,8 | 350 | 21,1 | 374 |
| - Kies 4-8mm | 12,8 | 239 | 9,4 | 177 | 10,4 | 193 |
| - Kies 8-16mm | 12,8 | 239 | 26,8 | 498 | 29,4 | 548 |
| - Kies 16-32mm | 38,4 | 710 | 35,0 | 651 | 30,6 | 570 |
| Total | 100 | 1860 | 100 | 1864 | 100 | 1862 |
| 6. Mehlkorngehalt inkl. Zement | | | | | | |
| < 0,250mm $kg/m^3$ | 437 | | 418 | | 437 | |
| < 0,125mm $kg/m^3$ | 362 | | 362 | | 362 | |

*Tabelle 2. Frischbeton Zusammmensetzung je $m^3$*

## Betonvorversuche

Weil das Betonlieferwerk für den im Werkvertrag vorgegebenen Beton keinen Nachweis der Klassifikation vorlegen konnte, mussten Vorversuche durchgeführt werden.

Es wurde dafür eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Vertretern des Betonwerks, des Zusatzmittellieferanten und der Baustelle unter Führung der technischen Leitung der ARGE gebildet. Die Bauleitung war bei allen wesentlichen Beratungen und Prüfungen anwesend.

Ziel der Vorversuche war, unter Berücksichtigung der genannten Vorgaben des Werkvertrages und den betrieblichen Randbedingungen, eine Betonrezeptur zu finden. Es waren dafür die Streugrössen und weiteren Einflusskriterien zu ermitteln, welche zur sicheren Erreichung der vorgegebenen Zielgrössen massgebend waren.

An einem ersten Abspracherapport wurde ein Grobkonzept des Versuchsablaufes, die Ausgangslage (Ausgangsstoffe, gruben- und werkspezifische Eigenheiten) und eine Grundrezeptur erarbeitet. Das Versuchskonzept wurde der Bauleitung präsentiert und zur Genehmigung vorgelegt. Gleichzeitig erfolgten die verlangten Prüfungen der Ausgangsstoffe. Vier verschiedene, vom Betonwerk und Zusatzmittellieferant empfohlene Rezepturen wurden in Grossmengen, in zwei Fundamentetappen, eingebracht.

In einer ersten Zwischenbeurteilung erkannte man die grundsätzliche Eignung der Ausgangsstoffe und die mutmassliche Eignung der Rezeptur Nr. 2.

| Parameter | Siebdurchgang in Gewichtsprozenten, Sieböffnung - mm | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,125 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 |
| Kies-Sand Gemisch Mittelwerte für | | | | | | | | | |
| Rez. 1 bis 4 | 2 | 6 | 15 | 21 | 27 | 35 | 49 | 73 | 100 |
| Rez. 7 | 2 | 5 | 15 | 18 | 22 | 29 | 38 | 65 | 100 |
| Rez. 8 | 2 | 6 | 14 | 17 | 21 | 29 | 40 | 68 | 100 |
| SIA Bandbreite | 3-8 | 6-11 | -- | -- | 20-30 | -- | 40-55 | 61-76 | 90-100 |
| Sandgemisch für Rez. 2 am 2.10.88 | 5 | 17 | 49 | 61 | 74 | 98 | 100 | | |
| am 22.2.89 | 9 | 19 | 45 | 64 | 80 | 98 | 100 | | |
| (40% Brechsand + 60% Natursand) | | | | | | | | | |
| für Rez. 8 mittel | 4 | 12 | 47 | 59 | 72 | 99 | 100 | | |
| min. | 2 | 8 | 40 | 50 | 65 | 100 | | | |
| max. | 6 | 16 | 51 | 66 | 77 | 99 | 100 | | |
| (32% Brechsand + 68% Natursand) | | | | | | | | | |

*Tabelle 3. Kornverteilung der Zuschlagsstoffe*

| Parameter | | Vorversuch | Laufende Qualitätskontrolle Rezeptur Nr. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 2 | 2 | 7 | 8 |
| | | | 29.11.88 bis 14.12.88 | 15.12.88 bis 06.02.89 | | |
| Anzahl Festbetonprüfserien | | 2 | 5 | 6 | 12 | 108 |
| Frischbetontemperatur | °C | 18 | 13 | 13 | 16 | 22 |
| Umgebungstemperatur | °C | 12 | 4 | 2 | 11 | 17 |
| Konsistenz (Verdichtungsmass nach Walz) | | 1,11 | 1,08 | 1.08 | 1.09 | 1.10 |
| Luftporengehalt im Frischbeton | % | 6,0 | 6.1 | 6.7 | 5.1 | 5.2 |
| Rohdichte (bestimmt an Würfeln) | $kg/m^3$ | 2340 | 2340 | 2310 | 2380 | 2380 |
| Würfeldruckfestigkeit | | | | | | |
| - 3 Tage | $N/mm^2$ | 30,5 | -- | -- | -- | 29,0 |
| - 7 Tage | $N/mm^2$ | 37,0 | -- | -- | -- | 36,2 |
| - 28 Tage | $N/mm^2$ | 42,6 | 44,8 | 37,9 | 40,1 | 42,6 |
| Standardabweichung (Bw28) | $N/mm^2$ | | | | | 3,5 |
| Im Bauwerk eingebaute Betonmengen | $m^3$ | | 500 | 900 | 1400 | 16'400 |

*Tabelle 4. Mittelwerte der Prüfungen von Frisch- und Festbeton bei Vorversuch und den laufenden Qualitätskontrollen*

Die später eingetroffenen Untersuchungsberichte des LPM-Labors Beinwil a.S. sowie die Prüfprotokolle betreffend Druckfestigkeiten bestätigten die Vermutung. Die Rezeptur Nr. 2 verfügte über alle verlangten und gewünschten Eigenschaften; sie wies eine genügende Reserve zu den Werkvertragsvorgaben auf (siehe Tabellen 2 und 4). Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen wurden der Bauherrschaft unterbreitet, die darauf die Zustimmung zum vorgeschlagenen Rezept erteilte. Die Durchführung der Vorversuche dauerte 6 Wochen und wurde rechtzeitig vor dem Betonieren der ersten Wandetappe abgeschlossen.

Die ab der ersten Betonproduktion laufenden Kontrollen zeigten vorerst eine zufriedenstellende Qualitätsentwicklung. Anfang 1989 verschlechterte sich jedoch die Betonfestigkeit markant, ohne dass die Ursache dieses Qualitätsabfalls erkennbar war. An das Betonieren von wichtigen Konstruktionsteilen war vorerst nicht mehr zu denken.

Stellungnahmen aller Beteiligten brachten keine Klärung, zumal Mengenkontrollen und optische Beurteilung des verarbeiteten und erhärteten Betons keine Aufschlüsse ergaben. In der Folge wurde erneut ein umfassendes Prüfprogramm durchgeführt, welches alle Elemente der Betonherstellung und Verarbeitung umfasste.

- Überprüfung der Ausgangsstoffe: Zementfeinheit, Zementtemperatur, Zuschlagsstoffanalysen, Mehlkorngehaltbestimmungen, Stabilität der Zusatzmittel und anderes mehr.
- Überprüfung der Betonanlage und des Herstellungsablaufes: Waagen justieren, Ergiebigkeit ermitteln, Beimengung von Komponenten und Zusätzen überprüfen, Mischzeit auf 90 Sek. justieren usw.
- Herstellung von Prüfungskörpern überprüfen: Instruktion des Personals, Kontrolle der Baustellenbetonprüfgeräte, Herstellung der Würfel durch immer den gleichen Mitarbeiter.
- Kritische Beurteilung der Verarbeitung auf der Baustelle: Instruktion der Poliere und des Betriebspersonals, absolutes Verbot der Wasserzugabe auf der Baustelle.
- Nochmalige Durchführung der Vorversuchsanordnung mit der ursprünglich gewählten Rezeptur.

Bei der Wiederholung der Vorversuche zeigte sich überraschend und ohne jede Regelmässigkeit bei verschiedenen Betonlieferungen ein abnormales Ansteifen des Frischbetons während den ersten 30 Min. (Walz 1,06 im Werk, 1,18 auf der Baustelle) sowie ein massiver Luftverlust (Werk 9%, Baustelle 3–4%).

Vermutungen wiesen auf unregelmässige Sandzusammensetzungen, besonders bezüglich Mehlkorngehalt, hin. Die in der Folge durchgeführten, umfangreichen Aussiebungen konnten aber die Bestätigung dafür nicht erbringen. Konkreteren Aufschluss erhoffte man sich von einem systematischen Materialersatz der ursprünglichen Rezeptur. Dabei wurde jeweils eine Komponente der Rezeptur ausgewechselt, die restlichen belassen (Wechsel des Zementes, Wechsel der Zusatzmittel, Zuschlagsstoffe von einem anderen Werk usw.). Als Ursache für das unnatürliche Ansteifverhalten wurde die Brechsandfraktion (Mehlkorn) ermittelt, welche im nächsten Schritt durch 100% Natursand ersetzt wurde. Mit dieser Sieblinie konnte allerdings die verlangte Betonfestigkeit nicht mehr erreicht werden. Die Störung wurde immer mehr eingekreist und konzentrierte sich nun auf die Brecheranlage, welche im Hinblick auf die grosse Lieferkubatur vorsorglich in der Winterpause umfassend revidiert worden war.

Es zeigte sich, dass der neue Brecher ein derart gutes Arbeitsvermögen aufwies, dass beim Brechen viel Staub entstand. Dieser lagerte sich an den Silowänden ab und fiel, je nach Dicke der Ablagerung, willkürlich in den Haufen Brechsand.

Für einige Betonchargen war daraufhin der Mehlkornanteil sehr hoch. Dies führte zu den festgestellten Qualitätsminderungen. Weil der zu grosse Mehlkornanteil übermässig Anmachwasser brauchte, erfolgte ein Ansteifen des Frischbetons. Damit dieser verarbeitbar blieb, wurde mehr Wasser zugegeben. In der Folge ergab sich ein Festigkeitsabfall.

Eine Staubabsaugevorrichtung im Bereich des Brechers brachte sofort Abhilfe. Mit einer leicht abgeänderten Siebkurve, entsprechend der Rezeptur 8, konnten danach die in den ursprünglichen Vorversuchen ermittelten Qualitätsvorgaben eingehalten werden.

Einmal mehr wurde die wesentliche Einflussgrösse Mehlkorngehalt erkannt, welche unter allen Umständen möglichst konstant zu halten ist.

## Laufende Qualitätskontrolle während der Bauausführung

Vom 28. November 1988 bis zum 25. Mai 1989, das heisst vor Beginn des Wochentaktes, fanden an den damals eingebauten 3100 $m^3$ Beton eingehende Qualitätskontrollen statt. Es ging darum, die Streugrössen zu bestimmen und rechtzeitig mögliche Qualitätsverbesserungen einzuführen.

Bereits zwischen Mitte Dezember 1988 und Anfang Februar 1989 zeichneten sich mit der Rezeptur Nr. 2 Qualitätsverschlechterungen ab (siehe Tabelle 4 und Bild 4).

Mittels den im vorausgegangenem Abschnitt beschriebenen systematischen ergänzenden Untersuchungen wurde

Die Bauarbeiten dieses Nationalstrassenabschnittes wurden von einer Arbeitsgemeinschaft mit den folgenden Firmen ausgeführt:

Casimir Hunziker AG, Aarau: Federführung;

Spaltenstein Hoch+Tiefbau AG, Zürich: Technische Leitung Betonbau;

Umbricht AG, Turgi: Technische Leitung Erdbau;

Gebr. Meier AG, Brugg; Kaufmännische Leitung

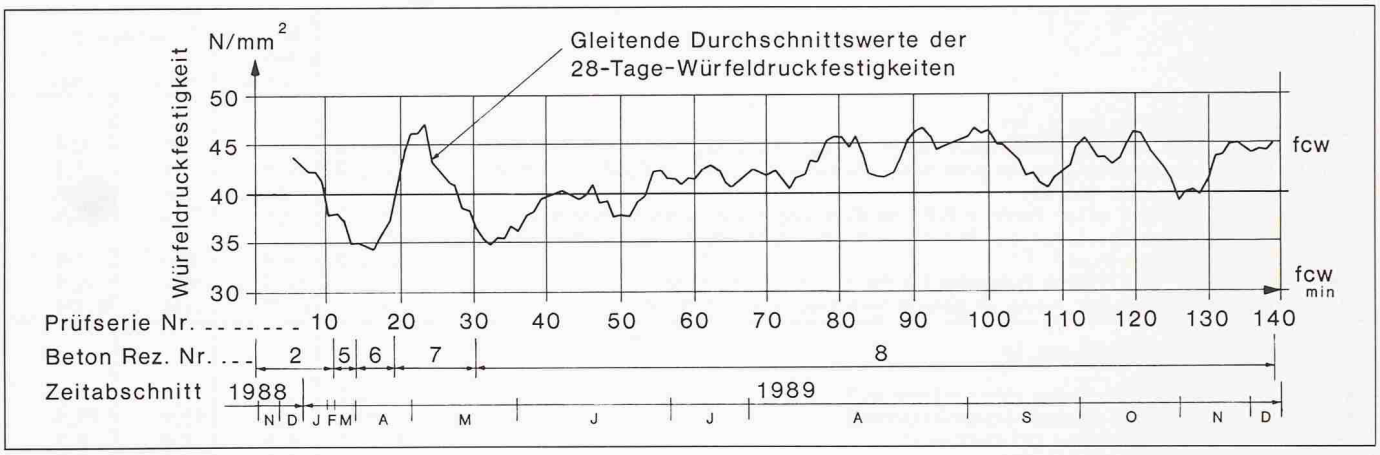



*Bild 4. Gleitende Durchschnittswerte der 28-Tage-Würfeldruckfestigkeiten (Durchschnitt von je 5 aufeinanderfolgenden Prüfserien, zentriert auf die letzte)*

die Betonmischung anhand der Rezepturen 5 bis 8 optimiert. Gleichzeitig konnten die kritischen, qualitätsbeeinflussenden Faktoren ermittelt werden.

Die Frischbetonzusammensetzung und Kornverteilung der Zuschlagsstoffe der Rezepturen 2, 7 und 8 ist aus den Tabellen 2 und 3 ersichtlich.

Die technischen Angaben der Rezepturen Nr. 5 und 6 sind nicht in den Tabellen 2 bis 5 enthalten. Von diesen zwei Betonmischungen wurden insgesamt nur 300 m³ im Bauwerk eingebaut.

Neben der laufenden Auswertung sämtlicher Versuchsergebnisse lieferte die kontinuierlich nachgeführte graphische Darstellung der gleitenden Durchschnittswerte der 28-Tage-Würfeldruckfestigkeiten, zentriert auf die letzte Prüfserie, wertvolle Beurteilungsgrundlagen (Bild 4).

Insgesamt wurden 139 Festbeton-Prüfserien mit je mindestens 3 Würfeln für die Bestimmung der mittleren 28-Tage-Druckfestigkeit erstellt. Jeder Wert der Kurve entspricht dem Mittel von 5 aufeinanderfolgenden Mittelwerten der einzelnen Prüfserien. Zum Beispiel stellt der Wert von 45 N/mm² bei der letzten, 139. Prüfserie das arithmetische Mittel der bei den Prüfserien 135–139 bestimmten mittleren 28-Tage-Druckfestigkeit dar.

Mit der Rezeptur Nr. 8 wurde eine geeignete Betonzusammensetzung gefunden, die während der Periode des Wochentaktes für 16 400 m³ Beton unverändert zur Anwendung kam.

Dank der konsequenten Kontrolle der Zuschlagsstoffe und des Frischbetons betrug die mittlere 28-Tage-Druckfestigkeit 42,6 N/mm² bei einer Standardabweichung von nur 3,5 N/mm² (Tabelle 4).

Für die gesamte Produktion (Rezeptur 2 bis 8) beträgt die mittlere 28-Tage-Druckfestigkeit 42,0 N/mm² und die Standardabweichung 4,2 N/mm².

Bei 27 Decken Betonieretappen von je 400 m³ wurden von der Rezeptur 8 jeweils eine Festbetonprüfserie am Morgen auf der Baustelle (Probeentnahme vom Umschlaggerät) und eine zweite am Nachmittag im Betonwerk hergestellt. Die mittlere Fahrdistanz vom Betonwerk zur Baustelle betrug 1,5 km.

Die Mittelwerte der Betoneigenschaften sind aus der Tabelle 5 ersichtlich.

Der Nachweis der Frosttausalzbeständigkeit an Festbetonproben, entnommen aus dem Bauwerk, erfolgte durch das LPM-Labor, Beinwil a.S. Als Prüfmethode wurde die mikroskopische Porenanalyse gemäss Norm SN 640 461 angewendet.

Dank den umfassenden Vorversuchen und der Konzeptoptimalisierung sowie den systematischen Frischbetonkontrollen konnten an den Festbetonproben durchwegs eine hohe Frost-Tausalz-Beständigkeit, mit Widerstandsfaktoren WFT-P >80%, nachgewiesen werden. Zudem zeigten die zusätzlichen mikroskopischen Beurteilungen an Dünnschliffen durchwegs eine gute, praktisch störungsfreie Gefügequalität.

Die wichtigsten Kenngrössen der Frost-Tausalz-Prüfungen für die Rezeptur Nr. 8 sind in der Tabelle 6 enthalten. Es ist ersichtlich, dass die Ergebnisse in einem engen Streubereich liegen, was wiederum auf eine hohe Gleichförmigkeit bezüglich Mischung, Verarbeitung und Nachbehandlung hinweist.

Dazu seien als Beispiel die W/Z-abhängigen Kapillarwasseraufnahmen (A5) von 8,5 bis 10,2 Vol.-% oder die statistischen Porenabstandsfaktoren (AF) von 0,110 bis 0,133 mm erwähnt.

Die Ergebnisse der laufenden Betonqualitätskontrolle zeigen, dass der im Tagbautunnel Schinznacherfeld eingebaute Beton die vertraglichen Qualitätsanforderungen voll erfüllt.

## Schlussbemerkung

Die SIA-Norm 162 (1989) war für die Ausführung des Betontragwerks des Tagbautunnels Schinznacherfeld verbindlich.

Für die Koordination der Betonvorversuche und für Betonqualitätsanliegen wurde eine kleine Arbeitsgruppe bestehend aus je einem leitenden Vertreter des Betonwerkes, des Zusatzmittellieferanten, der Arbeitsgemeinschaft und der Bauleitung gebildet.

Zuerst wurden die bauwerksspezifischen und ausführungstechnischen Anforderungen an den Frischbeton sowie die Frühfestigkeit festgelegt und anschliessend das Versuchsprogramm aufgestellt.

Es folgten die Eignungsprüfung der Zuschlagsstoffe und die eigentlichen Betonvorversuche im Massstab 1:1. Das Betonwerk stellte verschiedene Beton-

| Betoneigenschaften | Probeentnahme | |
|---|---|---|
| | im Werk | auf Baustelle |
| Konsistenz (Walz) | 1.10 | 1.12 |
| Luftporen im Frischbeton | 5.4% | 5.0% |
| 7 Tag-Druckfestigkeit | 36.3 N/mm² | 36.2 N/mm² |
| 28 Tag-Druckfestigkeit | 42.6 N/mm² | 43.6 N/mm² |

*Tabelle 5. Mittelwerte der Betoneigenschaften gemäss statistischer Auswertung*

| Untersuchung | | Mittelwerte | Streubereich Min. | Streubereich Max. |
|---|---|---|---|---|
| Porenanalyse Kennwerte aus I. Po | | | | |
| LA Makroporosität im erhärteten Beton aller Poren > 0,02 mmØ | Vol. % | 4,1 | 3,1 | 5,2 |
| L-300 Expansionsporenvolumen im erhärteten Beton der Poren von 0,02 - 0,3 mmØ | Vol. % | 2,0 | 1,7 | 2,3 |
| W Wirkungsgrad (L-300/LA) | % | 49 | 40 | 58 |
| ZLA Makroporosität aller Poren > 0,02 mm Ø, bezogen auf Zementsteingehalt | Vol. % | 13,9 | 10,5 | 17,5 |
| ZL300 Expansionsporenvolumen der Poren von 0,02 - 0,3mm Ø, bezogen auf Zementsteingehalt | Vol. % | 6,8 | 6,0 | 7,6 |
| $\alpha$ Mittlere, spezifische Porenoberfläche der Poren >0,02 mm Ø | $mm^{-1}$ | 42,9 | 35,7 | 50,4 |
| AF Abstandsfaktor der Poren >0,02mm Ø berechnet nach ASTM C457-71 | mm | 0,121 | 0,110 | 0,133 |
| Wassersättigungskennwerte aus Ia | | | | |
| A5 Kapillarwasseraufnahme (Wasserlagerung) | Vol. % | 9,5 | 8,5 | 10,2 |
| Av Gesamtporosität (Vakuum-Durchsättigung) | Vol. % | 14,6 | 13,2 | 15,8 |
| K5 Gefrierwasservolumen (A5-Gelporen) | Vol. % | 4,4 | 3,4 | 5,1 |
| LG Hohlraumdifferenz (Av-A5) | Vol. % | 5,1 | 3,0 | 6,0 |
| Rd Trockenrohdichte (110°C) | $kg/m^3$ | 2268 | 2193 | 2328 |
| Verhältnisberechnung für die Bestimmung I aus Porenanalyse und Wasserkennwerte | | | | |
| V1 Verhältnis Expansionsporenvolumen zu Gefriervolumen L-300x100/K5 | | 45,5 | 35,3 | 61,8 |
| V2 Verhältnis Expansionsporenvolumen zu Kapillarwasseraufnahme L-300x100/A5 | | 21,0 | 17,6 | 24,7 |
| WB1 Widerstand in Abhängigkeit der 28-Tage Biegezugfestigkeit V1xBbz28 ($N/mm^2$) | | 250 | 194 | 340 |
| WB2 Widerstand in Abhängigkeit der 28-Tage Biegezugfestigkeit V2xBbz28 ($N/mm^2$) | | 115 | 97 | 136 |
| Widerstandsfaktor WFT-P | % | >80 | >80 | >80 |
| Beständigkeitsbeurteilung | | gut | gut | gut |
| Mikroskopische Gefügebeurteilung - Qualitätsindex Ib | | -4 | -6 | -3 |
| - Beurteilung | | gut | gut | sehr gut |

*Tabelle 6. Frosttausalzbeständigkeitsuntersuchung der laufenden Qualitätskontrolle für die Reg. Nr. 8*

mischungen her, die in einem untergeordneten Bauwerksteil eingebaut wurde unter den beim Bau herrschenden Bedingungen hinsichtlich Transportmittel, Transportweg, Umschlag- und Einbaugerät sowie Verarbeitung.

Die Frischbetoneigenschaften wurden sowohl im Betonwerk wie auf der Baustelle systematisch untersucht und dabei Proben für die Festbetonprüfung hergestellt.

Die auf Grund dieser schlüssigen Vorversuche gewählte Rezeptur ermöglichte eine einwandfreie Verarbeitung und gewährleistete das Erreichen der vertraglichen Festbetonkennwerte (Zielgrössen) im Endprodukt.

Während der ersten Monate der Bauausführung fand eine sehr intensiv laufende Qualitätskontrolle namentlich zur Ermittlung des Streubereichs und zusätzlicher Verbesserung der Betonrezeptur statt, wobei die wichtigsten qualitätsbeeinflussenden Faktoren wie Mehlkorngehalt und Betonmischzeit erfasst werden konnten.

Wertvolle Unterlagen für die Qualitätsbeurteilung lieferte neben der ständigen Auswertung sämtlicher Versuchsergebnisse die laufend nachgeführte Darstellung der gleitenden Durchschnittswerte der 28-Tage-Würfeldruckfestigkeiten.

Besondere Aufmerksamkeit schenkte man der Betonverarbeitung und der Betonnachbehandlung, da die Dauerhaftigkeit des Betons massgebend von der Qualität der oberflächennahen Schicht beeinflusst wird.

Eine hohe und konstante Betonqualität ist nie Zufall. Sie ist das Ergebnis eines klaren Ziels, wie dies in der SIA-Norm 162 (1989) zum Ausdruck kommt, einer klugen Auswahl gegebener Möglichkeiten, einer fachmännischen Bauausführung, kurz einer unermüdlichen Anstrengung aller Beteiligten.

Adresse der Verfasser: *Martin Brugger*, Bauing. HTL, Gähler & Partner, Integrierte Bauplanung, 5400 Ennetbaden, *Rolf Brunner*, Bauing. HTL, Direktor, Spaltenstein Hoch+Tiefbau AG, 8050 Zürich